



METODIKA

*„Vzdělávacího modulového programu
v oblasti NC technologií“*

Partneři projektu:

Nemak Czech Republik s.r.o.

**Krajská hospodářská komora
Ústí nad Labem**



**„Vzdělávací moduly Krajského vzdělávacího střediska pro NC technologie“ - číslo projektu
CZ.04.1.03/3.3.06.1/0038 v rámci Operačního programu Rozvoj lidských zdrojů.**

OBSAH:

1. Společná část	4
1.1. Znalost čtení výkresů.....	4
1.2. Microsoft Windows XP.....	13
1.3. Uživatelská znalost programu Microsoft Office Word	17
1.4. Uživatelské znalosti programu Microsoft Office Excel	28
1.5. Internet.....	36
1.6. Nástroje pro řízení jakosti	40
1.7. Obecný přehled o normalizaci	48
1.8. Obecný přehled o jakosti	49
2. Specializace „Metrolog“	54
2.1. Obecný přehled o metrologii.....	54
2.2. Zákonné a jiné požadavky	66
2.3. Řízení jakosti.....	71
3. Specializace „Nástrojář“	84
3.1. Základní znalosti problematiky obrábění.....	84
3.2. Znalost práce na soustruhu	104
3.3. Znalost práce na frézce	107
3.4. Znalost práce na sloupové vrtačce	111
3.5. Znalost práce na brusce	112
3.6. Znalost práce s CNC stroji.....	115
3.7. Znalost práce v 3D CAD systému SolidWorks	125
4. Specializace „Oblast statistiky, optimalizace a výrobního procesu“.....	128
4.1. Jakost výrobku.....	128
4.2. Jakost výrobku a legislativa České republiky	134
4.3. Systémy jakosti.....	148
4.4. Znalost SPC (Statistical Process Control) – statická regulace procesů.....	152
4.5. Znalost MSA (Measurement System Analysis) – analýza systému měření	158
4.6. Znalost APQP (Advanced Product Quality Planning) – pokročilé plánování jakosti výrobku	161
4.7. Znalost FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) – Analýza možností vzniku vad a jejich následků.....	166
4.8. Znalost metody Six Sigma	168
4.9. Znalost DOE (Design of Experiments/Taguchi Approach) – robustnost procesu...	171
4.10. Global 8D	177
4.11. QFD (Schůzov Function Deployment) – překlad požadavků zákazníka	182
5. Specializace „Elektronik“	185
5.1. Praktická elektronika	185
5.2. Pasivní součástky	199
5.3. Diody	207
5.4. Tranzistory.....	214
5.5. Elektronické funkční bloky	228
5.6. Zesilovače	232
5.7. Operační zesilovač.....	242
5.8. Generátory	255

Úvod

V návaznosti na vytvořené Krajské vzdělávací středisko pro NC technologie, které bylo vybudováno v areálu Střední školy technické, příspěvkové organizaci v Mostě – Velebudicích, byl dne 1.3.2006 zahájen v rámci Operačního programu Rozvoje lidských zdrojů Evropského sociálního fondu projekt s názvem **„Vzdělávací moduly Krajského vzdělávacího střediska pro NC technologie“**.



Tento projekt si klade za cíl vytvořit ve spolupráci se zaměstnavateli v oboru strojírenství vzdělávací programy a vybudovat tak vhodnou modularizaci již existujících vzdělávacích programů. Tato modularizace směřuje k rozvoji a zefektivnění samotného vzdělávání. Zavedením nových trendů ve výuce povede také ke zkvalitnění pedagogických schopností učitelů, lektorů a dalších pracovníků v oblasti moderních NC technologií a souvisejících oblastech.

V konečném důsledku projekt směřuje ke zlepšení kvalifikace absolventů středních odborných škol a učilišť, účastníků kursu celoživotního vzdělání a účastníků rekvalifikací.

V perfektně vybavených učebnách nejmodernějšími NC stroji vzniknou všem účastníkům vzdělávání zcela ojedinělé podmínky pro maximálně kvalitní výuku.

Většina aktivit v rámci modularizace vzdělávání probíhá ve spolupráci se zaměstnavateli (s důrazem na oblast strojírenství), jenž pomohli odhalit mezery ve vzdělání, které v současnosti musí zaměstnavatelé nákladně odstraňovat dalším vnitropodnikovým vzděláváním a které omezují zaměstnatelnost absolventů.

Tato metodika vznikla ve spolupráci s partnery projektu, kterými jsou „*Nemak Czech republik s.r.o.*“ a „*Krajská hospodářská komora Ústeckého kraje*“. Experti předkladate a partnerů projektu vytvořili ve spolupráci s Technickou univerzitou Liberec vzdělávací modulový program pro oblast NC technologií.

Hlavní podíl na tvorbě této metodiky nesou tyto pracovníci:

SŠT

Jiří Zelinger - *Nástrojář*
Ing. Tomáš Kučera - *Metrolog*
Ladislav Víla - *Metrolog*
Milada Schütová - *Nástrojář*

TUL

doc. Ing. Ivan Doležal, CSc. - *Elektronik*
doc. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D. - *Elektronik*
Ing. Štěpánka Tůmová – *Oblast statistiky*

Nemak Czech republik s.r.o.

Milan Hadinec – *Odborný dozor*
Jiří Jouja – *Odborný dozor*

1. SPOLEČNÁ ČÁST

1.1. Znalost čtení výkresů

Technické výkresy

V technické praxi se setkáváme s celou řadou dokumentů. Tyto dokumenty jsou podkladem pro výrobu nebo realizaci technických projektů.

Základním dokumentem při návrhu nového výrobku je technický výkres. Je souborem informací vyjádřených na určitém nosiči informací v souladu s normalizovanými pravidly, musí být tedy vždy vypracován podle určitých zásad. Technické výkresy využíváme v celé řadě oborů, pro které mají charakteristický obsah.

Technické výkresy mohou být dnes vytvořeny klasickým kreslením nebo pomocí výpočetní techniky (CAD) v určité formě:

- **Náčrt (skica)** je v podstatě vytvořený od ruky, bez zřetele na měřítko. Bývá často prvním ztvárněním nového výrobku. Skicu lze vytvořit přímo na papíře, nebo na počítači pomocí grafických programů k tomu určených.
- **Originál** je výkres vytvořený podle všech pravidel technického zobrazování, při dodržení závazných pravidel (norem). Je archivován a většinou se využívá pouze pro zhotovení kopií.
- **Kopie** je rozmnožený originál. Slouží jako podklad pro výrobu, montáž a kontrolu vyráběného výrobku.

Velmi často používáme rozdělení výkresů i dle jiných kritérií, např. podle toho, jak detailně danou součást zobrazují:

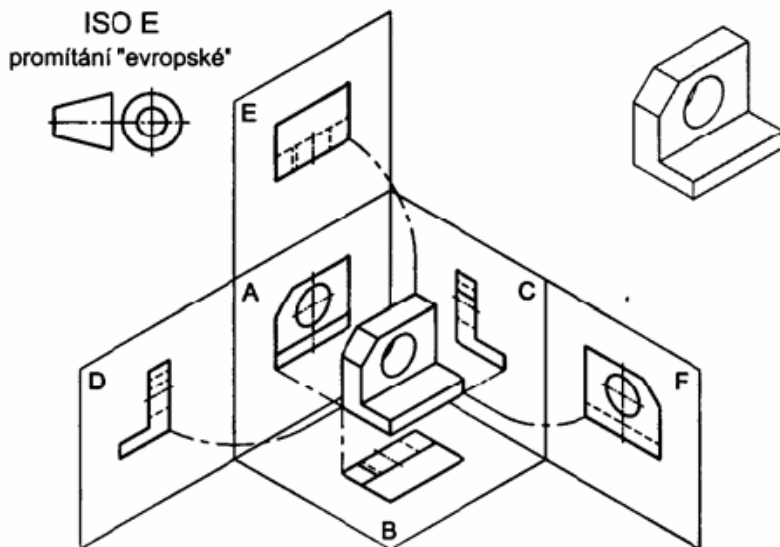
- **Výkresy součástí:** jsou základním podkladem pro výrobu, proto je nazýváme také **výrobní**. Obsahují veškeré údaje nutné pro výrobu (rozměry, tolerance, tepelné zpracování atd.).
- **Výkresy sestav a podsestav:** využívají se pro průběžnou a finální montáž výrobku. Obsahují pouze hlavní rozměry určující vazbu na návazné celky a popis jednotlivých součástí a dílců pomocí tzv. pozic. Soupis všech dílů je uspořádán v seznamu položek (kusovníku).

Pravidla pro zobrazování na výkresech

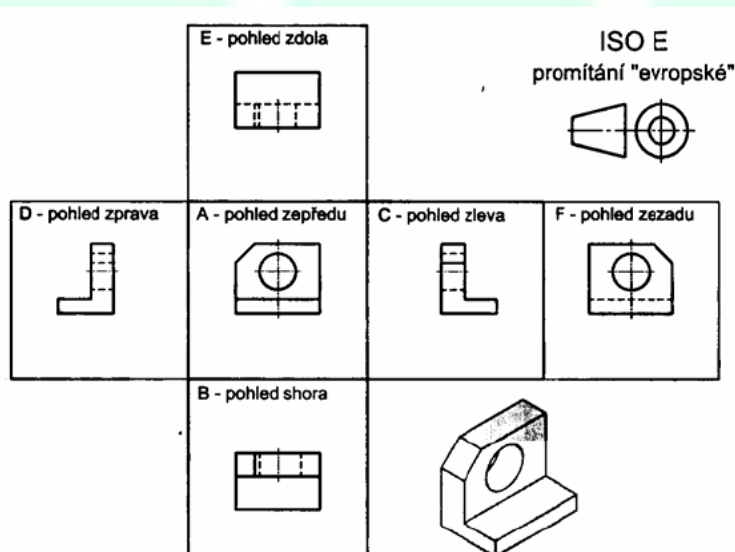
V technické praxi se setkáváme s potřebou zobrazení prostorových útvarů pomocí náčrtu, nebo přesně kresleného výkresu. Aby toto zobrazení bylo naprosto jednoznačné, musí být stanovena přesná pravidla a normy, podle kterých budeme technické výkresy součástí vytvářet.

Součásti zobrazujeme pomocí rovnoběžného promítání na tzv. průmětny. K tomu můžeme použít dvě metody, z nichž v Evropě používaná je metoda označovaná ISO-E a nazývaná metoda promítání v prvním kvadrantu. Metoda používaná v Americe označovaná ISO-A a je nazývaná jako metoda promítání v prvním kvadrantu. My se budeme věnovat zobrazování ISO-E.

Jak jsou tělesa promítána na jednotlivé průmětny je zřejmé z obrázku.



Po sklopení jednotlivých promítacích rovin do jediné získáme soustavu sdružených průmětů. Běžné rozložení sdružených průmětů na strojnickém výkrese pro ISO-E je zobrazeno na následujícím obrázku.



Velmi často používanou kombinací sdružených obrazů ve výkresové dokumentaci je kombinace pohledu zepředu, pohledu shora a pohledu zleva, tzv. nárysu, půdorysu a bokorysu.

Pro zobrazování těles na výkrese platí tato pravidla:

- počet obrazů volíme co nejmenší, avšak takový, aby bylo těleso úplně zobrazeno,
- pro umístění obrazů platí pravidla pravoúhlého promítání,

- hlavní obraz (nárys, nebo hlavní řez) by měl co nejvíce vystihovat tvar daného předmětu,
- předmět má být zobrazen ve funkční poloze nebo poloze vhodné pro výrobu,
- viditelné hrany a obrysy se kreslí souvislou tlustou čarou; zakryté hrany a obrysy se kreslí čárkovanou tenkou čarou, pokud je to nutné k objasnění tvaru.

Kótování

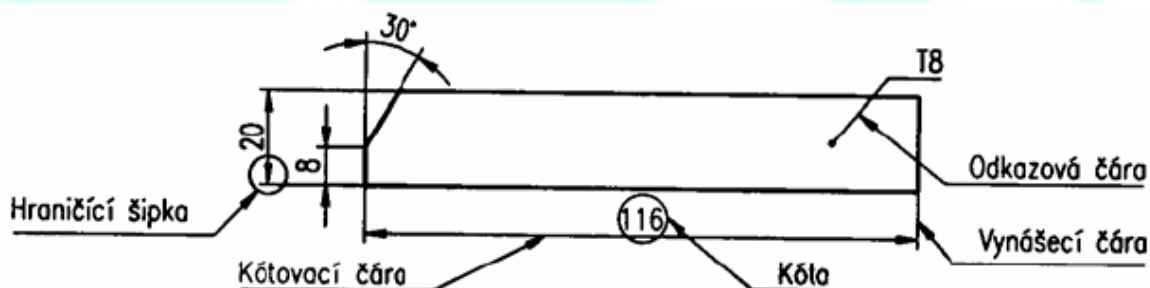
Pro čtení výkresu, tj. určení rozměrů nebo polohy předmětu jsou rozhodující kóty. Z tohoto důvodu je kótování jedna z nejdůležitějších prací na technických výkresech.

Základní pojmy a pravidla kótování:

- **kóta** je číslo určující požadovanou nebo skutečnou velikost rozměrů nebo polohu předmětu a jeho částí, bez zřetele na měřítko, ve kterém je předmět kreslen,
- **délkové rozměry** se kótují na celém výkrese ve stejných jednotkách, převážně v milimetrech, aniž by se uváděla jejich značka (mm),
- **rovinné úhly** se kótují v úhlových stupních, minutách a vteřinách, a za jednotky se vždy přepisují jejich značky,
- každý prvek má být na výkrese kótován pouze jednou,
- kóty se umísťují v tom pohledu nebo řezu, v němž je jasný jejich vztah ke kótovanému prvku; kóty téhož prvku se umísťují pokud možno do jednoho obrazu.

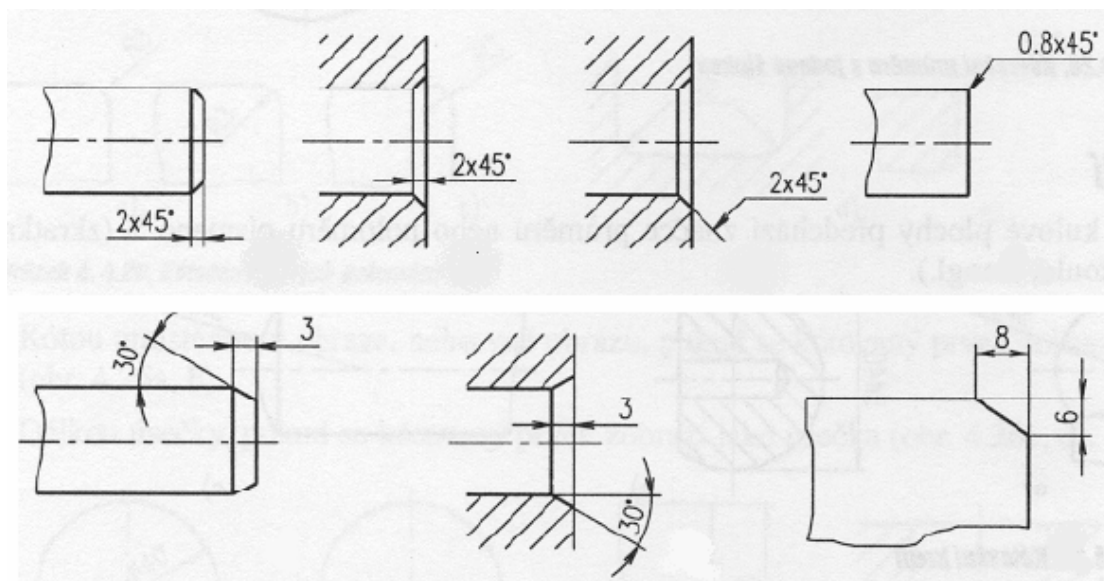
Provedení kót

Formální provedení a uspořádání kót musí odpovídat stanoveným pravidlům tak, aby byla zajištěna jejich jednoznačnost a přehlednost celé soustavy kót. Kóta, kótovací značky i hraniční značky mají při zobrazení přednost, ostatní čáry se v jejich okolí přerušují.



Následuje výčet některých skutečností, které nemusí být z technických výkresů zřejmé.

- **Kótování koulí** – kulová plocha se kótuje průměrem, je-li zobrazena větší část koule, v opačném případě se kótuje poloměrem. Rozměr je uveden písmenem S. Příklad: SØ32.
- **Kótování zkosených hran** – zkosené hrany se kótují délkovým a úhlovým rozměrem. Hrany zkosené pod úhlem 45° se kótují součinem zkosení a úhlu, například 2x45°. Hrany zkosené pod jiným úhlem se musí kótovat dvěma kótami, délkovým a úhlovým rozměrem. Zkosené hrany plochých součástí se mohou kótovat také dvěma délkovými rozměry.



Předepisování mezních úchylek a jakosti povrchu

Předepisování mezních úchylek

Výkresem předepsané rozměry jsou ve skutečnosti pouze teoretické. Při výrobě součástí vznikají nepřesnosti způsobené zvolenou technologií výroby. Je však nutné stanovit a předepsat přesnost, s jakou mají být tyto rozměry vyrobeny. Rozměry, které neplní žádnou funkci, není účelné tolerovat příliš přesně – jejich skutečné rozměry jsou dány tzv. všeobecnými tolerancemi, které jsou dány normou ČSN ISO 2768. Tuto normu s označením s jednou ze čtyř tříd přesnosti musíme vepsat do popisového pole, aby bylo zřejmé, jak přesně mají být vyrobeny veškeré rozměry, které nemají toleranci předepsanou jiným způsobem.

Tolerance můžeme u tzv. funkčních rozměrů předepisovat několika způsoby. Je to předepsáním mezních úchylek, mezních rozměrů, nebo pomocí tzv. tolerančních značek. Pomocí prvních dvou možností víme okamžitě po přečtení výkresu, jaká má být přesnost rozměru, ve třetím případě jsou tolerance určeny specifickým způsobem, kterému říkáme lícování.

Nejprve si musíme vysvětlit pojem toleranční značka. Zápis pomocí toleranční značky je např. $\varnothing 20 \text{ H7}$. 20 je označení rozměru, H je označení tolerančního pole a číslo 7 je toleranční stupeň přesnosti. Označení H7 pak nazýváme toleranční značka. Tyto toleranční značky jsou seskupeny do přehledných tabulek, ze kterých podle rozměrů a tolerančních značek odečítáme požadované úchytky, ze kterých vypočítáme mezní rozměry. Tabulky byly vypracovány pro zjednodušení práce všech profesí, podílejících se na výrobě součástí (od konstruktérů až po dělnické profese).

Předepisování jakosti povrchu

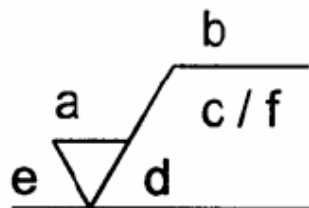
Při výrobě strojních součástí dbáme nejen na přesnost rozměrů, ale také na vzniklé nerovnosti povrchu. Jednotlivé plochy mohou vznikat obráběním, ale může být zachován povrch původní, pokud není nutné jej obrábět. To vše musíme na technickém výkresu nějakým způsobem sdělit.

Jakým způsobem nerovnosti povrchu hodnotíme? Hodnotíme tzv. drsnost povrchu, přičemž používáme ověřený parametr R_a . Počítáme jej jako průměrnou aritmetickou úchylku profilu.

Hodnoty R_a se volí z praktické řady dle tabulek (... 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.3 ...).

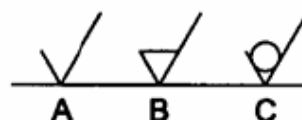
Drsnost povrchu se na výkrese předepisuje pomocí značky struktury povrchu.

- a - hodnota drsnosti R_a , R_z , nebo R_y [μm]
s uvedením značky
- b - zpracování nebo konečná úprava
povrchu (lapováno, leštěno)
- c - hodnota vlnitosti [μm] se značkou
nebo základní délka [mm]
- d - značka směru stop po obrábění
- e - přídavek na obrobení [mm]
- f - značka a hodnota jiného parametru



Význam značky drsnosti:

- typ A - povrch obrobený i neobrobený
- typ B - povrch obrobený
- typ C - povrch neobrobený



Jak vidno na obrázku, značka struktury povrchu má několik variant. Nejprve si popíšeme obrázek první.

Každé písmeno označuje určitý údaj, který se u značky může, ale nemusí objevit. Povinný je údaj s hodnotou drsnosti povrchu (a). Ten je možno zadat pomocí některé ze známých možností – R_a , R_z , či R_y , nejpoužívanější metodou je R_a . Další údaje jsou dostatečně jasné z jejich popisu na obrázku.

Druhý obrázek ukazuje, jakým způsobem se předepisuje opracování povrchu. Varianta „A“ je značka, která způsob opracování blíže nespecifikuje. Nezáleží na tom, zda se požadované hodnoty R_a dosáhne obráběním, či jiným způsobem. Varianta „B“ udává povrch obrobený, v tomto případě musí být povrch obrobený. Poslední varianta „C“ udává povrch součásti neopracovaný, a v tomto případě nesmí být takto označený povrch obrobený.

Kreslení a čtení výkresů základních strojních součástí

Šroubové spoje

Všechny normalizované závity se zobrazují zjednodušeně, nakreslením průmětů válců odpovídajících velkému a malému průměru závitu.

U vnějšího závitu se velký průměr zobrazuje souvislou tlustou čarou a malý průměr souvislou tenkou čarou. U vnitřního závitu je tomu naopak.

U pohledu ve směru osy se malý průměr závitu vyznačí částí kružnice kreslenou souvislou tenkou čarou více než ze tří čtvrtin obvodu.

Funkční délka závitu se vyznačí souvislou tlustou čarou, je-li závit zakrytý pak čárkovanou čarou.

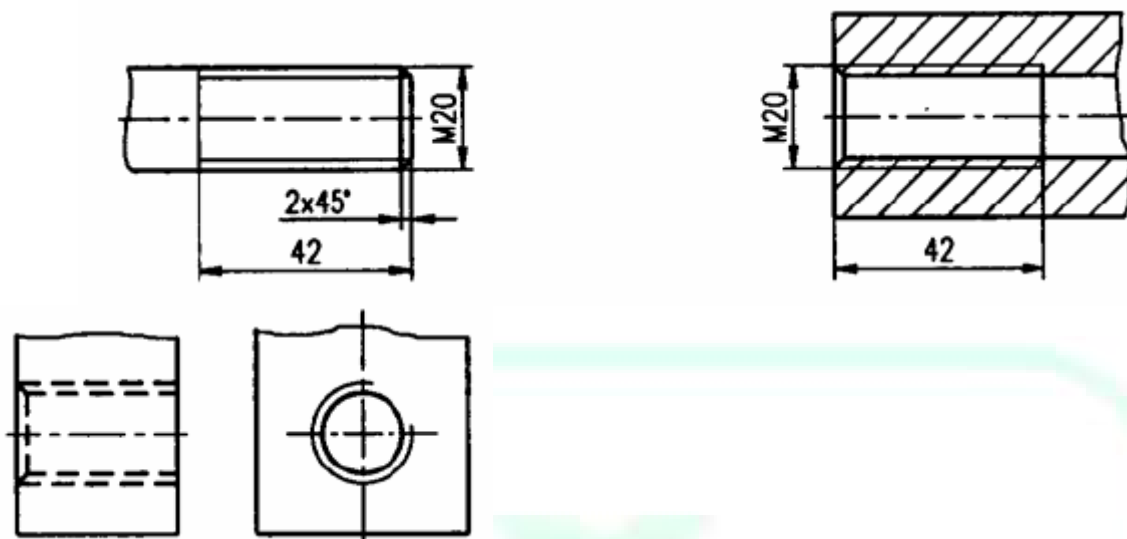
Výběh závitu se nekreslí, pokud to není nutné z důvodu znázornění nebo kótování jeho funkce (např. u závrtného šroubu).

Při kreslení vnitřního závitu se plocha v řezu šrafuje až k malému průměru.

Neviditelný vnitřní závit se kreslí čárkovanou tenkou čarou nebo tlustou, na jednom výkrese vždy stejným typem čáry.

Nenormalizované závity je nutno úplně zobrazit a zakótovat.

Na následujícím obrázku je vidět zobrazování a kótování závitů dle těchto pravidel.

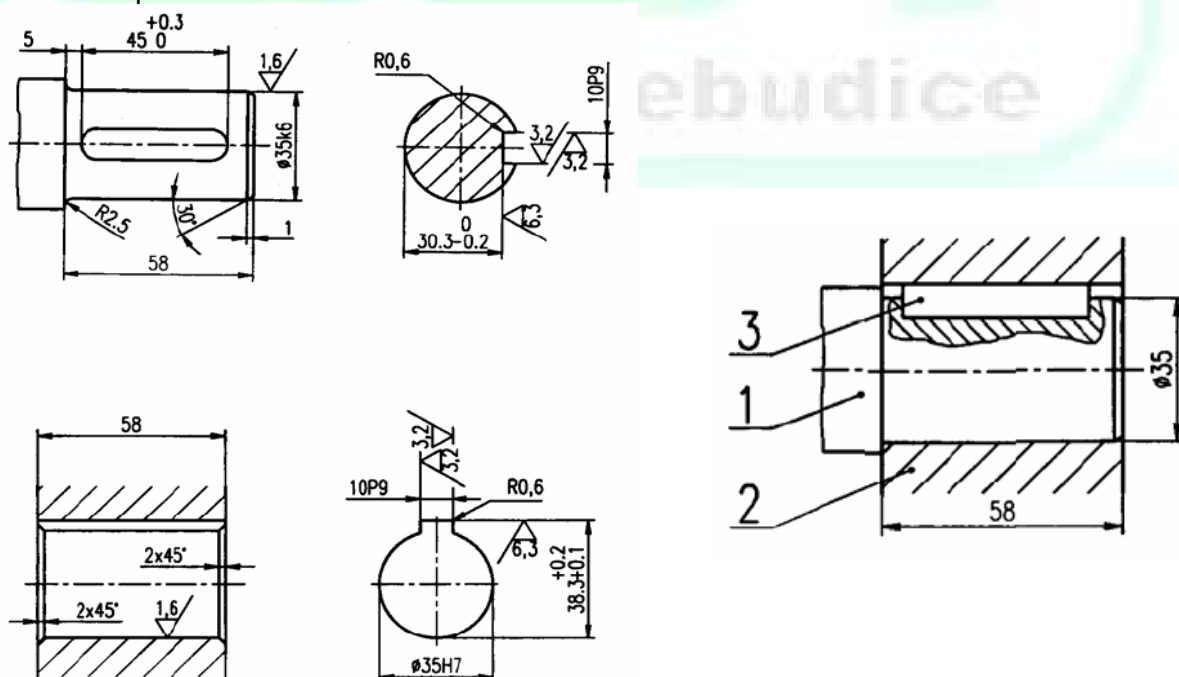


Při kótování závitů musíme dodržovat tato pravidla:

- závity vnější i vnitřní se kótují velkými průměry závitu s udáním značky druhu závitu a funkční délkou bez jeho výběhu,
- u vnitřních závitů se nekótuje průměr předvrtané díry a kuželové zhloubení, je-li provedeno s vrcholovým úhlem 120°,
- závit jiné řady než s hrubým stoupáním se musí označit hodnotou stoupání závitu.

Pera a klíny

Nejčastěji se používají pera těsná. Na obrázku je znázorněno kótování drážky pro pero a zobrazování per na sestavě.



Hřídele, tvarové prvky hřídelů

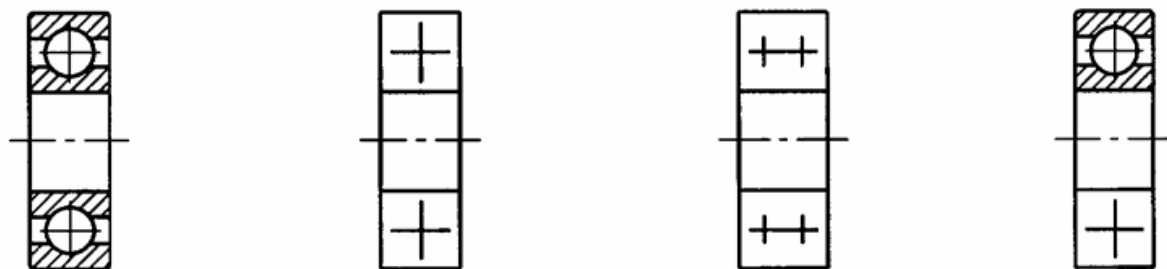
Na výrobních výkresech se hřídele s plným průřezem zobrazují obvykle v podélném pohledu. Duté hřídele se zpravidla kreslí v částečném řezu, ve kterém se i kótují. Drážky pro pera apod. se kreslí a kótují v příčných řezech a průřezech.

Hřídel kreslený na sestavě v řezu se nešrafuje a kreslí se jako nerozříznutý.

Valivá ložiska

Na výkresech sestavení se valivá ložiska zobrazují:

- zjednodušeně s vynecháním zobrazení klece a dalších podrobností; ložiska se obvykle zobrazují v řezu ve funkční poloze plnou tlustou čarou,
- schematicky osovým křížem kresleným souvislou tlustou čarou v místě valivého elementu,
- schematicky s vyznačením počtu valivých elementů, popřípadě s vyznačením tvaru valivých ploch,
- kombinací zjednodušeného a schematického zobrazení.



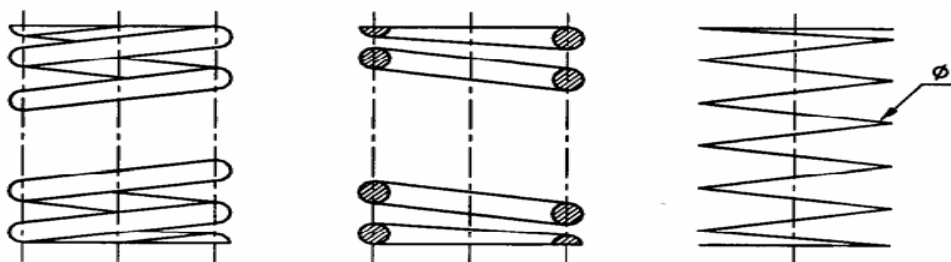
Pružiny

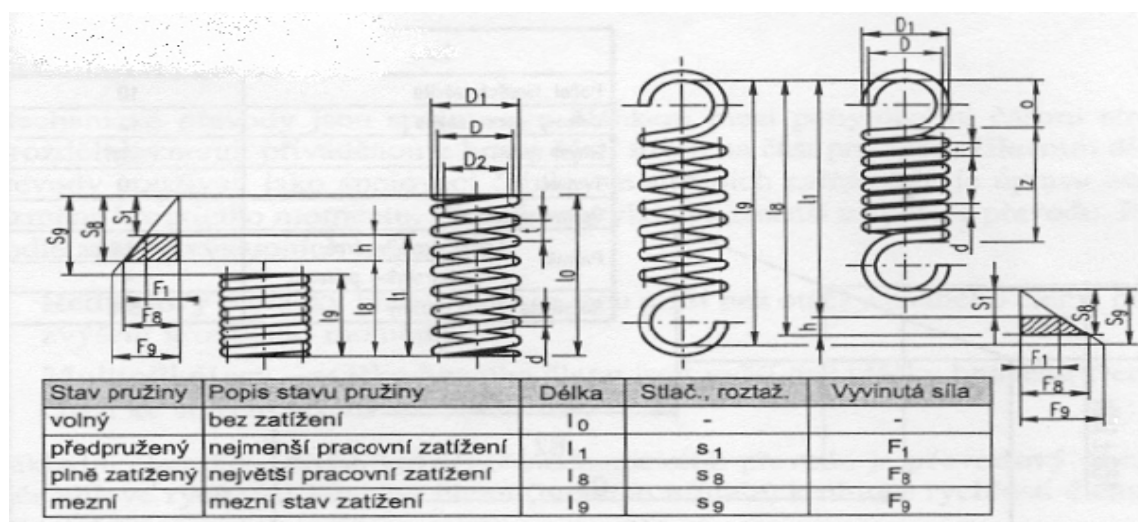
Na výkresech zobrazujeme v pohledu, v řezu, nebo na výkresech sestavení i schematicky.

Na výrobních výkresech zobrazujeme pružiny vždy v nezátíženém stavu, na výkresech sestavení pak v takovém stavu, v jakém se zamontují.

Výkresy pružin obsahují:

- zobrazení pružiny v nezátíženém stavu včetně kótování, tolerancí, drsnosti povrchu;
- pracovní diagram s uvedením stavu pružiny při její funkci;
- další údaje o pružině nutné pro výrobu a kontrolu formou tabulky





Svarové spoje

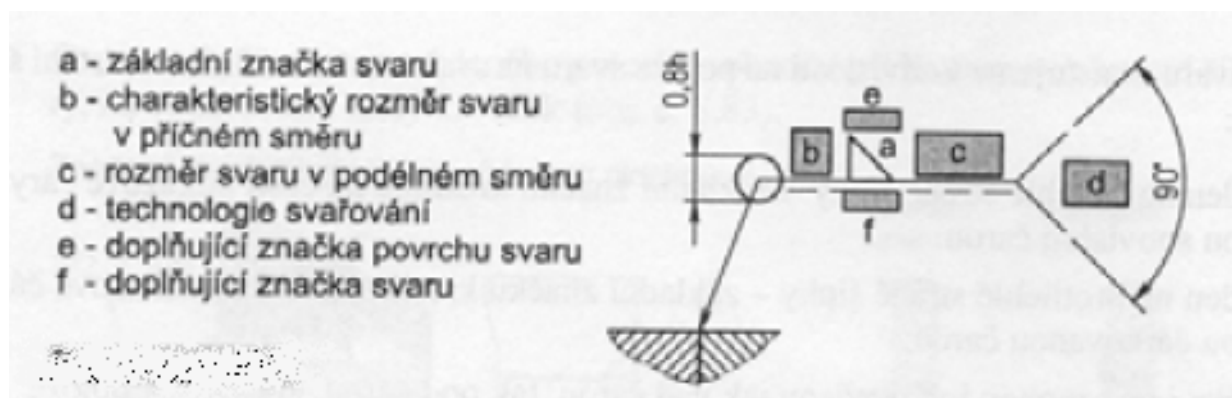
U běžných součástí se kreslí jeden výkres svarku pro svařování a obrábění, který je doplněn o výkresy jednotlivých dílců svarku.

Výkres svarku pro svařování a obrábění obsahuje:

- zobrazení a kótování po úplném dokončení (obrobení);
- strukturu povrchu, popřípadě geometrické tolerance;
- čísla pozic jednotlivých dílů;
- údaje pro svařování;
- vyplněné popisové pole;
- tepelné zpracování.

Svary se na výkrese označují pomocí odkazové čáry. V technické praxi se však často pro názornost i zobrazují. Je-li to nutné, může se svar detailně prokreslit a zobrazit úprava svarových ploch.

Značení svarů na technických výkresech určuje norma ČSN EN 22553. Označení svaru se umísťuje na praporek odkazové čáry. Praporek se přednostně kreslí vodorovně, svisle pouze při nedostatku místa. Praporek tvoří souvislá čára a s ní rovnoběžná čárkovaná čára, která určuje umístění svaru.



Výrobní výkresy

Podklady nutné pro převedení technické myšlenky v hotový výrobek a jeho následné využití se souhrnně nazývají technickou dokumentací. Technickou dokumentaci můžeme rozdělit na konstrukční a technologickou.

Každý výkres součásti musí obsahovat všechny údaje důležité pro výrobu a kontrolu součásti, proto obsahuje:

- zobrazení a kótování součásti,
- strukturu povrchu,
- tolerování rozměrů a geometrické tolerance tam, kde je to z hlediska funkce nezbytné,
- technické požadavky, obvykle zapsané nad popisovým polem v pořadí, které odpovídá výrobnímu sledu, např. povrchová úprava, zkoušky apod.,
- tabulku údajů u výkresů ozubených kol, řetězových kol a pružin,
- popisové pole včetně materiálu a výchozího polotovaru.

Seznámení s moderními směry zhotovování technické dokumentace – systém CAD/CAM

Nasazení CA technologií je výrazným posunem v oblasti konstrukční práce. CA je obecně termín, vyjadřující počítačovou podporu (computer aided), CAD pak vyjadřuje počítačovou podporu navrhování (computer aided design). Hned v úvodu je nutné učinit důležité upozornění. Jakýkoliv počítačový systém není možné zvládnout bez znalosti norem, promítání a zásad technického kreslení. Výpočetní technika je pouhým nástrojem v našich rukách, a jen v rukách toho, kdo s ní umí účelně zacházet, je užitečným prostředkem.

CAD je jednou z větví CA technologií, která je určena pro široké nasazení aplikací výpočetní techniky v praxi. Umožňuje nahradit rutinní práci konstruktérů moderními postupy. Tyto umožňují podstatně rozšířit možnosti konstruktéra nejen o produktivní tvorbu výkresové dokumentace, ale konstruktér získává možnost vytvoření geometrie objektů přibližujících se skutečnosti. Na takto definovaných modelech je možné provést nejen řadu úprav, ale také odvodit jejich základní technické parametry.

Výhodou počítačového návrhu je jeho těsná návaznost na následné technologické činnosti. Vytvořené geometrie lze využít např. pro programování obráběcích strojů. Propojení CAD systému se softwarem označovaným jako CAM (computer aided manufacturing – stanovuje dráhy nástrojů pro obrábění na číslicově řízených strojích) získáváme mocný nástroj, obecně označovaný jako CAD/CAM.

Systémy CAD lze rozdělit v zásadě do čtyř kategorií:

1. CAD pro 2D konstrukci – program, který nejde za hranici dvou rozměrů. Jedná se často o jednoduché programy pro tvorbu náčrtů. Zástupcem tohoto typu programu může být např. obecně známý AutoCAD LT. Programy nejsou většinou vybaveny nástroji pro tvorbu prostorových modelů, ani otevřenou architekturou (interní programovací jazyk). V dnešní době jsou již některé produkty tohoto typu nabízeny volně ke stažení v síti internet.

2. CAD s podporou klasického modelování – mají velmi propracované uživatelské prostředí. Tyto aplikace se vyznačují prostorovým modelářem a otevřenou architekturou. Z konkrétních produktů uveďme např. AutoCAD, BricsCAD apod. Programy této kategorie patří k celosvětovému standardu v oblasti tvorby výkresové dokumentace. Hlavní předností těchto

systémů je jejich zcela univerzální použití ve strojírenství, stavebnictví, geodezii atd. pomocí oborových nadstaveb.

3. generace založené na parametrickém modelování – především ve všeobecném strojírenství a stavebnictví. Jejich koncepce je postavena na parametrickém modelování a otevřené architektuře. Jejich společným rysem je propracovaná metodika obsluhy a snadné osvojení jednotlivých funkcí. Jmenujme např. SolidWorks, Autodesk Inventor, SolidEdge.

4. generace CAD/CAM/CAE – aplikace určené výhradně pro strojírenství. Systémy jsou postaveny na parametrických základech a otevřené architektuře. Jejich cílem je především výrazná podpora komunikace a provázanost jednotlivých fází tvorby nového výrobku. Výrazně se zkracují průběžné časy potřebné pro zpracování a výměnu informací. Jádrem těchto systémů je modelář, který poskytuje data pro kompletní zpracování virtuálního prototypu výrobku pomocí CAD/CAM/CAE. Zástupci jsou Pro/Engineer, Catia, Unigraphics.

Pozn.: parametrický model je takový, který je matematicky popsán pomocí parametrů. Díky tomu je velmi jednoduchá jakákoliv změna.

1.2. Microsoft Windows XP

Základní prostředí, rozdělení oken, ikony

Plocha, Hlavní panel a tlačítko Start

Plocha – představuje pracovní plochu, na které se objeví okna spuštěných programů. Můžeme na ní ukládat dokumenty, vytvářet složky, mohou na ní být umístěny. Zástupci objektů. Může mít libovolnou barvu, nebo na ní může být umístěn nějaký obrázek – tapeta.

Hlavní panel – jsou zde tlačítka spuštěných programů. Většinou jsou na něm:

- *tlačítko Start* (po klepnutí na něj se objeví nabídka činností, funkcí, které můžeme v systému Windows provádět)
- *panel nástrojů* Snadné spuštění (můžeme jedním klepnutím spustit program, jehož zástupce se na něm nachází)
- *tlačítka stále spuštěných programů* (představují programy, které musí běžet stále nebo které se často používají)

Okno programu, názvy jeho částí - název systému Windows znamená v překladu OKNA. Každý spuštěný program běží ve svém okně:

- *Titulek okna* – zde je uveden název datového souboru a název spuštěného programu, ve kterém je tento dokument otevřen.
- *Titulkový pruh* – u aktivních programů je většinou modrý, u neaktivních šedý.
- *Pruh menu* – obsahuje povely a volby programu, který v tomto okně běží.
- *Panel nástrojů* – obsahuje ikony (tlačítka) povelů, které se jinak nacházejí někde v menu.
- *Stavový řádek* – jsou na něm aktuální informace o datovém souboru, který v okně upravujeme.
- *Tlačítka v pravém horním rohu okna* – minimalizační, maximalizační a tlačítko zavřít.
- *Šipky a posuvník* – u pravého okraje okna umožňuje posun obsahu okna.
- *Posouvací pruh* – umožňuje okamžitý přehled o tom, kde se v dokumentu nacházíme.

Dialogová okna: Prvky dialogových oken

- výběr jedné z více možností
- výběr více možností
- zadání textu nebo hodnoty
- okno potvrzení/zrušení akce
- okno vyplnění hodnot
- výběrové pole

Práce se soubory a složkami – program Průzkumník

Pomocí programu **průzkumník** můžeme pracovat se soubory a složkami jako celky. Tedy prohlížet (procházet) jednotlivé složky, vytvářet je a mazat. Soubory můžeme vytvářet, mazat, kopírovat, přejmenovávat, přesouvat atd.

V nabídce **start** se nachází volba **tento počítač** (většinou i na ploše), kde najdeme:

- složky DOKUMENTY všech uživatelů počítače a sdílenou složku DOKUMENTY.
- všechny dostupné jednotky pevných disků.
- výměnné diskové jednotky (disketu, CD mechaniku atd.).

Rychlý přechod na jiné místo:

- vepsat adresu složky do řádku ADRESA (např. C:\Data) a stisknout enter.
- Vybrat disk či složku v seznamu, který se rozvine po klepnutí myši na šipku vpravo u řádku ADRESA.
- přechod na jiné místo v počítači s využitím panelu SLOŽKY (pomocí znamének + a – lze rozbalit další strukturu složek).

Různá zobrazení objektů ve složce

Po klepnutí na tlačítko ZOBRAZIT na panelu nástrojů nebo v nabídce ZOBRAZIT můžeme měnit různé způsoby zobrazení objektů ve složce (např. ikony); podrobnosti o objektech, které vybíráme zaškrtnutím požadovaných informací; obsah panelu nástrojů; nastavení řazení zobrazovaných objektů (např. podle názvu, velikosti, typu atd.).

Další možnosti programu PRŮZKUMNÍK:

- **vytváření, mazání, přejmenování a kopírování objektů** – všechny operace se soubory je možné provést více způsoby. Všechny volby bývají v místní nabídce (ta se zobrazí po klepnutí na soubor pravým tlačítkem), nebo se dají použít funkční klávesy (v hlavní nabídce volba ÚPRAVY) a klávesové zkratky. Nejprůhlednější jsou jednotlivé funkce uvedeny na panelu PRÁCE SE SOUBORY A SLOŽKOU v levé části okna složky.
- **komprimace složky** – po klepnutí pravým tlačítkem myši na složku a výběrem možnosti ODESLAT – KOMPRIMOVANÁ SLOŽKA (metoda ZIP). Komprimaci provádíme proto, že zabírají mnohem méně místa na disku nebo jejich odeslání přes Internet bude trvat mnohem kratší dobu. Dekomprimaci provádíme výběrem možnosti EXTRAHOVAT VŠE po klepnutí pravým tlačítkem myši.
- **zapisování souborů na disk CD-R nebo CD-RW a jejich mazání.**
- **zabezpečení složky před jinými uživateli, sdílení dokumentů** – v levé části okna stačí kliknout na odkaz SDÍLET TUTO SLOŽKU nebo pravým tlačítkem myši kliknout na složku a vybrat SDÍLENÍ A ZABEZPEČENÍ a zaškrtnout políčko SOUKROMÁ SLOŽKA. Obdobným způsobem můžeme zaškrtnout možnost SLOŽKA SDÍLENÁ V SÍTI, povolit uživatelům v síti měnit mé soubory atd.

- **měnit vlastnosti objektů** – po klepnutí na objekt v levé části okna složky dole v části PODROBNOSTI nebo pravým tlačítkem myši a výběrem možnosti VLASTNOSTI OBJEKTU.
- **hledání souborů nebo složek** – na panelu nástrojů klepnout na tlačítko hledat (můžeme vyhledávat podle různých parametrů – např. podle obsahu souboru podle názvu, podle data jeho vytvoření atd.).
- **vytvoření zástupce programu, složky nebo dokumentu** – ikonu zástupce poznáme podle černé šipky v jejím levém spodním rohu. Můžeme jej vytvořit přetažením pravým tlačítkem myši, nebo výběrem možnosti ODESLAT.

Používané aplikace

Nápověda: Běží ve svém okně jako samostatný program, můžeme ji tedy nechat běžet a pracovat v programu.

- **Nápověda k tlačítkům** – ukážeme myši na ikonu nebo tlačítko na panelu nástrojů. Po chvíli se ukáže „bublinová“ nápověda. Po jakémkoliv pohybu opět zmizí.
- **Nápověda v dialogovém okně** – stačí klepnout na ikonu otazníku [?].
- **Otevření nápovědy k právě spuštěnému programu** – stiskneme klávesu F1 nebo vybereme úplně vpravo nabídku NÁPOVĚDA, volbu OBSAH A REJSTŘÍK.
- **Nápověda k systému Windows** – lze ji otevřít po klepnutí na tlačítko START a pak na volbu *Nápověda a odborná pomoc*.
- **Programy Příslušenství – Kalkulačka, Mapa znaků, Poznámkový blok a příkazový řádek**
- Po klepnutí na Start – všechny programy – příslušenství můžeme zobrazit **kalkulačku, mapu znaků, poznámkový blok, příkazový řádek a WordPad**.

Kalkulačka: Umožňuje přepnutí ze standardní na vědeckou, která obsahuje kromě základních matematických operací i goniometrické a další funkce. Přepnout ji lze v nabídce zobrazit.

Mapa znaků: Program mapa znaků zobrazí a dovolí použít všechny znaky, které určité písmo obsahuje, tedy nejen ty, které lze zapsat pomocí klávesnice. Chceme-li zapsat znaky, které nejsou na klávesnici, musíme vybrat písmo, ze kterého budeme vybírat požadovaný znak. Na znak poklepeme a zadáme vybrat. Klepnutím na tlačítko *kopírovat* se vybraný znak nakopíruje do schránky, ze které ho lze vložit do libovolné aplikace.

Poznámkový blok: Jde o nejjednodušší program na pořizování a opravy textů. Neumožňuje změnu písma, jeho velikosti, stylu ani formátování odstavců. Používá se na čtení a úpravu nastavovacích a systémových textových souborů.

Příkazový řádek: Umožňuje zadávat řádkové příkazy systému DOS. Využívají ho odborníci a správci systému.

WordPad: Jde o jednoduchý textový editor, který umožňuje napsání krátkých textů. Nemá řadu užitečných funkcí, které obsahuje např. program Word.

Program Malování: Můžeme v něm vytvořit jednoduché rastrové obrázky (rastrový obrázek se skládá z bodů, kterým se říká pixely. Každý bod má určitou barvu a z množství barevných bodů – tj. z rastru vzniká výsledný obrázek).

Panel kreslicích nástrojů je umístěn ve sloupci v levé části okna, pod ním je panel upřesnění vlastností vybraného nástroje, vlevo dole v okně je panel barev.

Přehrávání hudby, videa a práce s multimediálními soubory

Nastavení systému

Informace o počítači a operačním systému: Klepneme pravým tlačítkem myši na volbu *tento počítač* v nabídce *start* a úplně dole vybereme volbu *vlastnosti*.

Na záložce *obecné* jsou informace o:

- typu, vydání a čísla vaší verze operačního systému,
- uživateli, který je v systému registrován,
- typu procesoru počítače a velikosti operační paměti.

Ovládací panely: V této složce najdeme zástupce programů a funkcí, které umožňují upravit vzhled a chování systému Windows.

K dispozici jsou:

- *uživatelská nastavení* – tzn. nastavení vzhledu nebo reakce systému Windows.
- *systémová nastavení* – tzn. nastavení základních parametrů a funkcí systému Windows.

Složku *Ovládací panely* najdeme v nabídce *Start*, po výběru volby *Ovládací panely*.

Hlavní panel a ikony na něm, tlačítko Start:

Na hlavním panelu je zobrazen *Panel jazyků*, na kterém je indikátor právě aktivní klávesnice, kterou můžeme měnit po klepnutí na tuto ikonu nebo klávesovou zkratkou levý Alt + Shift. Můžeme zde dále přidávat a odebírat další klávesnice. Na *Panelu jazyků* klepneme na tlačítko *Možnosti* a vybereme volbu *Nastavení*.

Datum a čas: Je umístěn vpravo dole na Hlavním panelu. Po poklepání na něj jej můžeme nastavit. Můžeme se rovněž připojit k Internetu a čas aktualizovat.

Odemknutí a zamknutí Hlavního panelu: Klepneme pravým tlačítkem myši kamkoliv do prázdného místa na Hlavním panelu (ne na tlačítko ani na ikonu), kde v kontextové nabídce můžeme uzamknout Hlavní panel nebo uzamknutí zrušit.

Obdobným způsobem můžeme zapnout popř. vypnout *Panely nástrojů*, které mohou být součástí Hlavního panelu. Můžeme zde v okně *Vlastnosti* Hlavního panelu nastavit jeho chování (např. zda se bude objevovat ihned po zapnutí systému nebo až po klepnutí myši).

Nabídka Start: Můžeme nastavit její vzhled, jestliže ji otevřeme a klepneme pravým tlačítkem myši nahoře v pruhu s názvem aktuálního uživatele počítače. Klepneme na tlačítko *Vlastnosti*.

Nastavení obsahu nabídky Start: Pravý sloupec nabídky je dán. V levém sloupci se objevují zástupci naposledy spuštěných programů. Po klepnutí na tlačítko *Vlastní*, v okně *Vlastností* nabídky Start, můžeme určit počet těchto programů i vymazat jejich seznam, nastavit velikost ikon a další parametry chování nabídky Start.

Vzhled systému a parametry zobrazení: Volby vzhledu systému najdeme v nabídce *Start – Ovládací panely*, ve volbě *Vzhled a Motivy*. Můžeme je rovněž nastavit po klepnutí pravým tlačítkem myši kdekoli na ploše mimo ikony. Zde je možné nastavit *Motivy*, *Plochu*, *Spořič obrazovky*, *Vzhled* a její nastavení.

Použití efektů vzhledem k výkonu počítače: Všechny efekty najednou můžeme nastavit přes *Ovládací panely*. Vybereme odkaz *Výkon a údržba* a potom *Upravit vizuální efekty*.

Rychlé nastavení je k dispozici v horní části okna. Pokud vybereme *Vlastní nastavení efektů*, můžeme povolit/zakázat každou položku samostatně.

Instalace/Odebrání součástí systému Windows: Ovládací panel *Přidat nebo Odebrat programy* otevřeme přes tlačítko *Start – Ovládací panely*. V okně *Přidat nebo Odebrat programy* klepneme na tlačítko *Součásti systému*. Zatrhneme políčko u součásti systému, kterou chceme přidat nebo zrušíme zaškrtnutí u políčka součástí, které chceme odebrat. Podobně můžeme odstranit i programy ze systému. Postup je stejný, pouze po výběru programu, který chceme ze systému odebrat, klepneme na tlačítko *Změnit či odebrat*.

Kontrola disku (program Scandisk): V nabídce *Start* klepneme na volbu *Tento počítač*. Klepneme pravým tlačítkem myši na ikonu disku, který chceme zkontrolovat, a vybereme úplně dole volbu *Vlastnosti*. V okně, které se objeví, vybereme kartu *Nástroje* a klepneme na tlačítko *Zkontrolovat*.

Defragmentace disku: Postupujeme obdobně jako při kontrole disku, jen na kartě *Nástroje* klepneme na tlačítko *Defragmentovat*.

Pozn.: Defragmentace disku je spojení souborů do souvislé oblasti a jejím cílem je urychlení načítání souborů do paměti.

Vyčištění disku – získání volného místa: Program vyčištění disku spustíme přes *Start – Všechny programy – Příslušenství – Systémové nástroje – Vyčištění disku*. Po startu programu vybereme disk, který chceme vyčistit.

1.3. Uživatelské znalosti programu Microsoft Office Word

Vytvoření dokumentu

Co všechno v okně Wordu vidíme a co to znamená?

Obdélník, který se objeví po spuštění programu, se jmenuje Okno programu, ve kterém je všechno ostatní. Okno má *Hlavní lištu*, za kterou se dá celé okno uchopit a přenést jinam. Pod lištou jsou *Nabídky* (říká se jim také menu). Pod nabídkami jsou *Nástrojové panely*. V nich jsou na tlačítka „vyvedeny“ nejdůležitější a nejčastěji používané příkazy. Na *Pracovní ploše* vytváříme a upravujeme vlastní dokument. Pod oknem je několik *Přepínačů vzhledu okna s dokumentem* a úplně spodní pás se nazývá *Stavový řádek*, zde se objevují informace o některých důležitých nastavení programu, které je zde možné upravovat.

Psaní a editace textu

Psaní neobvyklých znaků

Nastavíme textový kurzor na místo, kam chceme znak vložit. Z nabídky *VLOŽIT* spustíme příkaz *SYMBOL*. Nalezneme požadovaný symbol a dvakrát na něj klepneme levým tlačítkem myši – a symbol se vloží do dokumentu.

Náprava nepovedeného příkazu nebo psaní

- stisk tlačítka *Zpět* ve standardním panelu
- užití klávesové zkratky *Ctrl + Z*
- zadání příkazu *Zpět* z nabídky *Úpravy*

Přesouvání a kopírování větších částí textu

- výběr vlečením myši

- výběr klepáním myš (poklepáním na jednom místě vybere jedno slovo, trojí klepnutí vybere celý odstavec)
- výběr celé věty - umístíme kurzor kamkoli do věty, přidržíme klávesu Ctrl a stiskneme levé tlačítko myši
- výběr pomocí klávesnice, když přidržíme klávesu Shift a pohybujeme kurzorem pomocí kurzorových kláves
- výběr svislého bloku – provádí se opět vlečením myš, ale s přidrženou klávesou Alt
- výběr veškerého textu v dokumentu – stiskneme Ctrl + A

Přesouvání a kopírování s využitím schránky

Nejdříve vybereme část textu, kterou chceme přesunout. Pak stiskneme klávesovou zkratku *Ctrl + X*. Přesuneme kurzor na místo, kam chceme text vložit a stiskneme klávesovou zkratku *Ctrl + V* – text se zde objeví.

Při kopírování vybereme část textu a stiskneme *Ctrl + C*, poté následuje vložení textu přes *Ctrl + V*.

Formátování textu

Vždy nejprve vybereme text, který chceme upravovat a pak:

- pro převedení textu na tučný stiskneme *Ctrl + B*
- na kurzívu *Ctrl + I*
- pro podtržení *Ctrl + U*

Klávesové zkratky můžeme vzájemně kombinovat.

Pozn.: Pro tučný text, kurzívu a podtržení můžeme využít i Panel nástrojů, nabídku *Formát - Písmo*.

Nastavení velikosti písma

V roletce na Panelu nástrojů ukážeme myši do prostoru roletky a napíšeme zde velikost písma, popřípadě vybereme z nabízených možností.

Změna písma

Pro změnu samotného písma (fontu) použijeme volič s roletkou, který je vlevo od voliče velikosti písma.

Centrální nastavení parametrů písma

Příkazem *PÍSMO* z nabídky *FORMÁT* se otevře dialogový panel *PÍSMO*. Zde můžeme nastavit například typ písma, jeho barvu, styl podtržení, řez písma, velikost, proložení znaků, textové efekty, atd.

Formátování textu – odstavec

Na rozdíl od vlastností písma, které lze nastavit pro každý jednotlivý znak samostatně, příkazy pro formátování odstavce se vždy týkají všech jeho znaků, slov i vět. Typická nastavení týkající se pouze odstavců jsou třeba zarovnání (doleva, doprava, na střed, do bloku), odsazení od kraje stránky, řádkování, atd. Všechny parametry lze nastavit výběrem nabídky *FORMÁT – ODSTAVEC*. Stejná nabídka se objeví po kliknutí pravým tlačítkem myši v kterékoli části odstavce.

Vytvoření číslovaného seznamu

Stačí pouze napsat první odstavec s úvodním číslováním a ukončit jej klávesou Enter. Word sám vytvoří číslovaný odstavec. Všechny parametry pro úpravu číslovaného seznamu můžeme nastavit v dialogovém panelu, který otevřeme příkazem *ODRÁŽKY A ČÍSLOVÁNÍ* z nabídky *FORMÁT*. Tutéž nabídku vyvoláme pravým tlačítkem myši. Nejdříve je ovšem nutné vybrat (označit do bloku) seznam, na který chceme úpravy aplikovat.

Tabulátory

Posun na jednotlivé tabulační zářázky provedeme stiskem klávesy Tab. Pro nastavení zářazek si nejdříve musíme zobrazit vodorovné pravítko. Z nabídky *ZOBRAZIT* zadáme příkaz *PRAVÍTKO*. Nyní stačí klepat do prostoru pravítka, a zářázky se vkládají. Volbu druhů zářazek provádíme klepáním do levého rohu pravítka, kde je značka zářázky a tím určujeme druh zářázky.

Nastavení parametrů tisku

Z nabídky *Soubor* vybereme možnost *Tisk*. Zde můžeme nastavit všechny parametry tištěného dokumentu.

V nabídce *Soubor* můžeme rovněž nastavit *Vzhled stránky* (např. okraje, formát papíru, rozvržení, orientaci, atd.)

Před samotným tiskem je užitečná volba *Náhled stránky*, kde si můžeme zkontrolovat jak bude vytištěná stránka doopravdy vypadat.

Styly, jejich využití a tvorba

Styly, rámečky, sloupce a další formátovací možnosti

Přiřazení stylu vytvořenému textu

Ukážeme kurzorem do odstavce, kterému chceme přiřadit styl. Nyní klepneme do roletky v panelu nástrojů vlevo od voliče písma. Vybereme některý ze stylu v seznamu. Nabídku stylů, které jsou k dispozici, můžeme prohlížet z nabídky *FORMÁT* po zadání příkazu *STYL*. Z roletky *SEZNAM* vybereme *VŠECHNY STYLY*. Můžeme zde rovněž vytvořit zcela nový styl nebo stávající upravit.

Vytvoření vícesloupcové sazby

Jde o dokument, ve kterém bude více sloupců textu vedle sebe. Z nabídky *FORMÁT* spustíme příkaz *SLOUPCE*. Zde zvolíme, kolik sloupců má stránka mít.

Rámeček okolo textu

Vybereme text, popř. odstavec, který chceme ohraničit rámečkem. Z nabídky *FORMÁT* zadáme příkaz *OHRANIČENÍ A STÍNOVÁNÍ*. Obdobným způsobem můžeme provést i orámování stránky.

V nabídce *FORMÁT* můžeme nastavit i vzory, barevné přechody a jiné efekty na pozadí stránky.

Obtékání pole okolním textem

Vybereme textové pole a z nabídky *FORMÁT* zadáme příkaz *TEXTOVÉ POLE*, v něm otevřeme kartu *POZICE* (můžeme vybrat styl obtékání v textu, obdélník, těsné, za textem a před textem).

Opravy pravopisných chyb, práce s jazykem

Kontrola překlepů

Textový kurzor umístíme na začátek dokumentu a stiskneme klávesu *F7*. Můžeme i z nabídky *NÁSTROJE* spustit příkaz *PRAVOPIS*. Korektor najde první slovo, které se mu „nezdá“ a v panelu je označí červeně.

Máme tyto možnosti:

- přeskočit
- zaměnit slovo
- přidat do slovníku
- přeskakovat

Ukládání a otevírání dokumentů, různá zobrazení dokumentu

Ukládání dokumentů

Pro uložení dokumentu jej musíme pojmenovat. Dokument uložíme jedním ze tří způsobů:

- klávesovou zkratkou *Ctrl + S*
- stiskem tlačítka *ULOŽIT* (obrázek diskety)
- příkazem za nabídky *SOUBOR - ULOŽIT*

Vždy se objeví stejný dialogový panel, ve kterém musíme především určit místo, kam se dokument uloží, a musíme mu dát jméno. Jméno souboru může být libovolné, jen je zapotřebí dodržet několik omezení:

- délka jména může být nejvýše 255 znaků
- jméno samo nesmí obsahovat znaky: /, \, <, >, *, :, ?, „, |, :.
- všechny ostatní znaky jsou povolené

Zobrazení osnovy

Z běžného zobrazení přejdeme k osnově příkazem *OSNOVA* z nabídky *ZOBRAZIT*. Osnova se dá s výhodou využít k tisku, rychlému vyhledání částí dokumentu a seřídění odstavců.

Vkládání dalších prvků do dokumentu a práce s nimi

Vložení obrázku

Umístíme kurzor do textu na místo, kam budeme chtít obrázek vložit. Z nabídky *VLOŽIT* spustíme příkaz *OBRÁZEK*, kde můžeme zvolit tyto možnosti: Klipart ze souboru Automatické tvary, WordArt, ze Scanneru nebo Fotoaparátu. Veškeré úpravy obrázku lze provést výběrem nabídky *FORMÁT – OBRÁZEK* z panelu nástrojů. Tutéž nabídku lze vyvolat tak, že označíme vložený objekt a stiskneme pravé tlačítko myši.

Vložení komentáře

Je to něco jako poznámka napsaná korektorem na okraj nebo přilepená k textu – obvykle se netiskne a slouží původnímu autorovi nebo dalším osobám, které pracují s dokumentem. Komentář se vždy vztahuje k určitému místu v textu, proto do tohoto místa nejdříve vložíme textový kurzor. Pak z nabídky **VLOŽIT** spustíme příkaz **KOMENTÁŘ**.

Poznámka pod čarou a vysvětlivka

Na rozdíl od komentáře se poznámky pod čarou i vysvětlivky spolu s dokumentem zobrazují i tisknou. Poznámka pod čarou je umístěna dole na té stránce, kde je na tuto poznámku odkaz, zatímco vysvětlivka až na konci dokumentu. Poznámku pod čarou i vysvětlivku vložíme z nabídky **VLOŽIT** příkazem **POZNÁMKA POD ČAROU**. V dialogu volíme, co si přejeme vložit, provedeme případné další nastavení a stiskneme OK. Nyní se objeví panel podobný komentářům, do kterého zadáme poznámku pod čarou a stiskneme zavřít.

Vložení konce stránky, sloupce a oddílu

Pokud chceme ukončit text na dané stránce, sloupci nebo v oddílu, nastavíme kurzor na místo, kde má být text ukončen. Pak z nabídky **VLOŽIT** spustíme příkaz **KONEC** a v následujícím dialogu zvolíme způsob ukončení:

- Konec stránky
- Zalomení sloupce
- Konec obtékání obrázku
- Konec oddílu.

Vložení titulku

Titulek je číslovaný popisek (např. obrázku, grafu atd.). nejdříve vybereme objekt, který chceme otitulkovat, a pak spustíme příkaz **TITULEK** z nabídky **VLOŽIT**.

Nástroje

Vyhledávání v dokumentu

Pro nalezení požadovaného slova, části slova nebo celého výrazu v otevřeném dokumentu zadáváme klávesovou zkratku **Ctrl+F**. Můžeme rovněž použít příkaz **NAJÍT** z nabídky **ÚPRAVY**. Do políčka zadáme to, co hledáme – může to být jedno slovo, libovolná část slova nebo výraz a stiskneme **NAJÍT DALŠÍ**. Program najde první výskyt hledaného výrazu v dokumentu, přeskočí na něj a zobrazí jej inverzně. Potřebujeme-li najít další výskyt hledaného výrazu, klepneme na tlačítko **NAJÍT DALŠÍ** nebo jen na klávesu **Enter**.

Vyhledávání a nahrazování textu

Pro vyhledání s nahrazením stiskneme klávesovou zkratku **Ctrl+H**. Do pole **NAJÍT** zadáme vyhledávaný text, do pole **NAHRADIT ZA** napíšeme text, který má nalezený výraz nahradit, a stiskneme tlačítko **NAHRADIT**.

Panel nástrojů – zapínání a vypínání

Pro různé činnosti nabízí Word **panely nástrojů** – proužky s tlačítky označenými obrázkovými ikonami pro spouštění nejdůležitějších funkcí.

Panely nástrojů lze přidávat a odebírat dvěma způsoby:

- z nabídky **ZOBRAZIT** vybereme **PANELY NÁSTROJŮ**.
- ukážeme myši kamkoli do prostoru nástrojů a stiskneme pravé tlačítko; objeví se seznam panelů nástrojů, které jsou k dispozici.

Ty panely, které jsou zobrazené, mají vlevo zatržítka; chceme-li zobrazit některý z dalších panelů, klepneme na něj.

Přidání a odebrání tlačítek do panelu nástrojů

Na pravé straně každého panelu nástrojů, když je upevněný, případně v levém horním rohu panelu plovoucího, je malá šipka natočená směrem dolů. Po jejím stisku se objeví příkaz **PŘIDAT NEBO ODEBRAT TLAČÍTKA** a po stisku tohoto tlačítka se otevře seznam tlačítek a jim přiřazených příkazů. Vlevo vedle tlačítka je volný prostor – když do něj klepneme myší, objeví se zatržítka a tlačítko je tak přiřazeno do panelu nástrojů. Tak můžeme měnit standardní výbavu daného panelu nástrojů.

Vytvoření obsahu a rejstříku

Umístíme kurzor na místo, kde má být obsah vytvořen – obvykle na začátek dokumentu. Z nabídky **VLOŽIT** spustíme příkaz **REJSTŘÍK A SEZNAMY** a v jeho dialogu zvolíme kartu **OBSAH**. Zvolíme v políčku **ZOBRAZIT ÚROVNĚ**, kolik úrovní nadpisů má být v obsahu zahrnuto, a klepneme na OK.

Obdobným způsobem vytváříme i rejstřík. Pro ten vybereme kartu **REJSTŘÍK** a klepneme na tlačítko **OZNAČIT**. Otevře se panel, který je na obrazovce po celou dobu označování položek, pracujeme tedy současně s textem a s tímto panelem.

Tvorba a úprava tabulek

Tvorba tabulek a grafů

Pro tvorbu tabulek a grafů se používají dva typické a časté způsoby:

- **V Excelu.** Tabulku nebo graf vytvoříme v programu Excel včetně naplnění daty, a pak je umístíme přes schránku do dokumentu ve Wordu.
- **Ve Wordu.** Tabulku nebo graf přímo vytvoříme prázdnou ve Wordu jedním ze tří možných způsobů, a pak ji naplníme daty.

Vytvoření tabulky ve Wordu

Máme tři možnosti:

- z nabídky **TABULKA** příkazem **NAVRHNOUT TABULKU** ji ručně nakreslit (program naše kreslení od ruky napraví do vodorovných a svislých linek)
- z nabídky **TABULKA** příkazem **NAVRHNOUT TABULKU** zadáme základní parametry tabulky a Word ji podle nich vytvoří
- výběrem textu a z nabídky **TABULKA** příkazem **PŘEVÉST – TEXT NA TABULKU** vytvoříme z textu tabulku skutečnou.

Ruční nakreslení tabulky

Z nabídky **TABULKA** zvolíme příkaz **NAVRHNOUT TABULKU**. Místo kurzoru se objeví tužka, a tou také jako tužkou po obrazovce kreslíme.

Vytvoření tabulky vložením

Z nabídky **TABULKA** zadejte příkaz **VLOŽIT TABULKU**. Dialogový panel slouží k zadání parametrů: **POČET SLOUPCŮ** a **POČET ŘÁDKŮ**.

Sekce **VLASTNOSTI AUTOMATICKÉHO PŘÍZPŮSOBNÍ** určuje, jak se bude vytvářet a měnit šířka sloupce. Buď je nastavena na **pevnou šířku**, tj. pokud je text delší, zalamuje se na další řádek, nebo se **přizpůsobuje obsahu**, tj. delší text automaticky „roztahuje“ sloupec, nebo se **přizpůsobuje oknu** internetového prohlížeče. Po zadání parametrů stiskneme OK.

Panel nástrojů Tabulka

Při vytvoření tabulky se v okně Wordu objeví panel nástrojů **TABULKY A OHRANIČENÍ**. Ten nám bude pomocníkem zejména při nejrozličnějších úpravách tabulky.

Jeho funkce umožňují:

- navržení tabulky volným kreslením,
- mazání vybrané části tabulky,
- nastavení stylu čáry,
- nastavení tloušťky čáry,
- nastavení barvy čáry,
- příkaz provádějící ohraničení,
- vyplnění,
- vložení tabulky, vložení sloupců, řádků nebo buněk do existující tabulky,
- sloučení buněk,
- rozdělení buněk,
- zarovnání textu v buňce,
- nastavení všech řádků na stejnou výšku,
- nastavení všech sloupců na stejnou šířku,
- použití předpřipraveného formátování celé tabulky,
- přepnutí textu v buňce na svislý,
- seřazení tabulky vzestupně nebo sestupně,
- vložení funkce pro součet hodnot buněk.

Tvorba a úprava grafů

Vytvoření grafu

Nejdříve umístíme kurzor na místo budoucího grafu, pak z nabídky **VLOŽIT** zadáme příkaz **OBRÁZEK** a dále **GRAF**. Na místo kurzoru se vloží graf a otevře se současně *řídící tabulka grafu*, které graf odpovídá.

Úpravy vzhledu grafu

Když je graf vybrán, je okolo něj viditelný šrafovaný rámeček. Nyní můžeme ukazovat na jednotlivé prvky grafu, čímž je vybereme – na důkaz výběru tohoto či onoho prvku grafu se zobrazí v jeho rozích dva nebo čtyři černé vodící čtverečky. Takto můžeme vybírat každý prvek grafu. Po poklepání na vybraný prvek se otevře dialogový panel, který umožňuje úpravy vzhledu tohoto prvku – u každého je to něco jiného.

Jiné druhy grafu

Po vytvoření grafu klepneme někde do textu, aby zmizela řídící tabulka grafu. Nyní pravým tlačítkem myši klepneme někde do prostoru grafu a z kontextové nabídky zadáme *GRAF – OTEVŘÍT*. Spustí se programový modul *MICROSOFT GRAPH*, kde je více možností práce s grafem. Změnu grafu na jiný typ provedeme klepnutím na šipku vpravo vedle ikony tlačítka *TYP GRAFU*, po klepnutí na vybraný typ grafu dojde okamžitě ke změně.

Programový modul *MICROSOFT GRAPH* nabízí ještě další úpravy vzhledu i obsahu grafu:

- zapnutí/vypnutí legendy,
- zapnutí/vypnutí svislé a vodorovné mřížky,
- zobrazení/skrytí tabulky dat,
- záměnu sloupců na řádky,
- možnosti trojrozměrného grafu,
- efektní grafy,
- rozměry grafu, pozadí, obtékání textu a barevnost.

Kreslení

Možnosti, které Word v kreslení nabízí

Klepneme pravým tlačítkem myši kamkoli do prostoru nabídky nebo na panelu nástrojů a z kontextové nabídky vybereme položku *KRESLENÍ*. Druhou možností je vybrat nabídku *ZOBRAZIT – PANELY NÁSTROJŮ* a vybrat *KRESLENÍ* (zaškrtně se). Na spodním okraji obrazovky se objeví panel nástrojů, kde vidíme, jaké možnosti kreslení ve Wordu máme: je to čárová grafika, jako jsou úsečky, křivky, kružnice a spousta různých jednoduchých předpřipravených tvarů. Můžeme jim přiřazovat barvy, tloušťku, výplň, stínování a prostorové efekty. Pro ozdobné texty použijeme speciální modul s názvem *WORDART*.

Nakreslení úsečky

Úsečku nakreslíme tak, že klepneme myší na nástroj *ÚSEČKA*, pak její kurzor nastavíme na místo jednoho z krajních bodů budoucí úsečky a při stisknutí levém tlačítku tahem myší úsečku nakreslíme.

Kreslení pod úhly 0, 15, 30, 45 atd. stupňů: při kreslení držíme stisknutou klávesu *Shift*. Tak snadno nakreslíme zejména úsečky svislé nebo vodorovné.

Tloušťka a barva úsečky

Po nakreslení úsečky ji vybereme (klepneme na ni myší). Nyní klepnutím na šipku vedle tlačítka *BARVA ČÁRY* přiřadíme úsečce potřebnou barvu, a klepnutím na *STYL ČÁRY* její tloušťku nebo styl.

Kreslení šipek

Šipku nakreslíme pomocí nástroje *ŠIPKA*; posupujeme stejným způsobem jako kdybychom kreslili úsečku.

Kreslení křivky

Z nabídky *AUTOMATICKÉ TVARY* v panelu *KRESLENÍ* zvolíme příkaz *ČÁRY* a v grafické podnabídce vybereme položku *KŘIVKA*. Křivku nakreslíme tak, že postupně klepáme na její jednotlivé uzlové body. Pro ukončení kreslení křivky dvakrát klepneme na místě posledního bodu křivky, pokud už nechceme žádný další bod dodávat, stiskneme klávesu *Esc*.

Kreslení „klikaté čáry“

Pro kreslení stylem „stejně jako tužkou“ zvolíme z panelu **KRESLENÍ** příkaz **AUTOMATICKÉ TVARY**, zde **ČÁRY** a zde **KLYKYHÁKY**. Nyní kreslíme myší stejně jako tužkou s přidrženým levým tlačítkem myši. Jakmile ladítko uvolníme, kreslení se ukončí.

Kresba uzavřeného obrazce

Z panelu **KRESLENÍ** z nabídky **AUTOMATICKÉ TVARY** zvolíme podnabídku **ČÁRY** a dále **VOLNÝ TVAR**.

Posouvání a natáčení čáry

Čáru sice můžeme posouvat jednoduše uchopením a vlečením, ale ještě jsou k dispozici dvě možnosti úpravy pomocí klávesnice:

- vybereme objekt a klepnutím na kurzorové klávesy se objekt posouvá v daném směru
- pokud současně při držení kurzorové klávesy držíme Ctrl, objekt se posouvá pomaleji (je vhodné pro jemné doladění polohy).

Otáčení čáry

Uchopením za jeden z uchopovacích bodů v koncích čáry (malý průhledný čtvereček), vyčkáme, až se kurzor změní v obousměrnou šipku. Nyní můžeme otáčet okolo osy druhého uchopovacího bodu.

Čtverce, obdélníky, kružnice a elipsy

Čtverec či obdélník nakreslíme volbou nástroje **OBDÉLNÍK** a vlečením z jednoho rohu do opačného, kružnici a elipsu nakreslíme volbou nástroje **ELIPSA** a vlečením z jednoho rohu do protilehlého. Aby se místo elipsy nebo obdélníku nakreslila přesná kružnice nebo přesný čtverec, podržíme při kreslení klávesu **Shift**.

Výplň obdélníků a elips

Vybereme objekt a šipkou vedle tlačítka **BARVA VÝPLNĚ** rozvineme nabídku s barvami, po klepnutí na požadovanou barvu se objekt vybarví. Více barev získáme nebo namícháme volbou položky **DALŠÍ BARVY VÝPLNĚ**, možnost barevných přechodů, vzorů a textur nalezneme po volbě příkazu **VZHLED VÝPLNĚ**.

Určení, jak objekty leží na sobě

Objekty se kladou na sebe v pořadí, v jakém je kreslíme, novější objekt překrývá starší, které leží pod ním.

Pořadí změníme tak, že objekt vybereme, pravým tlačítkem myši zobrazíme kontextovou nabídku a zadáme příkaz **POŘADÍ**.

Nyní jsou následující možnosti:

- přenést dozadu nebo dopředu,
- přenést blíž nebo dál;
- přenést před text nebo za text.

Vytvoření skupiny objektů

Jakmile vytvoříme ucelenou kresbu, je vhodné jednotlivé objekty seskupit do skupiny. Vybereme všechny objekty, které budeme chtít seskupit; nejsnáze tak, že je ohraničíme pomocným obdélníkem po stisku tlačítka **VYBRAT OBJEKTY** nebo postupným klepnutím na všechny objekty levým tlačítkem myši při stisknuté klávese Shift. Nyní z kontextové nabídky zvolíme příkaz **SESKUPOVÁNÍ – SESKUPIT**.

Skupinu můžeme později oddělit příkazem **SESKUPOVÁNÍ – ODDĚLIT**.

Zrcadlové překlopení objektů

Vybereme požadovaný objekt a z nabídky **KRESLENÍ** zadáme příkaz **OTOČIT ČI PŘEKLOPIT**, a zde **PŘEKLOPIT SVISLE** nebo **VODOROVNĚ** podle toho, kolem které osy chceme zrcadlit.

Tvorba diagramů a vkládání předdefinovaných tvarů

Rozvineme nabídku **AUTOMATICKÉ TVARY**, kde je řada dalších nabídek: základní tvary, plné šipky, vývojové diagramy, hvězdy a nápisy a popisky. Klepnutím na každou z těchto nabídek otevřeme panel s několika desítkami těchto tvarů; vybereme požadovaný a pak klepneme do dokumentu – tvar se vloží.

Práce s mřížkou

Mřížka pomůže především ve vytváření složitějších diagramů: jednotlivé prvky diagramů a jejich spojnice se k ní snadno přimykají a dá se tak snadno dosáhnout úhledného vzhledu diagramu. Z nabídky **KRESLENÍ** zvolíme příkaz **MŘÍŽKA**.

Panel umožňuje následující:

- přichycovat objekty k mřížce;
- přichytit objekty k jiným objektům;
- rozteč mřížky;
- okraje celé mřížky;
- zobrazení/skrytí zobrazení mřížky na obrazovce.

WordArt – vytvoření ozdobného textu

V panelu nástrojů **KRESLENÍ** stiskneme tlačítko **WORDART**. Z nabídky si vybereme styl ozdobení textu, který budeme používat, a klepneme na OK; v dalším panelu napíšeme text, který chceme vložit, vybereme písmo a velikost a klepneme na OK.

Úpravy WordArtu – panel nástrojů. Po vytvoření textu ve stylu WordArt se objeví panel s nástroji pro další úpravy.

Jsou zde tyto možnosti:

- úprava vlastního textu, písma, řezu a velikosti;
- změny stylu;
- barva výplně, barva orámování a tloušťka orámování;
- tvar zakřivení WordArt a jeho stínu;
- všechna písmena textu stejně velká;
- mezery mezi písmeny;
- svislý text;
- zarovnání WordArt.

Stín za nakresleným objektem

Nakreslíme objekt a stiskneme tlačítko *STÍN*. Rozvine se nabídka s celkem dvaceti základními stíny, které simulují různé typy „trojrozměrností“.

Jestliže zvolíme po stisku tlačítka *STÍN* volbu *NASTAVENÍ STÍNU*, objeví se panel umožňující:

- zapnutí a vypnutí stínu;
- posouvání stínu nahoru, dolů, doleva a doprava;
- nastavení barvy stínu;
- částečně průhledný stín.

Třetí rozměr objektu

Nakreslíme objekt a stiskneme tlačítko *3D* v panelu nástrojů *KRESLENÍ*. Z nabídky vybereme formu protažení objektu do třetího rozměru podle schematického znázornění na krychli. Jestliže vybereme příkaz *NASTAVENÍ 3D*, zobrazí se krátký panel s nástroji, které provádějí následující:

- zapnutí a vypnutí 3D;
- rotaci objektu;
- hloubku tělesa;
- osvětlení;
- lesk povrchu a barvu stěn.

Formuláře a hromadná korespondence

Použití formuláře

Formulář je dokument s místy určenými pro zadávání dalších informací.

Vytvoření formuláře úpravou z připraveného vzoru

Word osahuje v šablonách rovněž dokumenty formulářového typu. Z nabídky *SOUBOR* zadáme *NOVÝ*, klepneme na kartu *DOPISY A FAXY* a z hlavního pole vybereme *ELEGANTNÍ FAX*. Otevře se dokument, ve kterém vidíme, jak vypadají formulářová pole – jsou to políčka s šedým pozadím, zde je v nich uvedeno [KLEPNĚTE ZDE]. Nyní můžeme vyplňovat formulářová pole.

Vytvoření vlastního formuláře

Nejdříve vytvoříme vlastní dokument a upravíme jej tak, aby byl přehledný a snadno pochopitelný pro toho, kdo jej bude později vyplňovat. Nyní z nabídky *ZOBRAZIT* zadáme *PANELY NÁSTROJŮ* a zde *FORMULÁRE*. Otevře se panel, který budeme při tvorbě formulářů používat.

Základem formuláře jsou tzv. *formulářová pole* – políčka určená pro vyplňování, zaškrťování, výběr z nabídky atd.

Můžeme vložit:

- Textové pole formuláře;
- Zaškrťovací pole, zatržítko;
- Rozbalovací pole;
- Další formulářová políčka.

Úpravy vlastností formulářových políček

Při odemčeném formuláři poklepejte myší na políčko (případně z kontextové nápovědy zadejte příkaz *VLASTNOSTI*). Vlastnosti jsou u každého políčka jiné

Hromadná korespondence

Pokud chceme vytvořit formulářové dopisy, adresní štítky, obálky, adresáře a hromadně distribuovat e-maily a faxy, použijeme podokno úloh *HROMADNÁ KORESPONDENCE* z nabídky *NÁSTROJE*. Vytvoříme zvlášť zdrojový dopis, vedle něj pak máme databázi adres, a funkcí sloučení pak vytvoříme požadované množství dopisů (nebo jiných dokumentů) založených na údajích z databáze.

Postupujte podle následujících základních kroků:

- Otevřeme nebo vytvoříme hlavní dokument.
- Otevřeme nebo vytvoříme [zdroj dat](#) s informacemi o jednotlivých příjemcích.
- Přidáme nebo upravíme [slučovací pole](#) v hlavním dokumentu.
- Provedeme sloučení dat ze zdroje dat do hlavního dokumentu a vytvoříme nový sloučený dokument.

Podokno úloh nás provede všemi uvedenými kroky. Pokud dáváme přednost práci bez podokna úloh, můžeme použít [panel nástrojů](#) Hromadná korespondence. Při obou postupech vznikne z každého řádku (nebo záznamu) ve zdroji dat formulářový dopis, adresní štítek, obálka nebo položka adresáře.

1.4. Uživatelské znalosti programu Microsoft Office Excel

Práce s nabídkou

Obrazovka Excelu – jedna velká tabulka

Když pohybuje myší po obrazovce, pohybuje se po ní malý, silný kříž; jmenuje se kutr myši. Určujeme s ním, se kterým políčkem tabulky se bude pracovat. Řádek malých obrázků nad obrazovkou se jmenuje **pruh ikon**. Řada slov nad ikonami je **nabídka**. Klepnutím myši na slovo způsobí, že se nabídka **rozbalí** a odhalí jednotlivé příkazy nabídky. Pod ikonami je další pruh, rozdělený na dvě části. Menší část vlevo je **pole názvů**, používané pro označování a nalézání buněk. Větší část vpravo je **řádek vzorců** – je to místo, kde se dají vkládat a upravovat vzorce. Dole vlevo je **přepínač listů**. Úzký pruh zcela dole se nazývá **stavový řádek**, informující nás o některých důležitých nastavení programu, umožňuje jej také měnit.

Psaní do políčka tabulky

Při spuštění Excelu je první políčko tabulky, zcela vlevo nahoře, silně černě orámováno. Znamená to, že je **vybráno** a můžeme do něj něco napsat.

Slovo **políčko** se v Excelu správně označuje jako **buňka** (anglicky „cell“, odtud název programu Excel). Každá buňka má svou přesnou **adresu**, své označení, svůj název.

Označené jsou řádky a sloupce a buňka je jejich průsečíkem, takže:

- řádky jsou označeny čísly
- sloupce jsou označeny písmeny abecedy

Kopírování a přenášení buněk

Zkopírování obsahu buňky na jiné místo. Vybereme buňku a stiskneme klávesovou zkratku **Ctrl+C**. Tím umístíme obsah buňky do schránky, ze které ji můžeme kamkoli vkládat – signalizuje to přerušovaná plovoucí čárka kolem buňky. Vybereme buňku vpravo posunem kurzoru o jeden doprava a stiskneme **Ctrl+V** – tím obsah buňky zkopírujeme do tohoto políčka.

Přenesení obsahu buňky na jiné místo

Postupujeme stejně jako u kopírování, ale stiskneme klávesovou zkratku **Ctrl+X**.

Vznik sešitu

To, co vytváříme, se v Excelu nazývá **list**. Protože můžeme mít vytvořených více listů, jejich souhrn se nazývá **sešit**. Sešity Excelu jsou ukládány jako počítačové soubory a Excel jim přiřadí příponu xls.

Tvorba a formátování tabulek

Vytvoření tabulky – výběr textu v buňkách a jeho formátování

Výběr více buněk:

- **Výběr kurzorovými klávesami** -vybereme jednu buňku, přidržíme stisknutou klávesu Shift a pohybujeme kurzorovými klávesami.**Výběr myší** – při stisknutém a přidržném levém tlačítku myši, táhneme myši z jednoho do druhého rohu souvislé oblasti.
- **Výběr jednotlivých (nesousedících) buněk** – s přidržnou klávesou **Ctrl** klepeme na jednotlivé buňky v oblasti, případně i vlečením, ohraničujeme větší oblasti buněk.
- **Výběr jednoho celého řádku nebo sloupce** – stačí klepnout myši na číslo řádku nebo písmeno sloupce.
- **Výběr více sloupců či řádků** – provedeme je tažením myši přes čísla řádků nebo písmena sloupců.
- **Výběr celé tabulky** – buď klávesovou zkratkou **Ctrl+A** nebo klepnutím myši na průsečík označení řádků a sloupců.

Snadné rozkopírování do strany obsahu jedné buňky do více buněk.

Vybereme jednu buňku, ve které je už nějaký obsah. V jejím pravém dolním rohu je malý černý čtvereček; přiblížíme k němu kurzor myši a ten se změní na plný černý kříž. Nyní stiskneme a přidržíme levé tlačítko myši a vlečeme směrem dolů přes několik buněk, pak tlačítko pustíme.

Formátování buňky

Změna šířky a výšky buňky

Rozšíření nebo zkrácení buňky (sloupce) provedeme uchopením pravého okraje celého sloupce mezi políčky obsahujícími písmena označující sloupce. Druhou možností je ukázání pravým tlačítkem na políčko s písmenem sloupce a z kontextové nabídky zadáme příkaz **ŠÍŘKA SLOUPCE**. Objeví se dialog, ve kterém zadáme šířku sloupce číslem. Změnu výšky buňky (řádku) provedeme podobnou cestou.

Ohraničení buňky

Nejjednodušší je použít ikonu *OHRANIČENÍ* z pruhu ikon. Velice bohaté možnosti ohraničení pak nabízí příkaz *FORMÁT BUNĚK* – záložka *OHRANIČENÍ* z kontextové nabídky (je vyvolána pravým tlačítkem myši). Této nabídce můžeme určit i pozadí buněk, vzorek, atd.

Automatický formát

Excel umí zformátovat tabulku také automaticky s použitím příkazu *AUTOMATICKÝ FORMÁT* z nabídky *FORMÁT*. Z nabízeného automatického formátu můžeme převzít jen něco, když vybereme *MOŽNOSTI*, kde zatrhneme, co chceme použít.

Skrytí řádků nebo sloupců

Nejdříve vybereme sloupec, který chceme skrýt. Nyní klepneme do prostoru označení sloupců pravým tlačítkem myši a z kontextové nabídky zadáme příkaz *SKRÝT*. Jestliže chceme skryté řádky nebo sloupce opětovně zobrazit, zvolíme příkaz *ZOBRAZIT*.

Vložení prázdného řádku nebo sloupce

Zvolíme příkaz z nabídky *VLOŽIT*, buď:

- *VLOŽIT – ŘÁDEK*
- *VLOŽIT – SLOUPCE*

Pro rychlejší vložení se používá klávesová zkratka *Ctrl a +*.

Odstranění řádku nebo sloupce

Vybereme řádek nebo sloupec, který chceme zrušit a nyní zvolíme jednu z možností:

- klávesovou kombinaci *Ctrl a -*;
- z kontextové nabídky vybereme příkaz *ODSTRANIT*;
- z nabídky *ÚPRAVY* zadáme příkaz *ODSTRANIT*.

Vzorce a výpočty v Excelu

Vytvoření jednoduchého vzorce

Aby Excel poznal, že se jedná o vzorec, začíná se znakem *=*, následuje vzorec a *Enter*.

Upravení vzorce

Vybereme buňku se vzorcem, který chceme upravit a nyní máme dvě možnosti:

- buď najedeme kurzorem do řádku vzorců a stiskneme levé tlačítko myši
- nebo nikam nenajíždíme a stiskneme klávesu *F2*; buňka přepne zobrazení z výsledku na vzorec

Vytvoření vzorce ukazováním do tabulky, výběrem buněk myší

Nejdříve vybereme buňku, kde budeme chtít mít výsledek. Klepneme nyní myší na znak rovnítka vlevo vedle řádku vzorců. Nyní klepneme do políčka, které se dosadí za rovnítko. Nemusíme tedy označení buněk do rovnice psát, stačí do buňky klepnout, její označení se dosadí při psaní do rovnice samo.

Průměr, součet, maximum, minimum a další statistické funkce

Umístíme kurzor do buňky pod sloupec čísel, která chceme sečíst a v liště ikon stiskneme tlačítko *AUTOSUM*.

Ukážeme pravým tlačítkem myši do políčka ve stavové řádce, kde se objevuje hodnota průběžného součtu; rozvine se zde nabídka dalších možností. Zvolíme je jednoduše klepnutím na jméno funkce.

Postup při vytvoření jakékoli funkce

Vybereme prázdnou buňku, do které budeme chtít umístit výsledek funkce, klepneme na ikonu *VLOŽIT FUNKCI (FX)* z pruhu ikon. Zobrazí se panel s nabídkou funkcí. Když funkci vybereme, v dolní části panelu se zobrazí způsob, jakým se zadává a pod ní je stručný popis funkce. Po výběru funkce stiskneme OK. Objeví se další panel, který vypadá u každé funkce jinak. V panelu je nejdůležitější prázdný řádek s nápisem **Číslo**.

Hodnotu do tohoto řádku můžeme zadávat několika způsoby:

- číslo zadáme ručně
- jako označení buňky
- klepnutím do tabulky do některé buňky
- klepnutím na ikonu se šipečkou, která tento panel skryje a ponechá jen zadávací řádek; pak zase klepneme na tuto ikonu a panel se zvětší

Jakmile jsme s vytvořenou funkcí spokojeni, klepneme na OK a funkce je dosazena do vybrané buňky – v buňce se zobrazí její výsledek, v řádku funkcí pak znění funkce.

Vnoření funkcí

V podstatě jde o to, vložit funkci do funkce. Je několik způsobů:

- ručně, tzn. napíšeme vzorec do kterékoli prázdné buňky a ihned se v ní objeví výsledek
- postupným výběrem s využitím ikony *VLOŽIT FUNKCI*

Pomůcky pro úpravy složitějších a vnořených funkcí

Tyto funkce v sobě obvykle obsahují větší množství závorek, a není proto snadné se v nich dobře orientovat. Pro lepší orientaci Excel při vytváření každé nové otevírající závorky ji vytvoří jinou barvou. Stejnou barvou je pak vytvořena i příslušná párová uzavírající závorka.

Absolutní a relativní adresování buněk

Pojmenované buňky používají ve vzorcích tzv. **absolutní adresování**, při kopírování vzorce se odkazovaná buňka nemění. Buňky označované běžně souřadnicí, tj. např. „A10“, jsou ve vzorci použity s **relativním adresováním**, při překopírování vzorce jinak se pozmění označení buněk ve vzorci o vzdálenost překopírování.

Absolutní adresa se vytvoří tak, že před číslem řádku i sloupce uvedeme znak \$. Dolar můžeme zadat klávesovou zkratkou *Ctrl+Alt+Ů*.

Grafy

Rychlé vytvoření grafu

Vybereme tabulku, ze které budeme tvořit graf. Nyní stiskneme v horním řádku ikon tlačítko *PRŮVODCE GRAFEM*; objeví se tzv. průvodce, několik obrazovek, kde v jednotlivých krocích zadáváme vlastnosti grafu. V tomto průvodci vybíráme v levém poli **hlavní typy** grafů, v pravém poli **podtypy**. Můžeme zde stisknutím zobrazit ukázkou, stiskneme tlačítko *DALŠÍ*. V dalším kroku se vybírají **zdrojová data** pro graf. V první záložce nazvané *OBLAST DAT* se vybírá část tabulky, která je přebírána do grafu.

Zásadní je přepínač *ŘADY TVOŘÍ* – zde volíme, jestli řady, tj. hodnoty i kategorie, jsou čteny po řádcích nebo po sloupcích. Dále je zde záložka *ŘADA*. *Vybíráme zde tři oblasti tabulky přebírané grafem:*

- název
- hodnoty
- popisy osy X (kategorie)

Můžeme také přidat další řadu nebo řady hodnot z tabulky. To provedeme v sekci *ŘADY*, tlačítkem *PŘIDAT*. Po zadání všech hodnot klepneme na *DALŠÍ*. Další krok umožňuje řídit spoustu vzhledových možností grafu.

Má šest záložek:

- názvy
- osy
- mřížky
- legenda
- popisky dat
- tabulka dat

V posledním kroku pouze zadáváme, jestli bude graf umístěn jako objekt do listu tabulky, nebo jestli pro něj bude vytvořen samostatný list. Po zadání volby stiskneme tlačítko *DOKONČIT*.

Úpravy grafu

Pro **posun** je potřeba graf vybrat (uchopit). Výběr je indikován černými terčíky v rozích grafu.

Měnit velikost grafu lze vlečením za černé terčíky, za rohové i uprostřed stran.

Možných dalších úprav grafu je velmi mnoho; graf je složený z jednotlivých elementů (osy, mřížky, legenda, sloupce atd.) a lze upravovat vzhled každého elementu. Nejdříve jej vybereme – vybrání se potvrdí tím, že okolo elementu se znázorní černé terčíky. Na vybraný element pak poklepáme myší – zobrazí se dialog pro úpravu vlastností daného prvku.

Smazání grafu

Vybereme graf a stiskneme klávesu Del.

Úpravy již vytvořeného grafu

Ukážeme pravým tlačítkem myši do volné oblasti grafu, mimo vlastní graf, osy a popisky.

Zobrazí se kontextová nabídka obsahující volby:

- TYP GRAFU
- ZDROJOVÁ DATA
- MOŽNOSTI GRAFU
- UMÍSTĚNÍ

Obdobným způsobem můžeme upravovat pozadí grafu, nápisy v grafu, osy, atd. Vždy na příslušný element (část grafu) klepneme pravým tlačítkem myši a z kontextové nabídky vybereme příslušnou nabídku.

Přidání linie trendu

V grafu ukážeme pravým tlačítkem myši na **datovou řadu** a z kontextové nabídky zadáme **PŘIDAT SPOJNICI TRENDU**. Objeví se dialog se dvěma záložkami. V té první, nazvané **TYP**, volíme typ trendu. Záložka **MOŽNOSTI** pak slouží zejména pro odhadnutí budoucího vývoje křivky.

Pokročilé formátování, řazení, filtry a souhrny

Různé druhy dat a jejich formáty

Data můžeme formátovat přes nabídku **FORMÁT – BUŇKY**. Objeví se dialog, ve kterém se nachází šest záložek, kde můžeme nastavit formát buněk, jsou to:

- číslo
- zarovnání
- písmo
- ohraničení
- vzorky
- zámek

Formátování čísla

V levém sloupci **DRUH** vybíráme druh dat pro zvolenou buňku, v pravém pak určujeme detaily zobrazení pro tento druh; pravá část se mění podle toho, jaký druh dat vybereme. Můžeme zde určit počet desetinných míst za čárkou, oddělovat tisíce, formátovat měnu a volit účetnické zarovnávání, formátovat datum a čas, procenta, zlomky, atd. Můžeme také vytvořit vlastní, prakticky libovolný formát dat v buňce.

Řazení a třídění

Rychlé seřazení provedeme následovně:

- v tabulce si vybereme, podle kterého sloupce budeme chtít seřazovat, a do toho vložíme kurzor
- klepneme na tlačítko **SEŘADIT VZESTUPNĚ** nebo **SESTUPNĚ**; seřazení se ihned provede

Pokročilejší řazení a třídění tabulek provádíme příkazem **SEŘADIT** z nabídky **DATA**.

Filtry

Filtry umožňují zobrazit pouze některá data podle našich pokynů.

Automatický filtr

Z nabídky *DATA* zadáme příkaz *FILTR* a z podnabídky zadáme *AUTOMATICKÝ*. V záhlaví tabulky se nyní objeví tlačítko filtru, který je připraven k použití. Můžeme současně zapnout i více filtrů, ve více sloupcích. Můžeme rovněž z roletky filtru zvolit volbu *VLASTNÍ*. Objeví se jednoduchý panel, kde můžeme použít logické podmínky a jejich kombinace.

Vytváření přehledů

Přehled umožňuje přepínat tabulku v různých zobrazeních. Umístíme kurzor kamkoli do tabulky a z nabídky *DATA* zadáme *SKUPINA A PŘEHLED* a zde *AUTOMATICKÝ PŘEHLED*. Vlevo vedle tabulky se objeví ovládací prvky s jejichž pomocí můžeme nyní přehledy zobrazovat a skrývat.

Další práce s tabulkou

Přepínání mezi listy, přidávání a mazání listů

V novém souboru Excelu jsou vytvořeny obvykle tři listy a přístup k nim přes záložky v levém dolním rohu tabulky. Klepnutím na záložky si jednotlivé listy zobrazujeme a nastavujeme. Přidání nového listu provedeme ukázáním na záložku kteréhokoli listu pravým tlačítkem myši, zde vybereme příkaz *VLOŽIT*. Obdobně provedeme i vymazání listu zadáním příkazu *ODSTRANIT*. Po poklepání na záložku listu jej můžeme přejmenovat.

Vkládání komentářů

Komentář je text, který vždy přísluší ke konkrétní buňce. Vybereme buňku a z nabídky *VLOŽIT* zadáme *KOMENTÁŘ*. U buňky se objeví žlutý obdélníček, kam můžeme komentář napsat. Existenci komentáře v buňce prozradí malý červený trojúhelníček v pravém horním rohu buňky. Komentář také může být trvale zobrazený, skrytý, atd. Příslušné volby vybereme po kliknutí pravým tlačítkem myši na komentář.

Vložení obrázku

Pozn.: Práce s obrázky a kreslení se řídí stejnými pravidly jako v programu Microsoft Office Word.

Tvorba a použití formulářů

Pro vytvoření formuláře existuje speciální *panel nástrojů*. Ukážeme pravým tlačítkem myši do volného prostoru vpravo od nabídek a z kontextové nabídky klepneme na *FORMULÁŘE*. Formulář vytváříme z jednotlivých prvků: vyplňovacích políček, zaškrtačkových políček, seznamů, ze kterých uživatel vybírá, atd. Při tvorbě formuláře můžeme využít tyto ovládací prvky:

- **přepínač**, který umožňuje volit pouze jednu z několika vylučujících možností
- **zaškrtačkové políčko**, které slouží k volbě typu „ano – ne“
- **seznam** – umožňuje respondentovi zadat jednu z nabídnutých možností
- **posuvník**, ve kterém posouváním jezce nebo klepáním na šipky volíme hodnotu z definovaného rozmezí
- **číselník**, který vytvoří svislý prvek s šipkami směrem nahoru a dolů
- **tlačítko**, které umožňuje spouštět makro, tzn. příkaz, který sami vytvoříme
- **skupinový rámeček**
- **přepnout mřížku**

Formulář, který dostane do ruky respondent k vyplnění, mu musí zabránit jakékoli jiné úpravy než vyplnění. To provedeme snadno zamknutím listu (nabídka *NÁSTROJE*, příkaz *ZÁMEK*).

Pozor však na buňky, se kterými jsou formulářové prvky provázány – v těch musíme nejdříve před zamčením celého listu zámeček zakázat, a to v dialogu pro formát buňky, v záložce *ZÁMEK* musíme zrušit pole *ZAMKNOUT BUŇKY*. Pak teprve můžeme zamknout celý list.

Kontingenční tabulky

Slouží k dokonalému uspořádání a analyzování vstupních dat. S její pomocí můžeme snadno, jedním klepnutím vytvářet nejrůznější pohledy na získaná data.

Postup tvorby:

- Předpokladem je existující, nejlépe rozsáhlá vstupní tabulka. Umístíme kurzor kamkoli do tabulky.
- Z nabídky *DATA* zadáme příkaz *KONTINGENČNÍ TABULKA A GRAF*. Schválíme volbu a stiskneme *DALŠÍ*.
- Excel rozšíří oblast, ze které se bude Kontingenční tabulka vytvářet, na celou tabulku a nabízí k zadání oblasti vstupních dat. Jakmile je výběr hotov, klepneme na *DALŠÍ*.
- Poslední dotaz se táže, kde má být kontingenční tabulka umístěna. Lepší je zvolit *NOVÝ LIST*, aby původní tabulka zůstala k dispozici pro úpravy. Dialog ale nabízí ještě další důležité volby:

ROZVRŽENÍ: přetažením tlačítek polí do prostoru kontingenční tabulky volíme uspořádání a rozvržení této tabulky

MOŽNOSTI: různé možnosti formátování a chování tabulky jen přetažením polí do prostorů kontingenční tabulky její možnosti zdaleka nekončí; máme rozsáhlé nástroje pro úpravy těchto pohledů. Tyto možnosti se nalézají v nabídce panelu kontingenční tabulky, po jejím rozvinutí.

Makra

Pokud v aplikaci Microsoft Excel opakovaně provádíme nějakou úlohu, můžeme ji zautomatizovat pomocí makra. Makro je řada příkazů a funkcí uložených v modulu aplikace Microsoft Visual Basic a lze ho spustit, kdykoli potřebujeme danou úlohu provést.

Pokud například do buněk často zadáváme dlouhé textové řetězce, můžeme vytvořit makro, jehož pomocí budou tyto buňky zformátovány tak, aby se text zalamoval.

Záznam makra

V nabídce *Nástroje* přejděte na příkaz *MAKRO* a potom klepněte na příkaz *Záznam nového makra*. Do textového pole *Název makra* zadáme název makra. Pokud chceme makro spouštět stisknutím klávesové zkratky, zadáme do pole *Klávesová zkratka* příslušný znak. Znakem klávesové zkratky nesmí být číslice ani zvláštní znak, například @ nebo #.

V rozevíracím seznamu *ULOŽIT MAKRO DO* klepneme na místo, kam chceme makro uložit. Pokud chceme, aby bylo makro k dispozici při každém použití aplikace Excel, vybereme položku *OSOBNÍ SEŠIT MAKER*. Jestliže chceme přidat popis makra, zadáme ho do textového pole *POPIS*. Klepneme na tlačítko *OK*. Provedeme akce, které chceme zaznamenat. Na panelu nástrojů *Zastavit záznam* klepneme na tlačítko *ZASTAVIT ZÁZNAM*.

Spuštění makra

Každé nahrané makro je možné spustit.

- Klepneme na položku *NÁSTROJE* v hlavní nabídce Excelu.
- V otevřené podnabídce klepneme na položku *MAKRO* a v další podnabídce na položku *MAKRA*.
- Zobrazí se okno se seznamem maker. Vybereme námi nahrané makro a klepneme na tlačítko *SPUSTIT*.
- Excel začne provádět instrukce zaznamenané v makru.

Příprava tisku, tisk

Nastavení stránky

Pro podrobnější konfiguraci stránky je určeno okno *VZHLED STRÁNKY*, do něhož se dostaneme pomocí hlavní nabídky Excelu klepnutím na *SOUBOR* a tam na položku *VZHLED STRÁNKY*.

Najdeme zde čtyři záložky pro nastavení stránky. Jsou to:

- **Stránka**, která umožňuje nadefinovat základní parametry stránky – formát papíru a orientaci.
- **Okraje** – určuje vzdálenost tabulky od hrany papíru.
- **Záhlaví a zápatí**.
- **List**, který nabízí volbu oblasti tisku.

Tisk

Vybereme oblast, která má být vytištěna a zahájíme samotný tisk. Klepneme v hlavní nabídce Excelu na *SOUBOR* a tam na položku *TISK*. Excel zobrazí okno pro tisk. Vybereme požadovanou tiskárnu (pokud jich máme nainstalovaných více).

V levém dolním rohu určíme, co bude Excel tisknou. Pokud bychom před tiskem nevybrali žádnou oblast do bloku, tiskli bychom po stránkách. Před samotným tiskem je výhodné prohlédnout si *NÁHLED STRÁNKY*, ve kterém vidíme, jak bude vytištěná stránka vypadat. Okno pro tisk vyvoláme také klávesovou zkratkou *Ctrl + P*.

Pokud nebudeme již zadávat žádné parametry tisku, můžeme pro tisk rovněž využít ikonu s obrázkem tiskárny na panelu nástrojů.

1.5 Internet

Základní pojmy

Identifikace serveru v internetu – IP adresy

Všechny servery v internetu jsou mezi sebou určitým způsobem propojeny. Na rozdíl od běžných počítačových sítí však v internetu neexistuje žádný centrální uzel, který by řídil celý chod internetu. Každý server tvoří jeden uzel. Každý server musí být označen, má proto svoji číselnou adresu – říká se jí IP adresa. Ta je složena ze čtyř čísel oddělených tečkou – například **192.168.52.13**.

Doménová adresa

Ke každé číselné IP adrese existuje i tzv. doména neboli adresa v textovém tvaru – např. www.knihy.cz. Obecně platí, že každá adresa je v internetu jedinečná – není možné, aby existovaly dva servery se stejným jménem nebo číselnou adresou.

WWW stránka

standard WWW (World Wide Web) významným způsobem přispěl k celosvětové expanzi internetu. Formát WWW může obsahovat kromě textů i obrázky a multimediální prvky (videosekvence, zvuky, barevná písma apod.). Tomu, co uživatel internetu vidí na obrazovce po přístupu k WWW serveru, se říká WWW stránka. Může být libovolně dlouhá. Stránka je psána v jazyce HTML (HyperText Markup Language). Jedná se o velmi jednoduchý jazyk, v němž se místo příkazů používají takzvané tagy neboli značky, mezi kterými je zapsán text.

např. <http://www.google.com>

Doména první úrovně charakterizuje zaměření serveru. Domény první úrovně (tzv. TOP LEVEL DOMAIN) jsou pevně definovány – edu, com, net atd.. Podle domény první úrovně lze poznat, zda adresa patří úřadu, komerční organizaci, firmě atd.. Domény států jsou vždy dvouznačné (např. ČR – cz).

Hypertext

Na internetových stránkách se často vyskytují odkazy na jiné internetové stránky. Jedná se o speciální místa na stránce. Když na ně klepneme myší, dostaneme se na jinou stránku. Této funkci se říká hypertext.

Možnosti připojení k internetu

K internetu se lze připojit:

- **Telefonní linkou přes modem.**
- **ISDN** – jedná se o kvalitnější digitální telefonní linku.
- **ADSL** – jedná se o ještě kvalitnější typ připojení po telefonní lince než ISDN.
- **Pevnou linkou** – zaručuje určitou přenosovou rychlost.
- **Rádiovým připojením** (tzv. mikrovlnou) - jde o připojení „vzduchem“, resp. rádiovým přenosem (poskytovatel i uživatel vlastní anténu).
- **Kabelovou televizí.**
- **Mobilním telefonem.**
- **Jednosměrným satelitním připojením** – jde o velmi rychlé, ale dražší připojení k internetu.

Firewall aneb ochrana sítí

Jedná se o ochranu mezi internetem a vnitřní lokální sítí. Na serverech se pro přístup do internetu instalují programy, kterým říkáme firewally. Jsou to systémy, které chrání „průtok“ dat mezi sítí a internetem. Firewall odráží útoky neoprávněných osob z internetu na síť.

Intranet

Je to síť, která je zapojením velmi podobná internetu, ale je konstruována pouze v rámci jedné organizace, resp. určité omezené počítačové sítě. Intranet je v podstatě malý internet uvnitř školy, firmy, banky, atd. Princip intranetu je téměř stejný jako u velkého internetu. V organizaci existuje jeden nebo více intranetových serverů, na kterých jsou umístěna data. Uživatelé mají k těmto datům přístup prostřednictvím internetových prohlížečů.

Internetový prohlížeč

Aby uživatel na svém počítači viděl WWW stránku tak, jak ji „naprogramoval“ autor, musí mít k dispozici program, který dokáže „číst“ jazyk HTML. Takových programů existuje celá řada. Říká se jim browsery (prohlížeče) a mezi nejznámější patří např. NetScape, Microsoft Internet Explorer, Opera či Mozilla. Co se týká vzhledu, je prohlížeč okno, které v horní části disponuje několika málo prvky pro ovládání stránek a hlavně dialogovým okénkem pro zadávání adresy.

Prohlížeč Internet Explorer

Prohlížení stránky

Pro získání stránek z požadovaného serveru napíšeme doménovou adresu takového serveru do políčka ADRESA (např. www.sstmst.cz) stiskneme klávesu Enter.

Stránka se načítá

O tom, že se internetová stránka stále načítá, informuje animace v pravé horní části okna prohlížeče. Dokud probíhá animace, není stránka načtena celá. O stavu načítání stránky také informuje stavový řádek, který najdeme ve spodní části okna prohlížeče (v šedém spodním pruhu). Stavový řádek informuje i o konkrétním souboru, který je v daném okamžiku do stránky načítán.

Základní ovládací prvky prohlížeče

- **Zpět** – když klikneme na toto tlačítko, načte se předcházející stránka
- **Vpřed** – když klikneme na toto tlačítko, načte se stránka o úroveň výš
- **Zastavit** – když sem klikneme, přerušíme načítání aktuální stránky
- **Aktualizovat** – slouží k opětovnému načtení stránky
- **Domů** – slouží k načtení domovské stránky
- **Hledat** – pomocí tohoto tlačítka se dostaneme na webový vyhledávač
- **Oblíbené** – zde je seznam našich oblíbených stránek, které si sem uložíme
- **Historie** – můžeme zjistit, jaké stránky jsme už navštívili
- **Pošta** - otevřeme svůj e-mailový program
- **Tisk** – pošleme aktuálně otevřenou stránku na tiskárnu
- **Upravit** – kliknutím na toto tlačítko se otevře program, kterým lze webové stránky na dálku upravovat
- **Diskuse** – připojení do diskusních skupin

Vyhledávání

Vyhledávání v internetu

Chceme-li najít konkrétní informaci, musíme se obrátit přímo do samotného internetu, na speciální k tomu určené servery – internetové vyhledávače. Jsou to velmi výkonné servery s velkými diskovými kapacitami, na nichž jsou uloženy databáze internetových stránek. Vyhledávače hledají stránky podle jednoho nebo několika klíčových slov, která uživatel zadá.

Vyhledávání v internetu katalogovými vyhledávači

V předchozím případě jsme se zabývali vyhledáváním pomocí tzv. fulltextových vyhledávačů. Ty se používají velmi často v případě, že chceme na internetu najít podle prakticky libovolných klíčových slov požadovanou stránku. Existuje ale ještě typ tzv. katalogových vyhledávačů. Ty mají jednotlivé stránky seřazeny v přehledně uspořádané databázi. Takovým typem vyhledávače jsou například servery **www.seznam.cz**, **www.centrum.cz**, **www.atlas.cz**, apod.

Pošta

E-mail (počítačová pošta)

Každý, kdo potřebuje komunikovat e-mailem, musí mít zřízenou svoji e-mailovou schránku.

Tu zřídí provider serveru, na kterém je uživatel přihlášen nebo je možné ji zdarma zřídit na k tomu určených serverech.

E-mailová schránka je prostor na disku vyhrazený pro příjem a odesílání zpráv. Každá e-mailová schránka musí mít určitou e-mailovou adresu, například pepa@seznam.cz apod.

E-mailová adresa se skládá ze dvou částí, oddělených znakem @ (slangově „zavináč“). Před @ vlevo je adresa konkrétního uživatele. Může to být libovolný text (s výjimkou určitých znaků). Za znakem @ je server, na kterém je schránka uložena. Tuto část není možné měnit.

Způsoby práce s e-mailem

Existují dvě metody, jak s poštou pracovat:

- **Prostřednictvím internetového rozhraní.** Jedná se o metodu používanou zejména u veřejných serverů typu seznam.cz, atlas.cz, centrum.cz, email apod. Veškeré operace s poštou se odehrávají on-line na internetových stránkách. Výhodou tohoto způsobu používání pošty je fakt, že poštu můžeme číst kdekoli, kde je k dispozici počítač s internetovým prohlížečem a připojením k internetu. Nevýhodou je skutečnost, že veškeré zprávy zůstávají na serveru poskytovatele a operovat s nimi můžeme, pouze pokud jsme připojeni k internetu.
- **Prostřednictvím poštovního klienta.** Poštu si ze serveru stáhneme a veškeré její zpracování probíhá u nás na počítači. Zde navíc můžeme mít k dispozici neomezenou historii poštovních zpráv a nejsme omezeni místem na poštovním serveru. Bohužel nemůžeme s poštou pracovat kdekoli, kde je přístup k internetu, ale pouze na počítači, na kterém je klient nainstalován.

1.6. Nástroje pro řízení jakosti

Přehled některých metod pro řízení jakosti

APQP

Advanced Product Quality Planning = Pokročilé plánování jakosti výrobku

Plánování jakosti = strukturovaný postup, který definuje kroky, jenž jsou nutné k zabezpečení uspokojivé jakosti výrobku pro zákazníka. Smyslem plánování jakosti je:

- efektivní využití zdrojů pro uspokojování zákazníka
- podpora včasného zjištění potřebných změn
- zmírnění nebo vyhnutí se požadavkům na pozdější změny
- umožnit vytvoření jakosti výrobku včas již ve fázi návrhu při nejnižších nákladech

Jakost je vytvářena z 80% v předvýrobních etapách. Plánování jakosti je realizováno pomocí meziútvarového týmu (vývoj, konstrukce, OŘJ, zásobování, výroba, dodavatel, zákazník, atd.).

Advanced Product Quality Planning se skládá z následujících částí:

- plán a definování programu (identifikace zákazníků, určení potřeb zákazníků, stanovení cílů jakosti)
- návrh a vývoj produktu
- návrh a vývoj procesu
- validace výrobku a procesu
- zpětná vazba - hodnocení a nápravná opatření
- plán regulace procesu, transfer informací do procesů

Každá fáze plánování jakosti má své vstupy a výstupy. Vstupy pro další fázi plánování jsou vždy výstupy předchozí fáze. Je však třeba mít na paměti, že jednotlivé fáze se v čase do značné míry překrývají. Tzn. např. návrh a vývoj procesu nenásleduje až po ukončení návrhu a vývoje výrobku, ale probíhá s mírným zpožděním souběžně.

FMEA

Failure Mode and Effect Analysis = Analýza možností vzniku vad a jejich následků

FMEA se vyznačuje systematizovaným sledem činností zaměřených na:

- vyhledání a ocenění možných vad výrobků nebo procesu a jejich důsledků
- identifikování kroků pro zabránění či omezení podmínek pro vznik vad
- dokumentování procesu

Proč zavádět FMEA?

- rostou požadavky na jakost a spolehlivost
- zvyšují se počty a komplexnost podsystémů a dílů
- markantnější dělba práce mezi vývojem a výrobou
- zvyšující se tlak na náklady a racionalizaci
- zkracování doby vývoje a zkoušek
- změny v právním okolí

Kdy začít s FMEA ?

- co nejdříve, jakmile jsou známy informace
- když je navržen nový systém, konstrukce, výrobky, procesy nebo služby
- když existující systém, konstrukce, výrobky, procesy či služby jsou měněny

- když jsou nalezeny nové aplikace pro stávající podmínky systémů, konstrukcí, produktů, procesů či služeb
- když jsou uvažována zlepšení existujících systémů, konstrukce, produktů, procesů či služeb

Kdo řídí FMEA?

- FMEA je týmová práce a nemůže být prováděna na individuálním základě
- sestavení týmu musí být funkční do kříže a multidisciplinární

Proces provádění FMEA

- Vybrat tým a použít brainstorming
- Funkční blokové schéma nebo vývojový diagram procesu (blokový diagram)
- Stanovení priorit
- Pořízení dat
- Analýza
- Výsledky
- Hodnocení
- Opakování celého procesu znovu
- Co se stane po dokončení FMEA?
- zlepšený stav se ohodnotí stejným způsobem jako předchozí stav a podle výsledků se rozhodne, zda bude následovat další zlepšovací krok
- pracuje se ve smyslu nikdy nekončícího zlepšení

6 SIGMA

Program je založen na myšlence redukce počtu defektů (3,4 defektů na 1 milion příležitostí) a využívá pro stanovení cílů obecné metriky – hodnoty násobku sigma. Program přináší redukci nákladů, zvýšení jakosti a výkonnosti.

Six Sigma je metodika pro neustálé zlepšování procesů. Shrnuje některé známé postupy a nástroje jakosti, které jsou známy již z dřívějška (TQM), ale přináší samozřejmě i nové postupy a přístupy. Metodika 6 Sigma je přizpůsobena potřebám reálné podnikové praxe, nejde jako v některých případech o postupy, které jsou vhodné spíše pro teoretické úvahy. Je použitelná pro všechny typy organizací, nejen tedy pro organizace zabývající se výrobou.

Dosažení úrovně 6 Sigma znamená, že se podnik dostává na špičkovou úroveň v oblasti kvality a výkonnosti. Kromě spokojených zákazníků to v důsledku znamená i dramatické snižování nákladů, zvýšení prodeje a zisku. 6 Sigma však má pozitivní vliv i v nehmotné oblasti (lepší komunikace, zainteresovanost vzhledem ke kvalitě, aj.). Základem 6 Sigma je použití modelu DMAIC, což znamená:

- Define – definování problému
- Measure – stanovení postupů sběru dat
- Analyze – analýza dat
- Improve – identifikace alternativ pro zlepšení
- Kontrol – monitorování implementovaných zlepšení

8D REPORT

8D report je metodika řízení neshodných výrobků, která obsahuje 8 oblastí, na které chceme znát odpověď. Jedná se o následující oblasti: Příprava, Řešitelský tým, Popis problému, Navržení dočasných opatření, Definování příčin, Výběr trvalých opatření k nápravě, Preventivní opatření, Individuální příspěvky.

SPC

Statistical Process Kontrol = Statistická regulace

Každý proces vykazuje určitou proměnlivost. Tato proměnlivost (kolísání, variabilita) je způsobena různými příčinami. Tyto příčiny lze rozdělit do 2 skupin:

- Náhodné - (např. teplota prostředí, vlhkost prostředí, fyzický stav operátora a další příčiny, které nejsme schopni v aktuálním procesu ovlivnit). Jde o velké množství drobných příčin působících stále a jsou relativně předvídatelné.
- Speciální (vymejitelné, zvláštní) - jde o malý počet velkých příčin, jsou nepravidelné a nepředvídatelné. Opakují se, pokud nejsou učiněna trvalá nápravná opatření.

Základním cílem statistické regulace (SPC) je:

- Zlepšování jakosti (prevence/předcházení výrobě neshodných výrobků).
- Uvedení procesu do stabilního stavu a jeho udržování v tomto stavu.

Prostředkem pro dosažení tohoto cíle je mimo jiné rozlišení/identifikace příčin variability. Jakost výrobku/procesu zjišťujeme pomocí charakteristik jakosti. Charakteristiky jakosti můžeme rozdělit do 2 skupin:

- měřitelné (spojité proměnné, jako např. rozměry součástek, hmotnost, aj.),
- atributy (neměřitelné neboli diskrétní charakteristiky, např. vzhledové charakteristiky).

Většina průmyslových procesů s měřitelnou charakteristikou jakosti vykazuje normální rozdělení (nebo má k tomuto rozdělení dispozici). Proto, abychom znali průběh našeho procesu, nám stačí určit výše uvedené 2 parametry normálního rozdělení. Protože však výpočet skutečných hodnot m a s bývá často obtížně realizovatelný, provádíme odhad těchto parametrů.

Normální rozdělení je popsáno 2 parametry:

- střední hodnotou rozdělení (poloha), m
- variabilitou rozdělení, tj. rozptylem (s^2), resp. směrodatnou odchylkou (s)

Odhad těchto parametrů provádíme nejčastěji pomocí aritmetického průměru (poloha) a rozpětí (variabilita). Kdykoliv je to možné, měli bychom používat regulaci měřením (měřitelné charakteristiky jakosti).

MSA

Measurement System Analysis = Analýza systému měření

Měření můžeme definovat jako proces přiřazování čísel daným hmotným položkám, které představují vztahy mezi nimi s ohledem ke konkrétním vlastnostem.

Proces přiřazování čísel = proces měření

Přidělené hodnoty = hodnoty měření

Měřidlo – jakýkoliv prostředek použitelný pro získávání údajů. Často se tento termín vztahuje pro prostředky používané na dílně. Zahrnujeme sem i kalibry.

Systém měření – soubor operací, postupů, měřidel a dalšího vybavení, software a osob, který se používá k přiřazení čísla zjišťované charakteristice. Jde o kompletní proces, který se používá pro získání výsledků měření.

Naměřená data a jejich kvalita

Kvalita naměřených dat úzce souvisí se statistickými vlastnostmi opakovaných měření, která jsou získána systémem měření za stálých podmínek.

Vysoká kvalita = všechna měření jsou blízko správné hodnotě

Nízká kvalita = některá nebo dokonce všechna měření daleko od správné hodnoty

Pro specifikování kvality naměřených dat se používají zejména 2 statistické veličiny: úchylna (poloha dat vzhledem ke správné hodnotě) a rozptyl. Tzn. pokud máme příliš vysokou variabilitu dat - kvalita měření je nízká.

Kvalitu systému určují primárně statistické vlastnosti produkovaných údajů.

Variabilita měření – v měřicím systému existuje variabilita, která ovlivňuje jednotlivá měření a následně rozhodnutí založená na těchto údajích.

Postupům pro vyhodnocení výše uvedených statistických veličin se někdy říká R&R měřidla, protože se nejvíce využívají k posouzení dvě statistické vlastnosti - opakovatelnost a reprodukovatelnost.

Tyto postupy jsou ve výrobě snadno pochopitelné i bez hlubší znalosti statistiky, a proto jsou i nejvíce využívány.

Stanovení jednotlivých veličin pro systém měření - pro výpočet používáme v zásadě 3 postupy:

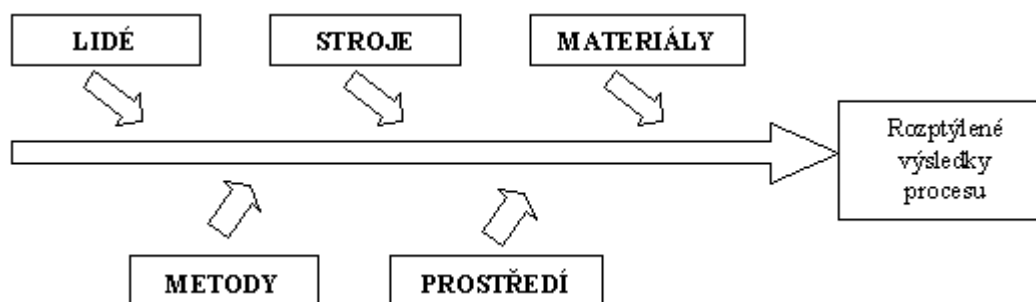
- Metoda rozpětí (určíme pouze R&R)
- Metodu průměru a rozpětí (určíme vše, kromě interakce)
- Metodou ANOVA (kompletní výpočet, včetně interakce)

Podrobné seznámení s některými metodami pro řízení jakosti

Ishikawův diagram

Základním přínosem této metody je názorné a strukturované zachycení všech možných příčin, které vedly, nebo by mohly vést k danému následku. Příčiny jsou hledány proto, abychom je mohli řešit. Následkem může být konkrétní situace (nehoda, vada ...) anebo žádoucí stav.

Cestu k následku zachycuje vodorovná čára zakončená šipkou. Na ní nanesené šipky zachycují základní příčiny, které jsou pak rozkládány na dílčí příčiny. Ishikawův diagram neříká, jak problém řešit. Přehledné soustředění všech příčin však umožní diskutovat celý problém a následně nalézat řešení.



Metodika 5S pochází z Japonska. Zkratka 5S vyjadřuje počáteční písmena jednotlivých kroků této metodiky. Separovat (Seiri), Systematizovat (Seiton), Stále čistit (Seisto), Standardizovat (Seiketsu) a Sebedisciplína (Shitsuke).

V praxi to znamená: plánovat i organizaci pracoviště. na kterém může zůstat jen to, co je skutečně zapotřebí. Ostatní předměty patří do přehledných vyhrazených úložných prostor. Nepotřebné se ukládá ve vzdálenějším skladu, nebo se vůbec rychle likviduje. Plánovat uspořádání předmětů potřebných tak, aby byly všem rychle a pohodlně dostupné. Všem musí být zřejmé, kde jsou uloženy.

Plánovat čistotu pracoviště znamená vše bezpodmínečně udržovat bez špíny, prachu atd. Pořádek pomáhá hledat abnormality, předchází poruchám a pomáhá udržet hodnotu zařízení.

Plánovat přehlednost znamená bezpečnou funkci předchozím tří požadavků, plus podpora dostupnosti potřebných informací. Nic není třeba hledat, nikdo se nezdržuje, informace jsou prezentovány přehledně na viditelných místech.

Plánovat disciplínu, samozřejmě udržování shora uvedených pravidel, denní kontroly pracovní disciplíny, používání kontrolních dotazníků, stanovování nových úkolů a cílů. Odměňování nejlepších.

Paretova analýza

- Úvod
- Využití
- Metody konstrukce
- Postup při tvorbě
- Analýza výsledků
- ABC analýza
- Příklad
- Závěr

Úvod

V oblasti řízení jakosti je Paretův princip jedním z nejefektivnějších běžně dostupných a snadno aplikovatelných rozhodovacích nástrojů. Umožňuje oddělit podstatné faktory (například příčiny určitého problému s úrovní jakosti) od méně podstatných a ukázat, kam zaměřit úsilí při odstraňování nedostatků v procesu zabezpečování jakosti. Pro oblast řízení jakosti použil poprvé aplikaci známého Paretova principu americký odborník na jakost J. M. Juran. Juran zformuloval závěr, že 80-95% problémů s jakostí je způsobeno malým počtem příčin (5-20%). Tyto příčiny nazval "životně důležitou menšinou". Na příčiny tvořící tuto menšinu je v další analýze procesu třeba přednostně zaměřit pozornost, analyzovat je do hloubky a odstranit či minimalizovat jejich působení. Ostatní příčiny (80-95%) nazval zprvu "triviální většinou", později "užitečnou většinou".

Využití

Využití Paretova diagramu je mnohostranné. V oblasti zajišťování jakosti může jít o následující oblasti: analýzu počtu neshodných výrobků a jejich druhů, analýzu ztrát s nimi spojených, analýzu časových a finančních ztrát spojených s vypořádáním neshodných výrobků, analýzu reklamací z hlediska finančních ztrát či důvodů reklamací, analýzu příčin výroby neshodných výrobků, příčin prostojů strojů, analýzu poruch a havárií zařízení, opotřebování nářadí atd. Každý problém lze hodnotit ze tří základních pohledů: z hlediska prosté četnosti sledovaného ukazatele, z hlediska nákladového nebo z hlediska významnosti

sledovaných jevů z pohledu bezpečnosti či funkčnosti výrobku. Volba hlediska a sledovaného ukazatele závisí na cílech a prioritách řešení problému.

Metody konstrukce

Paretovy analýzy lze úspěšně využít jak při vyhledávání a definování nejpodstatnějších problémů (následků), které jsou např. nejčastější nebo nejnákladnější (např. druh vady na odlitku, reklamovaný díl, druh chyby na účtu...), tak při stanovení "životně důležité menšiny" příčin, které způsobují předem definovaná již odhalený problém (např. příčiny výskytu nejčastějšího druhu zmetků ve slévárně). V tomto případě se Paretova analýza nejčastěji provádí po sestavení diagramu příčin a následků vybraným týmem odborníků- Pak jsou dvě možnosti kvantifikace problému:

- každý člen týmu vybere jednu hlavní příčinu z diagramu příčin a následků (vhodné při velkém počtu členů týmu)
- každý člen týmu obdrží například 5 bodů a ty přiřazuje postupně ve třech kolech k jím vybraným příčinám v diagramu příčin a následků.

Postup při tvorbě

Postup při vlastní Paretově analýze:

- seřídíme údaje sestupně podle hodnot zvoleného ukazatele, např. podle počtu vad (neshod) jednotlivých druhů, podle výše nákladů spojených s jednotlivými druhy vad, podle počtu bodů přiřazených experty v brainstormingu jednotlivým příčinám neshod apod.
- vypočteme kumulativní součty hodnot ukazatele a dále tyto součty vyjádříme v procentech
- sestojíme Paretův diagram.

Vlastní sestavení probíhá následovně:

- osu x rozdělme na stejné úseky tak, že jejich počet odpovídá počtu vad včetně jiných, sloupec představující počet jiných vad se bez ohledu na četnost vždy řadí jako poslední
- levou vertikální osu označíme stupnicí (často celkový počet odhalených vad)
- pravou osu označíme relativním počtem vad
- sestojíme křivku kumulovaných četností v procentním vyjádření (tz. Lorenzovu křivku), která je spojnici bodů s kumulovanou četností.
- na základě volby kritéria vad stanovíme vady (obecně příčiny nedostatečné jakosti) je třeba zaměřit pozornost a provést jejich hlubší analýzu s cílem snížit počet neshodných výrobků. Volba kritéria se řídí zejména účelem analýzy a možnostmi (finančními, technickými, personálními) realizace nápravných opatření.

Analýza výsledků

Paretův diagram lze velmi efektivně použít k vyhodnocování účinnosti přijímaných opatření. Zobrazení-li pomocí Paretova diagramu stav před přijetím opatření a stav po jeho implementaci.

Nejúčinnější je aplikace Paretova diagramu v kombinaci s analýzou pomocí diagramu příčin a následků. Vhodná je např. následující sekvence:

- paretova analýza četnosti vad podle jednotlivých druhů
- analýza příčin "životně důležitých vad" pomocí diagramu příčin a následků
- stanovení "životně důležitých příčin" pomocí Paretova diagramu.

Je nutné si uvědomit, že v konečném důsledku sice Paretův diagram ukazuje hlavní příčiny vad výrobku - to ale nemusí být pro samotný výklad dostačující. V případě že jsou si všechny chyby rovny - mají tedy stejný dopad (např. při vyřazení výrobku a jeho likvidaci) jsou tyto výsledky dostačující.

Ve většině případů není ale tento postup vhodný. Různé vady mají obvykle různý dopad na další operace s výrobkem. Zatímco v některých případech jde o chyby které lze odstranit s minimálními náklady, v jiných případech je nutné celý výrobek kompletně zlikvidovat - a zde se navíc mohou přidat i samotné náklady na likvidaci (tedy nejen náklady na nový výrobek). Z tohoto důvodu se obvykle používají další úpravy tohoto diagramu - na ose y nebudeme potom vynášet absolutní četnost vad, ale náklady potřebné k jejich odstranění. Z tohoto důvodu se obvykle používají 4 různé osy :

- absolutní četnost (tedy četnost vad tak, jak ji naměříme)
- relativní četnost (čili totéž, ale v procentech)
- náklady na opravu - absolutní
- náklady na opravu – relativní

ABC analýza

ABC analýza se velmi podobá Paretově analýze. Na rozdíl od Paretovy analýzy se ABC analýza používá tam, kde nelze zcela přesně určit podíl příčin. V tomto případě se tedy nejzásadnější rozdíl projevuje ve sběru dat. Data se nedají získat přímo, obvykle se musí na odvozovat z různých jiných ukazatelů. V řízení jakosti se často používá například u skladového hospodářství - při optimalizaci skladových zásob vzhledem k činnosti podniku. Mezi stavem skladu a ekonomickými ukazateli lze zjistit přesné kritérium jen velmi stěží (a to i v případě, kdy by na to podnik měl čas). Nicméně i v tomto případě lze podíl zásob na činnosti podniku celkem přesně odhadnout - a díky tomu i zoptimalizovat velikost skladu. Informace o tomto problému lze najít např. na stránkách <http://www.ihned.cz> v části logistika.

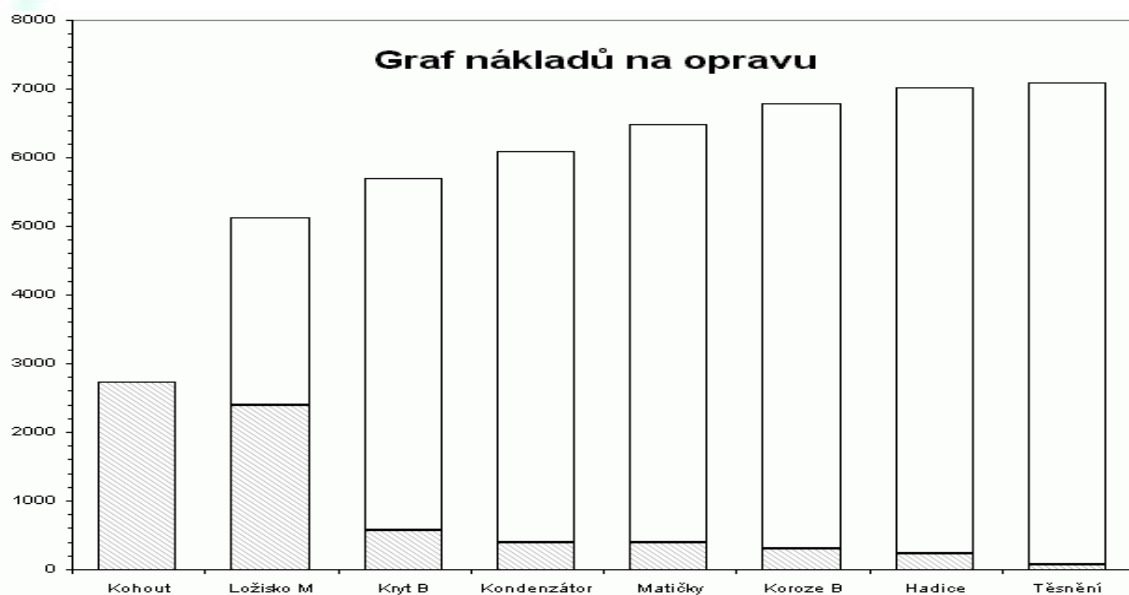
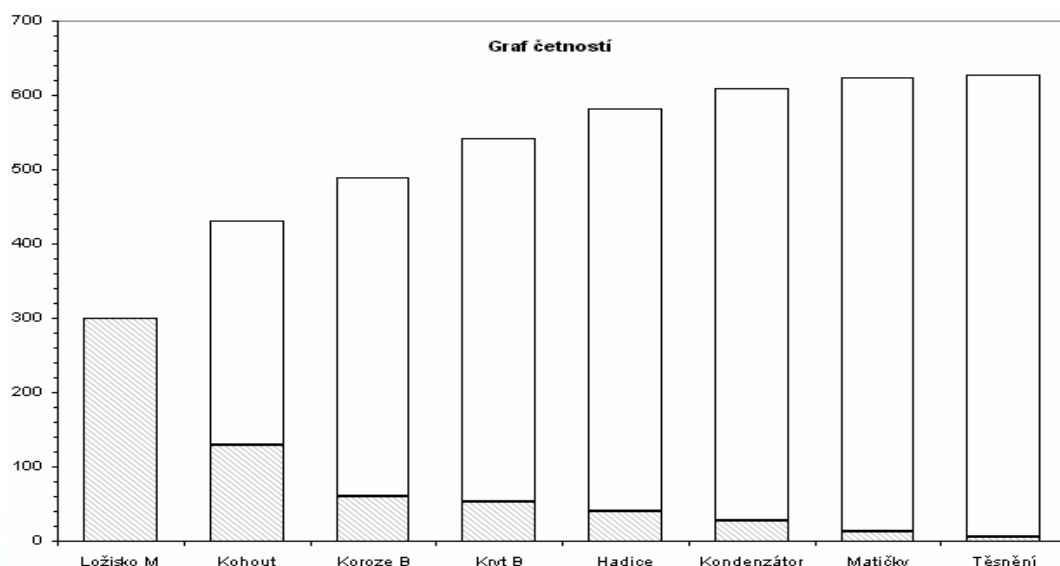
Příklad Paretovy analýzy

Kontrolou na pracovišti byly zjištěny následující vady. Z nich byla sestavena tabulka četností:

Příčina závady	Počet závad	Kumulovaný počet závad	Počet závad (%)	Kumul. počet závad (%)
Ložisko M	300	300	47,8	47,8
Kohout	130	430	20,7	68,5
Koroze B	60	490	9,6	78,0
Kryt B	52	542	8,3	86,3
Hadice	40	582	6,4	92,7
Kondenzátor	28	610	4,5	97,1
Matičky	13	623	2,1	99,2
Těsnění	5	628	0,8	100,0
Celkem	628		100,0	

A následně tabulka nákladů na opravu takto vadných výrobků.

Příčina závady	Počet závad	Náklady na opravu	Náklady na opravu	Kumul. nákl. na opravu	Nákl. na opravu (%)	Kumul. nákl. na opravu (%)
Kohout	130	21	2730	2730	38,5	38,5
Ložisko M	300	8	2400	5130	33,9	72,4
Kryt B	52	11	572	5702	8,1	80,4
Kondenzátor	28	14	392	6094	5,5	86,0
Matičky	13	30	390	6484	5,5	91,5
Koroze B	60	5	300	6784	4,2	95,7
Hadice	40	6	240	7024	3,4	99,1
Těsnění	5	13	65	7089	0,9	100,0
Celkem	628		7089		100,0	



Závěr

Jak již bylo uvedeno, Paretova analýza je poměrně používaným nástrojem v řízení jakosti. Je to především díky poměrně snadné konstrukci - sběr dat je prakticky neustále prováděn na kontrolních pracovištích - v dnešní době se často přechází na plně automatizované systémy, které vedou záznamy o každém jednotlivém výrobku, lze proto často pokračovat v tvorbě statistik i v případě, že výrobek již opustil samotný výrobní proces (například v automobilovém průmyslu je tato praxe poměrně běžná). Vzhledem k tomu máme obvykle dostatečné množství dat, z nichž můžeme vycházet. V případě nedostatečného množství lze pak přejít k analýze ABC.

Samotná konstrukce Paretových grafů není nikterak náročná. Lze ji zvládnout i bez výpočetní techniky. Největší výhodou těchto analýz spatřujeme především v jasné vizualizaci. Již při prvním pohledu na Paretov graf je totiž jasně vidět, kde se nachází problém. V případě křivky kumulativní četnosti (Lorenzovy křivky) je pak vidět hlavní příčiny. Především díky těmto dvěma výhodám je tato metoda poměrně často využívána.

Je nutné si ale uvědomit, že přístup této analýzy spočívá především ve faktu, že je ji nutné provádět opakovaně - jen tak lze vidět výsledky této metody - a zároveň i další vady. Na rozdíl například od komplexního přístupu ke kvalitě (metoda TQM), tato metoda se soustřeďuje především na nejzávažnější chybu výrobku. Její výsledky jsou pochopitelně závislé především na faktu, že se analýza bude opakovat co možno nejčastěji.

Je zároveň zřejmé, že použití Paretovy analýzy bude vhodné v sériové a masové výrobě - naopak v kusové výrobě bude její interpretace více než pochybná. Všechny tyto vlastnosti je nutné brát při jejím používání na zřetel!

1.7. Obecný přehled o normalizaci

Při výrobě složitých výrobků se žádný výrobce neobejde bez spolupráce s řadou jiných dodavatelů. Prakticky není možné, aby např. jednotlivé díly vyráběl jediný výrobce. Existuje vzájemná spolupráce mezi podniky a výrobci, kteří přes dodavatele zásobují příslušnou část výroby. Konstruktor si pouze z katalogu výrobků vybere potřebný kus a ten použije ve svém výrobku.

Vzájemná vyměnitelnost dílů není zaručována samostatně, ale existují určitá pravidla a předpisy. Tato pravidla jsou budována a tvořena samostatným technickým oborem, nazvaným **normalizace**. Výsledkem normalizace jsou normy, předpisy a pravidla definující určité standardy, které:

- usnadňují sériovou, hromadnou výrobu a tím ji zrychlují a zlevňují;
- urychlují vývoj a urychlují práci konstruktéra;
- zlevňují výrobu, a tím snižují ceny výrobků;
- umožňují vzájemnou vyměnitelnost normalizovaných dílů;
- umožňují na mezinárodní úrovni budovat vzájemné vztahy v oblasti vývoje, výroby a kontroly.

Druhy norem

Důležitým nástrojem při prodeji výrobků v zahraničí, ale i u nás v České republice je certifikace výrobků a výroby podniku. Pro získání certifikace bude vyžadováno provedení technické dokumentace, včetně konstrukční, podle normalizovaných pravidel. Tato pravidla musí mít platnost nejen na území určitého státu, ale i celoevropskou a mezinárodní.

Státní normy (ČSN) – platí na celém území státu. Tvorbu a vydávání řídí Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ). Po věcné stránce vše zabezpečuje Český normalizační institut (ČNI).

Celoevropské normy (EN) – jejich platnost se vztahuje především na území států EU. Vydavatelem je Evropská komise pro normalizaci CEN (Comité Européen de Normalisation).

Mezinárodní normy (ISO) – mají celosvětovou platnost. Vydavatelem je Mezinárodní organizace pro normalizaci ISO (International Organization for Standardization).

V současnosti je důležitým úkolem postupně realizovaná harmonizace ČSN s EN nebo ISO. Při přejímání mezinárodních norem do našich státních se přednostně zpracovává ČSN jako překlad evropských norem ČSN EN).

Označení převzatých norem se skládá z označení, např. ČSN EN a z čísla normy. Označení je doplněno šestimístním třídícím znakem shodným s původním číslováním ČSN.

Převzatá norma EN: např. ČSN EN 22553 (01 3155) Svarové a pájené spoje.

Převzatá norma ISO: např. ČSN ISO 128-1 (01 3114) Pravidla zobrazování.

1.8. Obecný přehled o jakosti

Pojetí jakosti

Existuje mnoho definic a různých přístupů k vymezení pojmů jakost (kvalita). Ve všech definicích jde o společný prvek, kterým je zákazník. Jeho požadavky, jichž se ve vztahu k jakosti domáhá, jsou různé, proměnlivé v čase a jsou výslednicí působení řady nejrozličnějších faktorů:

- biologických
- sociálních
- demografických
- společenských

Pro porozumění je nutné stanovit obecnou definici jakosti. Můžeme ji například nalézt v normě ISO 9000:2000. Jakost je „stupeň splnění požadavků souborem inherentních (učiněných) znaků“.

Požadavek je potřeba nebo očekávání, které:

- je stanoveno spotřebitelem,
- je stanoveno závazným předpisem,
- se obvykle předpokládá.

Za inherentní znaky jsou považovány vnitřní vlastnosti objektu kvality (produktu, procesu, zdroje, systému), které mu existenčně patří. U hmotného produktu jsou výsledkem aplikace použitých materiálů, konstrukčního řešení a finálních úprav. Názor na jakost si tvoří uživatel na základě užítka, který mu produkt poskytuje.

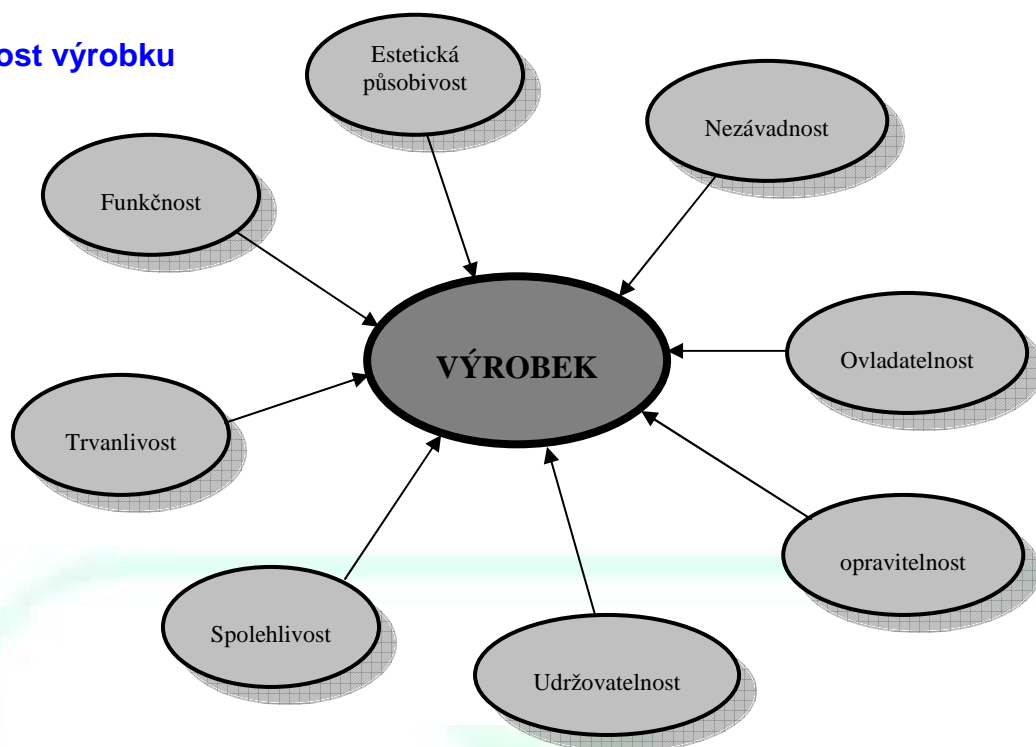
Jakost musí obsahovat vše, co vede k výsledku. Proto hovoříme nejen o jakosti výrobku či jakosti služby, ale také o jakosti procesů, jakosti zdrojů, a v neposlední řadě také o jakosti systému managementu.

Kritérii jakosti výsledného produktu tedy jsou:

- jakost projektu (koncepce, návrhu produktu),
- jakost všech navazujících procesů (zásobování, výroby či poskytování služby, balení, manipulace, skladování, dopravy, instalace a servisu),
- jakost použitých zdrojů v procesech,
- kvalita firmy, která produkt nabízí

Každý produkt má jakožto výsledek činností a procesů své interní a externí zákazníky. Kromě zákazníků vznášejí další požadavky společnost v podobě zákonů, nařízení a vyhlášek, jež musí organizace bezpodmínečně plnit. Každý stát vytváří dozorové a inspekční orgány pro kontrolu plnění těchto požadavků.

Jakost výrobku



Funkčnost

Každý výrobek je vyráběn pro zcela konkrétní účel. Uspokojuje základní představu zákazníka o smysluplnosti nákupu.

Estetická působivost

Ke každému výrobku bezprostředně patří jeho vnější forma, tzn. např. tvarové řešení, barevnost, materiály, vzhled atd.. Nehraje u všech výrobků stejnou úlohu. U některých výrobků je nezbytné podříditi jejich vzhledové řešení požadavkům na základní funkce, ergonomické vlastnosti, apod.. Tento komplexní přístup k řešení estetické působivosti je označován jako design.

Nezávadnost

Zpravidla se jedná o požadavky, o jejichž splnění se nemůže uživatel předem přesvědčit. Proto jsou zájmy státu o jejich zabezpečení zakotveny v právních předpisech.

Ovladatelnost

Výrobek nemá v žádném případě zatěžovat svého uživatele zvýšenými nároky na jeho fyzické i duševní schopnosti.

Trvanlivost

Vysoká dynamika inovací, upřednostňování levnějších materiálů, vědeckotechnický rozvoj a další vlivy životnosti v mnoha případech podstatně zkracují. Musíme si být vědomi toho, že zákazník při nákupu má o této době zcela konkrétní představu.

Spolehlivost

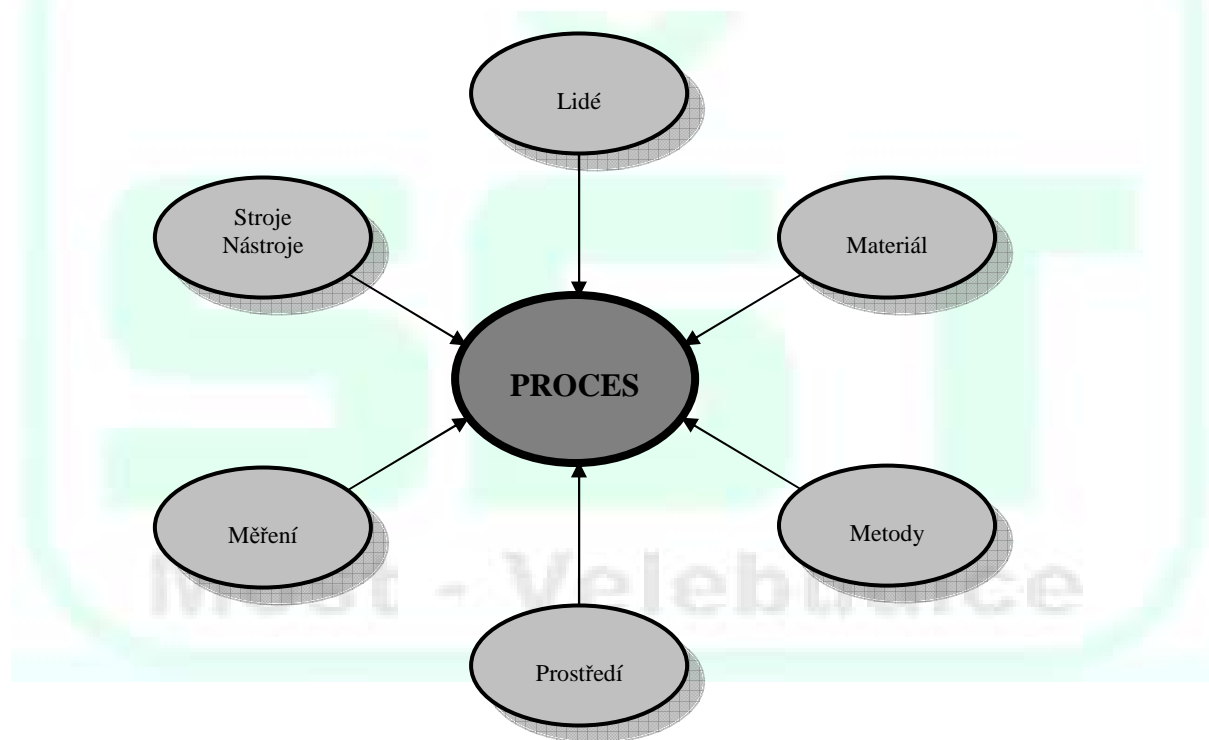
Schopnost výrobku plnit veškeré funkce v jakémkoliv okamžiku, aniž by nastala závada, je v současnosti považována zákazníky za samozřejmou.

Udržitelnost, opravitelnost

Tyto požadavky jsou specifické u různých výrobků. Zákazníci vesměs vyžadují, aby údržba byla snadná a jednoduchá, popřípadě nebyla vůbec nutná. Nastane-li porucha, musí být oprava možná a musí být provedena pružně a na vysoké odborné úrovni.

Jakost procesu

Proces je definován jako „soubor vzájemně souvisejících nebo vzájemně se ovlivňujících činností, který přeměňuje vstupy na výstupy“. Nečekat na výsledek, nýbrž průběžně sledovat a řídit procesy je základem filozofie moderního managementu. V procesech se produkt nejen realizuje, ale i plánuje, vyvíjí, hodnotí a zlepšuje. Jakost procesu je vzájemně propojenou řadou dílčích kvalit.



Lidé

Člověk je v procesech prvkem klíčovým a také nejproblematictější. Požadavky na pracovníky najdeme v popisu funkčních míst, obvykle zúžené v podobě kvalifikačních požadavků. Obsahem osobní kvality je však plnění většího množství požadavků, jako jsou:

- odborné poznatky,
- aplikační schopnosti a praktické dovednosti,
- komunikativnost,
- samostatnost,
- pružnost,

- schopnost pracovat v týmu,
- disciplinovanost.
- charisma.

Stroje a nástroje

Jakost výrobního zařízení, nástrojů a pomůcek je stanovena souborem požadavků na jejich způsobilost pro konkrétní proces a pro splnění znaků jakosti produktů v jeho jednotlivých krocích. Způsobilost strojů je možno sledovat a vyhodnocovat statistickými metodami.

Materiály a pomocné přípravky

Pro zabezpečení jakosti materiálových vstupů stanoví organizace specifikace pro nákup a uplatněním systému hodnocení dodavatelů si zvolí ty nejvhodnější. Rozsah požadavků musí respektovat i například zpracovatelnost materiálů, lhůty skladování, uchování atd..

Prostředí

Na kvalitu pracovního prostředí jsou kladeny v podstatě dvě skupiny požadavků:

- požadavky na podmínky, které jsou v procesu velmi důležité pro splnění nároků na produkt (např. čistota, klimatické podmínky, atd.),
- požadavky na podmínky, které umožní pracovníkům účast v procesech (např. vhodná teplota a vlhkost vzduchu, dostatečné osvětlení, pořádek, potřebné nástroje a pomůcky, atd.).

Postupy

Postupy jasně stanoví, jak mají být činnosti prováděny. Zpravidla jsou zakotveny v dokumentu (předpisu, instrukci), kterým se pracovník řídí. Tento postup musí být především reálný a musí jednoznačně vést k očekávanému výsledku.

Měření

Požadavky na měřicí, zkušební a kontrolní zařízení jsou zaměřeny především na přesnost měřidel, jejich správné použití včetně dodržení předepsaného postupu. Pravidelné ověřování způsobilosti a údržba měřidel jsou samozřejmostí.

Důvody zájmu o jakost

• Konkurence

S tím, jak docházelo k vyrovnávání a později k převisu nabídky nad poptávkou, se začala řada výrobců a poskytovatelů služeb obracet ke kvalitě, protože v ní byla spatřována konkurenční výhoda. Současné globalizační tlaky, kdy se vedle tuzemských výrobců objevují i zahraniční konkurenti, zájem o kvalitu produktů dále posilují. Snaha prodat nutí podnikatele hledat cesty ke zvyšování jakosti produktů a ke snižování cen. Pro mnohé firmy ve světě je řízení jakosti samozřejmostí.

• náročnější zákazníci

Zákazník se naučil rozlišovat, má představu o tom, co je pro něho prospěšné, disponuje více informacemi a odpovědněji vybírá. Zákazník zřejmě upřednostní produkt, který bude nejen plnit jeho očekávání, nýbrž mu poskytne něco navíc. Např. originální řešení, je doprovázen dalšími službami, přitahuje, je něčím úplně novým.

- **jakost vede k ziskům**

Působení jakosti můžeme pozorovat z pohledu nákladů i výnosů organizace:

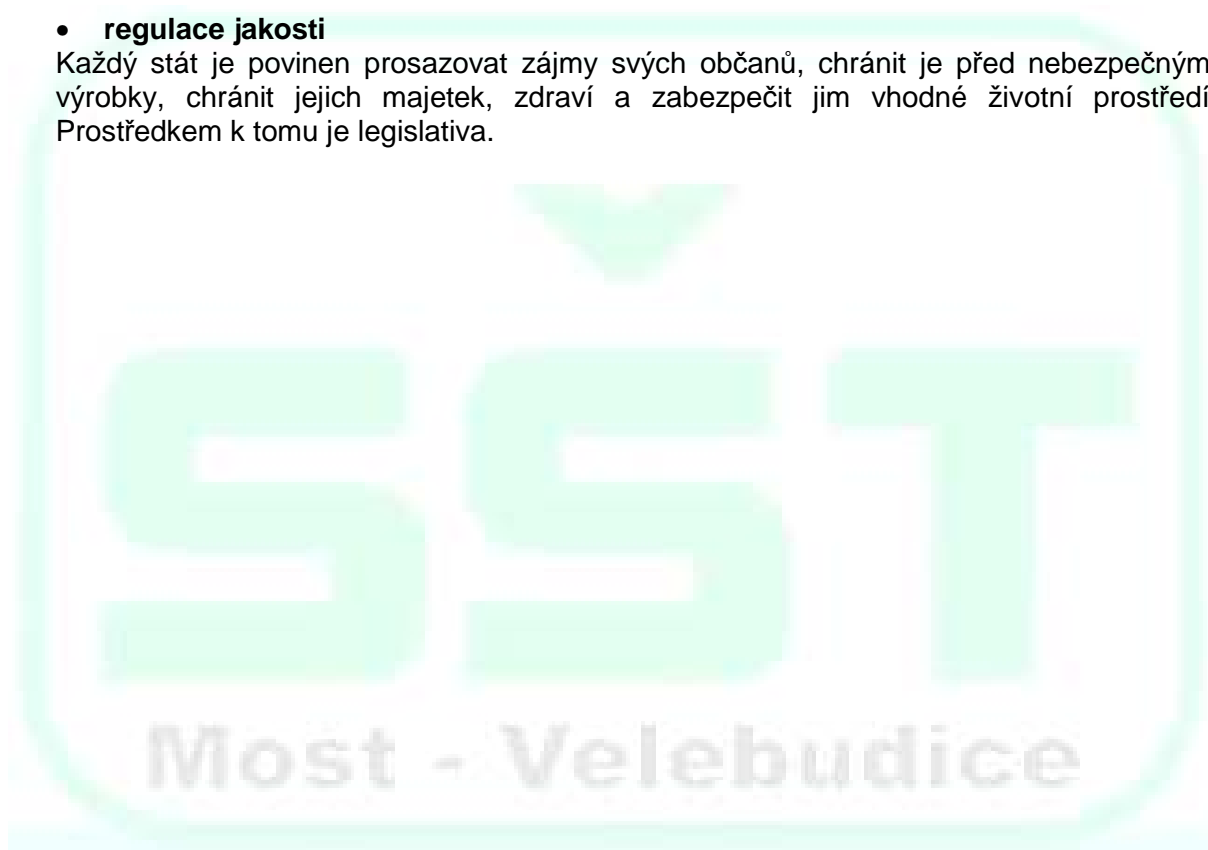
- *náklady* – zmenšení různých sankcí placených zákazníků v důsledku nekvalitních dodávek, snížení ztrát souvisejících s vadnou produkcí, omezení nákladů na opravy, potřeba menšího rozsahu kontrol, atd.
- *výnosy* – rozšíření prodeje jak pro stávající, tak i nové zákazníky, lepší využití výrobního zařízení, atd.

- **osvěta**

V posledním desetiletí došlo k zintenzivnění mezinárodních aktivit při řízení jakosti. V evropském regionu si zaslouží připomenutí činnost Evropské organizace pro jakost (European Organization for Quality – EOQ), která sdružuje více než 30 národních organizací pro jakost a poskytuje různé formy výměny informací z řízení jakosti a zkušeností z praxe.

- **regulace jakosti**

Každý stát je povinen prosazovat zájmy svých občanů, chránit je před nebezpečnými výrobky, chránit jejich majetek, zdraví a zabezpečit jim vhodné životní prostředí. Prostředkem k tomu je legislativa.



2. Specializace „Metrolog“

2.1 Obecný přehled o metrologii

Kategorie metrologie

V Evropské unii se metrologie člení do tří kategorií s různým stupněm složitosti, oblasti užití a přesnosti:

- Vědecká metrologie se zabývá organizací a vývojem etalonů a jejich uchováváním (nejvyšší úroveň).
- Průmyslová metrologie zajišťuje náležité fungování měřidel používaných v průmyslu a ve výrobních a zkušebních procesech.
- Legální metrologie se zabývá přesností měření tam, kde tato měření mají vliv na průhlednost ekonomických transakcí, zdraví a bezpečnost.

Fundamentální metrologie není v mezinárodním měřítku definována, nicméně představuje nejvyšší úroveň přesnosti v rámci dané oblasti. Fundamentální metrologii lze proto popsat jako vědeckou metrologii doplněnou o ty části legální a průmyslové metrologie, které vyžadují vědeckou kompetenci.

Legální metrologie

Legální metrologie vznikla původně z potřeby zajistit poctivý obchod.

Hlavním cílem legální metrologie je chránit občany před důsledky špatného měření v oblasti:

- úředních a obchodních transakcí,
- pracovních podmínek, zdraví a bezpečnosti.

Proto legislativa stanoví požadavky na:

- měřidla,
- metody měření a zkoušení, včetně
- hotově baleného zboží.

Technická funkce legální metrologie

Ti, kdo používají výsledků měření v aplikační oblasti legální metrologie, nemusí být metrologičtí odborníci a odpovědnost za důvěryhodnost takovýchto měření přejímá stát. Přístroje musí zaručovat správné výsledky měření:

- provozních podmínek,
- během celého období používání,
- v rámci stanovených přípustných chyb.

Směrnice

Na celém světě jsou pro výše uvedené oblasti stanoveny národní právní požadavky na měřidla a jejich používání. Patří sem jak preventivní tak i represivní opatření.

Preventivní opatření

Preventivní opatření se podnikají ještě před uvedením přístrojů na trh, tj. tyto přístroje musí být typově schváleny a ověřeny. Schválení typu provádí kompetentní orgán, ve většině zemí úřad, daný typ musí splňovat všechny příslušné zákonné požadavky. U sériově vyráběných měřidel musí být ověřením zajištěno, že každé měřidlo splňuje všechny požadavky stanovené ve schvalovacím řízení.

Pro používané přístroje jsou předepsány kontroly nebo periodická ověřování zajišťující, že měřidla budou splňovat zákonné požadavky. Tyto zákonné požadavky, včetně požadavků na používání, se v jednotlivých zemích liší podle národní legislativy.

Represivní opatření

Represivním opatřením je kontrola trhu zaměřená na zjištění nezákonného používání měřidel (v ČR se používá označení „Stanovená měřidla“). Etalony používané při takových kontrolách a zkouškách musí mít návaznost na národní nebo mezinárodní etalony.

Harmonizace

Harmonizace v Evropě vychází ze Směrnice 71/316/EHS, která obsahuje požadavky na všechny kategorie měřidel, a z dalších směrnic týkajících se jednotlivých kategorií měřidel, které byly vydány od roku 1971. Měřidla s typovým schválením EHS a prvotním ověřením EHS lze uvádět na trh a používat ve všech členských zemích bez dalších zkoušek či schvalování typu.

K dosažení volného pohybu zboží na jednotném evropském trhu přijala Rada svým rozhodnutím v roce 1989 novou koncepci v oblasti technické harmonizace a standardizace, včetně metrologie, jejímž záměrem bylo, aby směrnice byly závazné pro všechny členské státy a aby nebyly povoleny národní odchylky.

Evropské komise uveřejnila návrh na Směrnici pro měřidla (MID). Účelem MID je odstranění technických překážek obchodu a tím regulace prodeje a používání následujících měřidel:

- vodoměrů,
- plynoměrů,
- elektroměrů a měřících transformátorů,
- měřičů tepla,
- měřících systémů na kapaliny jiné než voda,
- automatických vážících zařízení,
- taxametrů,
- délkových měřidel,
- souřadnicových strojů,
- analyzátorů dechu,
- analyzátorů výfukových plynů.

Jednotlivé přístroje musí splňovat základní požadavky. Výrobce může stanovit technické detaily nebo se může odvolat na harmonizované evropské normy. Použití norem usnadní přístup na trh, tj. u přístrojů odpovídajících těmto normám se má za to, že splňují požadavky příslušné směrnice.

Posuzování shody

Postupy posuzování shody odpovídají postupům uvedeným ve Směrnici 93/65/EHS pro moduly používané ve všech technických harmonizačních směrnicích.

U elektronických měřidel se používá dvoustupňový postup posuzování shody. V prvním stupni provádí externí certifikační orgán typovou zkoušku. Hodnocení shody sériově vyráběných přístrojů může provádět jejich výrobce za předpokladu, že má k dispozici schválený a kontrolovaný systém jakosti. Zkoušení jednotlivých přístrojů musí jinak provádět externí certifikační orgán.

Příklad:

Směrnice 90/384/EHS o vahách s neautomatickou činností a Směrnice 93/42/EHS o lékařských přístrojích. Tyto přístroje mohou být opatřeny značkou CE před svým uvedením na trh v Evropském hospodářském prostoru za předpokladu, že prošly postupem EC pro posuzování shody.

Certifikační orgány

Členskými zeměmi jsou oznamovány certifikační orgány. Tyto notifikované orgány musí mít technickou kompetenci i nezávislost požadovanou ve směrnici a tím i schopnost plnit technické a administrativní úkoly. Může se jednat jak o soukromé tak i státní organizace. Výrobci mají možnost volně si vybírat mezi těmito evropskými orgány.

Zákonná kontrola

Závazná zákonná kontrola měřidel, jak je uvedena ve směrnici, bude ponechána v rukou každé členské země. Požadavky, které mají přístroje splňovat po svém uvedení do užívání, nebyly dosud harmonizovány. Členské země si pak mohou stanovit následné ověřování, kontroly a lhůty platnosti na základě své vlastní národní legislativy.

Ochrana zákazníků se může v jednotlivých členských státech lišit. Z tohoto důvodu jsou požadavky upravující používání přístrojů řešeny národní legislativou. Členské státy mohou stanovit na měřidla vlastní zákonné požadavky, které nejsou uvedeny v MID.

Kontrolovaná zařízení

Z historických důvodů není rozsah legální metrologie ve všech zemích stejný. Většina kategorií měřidel harmonizovaných v Evropě je uvedena v následující tabulce. Až vstoupí v platnost MID, bude zrušena většina níže uvedených směrnic. Směrnice jsou uvedeny v Úředním věstníku Evropských společenství.

Směrnice	Vyhláška	Nařiz. vlády	Měřidlo nebo výrobek
71/317	33/2002		Pravoúhlá závaží 5 kg - 50 kg a válc. záv. 1 kg - 10 kg
71/318	336/2000		Plynoměry
71/319	22/2001		Průtokoměry na kapaliny jiné než voda
71/347	29/2002		Měřicí přístroje pro měření objemové hmotnosti obilí
73/362	339/2000		Hmotné délkové měřky
74/148	32/2002		Závaží od 1 mg do 50 kg
75/033	334/2000		Vodoměry na studenou vodu
75/410	250/2001		Pásové dopravníkové váhy
76/765	31/2002		Lihoměry a hustoměry na líh
76/766	141/1997		Lihoměrné tabulky
76/891	338/2000		Elektroměry
77/095	336/2000		Taxametry
77/313	21/2001		Měřicí systémy pro kapaliny jiné než voda
78/1031	249/200		Automatické kontrolní a třídící váhící zařízení

79/830	333/2000		Vodoměry na teplou vodu
86/217	37/2000		Měřiče tlaku v pneumatikách pro motorová vozidla
90/384		326/2002	Váhy s neautomatickou činností
93/42		181/2001	Zdravotnické prostředky

Software není ve výše uvedených směrnících zahrnut, ale bude patrně řešen v MID.

Mezinárodní organizace - OIML

Mezinárodní organizace legální metrologie OIML byla vytvořena na základě Úmluvy v roce 1955 s cílem napomáhat globální harmonizaci postupů legální metrologie.

OIML je mezivládní smluvní organizace s 57 členskými zeměmi, které se podílejí na technické činnosti, a s 48 korespondenčními členskými zeměmi, které se podílejí na činnosti OIML jako pozorovatelé.

OIML spolupracuje s orgány Metrické konvence a BIPM v mezinárodní harmonizaci legální metrologie.

OIML udržuje styky s více než 100 mezinárodních a regionálních institucí v otázkách metrologie a normalizace a v souvisejících oblastech.

Metrologické směrnice

Celosvětová technická struktura poskytuje členům metrologické směrnice na vypracování národních a regionálních požadavků týkajících se výroby a používání měřidel v oblasti legální metrologie.

Vzorové předpisy, mezinárodní doporučení

OIML vypracovává vzorové předpisy a vydává mezinárodní doporučení, která slouží pro členské země jako mezinárodně dohodnutý základ k vypracování národní legislativy pro různé kategorie měřidel. Technická doporučení obsažená v návrhu Evropské směrnice pro měřidla (MID) jsou do značné míry shodná s Mezinárodními doporučeními OIML.

Hlavní prvky mezinárodních doporučení:

- rozsah, aplikace a terminologie,
- metrologické požadavky,
- technické požadavky,
- metody a zařízení pro zkoušení a ověřování shody s požadavky,
- formát zkušební zprávy.

Návrhy doporučení a dokumentů OIML zpracovávají technické výbory resp. podvýbory, jejichž členy jsou zástupci jednotlivých členských zemí. Jako poradní orgány působí také některé mezinárodní a regionální instituce. OIML má k odstranění konfliktních požadavků uzavřeny dohody o spolupráci s různými organizacemi např. s ISO a IEC. Proto mohou výrobci i uživatelé měřidel pro zkušební laboratoře současně používat jak publikace OIML tak i publikace jiných institucí.

Certifikační systém OIML

Tento systém poskytuje výrobcům možnost získat certifikát a zkušební zprávu OIML potvrzující, že daný typ splňuje požadavky příslušných Mezinárodních doporučení OIML.

Certifikáty vydávají členské státy OIML, které vytvořily jeden nebo několik vystavujících orgánů odpovědných za vyřizování žádostí od výrobců, kteří si přejí mít certifikát pro typy svých přístrojů. Tyto certifikáty jsou předmětem dobrovolného uznání ze strany národních metrologických služeb.

Evropská organizace WELMEC

V souvislosti s vypracováním a prosazováním směrnic v souladu s "Novým přístupem" podepsalo 15 členských zemí EU a tři země EFTA v roce 1990 Memorandum o porozumění při příležitosti založení organizace WELMEC - "Západoevropská organizace pro spolupráci v legální metrologii". Tento název byl v roce 1995 změněn na "Organizaci pro evropskou spolupráci v legální metrologii", nicméně se jedná o stejnou organizaci. Od té doby se přidruženými členy WELMECu staly země, které podepsaly smlouvy s Evropskou unií. V současné době má tato organizace 27 členských zemí.

Členy WELMECu

Jsou národní orgány legální metrologie v členských zemích EU a EFTA. Přidruženými členy jsou národní orgány legální metrologie kandidátských zemí EU. Hlavním cílem WELMECu je vytváření vzájemné důvěry mezi orgány legální metrologie v Evropě, harmonizace aktivit v oblasti legální metrologie a podpora výměny informací mezi všemi zainteresovanými orgány.

Výbor WELMECu

je složen z delegátů jednotlivých členských a přidružených států a z pozorovatelů EUROMETu, Evropské spolupráce v akreditaci (EA), Mezinárodní organizace pro legální metrologii (OIML) a dalších regionálních organizací se zájmy v oblasti legální metrologie. Výbor se schází nejméně jednou za rok. Ve strategických otázkách radí předsedovi malá Poradní skupina.

Pracovní skupiny

se scházejí podle potřeby k projednání řady důležitých otázek a k vypracování doporučení pro výbor WELMECu. V současné době podporuje činnost výboru sedm pracovních skupin:

- WG 2 Realizace směrnice 90/38/EHS. Sekretariát ve Spojeném království
- WG 4 Aplikace norem EN45000 na notifikovaná pracoviště. Sekretariát v Norsku
- WG 5 Revize prosazujících aktivit. Sekretariát ve Spojeném království
- WG 6 Hotově balené zboží. Sekretariát v Nizozemsku
- WG 7 Software. Sekretariát v Německu
- WG 8 Směrnice pro měřidla. Sekretariát ve Francii
- WG 10 Měřicí zařízení pro kapaliny jiné než voda. Sekretariát v Nizozemsku.

Příklady vydaných pokynů pro harmonizaci v Evropě:

- Aplikace směrnice 90/384/EHS o neautomatických vahách.
- Dohoda o schvalování typů, která zahrnuje vzájemné uznávání typových schválení na základě doporučení OIML, pro některé kategorie měřidel v oblastech dosud neharmonizovaných.
- Pokyny pro softwarové požadavky na měřidla.

WELMEC je poradním orgánem Evropské komise a Rady při vypracování Směrnice pro měřidla (MID).

Zdroje metrologických informací

Uváděné domovské stránky, včetně příslušných odkazů, poskytnou bohaté informace.

Předmět informací	Zdroje	Kontakt
Mezinárodní metrologické organizace	BIPM (Mezinárodní úřad pro váhy a míry)	Pavillon de Breteuil, F-92312 Sèvres Cedex, Francie www.bipm.org
Soustava SI		BIPM, www.bipm.org
Národní metrologické ústavy	EUROMET	Sekretariát 2000-2001: METAS, Lindenweg 50, CH-3003 Bern-Wabern, Švýcarsko, www.euromet.ch
Technické projekty EUROMET a vzájemná porovnání	EUROMET	sekretariát je od roku 2002 v Irsku, internetová adresa www.euromet.org
Akreditované laboratoře	EA	Sekretariát: COFRAC, 37 rue de Lyon, FR-75012 Paříž, Francie, www.european-accreditation.org
Akreditace v Evropě		www.european-accreditation.org
Měřicí, zkušební a analytické laboratoře v Evropě	EUROLab	www.eurolab.org
Mezinárodní klíčová porovnání	Uveřejněno v časopise "Metrologia"	BIPM www.bipm.org
Normy	ISO (Mezinár. organ. pro normalizaci)	www.iso.ch
Národní normalizační orgány	CEN (Evropský výbor pro normalizaci)	www.cenorm.be
Referenční materiály pro chemickou analýzu	IRMM COMAR databáze	www.irmm.jrc.be
Legální metrologie v Evropě	WELMEC	WELMEC sekretariát: Spojené království tel.: ++44-208-9437211 www.welmec.org
Legální metrologie, mezinárodní	OIML	Sekretariát OIML: BML Paříž, Francie tel.: ++33 1 48 781282 www.oiml.org
Legislativa Společenství - metrologie	Úřední věstník Evropských společenství CELEX databáze	www.europa.eu.int/eur-lex/en/lif/reg/en_register-133012.html
V ČR	ČMI ÚNMZ	www.cmi.cz www.unmz.cz

Měřicí jednotky

Myšlenka metrické soustavy, tj. soustavy jednotek založené na metru a kilogramu, vznikla za Francouzské revoluce, kdy byly v roce 1799 vytvořeny dva platinové referenční etalony metru a kilogramu a uloženy ve Francouzském národním archivu v Paříži; později se jim začalo říkat archivní metr a archivní kilogram. Národní shromáždění pověřilo Francouzskou

akademii věd vypracováním nové soustavy jednotek, určené pro celý svět, a v roce 1946 pak členské země Metrické konvence přijaly soustavu MKSA (metr, kilogram, sekunda, ampér). Soustava MKSA byla v roce 1954 rozšířena o kelvin a kandela a celá soustava potom dostala název Mezinárodní soustava jednotek, SI (Le Système International d'Unités).

V roce 1960 soustavu SI zavedla 11. Generální konference pro váhy a míry (CGPM):

- "Mezinárodní soustava jednotek SI je ucelená soustava jednotek schválených a doporučených CGPM."
- Soustavu SI tvoří sedm základních jednotek, které spolu s jednotkami odvozenými vytvářejí ucelený systém jednotek. Kromě toho byly pro používání spolu s jednotkami SI schváleny i některé další jednotky stojící mimo soustavu SI.

Níže uvedené tabulky jednotek (tabulka 2.1.1 – 2.1.7) obsahují následující údaje:

Jednotky SI

- tabulka 2.1.1 Základní jednotky SI
- tabulka 2.1.2 Odvozené jednotky SI vytvořené ze základních jednotek SI
- tabulka 2.1.3 Odvozené jednotky SI se zvláštním pojmenováním a značkou
- tabulka 2.1.4 Odvozené jednotky SI, jejichž pojmenování a značky zahrnují odvozené jednotky SI se zvláštním pojmenováním a značkou

Jednotky mimo SI

- tabulka 2.1.5 Uznané jednotky, které se široce používají
- tabulka 2.1.6 Jednotky používané ve specifických oborech
- tabulka 2.1.7 Jednotky používané ve specifických oborech a jejichž hodnoty jsou určovány experimentálně

Tabulka 2.1.1: Základní jednotky SI [2]

Veličina	Základní jednotka	Značka
délka	metr	m
hmotnost	kilogram	kg
čas	sekunda	s
elektrický proud	ampér	A
termodynamická teplota	kelvin	K
látkové množství	mol	mol
svítivost	kandela	cd

Základní jednotky SI

Základní jednotkou je měřicí jednotka základní veličiny v dané soustavě veličin.

Definice a realizace každé základní jednotky SI se postupně upravuje s tím, jak metrologický výzkum odhaluje možnosti přesnější definice a realizace jednotky. Příkladem může být vývoj definice jednotky délky.

Definice metru z roku 1889 vycházela z mezinárodního prototypu z platin-iridia uloženého v Paříži. V roce 1960 byl metr nově definován jako 1 650 763,73 násobek vlnové délky spektrální čáry kryptonu 86. Kolem roku 1983 již tato definice přestala dostačovat a bylo rozhodnuto metr nově definovat jako délku dráhy, kterou urazí světlo ve vakuu za časový interval $1/299\,792\,458$ sekundy, vyjádřenou vlnovou délkou záření z hélium–neonového jódem stabilizovaného laseru. Tyto nové definice snížily relativní nejistotu realizace jednotky z 10^{-7} m na 10^{-11} m.

Definice základních jednotek SI

Metr je délka dráhy, kterou proběhne světlo ve vakuu za $1/299\,792\,458$ sekundy.

Kilogram je hmotnost mezinárodního prototypu kilogramu, uchovávaného v Mezinárodním úřadě pro váhy a míry (BIPM) v Sévres.

Sekunda je doba rovnající se 9 192 631 770 periodám záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133.

Ampér je stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma rovnoběžnými, přímými, nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu, umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 1 m, vyvolá mezi nimi stálou sílu rovnou 2×10^{-7} newtonu na 1 metr délky vodičů.

Kelvin je $1/273,16$ díl termodynamické teploty trojného bodu vody.

Poznámka: Celsiova teplota t je definována jako rozdíl $t = T - T_0$ mezi dvěma termodynamickými teplotami, kde $T_0 = 273,15$ K. Interval nebo rozdíl teplot může být vyjádřen buď v kelvinech nebo ve stupních Celsia, označení $^{\circ}\text{C}$.

Mol je látkové množství soustavy, která obsahuje právě tolik elementárních jedinců (entit), kolik je atomů v 0,012 kg nuklidu uhlíku ^{12}C . Při udávání látkového množství je třeba elementární entity specifikovat; mohou to být atomy, molekuly, ionty, elektrony, jiné částice nebo blíže určená seskupení částic.

Kandela je svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření o kmitočtu 540×10^{12} hertzů a jehož zářivost v tomto směru je $1/683$ wattu na steradián.

Odvozené jednotky SI

Odvozenou jednotkou je jednotka míry odvozené veličiny v dané soustavě veličin [4].

Odvozené jednotky SI jsou odvozeny od základních jednotek SI v souladu s fyzikální souvislostí mezi danými veličinami.

Příklad: Z fyzikální souvislosti mezi veličinou délky měřenou v jednotce m a veličinou času měřenou v jednotce s lze odvodit veličinu rychlosti měřenou v jednotce m/s .

Odvozené jednotky jsou vytvářeny ze základních jednotek použitím matematických značek pro násobení a dělení. Příklady jsou uvedeny v tabulce 5.2.

Tabulka 2.1.2: Příklady odvozených jednotek SI

Odvozená veličina	Odvozená jednotka	Značka
plocha	čtvereční metr	m^2
objem	krychlový metr	m^3
rychlost	metr za sekundu	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
zrychlení	metr za sekundu na druhou	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
úhlová rychlost	radián za sekundu	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
úhlové zrychlení	radián za sekundu na druhou	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$
hustota	kilogram na krychlový metr	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
intenzita magnetického pole	ampér na metr	$\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$
hustota elektrického proudu	ampér na metr čtverečný	$\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$
moment síly	newton metr	$\text{N} \cdot \text{m}$
intenzita elektrického pole	volt na metr	$\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$
permeabilita	henry na metr	$\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$

permitivita	farad na metr	$F \cdot m^{-1}$
měrná tepelná kapacita	joule na kilogram kelvin	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
koncentrace látkového množství	mol na krychlový metr	$mol \cdot m^{-3}$
jas	kandela na čtvereční metr	$cd \cdot m^{-2}$

CGPM schválila zvláštní pojmenování a značky pro některé odvozené jednotky, jak je uvedeno v tabulce 2.1.3.

Některé základní jednotky se používají u různých veličin, jak ukazuje tabulka 5.4. Odvozenou jednotku lze často vyjádřit různými kombinacemi 1) základních jednotek a 2) odvozených jednotek se zvláštním pojmenováním. V praxi se dává přednost pojmenování zvláštních jednotek a kombinací jednotek k rozlišení různých veličin se stejným rozměrem. Proto musí měřidlo uvádět jak jednotku, tak i měřenou veličinu.

Tabulka 2.1.3: Odvozené jednotky SI se zvláštním pojmenováním a značkou

Odvozená veličina	Odvozená jednotka SI zvláštní pojmenování	Značka zvláštní značka	V jednotkách SI	V základních jednotkách SI
Kmitočet	hertz	Hz		s^{-1}
Síla	newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
tlak, mech. napětí	pascal	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
energie, práce, mn. tepla	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
výkon, zářivý tok	watt	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
elektrický náboj, množství elektřiny	coulomb	C		$s \cdot A$
rozdíl elektr. potenciálu, elektromotorická síla	volt	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
elektrická kapacita	farad	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
elektrický odpor	ohm	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
elektrická vodivost	siemens	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
magnetický tok	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
magnetická indukce, hustota magnetického toku	tesla	T	Wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
indukčnost	henry	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
světelný tok	lumen	lm	$cd \cdot sr$	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$
osvětlení	lux	lx	lm/m^2	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$
aktivita (radionuklidu)	becquerel	Bq		s^{-1}
absorbovaná dávka, kerma, měrná energie (předaná)	gray	Gy	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
dávkový ekvivalent	sievert	Sv	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
rovinný úhel	radián	rad		$m \cdot m^{-1} = 1$
prostorový úhel	steradián	sr		$m^2 \cdot m^{-2} = 1$

Tabulka 2.1.4: Příklady odvozených jednotek SI, jejichž pojmenování a značky obsahují odvozené jednotky SI se zvláštním pojmenováním a značkou [2]

Odvozená veličina	Odvozená jednotka	Značka	V základních jednotkách SI
dynamická viskozita	pascal sekunda	Pa·s	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
moment síly	newton metr	N·m	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
povrchové napětí	newton na metr	N/m	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
úhlová rychlost	radián za sekundu	rad/s	$\text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = \text{s}^{-1}$
úhlové zrychlení	radián za sekundu na druhou	rad/s^2	$\text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} = \text{s}^{-2}$
hustota tepelného toku, hustota zářivého toku	watt na čtvereční metr	W/m^2	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
tepelná kapacita, entropie	joule na kelvin	J/K	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
měrná tepelná kapacita, měrná entropie	joule na kilogram kelvin	J/(kg·K)	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
měrná energie	joule na kilogram	J/kg	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
tepelná vodivost	watt na metr kelvin	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$
hustota energie	joule na krychlový metr	J/m^3	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
intenzita elektrického pole	volt na metr	V/m	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$
hustota elektrického náboje	coulomb na krychlový metr	C/m^3	$\text{m}^{-3} \cdot \text{s} \cdot \text{A}$
hustota elektrického toku	coulomb na čtvereční metr	C/m^2	$\text{m}^{-2} \cdot \text{s} \cdot \text{A}$
permitivita	farad na metr	F/m	$\text{m}^{-3} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$
permeabilita	henry na metr	H/m	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$
molární energie	joule na mol	J/mol	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{mol}^{-1}$
molární entropie, molární tepelná kapacita	joule na mol kelvin	J/(mol·K)	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
ozáření (paprsky x a γ)	coulomb na kilogram	C/kg	$\text{kg}^{-1} \cdot \text{s} \cdot \text{A}$
absorbovaná dávka	gray za sekundu	Gy/s	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$
zářivost	watt na steradián	W/sr	$\text{m}^4 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} = \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
	watt na čtvereční metr steradián	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$	$\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} = \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$

Jednotky mimo SI

Tabulka 2.1.5 uvádí jednotky stojící mimo SI, které jsou povoleny k používání společně s jednotkami SI, jelikož se široce používají nebo se používají ve specifických oborech.

Tabulka 2.1.6 obsahuje příklady jednotek mimo SI, které jsou povoleny k používání ve specifických oborech.

Tabulka 2.1.7 uvádí jednotky mimo SI, které jsou povoleny k používání ve specifických oborech a jejichž hodnoty jsou určovány experimentálně.

Kombinovaná nejistota (koeficient pokrytí $k = 1$) u dvou posledních číslic daného čísla je uvedena v závorkách.

Tabulka 2.1.5: Jednotky mimo SI, které jsou povoleny

Veličina	Jednotka	Značka	Hodnota v jednotkách SI
čas	minuta	Min	1 min = 60 s
	hodina	h	1 h = 60 min = 3600 s
	den	d	1 d = 24 h
rovinný úhel	stupeň	°	1° = ($\pi/180$) rad
	minuta	'	1' = (1/60)° = ($\pi/10\,800$) rad
	vteřina	''	1'' = (1/60)' = ($\pi/648\,000$) rad
	nygrad	gon	1 gon = ($\pi/200$) rad
objem	litr	l L	1 l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
hmotnost	tuna	t	1 t = 10 ³ kg

Tabulka 2.1.6: Jednotky mimo SI, které jsou povoleny k používání v rámci specifických oborů

Veličina	Jednotka	Značka	Hodnota v jednotkách SI
délka	míle námořní		1 námořní míle = 1852 m
rychlost	uzel		1 námořní míle za hodinu = (1852/3600) m/s
hmotnost	karát		1 karát = 2x10 ⁻⁴ kg = 200 mg
lineární hustota	tex	tex	1 tex = 10 ⁻⁶ kg/m = 1 mg/m
mohutnost optických systémů	dioptrie		1 dioptrie = 1 m ⁻¹
tlak kapaliny v lidském těle	milimetry rtuti	mm Hg	1 mm Hg = 133,322 Pa
plocha	ar	a	1 a = 100 m ²
plocha	hektar	ha	1 ha = 10 ⁴ m ²
tlak	bar	bar	1 bar = 100 kPa = 10 ⁵ Pa
délka	ångström	Å	1 Å = 0,1 nm = 10 ⁻¹⁰ m
průřez	barn	b	1 b = 10 ⁻²⁸ m ²

Tabulka 2.1.7: Jednotky mimo SI, které jsou povoleny v rámci specifických oborů a jejichž hodnoty jsou určovány experimentálně [2]

2.1.1. <i>Veličina</i>	2.1.2. <i>Jednotka</i>	2.1.3. <i>Značka</i>	2.1.4. <i>Definice</i>	2.1.5. <i>V jednotkách SI</i>
2.1.6. energie	2.1.7. elektronvolt	2.1.8. eV	2.1.9. 1 eV je kinetická energie jednoho elektronu procházejícího potenciálním rozdílem 1V ve vakuu	2.1.10. 1 eV = 1,602 177 33 (49).10 ⁻¹⁹ J
hmotnost	jednotka atomové hmotnosti	u	1 u se rovná 1/12 zbytkové hmotnosti neutrálního atomu nuklidu ¹² C v základním stavu.	1 u = 1,660 540 2 (10).10 ⁻²⁷ kg
délka	astronomická jednotka	ua		1 ua = 1,495 978 706 91 (30) . 10 ¹¹ m

Předpony SI

CGPM přijala a doporučila řadu předpon a předponových značek, které jsou uvedeny v tabulce 2.1.8.

Zásady pro správné používání předpon:

- Předpony se zásadně týkají mocnin deseti (a nikoli například mocnin dvou)
Příklad: Jeden kilobit představuje 1000 bitů a nikoliv 1024 bitů
- Předpony musí být psány bez mezery před značku dané jednotky.
Příklad: Centimetr se píše jako cm a nikoliv c m
- Nelze používat kombinaci předpon.
Příklad: 10⁻⁶ kg musí být psáno jako 1 mg a nikoliv 1μkg
- Předponu nelze psát samostatně.
Příklad: 10⁹/m³ nelze psát jako G/m³

Tabulka 2.1.8: Předpony SI [2]

Faktor	Předpona	Značka	Faktor	Předpona	Značka
10 ¹	deca	da	10 ⁻¹	deci	d
10 ²	hecto	h	10 ⁻²	centi	c
10 ³	kilo	k	10 ⁻³	mili	m
10 ⁶	mega	M	10 ⁻⁶	mikro	μ
10 ⁹	giga	G	10 ⁻⁹	nano	n
10 ¹²	tera	T	10 ⁻¹²	pico	p
10 ¹⁵	peta	P	10 ⁻¹⁵	femto	f
10 ¹⁸	exa	E	10 ⁻¹⁸	atto	a
10 ²¹	zetta	Z	10 ⁻²¹	zepto	z
10 ²⁴	yotta	Y	10 ⁻²⁴	yocto	y

Psaní názvů a značek jednotek SI

Značky se nepíší velkými písmeny, nicméně první písmeno značky se píše velkým písmenem, jestliže:

- 1) pojmenování jednotky pochází od jména osoby nebo
- 2) značka uvozuje větu. Příklad: Jednotku kelvin píšeme značkou K.

Značky zůstávají beze změny i v množném čísle, žádná koncovka množného čísla se nepřidává.

- Po značkách se nikdy neklade tečka, ledaže značkou končí věta.
- Kombinované jednotky vzniklé násobením několika jednotek je nutno psát se zvýšenou tečkou nebo s mezerou. Příklad: N·m nebo N m
- Kombinované jednotky vzniklé dělením jedné jednotky jinou je nutno psát s lomítkem nebo se záporným exponentem. Příklad: m/s nebo $m \cdot s^{-1}$
- Kombinované jednotky mohou obsahovat pouze jediné lomítko. U složitých kombinací je dovoleno používat závorku nebo záporné exponenty. Příklad: m/s^2 nebo $m \cdot s^{-2}$ ale nikoliv m/s/s, Příklad: $m \cdot kg/(s^3 \cdot A)$ nebo $m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$, ale nikdy $m \cdot kg/s^3/A$ ani $m \cdot kg/s^3 \cdot A$
- Značky musí být od následující číselné hodnoty odděleny mezerou. Příklad: 5 kg a nikoliv 5kg
- Značky a názvy jednotky nelze směšovat.

Číselné zápisy

- Vždy po třech číslicích na obou stranách desetinné čárky je třeba umístit mezeru (15 739,012 53). Tuto mezeru lze vypustit u čtyřmístných čísel. K oddělování tisíců nelze používat čárku.
- Matematické operace lze používat pouze u značek jednotek (kg/m^3) a nikoliv u pojmenování jednotek (kilogram/krychlový metr).
- Musí být zřejmé, ke které značce jednotky se číselná hodnota vztahuje a která matematická operace se vztahuje k dané číselné veličině: Příklady: 35 cm x 48 cm a nikoli 35 x 48 cm, $100 g \pm 2 g$ a nikoliv $100 \pm 2 g$

2.2 Zákonné a jiné požadavky

Ochrana spotřebitele

Na jedné straně je zastřešována státem, který vypracovává koncepci ochrany spotřebitele a zajišťuje zákony ve prospěch této ochrany. Na druhé straně vznikají dobrovolná sdružení na ochranu spotřebitelů, která mají za cíl informovat spotřebitele, vychovávat je k odpovědnému rozhodování na trhu a prosazovat jejich zájmy ve státních orgánech.

Sdružení na ochranu spotřebitelů mají svoji světovou organizaci CI (Consumer International).

CI deklarovala osm základních práv, která mají být zabezpečena pro spotřebitele, tj. právo na:

- bezpečnost;
- volný výběr zboží;
- odškodnění;
- informace;
- vzdělání;
- zastupování;

- základní potřeby;
- zdravé životní prostředí.

V ČR stanovuje Koncepti spotřebitelské politiky ministerstvo průmyslu a obchodu.

Cíle spotřebitelské politiky ČR jsou:

- chránit bezpečnost života, zdraví a ekonomické zájmy občanů,
- přispívat k ochraně vnitřního trhu před nekalým jednáním,
- rozvíjet činnost nevládních spotřebitelských organizací,
- zlepšovat informovanost občanů o jejich právech při nákupu zboží a služeb a o způsobech, jak uplatňovat na trhu své ekonomické zájmy,
- přispět k dosažení kompatibility trhu ČR s vnitřním trhem EU,
- podílet se na vytváření důvěry v elektronický obchod a na jeho rozvoji.

Výrobci, poskytovatelé služeb, dovozci, ale i distributoři by měli mít základní povědomí o legislativě upravující tuto oblast.

Tu představují zejména:

- zákon o odpovědnosti za škodu způsobenou vadou výrobku,
- zákon o obecné bezpečnosti výrobků,
- zákon o technických požadavcích na výrobky,
- zákon o potravinách a tabákových výrobcích,
- zákony o léčivech a ochraně veřejného zdraví.

Právní úprava ochrany spotřebitele

Ochrana spotřebitele v ČR vychází z občanského zákoníku a ze zákona o ochraně spotřebitele.

Zákon o ochraně spotřebitele obsahuje povinnosti při prodeji výrobků a služeb. V části týkající se povinností při prodeji výrobků a poskytování služeb je stanovena poctivost prodeje výrobků a služeb, zákaz diskriminace spotřebitele a informační povinnosti prodávajícího.

Prodávající je povinen zejména:

- prodávat výrobky ve správné hmotnosti, míře nebo množství a umožnit spotřebiteli překontrolovat si správnost těchto údajů,
- prodávat výrobky a poskytovat služby v předepsané nebo schválené jakosti, pokud je závazně stanovena nebo pokud to vyplývá ze zvláštních předpisů anebo v jakosti jím uváděné; není-li jakost předepsána, schválena nebo uváděna, v jakosti obvyklé,
- prodávat výrobky a poskytovat služby za ceny sjednané v souladu s cenovými předpisy a ceny při prodeji výrobků nebo poskytování služeb správně účtovat,
- prodávající se nesmí při prodeji výrobků a poskytování služeb chovat v rozporu s dobrými mravy; zejména nesmí žádným způsobem spotřebitele diskriminovat,
- zákaz výroby, dovozu, vývozu, nabídky, prodeje a darování výrobků nebezpečných svou zaměnitelností s potravinami Nikdo nesmí vyrábět, dovážet, vyvážet, nabízet, prodávat a darovat výrobky nebezpečné svou zaměnitelností s potravinami,
- zákaz nabídky, prodeje a vývozu výrobků nebo zboží určených pro humanitární účely Nikdo nesmí nabízet za účelem prodeje, prodávat a vyvážet výrobky nebo zboží, které byly určeny pro humanitární účely,
- nikdo nesmí klamat spotřebitele, zejména uvádět nepravdivé, nedoložené, neúplné, nepřesné, nejasné, dvojsmyslné nebo přehnané údaje anebo zamlčet údaje o skutečných vlastnostech výrobků nebo služeb či úrovni nákupních podmínek,
- odpovědnosti za klamání spotřebitele se nelze zprostit poukazem na skutečnost, že potřebné nebo správné údaje neposkytl výrobce, dovozce nebo dodavatel,

- prodávající je povinen řádně informovat spotřebitele o vlastnostech prodáváných výrobků nebo charakteru poskytovaných služeb, o způsobu použití a údržby výrobku a o nebezpečí, které vyplývá z jeho nesprávného použití nebo údržby, jakož i o riziku souvisejícím s poskytovanou službou. Jestliže je to potřebné s ohledem na povahu výrobku, způsob a dobu jeho užívání, je prodávající povinen zajistit, aby tyto informace byly obsaženy v přiloženém písemném návodu a aby byly srozumitelné,
- prodávající musí zajistit, aby jím prodávané výrobky byly přímo viditelně a srozumitelně označeny názvem výrobku, označením výrobce nebo dovozce, popřípadě dodavatele, údaji o hmotnosti nebo množství nebo velikosti, popřípadě rozměru, dalšími údaji potřebnými dle povahy výrobku k jeho identifikaci, popřípadě užití,
- v případě prodeje výrobku, při jehož označení byly použity symboly, je prodávající povinen vhodně zpřístupnit spotřebiteli informaci o významu těchto symbolů,
- prodávající je povinen informovat v souladu s cenovými předpisy spotřebitele o ceně prodáváných výrobků nebo poskytovaných služeb zřetelným označením výrobku cenou,
- prodávající je povinen spotřebitele řádně informovat o rozsahu, podmínkách a způsobu uplatnění odpovědnosti za vady výrobků a služeb (dále jen "reklamací") včetně údajů o tom, kde lze reklamaci uplatnit, a o provádění záručních oprav,
- prodávající je povinen při ukončení činnosti v provozovně informovat živnostenský úřad o tom, kde lze vypořádat případné závazky,
- umožňuje-li to povaha výrobku, je prodávající povinen na žádost spotřebitele výrobek předvést,
- na žádost spotřebitele je prodávající povinen vydat doklad o zakoupení výrobku nebo o poskytnutí služby s uvedením data prodeje výrobku nebo poskytnutí služby, o jaký výrobek nebo o jakou službu se jedná a za jakou cenu byl výrobek prodán nebo služba poskytnuta, pokud zvláštní právní předpis nestanoví jinak,
- vyžaduje-li to povaha výrobků, zejména s ohledem na hygienické podmínky prodeje a charakter použití, je prodávající povinen výrobky prodávat v hygienicky nezávadných obalech nebo je do takových obalů při prodeji zabalit, při samoobslužném prodeji je povinen spotřebiteli poskytnout vhodný obalový materiál,
- prodávající nebo jím pověřený pracovník rozhodne o reklamaci ihned, ve složitých případech do tří pracovních dnů. Do této lhůty se nezapočítává doba přiměřená podle druhu výrobku či služby potřebná k odbornému posouzení vady. Reklamací včetně odstranění vady musí být vyřízena bez zbytečného odkladu, nejpozději do 30 dnů ode dne uplatnění reklamací, pokud se prodávající se spotřebitelem nedohodne na delší lhůtu. Po uplynutí této lhůty má spotřebitel stejná práva, jako by se jednalo o vadu, kterou nelze odstranit.

Technická normalizace

Význam technické normalizace

Technická normalizace je činností, kterou se zavádějí ustanovení pro všeobecné a opakované použití, zaměřená na dosažení optimálního stupně pořádku v dané souvislosti s ohledem na aktuální nebo potenciální problémy. Tato činnost sestává zejména z vypracování, vydávání a zavádění norem. Důležitým přínosem normalizace je zlepšení vhodnosti výrobků, procesů a služeb pro zamýšlené účely, předcházení překážkám v obchodu a usnadnění technické spolupráce.

Kdybychom chtěli pokud možno co nejstručněji charakterizovat smysl technické normalizace, stačilo by k tomu jediné slovo: dorozumění. Technická normalizace totiž od samého počátku své existence – bez ohledu na to, odkud se rozhodneme jej počítat – přímo nebo zprostředkovaně sloužila a slouží právě tomuto účelu, a to dorozumění partnerů v oblasti techniky.

Technické normy jsou tedy dokumentované dohody, které obsahují technické specifikace nebo jiná určující kritéria používaná jako pravidla, směrnice, pokyny nebo definice charakteristik zajišťující, že materiály, výrobky, postupy a služby vyhovují danému účelu. Jejich používání je dobrovolné.

Rozvoj globální výroby a obchodu posiluje význam mezinárodních norem, jejichž používání přispívá k odstraňování technických překážek obchodu. Ve státech Evropské unie jsou ke stejnému účelu používány evropské normy, které v řadě případů přejímají normy mezinárodní. Zpracování evropských norem bylo důležitým předpokladem pro vytvoření jednotného trhu.

Na mezinárodní úrovni lze považovat za nejdůležitější Mezinárodní normalizační organizaci – ISO a Mezinárodní elektrotechnickou komisi – IEC. Obě instituce vydávají mezinárodní normy. Na evropské úrovni existuje Evropská komise pro normalizaci – CEN.

Právní úprava technické normalizace

Právní úprava technické normalizace je obsažena v zákonu č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění zákona č. 71/2000 Sb. a zákona č. 102/2001 Sb. Zákon č. 22/1997 Sb. nabyl účinnosti 1. 9. 1997. Cílem jeho vypracování bylo vytvořit základ k právní úpravě odpovídající čl. 75 Evropské dohody, která obsahuje závazek České republiky “dosáhnout ve spolupráci s EU plné shody s technickými předpisy ES, evropskou normalizací a postupy posuzování shody”. Následné změny zákona uvádějí jeho znění do plného souladu s legislativou Evropského společenství.

Zákon upravuje

- problematiku národních technických norem,
- problematiku přejímání technických předpisů upravujících zejména požadavky na výrobky, které by mohly svými vlastnostmi ohrozit veřejný zájem na ochraně života a zdraví, majetku a přírodního prostředí, včetně stanovení postupů posuzování shody.

Vydáváním českých technických norem byl pověřen Český normalizační institut – ČSNi, který též každoročně vydává seznam ČSN, které jsou systematicky řazeny podle šestimístního třídícího znaku. Normy, které jsou převzaty z evropské soustavy norem do soustavy ČSN, mají označení ČSN EN a číslo evropské soustavy. Normy, které jsou převzaty z mezinárodní soustavy norem do soustavy ČSN, mají označení ČSN ISO a číslo mezinárodní normy.

Metrologie, zákon 505/1990 Sb.

Metrologie - vědní a technická disciplína, zabývající se všemi poznatky a činnostmi, týkajícími se měření, je základem jednotného a přesného měření ve všech oblastech vědy, hospodářství, státní správy, obrany, ochrany zdraví a životního prostředí. Jednotné a přesné měření je předpokladem vzájemné důvěry při směně zboží, ale stále více i jednou z nutných podmínek jakékoliv efektivní výroby.

Zabývá se:

- definováním jednotek měření
- realizací jednotek, etalony
- návazností měření

Zákon 505/1990 Sb. :

- stanovuje práva a povinnosti právnických osob a fyzických osob oprávněných k podnikatelské činnosti a orgánů státní správy v oboru metrologie, a to v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření,
- rozděluje měřidla do několika skupin,
- určuje státní metrologickou kontrolu měřidel (hovoříme o schvalování typů měřidel apod.),
- určuje ověřování a kalibraci měřidel,
- stanovuje úkoly orgánů a organizací,
- určuje sankce za porušování tohoto předpisu,

Některé další zákonné a dobrovolné aktivity (akreditace, oceňování)

V mezinárodním i národním prostředí existují i další aktivity, které sledují podporu jakosti a mají právní nebo dobrovolný základ.

Akreditace

Akreditací se rozumí oficiální uznání, že subjekt akreditace (laboratoř, certifikační orgán, inspekční orgán) je způsobilý provádět specifické činnosti). Laboratoře zkoušky nebo kalibrace, verifikační orgány certifikace výrobků nebo systémů jakosti, pracovníků, inspekční orgány inspekce).

Akreditaci provádějí národní akreditační orgány. V ČR plní tuto úlohu Český institut pro akreditaci – ČIA.

Osvědčení o akreditaci má posílit jistotu zákazníků ve způsobilost akreditovaných subjektů, zejména z pohledu jejich systému zabezpečování jakosti.

Označování a oceňování jakosti

Označování výrobků má sloužit k prokázání, že byly splněny určité požadavky na výrobky a tím má usnadnit zákazníkům lepší orientaci ve výrobcích. Může vyplývat ze zákona nebo může jít o dobrovolnou aktivitu.

Značky shody

Právní oporu v zákoně o technických požadavcích na výrobky (zákon č. 22/1997 Sb.) má Česká značka shody, která vyjadřuje, že výrobek odpovídá stanoveným požadavkům a že při posuzování shody byly dodrženy podmínky stanovené tímto zákonem.

Kromě České značky shody, mohou být na dobrovolném základě označovány značkou shody výrobky s českou technickou normou výrobky, které neohrožují oprávněný zájem. Tuto značku shody s technickou normou mohou udělovat oprávněná zkušební a certifikační místa pověřená Českým normalizačním institutem (ČSNi).

Ostatní značky jakosti

Většina přiznávaných značek jakosti výrobků nebo služeb má přispět k lepší orientaci zákazníků a může mít i příznivý komerční efekt. Ucházení se o přidělení značky je realizováno na dobrovolném základě, předpokladem je obvykle splnění určitých požadavků.

V ČR je rozšířená značka Czech Made, kterou přiznává Sdružení pro Cenu ČR za jakost výrobkům nebo službám. Značka Czech Made vyjadřuje, že se jedná o výrobek, splňující požadavky dané obecně závaznými právními předpisy (přihlíží se též k tomu, jak výrobek ovlivňuje životní prostředí a spotřebu energií). Vlastnosti výrobku mají odpovídat požadavkům minimálně v míře srovnatelné s nabídkou kvalitních zahraničních a zemských výrobků na českém trhu. Výrobek musí být vyroben podnikatelským subjektem registrovaným v ČR, musí jít o výrobky běžně dostupné na českém trhu. Značka se propůjčuje na 2 roky s možností prodloužení její platnosti.

Ceny za jakost

Smyslem cen za jakost bylo zvýraznit firmy, které dosahují dlouhodobě příznivé výsledky svých finálních výrobků, později se kritéria rozšířila i na systém řízení jakosti a v současnosti již mnohé ceny jakosti postihují kvalitu firmy jako celku.

V podmínkách evropského regionu má význam Evropská cena za jakosti, pro kterou vydala kritéria Evropská nadace pro řízení jakosti (E.F.Q.M).

Od roku 1995 jsou vyhlášeny Sdružením pro cenu ČR za jakost požadavky pro firmy, které mají zájem získat cenu za jakost.

2.3. Řízení jakosti

Struktura norem ISO 9000

Normy ISO řady 9000 byly přijaty v roce 1987 a v přibližně sedmiletých cyklech byly aktualizovány. Doporučení pro systém řízení jakosti jsou uvedena v několika normách ISO, přičemž každá z nich má jinou funkci:

- ISO 9000 představuje úvod do problematiky managementu jakosti ve smyslu filozofie ISO,
- ISO 9001 obsahuje kritéria, podle kterých se posuzuje zavedený systém,
- ISO 9004 lze využít jako metodický materiál pro další zlepšování QMS,
- ISO řady 10 000 slouží k podpoře, popřípadě k rozšíření systému jakosti.

ISO 9000 – Systémy managementu jakosti – základy, zásady a slovník

Norma ISO 9000 obsahuje výklad základů a zásad managementu jakosti a nejdůležitějších pojmů týkajících se jakosti a jejího zabezpečování. Má významné postavení v požadavcích na zabezpečení jakosti, protože uvádí základní požadavky na podobu systému managementu jakosti, který je vyhovující pro certifikaci.

ISO 9001 – Systémy managementu jakosti – požadavky

Tuto normu lze považovat za stěžejní. Zpravidla se podle ní provádí koncipování, zavádění a zvláště pak prověřování (auditování) implementovaného (zavedeného) systému jakosti. Proto je tato norma též označována jako norma kritériální, jejíž požadavky musí organizace splnit, pokud potřebuje prokázat úspěšné fungování QMS, tj. ujišťovat o svoji schopnosti trvale poskytovat výrobek, který splňuje požadavky zákazníka a příslušných předpisů, respektive ujišťovat o schopnosti trvale zvyšovat spokojenost zákazníka.

ISO 9004 – Systémy managementu jakosti – směrnice pro zlepšování výkonnosti

Účelem této normy je poskytnout doporučení, které může organizace dále zavést nad rámec požadavků uvedených v ISO 9001 v zájmu dalšího rozšíření, zlepšení systému řízení jakosti tak, aby zahrnoval spokojenost nejen zákazníků, ale i dalších zainteresovaných stran a směřoval ke zvyšování výkonnosti organizace (byl rozvinut v rámci celé organizace). Tato norma není určena jako nástroj certifikace.

Normy řady 10 000

V této skupině norem si zaslouží pozornost zvláště normy příslušící do oblasti metrologie (ISO 10 012) a auditování (ISO 10 011).

Firemní dokumentace

Z hlediska řízení můžeme za dokument považovat jakýkoliv písemný či jiný předpis, který je schválen příslušnou autoritou (manažerem) a má charakter trvalého příkazu.

Přínosy dokumentace

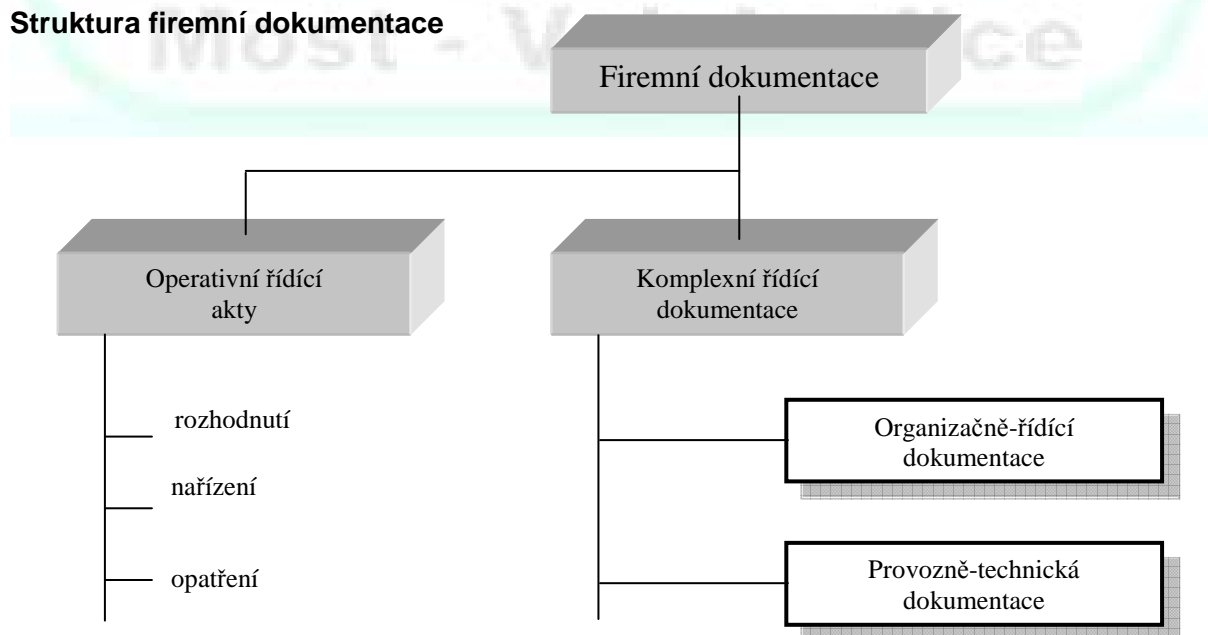
Dokumentace má pro každou organizaci řadu přínosů:

- pro výkon opakujících se (rutinních) činností, které mají vykonávat různí pracovníci určuje dokumentace „nejlepší“ postup,
- v obsahu dokumentace je uchováno know-how instituce, což je zvláště důležité, pokud daný postup zná úzký okruh pracovníků nebo dokonce jeden pracovník, který může opustit organizaci,
- dokumentace dokládá určitý postup, takže i následně je možno doložit správné provádění určité činnosti.

Struktura dokumentace

U všech typů organizací lze rozlišit dva základní typy dokumentace:

- operativní řídicí akty, které se využívají především k okamžitým manažerským zásahům a v praxi mívají obvykle podobu rozhodnutí, opatření, nařízení příslušného vedoucího pracovníka.
- komplexní řídicí dokumenty, které se užívají pro standardizaci určité činnosti, procesu či prvku. Mohou mít podobu organizačně řídicích dokumentů, které upravují různé činnosti technicko-hospodářského charakteru (např. příjem obchodních případů, zásobování, metrologii, organizaci nebo podepisování se jménem organizace, řešení stížností a reklamací) a mívají různé názvy – řády, směrnice, v poslední době se užívá výraz „postup“. Další podobou komplexních řídicích dokumentů jsou provozně-technické dokumenty, které upravují provozní, technické či jiné transformační činnosti. Týkají se hlavních výkonů organizace, například u výrobní organizace se může jednat o výrobní výkresy, technologické, montážní, kontrolní postupy, různé pracovní instrukce.

Struktura firemní dokumentace

Řízená dokumentace

Má-li dokumentace plnit úlohu účinného, přímého nástroje řízení, musí splňovat určité požadavky kladené na:

- postup jejího zpracování, vydávání, uchování,
- vnitřní strukturu a podobu dokumentace,

Zpracováním dokumentu bývá pověřen zpravidla příslušný odborný pracovník nebo tým. Při zpracování dokumentu je třeba respektovat platné legislativní předpisy a nejlepší praktiky (technické, manažerské). Zpracovaný dokument by měl být připomínkován všemi dotčenými pracovníky a schválen příslušným nadřízeným místem.

Další požadavky na řízenou dokumentaci lze shrnout do následujících bodů:

- dokumentace musí být čitelná, datovaná a snadno přístupná, udržovaná v pořádku a po učenou dobu archivována,
- nově připravené či aktualizované dokumenty musí být přezkoumány a schváleny příslušnými pracovníky,
- na místech, kde se dokumentace užívá musí být pouze platné dokumenty, zastaralé dokumenty musí být staženy a alespoň jedna podoba původního znění musí být archivována,
- organizace musí provádět revize dokumentů, tj. prověrky dokumentů, které se provádějí ve zhruba dvou a tříletých intervalech, a prověřuje se jimi jednak formální správnost dokumentů, jednak věcná správnost.

Formální požadavky na dokumentaci a její vnitřní struktura

Pro identifikaci dokumentace je třeba každý dokument opatřit hlavičkou, která obvykle obsahuje název a číselné značení dokumentu, údaje o stránkovém rozsahu dokumentu (strana/celkový počet stran) a o (změnovém) stavu dokumentu (původní vydání – 0, první změna 1), popřípadě i přehled o čísle výtisku ve vazbě na rozdělovník (platí pro písemnou podobu).

Organizace by měla mít přehled o tom, kdo obdržel příslušnou dokumentaci a zabezpečit, aby v případě změn (aktualizace) dokumentace byly k dispozici vždy platné dokumenty. Kromě evidovaných dokumentů mohou být distribuovány tzv. informativní výtisky, tj. dokumenty, u kterých není zabezpečován režim řízené dokumentace, zejména její aktualizace.

Vzor hlavičky dokumentu

Logo instituce	Název dokumentu	Strana:
		Změna:
	Číselné označení dokumentu	Výtisk č.:

Struktura dokumentace systému managementu jakosti v závislosti na velikosti organizace může mít dvě až tři vrstvy.

Příručka jakosti představuje první vrstvu dokumentace – jde o dokument, ve kterém je přehledně specifikován systém řízení jakosti organizace. Příručka jakosti slouží jak externím účelům (například pro zákazníky), tak interním účelům (pro zaměstnance) jako přehledná prezentace QMS.

Druhá vrstva je představována směrnici, které upravují postupy realizace určitých procesů nebo činností. Jde o interní dokument, který upravuje jednání pracovníků při výkonu určitých činností – zásobování, skladování, počínání si v případě reklamace.

Typickým představitelem *třetí vrstvy* dokumentace jsou technologické, pracovní, montážní postupy, dále pracovní či kontrolní instrukce, výkresy a schémata. Tento typ dokumentace je určen k výkonu konkrétních technologických, pracovních a kontrolních operací.

Míra podrobnosti, respektive obecnosti dokumentace závisí na:

- kvalifikační úrovni pracovníků,
- náročnosti operací, které mají být vykonávány,
- rizikovostí výrobků nebo služeb,
- předpisech, případně požadavcích zákazníků, které vedou k úpravě činností.

Elektronická podoba dokumentace

Firemní dokumentace může být vedena v papírové nebo digitální podobě.

Je třeba dodržovat zásady ochrany dat na elektronických nosičích:

- příslušní pracovníci mají přístup k počítači a dovedou si příslušný dokument otevřít,
- v informačním systému byla definována přístupová práva k souborům pro zpracovatele,
- informační systém je zabezpečen proti virům,
- veškerá řízená dokumentace je zálohována a je zabezpečeno, že zálohy jsou uloženy mimo prostory, kde jsou instalovány prvotní soubory,
- je zajištěno vyhovující archivování neplatných dokumentů.

Metrologické zabezpečení

V případech, kdy kontrolní činnosti se provádějí pomocí měřících prostředků, je třeba zabezpečit, aby výsledky kontroly jakosti byly směrodatné. K tomuto účelu je třeba mít ve firmě zaveden metrologický pořádek. Ten bývá obvykle popsán v podobě metrologického řádu (směrnice).

Metrologický řád upravuje řadu povinných úkolů (činností), jakými jsou:

- zvolit vhodná měřidla pro stanovené kontrolní operace,
- vést příslušnou evidenci a dokumentaci měřidel,
- zabezpečit způsobilost měřidel příslušnou formou metrologické kontroly,
- zavést a udržovat pravidla správného užívání měřidel.

Kontrolní operace plní řadu funkcí. Těmto funkcím musí odpovídat i přesnost a věrohodnost používaných měření a měřidel. Základní metrologické pravidlo doporučuje volit měřidlo o řád přesnější, než je měřená veličina.

Stanovená měřidla.

Jedná-li se o měření, která mají význam pro ochranu správnosti obchodního styku nebo pro ochranu zdraví, životního prostředí, bezpečnosti práce či jiného veřejného zájmu, je třeba vedle vhodné volby měřidla dále zabezpečit metrologickou správnost formou ověření stanoveného měřidla. Okruh těchto měřidel a délku planosti ověření, které provádějí autorizované metrologické laboratoře, určují výměry Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

Kalibrace a konfirmace.

V ostatních případech lze zabezpečit správnost měřidla kalibrací nebo konfirmací. Kalibrace obvykle provádějí externí kalibrační laboratoře. Konfirmaci lze zpravidla provádět již v provozních podmínkách, provádí se dle zpracovaného konfirmačního postupu, nejčastěji srovnáním s podnikovým etalonem.

Značení a evidence měřidel.

Každé měřidlo by mělo být označeno, identifikačním štítkem nebo evidenčním číslem přímo na měřidle, popřípadě na obalu měřidla. Vedle evidenčního značení je vhodné uvést i údaj týkající se lhůty, do které platí pro měřidlo příslušná metrologická kontrola – ověření, kalibrace, konfirmace. O všech měřidlech, která se v organizaci užívají, je třeba vést evidenci, ze které jsou zřejmé nejdůležitější údaje týkající se měřidla: druh měřidla, výrobce, rok uvedení do provozu, obor měření, přesnost měřidla, údaje o opravách, standardní doba pro ověření, kalibraci či konfirmaci.

Pravidla pro užívání měřidel.

Pro stanovená měření je možné používat pouze určená měřidla. Zásadně by nemělo být k měření použito měřidlo neevidované a neproověřené. Jsou-li k měření předepsány přípravy pro uchycení měřeného prvku, je tyto přípravy třeba důsledně používat. Má-li uživatel jakoukoliv pochybnost o přesnosti měřidla, měl by požádat o jeho prověření. V případě zjištění, že kontrolní, měřicí a zkušební zařízení bylo poškozeno a jeho faktický stav se odchyluje od kalibrovaného, musí se provést překontrolování výrobních partií zpětně až do okamžiku, kdy není pochyb o správnosti měření. Poškozené měřidlo se označí jako vadné a předá se k seřízení, k opravě nebo vyřazení. Uživatelé měřidel jsou odpovědní za správné uchování, ošetřování, čištění, manipulaci a skladování měřidla. Pro mezioperační odkládání měřidel by měly být na pracovišti vhodné podložky. Má-li dojít k delšímu skladování měřidla, měla by obsluha zajistit a dodržet pokyny pro skladování – konzervaci měřidla, umístění v uzamykatelných prostorách, vhodné klimatické podmínky a preventivní prohlídky stavu měřidla.

Zabezpečování jakosti ve smyslu TQM

Kromě přístupů zabezpečování jakosti vycházejících z požadavků normy ISO 9000, se ve světě užívají přístupy, obvykle označované jako TQM (Total Quality Management). I když existuje řada názorových proudů a "škol TQM", společné rysy lze odvodit již z názvu:

Total – jde o úplné zapojení všech pracovníků organizace, jak ve smyslu zahrnutí všech činností od marketingu až po servis, tak zapojení všech pracovníků včetně administrativy, ostrahy apod.,

Quality – jde o pojetí jakost, jak ve směru splnění očekávání zákazníků, tak jako vícerozměrný pojem zahrnující nejen výrobek či službu, ale i proces, činnost,

Management- řízení je zahrnuto jak z pohledu strategického, taktického i operativního řízení, tak z pohledu manažerských aktivit – plánování, motivace, vedení, kontroly atd.

Počátek TQM je spojen s prezentací a zaváděním přístupů předních odborníků na jakost, následně a zvláště v posledním desetiletí sílí snahy tyto přístupy sjednotit a kodifikovat v podobě kritérií cen za jakost, až již jde o národní ceny nebo o evropskou cenu za jakosti.

Dále přinášíme výklad některých typických společných rysů TQM přístupů:

- Leadership
- Orientace na zákazníka
- Úsilí o trvalé zlepšování
- Důraz na priority a prevenci
- Procesní přístup
- Bezvadnost samozřejmostí

LEADERSHIP

Výrazem "leadership" se v TQM specifikují úlohy zejména pro vrcholový management, od něhož se očekává, že:

- Jako střelka kompasu určuje směr vývoje organizace včetně vývoje v oblasti jakosti
- Bude vytvářet a udržovat interní prostředí, v němž se mohou pracovníci plně zapojit do dosahování určených záměrů organizace (aktivizace pracovníků).

Předpokládá se, že vrcholový management – v rámci první části obsahové náplně pojmu "leadership" z pohledu TQM – naznačí jasný směr, jímž se organizace bude ubírat. Jde o konci pování strategických záměrů, které jsou následně rozpracovány do firemních strategií a plánů. Zvolená podoba přístupů, míra podrobnosti i vlastní forma výstupů bude záviset na konkrétních podmínkách, ve kterých firma funguje.

Doporučení týkající se manažerského rysu označovaného v TQM pojmem leadership lze shrnout do dvou závěrů:

- s přijatými strategickými záměry a cíli seznámit pracovníky organizace, protože pokud je neznají, mohou preferovat cíle, které budou rozdílné oproti zájmům firmy
- transformovat strategické záměry a cíle do konkrétních opatření a určit všude, kde je to možné, měřitelné hodnoty, které budou využity pro vyhodnocení faktických výsledků.

Ačkoliv nejde o hmatatelnou věc, je nesporné, že leadership zvláště v momentu správného vymezení strategických záměrů představuje vysoce odpovědnou a rizikovou činnost.

Hodnotový žebříček firmy

Zavádění péče o jakost ve smyslu TQM se výrazně dotýká kultury firmy, která konec konců závisí na chování, jednání, vystupování každého jednotlivce firmy. Rozhodne-li se firmy pro TQM, bude muset vrcholový management identifikovat zásady, hodnoty a zvyklosti, které jsou ve firmě zaběhlé, a posoudit, zda je nebude třeba změnit či doplnit.

Aktivizace spolupracovníků

Druhá část obsahové náplně pojmu "leadership" z pohledu TQM sočívá ve vyhledávání vhodných postupů jak aktivizovat, iniciovat a mobilizovat pracovníky organizace ve směru vytčených cílů. Není třeba připomínat, že na čelním místě musí být osobní příklad, angažovanost podřízených vedoucích pracovníků. Podoby získávání, přesvědčování, informování pracovníků o strategických záměrech a užitečnosti jejich splnění pro každého pracovníka mohou být různé – od běžných porad, přes různé formy vizualizace na nástěnkách, přijetí podnikových kréd a sloganů, vyhlášení různých soutěží. Stranou pozornosti nemusí být ani informování a vyjadřování názorů prostřednictvím intranetu. Cílovým je takový stav, kdy pracovníci ve firmě mají zájem podílet se na stanovených záměrech, zajímají se o dění ve firmě, nejsou neteční k připravovaným změnám, a je minimum těch, kteří nemají zdání, co se ve firmě děje.

ORIENTACE NA ZÁKAZNÍKA

Orientace na zákazníka vychází z postulátu, že chování firmy není založeno na prioritě vlastních zájmů, kterým se musí zákazníci přizpůsobit, ale naopak na zájmech zákazníků, kterým se musí přizpůsobit struktura a chování dodavatelů. Koncepce podnikání založené na přístupu "musíme prodat, co se vyrobí", byť by byly podporovány sebelepšími marketingovými aktivitami na podporu prodeje, nemají šanci na přežití. Jednoznačně jsou preferovány přístupy "můžeme vyrábět jen to, co je možné prodat".

ZAMĚŘENÍ NA TRVALÉ ZLEPŠOVÁNÍ

Soudobé ekonomické a společenské prostředí je velice dynamické, proměnlivé, nestabilní, nepředvídatelné. Pro stále méně oblastí platí jistota stability, předvídatelné vývojové trendy. Za tohoto stavu nabývá na významu směr managementu zaměřený na monitorování a pružné využívání či dokonce iniciování změn.

Společným znakem trvalého zlepšování je připravit a realizovat opatření, které pro danou oblast bude přínosné. I když trvalé zlepšování představuje typický rys TQM, předmětem zájmu nemusí být pouze zlepšování jakosti, ale může jít o aktivity, v jejich důsledku dojde k zlepšení hospodárnosti (úsporám), zlepšením v oblasti bezpečnosti, práce, v pracovním a životním prostředí.

Podle důvodu a charakteru rozdělujeme zlepšovací aktivity do tří skupin:

- nápravná opatření, jejichž smyslem je v případě zjištěné neshody vyšetřit příčinu a učinit takové kroky, až neshoda byla odstraněna: příkladem nápravného opatření může být seřízení stroje, dochází-li k zhoršování příslušného parametru výroby
- preventivní opatření, která spočívají v přijetí kroků vedoucích k předcházení potenciálním neshodám, případně až k úplnému vyloučení možných neshod, praktickým příkladem preventivního opatření je například seznámení projektantů s navrženým technickým řešením, které mělo za následek závadu, aby se tohoto postupu do budoucna vyvarovali
- zdokonalovací opatření, která nemají přímou vazbu na zjištěnou neshodu či neshody, jejich cílem je zkvalitnit, zhospodárnit, zefektivnit, zvýšit bezpečnost určité činnosti, procesu, výrobku, služby

Postupy zlepšování

V odborné literatuře můžeme najít řadu přístupů, jak postupovat při realizaci zlepšovacích činností. Zřejmě nejznámější a poměrně jednoduchá doporučení předkládá cyklus **PDCA** předložený E. Demingem, který sestává ze čtyř kroků:

- **Plan** – naplánuj, urči záměr zlepšení
- **Do** – realizuj, uskutečni tento záměr
- **Check** – proved' kontrolu, vyhodnoť dosažené výsledky
- **Art** – proved' korekce, úpravy, pokud výsledky neodpovídají plánovaným záměrům

Celý postup PDCA opakuji!

Na postupu PDCA je cenná bezpochyby jednoduchost a zvýraznění nepřetržitosti dané opětovným opakováním cyklu. Nicméně jde o postup velmi obecný, a proto řada firem vypracovala podrobnější návody na řešení problémů, respektive na postupy zlepšování. I když se v jednotlivostech liší, obecné kroky mají společné:

- určení předmětu zlepšování (řešení problémů)
- stanovení řešitelského týmu
- v případě řešení existujícího problému, zvážení nutnosti přijetí okamžitého, často provizorního opatření

- získání a vyhodnocení příslušných údajů týkajících se daného řešení
- návrh možných variant řešení
- vyhodnocení variant a výběr nejlepší varianty
- zpracování zvolené varianty
- rozhodnutí o zavedení zvoleného řešení
- vlastní realizace, kontrola průběhu, vyhodnocení řešení
- případné korekce, úpravy, doplnění
- stabilizace nového řešení – například změnou, úpravou existující dokumentace

DŮRAZ NA PRIORITY A PREVENCI

Priority a prevence jsou blízké pojmy, kterým patří v přístupech péče o jakost přední místo. Jak již bylo uvedeno, přístupy zabezpečování jakosti představují pestrou paletu úkolů, které je třeba v každé organizaci naplnit. Je pochopitelné, že některé úkoly musí být splněny s ohledem na svou závažnost, naléhavost či důsledky přednostně (představují priority). U některých činností nepředstavuje jejich uskutečnění nejšťastnější postup řešení, lepší by bylo, kdyby k jejich provedení nemuselo vůbec dojít, tj. kdyby se dalo jejich uskutečnění předejít (prevence).

Oba přístupy racionálního chování – důraz na priority a preferování prevence – jsou momenty, které by měly zdomácnět v práci manažerů na všech úrovních řízení. Jejich znalost a respektování jsou ovšem užitečné i pro další pracovníky organizace. I když je výklad v dalším textu přednostně orientován na oblast řízení jakosti, jeho aplikace je mnohem obecnější.

Priority

Každodenní realita staví před manažery, včetně manažerů jakosti, řadu úkolů. Přitom jejich kapacity nejsou neomezené. Proto je třeba:

- rozlišovat, co je významné (co je prioritou jejich činnosti), na co zaměřit pozornost
- určit to, co je naopak nedůležité, co nebude předmětem zájmu.

Prevence

Prevence v nejširším významu je chápána jako předcházení nedostatkům (neshodám, vadám, poruchám). Má své opodstatnění ve zkušenosti – čím dříve se zjistí a odstraní určitý nedostatek, tím nižší budou ztráty, které jsou s ním spojené.

Čelní místo v oblasti řízení jakosti přísluší zohledňování prevence při koncipování technické kontroly. Nejméně žádoucí je reagovat na nedostatky, které zjistí až zákazník (řešení reklamací). Výhodnější je zavést výstupní kontrolu. Ta však funguje obvykle pouze jako síto, které nepropustí neshodné výrobky k zákazníkovi. Ještě výhodnější je zavést mezioperační kontrolu, která může reagovat na nežádoucí změny v průběhu procesu a na jejímž základě mohou být přijata různá korigující či nápravná opatření. Nejvýhodnější je zavést kontrolu všech faktorů, které ovlivňují kvalitu procesu, na počátku před zahájením procesu nebo na jeho úplném začátku, aby se zajistilo, že proces bude správně probíhat, že je dobře nastaven apod. Takovou formou kontroly je prověření kvality formy či přípravku před nasazením na stroj, nebo tzv. kontrola prvního kusu, tj. prvního výrobku či výrobků po seřízení stroje. Nejlepším řešením jsou ovšem případy, kdy se podaří realizovat taková opatření, která preventivně vyloučí vznik neshodné produkce.

PROCESNÍ PŘÍSTUP

Proces lze charakterizovat těmito znaky:

- "tah na branku" – jasným cílem musí být užitek pro zákazníka
- logické zařazení a uspořádání do procesu pouze těch činností, které jsou nezbytné k dosažení požadovaného výstupu – proces musí být hospodárný
- veškeré činnosti musí být způsobilé a stabilizované – proces musí probíhat kvalitně, musí být dodrženy termíny, být opakovaně spolehlivý.

Proces představuje posloupnost a/nebo souslednost činností, logicky uspořádaných, jejichž výstup má užitek pro zákazníka.

Procesní pojetí přidané hodnoty

Základem procesního pohledu na přidanou hodnotu jsou požadavky zákazníků. Jestliže připustíme, že každý proces se skládá z určitých činností, můžeme logicky odvodit, jak jednotlivé činnosti přispívají k celkovému užitku, spokojenosti zákazníka. Ve vazbě na toto zjištění můžeme ještě doplnit, jaké náklady zabezpečení každá z činností vyžaduje. Na tomto základě můžeme odvodit řadu cenných závěrů:

- existují činnosti, které mají velký přínos pro zákazníka, jejichž zajištění nemusí být dokonce ani příliš nákladné,
- mohou existovat činnosti, které se na celkovém užitku pro zákazníka příliš nepodílejí, a přitom náklady na jejich uskutečnění mohou být vysoké,
- ještě zajímavějším může být zjištění, že jsou realizovány činnosti, které nemají prakticky žádný užitek pro zákazníka, a přesto jsou uskutečňovány včetně vynakládání nákladů na jejich průběh,
- naopak může být zjištěna absence některých činností, které by bylo v zájmu lepšího uspokojení zákazníka provést, ale dosud se nerealizují.

Management procesů

Máme-li využít poznatky procesního přístupu v řízení, je třeba:

- identifikovat procesy včetně učení základních vztahů mezi nimi
- analyzovat procesy a provést případně změny procesů
- zajistit stabilitu procesů
- navodit atmosféru trvalého zlepšování procesů.

BEZVADNOST SAMOZŘEJMOSTÍ

Nezbytným rysem moderního řízení jakosti je úsilí o vysoký stupeň bezvadnosti dodávaných výrobků a/nebo služeb. I když zabezpečení totální bezvadnosti je u běžných produktů nereálné nebo mimořádně nákladné, všeobecný trend směřuje k vysokému stupni bezvadnosti, který je měřen v miliontinách – ppm.

Analyzujeme-li příčiny, které vedou k neshodné produkci či službám, ukazuje se, že jen 20 až 50 % neshod má svůj původ ve vadné práci pracovníků. Zbývající podíl lze přičíst na konto nedostatečně koncipovaných procesů.

Způsobilost provozních procesů

Programy zlepšování zaměřené na snižování neshodné produkce musí předně garantovat způsobilost provozních procesů. K tomu je třeba zajistit:

- jasné vymezení působnosti, pravomocí a odpovědností týkajících se výkonu práce, oprávnění k rozhodování jakosti, o neshodnosti produkce, o jejím vypořádání

- bezchybnou provozně-technickou dokumentaci – výrobních, montážních, kontrolních, zkušebních postupů
- bezchybnou provozně-technickou dokumentaci – výrobních, montážních, kontrolních, zkušebních postupů
- pracovníky s příslušnou kvalifikací
- materiál s určenými kvalitativními specifikacemi
- provozní zařízení se stanovenou přesností a spolehlivostí
- vhodné pracovní prostředí – osvětlení, teplotu míru hluku, čistotu.

Ve vztahu ke kvalitě se obvykle doporučuje změnit postoje všech pracovníků k vadnosti, ke kvalitě vykonávané práce, k nejistotě v odváděné práci každého pracovníka. Jde o dlouhodobý proces, který začíná seznámením všech pracovníků s důsledky nekvalitní práce pro firmu a se zásadami bezvadné práce.

Obecné zásady bezvadné práce:

- nemůžeš realizovat příslušnou operaci na dílu, který přišel z předcházející operace zjevně vadný,
- máš-li jakoukoliv pochybnost o kvalitě přichozích dílů nebo své práce, zajisti pečlivé překontrolování těchto výrobků nebo operací,
- vadné díly musí být pozastaveny, izolovány, označeny a následně vypořádány,
- odebírající pracoviště (útvary) je zákazník, který musí dostat bezvadný výstup.

Příčiny vad a neshod na straně pracovníků

Zejména management, který řídí provozní činnosti, by měl znát faktory, které mohou vést k vadné práci jednoznačně způsobené pracovníky, a reagovat na tyto faktory. Jsou to:

- vědomé chyby
- chyby z nedostatku znalostí
- chyby z nedostatku soustředění, pozornosti

Vědomé chyby – představují chyby, které pracovník přímo iniciuje nebo o nich minimálně ví. Mohou mít několikero příčinu:

- záměrné chyby, jejichž důvodem zpravidla bývá vzdor, pocit uražení pranicí neoprávněně či oprávněně ze zneuznání, z předcházejícího pokárání či z postihu pracovníka, pracovník se rozhodl pro jistou formu msty v podobě záměrných vad, úmyslného chybného nastavení stroje, apod.,
- chyby z nedbalosti, jejichž původ může být ve zjištění, že organizace dokáže jen obtížně identifikovat vady ve vazbě na pracovníka, který je způsobil, pracovník získal pocit anonymity, že ať pracuje dobře nebo špatně, nepřijde se na to, jinou příčinou nedbalosti může být lhostejnost (flegmatismus) pracovníka, který ztratil zájem o práci, protože firma nemá zájem o jeho návrhy, připomínky a doporučení,
- chyby zatajované, jejichž příčinou je obava pracovníka, že zachycením a vykazováním vadné produkce padne špatné světlo na kvalitu jeho práce či celého útvaru s následnou kritikou nebo sankčním postihem, pracovník raději neshodnou produkci nezachycuje, nevytřídí a kalkuluje, že se na to nepřijde nebo že se nedostatky nějak následně vyřeší.

Chyby z nedostatku znalostí. Tyto chyby jsou způsobeny tím, že je určitá práce přiřazena pracovníkovi, který na ni svou kvalifikací, praxí, výcvikem či zaškolením nestačí. Je zřejmé, že vadné výstupy jsou sice způsobeny pracovníkem, ale větší díl odpovědnosti je na vedoucím, který mu tuto práci zadal, ačkoliv věděl nebo měl vědět, zda na ni pracovník stačí či nikoliv. Některé organizace proto zavedly rozdělení (stratifikaci) pracovníků do čtyř skupin:

- nově zařazený pracovník, který již zvládá příslušnou operaci, ale nad jeho prací musí být dohled,
- zpracovaný pracovník, který zvládá uvedenou operaci samostatně, bez nutnosti dohledu,
- zkušený pracovník, který zvládá samostatně bez dohledu řadu operací, a může tak být dle potřeby nasazován na různou práci,
- pracovník – trenér, který perfektně zvládá řadu operací a může zaškolovat další pracovníky, popřípadě mít dohled nad kvalitou jejich práce.

Chyby z nedostatku soustředění, pozornosti. I tyto chyby mohou mít řadu dílčích příčin:

- pracovník je často vyrušován vnějšími vlivy a nemůže se plně soustředit na práci,
- pracovník je přepracován, protože pracuje často přesčas, je nevyspalý, unavený či se jedná o mimořádně fyzicky namáhavou práci,
- práce je vykonávána pod časovým tlakem, pracovník pospíchá a dělá chyby,
- práce je jednoduchá, vysoce opakovaná, stereotypní (monotonie práce), přičemž není v lidské přirozenosti udržet trvalou pozornost po celou osmihodinovou pracovní dobu, řešením této nežádoucí situace je zavést rotaci pracovníků, obohacovat práci, zařazovat na práci pracovníky, kteří jsou k monotonii práce více odolní a podobně.

Hovoří-li se v TQM o kvalitě práce, má se na mysli kvalita práce všech pracovníků. Běžná praxe v případě úvah o bezvadné práci tuto práci jednostranně vztahuje pouze na výsledky práce ve výrobních provozech (dělnických profesích). Přitom je zřejmé, že větší či menší nedostatek se může vyskytnout i v práci technických a administrativních pracovníků, stejně jako v práci manažerů prakticky na všech úrovních řízení. Přiznejme, že důsledky této nekvalitní práce mohou být mnohem větší a jen mimořádně jsou evidována, vyhodnocována a přijímána nápravná či preventivní opatření v tomto směru.

2.4. Základní statistické analýzy

Základy statistiky

Pojmem statistika většinou označujeme:

- statistické údaje a jejich některé funkce,
- statistickou činnost a instituce, které tuto činnost provozují,
- statistickou teorii.

Statistické údaje neboli statistická data jsou číselné údaje o hromadných jevech, tj. čísla o různých skutečnostech vyskytujících se hromadně.

Statistické údaje jsou např. údaje o objemu výroby průmyslových podniků, dovozu či vývozu určitého zboží, o kvantitativně určených technologických vlastnostech strojírenských výrobků a mnohé další.

Některé zajímavé a užitečné funkce statistických pozorování jsou statistické charakteristiky.

Např.: označíme-li např. počet zmetků vyrobených první den v měsíci x_1 , počet zmetků vyrobených druhý den v měsíci x_2 , ..., počet zmetků vyrobených dvacátý den v měsíci x_{20} , potom součet jednotlivých pozorování x_1, x_2, \dots, x_{20} charakterizuje celkový součet zmetků vyrobených za 20 pracovních dní. Podobně dělíme-li tento součet počtem pracovních dnů (20), dostáváme číslo, které charakterizuje průměrný počet zmetků připadající na jeden pracovní den sledovaného období.

Statistika ve smyslu statistické činnosti znamená získávání statistických údajů (pozorování, měření apod.), jejich zpracování (třídění, výpočet charakteristik, předkládání výsledků) a hodnocení.

Někdy se slovem statistika označují i organizace, které se statistickou činností zabývají.

Statistika jako statistická teorie je věda o metodách sběru, zpracování a vyhodnocování statistických údajů.

Statistická jednotka, statistický soubor, statistické znaky

Statistickou jednotkou se rozumí každý prvek souboru, jehož některé vlastnosti jsou předmětem statistického zjišťování, zatímco některé přesně vymezené vlastnosti jsou shodné s ostatními prvky souboru. Statistickou jednotkou může být člověk, zvíře, věc apod. právě shodné vlastnosti statistických jednotek dovolují vytvářet statistické soubory.

Věcné, časové a prostorové vymezení statistického zjišťování jednoznačně určuje soubor všech v dané situaci v úvahu přicházejících statistických jednotek. Soubor všech těchto jednotek nazýváme také základní statistický soubor.

Vlastnosti statistických jednotek určitého statistického souboru se snažíme postihnout (charakterizovat) statistickými znaky.

Např.: statistickou jednotkou je výrobek určitého podniku dokončený ve sledovaném měsíci, který vyhovuje stanoveným technickým parametrům. Statistické znaky jsou např. hmotnost, pracnost, počet vyrobených kusů a další.

Jsou-li varianty statistického znaku vyjádřeny čísly, hovoříme o kvantitativním statistickém znaku, zatímco jsou-li vyjádřeny slovy, mluvíme o kvalitativním statistickém znaku.

Číselný popis rozložení dat

Součet

Pro označení součtu se používá velké řecké písmeno sigma Σ , které čteme jako suma (sumace). Například zápis $\sum_{j=1}^k n_j$ čteme jako suma n_j pro j od jedné do k . označuje součet četností n_j , kde j je pomocný symbol, který vyjadřuje pořadové číslo odpovídající četnosti n_j . Za j postupně dosazujeme celá čísla od 1 do k . vzhledem k tomu, že sečtením dostáváme rozsah souboru, můžeme zapsat

$$\sum_{j=1}^k n_j = n_1 + n_2 + \dots + n_k = n$$

Charakteristiky polohy

Charakteristiky polohy, neboli střední hodnoty jsou čísla, která umožňují srovnávat úroveň zkoumaného jevu u dvou nebo více souborů.

Pro srovnání polohy hodnot znaku v různých souborech se nejčastěji používají průměry, jejichž výše přímo závisí na velikosti všech hodnot. Nejpoužívanějším druhem průměru je aritmetický průměr. Aritmetický průměr znaku X je definován jako podíl součtu hodnot (úhrnu) m a počtu hodnot (rozsahu) n .

Aritmetický průměr se značí \bar{x} ; můžeme zapsat

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{m}{n}.$$

Takto vyjádřený aritmetický průměr se nazývá prostý aritmetický průměr.

Doplňující charakteristiky jsou modus a medián. Modus je nejčastější hodnota statistického souboru; je to hodnota (varianta) znaku, která se v souboru nejčastěji vyskytuje. Někdy říkáme, že aritmetický průměr je dobrým představitelem polohy statistického znaku, jestliže se příliš neliší od nejčastější hodnoty (modu).

Medián je prostřední hodnota statistického souboru, který je uspořádan podle velikosti hodnot statistického znaku. Při lichém počtu hodnot je medián jednoznačně určen, zatímco při sudém počtu jde o prostý aritmetický průměr ze dvou prostředních hodnot.



3. Specializace „Nástrojař“

3.1. Základní znalosti problematiky obrábění

Podstata obrábění

Pod pojmem obrábění rozumíme technologický proces, při kterém řezná síla vtlačuje nástroj ve tvaru řezného klínu do povrchu polotovaru a odebírá z něj při vzájemném pohybu polotovaru a nástroje materiál v podobě třísky. Účelem je dosažení požadovaného tvaru, rozměrů i drsnosti povrchu.

Obráběný předmět nazýváme **obrobek**, vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem nazýváme **řezným pohybem**.

Plochy, které při obrábění vznikají, nazýváme: **obráběná plocha** – část obrobku, ze které se odstraňuje přebytečný materiál; **obrobená plocha** – vznikne obráběnou plochu; řezná plocha – vzniká při obrábění břitem nástroje a tvoří přechod mezi obráběnou a obrobenou plochou.

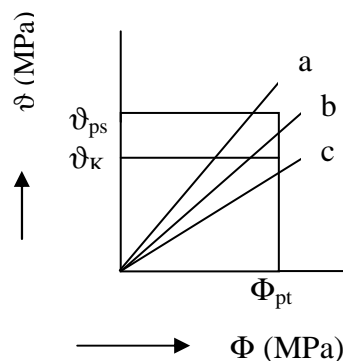
Řezný pohyb se skládá z hlavního řezného pohybu a vedlejšího řezného pohybu. Každý z těchto pohybů může vykonávat jak nástroj, tak obrobek, záleží na druhu obráběcí operace (soustružení, frézování atd.). Hlavní řezný pohyb může být nejčastěji otáčivý, ale také přímočarý, či složený. Vedlejší řezný pohyb nazýváme posuv a je to pohyb který je potřebný k tomu, aby byl třísky odřezávána v požadované délce obrobku. Posuv může být podélný, příčný, nebo složený a vykonávat jej může jak nástroj tak i obrobek podle druhu obráběcí operace. Nástroj nebo obrobek může vykonávat další pracovní pohyb, jemuž říkáme přísuv. Tento pohyb není složkou řezného pohybu. Je to vedlejší pohyb nástroje umožňující vzájemné nastavení obrobku a nástroje a nastavuje se mimo proces obrábění, proto není složkou řezného pohybu.

Výslednou rychlost řezného pohybu vypočítáme ze vztahu $v_e = v + v_f$ kde v je rychlost hlavního řezného pohybu a v_f je rychlost vedlejšího řezného pohybu – posuvu. Pro účely této úvodní kapitoly si budeme pamatovat, že vedlejší řezný pohyb je v poměru k hlavnímu řeznému pohybu mnohokrát menší, a proto jej při výpočtu zanedbáváme. Výsledná řezná rychlost se tedy rovná hlavnímu řeznému pohybu, což je v drtivé většině případů obvodová rychlost nástroje či obrobku, která se spočítá ze známého vztahu $v = \pi Dn$, kde D je průměr obrobku nebo nástroje v [m], a n jsou otáčky vřetena v [min^{-1}]. U přímočarého pohybu je řezná rychlost dána rychlostí pracovního stolu nebo smýkadla.

Vznik třísky, druhy třísky

Při vnikání břitu nástroje do obrobku je materiál odřezávané vrstvy značně namáhán a deformován. Charakter namáhání a velikost deformací odřezávané vrstvy jsou závislé především na druhu a vlastnostech obráběného materiálu. Podle poměru pevností v tahu a ve smyku obráběného materiálu mohou nastat tyto případy:

1. Namáhání materiálu podle přímky *a*. Tečné napětí dosáhne v tomto případě meze kluzu ϑ_k a meze pevnosti ve smyku ϑ_{ps} dříve než normálové napětí meze pevnosti v tahu Φ_{pt} . V tomto případě se materiál odřezávané vrstvy intenzivně plasticky tváří a pak odděluje.



2. Probíhá-li namáhání odřezávaného materiálu podle přímky *c*, dosáhne normálové napětí meze pevnosti v tahu dříve než tečné napětí meze kluzu σ_k . Materiál odřezávané vrstvy je odtržen, aniž by byl vytvářen.

3. Mezi těmito krajními případy může namáhání probíhat podle přímky *b*. Normálové napětí dosáhne sice meze pevnosti v tahu dříve než tečné napětí meze pevnosti ve smyku, ale později než meze kluzu a materiál je před odtržením částečně vytvářen.

Druhy třísek

V prvním případě (přímka *a*) vzniká tříska tvářená plastickým kluzem. Je soudržná, celistvá a může být plynulá nebo člankovitá. Je typická při obrábění ocelí, slitin hliníku, mědi a podobných houževnatých kovových materiálů.

Ve třetím případě (přímka *b*) vzniká elementární tvářená tříska a je typická pro obrábění litiny, bronzů a podobných křehkých kovových materiálů.

Ve druhém případě (přímka *c*) vzniká tříska štěpením bez předchozího tváření a je typická při obrábění dřeva, skla, litých hornin a plastů. Je to tříska elementární.

Plynulá tříska je na straně čela nástroje hladká a na své vnější straně drsná. Tvoří přímé pásy nebo se stáčí do různých křivek od šroubovic po spirály.

Člankovitá tříska, která je na straně čela nástroje rovněž hladká, je na své vnější straně nápadně členitá až pilovitá. Soudržnost jednotlivých elementů je menší a snadno se láme na menší části.

Elementární tříska, která není tvářená a nebo jen částečně, je na straně čela nástroje drsná. Na své vnější straně zachovává jakost obráběné plochy.

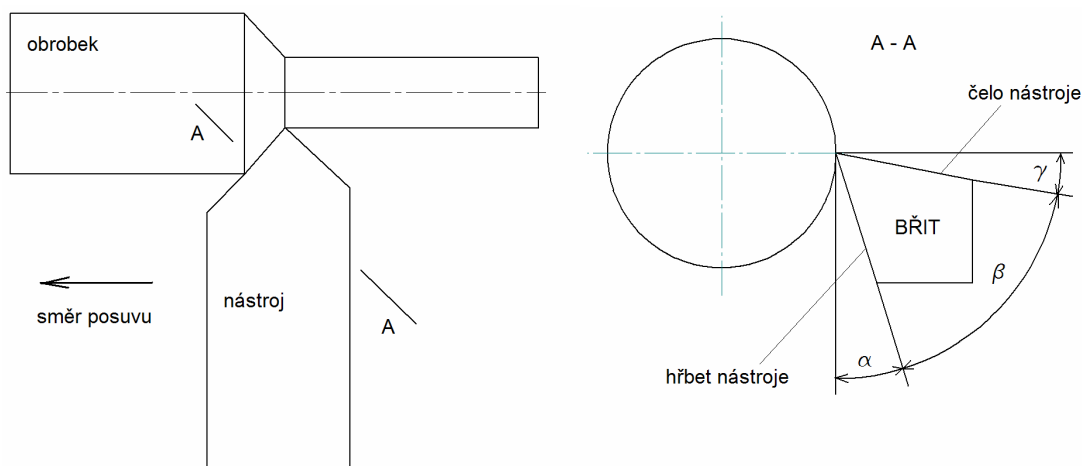
Geometrie obráběcího nástroje

Obráběcí nástroj se skládá ze tří částí – z řezné části, tělesa a upínací části. Řezná část slouží k řezání materiálu, těleso ke spojení řezné a upínací části. Řezná část nástroje může být tvořena jedním, dvěma nebo několika hlavními břity:

- jednobřité – např. soustružnické nože,
- dvoubřité – vrtáky,
- vícebřité – frézy, výstružníky, výhrubníky, závitníky,
- vícebřité nepravidelné – brousící kotouče.

Při obrábění přichází do styku s obrobkem pouze řezná část nástroje. Těleso nástroje se nesmí nikdy dotýkat obrobku.

Geometrie obráběcího nástroje je charakterizována celou řadou ploch, hran a úhlů. Plochy a hrany soustružnického nože jsou patrné z obrázku. U ostatních nástrojů se úhly určují velice podobně.



Základní plochy a tvary břitu:

- břit – je řeznou částí nástroje, plochy tvořící klín se nazývají čelo a hřbet,
- čelo – je plocha, po níž odchází tříska z místa řezu,
- hřbet – je plocha obrácená nebo přilehlá k řezné ploše,
- řezná hrana – je průsečnice plochy čela a plochy hřbetu a vyskytuje se ve tvaru přímém, zakřiveném a lomeném. Ostří je funkční část řezné hrany.

Má-li nástroj správně řezat, musí mít optimální řezné úhly. Velikost úhlů je závislá hlavně na:

- druhu obráběného materiálu (tvrdost, pevnost),
- způsobu práce,
- druhu práce,
- materiálu nástroje,
- druhu a konstrukci nástroje.

Následuje popis tří nejzákladnějších úhlů a jejich vliv na obráběcí proces. Je nutné si uvědomit, že stanovení správné geometrie nástroje je problematika nepoměrně složitější, než je obsah této kapitoly.

Úhel hřbetu α – nemá být příliš velký, aby se nezmenšoval úhel břitu, což by mělo za následek zmenšení pevnosti nástroje. Příliš malý úhel břitu má však za následek tření nože o obráběnou plochu a tím jeho opotřebování.

Úhel břitu β – jeho velikost je závislá na tvrdosti a pevnosti obráběného materiálu. S rostoucí tvrdostí a pevností obráběného materiálu se musí zvětšovat i úhel β .

Úhel čela γ – jeho velikost má vliv na vytváření a utváření třísky, na velikost spirály třísky, na řezné síly, příkon, tepelné zatížení nástroje atd. Čím je γ větší, tím lépe se tříska svinuje. Hodnota tohoto úhlu může být jak kladná, tak i záporná. Např. u nástrojů s břitkem z SK se často volí úhel γ záporný. S takovým nástrojem je pak díky jeho větší tuhosti možné obrábět ocel s velkou pevností v tahu a obrábět ocel přerušovaným řezem.

Dále rozeznáváme spoustu dalších úhlů, z nichž nějakým způsobem ovlivňuje řezný proces. Jmenujme například úhel nastavení φ , úhel sklonu ostří λ a další.

Obrobitelnost kovových materiálů

Pod pojmem obrobitelnost materiálu se rozumí souhrn technologických vlastností obráběného materiálu, uplatňujících se při vlastním řezání. Jsou to zejména chemické složení a struktura obráběného materiálu a způsob jeho předchozího mechanického a tepelného zpracování. Kromě těchto vlastností ovlivňují ještě obrobitelnost materiálu způsob obrábění, druh materiálu břitu nástroje a řezné podmínky a prostředí.

Obrobitelnost materiálu posuzujeme z několika hledisek, přičemž důležité je jejich pořadí. Při hrubování je to pořadí – řezná rychlost, řezný odpor, utváření třísek, drsnost obrobené plochy. Pro obrábění na čisto je pořadí jiné – drsnost obrobené plochy, řezná rychlost, utváření třísek, řezný odpor.

V praxi obrobitelnost posuzujeme tzv. stupněm obrobitelnosti podle řezné rychlosti, přičemž zbylá kritéria jsou pouze doplňková. Stupeň obrobitelnosti určujeme jako poměr řezné rychlosti při obrábění daného materiálu ku řezné rychlosti při obrábění etalonu. Materiál etalonu má stupeň obrobitelnosti $i_0=1$.

Třídění materiálu podle obrobitelnosti

Všechny materiály jsou rozděleny do čtyř základních skupin obrobitelnosti, označených písmeny a, b, c, d. Do jednotlivých skupin jsou materiály zařazeny takto:

- a – litiny a nekovové materiály,
- b – oceli a oceli na odlitky,
- c – barevné kovy,
- d – lehké kovy.

Každá skupina materiálů je dále tříděna podle stupně obrobitelnosti do dvaceti tříd, označených čísly 1 až 20. Ve třídě jedna jsou zařazeny materiály nejhůře obrobitelné, ve třídě 20 materiály obrobitelné nejlépe. Pro každou skupinu obrobitelnosti je stanoven stupeň obrobitelnosti, který je roven $i_0=1$, tedy je roven obrobitelnosti materiálu etalonu. Jsou to tyto stupně v jednotlivých skupinách: 11a, 14b, 12c a 12d.

Zařazení materiálů do skupin obrobitelnosti umožnilo vypracovat řezné podmínky pouze pro základní třídy obrobitelnosti. Řezné podmínky pro daný materiál se pak stanoví vynásobením tabulkových hodnot základní třídy stupněm obrobitelnosti i_0 daného materiálu.

Teplo a teplota řezání

Téměř veškerá mechanická práce vynaložená na přeměnu odřezávané vrstvy v třísku a odvedení třísky z místa řezu se přeměňuje v teplo. Teplo se vyvíjí v poměrně malé oblasti a je příčinou vysoké teploty, která dosahuje až 1000°C. Teplota má nepříznivý vliv na opotřebení nástroje, na přesnost obrábění a na jakost obrobené plochy.

Tepelná bilance

Ke vzniku tepla při obrábění dochází přeměnou dílčích prací v jednotlivých místech zdrojů. Jsou to práce plastických deformací Q_{pd} , práce tření na čele nástroje Q_{tc} a práce tření na hřbetu nástroje Q_{th} .

Celkové teplo vznikající při obrábění je z podstatné části odváděno třískou – to označujeme Q_1 , z menší části obrobkem – Q_2 a nástrojem – Q_3 . Část tepla je vyzářena přímo do okolí – Q_4 . Podíl jednotlivých složek odváděného tepla je závislý na tepelné vodivosti materiálů

obrobku a nástroje, dále na řezných podmínkách, a to zejména na řezné rychlosti, pak na řezném prostředí a způsobu chlazení a mazání a také na geometrii břitu nástroje.

Pro dílčí zdroje tepla a pro složky odváděného tepla platí tzv. rovnice tepelné bilance:

$$Q_{pd} + Q_{tč} + Q_{th} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

Teplota řezání

Vývin tepla při obrábění má za následek zvýšení teploty v místech zdrojů tepla a v jejich okolí. Teplota má výrazný vliv na stav břitu, především na intenzitu jeho otupování. Protože teploty na čele nástroje jsou o 50 až 100% vyšší než na hřbetě nástroje, jsou z hlediska opotřebení významnější teploty na čele. Nejvyšší teplota není na špičce nástroje, jak by se dalo očekávat, ale její maximum je vlivem poloměru špičky nástroje posunuto. V místech s nejvyšší teplotou na ploše čela je také nejintenzivnější opotřebení. Zjišťování teplotního pole (teplot v jednotlivých místech sledované plochy) je velmi náročné, určuje se proto pouze střední teplota styčné plochy čela s třískou a nazývá se teplotou řezání η . Přípustné mezní hodnoty teploty řezání jsou závislé na odolnosti použitého materiálu nástroje. Překročením mezní teploty řezání se rychle snižuje tvrdost břitu, nástroj ztrácí řezné schopnosti a prudce narůstá jeho opotřebení.

Znalost teplotního pole a teploty obrobku je důležitá vzhledem k rozměrové a tvarové přesnosti obrobku a má význam při obrábění na čisto, zejména při broušení.

Chlazení a mazání při obrábění

Při obrábění hraje významnou roli řezné prostředí. Přirozeným řezným prostředím je vzduch, častěji se však používají tzv. řezné kapaliny. Účinky řezného prostředí na proces obrábění jsou komplexní. Nejčastěji se uvažuje snížení teploty nástroje a snížení tření na stykových plochách mezi nástrojem a obrobkem. Tyto dva hlavní účinky (chladičí a mazací) však mají širší význam a ovlivňují též mechaniku tvoření třísky, silové jevy na stykových plochách aj. Shrnutím řečeného a přidáním dalších informací tedy konstatujeme, že úkolem řezného prostředí je odvádět teplo z oblasti jeho tvoření, snížit práci vlivem tření, snížit intenzitu otupování nástroje, zlepšit jakost obrobené plochy, odvádět třísky z místa řezu, přičemž nejdůležitější je účinek chladičí a mazací.

Chladičí účinek snižuje teplotu a snižuje tak opotřebení nástroje, u RO až na pětinu proti obrábění za sucha.

Mazací účinek se projevuje snížením tření na činných plochách nástroje a usnadňuje plastické deformace třísky. Řezný odpor se tak snižuje až o 25%, u malých průřezů třísek i více. Účinkem mazání se tedy zlepší jakost obrobené plochy.

Řezné kapaliny

Nejčastěji se jako řezného prostředí používá řezných kapalin. Jsou to: vodné roztoky, emulze olejů, tuků a vody, řezné oleje.

Vodné roztoky – jsou vodní roztoky chemických látek (uhličitanu sodného, křemičitanu sodného a dalších). Vyznačují se dobrým chladičím účinkem. Používají se hlavně při broušení.

Emulze – jsou směsi vody a jemně rozptýlených olejů a tuků. Splývání jednotlivých částíček olejů a tuků se zamezí přidáním tzv. emulgátorů, nejčastěji mýdel. Emulze mají velmi dobré mazací i chladičí účinky a jsou nejpoužívanější řeznou kapalinou.

Řezné oleje – vyrábějí se z minerálních olejů. U řezných olejů převládá účinek mazací. Zajišťují vysokou jakost obrobené plochy a malé opotřebení nástroje. Používají se při stružení a protahování a při obrábění ozubení a závitů.

Při výběru řezného prostředí je nutné přihlížet nejen ke způsobu obrábění, ale i k druhu obráběného materiálu.

Opotřebení nástroje

Pod pojmem opotřebení nástroje se rozumí postupně probíhající proces, při kterém se zvětšuje poloměr ostří, zhoršuje se drsnost plochy čela a hřbetu v místech styku s třískou a plochou řezu a mění se postupně geometrie břitu.

K opotřebení břitu nástroje dochází:

- otěrem stykových ploch,
- plastickou deformací povrchových vrstev břitu,
- narušením ostří křehkými lomy.

K otěru stykových ploch dochází jednotlivým nebo současným působením obraze, adheze a difúze.

Abrázivní otěr způsobují tvrdé částice struktury obráběného materiálu (např. cementář), jejichž tvrdost je vyšší než některé částice struktury břitu nástroje (např. kobalt u SK), i když celkově z podstatně tvrdšího materiálu.

Adhezivní otěr vzniká působením vysokých místních tlaků vlivem nerovností pracovních ploch břitu. Při větší mezi pevnosti ve smyku některé strukturní složky obráběného materiálu, než má materiál nástroje, dochází k porušení a úbytku materiálu nástroje. Adhezivní otěr se uplatňuje především u nástrojových ocelí.

Difúzní otěr vzniká při dosažení disociační teploty některého prvku. (Ujasňeme dva pojmy. *Disociační teplota* je teplota, při které se struktura kovů rozpadá na atomy, které jsou potom schopny difúze. *Difúze* probíhá tak, že atomy difundujícího prvku vnikají do mřížky zákl. kovu, která nikdy není zcela dokonalá.) Difundující atomy vnikají do mřížky kovu nástroje vytvářející nové tuhé roztoky nebo chemické vazby. Vlastnosti nové struktury jsou vždy horší než původní struktura a vzniká tak defektní vrstva o menší pevnosti, která se stírá. K difúznímu otěru dochází při obrábění SK, nebo keramickými materiály.

Plastická deformace břitu se uplatňuje při obrábění měkkých materiálů (dřeva, plastů, kůže apod.). Vlivem malé tepelné vodivosti obráběného materiálu se hromadí teplo v nástroji, které spolu s tlakem vyvolává plastický stav povrchových vrstev břitu. K opotřebení dochází plynulým přemísťováním plasticky deformované vrstvy materiálu.

Křehké lomy se nejčastěji objevují u SK nebo keramických materiálů při práci nástroje přerušovaným řezem, přetížením břitu v ohybu, při okamžitém zvýšení řezného odporu vlivem tvrdého vměstku nebo tepelným rázem. Křehký lom je podporován mikroskopickými trhlinkami břitu, vznikajícími neopatrným ostřením nástroje.

Materiály využívané ve strojírenství

V úvodu této kapitoly je nutné seznámit se s některými vlastnostmi technických materiálů. Někdy typické vlastnosti kovů určují přímo jejich použití (např. elektrická vodivost, magnetické vlastnosti aj.) a jejich ostatní vlastnosti jsou méně důležité. Častěji ale o použití rozhoduje více vlastností najednou (např. pevnost a malá hustota apod.).

Vlastnosti lze rozdělit na mechanické, technologické, chemické a fyzikální.

Mechanické vlastnosti hodnotí chování materiálu za působení vnějších sil. Z těch nejdůležitějších mechanických vlastností zmiňme **pružnost** (schopnost materiálu vykazovat před porušením pružnou deformaci), **pevnost** (odpor materiálu proti deformaci a porušení vnějšími silami; podle druhu namáhání rozeznáváme např. pevnost v tahu apod.), **houževnatost** (schopnost materiálu odolávat bez porušení velkým napětím) a **tvrdost** (definována jako odpor, který klade materiál proti vnikání do cizího tělesa).

Technologické vlastnosti jsou vlastnosti, které úzce souvisí se zpracováním materiálu. Řadíme sem např. **tvárnost** (schopnost materiálu vytvořit jakostní výrobek plasticou deformací za tepla či za studena), **svařitelnost** (schopnost materiálu vytvořit ze dvou částí nerozebíratelný celek), **obrobitelnost** (chování materiálu při obrábění řeznými nástroji) a **slévatelnost** (schopnost kovu tvořit jakostní odlitek).

Chemické vlastnosti jsou určovány schopností materiálů chemicky reagovat s okolním prostředím. Chemická reaktivita má tak rozhodující význam pro korozní procesy, tedy postupné znehodnocování materiálů účinkem vnějšího prostředí.

Fyzikální vlastnosti jsou ty vlastnosti, které se projeví v případech, kdy na látku působí některá vnější fyzikální veličina (elektrické nebo magnetické pole, teplota apod.). Patří sem např. hustota, teplota tání a tuhnutí, elektrická a tepelná vodivost a řada dalších.

Přistupme k rozdělení technických materiálů.

Nejdůležitější technické slitiny jsou ty, ve kterých převládá železo. Jsou to slitiny železa s uhlíkem a jinými prvky. Dělíme je na dvě skupiny:

- **železa nekujná,**
- **železa kujná.**

K nekujným železům počítáme surová železa a litiny s obsahem uhlíku nad 2,14 % C. Kujná železa jsou především oceli a litina temperovaná.

OCELI

Ocel je slitina železa s uhlíkem (do 2,14 % C) a doprovodnými prvky, které se do oceli dostaly při výrobě (Mn, Si, P, S, Cu). Kromě doprovodným prvků obsahují některé oceli úmyslně přidané prvky, tzv. přísadové prvky (Cr, W, Mo, V, Ni aj.). Pro své mechanické a technologické vlastnosti je ocel dodnes nejdůležitějším technickým materiálem.

Každá z ocelí má svůj **materiálový list**, obsahující všechny informace, které danou ocel charakterizují.

Oceli můžeme v podstatě rozdělit na oceli k tváření a oceli slitinové. Oceli k tváření se podle použití dělí na oceli konstrukční a nástrojové.

Třídy ocelí

Oceli k tváření jsou rozděleny do devíti tříd jakosti podle chemického složení. Označení ocelí se skládá ze základní číselné značky a doplňkových číslic. Základní číselná značka oceli je pětimístné číslo. První číslice je 1 a vyjadřuje, že jde o ocel k tváření. Druhá číslice vyjadřuje ve spojení s první číslicí třídu jakosti oceli. Význam třetí, čtvrté a páté číslice se různí podle třídy oceli. Pátá číslice má význam pořadový. K doplňkovým číslicím. Jsou dvě, a od základní pětimístné číselné značky jsou odděleny tečkou. První doplňková číslice vyjadřuje

konečný stav oceli, tj. druh tepelného zpracování. Druhá doplňková číslice vyjadřuje konečný stupeň přetváření u ocelových plechů a pásů.



Dále následuje stručný popis jednotlivých tříd jakosti.

Konstrukční oceli obvyklé jakosti

Patří sem oceli třídy 10 a 11. Jejich společným znakem je použití nejlevnějšího způsobu výroby a surovin. Odtud plyne jejich horší čistota a méně definované mechanické a technologické vlastnosti.

10 XXX

Jsou to nejlevnější oceli s nízkým obsahem C, bez zaručeného stupně čistoty a bez záruky chemického složení. Význam třetí a čtvrté číslice je nejmenší pevnost v tahu v 10 MPa. Př: 10 451 má nejmenší pevnost v tahu 450 MPa. Použití mají pro podřadné stavební a zámečnické práce a betonovou výztuž, ale také pro stavbu mostů, konstrukcí a též na šrouby, nýty apod.

11 XXX

Tyto oceli mají proti ocelím třídy 10 předepsanou čistotu. Někdy se zaručí i jiné vlastnosti. Význam třetí a čtvrté číslice je stejný jako u ocelí třídy 10. Podle pevnosti je použití ocelí třídy 11 různé od šroubů, jednodušších součástí, např. hřídelů čepů apod. přes méně namáhaná ozubená kola, pístní tyče až po strojní součásti vystavené větším měrným tlakům, např. vřetena lisů, klíny atd. Oceli třídy 11 se dají podle obsahu uhlíku dále cementovat, zušlechťovat.

Zvláštní skupinu zaujímají tzv. automatové oceli, které mají velmi dobrou obrobitelnost a jsou vyráběny v několika druzích s různou pevností v tahu. Používají se na součásti vyráběné na rychlořezných automatech.

Konstrukční oceli ušlechtilé

V porovnání s oceliemi tříd 10 a 11 mají lepší a stejnoměrné vlastnosti, vyšší čistotu a zaručené chemické složení. Obsahují přísadové prvky, které jim dávají vynikající vlastnosti, zvláště ve spojení s tepelným zpracováním. Jejich označení je jiné než u ocelí třídy 10 a 11 a to takovéto: třetí pořadová číslice vyjadřuje výši obsahu přísadových prvků jako jejich součet v procentech zaokrouhlený na nejbližší celé číslo. Čtvrtá číslice vyjadřuje průměrnou výši obsahu uhlíku v desetinách procenta.

Jednou z důležitých vlastností konstrukčních ušlechtilých ocelí je, že jejich tepelným zpracováním se u téže oceli mění mechanické i jiné vlastnosti, a tím i účel použití.

12 XXX

Jsou to oceli ušlechtilé uhlíkové. Jsou rozděleny na oceli určené k cementování, k zušlechťování a pro povrchové kalení.

Oceli k cementování mají poměrně nízkou pevnost, ale vysokou houževnatost. Používáme např. na řetězová kola, vodítka, čepy aj.

Oceli k zušlechťování jsou prokalitelné asi do průměru 40 mm. Používají se pro velmi široký okruh součástí nejrůznějších strojů. Některé z nich dosahují po zušlechtění pevnosti až 1200 MPa.

Oceli k povrchovému kalení se používají na vačkové hřídele, pojistky, západky, přitlačné kladky aj.

13 XXX

Jsou to již oceli slitinové. Zušlechťují se tam, kde ocel ušlechtilá uhlíková nevyhovuje, ale ocel chromová nebo chromniklová by byla drahá. Používáme je na středně namáhané části silničních motorových vozidel, kde se vyžaduje větší odolnost proti opotřebení. Jako legující prvek v nich převažuje mangan. Představitelem této skupiny je ocel 13 240. K cementování se oceli této třídy nehodí.

14 XXX

Jsou to oceli legované chromem, popř. ještě manganem a křemíkem. Patří mezi naše nejdůležitější slitinové oceli. Široký obsah použití mají oceli chromové k cementování. Mají nízký obsah C a až 1,3% Cr. Používáme je na značně namáhané součásti motorových vozidel, všechny druhy ozubených kol, vačkové hřídele aj. Jsou to oceli značek 14 220 apod.

Další oceli této třídy jsou oceli k zušlechťování, používané pro výrobu nejrůznějších strojů a vozidel. Jsou prokalitelné až do průměru 60 mm. Zušlechťují se na pevnost až 1300 MPa. Některé z této skupiny ocelí můžeme nitridovat a povrchově kalit.

15 XXX

V této třídě se použilo k legování velkého počtu kombinací přísadových prvků. Proto je jednotlivých typů ocelí v této třídě mnoho, se specifickými vlastnostmi. Jsou to: velmi dobrá prokalitelnost a vhodnost ke zušlechťování, vysoká mez pevnosti a mez kluzu při normální teplotě, zvýšená odolnost proti korozi. Tyto vlastnosti rozdělují oceli třídy 15 do určitých skupin podle použití. Většina ocelí této třídy se používá na součásti tepelných energetických zařízení a tlakových nádob, na součásti vystavené vysokým teplotám a na tlakové nádoby v chemickém průmyslu.

16 XXX

Jsou to oceli legované niklem v kombinaci s chromem. Jsou to nejkvalitnější oceli na vysoce namáhané součásti. Jsou dobře prokalitelné, některé až do průměru 140 mm. Dosahujeme u nich také vysoké meze kluzu a vysoké pevnosti při dostatečné houževnatosti.

Tvoří opět různé skupiny, např. oceli k cementování, zušlechťování aj.

17 XXX

Jsou to oceli konstrukční ušlechtilé, se zvláštními vlastnostmi. Označování ocelí této třídy je odlišné. Podle vlastností dělíme oceli třídy 17 na korozivzdorné, žárovzdorné, žáropevné a speciální. Ocelí třídy 17 je velký počet.

Korozivzdorné oceli používáme v chemickém a potravinářském průmyslu. Žárovzdorné oceli používáme na součásti kalících a žíhacích pecí, formy pro lisování skla aj. Oceli žárovevné se používají hlavně v energetice.

19 XXX

Všechny nástrojové oceli jsou oceli ušlechtilé. V praxi jsou dosti vžitá např. označení podle výrobce, např. Radeco.

Rozdělujeme na nástrojové oceli uhlíkové a nástrojové oceli slitinové.

Na vlastnosti nástrojových ocelí uhlíkových má vliv v první řadě obsah uhlíku. Tvrdost oceli v zakaleném stavu vzrůstá se stoupajícím obsahem uhlíku asi do 1,0 %. Při vyšším obsahu C se tvrdost již výrazně nemění, ale zlepšuje se řezivost a odolnost proti otěru. Využití je víceméně pro ruční nástroje.

Slitinové oceli se používají k výrobě nástrojů, u nichž uhlíkové oceli nemohou zajistit nejdůležitější, popř. speciální požadavky na mechanické a fyzikální vlastnosti. Počet slitinových ocelí je velký.

Oceli nástrojové rychlořezné tvoří samostatnou skupinu vysokolegovaných nástrojových ocelí. Používají se pro výrobu vysoce výkonných řezných nástrojů. Od ostatních nástrojových ocelí se liší jednak obsahem legujících přísad, jednak podmínkami tepelného zpracování. Zachovávají si vysokou tvrdost i při vysokých teplotách kolem 600 °C.

SLITINY ŽELEZA NA ODLITKY

Oceli na odlitky

Jsou definovány jako slitiny železa s uhlíkem, křemíkem, manganem a dalšími prvky, v níž množství uhlíku nepřesahuje 2,14 % C. Oceli na odlitky označujeme takto:

42 XXXX. Druhé dvojčíslí označuje druh oceli podle stupně legování takto:

- 42 26XX – uhlíkové oceli na odlitky,
- 42 27XX, 42 28XX – nízkolegované a středně legované oceli na odlitky,
- 42 29XX – vysokolegované oceli na odlitky.

Třetí dvojčíslí udává u legovaných ocelí skupiny legovacích prvků.

Stejně jako u ocelí i označení ocelí na odlitky je doplněno dvojčíslím za tečkou. První číslo má stejný význam jako u ocelí, druhé číslo pak označuje způsob odlévání odlitků.

Legované oceli na odlitky jsou velmi odolné proti opotřebení a některé zachovávají své vlastnosti i za teplot 450 °C. Používají se např. na namáhaná ozubená kola a armatury a součásti parních kotlů a turbín do 450 °C. Další skupinu tvoří tzv. žárovevné oceli. Používají se na součásti namáhané tlakem za vyšších teplot, pro chemický průmysl, součásti namáhané vysokým otěrem.

Vysokolegované oceli na odlitky jsou legovány především chromem, niklem a dalšími prvky. Jde o analogii s tvářenými ocelmi třídy 17 a se stejným použitím.

Šedá litina

Je slitina železa s uhlíkem, křemíkem, manganem a dalšími prvky, kde množství uhlíku přesahuje 2,14 % C. Šedá litina může obsahovat legující prvky. Označujeme 42 24XX. Základními vlastnostmi šedé litiny je poměrně malá pevnost v tahu (od 100 do 350 MPa,

avšak velmi dobrá pevnost v tlaku (asi 3 až 4 krát větší než v tahu). Proto se hodí lépe pro součásti namáhané tlakem.

Velmi důležitou vlastností šedých litin je velká schopnost útlumu chvění, což je zvlášť důležité ve stavbě obráběcích strojů.

Použití nelegovaných šedých litin je např. na ložiska, řemenice, součásti motorů, turbín, válců kompresorů, ozubená kola, ložisková pouzdra, ale např. i součásti kamen.

Tak jako u legovaných ocelí na odlitky, i u šedé litiny legované je možno přísadou dalších prvků dosáhnout speciálních vlastností. Jsou to hlavně žárovzdornost a zvýšená odolnost proti korozi v agresivních chemických prostředích. Používají se na odlitky roštů, sázecích otvorů pecí, kovových forem aj.

Tvárná litina

Je velmi důležitým, poměrně mladým, konstrukčním materiálem. Vyrábí se přidáním hořčíku do pánve před odlitím. Označujeme 42 23XX. Vlastnosti tvárné litiny se mohou pohybovat v širokém rozmezí. Mohou mít výbornou tažnost, dobrou houževnatost za nízkých teplot, pevnost v tahu. Jejich použití je dáno právě jejich vlastnostmi od ozubených kol, dynamicky namáhaných součástí, až po součásti vystavené abrazivnímu opotřebení za spoluúčasti rázů.

Temperovaná litina

Je houževnatý a snadno obrobitelný materiál. V řadě vlastností byla sice překonána ocelí a tvárnou litinou, přesto má oproti nim určité výhody. Má malý rozptyl hodnot mechanických vlastností. Je svařitelná, lze ji chránit kovovými povlaky. Použití např. pro klíče, upínky, západky aj.

NEŽELEZNÉ KOVY A JEJICH SLITINY

Rozdělujeme na lehké neželezné kovy (hustota nad 5 kg/dm³) a těžké neželezné kovy (hustota menší než 5 kg/dm³).

Měď a její slitiny

Patří mezi těžké neželezné kovy.

Měď má zcela specifické vlastnosti, rozdílné od železa. Má asi šestkrát vyšší tepelnou a elektrickou vodivost, malou pevnost v tahu, vysokou tažnost, dobře se pájí a dá se svařovat. Má dobrou odolnost proti korozi. Využití nachází v elektrotechnickém průmyslu a pro výrobu slitin, zvláště mosazí a bronzů. Slitiny mědi tedy rozdělujeme na bronzy a mosazi.

Bronzy jsou slitiny mědi s různými kovy, bez zinku. Rozdělujeme je dále podle hlavního legujícího prvku (např. bronzy cínové, olověné hliníkové atd.), ten určuje i specifické vlastnosti těchto slitin. Využití v elektrotechnickém průmyslu, dále na součásti značně namáhané třením, např. kluzná ložiska, šneková kola apod.

Mosazi jsou slitiny mědi s různými kovy, se zinkem. Ve srovnání s bronzy mají nižší cenu a lepší slévarenské vlastnosti. Užívají se především tam, kde je třeba zajistit dobré kluzné vlastnosti a odolnost proti korozi.

Hliník a slitiny hliníku

Patří mezi lehké neželezné kovy.

Hliník má malou hustotu a dobrou tepelnou a elektrickou vodivost, dobrou chemickou odolnost, dobrou slévateľnost, dobré mechanické vlastnosti.

Přísadami některých prvků se dosáhne podstatného zlepšení mechanických vlastností. Protože je výroba slitin hliníku energeticky velmi náročná, využíváme je zejména tam, kde lze využít jejich specifické vlastnosti, jako je nízká měrná hmotnost a odolnost proti atmosférické korozi. Využití tedy nacházejí např. pro hlavy válců spalovacích motorů, v potravinářském průmyslu apod.

Titan a slitiny titanu

Patří mezi lehké neželezné kovy.

Titan má podobné mechanické vlastnosti jako oceli, má však podstatně menší hustotu. Nevýhodou je však vysoká cena, nepříliš dobrá obrobiteľnost, rychle klesající pevnost se vzrůstající teplotou. Titan je velmi odolný proti korozi, odolává všem anorganickým i organickým kyselinám. Je důležitým legujícím prvkem ocelí. Využití nachází zejména v chemickém průmyslu.

Úpravy materiálů (tepelné zpracování)

Tepelným zpracováním rozumíme všechny postupy, při nichž předmět, nebo materiál v tuhém stavu záměrně ohříváme a ochlazujeme určitým způsobem tak, aby získal požadované vlastnosti. V podstatě jde vždy o souhrn těchto operací: ohřev na určitou teplotu, výdrž na této teplotě a ochlazování určitou rychlostí na danou teplotu. V některých případech mohou tyto operace probíhat vícekrát za sebou za různých podmínek.

Tepelným zpracováním ovlivňujeme mechanické vlastnosti jako pevnost, tažnost, vrubovou houževnatost, odolnost proti opotřebení atd. V mnoha případech je s tím zároveň spojena změna struktury materiálu.

Žihání

Žihání je způsob tepelného zpracování, kterým chceme u součásti dosáhnout zpravidla stavu blízkého stavu rovnovážnému. Podstatou je rovnoměrný ohřev součásti na teplotu žihání (ta je pro různé způsoby žihání a pro různé materiály jiná), setrvání na této teplotě po určitou dobu, a potom obvykle velmi pomalé ochlazování.

Rozeznáváme několik druhů žihání, které se mezi sebou liší jednotlivými postupy, a mají různé účely.

Žihání rekrytalizační slouží k obnovení tvárnosti po předchozím zpevnění oceli tvářením za studena. Při rekrytalizaci jde o obnovení deformovaných zrn beze změny krystalografické mřížky. Nejde tedy o její změnu, ale o její regeneraci.

Žihání ke snížení pnutí používáme ke snížení vnitřních pnutí, která vznikají ve výrobcích např. po svařování, po obrábění, po tvářením za tepla aj.

Žihání na měkko používáme zejména u nástrojových ocelí a u některých konstrukčních slitinových ocelí. Účelem je dosažení nejnižší možné tvrdosti.

Žihání normalizační je používáno pro odstranění nerovnoměrnosti struktury krystalové mřížky vzniklé při předchozím tváření nebo lití. Dochází při něm k překrystalizaci. Velmi často se používá u výkovků a odlitků

Kalení a popouštění

Účelem kalení je zvýšit tvrdost součásti. Jeho podstatou je překrystalizace za velmi pečlivě zvolených teplot a za dodržení určitých postupů. Velice laicky lze říci, že jde o ohřátí na určitou teplotu a následné rychlé ochlazení. Obrat „rychlé ochlazení“ je však relativní, neboť je odlišný pro jednotlivé materiály, stejně jako kalící teploty.

Protože postupy jsou odlišné pro každý materiál, zaměříme se spíše na obecné vlastnosti materiálů v souvislosti s kalením.

Kalitelnost je schopnost oceli dosáhnout kalením zvýšení tvrdosti. Přitom nejvyšší dosažitelná tvrdost oceli po kalení je závislá především na obsahu uhlíku.

Prokalitelnost je schopnost oceli dosáhnout po kalení v určité hloubce pod povrchem určité tvrdosti. Tuto vlastnost zkoušíme tzv. *zkouškou prokalitelnosti*. Při této zkoušce se čelo standardního válcového zkušební vzorku, který se v peci ohřeje na teplotu kalení, ochlazuje ve zvláštním přípravku proudem vody. Rychlost ochlazování je největší na kaleném čele a se vzdávající vzdáleností od čela se plynule zmenšuje. Po zakalení se na povrchu vzorku vybrousí podélná ploška, na které se zjišťuje tvrdost v různých vzdálenostech od čela. Tím zjistíme průměr, který se ještě zakalí.

Zušlechťování

Účelem je dosáhnout vysoké meze kluzu, pevnosti a odolnosti proti únavě při vysoké houževnatosti. Právě zvyšování meze kluzu a vrubové houževnatosti je pro nás stěžejní, neboť čím vyšší je mez kluzu, tím více lze ocel zatížit bez nebezpečí deformace a čím vyšší je vrubová houževnatost, tím větší je odolnost oceli proti křehkému porušení nenadálými rázy.

Povrchové kalení

Při povrchovém kalení ohříváme povrchové vrstvy velmi rychle, s velmi krátkou výdrží na teplotě. Po ohřevu následuje ihned prudké ochlazení, čímž se povrch součásti zakalí do hloubky, která závisí na hloubce prohřátého materiálu.

Tím docílíme součástí s houževnatým jádrem a tvrdým povrchem.

Chemicko-tepelné zpracování oceli

Pod tímto pojmem rozumíme řadu způsobů, při nichž se sytí povrch ocelí různými prvky, aby se dosáhlo různých požadovaných vlastností, např. žárovzdornost, korozivzdornost, odolnost proti opotřebení apod.

Cementování je používáno pro nasycení povrchu součásti uhlíkem. Následným zakalením této nasycené vrstvy se dosáhne vysoké tvrdosti, přičemž se zachová houževnatost jádra. Nauhličená vrstva bývá 0,5 až 1,5 mm tlustá. Zdůrazňeme tedy, že po cementování se musí součásti ještě zakalit, právě proto aby dosáhly potřebné tvrdosti a odolnosti proti opotřebení.

Nitridování je syčení povrchu dusíkem, který reaguje se železem a s jinými úmyslně přidávanými prvky (hlavně Al a Cr). Vytvářejí se tím tvrdé nitridy, které způsobují značné zvýšení tvrdosti povrchové vrstvy.

Materiály řezných nástrojů

Nástrojový materiál s ideální řezivostí vyžaduje vysokou tvrdost a pevnost při pracovních teplotách, zajišťující potřebnou odolnost proti opotřebení a deformaci břitu. Dále musí mít vysokou houževnatost, eliminující křehké porušení břitu, odolnost proti teplotnímu rázu a také chemickou stálost, zaručující odolnost proti difúzi a oxidaci.

Dosud žádný řezný materiál není schopen zajistit všechny tyto požadavky. Rostoucí houževnatost umožňuje použít vyšší posuvy, rostoucí odolnost proti otěru zase vyšší řezné rychlosti.

Při vývoji nástrojových materiálů představuje významný posun k ideálním řezným charakteristikám úpravy povrchů nástrojů. Tou lze zajistit břit nebo nástroj s potřebnou houževnatostí a pevností, na kterém je aplikován tvrdý, ořezuvzdorný a chemicky stálý povlak. Povlakem se rozumí vrstva materiálu, která zvětšuje jmenovitý rozměr nástroje.

Rychlořezné oceli (RO)

Mají v porovnání s ostatními materiály velmi dobrou houževnatost a odolnost proti adheznímu opotřebení. Jejich nevýhodou je ztráta pevnostních charakteristik při teplotě asi 600 °C.

Významnou modifikací RO jsou typy obsahující 5 až 10% kobaltu, který zvyšuje jejich pevnostní charakteristiky za tepla a tím i výkonnost. Proto se tyto oceli nazývají často vysoko výkonné, v informacích výrobců mají často označení HSS-E.

Využití nacházejí na konvenčních strojích; limitujícím faktorem je nízká pracovní rychlost (pod 60 m/min). Obecně lze nástroji z RO obrábět široké spektrum kovových a nekovových materiálů, s výjimkou materiálů tvrdých a silně abrazivních.

Povlaky na nástrojích a výměnných destičkách z RO poskytují menší zlepšení řezivosti než povlaky na slinutých karbidech. Zvýšení trvanlivosti břitu se pohybuje v rozmezí mezi 50% a 200%, možné navýšení řezné rychlosti při zachování předepsané trvanlivosti je 10% až 20%.

Slinuté karbidy (SK)

Jsou tvořeny velmi tvrdými karbidovými částicemi v kovové vazbě a jsou vyráběny technologií práškové metalurgie. (Prášková metalurgie je technologie, při které jsou zhotovovány polotovary nebo hotové výrobky spojováním kovů, nebo kovů s nekovy ve formě prášků působením tlaku a tepla při teplotách nižších než je teplota tavení alespoň jedné ze spojovaných složek.) Základními karbidy pro výrobu jsou karbid wolframu WC a kubické nitridy TiC, TaC a NbC v kobaltovém pojivu.

Z hlediska použití existují tři základní skupiny s mezinárodním označením K (WC+Co), P (WC+TiC+Co) a M (WC+TiC+TaC/NbC+Co).

SK skupiny K jsou ze všech skupin nejhouževnatější, avšak s nižší odolností proti difúznímu otěru. Jsou určeny zejména pro obrábění materiálů, tvořících elementární třísku (např. šedá litina, bronz), tvorba této třísky je spojena se vznikem mikrochvění, které může u méně houževnatých SK způsobit praskání.

SK skupiny P obsahují karbidy TiC, které vnášejí do materiálu vyšší tvrdost a odolnost proti otěru. Jsou náchylnější na křehký lom, proto jsou určeny pro obrábění materiálů, u kterých se netvoří elementární tříska (oceli, lité oceli, tvárné litiny, lehké kovy).

SK skupiny M jsou určitou velmi kvalitní modifikací skupiny P a jsou určeny především pro obrábění těžkoobrobitelných ocelí a slitin.

Slinuté karbidy se dnes aplikují především ve formě výměnných břitových destiček. Stále více se však používají i monolitní nástroje menších rozměrů z SK (např. frézy, vrtáky). Nástroje ze SK, nebo s destičkami z SK jsou dnes nejpoužívanějšími nástroji. V porovnání s RO jsou slinuté karbidy tvrdší a otěruvzdornější, mají větší pevnost v tlaku, ale jsou méně houževnaté.

Povlakované slinuté karbidy

Dovolují zvýšit řeznou rychlost až o 300% oproti nepovlakovaným druhům. Používají se především soustružnické operace, ale i pro operace frézovací a vrtací, zejména pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Jako základ se používají SK, které jsou houževnaté.

Cermety

Cermet je název pro tvrdý keramický materiál obsahující tvrdé částice zpravidla TiC, TiN, TiCN v kovovém pojivu, vyrobený obdobně jako SK práškovou metalurgií. Název obsahuje počáteční písmena slovního spojení CERamic/METal, používaný pro označení keramických částic v kovovém pojivu.

Cermety mají velmi dobrou odolnost proti opotřebení, vysokou pevnost za tepla a chemickou stabilitou. Oproti SK vykazují menší houževnatost a odolnost proti teplotnímu rázu. Jsou vhodné pro jemné obrábění a dokončování ocelí a ocelolitin. Jejich vlastnosti lze také zlepšit povlakováním.

Keramika

Tímto názvem se dnes označuje několik řezných materiálů s odlišným chemickým složením a mikrostrukturou.

Čistá oxidická keramika Al_2O_3 má nízkou houževnatost a odolnost proti teplotnímu rázu, ale vysokou odolnost proti opotřebení a vynikající chemickou stálost. Může být obohacena tvrdými částicemi, nejčastěji TiC, nebo zpevněna velmi tenkými (průměr $1\mu m$) a pevnými vlákny z karbidu křemíku.

Neoxidická keramika, jejímž představitelem je nitrid křemíku Si_3N_4 má vysokou pevnost za tepla a je houževnatější než oxidická keramika.

Keramika je vhodná pro obrábění žáruvzdorných a žárupevných slitin, zušlechtěných ocelí, tvárné, temperované litiny.

I tyto materiály se upravují povlakováním.

Řezné rychlosti se pohybují mezi 400 a 600 m/min.

Polykrystalický kubický nitrid boritý

Kubický nitrid boritý (KBN) je synteticky vyrobený materiál, který v přírodní formě neexistuje. Spolu s diamantem patří k velmi tvrdým materiálům s vysokou pevností za tepla, s výbornou odolností proti opotřebení a chemickou stabilitou k železným kovům. V literatuře je KBN společně s diamantem označován jako supertvrdý materiál (STM).

Nástroje jsou dvojího provedení – monolitní nebo dvouvrstvé.

KBN používáme na nástroje pro soustružení, vyvrtávání a i pro frézovací nástroje. KBN se osvědčil při obrábění superslitin, slinutých karbidů a tvrzených litinových válců. Nástroje z KBN zaručují vysokou kvalitu obrobeneho povrchu ($R_a = i 0,3 \mu m$) a proto nahrazují i operaci broušení.

Diamanty

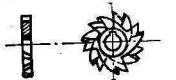

Diamant je nejtvrdší známý přírodní materiál. Průmyslové diamanty jsou dnes dostupné v několika provedeních. Vedle vysoké tvrdosti mají diamanty výbornou odolnost proti abrasivnímu opotřebení, dobrou tepelnou vodivost a nízký koeficient tření. K jejich nevýhodám patří křehkost, afinita k železným kovům a Ni slitinám a nízká pracovní teplota asi $700^\circ C$.

Obráběcí nástroje, jejich výběr pro určité obráběcí operace

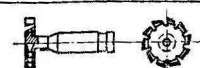
Výběr obráběcího nástroje je specifická zodpovědná činnost, která se liší podle typu stroje a obráběcí operace. Na každou obráběcí operaci je vhodný jiný obráběcí nástroj. Následuje výčet nástrojů a oblastí jejich použití pro nejčastěji používané obráběcí stroje, jimiž jsou soustruh, frézka a vrtačka.

Frézka

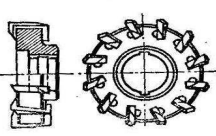
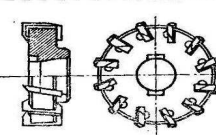
Kotoučové frézy - Používají se na frézování drážek či vybrání. Dělí se na hrubozubé a jemnozubé.

Kotoučové frézy	Hrubozubé		Nástrčné	
	Jemnozubé			

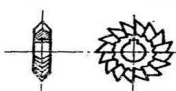
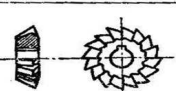
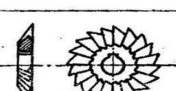
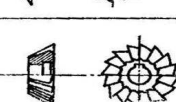
Frézy na výrobu T- drážek – jak jejich název napovídá, používají se pro výrobu T- drážek, podle stopky k upínání je dělíme na frézy se stopkou kuželovou a se stopkou válcovou.

Frézy na upínací drážky T, se stopkou	kuželovou	
Frézy na drážky klínů, se stopkou	válcovou	
Kotoučové frézy se vsazenými zuby	Nástrčné	

Frézovací hlavy – používáme pro rovinné a pravouhlé frézování.

Frézovací hlavy	Pravořezné levořezné	S válcovou dírou	
	Pravořezné	S kuželovou dírou	

Úhlové frézy – používáme pro frézování úhlových ploch. Podle velikosti úhlu jsou různé druhy úhlových fréz. Takto se vyrábějí např. rybinové drážky.

Úhlové frézy	Oboustranné souměrné	
	Oboustranné nesouměrné	
	Jednostranné	
	Čelní s úhlem 55°	

Čelní válcové frézy – používají se na obrábění čelních ploch.

Jemnozubé se používají na tvrdé materiály.

Polohrubozubé se používají na obrábění měkkých materiálů.

Čelní frézy válcové	Jemnozubé	Pravořezné levořezné	S válcovou stopkou	
	Polohrubozubé	Pravořezné levořezné	S kuželovou stopkou	
	Jemnozubé	Pravořezné levořezné		
	Polohrubozubé	Pravořezné levořezné	Nástrčné	
	Jemnozubé	Pravořezné levořezné		

Zaoblovací frézy – používají se na drážky s rádiusem nebo na frézování oblých hran.

Zaoblovací frézy	Vypouklé nástrčné	
	Vyduť s válcovou stopkou	
	Vyduť s kuželovou stopkou	
	Vyduť nástrčné	
	Vyduť dělené nástrčné	

Soustruh

Ubírací nože ohnuté – používají se k zarovnávání čela a ke srážení vnitřních a vnějších hran.

Ubírací nože ohnuté	pravý		
	levý		
Ubírací nože stranové	pravý		
	levý		

Ubírací nože stranové - používají se na obrábění válcových povrchů, pro hrubování i na čisto.

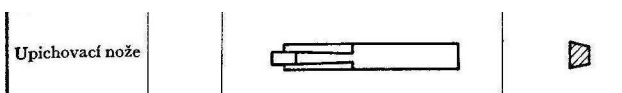
Nabírací nože			
Hladicí nože			

Hladicí nože – používají se pro obrábění povrchu na čisto.

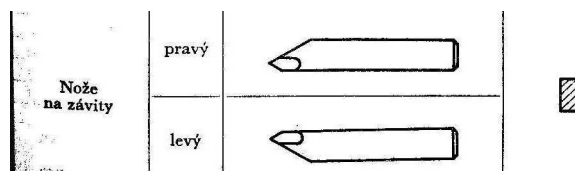
Zapichovací nože	pravý		
	levý		

Zapichovací nože – jak napovídá jejich název, používají se při zhotovování zápichů.

Upichovací nože – používají se na upichování obrobků, lze je ovšem použít i na zápichy.



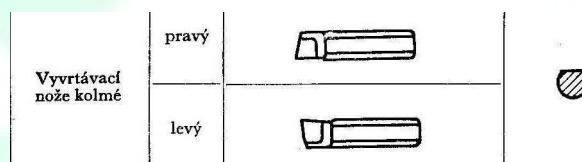
Nože na závit – používají se na výrobu závitů. Podle nabroušeného úhlu lze řezat závit buď trubkový nebo metrický.



Závitové nože vnitřní – používají se k výrobě vnitřních závitů.



Vyvrtávací nože – používají se k vyvrtávání větších děr, pro které již nelze použít vrták.



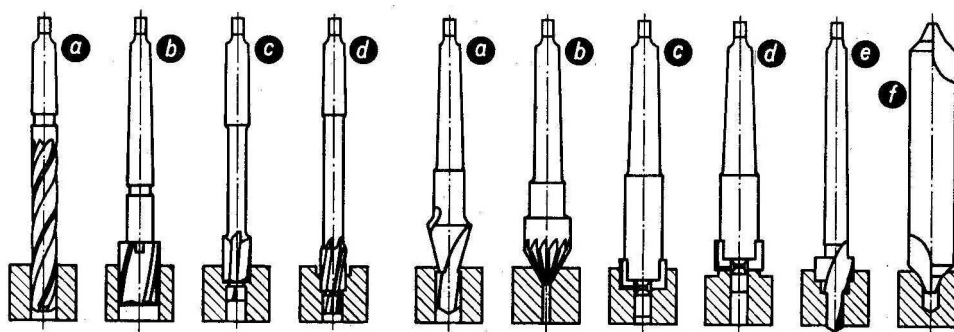
Vnitřní rohové nože – používají se na obrábění vnitřních válcových ploch.



Pro soustružení různých tvarů můžeme používat speciální nože vybroušené do požadovaného tvaru (rádiusy, různé tvarové zápichy apod.).

Pro obrábění na číslicově řízených strojích je snaha o univerzálnější nástroje se širokým spektrem využití. Proto se na těchto strojích dnes používají nástroje určené pro více operací (zarovnávání čela, obrábění vnějších i vnitřních válcových ploch).

Vrtačky



- a) Vrták – pro výrobu děr
- b) Výhrubník - pro vyhrubování děr před vystružováním
- c) Záhlubník – pro zahlubování děr pro hlavy válcových šroubů
- d) Záhlubník – pro zahlubování děr pro krčky válcových šroubů
- a-f) - různé druhy zahlubovacích nástrojů

Kinematika obrábění

V této kapitole se budeme zabývat obecně kinematikou obrábění. Pro každý stroj jsou specifické jiné hodnoty nastavení pohybů stroje, ačkoliv jsou si svojí podstatou podobné.

Řezný pohyb je vzájemný pohyb mezi obrobkem a nástrojem. Uskutečňuje se určitou relativní rychlostí a po určité dráze. Ve většině případů je řezný pohyb složen ze dvou složek:

1. Ze složky hlavního řezného pohybu, která se shoduje se základním pohybem obráběcího stroje. Například otáčivý pohyb vřetena u soustruhů, vrtaček, frézek apod..

2. Ze složky vedlejšího řezného pohybu, která je zpravidla kolmá na složku hlavního řezného pohybu. Vedlejší řezný pohyb se nazývá posuv. Podle způsobu obrábění je posuv podélný, příčný atd.. Velikost posuvu se udává v různých jednotkách podle druhu stroje, druhu obrábění apod., takže se můžeme např. u frézování setkat s posuvem v mm za zub, ale také v mm za minutu.

Je ještě jeden pohyb při obrábění, tomu říkáme přísuv. Přísuv je vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Je zpravidla kolmý na obráběnou plochu a umožňuje nastavení hloubky řezu h .

Výsledný řezný pohyb je geometrickým součtem hlavního pohybu a posuvu. Rychlost posuvu je v porovnání s rychlostí hlavního pohybu zanedbatelná (asi 1000x menší) a nemá na rychlost výsledného pohybu podstatný vliv. Proto ji zanedbáváme a rychlost hlavního pohybu nazveme řezná rychlost. Pro otáčivý pohyb se určí ze vztahu $v = \pi Dn$, kde D je průměr obrobku nebo nástroje – pozor, udávaný v metrech!, a n jsou otáčky vřetena za minutu.

Upínání obrobků

Při obrábění se musí obrobek ustavit a upnout na obráběcí stroj nebo upínací zařízení v určité poloze vůči nástroji. Na stroji nebo upínacím zařízení jsou opěrné plochy, o něž se obrobek upíná.

V následujícím textu budeme rozlišovat upínání obrobků na strojích, kde se otáčí obrobek (soustruhy, brusky) a druhou skupinu strojů, kde se otáčí nástroj (frézka, vrtačka).

Soustruhy

Nejčastěji se na soustruhu upíná obrobek do sklíčidla. Do univerzálního sklíčidla se v kusové výrobě upínají dlouhé i krátké obrobky. Nejpresnější jsou tříčelistová sklíčidla.

Obrobky s výrazně větší délkou, než je jejich průměr, upínáme mezi hroty, přičemž unášení obrobků zajišťuje tzv. unášecí srdce, které přenáší krouticí moment.

Velmi dlouhé obrobky se při unášení podepírají lunetou.

Tenké a krátké obrobky nepravidelného tvaru se upínají na čelo upínací desky, která má čtyři samostatné nastavitelné čelisti a na čele vyfrézované drážky na upnutí upínek.

Obrobky s přesnou dírou se upínají na soustružnický trn. Pro obrobky s dírami, které mají větší mezní úchytky, a pro tenkostěnné obrobky jsou vhodné rozpínací trny.

Frézky

Upnutí obrobku musí být rychlé, snadné, přesné a dostatečně pevné. Spolehlivost upnutí je při frézování zvláště důležitá, neboť práce frézy má nárazovitý charakter.

Volba druhu upínacích prostředků a způsobu upínání závisí na několika faktorech:

- na velikosti a tvaru upínaného obrobku,
- na druhu a způsobu frézování,
- na požadované přesnosti,
- na celkovém počtu obráběných kusů.

Upínky – obrobek upínáme přímo na stůl frézky. Tento způsob se používá zejména k upínání větších obrobků, obrobků nepravidelného tvaru, přičemž upínky mohou mít různé tvary.

Strojní svěráky – používáme pevné, otočné, univerzální a samostředící svěráky. *Pevné svěráky* mají pohyblivou čelist posuvnou po tělese svěráku jen ve směru k čelisti a od čelisti. *Otočné svěráky* mají spodní kruhovou desku se stupňovým dělením a ta umožňuje svěrák otáčet kolem svislé osy. Otočné a sklopné *univerzální svěráky* se dají natáčet okolo svislé i vodorovné osy podle úhlových stupnic. *Samostředící* svěráky se používají k upínání krátkých válcových součástí. Součást se středí pomocí prizmatické vložky, ke které se přitlačí čelistmi svěráku otáčením ručního kolečka.

Skličidla se používají při upínání obrobků na dělicím přístroji.

Přípravky – používají se při výrobě větších sérií, nebo při výrobě součástí, kterou nelze upnout jiným způsobem z důvodu své tvarové složitosti, nebo požadované přesnosti. Tyto přípravky mají svůj tvar a rozměry přizpůsobeny přesně pro upnutí té, které součásti.

Závěrem této kapitoly se seznámíme s několika zásadami, které je nutné při upínání obrobků na frézku dodržovat:

- obrobky musí být před frézováním upnuty ve správné poloze pevně a spolehlivě,
- upínání má být rychlé a snadné, zejména je-li frézovací doba krátká,
- upínáním se nesmí obrobek deformovat, je třeba zabránit i případným deformacím obrobku vlivem jeho vlastní hmotnosti,
- obráběná plocha musí být co nejbližší k upínací ploše stolu frézky,
- tenké obrobky nesmějí vyčnívat z upínacího zařízení (nesmějí mít velké vyložení), neboť chvěním obrobku by mohlo dojít k poškození nástroje,
- obrobky musí být upnuty tak, aby byl zajištěn volný odchod třísek.

Upínání nástrojů

I pro účely této kapitoly budeme rozlišovat upínání na strojích, kde se otáčí obrobek (soustruhy, brusky) a druhou skupinu strojů, kde se otáčí nástroj (frézka, vrtačka).

Soustruhy

Je nutné rozlišovat mezi upínáním nástrojů na konvenčních strojích a na číslicově řízených strojích, které se vyznačují propracovaným systémem upínání nástrojů.

Nože pro obrábění na konvenčních strojích mají čtvercový tvar a upínají se do upínacích hlav, které jsou otočné a umožňují upnutí i více nožů najednou, nejčastěji čtyř. Nůž musí na upínací plochu dosedat celou svou základnou a musí mít co nejmenší vyložení. Osové nástroje se na konvenčních strojích upínají do pinoly koníku.

Pro obrábění na číslicově řízených strojích se nože upínají pomocí speciálních typizovaných držáků do revolverové hlavy.

Frézky

Frézy musí být vždy upnuty pevně a spolehlivě. Při špatném upnutí frézy házejí, jsou jednostranně namáhány, špatně řezou a obrobené plochy nejsou kvalitní. Způsob upnutí frézy závisí hlavně na konstrukci, druhu a rozměrech frézy a na druhu (způsobu) práce.

Válcové frézy, kotoučové a tvarové frézy se upínají na dlouhý frézovací trn. Fréza se upíná na dlouhou válcovou část trnu. Unášení frézy je zabezpečeno podélným perem, její poloha pak rozpěrnými kroužky a maticí s levým závitem. Frézovací trn je kuželovou stopkou uložen v kuželové dutině vřetena a zajištěn šroubem. Druhý, válcový konec trnu je podepřen v ložisku podpěrného ramena. K uložení trnu v ložisku podpěrného ramena slouží vodící pouzdra. Velikosti frézovacích trnů jsou normalizované.

Frézy s kuželovou upínací stopkou se upínají přímo do kuželové dutiny, nebo v případě že kužel upínací stopky frézy a vřetena není stejný, do redukčního pouzdra. Frézy s válcovou stopkou se upínají do upínacích hlaviček s vyměnitelnými rozpínacími pouzdry. Velké frézovací hlavy se upínají přímo na vnější kužel vřetena stroje. Upínají se pomocí unášeče a upínacího šroubu.

Při upínání fréz je třeba dodržovat následující zásady:

- upínací části fréz, redukčních pouzder, jakož i kuželová dutina vřetena se musí před upínáním řádně očistit,
- upínací plochy, kuželové a válcové plochy stopek a trnů musí pevně dosedat po celé délce stykové plochy,
- nástroje, pouzdra i trny se musí v kuželové dutině vřetena zajistit šroubem,
- na dlouhých frézovacích trnech se mají frézy upínat co nejbližší vřetena nebo podpěrného ložiska, aby se zmenšilo prohýbání trnu při frézování.

3.2. Znalost práce na soustruhu

Podstata soustružení

Soustružením lze obrábět vnější i vnitřní válcové plochy, vnější i vnitřní kuželové plochy, tvarové plochy i plochy obecné (podsoustružené zuby fréz, vačky apod.). Na soustruzích lze vrtat, vystružovat, řezat závity, soustružit rovinné i kulové plochy. Kromě toho lze na nich konat zvláštní práce, jako vroubkování, válečkování apod..

Podstata soustružení

Při soustružení se obrobek otáčí, zatímco nástroj, tj. nůž, se obvykle pohybuje přímočaře. Hlavní pohyb při soustružení je vždy otáčivý. Pracovní pohyb nástroje je buď ve směru osy obrobku – podélný posuv, nebo ve směru kolmém na osu obrobku – příčný posuv. Při kopírovacím soustružení se oba pohyby dějí současně, ale různými rychlostmi.

Obvodová rychlost obrobku v je řeznou rychlostí. Její velikost vypočítáme z již uvedeného vzorce $v = \pi Dn$. Velikost podélného i příčného posuvu je dráha nože za 1 otáčku obrobku (v mm). Posuv je buď ruční, nebo strojní. Přisuv je pohyb nástroje, kterým se nastavuje hloubka záběru.

Řezné podmínky při soustružení

Řezná rychlost je měřítkem pro hlavní pohyb. Optimální velikost řezné rychlosti závisí hlavně na mechanických vlastnostech materiálu obrobku, tj. stupni obrobitelnosti, na druhu materiálu nože, tj. na jeho řezivosti. Na velikosti průřezu třísky, tj. na velikosti posuvu a hloubky odebírané vrstvy materiálu, a na zvolené trvanlivosti nástroje. Také závisí na geometrii břitu, na druhu soustružnické práce (např. při řezání závitů se volí menší řezné rychlosti), tuhosti soustruhu a chlazení.

Posuv s závisí na požadované jakosti plochy a na tuhosti a velikosti obrobku. Zásadně se volí maximální velikost posuvu, která odpovídá uvedeným požadavkům. Obecně lze říci, že se pro hrubování volí větší posuvy než pro práci na čisto.

Hloubka řezu t , tj. hloubka odřezávané vrstvy materiálu, závisí na mechanických vlastnostech materiálu obrobku, jeho tuhosti a na způsobu obrábění. Při hrubování se obvykle vychází z celkového přídávku materiálu na obrábění. Z hlediska hospodárnosti se musí volit maximální hloubka řezu přípustná pro dané obrábění. Obecně lze říci, že pro hrubování volíme co největší hloubky řezu a pro práci na čisto ponecháváme nejvhodnější přídavek. Důležitým kritériem pro volbu hloubky řezu je také tvar třísky. Používají se menší posuvy a větší hloubky řezu vzhledem k využití ostří nože.

Dosahovaná přesnost a drsnost

Přesnost i drsnost povrchu soustružené plochy závisí na volbě řezných podmínek, zejména na posuvu, tuhosti soustavy stroj-obrobek-nástroj, na geometrii břitu, na jakosti ostří a na způsobu mazání a chlazení.

Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu bývá IT 11 až 14 při jakosti $R_a = \text{cca } 12,5$ pro hrubování, pro jemné soustružení při obrábění diamantovými nástroji lze dosáhnout přesnosti IT 5 až 6 při drsnosti obráběné plochy $R_a = 0,2$ až $0,8$.

Nástroj - soustružnický nůž

Soustružnické nože můžeme rozdělovat podle spousty kritérií.

Podle materiálu jsou nože: z rychlořezné oceli, s břitovými destičkami ze slinutých karbidů a dalších materiálů, o kterých je pojednáno v kapitole *materiály řezných nástrojů*.

Podle charakteru obrábění: na hrubovací a hladící.

Podle způsobu obrábění: ubírací, zapichovací, upichovací, vyvrtávací, tvarové.

Podle tvaru tělesa nože: přímé, ohnuté, prohnuté, osazené.

Podle polohy hlavního ostří: pravé, levé, souměrné. Pravý nůž má při vodorovné poloze, hlavou k pozorovateli a čelem vzhůru, ostří na pravé straně (levý na levé straně).

Jaké úhly určujeme na soustružnickém noži je pojednáno v kapitole *geometrie obráběcího nástroje*.

Geometrie břitu

Při konstrukci nože se musí volit optimální geometrie břitu pro danou práci a druh obráběného i nástrojového materiálu. Rezné úhly se volí zejména se zřetelem na trvanlivost břitu, jakost povrchu obráběné součásti, rezní podmínky, velikost rezního odporu, tuhost stroje a pevnost břitové hrany. Velikosti jednotlivých rezních úhlů se určují podle technologických tabulek.

Základní soustružnické práce

Soustružení podélné a čelní

Při podélném soustružení se nůž posouvá rovnoběžně s osou vřetena, obvykle od koníku ke vřeteníku. Obrábějí se tak vnější i vnitřní válcové plochy, jako např. čepy, hřídele, pouzdra apod..

Při čelním soustružení má nůž posuv kolmý na osu vřetene. Zhotovují se tak rovinné plochy, např. zarovnávání čela obrobku, osazení, zápichy, drážky, soustružení desek, upíchnutí obrobku apod..

Obrobky se obrábějí postupně: nejprve se hrubuje, pak se obrábí načisto, příp. se ještě provádějí dokončovací operace.

Hrubování mírně odstupňovaných hřídelů lze dělat různými způsoby. V prvním případě se každý jednotlivý stupeň soustruží od čela. V druhém případě (je-li hřídel dost tuhý) lze některé úseky spojit, takže se celková dráha nástroje zkrátí. Z hlediska trvanlivosti nože má přednost druhý způsob.

Aby se dodržela souosost, soustruží se co nejvíce úseků při jednom ustavení. Stupňovitý hřídel však lze jen zřídka obrobit při jednom ustavení, která strana se má soustružit nejdříve, se obvykle řeší podle zásady co neméně ztenčit hřídel, tj. soustružit nejdříve stranu tlustší.

Vrtání a vystružování

Na soustruhu lze vrtat díry do plného materiálu nebo díry rozšiřovat (vyvrtávat, vyhrubovat, vystružit). Aby byla zajištěna souosost ploch, obrábějí se díry po soustružení ostatních ploch obrobku. Před vrtáním se musí čelní plocha zarovnat a navrtat středící důlek pro ustředění šroubovitého vrtáku. Šroubovitý vrták se upne do kuželové dutiny pinoly koníku. Posuv vrtáku je rušní nebo strojní.

Díry se vyvrtávají vnitřními soustružnickými noži. Posuv a hloubka řezu se volí menší než při soustružení vnějších ploch, protože jinak nůž příliš pružil.

Pro vystružování se používají pevné nebo stavitelné strojní výstružníky. Výstružník se upne kuželovou stopkou do kuželové dutiny pinoly koníku.

Soustružení kuželů

Krátké kužele se soustruží nastavením nože, dlouhé vyosením koníku. Příčným přestavením koníku se nakloní přední povrchová přímka soustruženého kužele tak, že je rovnoběžná s osou koníku. Tyto kuželové plochy se proto mohou soustružit podélným strojním posuvem.

Strmější kužele soustružíme natočením nožových saní podle úhlové stupnice o polovinu vrcholového úhlu.

Obdobně soustružíme vnitřní kuželové plochy. Kuželové díry lze také vystružovat kuželovými výstružníky upnutými v pinole koníku.

Řezání závitů

Na soustruhu se závit řezou závitníky, závitovými čelistmi nebo se soustruží závitovými noži.

Řezání závitů závitníky a závitovými čelistmi je jednoduché a levné. Těmito nástroji se řezou na hotovo hlavně metrické závit. Závitník nebo závitová čelist jsou vedeny hrotovou objímkou koníku.

Na univerzálních soustruzích se řezou závit různé velikosti a tvaru, např. metrické, lichoběžníkové, oblé apod., závitovými noži. V posuvové převodovce zařazuje soustružník převody podle tabulky posuvu, který odpovídá stoupání závitů

Soustružení tvarových ploch

Tvarové plochy se soustruží tvarovými noži, pomocí přípravku nebo kopírováním.

Tvarovými noži se součásti tvarují zapichováním. Používají se pro tvarování krátkých částí, při soustružení dlouhých tvarů vzniká chvění.

Přípravky různých konstrukcí se používají pro soustružení kulovitých aj. ploch.

Mechanické kopírování je vhodné pro soustružení podlouhlých obrysů. Kovová šablona má přesný tvar obrobku.

Válečkování a vroubkování

Válečkováním se získává hladký a zpevněný povrch.

Účelem vroubkování je zdrsnění povrchu. Válečky nebo kotouče mají na povrchu podélné nebo šikmé rýhy. Jsou otočné v držáku, který se upíná stejným způsobem jako soustružnický nůž. Vroubkují se válcové matice, válcové hlavy šroubů, kroužkové kalibry, rukojeti válečkových kalibrů apod..

3.3. Znalost práce na frézce

Frézováním se obrábějí rovinné i tvarové plochy otáčejícím se vícebřítým nástrojem – frézou.

Podstata frézování

Obrobek upnutý na pracovním stole frézky vykonává plynulý pohyb – posuv. Někdy se posouvá i včetně s nástrojem. Jednotlivé břity nástroje nejsou trvale v záběru, ale jen po určitou dobu otáčky. Břity, které právě neodebírají třísku z materiálu, se ochlazují. Otáčivý pohyb frézy je hlavní pohyb, vedlejší pohyb obrobku je přímočarý nebo kruhový, obvykle kolmý na osu otáčení.

Frézování rovinných ploch lze rozdělit na frézování válcovými a čelními frézami. Při frézování válcovými frézami je osa nástroje rovnoběžná s obrobenou plochou, kdežto při frézování čelními frézami je k ní kolmá.

Frézování válcovými frézami

Válcovou frézou lze frézovat buď sousledným, nebo nesousledným způsobem.

Nesousledné frézování – fréza se otáčí proti směru posuvu. Průřez třísky se postupně zvětšuje od nuly do maximální tloušťky. Nevýhodou je, že břit zubu na začátku řezu klouže po obrobené ploše, odírá se, zahřívá a otupuje. Pak vnikne do zpevněné plochy, což zhoršuje jakost. Řezná síla směřuje nahoru, a tím nepříznivě ovlivňuje způsob upnutí.

Sousledné frézování – fréza se otáčí ve směru posuvu. Břity zubů se postupně zařezávají do maximální tloušťky třísky a končí na obrobené ploše. Plochy takto obrobené jsou hladší. Řezná síla působí příznivěji na upínání obrobku, neboť jej přitlačuje na opěrnou plochu. Nevýhodou sousledného frézování jsou silové rázy při záběru každého zubu materiálu. Sousledné frézování se uplatní jen na frézách tuhé konstrukce. Obvykle se používá při obrábění houževnatých a měkkých materiálů. Při obrábění výkovků, odlitků a výlisků, které mají nečistý a tvrdý povrch, je výhodnější frézování nesousledné.

Frézování čelními frézami

Materiál je odřezáván nejen břity na obvodu frézy, ale také břity na čelní ploše frézy. Tloušťka třísky se mění také od minima až do maxima podle velikosti průměru frézy k šířce frézované plochy. Frézování čelními frézami je výkonnější než frézování válcovými frézami, protože při něm zabírá více zubů současně, což umožňuje volit větší posuv stolu.

Řezné podmínky pro frézování

Řezné podmínky při frézování tvoří řezná rychlost v , posuv s a hloubka řezu h .

Řezná rychlost se uvádí v metrech za minutu (m/min) a vypočítáme ji z již výše uvedeného vzorce $v = \pi Dn$.

Při určování velikosti řezné rychlosti se řídíme těmito zásadami:

- vyšší pevnost a tvrdost obráběného materiálu vyžaduje nižší řeznou rychlost. To je dáno tím, že pevnější a tvrdší materiál klade větší odpor zubům frézy, tím se fréza rychleji zahřívá a otupuje,
- při frézování frézami s činnou částí ze slinutých karbidů se volí řezná rychlost vyšší, u fréz z RO nižší,
- při hrubování se volí nízké řezné rychlosti, při hlazení vysoké řezné rychlosti,
- při frézování s chlazením je možno použít vyšší řeznou rychlost než při frézování bez chlazení,
- u fréz velkého průměru lze volit vyšší řezné rychlosti, protože podmínky řezání jsou výhodnější (vyšší tuhost frézy, zuby jsou tlustší, drážky pro odvod třísek širší a třísky

snadněji odcházejí, podmínky pro odvod tepla z místa řezu jsou lepší – fréza se méně zahřívá),

- v praxi udává doporučené řezné podmínky výrobce daného nástroje, případně se řídíme technologickými tabulkami,
- v praxi musíme ze zadané řezné rychlosti umět vypočítat otáčky. Po přepočtu nám zpravidla nevychází číslo z rozsahu daného stroje, proto nastavíme nejbližší nižší otáčky.

Posuv rozeznáváme podle zvolené jednotky času na posuv za minutu s_{min} (dráha, o kterou se posune obrobek během jedné minuty), posuv na otáčku frézy s_o (dráha o kterou se posune obrobek během jedné otáčky frézy), posuv na zub frézy s_z (dráha o kterou se posune obrobek během doby potřebné k pootočení frézy o jeden zub). Mezi těmito posuvy platí následující vztahy: $s_{min} = s_o \cdot n$; $s_o = s_z \cdot z$; kde n je počet otáček za minutu a z je počet zubů frézy.

Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu

- závisí na použitém nástroji, na řezných podmínkách a řadě dalších faktorů. Nejlepší parametry lze dosáhnout u menších obrobků – i $R_a = 0,8$ a stupeň přesnosti IT = 7.

Nástroje pro frézování – fréza

Frézy rozdělujeme podle několika kritérií.

1. Podle ploch, na nichž jsou vytvořeny zuby, dělíme frézy na:
 - a. válcové – zuby jsou na válcové ploše,
 - b. kuželové – zuby jsou na kuželové ploše,
 - c. čelní –
 - i. čelní válcové – zuby jsou na čele a na válcové ploše.
 - ii. čelní kuželové – zuby jsou na čele a na kuželové ploše.
 - d. kotoučové – zuby jsou na úzké válcové ploše a zpravidla na obou čelních plochách.
 - e. tvarové – mají zuby na tvarové ploše – zaoblovací vypuklé nebo vyduté, úhlové frézy, modulové frézy, frézy na závity, frézy na ozubení.
 - f. speciální – tvar zubu mají upraveny tak, že požadovaný tvar frézované plochy je výslednicí vzájemného pohybu frézy a obrobku.
2. Podle poměru počtu zubů k průměru frézy na:
 - a. jemnozubé,
 - b. polohrubozubé,
 - c. hrubozubé.
3. Podle způsobu upínání rozeznáváme:
 - a. frézy nástrčné – upínají se na frézovací trn nebo na přední konec vřetená frézky,
 - b. frézy se stopkou – válcovou nebo kuželovou.
4. Podle smyslu otáčení dělíme frézy na:
 - a. pravořezné – otáčejí se ve směru hodinových ručiček (při pohledu od vřeteníku),
 - b. levořezné – otáčejí se proti směru hodinových ručiček.
5. Podle počtu dílů rozeznáváme:

- a. frézy celistvé – jsou vyrobeny z jednoho kusu. Těleso frézy i zuby jsou vcelku a bývají z jednoho materiálu,
- b. frézy s vyměnitelnými zuby – zuby jsou vsazeny do tělesa nástroje,
- c. frézy dělené – jsou vyrobené ze dvou nebo několika dílů,
- d. frézy složené – jsou vždy sestaveny z několika fréz umístěných a upnutých vedle sebe na společném trnu.

Základní práce při frézování

Frézování rovinných ploch

Rovinné plochy se obrábějí frézami válcovými, čelními a frézovacími hlavami. Větší produktivity se u větších ploch dosáhne frézovacími hlavami. Užší plochy obrábíme válcovými frézami se zuby ve šroubovici o velkém stoupání a s děliči třísek.

Frézování drážek, zářezů a vybrání

Nejvýkonnější je frézování drážek kotoučovými frézami. Tohoto způsobu se používá tehdy, má-li fréza výběh. Drážky per se frézují stopkovými frézami na jeden nebo více záběrů. Širší drážky lze frézovat postupně do šířky. Drážky s úkosem se obrábějí úhlovými frézami tvaru drážky. Drážky tvaru T frézujeme nadvakrát, nejprve kotoučovou frézou na plnou hloubku, potom stopkovou frézou dokončíme tvar v dolní části. Drážky v drážkových hřídelích se frézují buď kotoučovými frézami (dělícím způsobem), nebo odvalovací frézou.

Frézování zakřivených ploch

Zakřivené (oblé) plochy se frézují tvarovými frézami, stopkovými frézami pomocí různých kinematických zařízení, nebo kopírováním podle šablony. Kruhové plochy a drážky lze frézovat na frézkách s otočným stolem.

Frézování dělicím způsobem

Obrobky, které mají mít na obvodu nebo na čele určitý počet pravidelně rozmístěných drážek, ploch, nebo vybrání, se frézují dělicím způsobem různě konstruovanými dělicími přístroji. Používají se zejména při frézování přímých i šroubových drážek na válcových, kuželových a čelních plochách. Frézování drážek se nejvíce uplatní při výrobě zubových spojek, ozubených kol, apod.

Přímé dělení – pro malý počet roztečí, pomocí přímého jednoduchého dělicího přístroje obvykle s 24 dírami.

Nepřímé dělení – tam kde si nevystačíme s přímým dělením – na dělicím přístroji s nepřímým dělením; pomocí šnekového převodu s poměrem 1:40 a dělicích kotoučů s různým počtem děr.

Diferenciální dělení – tam kde si nevystačíme ani s nepřímým jednoduchým dělením. Dělicí klikou dělíme na větší nebo menší počet dílů než je třeba a vzniklý rozdíl (diferenci) dorovnáme otočením dělicího kotouče přes ozubené převody. Používáme především pro dělení velkých prvočísel.

3.4. Znalost práce na sloupové vrtačce

Díry se vrtají do plného materiálu. Vyvrtáváním se předvrtané díry zvětšují, předlité a předkované díry se obrábějí, popř. zvětšují. Patří sem i vyhrubování a zahlubování. Vystružování je zvláštní dokončovací způsob vyvrtaných děr. Zahlubování se zarovnávají čelní plochy, zkosují hrany a zahlubují díry např. pro válcové hlavy šroubů.

Podstata vrtání

Hlavní pohyb při vrtání je otáčivý a vykonává jej obvykle vrtací nástroj. Posuv je přímočarý ve směru osy otáčení a vykonává jej zpravidla také nástroj.

Řezná rychlost, která je měřítkem hlavního pohybu, je obvodová rychlost největšího průměru vrtáku a spočítáme ji ze známého vztahu $v = \pi Dn$.

Posuv se udává za jednu otáčku nástroje. Posuvem se vytváří tříska určité tloušťky.

Šroubovitými vrtáky vrtáme kratší díry (do poměru $l/D = 10$), dlouhé díry vrtáme speciálními vrtáky.

Větší průchozí díry asi od $\varnothing 35$ se vrtají způsobem „na jádro“, v plechu a v tenkostěnných obrobcích se větší díry vypichují.

Řezné podmínky při vrtání

Při vrtání určujeme velikost posuvu a řeznou rychlost. Řezné podmínky se volí podle obrobitelnosti materiálu, hloubky děr, způsobu vrtání a podle materiálu nástroje. Produktivitu vrtání zvýšíme použitím řezných kapalin. Pro oceli se používají olejové emulze, pro nesnadno obrobitelné oceli a kovy aditivované oleje.

Řezné podmínky určujeme stejně jako u jiných operací z technologických tabulek.

Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu

Vrtáním šroubovitými vrtáky se dosahuje přesnosti IT 11. Drsnost povrchu záleží na řezných podmínkách, zvolené řezné kapalině, geometrii břitů a na tuhosti stroje. Bývá $Ra=6,3$.

Vyhrubováním se dosahuje lepší jakosti povrchu než při vrtání, neboť řezné síly jsou mnohem menší. Jakost povrchu se zhoršuje zvětšením řezné rychlosti a posuvu. Dosahujeme přesnosti IT 10 a drsnosti povrchu $Ra=3,2$.

Vystružováním se dosáhne přesnosti IT 6 a drsnosti $Ra=0,8$ při menších řezných rychlostech a posuvech.

Nástroje pro vrtání a vyvrtávání

Pro vrtání používáme různé nástroje podle druhu operace.

Šroubovitý vrták je dvoubřitový nástroj se šroubovými drážkami pro odvod třísek a přívod chladící kapaliny. Tělo vrtáku je kuželovité aby se snížilo tření. Faseta je úzká, válcová ploška na žebrech šroubovitého vrtáku, která zajišťuje vedení a snižuje tření.

Záhlubníky jsou buď jednobřitové, dvoubřitové nebo několikabřitové nástroje na válcové, kuželové nebo tvarované díry. Záhlubníky jsou vedeny buď vodícím čepem v díře součásti, nebo čep nemají a jsou vedeny svou válcovou částí v pouzdru přípravku.

Výhrubníky jsou trojbřítové až čtyřbřítové nástroje, zpravidla se zuby ve šroubovici. Pracovní část výhrubníku se skládá z řezného kužele a z válcové kalibrovací (vodící) části. Výhrubníky se používají pro dosažení přesnějších rozměrů a lepšího geometrického tvaru. Výhrubníky mohou být s kuželovou stopkou, nástrčné s kuželovým vrtáním, nebo nástrčné s břity ze slinutých karbidů.

Výstružníky jsou mnohobřítové nástroje, které se při práci zpravidla otáčejí kolem své osy, v jejím směru se posouvá k obrobku a odbíráním jemných třísek dodává předvrtaným válcovým nebo kuželovým dírám přesný rozměr, správný geometrický tvar a hladký povrch. Vzhledem k jejich velké přesnosti a tudíž malé toleranci opotřebení, zhotovují se i výstružníky stavitelné, nebo výstružníky rozpínací, což jsou nástroje s nastavitelným průměrem (v určitém malém rozsahu).

Vrtací a vyvrtávací operace

Základní práce na vrtačkách jsou vrtání, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání vrtákem, zahlučování otvorů, zkosení hran, zarovnávání čel a řezání závitů.

Kuželové díry se nejprve předvrtávají, pak se obrábějí sadou kuželových výhrubníků a dokončí kuželovým výstružníkem.

3.5. Znalost práce na brusce

Podstata broušení

Oddělování třísek při broušení je podobné jako při frézování. Na rozdíl od frézy jsou břity brousícího kotouče tvořeny zrny brusiva, jsou nepravidelně rozmístěné po obvodu nástroje a mají nestejnou geometrii břitu.

Velikost zrn je od 0,003 až do 3 mm. Zrna mají většinou záporné úhly čela a velké úhly hřbetu, ale přesto řezou dobře, neboť pracují velkou řeznou rychlostí (10 až 80 m/s). Průřez odebírané třísky jedním brusným zrnem je velmi malý (0,000 1 až 0,002 mm²).

Velká řezná rychlost je příčinou velkého vývinu tepla a vysoké teploty odřezávaných třísek. Ty se zahřívají na teplotu 800 až 1200 °C. ohřívá se též obrobená plocha a vzniklé povrchové pnutí může být příčinou trhlinek, zejména při broušení kalených ploch. Vzniku trhlinek se zabráňuje volbou vhodného brusiva, vhodných pracovních podmínek a vydatným chlazením.

Řezné podmínky

Broušení je převážně dokončovací operace, a proto řezné podmínky volíme z hlediska dodržení požadované přesnosti rozměrů, geometrického tvaru a drsnosti při maximálním úběru materiálu za jednotku času.

Volba řezných podmínek pro broušení je složitá a je ovlivněna mnoha činiteli, především materiálem obrobku, materiálem nástroje a způsobem broušení. V praxi určujeme řezné podmínky pro broušení podle tabulek.

Řezná rychlost se volí co největší, ovšem se zřetelem na pevnost kotouče, vypočítáme ji ze vztahu $v = \pi Dn$. Nejčastěji se řezná rychlost volí 25 až 35 m/s pro ocel a 20 až 25 m/s pro litinu. Nejvyšší přípustné řezné rychlosti jsou označeny na štítku brousícího kotouče.

Kotouče s keramickým pojivem snášejí řeznou rychlost až 40 m/s, s bakelitovým pojivem až 60 m/s.

Podélný posuv kotouče vzhledem k obrobku se volí podle šířky kotouče B.

Příčný pohyb v radiálním směru – přísuv – určuje hloubku odbrušovaného materiálu. Tento pohyb vykonává brousící kotouč po projetí celé dráhy obrobku.

Brousící nástroje

Brousící nástroj tvoří zrna brusiva spojená pojivy v tuhé těleso vhodného tvaru, tvrdosti a struktury.

Zrnitost brusiva je určena měrným rozměrem zrna. Rozměry zrna jsou určeny jeho délkovými rozměry opsaného zrna. Měrným rozměrem zrna je jeho šířka. Zrnitost brousícího kotouče je určena číslem, které závisí na měrném rozměru zrna. Zrnitost brusiva se volí podle předepsané drsnosti povrchu obrobku a při její volbě dodržujeme následující zásady:

- čím více se ubírá materiálu, tím se volí zrna hrubší;
- pro velké styčné plochy mezi kotoučem a obrobkem a velké řezné rychlosti se volí zrna hrubší;
- čím menší zahřátí lze u obrobku připustit (kalená ocel), tím se volí jemnější zrnitost.

Tvrdost kotouče je odolnost zrn brusiva proti vydrolování, které probíhá při broušení. Volí se podle broušeného materiálu a způsobu broušení. Brousící kotouč se volí tím měkký, čím je tvrdší broušený předmět a čím je větší styčná plocha s broušeným předmětem. Pro volbu tvrdosti kotouče lze uvést tyto zásady:

- tvrdý kotouč pro přerušované plochy;
- měkký kotouč pro přesné broušení, velké řezné rychlosti, při broušení bez chlazení a pro houževnaté tvrdé materiály.

Struktura kotouče určuje kvantitativní poměr objemu brusiva, pojiva a pórů v kotouči. Čím vyšší je číslo struktury, tím větší jsou póry v kotouči, a tím jsou zrna dál od sebe. Podle čísla struktury jsou brousící kotouče velmi hutné (1,2), hutné (3,4) atd. až velmi pórovité (9,10), zvláště pórovité (11,12,13). Strukturu kotouče je nutno volit podle druhu broušeného materiálu, způsobu broušení a podle předepsané jakosti broušeného povrchu. Při broušení hladkých předmětů z tvrdého a křehkého materiálu a při malé styčné ploše broušení se doporučuje hutná struktura. Pórovité kotouče jsou vhodné k broušení houževnatého materiálu při poměrně velké styčné ploše. Na broušení součástí, které se nesmějí obráběním ohřívat, je nutno volit kotouče zvláště pórovité.

Pojiva jsou anorganická (keramická, silikátová, magnezitová, kovová) a organická (šelak, pryž, umělé pryskyřice). Nevýhodou keramických (nejpoužívanějších) pojiv je, že nedovolují pracovat obvodovou rychlostí větší než 35 až 50 m/s. Silikátová pojiva jsou méně pevná, ale pružnější než keramická. Hodí se jen pro broušení za sucha. Kovové pojivo se používá u diamantových kotoučů. Pryžové pojivo se pro vysokou pevnost a pružnost používá ke zhotovení úzkých kotoučů k řezání materiálů, broušení pilek a leštění. Pojivo z umělých pryskyřic se pro vysokou pevnost v tahu používá při řezných rychlostech 80 až 100 m/s na rozřezávací a drážkovací kotouče. Tvrdost brousícího kotouče není dána tvrdostí zrn brusiva, ale druhem pojiva.

Volba brusného kotouče je obtížná a záleží na mnoha činitelích, např.:

- na typu stroje, rychlosti obvodové a posuvné;
- stykové ploše brousícího kotouče, šířce, rozsahu a způsobu dotyku (kontinuální či přerušovaný);

- chlazení.

Základní práce při broušení

Broušení vnějších válcových ploch

Broušení s podélným posuvem se používá k broušení dlouhých obrobků upnutých obvykle mezi hroty. Obrobek se otáčí malou obvodovou rychlostí a brousící kotouč ve stejném smyslu rychlostí průměrně 100krát větší. Podélný posuv při broušení válcových ploch koná stůl brusky s obrobkem nebo brousící vřeteník s brousícím kotoučem.

Broušení hloubkové používáme jen pro kratší a tuhé obrobky. Brousící kotouč se orovnáva kuželovitě a celý přídavek na broušení se odebírá většinou na jeden záběr, tj. 0,1 až 0,4 mm na zdvih. Posuv za otáčku bývá 1 až 6 mm. Výkon hloubkového broušení je o 25% až 75% vyšší než při normálním způsobu. Nevýhodou je nadměrná spotřeba brousících kotoučů.

Broušení zapichovací je velmi výkonné, protože na broušenou plochu připadá maximální počet brusných zrn. Dosahuje se o 40% až 80% většího výkonu než při normálním broušení. Kotouč je o něco širší než broušená plocha a koná radiální posuv (přísuv), který bývá 0,001 až 0,012 mm za jednu otáčku obrobku. Tohoto způsobu se používá pro tuhé obrobky s délkou broušené plochy až 350 mm, nebo lze tak brousit několik ploch najednou kotouči složenými v sadu.

Broušení bezhroté – obrobek je volně uložen na opěrné vodící liště mezi brousícím a podávacím kotoučem. Jeho osa je asi 5 až 30 mm nad osami obou kotoučů. Obvodová rychlost brousícího kotouče je stejná jako při broušení mezi hroty. Obrobek je při broušení přidržován adhezním účinkem podávacího kotouče, jehož obvodová rychlost odpovídá rychlosti potřebné pro otáčení obrobku.

Broušení vnitřních válcových ploch

Vnitřním broušením se zhotovují přesné válcové i kuželové díry. Vnitřní broušení je však obtížnější, tedy i nákladnější než broušení vnějších ploch. Průměr kotouče je malý, tj. 0,7 až 0,9 průměru broušené díry. Malý kotouč se rychle opotřebovává. Pro dosažení optimální řezné rychlosti musíme otáčky zvýšit úměrně k průměru. Často potřebujeme brusky, které potřebují otáčky až 100 000 za minutu.

Vnitřní broušení se nejvíce uplatňuje při broušení kalených součástí nebo součástí z velmi tvrdých materiálů. Je výhodné i pro odlitky s nerovnoměrnou tvrdostí, u součástí s nevhodným tvarem pro vystružování a také pro slepé díry.

Vnitřní broušení s podélným posuvem je podobné vnějšímu broušení. Obrobky se však upínají do sklíčidel nebo do kleštín. Vřetení a celé zařízení je málo tuhé, proto musíme volit menší příčný posuv. To platí především o zapichovacím způsobu, který se používá v mimořádných případech, jako např. při vnitřním tvarovém broušení.

Planetové broušení se používá při broušení děr v takových součástech, které nelze upnout do sklíčidla nebo čelistí v normální brusce na díry. Obrobek je tedy nehybně upnut na stole brusky a brousící vřetení vykonává všechny pracovní pohyby. Vyložení vřetení je málo tuhé, proto je přesnost planetových brusek menší.

Broušení rovinných ploch

Rovinné plochy se brousí obvodem nebo čelem kotouče. Při broušení obvodem kotouče vykonává stůl brusky přímočarý vratný, nebo i kruhový pohyb.

U brusek s kruhovým stolem se dosahuje příčného posuvu posuvem brusného kotouče od obvodu ke středu kruhového stolu. Tak se obrábějí přesné čelní plochy, např. čela kotoučových fréz, okružních pil apod..

Broušení obvodem kotouče s přímočarým pohybem stolu je nejpřesnější způsob broušení ploch, protože se pracuje s poměrně úzkým kotoučem, předmět se málo zahřívá, a proto se jen nepatrně deformuje.

Broušení čelem kotouče je vhodné pro širší plochy. Je výkonnější než broušení obvodem, protože do styku s obrobkem přichází větší plocha brusného kotouče. Broušení čelem je však méně přesné, a proto se hodí jen na hrubší práce. Aby se zmenšila styčná plocha plného čela kotouče s obrobkem a zabránilo se tak velkému vývinu tepla, nakloní se vřeteno k obrobené ploše o několik stupňů (2 až 4°).

Broušení tvarových ploch

Nejvýkonnější je broušení tvarovými brusnými kotouči. Pro méně přesné práce se vytlačuje profil v kotouči ocelovými kladkami.

Obecné tvary na obvodu kotouče se pro přesné práce vytvoří diamantem upnutým v přípravku.

3.6. Znalost práce s CNC stroji

Číslicově řízené obráběcí stroje

Číslicově řízené stroje (CNC) jsou charakteristické tím, že ovládání všech funkcí stroje je prováděno výhradně řídicím systémem stroje pomocí programu. Všechny údaje potřebné k obrobení součásti na požadovaný tvar a s požadovanou přesností jsou při číslicovém řízení předem připraveny ve formě řady čísel. Tato čísla v určitém kódu, srozumitelném pro řídicí systém stroje, jsou pak zaznamenána na nosič informací, který aktivizuje a řídí silové a ovládací prvky stroje a následně probíhá výroba součásti.

Informace používané v oblasti CNC obráběcích strojů lze rozdělit na:

- **geometrické** (o geometrii obrábění) – určují rozměry součásti nebo vzdálenosti otvorů, tj. popisují dráhu nástroje vzhledem k obrobku.
- **technologické** (o technologii obrábění) – charakterizují řídicí funkce, které musí obráběcí stroj vykonávat v jednotlivých fázích obrábění (např. velikost posuvu, otáčky vřetena apod.).
- **pomocné** – jsou to informace o určitých pomocných funkcích (např. zapínání chladicí kapaliny, otáček atd.).

Řídicí systémy CNC obráběcích strojů

Řídicí systémy CNC obráběcích strojů je možné třídit podle mnoha hledisek:

☐ podle použití zpětné vazby:

- ♦ **bez zpětné vazby** - zadávací signál je převeden na pohyb, přičemž není zpětně hlášena skutečná poloha nebo rychlost pohybujících se částí
- ♦ **se zpětnou vazbou** - zadávací signál je stále porovnáván se zpětnovazebním signálem

a odchylka zjištěná tímto porovnáváním je poté převáděna na pohyb

☐ **podle pohybu v souřadnicích:**

- ♦ **pravoúhlé** - postupně se vykonávají pohyby v jednotlivých osách (tyto systémy již nejsou od výrobců pro zastaralost dodávány, i když v praxi se používají zejména na CNC vrtačkách a jejich životnost končí spolu s odpisem stroje)

- ♦ **souvislé řízení** - současně ve dvou osách:

1. Souvislé řízení 2D - provádí lineární nebo rotační pohyb ve dvou osách:

* x a z pro soustružení kuželů, zaoblení (rádiusů) atd.

* x a y pro frézky, vrtačky - lineární či kruhová interpolace polohových os X, Y s následným pohybem nástrojové osy (Z) pro vykonání přísuvu do materiálu (odjezd je prováděn v opačném pořadí), taktéž současně X+Y pro frézování zaoblení, úkosů apod..

2. Souvislé řízení 2,5D má význam pro frézky a umožňuje lineární interpolaci ve všech osách (X, Y, Z); pro kruhovou interpolaci platí omezení pohybu po šroubovici, takže polohové osy se pohybují po kružnici a ve stoupání šroubovice se pohybuje nástrojová osa (někdy též označováno jako systém Helios)

- ♦ **souvislé řízení** umožňující pohyb nástroje současně **ve třech osách**. Tímto způsobem je možné obrábět obecně definovatelné plochy. Technický vrchol představuje frézka s pěti a více řízenými osami, která umožňuje obrábět nástrojem postaveným k normále obráběné plochy (tzv. **5. D obrábění**)

☐ **podle způsobu programování:**

ŘS i simulační programová vybavení umožňují v základní konfiguraci nastavení do jednoho z obou typů programování. Vzhledem k nejvíce rozšířenému programování v absolutních souřadnicích lze očekávat, že většina ŘS je takto nastavena, ale přesto je vhodné, zejména u programů, které budou používány i v budoucnu, začínat tvorbu programu funkcí G90:

- ♦ **G90 - absolutní programování:** popisuje cílový bod pojezdu nástroje vztažený k předem zvolenému počátku souřadnic - k nulovému bodu obrobku W (zapisují se souřadnice cílového bodu, kam nástroj dojede). Jedná se tedy o určení souřadnic cílového bodu vůči nějaké základně (z latinského absolut = ničím nerušený)

- ♦ **G91 - přírůstkové (inkrementální) programování:** souřadnice všech bodů se udávají v hodnotách měřených vzhledem k předchozímu bodu (zapisují se: „souřadnice, o kolik se nástroj posune od startovacího do cílového bodu“). Součet všech hodnot souřadnic je nula, pokud se nástroj vrací do výchozí polohy. Pro přírůstkové programování je možno použít i název relativní (z latinského relativ = vztaženo na jedno stanoviště).

Pozn.: Z jednoho typu programování do druhého a naopak lze přecházet v rámci téhož programu.

Další způsoby programování, které lze provádět v rámci výše uvedených možností G90 a G91 jsou:

- ♦ **programování v kartézských souřadnicích** - poloha bodu je určena vzdáleností bodu od nulového bodu souřadného systému W na jednotlivých osách
- ♦ **programování pomocí polárních souřadnic** - cílový bod je popsán vzdáleností (úsečkou) a úhlem od počátečního bodu (viz polární souřadnicový systém)
- ♦ **programování pomocí parametrů (parametrické)** - používá se v systému absolutního i inkrementálního programování. Rozměrová část adres X, Y, Z a případně dalších je v programu nahrazena obecnými čísly (parametry) a tyto

parametry jsou samostatně v programu definovány reálnými čísly nebo goniometrickými funkcemi. Jako parametr totiž může být použito nejenom číslo, ale i slovo, věta nebo matematický výraz.

Výhody:

- změna čísla v parametru má za následek změnu rozměru součásti. Snižuje se počet programů pro daný typ součásti (př. sada hřídelí má stejný program a změnou hodnot v parametrech se mění i rozměry součástí; v případě dosazení číslíce O se např. osazení hřídele neprovede)
- dosazením goniometrických funkcí do dané adresy, jejich opakování (načítání) se dosáhne požadovaného tvaru součásti, na který by při běžném programování muselo být vyvinuto mnohem větší úsilí, protože program by byl příliš náročný a dlouhý (př. výroba kulové plochy ve 2,5D na frézce).

Rozdělení CNC obráběcích strojů:

- je možno provést z mnoha hledisek. Uvedme rozdělení podle jejich specializace či naopak univerzálnosti:

jednoprofesionní (pro jeden druh operace) - mohou na obrobku vykonat při jednom upnutí, jeden druh operace (např. soustružení, frézování, vrtání atd.). Do této skupiny patří číslicově řízené soustruhy, frézky, vrtačky, vyvrtávačky atd..

víceprofesionní - pro více druhů operací na obrobku při jednom upnutí. Nazývají se obráběcí centra. Podle tvaru obráběných součástí je lze rozdělit na:

- obráběcí centra pro výrobu rotačních obrobků hřídelových nebo přírubových;
- obráběcí centra umožňující výrobu rotačních i nerotačních součástí s určitým omezením operací.

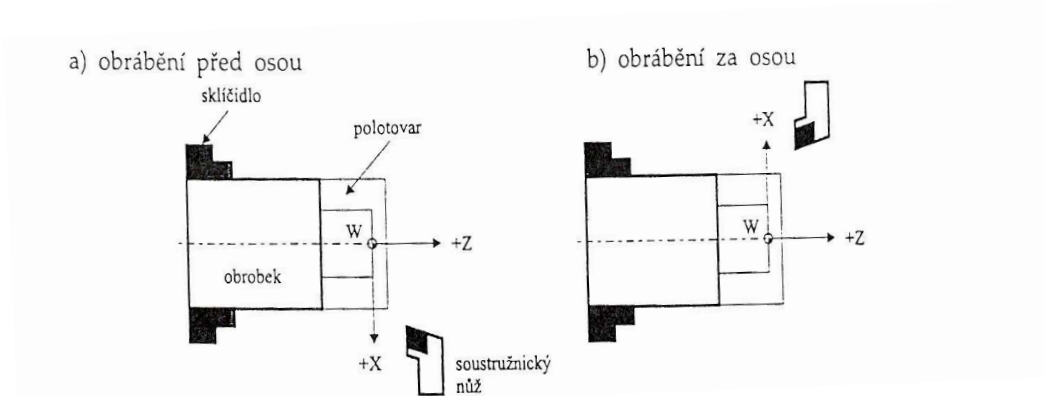
Hlavní části číslicově řízených strojů

Konstrukční řešení CNC obráběcích strojů je odlišné oproti klasickým obráběcím strojům.

Mezi základní rozdíly patří:

- příčné uspořádání CNC obráběcího stroje (např. saně vedení lože leží za osou soustružení – čili používají se tzv. za osové nástroje; upnutý nástroj leží vždy šikmo nad osou soustružení). Touto konfigurací se zlepšila tuhost soustavy stroj – nástroj – upínací přípravek – obrobek (dále jen S – N – P – O), usnadnila se manipulace s výrobky a také se usnadnil odvod třísek.

Nástroj před osou a nástroj za osou



- CNC obráběcí stroje nemají žádné ruční obslužné prvky na stroji (obsluha probíhá z ovládacího panelu)
- pracovní prostor CNC obráběcího stroje je uzavřený (z hlediska bezpečnosti práce lze spustit stroj pouze při uzavřeném krytu)
- CNC obráběcí stroje bývají vybaveny zásobníkem nástrojů
- CNC obráběcí stroje bývají vybaveny dopravníkem třísek, dopravníkem hotových výrobků

CNC obráběcí stroje jsou konstruovány tak, že mají podstatně zvýšenou tuhost.

Důležitou součástí konstrukce CNC obráběcích strojů je kuličkový šroub, který umožňuje přesné a rychlé nastavení polohy. Kuličkový šroub je zařízení, sloužící k převodu rotačního pohybu na přímočarý. Rotační pohyb (kroutící moment) vzniká v posunovém motoru (AC servopohon, méně často DC servopohon) a přenáší se buď přímo, nebo přes ozubený řemen na posunový šroub. Protože však tento přenos a dosažení rychlého a přesného polohování je nutné jen bez vůle a s nepatrným třením (šroub a matice jsou vzájemně předejaty a tím dochází k odstranění nežádoucí vůle) je vyloučeno použití posunových šroubů s lichoběžníkovým závitem, což je běžné u klasických obráběcích strojů. Z těchto důvodů se tedy používají kuličkové posuvové šrouby, ve kterých vzniká pouze valivé tření mezi kuličkami, šrouby a maticemi. Převod pohybu mezi hřídelí a maticí zprostředkuje určitý počet kuliček; oběh kuliček je veden v uzavřeném cyklu.

Výhody kuličkového šroubu:

- nepatrné tření
- vysoká účinnost (až 95 %) – příkony pohonů mohou být podstatně nižší než u strojů s klasickými pohybovými šrouby
- dlouhá životnost (hřídel kuličkového šroubu, matice i oběhový systém s přenosovými kuličkami jsou tepelně zpracovány na HRC 58 až 64 a broušeny, popř. s válcovaným profilem)
- trvalá přesnost
- takřka žádné opotřebení a zahřívání
- plynulý pohyb i při nízkých rychlostech
- mazání není nutné, ale doporučuje se (a také se provádí).

Právě rozdíly v konstrukčním řešení CNC obráběcích strojů, zejména zvýšení tuhosti strojů a použití kuličkových šroubů, umožnily podstatně zvýšit produktivitu práce (viz. např. sousledné frézování na CNC frézkách).

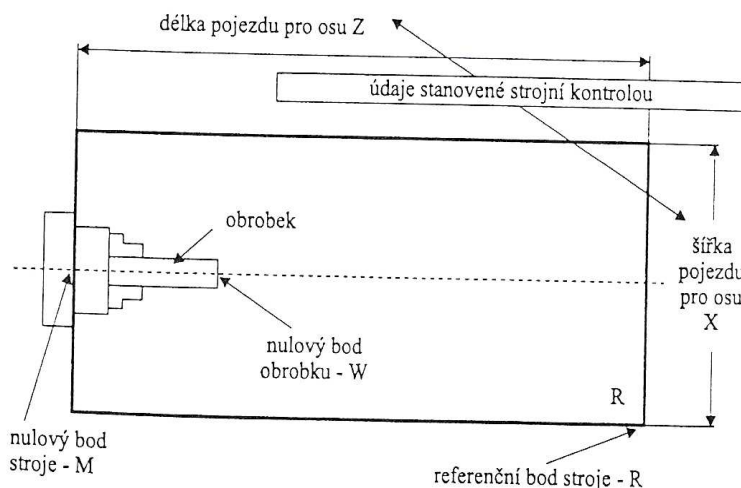
Pracovní prostor číslicově řízeného stroje

V pracovním prostoru CNC obráběcího stroje jsou určeny některé základní body, jejichž znalost je důležitá i pro vlastní programování. Jsou to zejména:

Referenční bod stroje R: je přesně stanoven výrobcem a jeho aktivací dochází k sjednocení mechanické a výpočetní části stroje. Slouží k přesnému nastavení odměřovacího systému po zapnutí stroje a zařazení referenčního bodu do CNC programu, také vede k odstranění chyb, které mohou vznikat interpolací (pokud stroj nemá zpětnou vazbu). Je realizován mechanickým způsobem, tj. pomocí koncových spínačů. Obvyklé umístění referenčního bodu stroje R je uvedeno na obr.č. 6 (není podmínkou).

Nulový bod stroje M: je druhý pevný bod v systému a je tudíž také stanoven výrobcem. Je výchozím bodem pro všechny další souřadnicové systémy a vztažné body na stroji. Ve většině případů výrobci řídicího systému používají variantu, kdy spojnice nulového bodu M a referenčního bodu R je úhlopříčkou pracovního prostoru stroje (většinou frézky, vrtačky apod., tj. stroje, u kterých vykonává hlavní řezný pohyb nástroj, a také u elektrojiskrových CNC strojů). U soustruhů je nulový bod strojem umístěn v ose rotace obrobku v místě zakončení vřeteníku přírubou. Vzdálenosti nulového bodu strojem a referenčního bodu stroje R jsou výrobcem přesně odměřeny a vloženy do paměti řídicího systému jako strojní konstanty.

Nulový bod obrobku W: lze nastavit pomocí speciálních funkcí řídicího systému v libovolném místě pracovního prostoru stroje – to znamená, že si jeho polohu určuje technolog - programátor sám. Tento nulový bod obrobku W se s výhodou umísťuje do takového místa, aby se co nejvíce zjednodušil výpočet přechodových míst jednotlivých konstrukčně technologických prvků [do těch míst na obrobku, od kterých např. začíná kótování na výkrese (konstrukční, měřicí základna), a tím je umožněno zjednodušení práce programátora – nemusí dopočítávat anebo dopočítává jen minimálně kóty a rozměry obrobku.



Technologická příprava výroby pro číslicově řízené stroje

Technologickou přípravu výroby pro číslicově řízené stroje zajišťuje technolog-programátor. Jeho práce je velmi rozmanitá a nepředstavuje jen a pouze tvorbu vlastního CNC programu, ale celou řadu činností:

1. Studium dokumentace

Dále je nutné vytvořit:

2. Pracovní postup pro tvorbu programu pro CNC obráběcí stroj
3. Nástrojový list
4. Seřizovací list

Následuje:

5. Odladění programu
6. Výroba součásti

Pozn.: K uvedeným činnostem je používána výpočetní technika.

Studium dokumentace

Technolog-programátor posoudí:

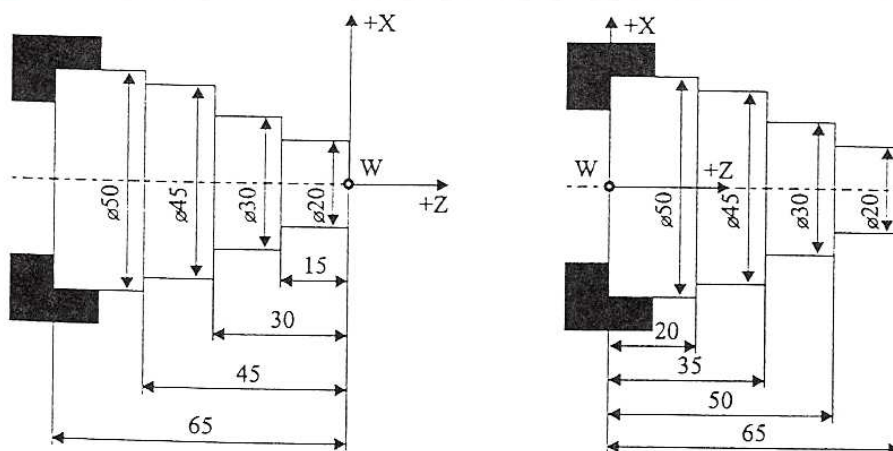
výrobní výkres součásti (někdy je nutné tento výkres přepracovat s ohledem na programování pro CNC stroj - např. způsob kótování, výpočty úhlů, zaoblení, roztečí, nezaokrouhlovat apod.)

technologický postup pro danou součást (opět s ohledem na výrobu na CNC obráběcím stroji)

CNC obráběcí stroj (určit konkrétní typ CNC obráběcího stroje, typ jeho řídicího systému apod.)

výrobně ekonomické podmínky (zohlednit např. počet kusů, výrobní dávku, efektivitu a hospodárnost nasazení CNC strojů a nástrojů, apod.)
popř. další podmínky.

Kótování vzhledem k poloze nulového bodu obrobku W



Pracovní

postup pro tvorbu programu

V praxi je možné se setkat s následujícími typy postupů:

výrobní postup je soupis technologických (např. obrábění) a netechnologických operací (např. kontrola, doprava atd.); je nutný pro řízení výroby

technologický postup je soupis pouze technologických operací (např. soustružení, frézování,...) - vyhotovuje ho technolog-postupář

pracovní postup - jedná se o popis práce v dané technologické operaci (u klasických obráběcích strojů jde vlastně o operační úseky a úkony, které u strojů CNC programátor popisuje jednotlivými bloky programu).

Další, kdo se podílí na přípravě je technolog - postupář, který vytváří technologický postup, ve kterém rozhoduje (se znalostí věci a ekonomiky) o výrobě součástí na daných pracovištích (strojích). Zejména bere v úvahu:

velikost hodinové sazby stroje a náročnost prováděné operace - např. nebude zřejmě ekonomické na drahém stroji provádět zarovnání čel a navrtání středících důlků, ale vhodnější pro tyto práce bude jednoduchý, lacinější stroj s požadavkem na nízkou kvalifikaci obsluhy a na CNC obráběcím stroji se bude opracovávat již takto před - zhotovený polotovár

počet vyráběných kusů, velikost dávky a opakovatelnost výroby daných součástí – např. CNC stroje na rozdíl od NC strojů jsou „pružnější“, a tím vhodnější i pro kusovou výrobu (i jednoho složitějšího kusu). Pokud se daný sortiment výrobků opakuje, zhotovený program je využitelný i v pozdější době

technologické možnosti výroby např. u všech automatických strojů je nutno zajistit lámání a odchod třísky (ne vždy lze práci přerušit a odstranit třísky z obrobku a nástroje). Některé řídicí systémy CNC obráběcích strojů obsahují funkce, pomocí nichž je možné přerušit třísky posuvem nástroje, ovšem použití této funkce znamená snížení životnosti nástroje (je vhodné použít pro obrábění houževnatých materiálů a výrobu dlouhých – hlubokých otvorů malých průměrů) sloučitelnost technologických operací - ve velkém procentu rotačních součástí se vyskytují operace frézovací a vrtací. Konstrukce moderních CNC soustruhů řeší tuto situaci zavedením „osy C“ pro přídatné rotační nástroje a technolog by měl této možnosti využívat

použití CNC obráběcích strojů a funkcí v programu, čímž se snižuje nasazení speciálních (operačních) nástrojů - např. funkce kruhové interpolace umožňují výrobu zaoblení, pro které by nástrojárna musela vyrábět speciální nástroje apod.

Technolog-postupář v rámci tvorby technologického postupu určí mj. pro danou operaci pracoviště CNC stroje (v postupu je zakódováno číslem, vyjadřujícím druh, velikost a parametry stroje).

Technolog-programátor doplní práci technologa-postupáře o následující údaje:

- číslo CNC programu, který zhotovil
- čas výrobní a přípravný (t_{Ac} , t_{Bc}) - lze zjistit např. na simulátoru
- spotřebu náradí - i tuto informaci může poskytnout simulátor
- technolog-postupář a technolog-programátor jsou ve stálém vzájemném kontaktu a konzultují problematiku výroby z hlediska svých profesí. Uvedený rozsah jejich práce je dán konkrétní organizací podniku a zvyklostmi.

Vlastní práci technologa-programátora na moderních pracovištích lze shrnout do těchto základních činností:

zhotovení programu na simulátoru a jeho programátorské odladění; přičemž bere v úvahu ekonomickou skladbu úkonů jako např.:

podélné soustružení je ekonomičtější než čelní (velikost třísky, odstranění kůry z povrchu. Čelo je výhodnější zarovnávat později (na rozdíl od klasického soustružení, kde z důvodů měření je nutno v první fázi zarovnat čelo). Závisí ovšem na konkrétní situaci a na použitých přípravných operacích před vlastním obráběním na CNC stroji (např. čela mohou být zarovnána a středící důlky navrtány na speciálním jednoúčelovém stroji na zarovnání čel a navrtání středících důlků) i na kvalitě těchto přípravných prací u součástí, kde převažuje čelní soustružení (typ „PŘÍRUBA“) je výhodnější použít funkcí pro čelní soustružení, zejména pokud jsou k dispozici funkce plynulé změny otáček - tzv. konstantní řezná rychlost rozlišovat operace na hrubovací chladicí; z hlediska ekonomického úběru třísky, odstranění pnutí, jakosti a přesnosti vyráběných ploch - při hrubování se přihlíží k výkonu stroje (úběr třísky by měl být takový, aby byl stroj vytížen na více jak 75%), při práci načisto je nutno dodržet hodnoty dané konstruktérem na výrobním výkresu součásti (ovšem vyšší přesnost a kvalitnější jakost plochy - nižší drsnost výrobu prodražují) dále je nutno zvažovat celou řadu dalších možností jako např. využití korekcí, moderních obráběcích nástrojů a technologií, výskyt rizikových operací pro nástroj, stroj a obrobek, atd. uvedené body platí obecně; vždy je však nutno přihlížet ke skutečným podmínkám ve výrobě (např. ke kvalitě dodaného polotovaru atd.).

technolog-programátor zhotoví (viz. dále):

- nástrojový list
- seřizovací list

Nástrojový list

Nástrojový list představuje vlastně zápis nástrojů potřebných pro daný program (nástroje dle ČSN, operační nástroje; kontrola, seřízení, rozměry, hodnoty korekcí; dále technologické podmínky, pořadí nástrojů aj.). Formulář je zhotoven dle zvyklostí podniku. U moderních nástrojů vybavených výměnnými břitovými destičkami se proměření korekcí provede pouze při prvním upnutí. Při výměně (pootočení) destičky není nutno další proměření korekcí (tolerance VBD jsou v rozmezí 0,001 až 0,01 mm). Na trhu ve vyspělých zemích jsou k dostání nástroje (držáky) se zabudovaným nosičem informací (na čipu), který obsahuje informace o délkových korekcích, poloměru zaoblení ostří vyměnitelné břitové destičky, případně další - kvalita nástroje, trvanlivost atp. Po ustavení ve stroji si tyto údaje řídící systém automaticky načte.

Seřizovací list

Seřizovací list určuje údaje potřebné pro vlastní program - může být proveden různou formou, např. včetně výrobního výkresu součásti (a výchozího polotovaru), popř. jejího náčrtu je zakreslením souřadnicového systému, nulového bodu obrobku W, způsobu upnutí součásti a použitého upínače, výchozího bodu nástroje i dalších důležitých bodů pro obsluhu CNC stroje a programu atd.

Základy programování

Definice programu: jednotný způsob uspořádání řídících programů pro CNC stroje se nazývá struktura programu a určuje ji mezinárodní norma ISO 1058.

Výhody dodržování programové struktury:

- dodržení tvaru a posloupnosti instrukcí a dodržení formálních pravidel syntaxe umožňuje
- kontrolnímu systému v případě formální chyby tuto chybu najít a oznámit
- přehledná struktura programu umožňuje snadnější orientaci v programu
- přehledná struktura programu také umožňuje lepší nalezení případných chyb
- přehledná struktura programu usnadňuje lepší provedení změn.

Začátek programu: je zvykem každý CNC program začínat znakem začátku programu - znakem % + číslo.

Před tímto znakem % je možné uvést informace, které systém nemá zpracovávat (např. název součásti, údaje o polotovaru apod.), ale tyto informace nesmí obsahovat již zmíněný znak %.

Za tímto znakem % považuje řídicí systém všechny další údaje za součást programu (kromě poznámek, které ale musí být vloženy v závorce).

Složení programu - program pro CNC stroje se skládá z:

bloků (věť), které jsou sestaveny z jednotlivých příkazů (slov). Každé slovo se skládá ze dvou částí:

1. Adresy - určuje, kam bude instrukce směřována
2. Významové části - udává konkrétní hodnotu.

Příklad zápisu bloku programu:

N 040 G 00 X 101 Z 2 - ... blok (věť)

N 040 ... příkaz (slovo)

G 00 ... příkaz (slovo)

X 101 ... příkaz (slovo)

Z 2 ... příkaz (slovo)

N ... adresa 040 ... významová část

G ... adresa 00 ... významová část

X ... adresa 101 ... rozměrová část

Z ... adresa 2 ... rozměrová část

I když doporučené pořadí adres jednotlivých slov ve větě je N G X Y Z F S T M, moderní řídicí systém CNC strojů nemá přesně stanovené pořadí slov ve větě; příkazy jsou zpracovávány podle logických souvislostí, tj. nezávisle na jejich pořadí ve větě (přesto je lépe pořadí slov ve větě dodržovat pro přehlednost a jednotnost programu).

Číslování vět

Každá věť musí začínat číslem, aby ji bylo možno vyvolat z paměti řídicího systému CNC stroje. Číslo věty je umístěno na začátku každého bloku programu a skládá se z adresy N a z čísla, které odpovídá poloze věty v programu. Je výhodné tyto věty číslovat např. po desítkách (10, 20, 30, 40, atd.), aby bylo možné dodatečně vložení dalších vět (př. N 031). Číslování CNC vět má význam pro snazší orientaci obsluhy (opravy ve větách, opakování části programu, skoky do programu atd.). Řídicí systém čte a provádí CNC věty nezávisle na číslování v pořadí jak jsou napsány za sebou a zleva doprava.

Přípravné (hlavní) funkce

Jsou instrukce ke zpracování geometrických informací. Sestávají se z adresy G a dvojmístného kódového čísla (př. G00). Do jedné věty je, v některých řídicích systémech, možné vložit i větší počet přípravných a pomocných funkcí (z různých skupin), které se budou doplňovat; avšak přípravné funkce se sdružují do skupin a funkce z jedné skupiny je možné použít ve větě pouze jednou. Skupiny přípravných funkcí se označují podle DIN 66025 (nyní uvedené skupiny obsahují modální funkce, tj. funkce s dlouhodobou platností):

skupina a	... druh interpolace
skupina c	... posunutí nulových bodů
skupina d	... korekce dráhy nástrojů
skupina e	... pracovní cyklus
skupina f	... posunutí
skupina j	... rozměry (palce; mm)
skupina k	... popis posuvů (mm/ot; mm/min)
skupina l	... popis otáček vřetene (G92; G96)
skupina m	... rozměrové jednotky.

Informace o dráze

Definují v příslušné větě programu polohu cílového bodu a tvar dráhy. Podle typu programování (zda se jedná o absolutní - G90, nebo přírůstkové - G91) jde buď o souřadnice, nebo o přírůstek v jednotlivých osách X, Y, Z v mm (u řídicího systému CNC soustruhů je obvyklé, že při absolutním programování jsou hodnoty v ose X zpracovávány jako průměrové; při přírůstkovém programování jako změna poloměru).

Posuvové funkce

Pod adresou F se jimi zadávají hodnoty posuvu v jednotkách mm/ot pro soustruh, anebo mm/min pro frézku (výjimečně i soustruh).

Otáčkové funkce

Pod adresou S se jimi zadávají hodnoty otáček přímo v otáčkách za minutu.

Funkce nástroje

Zadávají se adresou T a dvojmístným nebo nověji čtyřmístným kódovaným číslem.

Pomocné (přídavné) funkce

Zadávají se jimi technologické příkazy pod adresou M a dvojmístným kódovaným číslem.

Instrukce, které mají být platné pro více vět není obvykle třeba opakovat; tyto instrukce jsou uloženy do paměti řídicího systému a mají dlouhodobou platnost - jsou to příkazy modální; naproti tomu příkazy jednorázové platí pouze v bloku, ve kterém jsou zapsány.

Ukončení programu

Program je ukončen pomocným příkazem konec programu (pomocná funkce M 02 nebo M 30) - tento příkaz je zapsán v poslední větě programu a zastaví stroj a přestaví CNC systém zpět do výchozího stavu.

Nástroje pro číslicově řízené stroje

V podstatě neexistují velké rozdíly mezi nástroji pro klasické soustruhy a frézky a nástroji pro tyto CNC stroje.

Hlavní rozdíly spočívají:

- seřizování nástrojů pro CNC stroje probíhá nejčastěji na specializovaném pracovišti
- mimo vlastní stroj, což vede k výraznému snížení vedlejších časů a tím i k větší produktivitě práce
- u CNC obráběcích strojů se jako řezné materiály používají vyměnitelné břitové destičky
- (dále VBD) ze slinutých karbidů (dále SK), velmi často povlakované - např. TiN, popř. jiné řezné materiály jako jsou keramické materiály (dále KM), polykrystalický kubický nitrid boritý (PKBN) nebo i polykrystalický syntetický diamant (PKD), což vede mj. i ke změně řezných podmínek (zvýšení řezné rychlosti)
- trvanlivost řezné části nástrojů pro CNC obráběcí stroje je menší (viz. kapitola „Ekonomika provozu CNC obráběcích strojů“); u soustružnických nožů se pohybuje okolo cca 15 minut, u fréz okolo cca 45 minut, což vede opět ke změně řezných podmínek (výrazně větší řezná rychlost)
- nutností jsou vhodné utvářeče a děliče třísky
- upínání nástrojů pomocí normalizovaného upínacího nářadí
- u CNC obráběcích strojů se používá tzv. nástrojový systém (tj. systematicky uspořádaná a udržovaná sada nástrojů). Nástroje jsou minimálně zdvojeny z hlediska náhodného otupení, nebo vylomení ostří tak, aby byly okamžitě při obrábění k dispozici.
- u CNC obráběcích strojů se takřka nepoužívají tvarové nástroje (výjimkou mohou být např. závitové soustružnické nože); dále u CNC soustruhů při výrobě některých druhů drážek a zápichů nejsou nutné tvarové nože, ale nože hladicí, které velikostí úhlů nastavení hlavního ostří κ_r , úhlu špičky nože ϵ a úhlu nastavení vedlejšího ostří κ_f umožňují provést tvarové zápichy; ustupuje se od používání stranových nožů ve prospěch nožů rohových (úhel $\kappa_r = 93$ až 95°) za účelem dosažení kolmosti osazení; drobné úchylny mohou být i v případě geometrie ostří.

Tyto změny vedou také k tomu, že na CNC soustruzích a frézkách lze vykonávat práce na hotovo, tj. lze v mnohých případech úspěšně nahradit i broušení (je možné dosáhnout drsnosti $R_a = 0,8$ a tomu odpovídajícímu stupni přesnosti IT).

3.7. Znalost práce v 3D CAD systému SolidWorks

Úvod do problematiky 3D modelování

SolidWorks je rozměry řízený systém. Můžete zadat rozměry a geometrické vztahy mezi elementy. Změnou těchto rozměrů se řídí změna tvaru součásti se zachováním původního konstrukčního záměru.

Tomuto způsobu tvorby výkresové dokumentace říkáme parametrické programování. Princip je jednoduchý. Pomocí nástrojů k tomu určených vytvoříme 3D parametrický model (tedy model, jehož jakýkoliv rozměr lze jednoduše změnit změnou parametru – kóty, která jej určuje). S tím můžeme dále pracovat – buď ho v prostředí pro vytváření sestav umístíme do sestavy více modelů, nebo v prostředí pro vytváření výkresů vytvoříme – vygenerujeme – výkres. Samozřejmě, výkres můžeme vygenerovat i ze sestavy a SolidWorks má své nástroje pro automatickou tvorbu kusovníku atd. Největší práci nám tedy dá modelování tělesa, vše ostatní probíhá velice intuitivně a automaticky.

Vytváření 2D skici – prostředí pro vytváření 2D skic

Každý model se skládá z jednoho či více dílů. Každý díl, se skládá z několika prvků. Prvek říkáme každé operaci, kterou během modelování provedeme (vysunutí, rotace, zaoblení, odebrání, vytvoření otvoru – to vše je prvek). Většina prvků je tvořena ze skic.

Skica je 2D profil nebo průřez. Při tvorbě prvků mohou být skici vysouvány, rotovány, spojovány, taženy po křivce.

To obecně znamená, že základní díly mohou vzniknout v podstatě dvěma způsoby – rotací nebo vysunutím nějakého profilu, který vytvoříme právě v prostředí pro skicování.

V tomto prostředí nám SolidWorks nabízí spoustu nástrojů pro pohodlné a výkonné vytvoření základního profilu. Princip je takový, že nejprve nakreslíme tvar profilu, s dodržením, či následným dodefinováním potřebných geometrických vztahů (či jinak také řečeno vazeb – jsou to kolmost, rovnoběžnost a další) a poté tuto skicu okótujeme. Těmito kótami určujeme rozměry profilu, a kdykoliv v průběhu tvorby je můžeme změnit a tím změnit model.

Pamatujme! Kóty v prostředí skici slouží k určení rozměrů, nikoliv pro použití na strojírenském výkresu. Ty budeme do výkresu umísťovat až v prostředí pro tvorbu výkresů.

Tvorba 3D modelu

Nacházíme se v situaci, kdy jsme si vytvořili nějaký profil a pomocí nástroje pro tvorbu 3D operací chceme vytvořit nějaký díl. To provedeme jednoduše zvoláním patřičného nástroje, jeho nastavením a potvrzením tohoto nastavení. Během nastavování můžeme v pracovní ploše pozorovat náhled dílu, který se dynamicky mění se změnou parametrů upravovaného prvku.

Nejčastěji používané nástroje jsou rotace a vysunutí. Nejprve si řekneme pár slov o vysunutí. V tzv. „správci nastavení“ (angl. property manager) budeme nastavovat výšku vysunutí, tj. jak vysoko máme profil „vytáhnout“, příp. máme možnost určit, jak se má tento prvek chovat (zda se profil bude vysouvat na jednu, druhou, či na obě strany od roviny, kde jsme skicu vytvořili apod.).

Druhým základním prvkem je rotace. Při jejím nastavení musíme vybrat profil k rotování, osu rotace, případně v jakém úhlu má rotace proběhnout (obvykle to bývá 360°, ale není to nutností, je možné použít i jiný úhel).

Po vytvoření základního dílu je možné na něm vytvářet skici a pomocí nich z původního dílu odebírat materiál, či přidávat. Také můžeme zaoblovat, zkosovat hrany, vytvářet otvory, a to i normalizované (např. zahloubení pro šrouby), nástrojů pro tvorbu v prostředí 3D je velká spousta.

Pamatujme! Velká výhoda tohoto programu je v tom, že můžeme těleso modelovat takovým způsobem, jakým bychom ho vyráběli.

Tvorba sestav

Pokud vymodelujeme více těles (modelů), které jsou spolu ve větším funkčním celku, je možné je seskupit do sestavy. To provádím v prostředí sestavy.

Před tvorbou sestavy je důležité vymodelované díly uložit. Pokud tak učiníme, je vytvoření jednodušších sestav dílem několika minut.

Princip je takový, že do prostředí sestav vložíme jednotlivé díly, přičemž první z nich v okně program pevně ukotví, a k němu budeme přidávat díly další. Do správné polohy vůči sobě je ustavujeme tzv. 3D vazbami, např. dvě plochy vůči sobě apod. Po správném „zavazení“, tzn. odebrání tolika stupňů volnosti každé součásti, kolik je potřeba k jejímu přesnému ustavení, je sestava hotova.

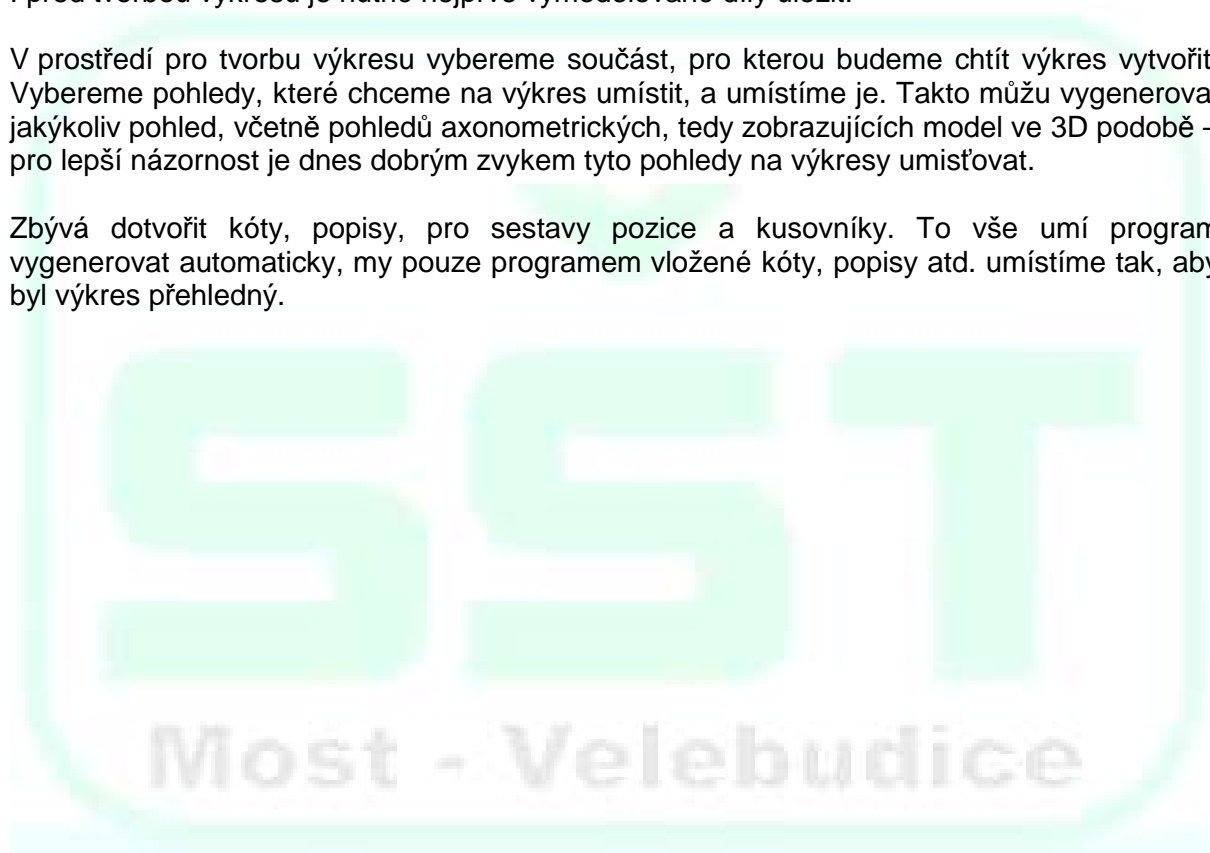
Vytváření výkresů

Vytvoření jednoduché sestavy je velice intuitivní, snadná a rychlá činnost. Stejně tak vytvoření jednoduchého výkresu. Princip je obdobný.

I před tvorbou výkresu je nutné nejprve vymodelované díly uložit.

V prostředí pro tvorbu výkresu vybereme součást, pro kterou budeme chtít výkres vytvořit. Vybereme pohledy, které chceme na výkres umístit, a umístíme je. Takto můžeme vygenerovat jakýkoliv pohled, včetně pohledů axonometrických, tedy zobrazujících model ve 3D podobě – pro lepší názornost je dnes dobrým zvykem tyto pohledy na výkresy umisťovat.

Zbývá dotvořit kóty, popisy, pro sestavy pozice a kusovníky. To vše umí program vygenerovat automaticky, my pouze programem vložené kóty, popisy atd. umístíme tak, aby byl výkres přehledný.



4. Specializace „Oblast statistiky, optimalizace a výrobního procesu“

4.1. Jakost výrobku

Základní pojmy z jakosti a kvalimetrie

Jakost výrobku je souhrnný stav výrobku, jeho vlastnosti, vhodně navržené tvary a parametry, při kterých je výrobek způsobilý zajistit funkci, pro kterou byl zhotoven. Výrobek je tedy nositelem určitých jakostních vlastností – znaků jakosti. Podobným způsobem můžeme posuzovat nakupovanou službu či prováděnou činnost. Jakost je parametr, kterým můžeme srovnávat různé a značně se odlišující výrobky, služby a činnosti.

Jakost lze obecně definovat jako:

- souhrn a úroveň funkcí výrobku, které jsou nutné k zajištění činnosti výrobku (odborná funkce výrobku, kterou se jednotlivé výrobky od sebe odlišují),
- stálost těchto funkcí v čase (obecná schopnost vyjadřující spolehlivost a životnost výrobku),
- ekonomickou náročnost (velikost nákladů na zhotovení a provozování výrobku).

Součástí jakosti je současně i souhrn předpokladů, které vytváří výrobce a uživatel pro zajištění předpokládaného používání výrobku. Do této skupiny vlastností pak patří opravitelnost a udržovatelnost výrobku, skladovatelnost výrobku, náročnost na obsluhu a údržbu, způsob zajišťování servisu, výroba náhradních dílů ale i úroveň průvodní technické dokumentace předávané k výrobku a další.

Znak jakosti

dílčí vlastnost výrobku, která se podílí na celkové jakosti výrobku. Znaky jakosti se zařazují zpravidla podle charakteru vlastností do následujících skupin:

- znaky technické: základní technické parametry a vlastnosti výrobku podle jeho specifického určení, geometrické rozměry a způsob jejich provedení, fyzikálně-chemické, biologické vlastnosti apod.,
- znaky působící při užívání výrobku: vlastnosti, které se uplatňují až při používání (spotřebovávání) výrobku. Patří mezi ně spolehlivost, životnost, udržovatelnost, opravitelnost, snadnost obsluhy, bezpečnost při manipulaci a provozu apod.,
- znaky estetické, ekologické a ergonomické: vyjadřující vnější vzhled výrobku, módnost, pečlivost provedení, ale i vliv výrobku na životní prostředí a přizpůsobení tvarů, velikosti a ovládacích prvků možnostem člověka,
- znaky ekonomické: charakterizující velikost nákladů na vlastní výrobu, náklady spojené s užíváním výrobku, náklady na balení výrobku, konzervaci výrobku, opravy a preventivní údržbu.

Znaky jakosti mohou vyjadřovat popisované vlastnosti číselně (kvantitativně) nebo nečíselně (kvalitativně) v případě nemetrologických vlastností. Z hlediska časového výskytu dále znaky jakosti dělíme na znaky stálé (trvalé) pro vlastnosti, které má výrobek stále nebo po dostatečně dlouhou dobu a na znaky nestálé (časově proměnné), které se vyskytují u výrobku pouze v určitých časových intervalech a to náhodně či zákonitě se měnících.

Jakost konstrukce, projektu, návrhu

Schopnost konstrukce, projektu nebo návrhu vyhovovat požadavkům uživatele. Tato jakost bývá označována jako technická úroveň výrobku.

Jakost výrobního provedení

Vyjadřuje míru shody jakosti dokončeného výrobku (na výstupní kontrole) s jakostí předepsanou v technické dokumentaci pro výrobu.

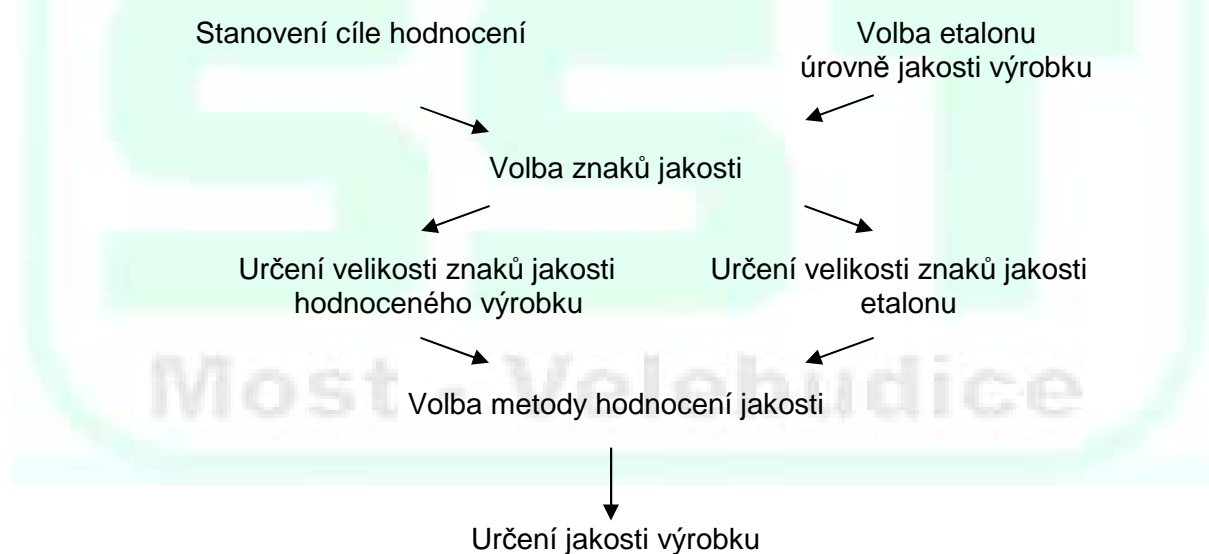
Jakost výrobku při užívání

Charakterizuje míru očekávaného uspokojení požadavků uživatele v konkrétních provozních podmínkách užívání výrobku.

Základní metody hodnocení jakosti

Problematikou kvantitativního vyjádření jakosti výrobku se zabývá kvalimetrie.

Základy oboru byly uvedeny na 15. Konferenci Evropské organizace pro jakost (EOQC, nyní EOQ) v roce 1972. Z obecných zásad pro posuzování jakosti výrobky plyne, že nedokážeme absolutním způsobem vyjádřit jakost výrobku. Musíme proto většinou relativně srovnávat úroveň jakosti dvou výrobků, které mají obdobné funkční určení. Při hodnocení je důležitá volba porovnávacího etalonu, která závisí na účelu hodnocení jakosti. Postup hodnocení je na následujícím schématu:



Přehled etalonů pro různé cíle hodnocení jakosti:

Cíl hodnocení	Etalon
Jakost výrobního provedení	Výrobní technická dokumentace
Volba varianty výrobku	Parametry technických podmínek
Analýza dynamiky jakosti	Parametry výrobku z předchozího období
Jakost výrobku v regulované oblasti	Požadavky nařízení vlády
Jakost hodnocená uživatelem	Uživatelem očekávané parametry výrobku

Dále popsané tři základní postupy hodnocení jakosti jsou uvedeny pro případ hodnocení jakosti výrobku uživatelem (spotřebitelem).

Metoda nejakosti výrobku

Na základě požadavků na funkci výrobku si uživatel stanoví ze skupiny všech znaků jakosti určitý, pro něho rozhodující soubor vlastností výrobku. Některé vlastnosti výrobku může konkrétní uživatel výrobku považovat za nepodstatné pro jeho hodnocení jakosti. Každému jakostnímu znaku přiřadí uživatel určitou důležitost nebo-li váhu vlastnosti, což je číslo vyjadřující podíl jednotlivých znaků jakosti na celkové jakosti výrobku. Takto vytvořenou představu vlastností nyní porovnává s vlastností určitého konkrétního etalonu. Uvedený postup lze vyjádřit vztahem:

$$z = \sum (p_i - v_i) \cdot w_i$$

kde: p_i ... požadavek individuálního uživatele na i-tou vlastnost (znak jakosti),
 v_i ... skutečná hodnota i-té vlastnosti hodnoceného výrobku,

w_i ... koeficient důležitosti i-té vlastnosti $\sum_{i=1}^n w_i = 1$,

a ... počet vybraných vlastností výrobku pro hodnocení jakosti.

Uvedenou metodou se stanoví číselná hodnota, kterou se přibližuje výrobek jakosti požadované uživatelem. Čím je parametr z menší, tím je výrobek z hlediska uživatele výhodnější, tedy jakostnější.

Metoda relativních ukazatelů

Postup výběru znaků jakosti uvedený v předchozí metodě je obdobný. Výpočet jakosti se provádí dle vztahu

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{p_i} \cdot w_i - m \cdot p$$

kde: podíl $\frac{v_i}{p_i} = q_i$... je relativní ukazatel, který porovnává skutečnou a požadovanou

hodnotu vlastnosti výrobku,

w_i ... koeficient důležitosti i-té vlastnosti,

m ... cena výrobku,

p ... koeficient důležitosti ceny.

Metoda senzorického hodnocení

Postup spočívá v bodovém hodnocení senzorických vlastností tj. vlastností, které mají vliv na smyslové orgány člověka. Senzorické hodnocení se provádí takto:

- výběr senzorických vlastností výrobku, které charakterizují jakost výrobku,
- volba bodové stupnice pro hodnocení projevu senzorických vlastností,
- ohodnocení jednotlivých senzorických vlastností (zpravidla skupinou posuzovatelů),
- jakost výrobku je určena součtem dosažených bodů.

Historický přehled systémů řízení jakosti

Jakost výrobku je ovlivňována řadou podmínek. Toto působení lze rozdělit na dvě základní skupiny vlivů a to:

a) vnější, které představují

- obecné výrobní možnosti určené stavem vědecko-technického pokroku,
- požadavky spotřebitele
- legislativní možnosti výroby (omezení, limity při vlastní výrobě a limity vlastností výrobků),
- charakter trhu (typ trhu, vztah poptávky a nabídky).

b) vnitřní, které jsou určovány

- konkrétními výrobními možnostmi individuálního výrobce (technické, personální, organizační),
- možností kooperace,
- kapitálovými podmínkami,
- strategií výrobce na obsazení trhu (celkové, částečné, okrajové).

Výše uvedené skutečnosti rovněž ovlivňují i řízení jakosti, které představuje provozní metody a činnosti používané ke splnění požadavků na jakost výrobků. Přehled systémů řízení jakosti od 19. století, kdy činnost v této oblasti směřovala k vytváření obecných metod a systémů sledování jakosti je uveden v následujícím přehledu. Prvých pět etap má charakter pasivního přístupu k řízení jakosti a bylo orientováno převážně na dosažení bezvadnosti zhotovovaného výrobku, další etapy pak představují aktivní přístup. Řízení organizace zaměřené na jakost je v tomto případě založeno na účasti a řízení všech složek ovlivňujících jakost, s cílem dlouhodobé prosperity dosahované spokojeností zákazníků.

1. etapa - typická pro řemeslnou výrobu, časové období do roku 1890.
Charakteristika: za jakost odpovídá bezprostřední výrobce, motivací je přímý prodej zhotoveného výrobku.
2. etapa - rozvoj průmyslové výroby, časové období 1890 – 1920.
Charakteristika: za jakost odpovídá mistr (představitel určité skupiny dělníků), který řídí činnost pracovní skupiny i hlediska předepsaného postupu operací.
3. etapa - další rozvoj průmyslové výroby, zvyšování sériovosti, časové období 1920 – 1940.
Charakteristika: vznik speciálních útvarů technické kontroly (OTK) k provádění kontroly výrobního provedení. Činnost OTK spočívá ve srovnávání vlastností výrobků s technickou normou, předpisem apod. Odpovědnost za jakost není přesněji vymezena. Rozhodnutí o jakosti (bezvadnosti) výrobku vydává OTK.
4. etapa - zvyšování sériovosti výroby, hromadná výroba, časové období 1940 – 1960.
Charakteristika: v rámci OTK vznikají odbory pro statistickou kontrolu k zajištění bezvadnosti hromadně expedovaných výrobků. Odpovědnost za jakost pro zvyšování složitosti výrobků a rostoucí kooperace zaměřována do oblasti subdodavatelských vztahů. Nedostatky v jakosti výrobků řešeny rozvíjením servisních služeb a odstraňováním vad u uživatelů. Vznik teorií pro zjišťování spolehlivosti složitých výrobků a soustav výrobků a zařízení.
5. etapa - další rozvoj hromadné a velkosériové výroby, dosažení převahy nabídky nad poptávkou, vlivem rozsáhlé kooperace růst významu jakosti na zahraničních trzích, časové období 1960 – 70.

Charakteristika: řízení jakosti se přestává omezovat na pouhou kontrolu bezvadnosti výrobního provedení, vznik systémů koordinující činnosti v celém okruhu jakosti. Odpovědnost za jakost se přenáší na místa provádění jednotlivých činností, které vytváří jakost výrobku.

6. etapa - hromadná a velkosériová výroba orientovaná na vysokou jakost výrobku. Časové období 1970 – 85.

Charakteristika: rozvíjení předchozí etapy se zaváděním motivačních prvků v řízení jakosti. Zavádění komplexních systémů řízení jakosti nejen ve výrobním procesu, ale i v oblasti vlastního zajištění procesů ve výrobě a procesů v řízení těchto činností.

7. etapa - obdobná jako v předchozí etapě, časové období pro roce 1985.

Charakteristika: rozvoj výroby přispěl k vytvoření přebytku výrobků na trhu ve značné části světa. Stav na trhu mění pohled na význam jakosti, jakost se stává významným činitelem a regulátorem ve výrobě a zejména určuje konkurenční schopnost výrobku. Uplatňování ucelených předpisových systémů v systému řízení jakosti.

V současné období se můžeme setkat s následujícími přístupy firmy k jakosti, jejímu chápání, zabezpečování a využívání:

- přístupy technologicky zaměřené: vychází z názoru, že moderní technologie jsou předpokladem vysoké jakosti výrobku. Vysoká technologická úroveň (automatizace, robotizace) včetně inovace v technologiích je jistě významným faktorem úspěchu výrobku (zejména u jednoduchých výrob) v případě, že je zajištěn stabilní odbyt a stálá jakost subdodávek (materiálu, polotovarů),
- přístupy založené na uplatňování norem řady ISO 9000 (mezinárodní normy přijaté v roce 1987): vychází ze zevšeobecnění zkušeností firem, které dosahovaly významných úspěchů v jakosti svých výrobků, které jsou při jejich použití zárukou dosažení vysoké jakosti. Uvedené přístupy jsou označovány jako normativní systémy řízení jakosti a k jejich charakteristickým principům patří: - zavádění pořádku a disciplíny do řízení jakosti,
 - orientace na stabilitu jakosti,
 - zajištění dokumentace všech postupů zabezpečování jakosti,
 - dokladování všech prováděných činností,
 - zpětná vazba a odstraňování nedostatků v jakosti.

Uvedený systém je značně náročný z hlediska udržování, provádění auditů a to jak z časových požadavků, tak i finančních prostředků,

- přístupy na principech TQM (Total Quality Management): systém představuje souhrn zkušeností předních japonských a některých amerických firem zaměřených na zajišťování jakosti. Účelem systému je identifikace základních problémů ovlivňujících činnosti firmy k zajištění spokojenosti zákazníka a celý systém klade významný důraz na neustálé zlepšování obecně platných principů (např. zodpovědnost vrcholového vedení za jakost, jakost je věcí všech, orientace na zákazníka, řízení činností na základě faktů, řízení procesů ne cílů, školení k jakosti a využívání moderních přístupů k jakosti),
- specifické přístupy v zajištění jakosti: platí pro výrobky se specifickým určením pro které jsou stanoveny požadavky dozoru při výrobě, zkouškách stanovenými dozorovými orgány (výroba letadel, komponentů atomových elektráren, výrobky pro armádu, farmaceutické výrobky a v poslední době i některé potravinářské výrobky).

4.2. Jakost výrobků a legislativa České republiky

Právní rámec v problematice jakosti výrobků v ČR vymezují následující legislativní normy (v současné době harmonizovány s obdobnými předpisy EU):

- a) zákon o technických požadavcích na výrobky č. 22/1997 Sb.
- b) obchodní zákoník č. 531/1991 Sb.
- c) občanský zákoník č. 40/1964 Sb.
- d) zákon o ochraně spotřebitele č. 634/1992 Sb.
- e) zákon o odpovědnosti za škodu způsobenou vadností č. 59/1998 Sb.

Pozn: uvedené zákony byly postupně upravovány novelami, které se v přehledu neuvádí, u občanského zákoníku se předpokládá nové vydání obsahující souhrn vydaných novel a přepracování některých částí této legislativní normy, v další části jsou uvedeny podstatné části citovaných zákonů.

Zákon o technických požadavcích na výrobky č. 22/1997 Sb.

Zákon upravuje:

- způsob stanovení technických požadavků na výrobky, které by mohly ohrozit zdraví nebo bezpečnost osob, majetek nebo přírodní prostředí,
- práva a povinnosti osob, které uvádějí na trh nebo distribuují výrobky, které by mohly ohrozit oprávněný zájem,
- práva a povinnosti osob pověřených k činnostem podle zákona (tvorba a uplatňování českých technických norem a státní zkušebnictví) .

Výrobek podle zákona je:

věc, která byla vyrobena, vytěžena nebo jinak získána bez ohledu na stupeň jejího zpracování a je určena k uvedení na trh. Uvedení na trh je okamžik, kdy je výrobek v ČR **poprvé** úplatně nebo bezúplatně předán nebo nabídnut k předání za účelem distribuce nebo používání (výrobky domácí, dovezené).

Výrobce je:

kdo výrobek vyrábí nebo jen navrhl a kdo za výrobek zodpovídá a uvádí ho na trh pod svým jménem.

Dovozce je:

ten, kdo uvede na trh výrobek z jiného státu nebo uvedení na trh takového výrobku zprostředkuje.

Distributorem je:

ten, kdo výrobky prodává, jejich prodej zprostředkovává, nebo jiným způsobem je poskytuje uživatelům, i když svojí činností vlastnosti výrobku přímo neovlivňuje.

Technické požadavky na výrobek:

- a) technická specifikace, která stanoví požadované charakteristiky výrobku (úroveň jakosti, užité vlastnosti, bezpečnost, rozměry, zkoušením výrobku, balení....
- b) jiné požadavky nezbytné z důvodů ochrany oprávněného zájmu nebo ochrany spotřebitele, které se týkají celého období života výrobku až po jeho likvidaci.

Technické předpisy:

Právní předpis vyhlášený uveřejněním plného znění ve Sbírce zákonů, který obsahuje technické požadavky na výrobky, pravidla pro služby, povinnosti při uvádění výrobku na trh, při užívání, nebo předpis zakazující výrobu, dovoz, prodej či používání určitého výrobku.

Česká technická norma:

Je dokument schválený pověřenou právníčkou osobou (ÚNMZ) pro opakované nebo stálé použití s označením ČSN, jehož vyhlášení bylo provedeno ve Věstníku Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ). **Česká technická norma není obecně závazná.**

Česká technická norma poskytuje záruky pro dosažení optimálního uspořádání směrnic, charakteristik, parametrů apod..

Normy a dokumenty pro posuzování shody

Pro plnění požadavků v regulovaném trhu jsou vydávány harmonizované normy. Pokud jsou plněny požadavky harmonizované normy jsou plněny směrnice stanovené pro tyto výrobky.

Norma je harmonizovanou normou pokud plně přejímá požadavky stanovené **Evropskou harmonizovanou normou** (označení ČSN EN). Pokud je nutné pro splnění technických požadavků na výrobky vyplývajících z nařízení vlády ČR může ÚNMZ dále stanovit i další normy, dokumenty mezinárodních organizací apod., které musí výrobky plnit.

Poznámka: regulovaný trh v ČR se určuje vyhlášením výrobků, skupin výrobků v nařízení vlády.

Harmonizované normy a evropské harmonizované normy jsou vyhlašovány ve Věstníku.

Tvorba norem

Tvorbu a vydávání norem zajišťuje stát. Zodpovědné je Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (MPO), které v jednotlivých případech pověřuje vybranou právníčkou osobu zpracováním normy (značnou část norem zpracovává Český normalizační institut ČNI, pověřena může být i soukromá právnícká osoba, která má předpoklady pro řádné zpracování normy. Na vydání pověření není právní nárok). Pověřené osoby jsou zveřejněny ve Věstníku.

Náklady na zpracování normy hradí ten, kdo normu požaduje. Náklady na zpracování harmonizovaných norem hradí stát stejně jako náklady na členství v mezinárodních normalizačních společnostech (CEN, CENELEC).

Podmínky tvorby a vydávání norem

Uvádí se v pověření, které právnícká osoba získá od MPO zejména musí být zajištěno:

- plnění povinností vyplývajících z mezinárodních úmluv s normalizačními organizacemi,
- projednání návrhu normy s každým, kde se ve stanovené lhůtě přihlásí nebo zašle své stanovisko ke zveřejněnému návrhu normy,
- řádná distribuce vydaných norem do dvou týdnů po doručení objednávky.

Povinnosti výrobců, dovozců a distributorů při uvádění výrobků na trh

- výrobce a dovozce je povinen uvádět na trh jen bezpečné výrobky,

- bezpečným výrobkem je ten ,který za běžných podmínek (předpokládaných, předvídatelných) nepředstavuje po dobu stanovené nebo obvyklé použitelnosti žádné nebezpečí nebo minimální nebezpečí, které lze považovat za přijatelné při užívání výrobku,
- při posuzování bezpečnosti výrobků se zejména sledují:
 - a) vlastnosti výrobku, životnost, složení, balení, obsah návodů pro montáž a uvedení do provozu a údržbu a vymezení podmínek pro jeho užití,
 - b) vlivy výrobku na další výrobky pokud se předpokládá jeho využívání společně s jinými výrobky,
 - c) způsoby předvádění výrobku, označení výrobku a další informace poskytované výrobcem
 - d) kategorie uživatelů, které mohou být vážně ohroženi při užívání výrobku (zejména děti a osoby s omezenou schopností pohybu a orientace).

Za **bezpečný** se považuje výrobek, který splňuje požadavky příslušného technického předpisu, pokud předpis neexistuje pak splnění požadavků norem či výrobek jehož řešení odpovídá stavu vědeckých a technických poznatků známých v době uvedení výrobku na trh.

O uvádění bezpečných výrobků na trh musí dbát i distributor, který nesmí distribuovat výrobky, o kterých na základě informací a svých odborných znalostí ví či může předpokládat, že neodpovídají stanoveným požadavkům bezpečnosti.

Výrobce a distributor je povinen:

- poskytnout uživatelům informace, které jim umožní posoudit nebezpečí vyplývající z používání výrobku. Tato informace nezbavuje však tyto osoby povinnosti dodržovat požadavky na bezpečnost výrobků stanovené v právních předpisech,
- učinit opatření, aby jednotlivé výrobky, které mohou ohrozit oprávněný zájem uživatele, byly snadno identifikovatelné.

Státní zkušebnictví

Státní zkušebnictví je soubor činností prováděných ÚNMZ a osobami pověřenými podle tohoto zákona, jejichž cílem je zabezpečit u stanovených výrobků posouzení shody s požadavky technických předpisů (pověřenými osobami jsou Autorizované osoby AO - dříve Státní zkušebny).

Certifikace je činnost nezávislé autorizované nebo akreditované osoby, která vydáním certifikátu osvědčí, že výrobek nebo činnost je v souladu s technickými požadavky na výrobky. Certifikáty lze využít při prokazování shody podle tohoto zákona.

Autorizace = pověření právnické osoby k činnostem při posuzování shody výrobků, včetně posuzování činností souvisejících s jejich výrobou. Autorizaci uděluje ÚNMZ ve věcně vymezeném rozsahu (pro určité výrobky) na základě žádosti právnické osoby, která musí splnit určité požadavky.

Při udělování autorizace se prověřuje:

- odborná úroveň potřebná pro posuzování shody,
- finanční a jiná nezávislost,
- vybavení zařízením pro technické a administrativní úkony,
- kvalifikace pracovníků a jejich počet,
- způsob zajištění mlčenlivosti o skutečnostech získaných při činnosti,

ÚNMZ v průběhu platnosti pověření provádí kontroly pověřených osob zda plní stanovené požadavky (při nedostacích může pověření i odejmout). Autorizace osob se uveřejňuje ve

Věstníku ÚNMZ. Úkoly autorizovaných osob mohou plnit i zahraniční osoby oznámené ve Věstníku.

Autorizované osoby

Zajišťují v rozsahu vymezeném v rozhodnutí o autorizaci činnosti při posuzování shody výrobků včetně posuzování činností souvisejících s jejich výrobou a vymezených v technických předpisech.

Autorizované osoby musí uzavřít s výrobcem nebo dovozcem smlouvu o provedení úkonů podle stanoveného postupu posuzování shody. Všechny činnosti musí AO provádět objektivně a postupy, které odpovídají stávajícím poznatkům vědy a techniky. Výsledkem činnosti je vydávání certifikátů.

Pokud AO zjistí při výkonu své činnosti, že výrobek může ohrozit nebo ohrožuje oprávněný zájem uživatele, ohlásí tuto skutečnost orgánu dozoru. AO mohou zrušit či změnit vydaný certifikát, pokud se zjistí, že výrobky nesplňují požadavky technických předpisů, které se na ně vztahují.

Posuzování shody výrobků

Rozsah regulovaného trhu stanoví v ČR vláda formou **nařízení vlády**. V těchto nařízeních se stanoví:

- výrobky, které představují zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu a proto u nich musí být posouzena shoda jejich vlastností s požadavky technických předpisů (stanovené výrobky),
- technické požadavky na výrobky, které musí výrobky splňovat,
- které ze stanovených výrobků musí být při uvádění na trh označeny českou značkou shody (CCZ provedení dle přílohy) nebo jinou nařízením vlády stanovenou (požadavek mezinárodní smlouvy),
- okruh osob, které provádějí nebo se podílejí na posouzení shody.

Vláda formou nařízení vlády upraví pro jednotlivé skupiny stanovených výrobků podmínky pro uvádění výrobků na trh včetně postupů a úkonů, které musí být splněny při posuzování shody. **Postupy pro posuzování shody** (obdobné jako moduly prokazování shody v EU) jsou následující:

- a) posouzení shody za stanovených podmínek výrobcem nebo dovozcem (samokontrola-modul A)
- b) posouzení shody vzorku(prototypu) výrobku AO (modul B)
- c) posouzení shody, při níž AO zkouší specifické vlastnosti výrobků a namátkově kontroluje dodržení požadavků u výrobků (modul C)
- d) posouzení systému jakosti výroby nebo prvků systému jakosti v podniku a provádění dohledu nad řádnou funkcí systému (modul D)
- e) posouzení systému jakosti výroby nebo prvků systému jakosti v podniku a provádění dohledu nad řádnou funkcí systému (modul E)
- f) ověřování shody výrobků s certifikovaným typem výrobku, které provádí výrobce, dovozce nebo AO na každém výrobku či statisticky vybraném vzorku (modul F)
- g) ověřování shody každého výrobku se stanovenými požadavky AO (modul G)
- h) dohled nad řádnou funkcí systému jakosti v podniku AO (modul H)

Poznámka: v závorkách je uvedeno používané označení při ověřování shody v EU

Náklady spojené s činnostmi AO při posuzování shody hradí výrobce nebo dovozce.

Prohlášení o shodě

Výrobce nebo dovozce stanoveného výrobku je povinen vydat, před uvedením výrobku na trh, písemné prohlášení o shodě výrobku s technickými předpisy a o dodržení stanoveného postupu posouzení shody - prohlášení o shodě. Dále musí být výrobek označen českou značkou shody. V některých případech, kdy je to nutné pro splnění mezinárodní smlouvy, se místo české značky umísťuje značka shody evropská CE (souběžné označení národní a evropskou značkou shody není možné).

Výrobce a dovozce je povinen na základě žádosti poskytovat kopie certifikátů či jiných dokumentů jiným AO event. zahraničním osobám.

Doklady o použitém způsobu posuzování shody a prohlášení o shodě se uchovávají po dobu 10 let od ukončení výroby, nebo dovozu či uvedení na trh. Distributor nesmí distribuovat stanovené výrobky, u kterých nemá písemné ujištění o tom, že výrobce nebo dovozce vydal prohlášení o shodě. Písemné ujištění o tomto stavu je distributor povinen předložit každému na jeho žádost (ihned na místě) nebo na jeho náklady vydat ověřenou kopii a to max. do 20 dnů.

Prohlášení o shodě nezabývá výrobce a dovozce odpovědnosti za vady výrobků, ani za škody jimi způsobené.

Akreditace

Akreditací se rozumí dle tohoto zákona proces, na jehož základě a při splnění požadovaných kritérií, se vydává osvědčení o tom, že právnická (fyzická) osoba je způsobilá ve vymezeném rozsahu provádět zkoušky výrobků, kalibraci měřidel a certifikační nebo jinou technickou činnost. Provádění akreditace zaručuje stát a náklady spojené s akreditací hradí žadatel o akreditaci.

Podmínky pro prověření k provádění akreditace

MPO pověřuje k provádění akreditace právnickou osobu. Národním akreditačním orgánem ČR je v současné době **Český institut pro akreditaci** (ČIA). Pověřená právnická osoba musí splnit stanovené podmínky a to zejména:

- nestrannost vzhledem k žadatelům o vydání osvědčení o akreditaci a zajištění objektivitu
- zabezpečení souladu podmínek a postupů posuzování žadatelů s pravidly mezinárodních organizací zabývajících se akreditací (akreditační pravidla např. ČSN EN 45001, ČSN ISO 17025),
- plnění povinností vyplývajících z členství v mez. organizacích,
- finanční stabilita a personální zajištění činnosti stálými pracovníky.

Osvědčení o akreditaci

Akreditující orgán (ČIA) vydá právnické (fyzické) osobě, pokud žadatel splní akreditační pravidla a nemá žádné obchodní, finanční nebo jiné zájmy nebo vazby, které by mohly ovlivnit jeho nálezy. Osvědčení vymezuje předmět, rozsah a podmínky činnosti a dobu, na kterou bylo vydáno.

Osvědčení se zveřejňují ve Věstníku (zkušební laboratoře se označují čtyřmístným kódem např. 1043 – Zkušební laboratoř pístových spalovacích motorů při TUL v Liberci, kód kalibračních laboratoří 2xxx, kód certifikačních orgánů 3xxx, kód inspekčních orgánů 4xxx).

Akreditující osoba (ČIA) provádí dozor nad dodržováním akreditačních pravidel. Pokud se zjistí nedostatky v plnění, podle závažnosti se pozastaví účinnost osvědčení, nebo je odejme.

Uznávání zahraničních dokumentů a značek

ÚNMZ může na zásadě vzájemnosti uznávat zahraniční dokumenty (certifikáty, osvědčení apod.) nebo značky jako důkazy o posouzení shody pokud je zabezpečena úroveň odpovídající požadavkům příslušných technických předpisů. Rovněž mohou být uznány výsledky zkoušek provedených v zahraničí. Uznávání značek se zveřejňuje ve Věstníku.

Dozor

Dozor nad dodržováním zákona provádí Česká obchodní inspekce (ČOI) či orgán stanovený zvláštním zákonem (orgán dozoru).

Dozorovým orgánem jsou např.:

- Česká zemědělská a potravinářská inspekce,
- orgány hygienické služby,
- orgány veterinární služby,
- orgány pro státní požární dozor,
- Český úřad bezpečnosti práce,
- Ministerstvo zdravotnictví,
- orgány ochrany ovzduší ČR,
- orgány Ministerstva dopravy ČR

Pokuty za nedodržení zákona

Sankce za nedodržení zákona vydává dozorový orgán. Pokutu do výše 20 mil. Kč lze udělit tomu, kdo:

- neoprávněně nebo klamavě použil českou značku shody, certifikát nebo jiný dokument vydaný autorizovanou osobou v souvislosti s posuzováním shody, nebo prohlášení o shodě padělal či zfalšoval,
- uvedl na trh nebo distribuoval výrobky bez prohlášení o shodě, s klamavým, neoprávněným prohlášením o shodě, nebo bez stanoveného označení českou značkou shody (či značkou CE),
- nesplnil rozhodnutí o ochranném opatření,
- neposkytne pravdivé informace, požadované podklady či neumožní jejich prověření (při činnostech orgánů dozoru).

Sankce ve výši 1 mil. Kč lze udělit za:

- neoprávněné označení dokumentu značkou ČSN,
- neoprávněné rozmnožování a rozšiřování ČSN,
- neoprávněnou činnost jako akreditující osoba či autorizované osoba,
- neoprávněné vydání osvědčení o akreditaci či certifikátu, nebo jiného dokumentu v souvislosti s posuzováním shody.

Pokuty mohou být uloženy do doby 1 roku ode dne, kdy se orgán oprávněný k uložení pokuty o porušení povinnosti dozvěděl. Promlčecí doba je 5 let ode dne, kdy k porušení došlo. Pokuty vybírá orgán, který pokutu uložil. Pokuta je příjmem státního rozpočtu a pokutou není dotčena povinnost k náhradě škody.

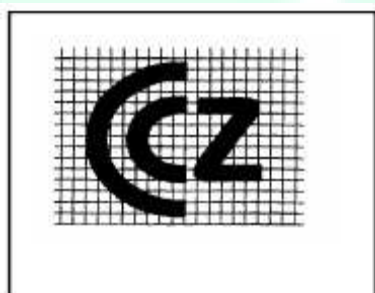
Poznámka: zákonem byl zrušen systém státního zkušebnictví prováděný dle zákona č. 30/1938 Sb., platnost rozhodnutí bez stanovené doby platnosti podle tohoto zákona zanikají uplynutím 5 let od účinnosti zákona č. 22/1997 Sb.

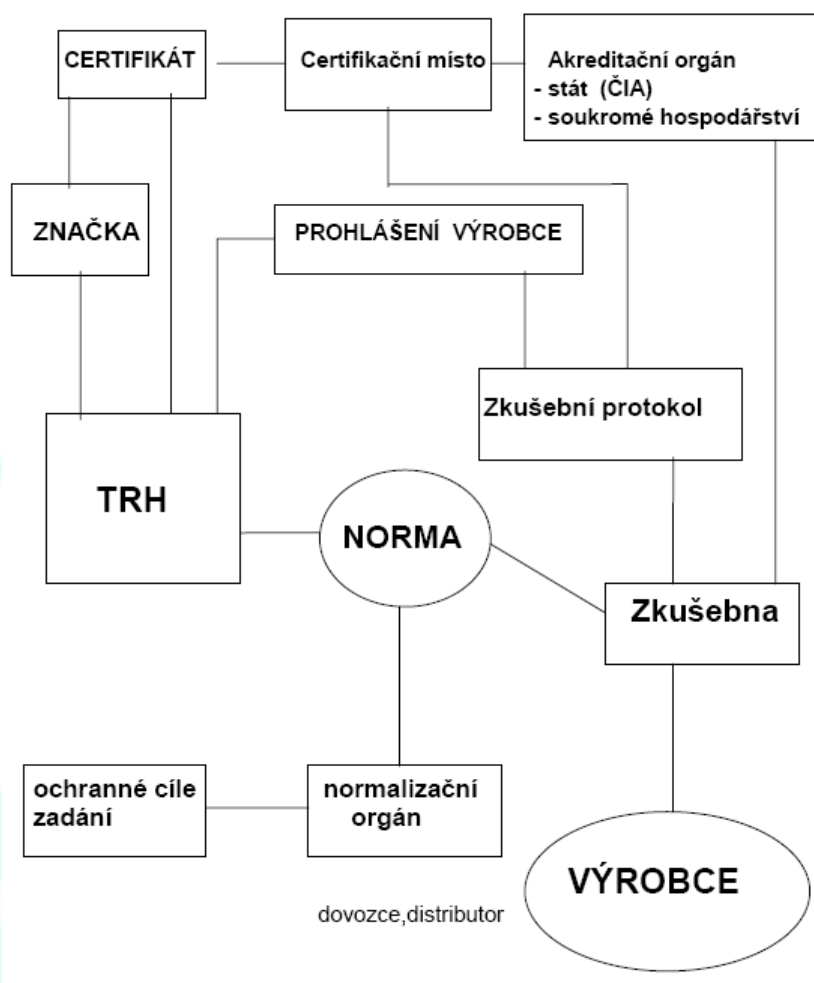
Přílohy:

a) přehled nařízení vlády

Předpis č.	Technické požadavky na	Směrnice EU (ES,EHK)
168/1997 Sb.	Elektrické zařízení nízkého napětí	73/23
169/1997 Sb.	Elektromagnetická kompatibilita	89/336
170/1997 Sb.	Strojní zařízení	89/392
171/1997 Sb.	Hračky	88/378
172/1997 Sb.	Osobní ochranné pomůcky	89/686
173/1997 Sb.	Vybrané výrobky k posuzování shody	
174/1997 Sb.	Střelné zbraně a střelivo	
175/1997 Sb.	Jednoduché tlakové nádoby	87/404
176/1997 Sb.	Zařízení a systémy pro prostředí s nebezp. výbuchu	94/9
177/1997 Sb.	Spotřebiče plyných paliv	90/396
178/1997 Sb.	Stavební výrobky	89/106
179/1997 Sb.	Provedení české značky shody	
180/1998 Sb.	Prostředky zdravotnické techniky	93/42
14/1999 Sb.	Výtahy	95/16
180/1999 Sb.	Účinnost teplovodních kotlů pro kap. a plyn.paliva	94/42
182/1999 Sb.	Tlaková zařízení	97/23
198/1999 Sb.	Aktivní implantabilní zdravotnické potřeby	90/385

b) tvar české značky shody



c) Postup při uvádění výrobku na trh- regulovaná část trhu**d) obsah prohlášení o shodě**

Prohlášení o shodě č.....

Prohlášení o shodě vydává: výrobce (dovozce, distributor), identifikace, IČO

Výrobek: stručný popis výrobku, použití výrobku, platnost od výrobního čísla výrobku apod.

Prohlašuji a potvrzuji, že:

- a) výrobek je bezpečný při používání dle návodu, shodnost vyráběných výrobků, shodu s technickou dokumentací, shodu s požadavky nařízení vlády, která se na něho vztahují,
- b) přehled nařízení vlády a vyhlášek vztahujících se k bezpečnosti výrobku,
- c) způsob posuzování shody, postup jak bylo postupováno, předpisy, metodiky zkoušení apod.,
- d) informace, zda byl výrobek prověřován Autorizovanou osobou, její identifikace,
- e) seznam norem, které byly při posuzování použity.

Datum

Podpis zodpovědné osoby
(osoba právně zodpovědná za činnost výrobce)

e) další značky

Výrobek – českého původu z podstatné části (cca 65%), odpovídá českým předpisům, jeho jakost je srovnatelná s jakostí jiných obdobných zahraničních výrobků dostupných v dané době na českém trhu

Cíl – přesvědčit spotřebitele o výhodnosti nákupu českého výrobku (stejná jakost- zpravidla nižší cena-podpora domácích výrobců)

Uděluje – Sdružení pro cenu ČR za jakost

Kritéria – stanovuje odborná komise na základě platných norem a předpisů, výrobce musí prokázat předpoklady pro trvalé udržení jakosti výrobku. Certifikace systému jakosti výrobce není předepsána.

Ověřování vlastností – Autorizované osoby, Akreditované zkušební laboratoře

Evropská značka shody

Zavedena v roce 1989 (dle Rozhodnutí Rady ES). Označuje shodu s předpisy, direktivami a normami EU při různém stupni ověření (různé moduly). Cílem zavedení bylo odstranění překážek ve volném pohybu zboží v rámci EU. Může být již umísťována na českých výrobcích, pokud byly ověřeny a odpovídají předpisům EU. Může být součástí výrobku, nebo je umístěna na obalu výrobku.

Značka ekologicky šetrného výrobku

Výrobek má minimální nepříznivé vlivy na životní prostředí. Uděluje Ministerstvo životního prostředí (od roku 1994).

Požadavky: a) základní - vztahují se k užitným vlastnostem. Výrobek musí být plně srovnatelný s konkurenčními výrobky a je vyráběn s předpisy a zákony.

b) specifické - vyšší ekologické vlastnosti než je stanoveno ve stávajících předpisech (úspora energie pro výrobu, provoz, využití druhotných surovin, obnovitelných zdrojů energie, omezení škodlivin, odstranění odpadů apod.).

Schvalovací značky dle zákona č. 30/1968 Sb. (platné max.do roku 2002)



Jedná se o značky ze systému schvalování výrobků.

Do skupiny schvalovaných výrobků patří:

- výrobky hromadného rozšíření, které mají nebezpečnou vlastnost,
- uživatel se o nebezpečné vlastnosti nemůže sám přesvědčit (znalosti, technické možnosti)
- osobní ochranné prostředky a pomůcky,
- výrobky se zvláštním zájmem státu (energetická náročnost,...)

Značka zaručuje bezpečnost výrobku – platnost skončí podle vydaného Rozhodnutí o schválení, max. doba platnosti do roku 2002.

g) významné certifikační společnosti působící v ČR

RW TUV AKADEMIE - OSTDEUTSCHLAND
TUV RHEINLAND GRUPPE KOLN
TUV SUDWEST DRESDEN GMBH.
RW TUV PRAHA spol. s r.o.
SGS CZECH REPUBLIC s.r.o.
BUREAU VERITAS
DET NORSKE VERITAS CLASSIFICATION a.s.
LOYD'S REGISTER QUALITY INTERNATIONAL
ČESKÝ LODNÍ A PRUMYSLOVÝ REGISTR s.r.o.
(Germanischer Lloyd Group)"

Obchodní zákoník č. 531/1991 Sb.

Jakost výrobků v zákoníku je součástí §, které se týkají postupů při uzavírání smlouvy a řešení zjištěných vad v plnění smlouvy (zejména § 409 – 475).

Vzhledem k charakteru legislativní normy je jakost vztahována na zboží (výrobek).

Definice **jakosti zboží** : jedná se o vhodnost výrobku k použití

- a) pro smlouvené účely, nebo k obvyklému účelu,
- b) či zachování smlouvené nebo obvyklé vlastnosti.

Základem vztahu mezi účastníky je smlouva (ujednání mezi účastníky) a to ve formě **ústní či písemné** (písemná forma smlouvy je předepsána pouze pro určité typy vztahů, v ostatních případech záleží na dohodě mezi účastníky smlouvy)

Písemné formy smlouvy jsou nutné pro:

- prodej podniku,
- koupi najaté věci,
- licence k předmětům průmyslových vlastností,
- nájmu dopravního prostředku,
- provozu dopravního prostředku,
- obchodní zastoupení,
- běžném účtu, vkladovém účtu,...
- tichém společenství,
- slib odškodnění.

Poznámka: pokud si účastníci při ujednání smlouvy poskytnou informace důvěrné, nesmí je účastník použít pro sebe či osobu třetí, což platí i když smlouva později uzavřena nebyla.

Kupní smlouva §409

Prodávající se zavazuje dodat kupujícímu movitou věc (zboží) určenou jednotlivě množstvím, druhem a převedení vlastnických práv k této věci. Kupující se zavazuje zboží převzít a zaplatit kupní cenu. Kupní cena musí být dohodnuta, nebo musí být stanoven způsob jejího dodatečného určení. V případě, že kupní cena nebyla předem stanovena, pak se cena rovná ceně, za kterou se prodávalo obvykle takové či srovnatelné zboží v době uzavření smlouvy (event. lze dle § 734 přihlížet k cenám na mezinárodním trhu).

Podstatnou částí smlouvy je:

- určení stran smlouvy (kupující, prodávající a jejich identifikace),
- určení zboží (jednotlivě, druhově),
- určení ceny.

Ostatní součásti smlouvy jsou nepodstatné (tedy i jakost), ve smlouvě mohou být podle dohody dojednány další podmínky.

Povinnosti prodávajícího:

- dodat zboží v množství, provedení, jakosti podle ujednání ve smlouvě,
- předat doklady vztahující se ke zboží,
- umožnit nabytí vlastnického práva ke zboží.

Doklady: (nutné k převzetí zboží, k jeho užívání a další stanovené ve smlouvě):

- doklady o prověření, kontrole zboží,
- osvědčení o jakosti a kompletnosti,
- průvodní technická dokumentace (návody,...),
- atesty, certifikáty dle požadavků smlouvy,
- doklady o proclení při dovozu.

Jakost:

- jednoznačně specifikována ve smlouvě technickými a dalšími parametry,
- není specifikace ve smlouvě pak dodavatel musí splnit následující zásady:

- a) dodat zboží v jakosti a provedení jež se hodí pro stanovený účel uvedený ve smlouvě nebo pro účel, k němuž se takové zboží zpravidla používá,
- b) pokud je zboží dodáváno podle vzorku nebo předlohy, pak je jakost zboží určena jakostí vzorku či předlohy,
- c) balení zboží je součástí jakosti a může být určeno ve smlouvě nebo platí, že musí být provedeno způsobem, který je pro takové zboží obvyklý. Balení v každém případě musí splňovat požadavek uchování jakosti a zajištění ochrany zboží.

Poznámka: vzhledem k tomu, že jakost není obecně stanovena jako podstatná část smlouvy, je vhodné ve smlouvě jakost jednoznačně specifikovat. Pak se jakost stává podstatnou částí smlouvy a při vzniku vady na zboží má uživatel více možností při odstraňování vad zboží.

Vady zboží (§422)

Vada = porušení stavu, který je specifikován ve smlouvě (pokud není přesná specifikace, pak je to odlišnost od stavu běžného pro dané, nebo předpokládané použití zboží).

Typy vad:

- druhu
- množství
- jakosti
- provedení
- balení
- v dokladech
- právní

Z hlediska řešení problematiky vad zboží stanovuje zákoník povinnosti pro obě strany smlouvy povinnosti.

Povinnosti prodávajícího:

- kromě již uvedených povinností prodávající odpovídá za vadu, kterou má zboží v okamžiku, kdy přechází zboží na kupujícího (i když se tato vada objeví až v době pozdější),
- uvedená povinnost trvá do doby záruky na zboží,
- prodávající odpovídá i za vady, i když vzniknou po záruční době, pokud vzniknou v důsledku porušení jeho povinností.

Povinnosti kupujícího:

- převzít zboží v souladu se smlouvou,
- zaplatit kupní cenu,
- prohlédnout zboží bezodkladně po přechodu do jeho vlastnictví (prohlídka se může uskutečnit podle povahy zboží např. až v době dopravení zboží do místa určení). Pokud kupující zboží neprohlédne v uvedené době může uplatnit nároky z vad jen tehdy, když prokáže, že tyto vady mělo zboží v okamžiku přechodu do jeho vlastnictví,
- bezodkladně podat prodávajícímu zprávu o vadách. Vady zjevné tj. vady, které
- jsou zjištělné ihned musí být oznámeny při předání zboží.

Záruka na jakost (§429)

Záruka je specifikována jako písemný závazek, že dodané zboží bude po určitou dobu způsobilé pro použití ke stanovenému, jinak obvyklému účelu, nebo že si zachová smluvené či jinak obvyklé vlastnosti.

Záruka může být stanovena:

- ze smlouvy,
- z prohlášení prodávajícího ve formě záručního listu,
- vyznačením délky záruční doby na obalu,
- vyznačením trvanlivosti, použitelnosti na obalu.

Délka záruky, její rozsah je závislý na vůli prodávajícího, event. na dohodě smluvních stran. V případě, že není rozsah záruky stanoven, vychází se z obvyklých vlastností daného zboží (zpravidla 6 měsíců).

Záruční doba

Pokud není ujednáno ve smlouvě jinak, platí záruční doba ode dne dodání zboží. Pokud je prodávající povinen zboží odeslat platí ode dne doručení zboží do místa určení. Záruční doba neběží pokud kupující nemůže zboží řádně užívat (v době vady). Záruční doba pokračuje až po době odstranění vady (prodlužuje se o dobu opravy).

Nároky z vady

Tyto nároky jsou odlišné podle toho zda byla smlouva porušena podstatným či nepodstatným způsobem. V jednotlivých případech jsou nároky specifikovány následujícími možnostmi:

- a) podstatné porušení smlouvy
- odstranění vady dodáním náhradního zboží za zboží vadné,
 - požadovat odstranění vady opravou, pokud se jedná o vadu opravitelnou,
 - požadovat přiměřenou slevu z kupní ceny,
 - odstoupit od smlouvy.

Volba mezi jednotlivými možnostmi náleží kupujícímu tehdy, jestliže vadu oznámí prodávajícímu formou včas zasláným oznámením. Uplatněný nárok na odstranění vady může kupující změnit jen se souhlasem prodávajícího.

Poznámka: pokud se prokáže, že vada je neopravitelná, nebo její oprava představuje nepřiměřené náklady může kupující požadovat dodání náhradního zboží, pokud o tento způsob řešení vady požádá bez odkladu prodávající.

- b) nepodstatné porušení smlouvy (ve smlouvě není specifikována jakost zboží)
- odstranění vad opravou,
 - sleva z kupní ceny.

Rozhodnutí o způsobu řešení vady přísluší prodávajícímu s tím, že prodávající nesmí způsobit kupujícímu vynaložení nepřiměřených nákladů. Kupující nemůže uplatnit před uplynutím přiměřené lhůty, kterou je povinen poskytnout prodávajícímu k provedení opravy, jiné nároky z vad zboží kromě nároku na smluvní pokutu (pokud je součástí smlouvy).

Pokud kupující nestanoví lhůtu k odstranění vad nebo neuplatní nárok na slevu z kupní ceny, může prodávající stanovit termín pro odstranění vad. Neodstraní-li prodávající vady zboží ve stanovené lhůtě může kupující uplatnit nárok na odstoupení od kupní smlouvy (je nutné tento úmysl předem prodávajícímu sdělit v dostatečné době před uplynutím stanovené doby pro opravu zboží).

Snížení kupní ceny

Sleva se stanoví z rozdílu hodnoty zboží bez vady a zboží s vadou. Pro určení hodnot zboží je rozhodující doba, ve které se mělo uskutečnit řádné plnění smlouvy. Stanovení slevy provádí kupující, který zaplatí nižší cenu zboží. Pokud byly kupní cena již zaplacená, má kupující nárok na vrácení částky do výše slevy včetně úroků, pokud byly ve smlouvě sjednány. V případě, že se odstranění vady řeší opravou, není kupující povinen platit část kupní ceny, jež by odpovídala nároku na slevu, jestliže by vady nebyly odstraněny.

Odstoupení od smlouvy.

Kupující může odstoupit od smlouvy, jestliže vady včas oznámil prodávajícímu. Odstoupení od smlouvy je dále vázáno na vrácení zboží ve stavu, v jakém je obdržel (ve stavu vady).

Zákon o ochraně spotřebitele č. 634/92 Sb.

Zákon upravuje podmínky podnikání významné pro ochranu spotřebitele, úkoly veřejné správy v oblasti ochrany spotřebitele, upravuje prodej výrobků a poskytování služeb na území České republiky.

Základní pojmy dle zákona:

Spotřebitelem je podle zákona fyzická nebo právnická osoba, která nakupuje výrobky nebo užívá služby za jiným účelem než pro podnikání s těmito výrobky.

Prodávající je podnikatel, který spotřebiteli prodává výrobky nebo poskytuje služby.

Výrobce je podnikatel, který zhotovil výrobek nebo jeho součást nebo poskytl služby, vytěžil surovinu nebo dále ji zpracoval či se za výrobce označil.

Dovozce je podnikatel, který dovezl výrobky do ČR.

Nebezpečný výrobek je výrobek, který z důvodu jakékoliv vady nebo nesprávné či nedostatečné informace sám o sobě nebo při obvyklém způsobu používání představuje nepředvídatelné nebo zvýšené nebezpečí ohrožení života, zdraví nebo majetku. Za nebezpečný nelze považovat výrobek proto, že existuje jiný výrobek, který je bezpečnější.

Při prodeji výrobků a poskytování služeb jsou stanoveny povinnosti:

- prodej výrobků ve správné hmotnosti, míře s možností překontrolování těchto údajů,
- prodej v předepsané nebo schválené či obvyklé jakosti
- prodej za ceny sjednané v souladu s cenovými předpisy,
- zákaz diskriminace spotřebitele,
- zákaz nabídky a prodeje nebezpečných výrobků,
- při zjištění skutečností nasvědčujících o prodeji nebezpečného výrobku bezodkladně informovat spotřebitele,
- zákaz klamání spotřebitele, nepravdivými, neúplnými, nepřesnými, nejasnými informacemi o výrobku a zamlčování skutečných vlastností výrobku či podmínek prodeje.

Prodávajícímu dále zákon stanoví informační povinnost. Která spočívá v poskytování řádných informací o vlastnostech prodáváných výrobků, charakteru poskytovaných služeb a o způsobu použití a údržby výrobku, jakož i o nebezpečí, které vyplývá z nesprávného používání výrobku či provádění nesprávné údržby výrobku.

Do informační povinnosti dále patří řádné a přesné označení výrobku, včetně jeho výrobce nebo dovozce. Prodávající nesmí odstraňovat ani měnit označení výrobků ani jiné údaje

uvedené výrobcem či dovozcem. Při prodeji použitých nebo upravovaných výrobků, výrobků s vadou (výrobků s nižšími užitnými vlastnostmi) musí prodávající zřetelně upozornit a navíc musí být tyto výrobky prodávány odděleně od ostatních výrobků.

Všechny poskytované informace o výrobku musí být uvedeny v českém jazyce, jednotky použitých veličin v souladu se zákonem o metrologii.

Součástí informací o výrobku je údaj o ceně výrobku, který rovněž musí být předáván věrohodným způsobem.

Prodávající je dále povinen spotřebitele řádně informovat o rozsahu, podmínkách a způsobu uplatnění odpovědnosti za vady výrobků a služeb (reklamace) a o provádění záručních oprav.

Další povinnosti při prodeji výrobků:

- pokud to umožňuje povaha výrobku je na žádost spotřebitele stanoveno předvedení výrobku v místě prodeje,
- řádné vyplnění záručního listu,
- vydání dokladu o zakoupení výrobku včetně jeho ceny,
- u výrobků se změněnou užitnou hodnotou vyznačení tohoto stavu v dokladu o prodeji,
- po celou provozní dobu musí být přítomen pracovník oprávněný k vyřizování reklamací (rozhodnutí ihned, ve složitých případech do tří dnů). Vlastní reklamace musí být vyřešena do 30 dnů, pokud se prodávající se spotřebitelem nedohodne jinak. Uplynutím stanovené doby je vada považována za vadu neopravitelnou.

Zákonem se dále stanovuje orgánům státní správy, územní samosprávy a ostatním povinnost zabránit, v mezích své působnosti, uvádění nebezpečných výrobků do oběhu nebo jejich další oběh. Informace o těchto výrobcích mají být podávány dostupnými informačními prostředky včetně prostředků hromadných.

Dozor nad ochranou spotřebitele provádí:

- obecně Česká obchodní inspekce
- Česká zemědělská a potravinářská inspekce (zemědělské, potravinářské, kosmetické, mýdlařské, saponátové a tabákové výrobky),
- orgány hygienické služby (ochrana zdraví, zdravotní nezávadnost výrobků),
- orgány veterinární služby (veterinární péče),
- Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví,
- Okresní živnostenské úřady (v oblasti vydaných živnostenských oprávnění).

Uvedené orgány mají právo vydávat závazná opatření k odstranění zjištěných nedostatků (v závažných případech mají právo i okamžitě pozastavit prodej výrobků včetně uzavření prodeje). Činnost těchto orgánů podléhá zákonu o správním řízení.

V zákoně jsou rovněž uvedeny sankce a jejich výše při neplnění ustanovení zákona. **Jedná se především o:**

- pokuta do výše 500 000 Kč, bloková pokuta na místě do výše 5000 Kč (přestupky proti poctivosti prodeje, diskriminaci, prodej nebezpečných výrobků, klamání spotřebitele a neplnění informačních povinností),
- pokuta do výše 1 mil.korun (opakované porušení povinností),
- pokuta do výše 10 mil. korun (za prodej, dovoz, výrobu či distribuci výrobku, jehož vada způsobila újmu na zdraví či životě).

Poznámka: uložením pokuty není dotčena povinnost náhrady škody způsobené porušením zákona.

Zákon o odpovědnosti za škodu způsobenou vadou výrobku č.59/98 Sb.

Uvedený zákon řeší odpovědnost za důsledky vzniklé vadou výrobku, což může být škoda na zdraví, usmrcení nebo ztráta jiné věci než je vadný výrobek (převážně určený k jiným než podnikatelským účelům). Za tyto důsledky odpovídá výrobce poškozenému tehdy, jestliže poškozený prokáže vadu výrobku, vzniklou škodu a příčinnou souvislost mezi vadou a škodou.

Charakteristika výrobce je stejná jako ve výše uvedených zákonech a dále může být za výrobce označen i každý dodavatel výrobku, pokud není ve lhůtě 1 měsíce od uplatnění nároku na náhradu škody není zjištěn skutečný výrobce (dovozce). "

Pro potřeby tohoto zákona je výrobkem každá movitá věc, součásti a příslušenství movité i nemovité věci (výrobkem je např. i elektřina).

Výše náhrady škody

Výrobce je povinen nahradit škodu na věci, za kterou zodpovídá jen v částce převyšující 5000 Kč (po přijetí do EU převyšující 500 EUR). Odpovídá-li za škodu více výrobců (subdodávky do složitých výrobků) pak za škodu odpovídají společně a nerozdílně. Poškozená osoba může uplatnit náhradu škodu vůči libovolnému z nich.

Povinnost výrobce nahradit škodu způsobenou vadou výrobku nelze vyloučit např. jednostranným prohlášením výrobce nebo dohodou. Tato ujednání jsou neplatná od samého počátku.

Promlčení náhrady škody je uplynutím 3 let ode dne, kdy se poškozený dozvěděl (nebo se mohl dozvědět) o škodě, vadě výrobku a o totožnosti výrobce.

Právo na náhradu škodu zaniká po uplynutí 10 let ode dne uvedení výrobku na trh, pokud v této době nebylo zahájeno soudní řízení v této věci.

4.3. Systémy jakosti

Systém jakosti

Systém jakosti je definován normami ISO jako organizační struktura, odpovědnosti, procesy, postupy a zdroje pro realizaci managementu kvality.

Zavedení systému jakosti je z hlediska udržení nebo zlepšení konkurenceschopnosti firmy nezbytností. Toto platí beze zbytku nejen pro velké organizace, ale stále více i pro střední a malé firmy. Pro zavedení systému jakosti existuje několik přístupů: ryze vlastní přístup, přístup dle norem a přístup dle TQM.

1. ryze vlastní přístup

I když je v organizaci možno vytvořit vlastní systém jakosti, který nesleduje zásady norem nebo TQM, nelze toto doporučit pro praxi. Normy i učebnice TQM jsou založeny na dlouholetých zkušenostech předních světových firem a na zkušenostech předních světových odborníků, takže představují osvědčené a vyzkoušené procedury pro zavádění, udržování a

zlepšování systémů jakosti. Ryze vlastní přístup by pak pouze objevoval "objevené" za cenu vlastních chyb a dodatečných nákladů s tím spojených.

2. přístup dle norem

Zavádění systémů jakosti dle norem lze doporučit **všem organizacím**. Firma se nemusí obávat, že norma neodpovídá jejím specifickým potřebám a zvláštnostem. Normy pro systémy jakosti jsou napsány tak, že každá organizace si je dle určitých pravidel může přizpůsobit svým specifickým požadavkům. Firma se navíc může rozhodnout, zda její systém jakosti bude nebo nebude ověřen (certifikován) nezávislou třetí stranou.

3. přístup dle TQM

Zavádění systému jakosti dle TQM lze podle praktických zkušeností (zejména v Evropě) doporučit až po splnění požadavků na systém jakosti dle normativního přístupu. Normy pak ve své podstatě znamenají splnění minimálních požadavků a TQM pak jejich rozšíření, zejména pokud jde o lidský faktor a některé další aspekty. Systémy jakosti se necertifikují podle TQM. Existuje pouze samohodnocení, popř. udělování cen za jakost. Příkladem může být japonská Demingova cena za jakost, americká cena Malcolma Baldrige-MBNA nebo Evropská cena za jakost, v České republice pak Cena České republiky za jakost.

Výstavba systému jakosti

Vybudování i udržování a zlepšování systému jakosti pouze vlastními silami je ve firmě obtížnou záležitostí. Zkušenosti ukazují, že pomoc externího poradce je jak z časového, tak i nákladového hlediska, pro firmu efektivnější variantou.

Normy pro systémy jakosti

Normy jsou v ČR vydávány v souladu se zákonem č. 22/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Zákony jsou běžně k dispozici na internetu, ale na normy podle tohoto zákona vydané platí mimo jiné autorský zákon. Norma se dá koupit v papírové podobě nebo v elektronické verzi (soubor .pdf). Ceny norem se pohybují obvykle v řádu stokorun. Pokuty za neoprávněné rozmnožování norem jsou zmíněny i ve výše uvedeném zákoně.

Nejvýznamnější normy pro řízení jakosti:

- a) **ČSN EN ISO 9000** Systémy managementu jakosti - **Základy, zásady a slovník**
- b) **ČSN EN ISO 9001** Systémy managementu jakosti - **Požadavky**
- c) **ČSN EN ISO 9004** Systémy managementu jakosti - **Směrnice pro zlepšování výkonnosti**

Některé oborové normy:

- **ČSN EN ISO 13485 Zdravotnické prostředky** - Systémy managementu jakosti - Požadavky pro účely předpisů
- **ČSN EN 9100 Letectví a kosmonautika** - Systémy managementu jakosti - Požadavky (založené na ISO 9001:2000) a systémy jakosti - Model zabezpečování jakosti při návrhu, vývoji, výrobě, instalaci a servisu (založené na ISO 9001:1994)

- **ČSN ISO/TS 16949 Systémy managementu jakosti** - Zvláštní požadavky na používání ISO 9001:2000 v organizacích zajišťujících sériovou výrobu a výrobu náhradních dílů v automobilovém průmyslu...

Požadavky norem, jejich dostupnost

Požadavky norem bývají velmi obecné. Někdy je to na škodu, protože pak normě nemusíme správně rozumět, někdy je to výhoda, například při výkladu normy při externím auditu.

ISO 9000

Základní řadu norem pro systémy jakosti představují normy ISO 9000 (ČSN ISO 9000). Bez ohledu na další normy by pro zavádění systému měly být použity standardy ISO. Normy ISO 9000:1994 jsou nahrazeny od 15.12.2000 normami ISO 9000:2000 (tj. ISO 9000, ISO 9001 a ISO 9004).

VDA 6.1

Pro dodavatele automobilového průmyslu je zpravidla nezbytné rozšíření systému jakosti o požadavky odvětví. Německá VDA 6.1 přidává další požadavky k normám ISO 9000. Pro certifikaci dle VDA 6.1 je nutné předchodí splnění požadavků ISO 9000, proto organizace nemůže být certifikována samostatně jen podle VDA 6.1. Takže např. dodavatel je certifikován napřed dle ISO 9001 a poté podle VDA 6.1. V současnosti je tato norma nahrazována zpravidla ISO/TS 16949.

QS 9000

Pro dodavatele amerického automobilového průmyslu je nutné rozšíření požadavků systému jakosti o požadavky odvětví. Americká QS 9000 analogicky jako VDA přidává další požadavky k normám ISO 9000. Stejně tak je analogická i certifikace - napřed podle ISO 9001, pak podle QS 9000. V současnosti je tato norma nahrazována zpravidla ISO/TS 16949.

ISO/TS 16949

Automobilový systémový standard

4 skupiny standardů pro systém jakosti (QS 9000, VDA 6.1, AVSQ, EAQF) byly spojeny do jednoho mezinárodního standardu (ISO/TS 16949), který byl publikován za účelem veřejné diskuse v srpnu 1998 a realizován v březnu 1999. V současnosti platí revidované vydání (2.vydání), které je již v souladu s ISO 9001:2000. Uživatelé QS 9000, AVSQ, EAQF nebo VDA 6.1 budou akceptovat certifikaci ISO/TS 16949 jako ekvivalent, takže odpadá několika násobná certifikace.

Tato technická specifikace je uplatnitelná v celém dodavatelském řetězci v automobilovém průmyslu (ve spojení s ISO 9001:2000). Platí pro všechna pracoviště výrobců dílů nebo poskytovatelů služeb a pro jejich dodavatele.

ISO 9000:2000

Nové vydání ISO 9000:2000 proběhlo **15. prosince 2000.**

Norma ISO 9001:2000 má následující obsah:

- 0.1 Všeobecně
- 0.2 Procesní přístup
- 0.3 Vztah k ISO 9004
- 0.4 Kompatibilita s jinými systémy managementu
- 1 Předmět normy
 - 1.1 Všeobecně
 - 1.2 Použitelnost
- 2 Normativní odkazy
- 3 Termíny a definice
- 4 Systém managementu jakosti
 - 4.1 Všeobecné požadavky
 - 4.2 Požadavky na dokumentaci
 - 4.2.1 Všeobecně
 - 4.2.2 Příručka jakosti
 - 4.2.3 Řízení dokumentace
 - 4.2.4 Řízení záznamů
- 5 Odpovědnost vedení organizace
 - 5.1 Závazek vedení organizace
 - 5.2 Zaměření na zákazníka
 - 5.3 Politika jakosti
 - 5.4 Plánování
 - 5.4.1 Cíle jakosti
 - 5.4.2 Plánování systému managementu jakosti
 - 5.5 Odpovědnost, pravomoc a komunikace
 - 5.5.1 Odpovědnost a pravomoc
 - 5.5.2 Představitel vedení organizace
 - 5.5.3 Interní komunikace
 - 5.6 Přezkoumání vedením
 - 5.6.1 Všeobecně
 - 5.6.2 Vstup pro přezkoumání
 - 5.6.3 Výstup z přezkoumání
- 6 Management zdrojů
 - 6.1 Zajištění zdrojů
 - 6.2 Lidské zdroje
 - 6.2.1 Všeobecně
 - 6.2.2 Odborná způsobilost, povědomí a výcvik
 - 6.3 Infrastruktura
 - 6.4 Pracovní prostředí
- 7 Realizace výrobku
 - 7.1 Plánování realizace výrobku
 - 7.2 Procesy vztahující se k zákazníkovi
 - 7.2.1 Stanovení požadavků vztažených k výrobku
 - 7.2.2 Přezkoumání požadavků na výrobek
 - 7.2.3 Komunikace se zákazníkem
 - 7.3 Návrh a vývoj
 - 7.3.1 Plánování návrhu a vývoje
 - 7.3.2 Vstupy pro návrh a vývoj
 - 7.3.3 Výstupy návrhu a vývoje
 - 7.3.4 Přezkoumání návrhu a vývoje
 - 7.3.5 Verifikace návrhu a vývoje

- 7.3.6 Validace návrhu a vývoje
- 7.3.7 Řízení změn návrhu a vývoje
- 7.4 Nakupování
 - 7.4.1 Proces nakupování
 - 7.4.2 Informace o nakupování
 - 7.4.3 Ověřování nakupovaného výrobku
- 7.5 Výrobní a poskytování služeb
 - 7.5.1 Řízení výrobní a poskytování služeb
 - 7.5.2 Validace procesů pro výrobu a poskytování služeb
 - 7.5.3 Identifikace a sledovatelnost
 - 7.5.4 Majetek zákazníka
 - 7.5.5 Ochrana výrobku
- 7.6 Řízení měřících a monitorovacích zařízení
- 8 Měření, analýza a zlepšování
 - 8.1 Všeobecně
 - 8.2 Monitorování a měření
 - 8.2.1 Spokojenost zákazníka
 - 8.2.2 Interní audit
 - 8.2.3 Monitorování a měření procesů
 - 8.2.4 Monitorování a měření výrobků
 - 8.3 Řízení neshodného výrobku
 - 8.4 Analýza dat
 - 8.5 Zlepšování
 - 8.5.1 Neustálé zlepšování
 - 8.5.2 Nápravné opatření
 - 8.5.3 Preventivní opatření

Přílohy

- A** Soulad mezi ISO 9001:2000 a ISO 14001:1996
- B** Soulad mezi ISO 9001:2000 a ISO 9001:1994

Bibliografie

4.4. Znalost SPC (Statistical Process Control) – statická regulace procesů

Výsledkem statistické regulace procesů (SPC) je udržování definovaných parametrů procesu (výrobku) ve stanovených tolerancích. Tyto tolerance jsou užší, než tolerance při jejichž překročení již hovoříme o neshodě.

Základní pojmy

Každý proces vykazuje určitou proměnlivost. Tato proměnlivost (kolísání, variabilita) je způsobena různými příčinami. Tyto příčiny lze rozdělit do 2 skupin:

- Náhodné** - např. teplota prostředí, vlhkost prostředí, fyzický stav operátora a další příčiny, které nejsme schopni v aktuálním procesu ovlivnit, jde o velké množství drobných příčin působících stále a jsou relativně předvídatelné
- Speciální** (vymezitelné, zvláštní) - jde o malý počet velkých příčin, jsou nepravidelné a nepředvídatelné. Opakují se, pokud nejsou učiněna trvalá nápravná opatření.

Základním cílem statistické regulace (SPC) je:

- zlepšování jakosti (prevence/předcházení výrobě neshodných výrobků)
- uvedení procesu do stabilního stavu a jeho udržování v tomto stavu

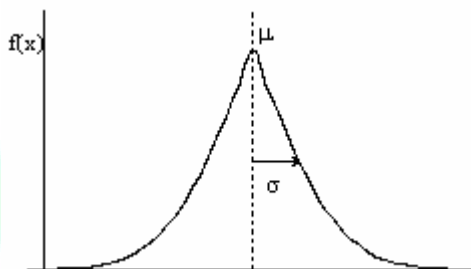
Prostředkem pro dosažení tohoto cíle je mimo jiné rozlišení / identifikace příčin variability.

Jakost výrobku/procesu zjišťujeme pomocí charakteristik jakosti. Charakteristiky jakosti můžeme rozdělit do 2 skupin:

- **měřitelné** - spojité proměnné, jako např. rozměry součástek, hmotnost,
- **atributy** - neměřitelné neboli diskrétní charakteristiky, např. vzhledové charakteristiky

Většina průmyslových procesů s měřitelnou charakteristikou jakosti vykazuje normální rozdělení (nebo má k tomuto rozdělení dispozici). Proto, abychom znali průběh procesu, stačí určit výše uvedené 2 parametry normálního rozdělení. Protože však výpočet skutečných hodnot m a s bývá často obtížně realizovatelný, provádí se odhad těchto parametrů.

Normální rozdělení:



Normální rozdělení je popsáno 2 parametry:

- střední hodnotou rozdělení m
- variabilitou rozdělení, tj. rozptylem (s^2), resp. směrodatnou odchylkou (s),

Odhad těchto parametrů provádíme nejčastěji pomocí aritmetického průměru (poloha) a rozpětí (variabilita). Kdykoli je to možné, měli bychom používat regulaci měřením (měřitelné charakteristiky jakosti).

Regulační diagramy

Na příkladu regulačního diagramu pro výběrový průměr a výběrové rozpětí (\bar{x}, R) lze ukázat dobře princip sestavení a interpretace regulačních diagramů.

Sestavení regulačního diagramu:

Krok 1. Výběr, co se bude měřit (volba charakteristiky jakosti)

Pro statistickou regulaci volíme pouze kritické nebo důležité charakteristiky jakosti (požadavek zákazníka, DOE).

Krok 2. Sběr vzorků

Z procesu odebíráme v určitých časových intervalech (obvykle 1 hodina) určitý počet vzorků (obvykle 4-5). Při sestavování regulačního diagramu by mělo být změřeno celkem 100ks výrobků, tj. např. 25 podskupin (vzorků) o velikosti $n = 4$.

Krok 3. Sestavení formuláře pro data a grafy

podskupina	čas	1	2	3	4	5	\bar{x}	R
1	6:00	6,5	6,3	6,1	6,6	4,8	6,06	1,8
2	7:00	6,5	6,4	4,9	6,5	6,1	6,08	1,6
3	8:00	6,9	6,5	6,9	7,3	5,9	6,7	1,4
...								

Krok 4. Výpočet \bar{x} (výběrových průměrů)

Pro podskupinu 1 (viz formulář v kroku 3):

$$\frac{(6,5 + 6,3 + 6,1 + 6,6 + 4,8)}{5} = 6,06$$

Krok 5. Výpočet průměrné hodnoty procesu $\bar{\bar{X}}$

Průměr výběrových průměrů, tj.:

$$\frac{(6,06 + 6,08 + 6,7)}{3} = 6,28$$

Krok 6. Výpočet výběrového rozpětí R

Pro podskupinu 1 (viz formulář v kroku 3):

$$6,6 - 4,8 = 1,8$$

Krok 7. Výpočet průměrného rozpětí \bar{R}

Průměr výběrových rozpětí:

$$\frac{(1,8 + 1,6 + 1,4)}{3} = 1,6$$

Krok 8. Stanovení měřítka os pro grafy a zanesení údajů

nejvyšší a nejnižší hodnota výběrových průměrů a rozpětí

Krok 9. Určení regulačních mezí pro rozpětí

$$\text{horní regulační mez } UCL = D_4 \cdot \bar{R} = 2,114 \cdot 1,6 = 3,382$$

dolní regulační mez $LCL = D_3 \cdot \bar{R} = 0,1,6 = 0$

konstanty D_3, D_4 - závislé na velikosti podskupiny (jejich hodnota viz. literatura)

Krok 10. Posouzení, zda je rozpětí pod statistickou kontrolou

- všechna rozpětí jsou uvnitř regulačních mezí => rozpětí je pod kontrolou
- jeden nebo dva jsou mimo meze => vyškrtneme tyto vzorky z výpočtů a přepočítáme meze, pokud jsou všechna rozpětí uvnitř nových mezí, rozpětí jsou pod statistickou kontrolou, pokud ne, proces je mimo statistickou kontrolu
- tři a více jsou mimo meze => rozpětí mimo kontrolu

Krok 11. Determinování regulačních mezí pro průměry

horní regulační mez pro průměr $UCL = \bar{X} + A_2 \cdot \bar{R} = 6,28 + 0,577 \cdot 1,6 = 7,203$

dolní regulační mez pro průměr $LCL = \bar{X} - A_2 \cdot \bar{R} = 6,28 - 0,577 \cdot 1,6 = 5,357$

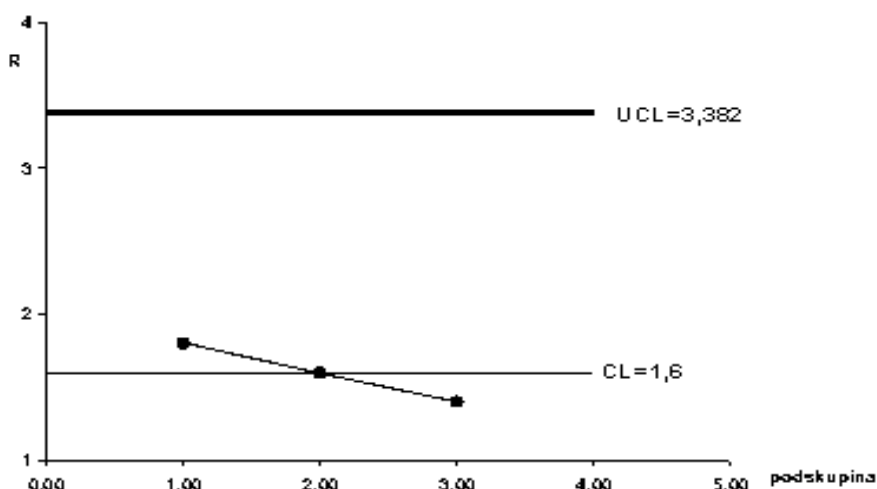
konstanty A_2 - závislé na velikosti podskupiny (jejich hodnota viz. literatura)

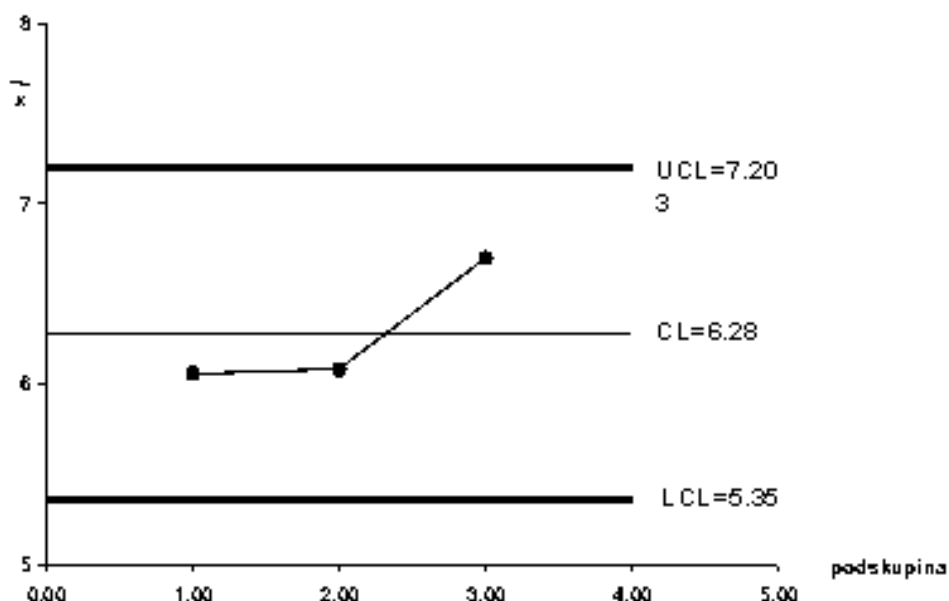
Krok 12. Posouzení, zda jsou průměry pod statistickou kontrolou

- všechny průměry jsou uvnitř regulačních mezí => průměry pod kontrolou
- jeden nebo dva průměry jsou mimo regulační meze => analogicky jako u diagramu pro rozpětí
- tři a více průměrů jsou mimo meze => průměry mimo kontrolu

Uvedený postup platí pro nastavení regulačního diagramu, tj. pro situaci, kdy počítáme regulační meze. Při používání regulačního diagramu v procesu znamená každá hodnota mimo regulační meze nestabilitu procesu!

Nakreslení regulačních diagramů :





Aplikace a interpretace regulačních diagramů

Vytvořený regulační diagram se dále používá pro regulaci aktuálního procesu (on-line quality control). Při aktuální aplikaci jsou regulační diagramy interpretovány následovně:

- Pokud se nějaký bod objeví mimo regulační meze, je proces mimo statistickou kontrolu (nestabilní). Je nutno zastavit proces a odstranit příčiny nestability.
- Pokud se objeví nenáhodné seskupení bodů, je proces mimo kontrolu (nestabilní). Je nutno zastavit proces a odstranit příčiny nestability.

Nenáhodným seskupením rozumíme zejména:

- 7 bodů za sebou leží na jedné straně od střední přímky
- 7 bodů za sebou má stoupající (klesající) tendenci
- 10 z 11 bodů za sebou leží na jedné straně střední přímky
- periodické opakování rozložení bodů
- většina bodů leží v pásmu $\pm 1,5 s$

Způsobilost procesu

Statisticky zvládnutý proces znamená, že na proces působí pouze náhodné vlivy a systematické příčiny nestability jsou eliminovány.

Ve výrobě ovšem ještě důležité, jak velký je vliv náhodných faktorů, tj. jaká je poloha a šířka křivky normálního rozdělení vzhledem k technickým specifikacím. Jinými slovy, zda je proces schopen produkovat výrobky v souladu s požadavky specifikací. Tuto schopnost nazýváme **způsobilost procesu**.

Způsobilost procesu vyjadřuje, s jakou rezervou leží regulační meze uvnitř pásma vymezeného specifikacemi (technickými mezemi). Způsobilost určujeme pomocí dvou indexů způsobilosti:

Index způsobilosti (C_p) - variabilita procesu

$$C_p = \frac{(USL - LSL)}{6\sigma}$$

USL - horní specifikace

LSL - dolní specifikace

 σ - směrodatná odchylka procesu ($\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$)**Index způsobilosti (C_{pk})- variabilita a nastavení procesu**

$$C_{pk} = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}$$

$$C_{pk} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}$$

pozn.: z vypočtených hodnot C_{pk} bereme v úvahu menší hodnotu**Hodnocení procesů****U nestabilních procesů:**

Měly by být identifikovány a vyloučeny speciální příčiny nestability. Dokud není $C_{pk}=1,33$ je třeba uplatnit 100 % kontrolu a rozšířený výběr vzorků pro SPC. Upravený kontrolní plán musí být schválen zákazníkem.

Není-li možno dosáhnout požadované způsobilosti do stanoveného data, musí dodavatel vypracovat plán nápravných opatření a prozatímní upravené kontrolní plány, které běžně počítají se 100% kontrolou. Typická nápravná opatření zahrnují zlepšení procesu, změnu nástrojů a změny technických požadavků zákazníka.

U stabilních procesů: C_p a C_{pk} 1,33 nebo 1,67

Konkrétní hodnota požadovaná hodnota může vycházet z požadavků zákazníka nebo z požadavků na akceptovatelný počet neshod. Jaký je počet neshodných jednotek v souvislosti s hodnotou indexů způsobilosti, resp. s programem kvality, ukazují následující tabulky. V prvním případě jde o krátkodobý pohled, ve druhém případě o hodnocení způsobilosti v dlouhém časovém období.

Pokud je průměrná hodnota procesu totožná s cílovou hodnotou, tak $C_p = C_{pk}$:

C_p	program kvality	počet vadných na 1 mil. kusů
1	3s	2700
1,33	4s	63
1,67	5s	0,57
2,0	6s	0,002

Pokud je průměrná hodnota procesu posunuta vzhledem k cílové hodnotě, takže např. střední hodnota procesu je posunuta o 1,5s směrem k LSL (dolní specifikaci):

C_p	C_{pk}	program kvality	počet vadných na 1 mil. kusů
1	0,5	3s	66800
1,33	0,83	4s	6210
1,67	1,17	5s	233
2,0	1,5	6s	3,4

4.5. Znalost MSA (Measurement System Analysis) – analýza systému měření

Analýza systému měření slouží k posouzení systému měření a po identifikaci zdrojů variability měření umožňuje stanovit efektivní nápravná opatření.

Základní pojmy

Proces měření

Měření můžeme definovat jako proces přiřazování čísel daným hmotným položkám, které představují vztahy mezi nimi s ohledem ke konkrétním vlastnostem.

Proces přiřazování čísel = proces měření

Přidělené hodnoty = hodnoty měření

Měřidlo

Jakýkoliv prostředek použitelný pro získávání údajů. Často se tento termín vztahuje pro prostředky používané na dílně. Zahrnujeme zde i kalibry.

Systém měření

Soubor operací, postupů, měřidel a dalšího vybavení, software a osob, který se používá k přiřazení čísla zjišťované charakteristice. Jde o kompletní proces, který se používá pro získání výsledků měření.

Naměřená data a jejich kvalita

Kvalita naměřených dat úzce souvisí se statistickými vlastnostmi opakovaných měření, která jsou získána systémem měření za stálých podmínek.

Vysoká kvalita = všechna měření jsou blízka správné hodnotě

Nízká kvalita = některá nebo dokonce všechna měření daleko od správné hodnoty

Pro specifikování kvality naměřených dat se používají zejména 2 statistické veličiny: úchylka (poloha dat vzhledem ke správné hodnotě) a rozptyl. Tzn. pokud máme příliš vysokou variabilitu dat - kvalita měření je nízká.

Kvalitu systému určují primárně statistické vlastnosti produkovaných údajů.

Variabilita měření

V měřicím systému existuje variabilita, která ovlivňuje jednotlivá měření a následně rozhodnutí založená na těchto údajích.

Chyby systému měření:

1. Úchylka (Bias)

Alternativní používané názvy pro úchylku jsou strannost nebo přesnost měřidla. Úchylka je rozdíl mezi zjištěným průměrem měření a referenční hodnotou. Referenční hodnota je hodnota, která slouží jako smluvní reference pro měřené hodnoty. Můžeme ji určit zprůměrováním několika měření provedených měřicím zařízením na vyšší úrovni.

2. Opakovatelnost (Repetability)

Opakovatelnost je variabilita výsledků měření, které získáme jedním měřicím přístrojem. při použití 1 pracovníkem pro opakované měření stejných charakteristik na stejném výrobku. Dalším názvem pro opakovatelnost je inherentní přesnost měřicího zařízení.

3. Reprodukovatelnost (Reproducibility)

Reprodukovatelnost je variabilita průměrů měření prováděných různými pracovníky, kteří používají stejné měřidlo pro měření stejné charakteristiky na stejném výrobku. Jde o variabilitu systému měření, která je způsobena rozdílností (chováním) hodnotitelů.

4. Stabilita (Stability, Drift)

Stabilita neboli drift je celková variabilita v měřeních, získaná měřicím systémem na stejném výrobku (etalonu) při měření stejné charakteristiky v delším časovém období. Stabilní systém nevykazuje v čase drift. Stabilita je podobná reprodukovatelnosti, ovšem variabilitu nezpůsobuje hodnotitel, ale čas.

5. Linearita

Linearita je rozdíl mezi hodnotami úchylky v předpokládaném operačním rozsahu měřidla.

Postupům pro vyhodnocení výše uvedených statistických veličin se někdy říká R&R měřidla, protože se nejvíce využívají k posouzení dvě statistické vlastnosti - opakovatelnost a reprodukovatelnost.

Tyto postupy jsou ve výrobě snadno pochopitelné i bez hlubší znalosti statistiky, a proto jsou i nejvíce využívány.

Stanovení jednotlivých veličin pro systém měření - pro výpočet jsou používány 3 zásadní postupy:

- a) **Metoda rozpětí** (určíme pouze R&R)
- b) **Metoda průměru a rozpětí** (určíme vše, kromě interakce)
- c) **Metoda ANOVA** (kompletní výpočet, včetně interakce)

Opakovatelnost a reprodukovatelnost (metoda rozpětí)

Reprodukovatelnost je variabilita v systému měření, která je způsobena různými hodnotiteli. Abychom mohli reprodukovatelnost vypočítat, musíme napřed kvantifikovat opakovatelnost. Metoda rozpětí není ale schopna separovat opakovatelnost od reprodukovatelnosti. Je to tedy jednoduchá metoda, která kvantifikuje opakovatelnost a reprodukovatelnost měřicího systému (pro kompletní výpočty je třeba použít metodu průměru a rozpětí, popř. ANOVA).

Minimální požadavky pro pořízení dat jsou 2 operátoři a 5 výrobků. Rozpětí R pro každý výrobek je rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou měření. Opakovatelnost a reprodukovatelnost (R&R) vypočteme:

$$R \& R = \frac{5,15 \cdot \bar{R}}{d_2^*}$$

\bar{R} ... průměrné rozpětí

d_2^* ... konstanta, viz. Duncanovy tabulky,

Výpočty jsou založeny na šířce intervalu, který obsahuje 99 % měření. Tato hodnota byla určena AIAG (Automotive Industry Action Group). 99 % oblasti pod funkcí hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení představuje interval $\pm 2,575 \cdot \sigma$.

Příklad

Po operaci čelního frézování výrobku potřebujeme měřit drsnost povrchu (R_a). Předepsaná (nominální) hodnota $R_a = 8$ mm. Dělení stupnice měřicího přístroje je 0,1 mm.

Máme za úkol zjistit vhodnost systému měření z hlediska tolerancí zákazníka procesu. Tolerance zákazníka je ± 3 mm.

Vzhledem k tomu, že informaci o vhodnosti systému měření vzhledem k toleranci potřebujeme velmi rychle (nedostatek času), použijeme krátkou metodu (metodu rozpětí). Poté bychom mohli použít dlouhou metodu pro důkladnější analýzu.

Metoda rozpětí

2 hodnotitelé měřili 5 výrobků stejným měřidlem. Výsledky jsou v tabulce:

Výrobek	Hodnotitel A	Hodnotitel B	Rozpětí
1	11	11,2	0,2
2	5,8	6,1	0,3
3	10,3	10,7	0,4
4	9,6	9,1	0,4
5	6,4	6,6	0,2

Řešení:

Pro tento případ $d_2^* = 1,19$

$$\text{Průměrné rozpětí } \bar{R} = \frac{(0,2 + 0,3 + 0,4 + 0,4 + 0,2)}{5} = 0,3$$

$$R \& R = \frac{5,15,0,3}{1,19} = 1,298$$

$$R \& R (\% \text{ z tolerance}) = \left(\frac{R \& R}{\text{tol.pole}} \right) \cdot 100 = \frac{1,298}{6} \cdot 100 = 21,63 \%$$

Obecný požadavek na variabilitu systému měření je ten, že pouze 10 % celkové variability může spotřebovat systém měření. Z tohoto důvodu je systém měření nezpůsobilý (21,63 %) a vyžaduje zlepšení. Pro zjištění příčin nežádoucí variability a následné zlepšování systému bychom použili metodu průměru a rozpětí nebo ANOVA.

4.6. Znalost APQP (Advanced Product Quality Planning) - pokročilé plánování jakosti výrobku

Jedním ze základních požadavků norem pro automobilový průmysl je zabezpečování procesu trvalého zlepšování. APQP je strukturovanou metodou definování a ustanovení kroků nezbytných pro neustálé zlepšování procesů. Přidaná hodnota této metody směřuje do řízení zdrojů k uspokojení zákazníka, podporování včasné identifikace požadovaných změn a předcházení pozdějším změnám.

Plánování jakosti

Plánování jakosti = strukturovaný postup, který definuje kroky, jenž jsou nutné k zabezpečení uspokojivé jakosti výrobku pro zákazníka.

Smyslem plánování jakosti je:

- efektivní využití zdrojů pro uspokojování zákazníka
- podpora včasného zjištění potřebných změn
- zmírnění nebo vyhnutí se požadavkům na pozdější změny
- umožnit vytvoření jakosti výrobku včas již ve fázi návrhu při nejnižších nákladech

Jakost je vytvářena z 80% v předvýrobních etapách. Plánování jakosti je realizováno pomocí meziútvarového týmu (vývoj, konstrukce, OŘJ, zásobování, výroba, dodavatel, zákazník, atd.).

Fáze APQP:

- 1) Plán a definování programu (identifikace zákazníků, určení potřeb zákazníků, stanovení cílů jakosti)
- 2) Návrh a vývoj produktu
- 3) Návrh a vývoj procesu
- 4) Validace výrobku a procesu
- 5) Zpětná vazba - hodnocení a nápravná opatření
- 6) Plán regulace procesu, transfer informací do procesů

Vstupy pro další fázi plánování jsou vždy výstupy předchozí fáze. Je však třeba mít na paměti, že jednotlivé fáze se v čase do značné míry překrývají. Tzn. např. návrh a vývoj procesu nenásleduje až po ukončení návrhu a vývoje výrobku, ale probíhá s mírným zpožděním souběžně.

Plán a definování programu

Hlavním vstupem v první fázi je **hlas zákazníka** a **benchmarking**, hlavním výstupem pak **cíle návrhu, jakosti a spolehlivosti**.

Zákazník

Zákazníkem je každý, kdo přichází do styku s výrobkem.

Externí zákazník: nejen konečný uživatel, ale také prostředníci, obchodníci.

Interní zákazník: různé divize ve společnosti, atd.

Vychází se z definice jakosti: „Jakost je spokojenost zákazníka.“

Spokojenosti zákazníka je dosahováno prostřednictvím:

- znaků výrobku (jakost návrhu), růst příjmů
- bezvadnosti výrobku (jakost shody s návrhem), snížení nákladů

Zjištění potřeb zákazníka (Hlas zákazníka)

Při zjišťování potřeb zákazníka je nutno jít za běžný rámec a hledat příležitosti pro inovace návrhu nového produktu.

Benchmarking

Benchmarking umožňuje srovnání s konkurencí. Výsledky takového srovnání pomáhají stanovit cílové hodnoty pro výrobek nebo proces.

Nejsnadnější je srovnávání s konkurenčními výrobky:

- nalezení výrobků stejné skupiny,
- identifikace rozdílů mezi současným naším výrobkem a konkurenčními výrobky, zjištění příčin těchto rozdílů,
- vytvoření plánu pro srovnání rozdílů s konkurencí nebo který předčí konkurenci.

Výstup - Cíle návrhu

Potřeby zákazníka (hlas zákazníka) je třeba promítnout do předběžných měřitelných hodnot charakteristik jakosti, které pak budou představovat předběžné cíle návrhu. Je třeba výrobek chápat jako **systém**, provést dekompozici systému na subsystémy.

Výstupem pak jsou:

- specifikace pro celkový systém
- koncepce celého systému
- specifikace pro subsystémy

Nástroje jakosti nejvíce používané v této fázi:

- **Metody síťové analýzy** (CPM, PERT)
- **QFD** (Quality Function Deployment)
- **Benchmarking**

Návrh a vývoj výrobku

V této fázi jsou požadavky uživatele promítnuty do návrhu výrobku. Až 80 % problémů s výrobkem je důsledkem chyb v návrhu.

Hlavním výstupem návrhu a vývoje výrobku je **prototyp**, tzn. že znaky návrhu nabírají v hrubých rysech konečné podoby.

Nejvýznamnější nástroje jakosti používané v této fázi:

- **QFD** (Quality Function Deployment)
- **Ishikawův diagram** (diagram příčin a následků)
- **FMEA** (Failure Mode and Effect Analysis, Analýza možností vzniku vad a jejich následků), jmenovitě DFMEA
- **FTA** (Fault Tree Analysis, Analýza stromu poruch)
- **R-FTA** (Reverse-Fault Tree Analysis, funkční analýza)
- **DOE** (Design of Experiments, Plánované experimenty), jmenovitě technika tzv. robustního návrhu
- **Benchmarking** používající matici „R-FTA - soupis materiálu“
- **Design Review** (Přezkoumání návrhu)

Návrh a vývoj procesu

Tento krok má za úkol komplexní tvorbu celého výrobního systému.

Při návrhu procesu rozlišujeme 3 základní elementy:

- **Návrh pro výrobu** (vyrobitelnost) - jde o další detailní rozpracování a začlenění znalostí z návrhu výrobku do návrhu procesu
- **Procesní inženýrství** - požadavky na jednotlivé části jsou promítnuty do požadavků na proces, v této fázi optimalizujeme požadavky na proces do návrhu parametru procesu (Design of Experiments)
- **Způsobilost** (možnosti) **závodu** - tím jsou míněny zejména požadavky na výrobní zařízení, nářadí, vybavení, uspořádání dílny atd., často může jít o dost zásadní krok - změna celé technologie nebo dokonce návrh nového výrobního závodu.

APQP na výstupu návrhu procesu zahrnuje v detailech některé další body, které jsou součástí výše uvedených 3 elementů. Hlavními výstupy návrhové fáze (výrobek + proces) jsou specifikace pro produkt a proces (+ technická dokumentace), návrh adekvátních zařízení a procedur pro výrobu, přičemž tyto procedury jsou rozpracovány do detailních a jasných pokynů pro provoz procesu (manuály). S tím pak souvisí i další požadavky na výcvik lidí, instrukce pro kontrolu, atd. (systémové přezkoumání).

Nejvýznamnější nástroje jakosti používané v této fázi:

- **QFD** (Quality Function Deployment)
- **DOE** (Design of Experiments)
- **FMEA** (všechny druhy)

Validace výrobku a procesu

V tomto kroku se provádí validace (ověření shody) výrobku a procesu prostřednictvím ověřovací výroby. Tzn. před zahájením sériové výroby se provádí validace, zda je dodržován plán regulace, vývojový diagramu procesu a zda výrobky splňují požadavky zákazníka.

Testování a validace jsou součástí širší aktivity, která se nazývá fáze přípravy výroby. Součástí validace je schválení dílu k výrobě.

Příprava výroby zahrnuje 3 základní kroky:

- Verifikace systému
- Vlastní příprava
- Ověřovací výroba

Nástroje jakosti nejvíce používané v této fázi:

- **SPC** (Statistical Process Control)
- **DOE** (Design of Experiments)

Zpětná vazba a nápravná opatření

Po validaci plánování jakosti nekončí. Výstupy z validace jsou použity pro realizaci nápravných opatření, pokud je to potřeba. Rovněž tak vlastní sériová výroba a používání výrobku u zákazníka mohou představovat impulsy pro nápravná opatření.

Kontrolní plány / plány regulace (Plány řízení a kontroly dle terminologie ISO/TS 16949)

Tato metodika napomáhá produkci kvalitních výrobků dle potřeb zákazníka. Plány kontroly a regulace jsou dokumenty, které popisují systém kontroly, jenž má zajistit snížení variability produkce.

Provádí se kontrola **charakteristik jakosti**.

Charakteristiky jakosti dělíme do 3 skupin:

- kritické charakteristiky (**CC**) - zákonné požadavky; charakteristiky, které ovlivňují bezpečnost
- významná charakteristika (**SC**) ovlivňuje funkci výrobku
- standardní charakteristika

Pro sestavení plánu kontrol je nutno proces dokonale pochopit. K tomu účelu je nutno pracovat s informacemi, které poskytují vývojové diagramy, FMEA, zvláštní znaky, QFD, DOE, aj.

Plán regulace

Schéma pro plánování regulace:

- 1) Určení pracovních stanic (kontrolní místa), kde bude prováděna regulace.
Základním nástrojem pro určení je vývojový diagram procesu.

Typické umístění těchto stanic je např.:

- v místě, kde se provádí nastavení procesu před výrobou určité dávky
- v místech, kde se provádějí kritické nebo nákladné operace
- před nákladnou nevratnou operací

- v místech, kde jsou přirozené slabé body procesu

V jednoduchých případech u běžných charakteristik jakosti může toto plánování provádět přímo kontrolor. Ve složitějších případech toto provádí plánovací tým za účasti specialistů (inženýr jakosti).

2) Definovat smysl regulace v daném místě, určit postup a zajistit vybavení.

Při plánování se připraví seznam charakteristik jakosti, které budou sledovány na příslušných místech.

Pro každou charakteristiku je určen detailní postup:

- typ testu (detailní popis prostředí, testovacího vybavení, testovací procedury a tolerancí)
- velikost vzorku
- metoda výběru vzorku
- způsob zjišťování charakteristiky jakosti (proměnné, atributy)
- kritéria shody

Plán se připravuje v podobě formalizovaného dokumentu:

Číslo součástky:		Název součástky:					
Proces	Charakteristika jakosti	C_p	C_{pk}	Četnost	Velikost vzorku	Metoda analýzy	Odezva
nanášení ochranné vrstvy	tloušťka	1,9	1,4	každých 1000 ks	2 ks	mikrometr/(x, s) diagram	náprava procesu
montáž	šířka	2,0	1,8	1x za hodinu	30 ks	speciální kalibr/ p -diagram	náprava procesu

Neustále zlepšování procesů

Procesy dávají mnoho příležitostí ke zlepšování. Procesy lze třídit podle typických zdrojů variability nebo podle dominantních faktorů (seřízení, lidský faktor, aj.), které nejvíce ovlivňují jakost výrobku (koncepce dominance). Pro analýzu a zlepšování procesů existuje celá řada metod. Výběr příslušné metody závisí na dodavateli.

Lze doporučit zejména:

- diagram příčin a následků
- korelační a regresní analýzu
- poka-yoke
- DOE (Design of Experiments)

Způsobilost procesu

Posuzujeme pomocí koeficientů chování C_p a C_{pk} v běžícím procesu. Nebo pomocí koeficientů výkonnosti P_p a P_{pk} (předběžná způsobilost) u procesu, který zavádíme.

P_p a $P_{pk} > 1,67$ \Rightarrow Proces pravděpodobně splňuje požadavky zákazníka.

$1,33 < P_{pk} < 1,67$ \Rightarrow Proces nemusí splňovat požadavky zákazníka. Po zahájení výroby je třeba věnovat zvýšenou pozornost danému znaku, dokud není doloženo trvale, že $C_{pk} > 1,33$.

$P_{pk} < 1,33$ \Rightarrow Proces nevyhovuje pro splnění požadavků zákazníka. Zlepšování procesu musí mít vysokou prioritu a musí být dokumentováno podle plánu nápravných opatření. Do té doby než je trvale splněna hodnota $C_{pk} = 1,33$, se vyžaduje zpřísněná kontrola. Upravený kontrolní plán musí být schválen zákazníkem.

Plán jakosti

Položky, které by měl plán jakosti obsahovat vždy záleží na požadavcích zákazníka. Typický plán jakosti v automobilovém průmyslu by měl obsahovat následující body:

- Design FMEA
- Design review
- Plán verifikace návrhu
- Zařízení, nástroje, měřidla
- Kontrolní plán pro vývoj prototypu
- Stavba prototypu (DOE)
- Výkresy a specifikace
- Proveditelnost
- Vývojový diagram procesu
- Procesní FMEA
- Hodnocení systému měření (MSA)
- Předvýrobní plán regulace
- Instrukce pro operátory v procesu
- Specifikace balení
- Ověřovací výroba
- Plán regulace/kontrolní plán pro výrobu
- Předběžná studie způsobilosti procesu
- Testování a validace výroby
- Schválení dílu k výrobě

4.7. Znalost FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) – Analýza možností vzniku vad a jejich následků

Základní pojmy

Analýza FMEA je v současné době nejčastěji používanou metodou posuzování a vyhodnocování možných rizik. Používáním této metody je možno zabránit nebo zmírnit rizika, která vznikají při budování systému řízení, vývoji výrobku a jeho konstrukci, v technologii při vývoji procesu a při samotné výrobě. Aplikuje se za účelem včasného rozpoznání možných slabých stránek dané výroby (procesu) a zavedení vhodných opatření, aby k nežádoucím vlivům nedošlo. Konstrukční FMEA zkoumá všechna myslitelná a možná selhání hodnoceného systému. Začíná se s ní téměř bezprostředně po zahájení konstrukčních (vývojových) prací.

FMEA je metoda, jejímž použitím je možno zabránit, popřípadě zmírnit rizika, která vznikají při vývoji výrobku, v technologii i při samotné výrobě. Smysl spočívá ve specifikaci všech možných vad vzhledem k významu pravděpodobnosti jejich odhalení.

FMEA je systematický sled činností určených k:

- vyhledávání a ohodnocení možných vad výrobku nebo procesu a jejich důsledků
- identifikování kroků k zabránění nebo omezení podmínek pro vznik možných vad
- dokumentování procesu

Typy FMEA:

1) FMEA systému

Analyzuje systémy a subsystémy v raném koncepčním stadiu a zaměřuje se na potenciální druhy vad funkcí systému, jež jsou způsobené nedostatky systému. Zahrnuje interakce mezi systémy a elementy systému.

2) FMEA konstrukce (návrhu)

Analyzuje výrobek dříve, než se začne s výrobou. Zaměřuje se na druhy vad způsobené nedostatky konstrukce (návrhu).

3) FMEA procesu (výrobní)

Analyzuje výrobní a montážní procesy. Je zaměřena na druhy vad nedostatků procesu výroby nebo montáže.

4) FMEA výrobku (nakupovaného dílu)

Analyzuje současně konstrukci i výrobní proces jako celek. Často bývá iniciována, koordinována a řízena zákazníkem.

5) FMEA servisu, služeb

Analyzuje servis dříve, než se dostane k zákazníkovi. Je soustředěna na druhy vad, jež jsou způsobené nedostatky systému nebo procesu. (FMEA investiční, organizační, ekologická, zásobování)

Metodika FMEA

1. **Sestavit realizační tým** - nejlépe z různorodého spektra zkušených odborníků (konstruktéři, technologové, vedoucí prototypových dílen, vedoucí oddělení TR, vedoucí úseku řízení jakosti, v případě vývoje též pracovník jejího obchodního úseku...)
2. **Vyspecifikovat všechny možné nebo pravděpodobné vady návrhu** – nejvíce se zúročí zkušenost jednotlivých pracovníků z dřívějších obdobných návrhů, znalost problematiky, přehled o technologických možnostech atd., v týmovém složení se nejlépe vyměňují informace a nacházejí nové myšlenky
3. **Stanovení priorit** - jednotlivé vady jsou posuzovány ze tří aspektů:
 - 1) z hlediska svého důsledku, tedy významu působení na zákazníka
 - 2) z hlediska příčiny svého vzniku, tedy rozsahu výskytu při používání
 - 3) z hlediska rozsahu nutných kontrol, tedy možnosti jejího odhalení
4. **Rozdělení do kategorií** - přiřazení patřičných bodů dle priorit

Počet bodů	Význam vady pro zákazníka - V1	Výskyt vady při výrobě -V2	Pravděpodobnost odhalení před předáním zákazníkovi
1	zákazník nezaregistruje	nepravděpodobný	jistota
2 - 3	zákazník zaregistruje, nevadí	zřídka	střední
4 - 6	zákazník zaregistruje, vadí	přichází v úvahu	malá
7 - 8	funkční neschopnost	často	velmi malá
9 - 10	ohrožení bezpečnosti	téměř jistě	téměř žádná

- Hodnocení** - každá vada je pak charakterizována uspořádanou trojicí čísel v pořadí dle jednotlivých sloupců a řádků; vynásobením těchto čísel dostáváme koeficient, pro který se vžil název **rizikové prioritní číslo RPZ** (někdy zkráceně R), tedy $RPZ = V1 \times V2 \times O \Rightarrow$ riziko projevu vady tudíž leží v intervalu 1 - 1000; pro hodnotu 1 je riziko zanedbatelné, pro hodnotu 125 střední, hodnota 1000 je alarmující
- Navržení příslušných opatření** - Velikost čísla RPZ je indikátorem toho, s jakou prioritou a naléhavostí je nutné vypracovat doporučená opatření. Většinou se používá jako limitní číslo rizika - $R = 5.5.5 = 125$. Dalším kritériem je pak hodnocení větší než 8 pro některý ze sledovaných aspektů.
- Provedení opatření** - dle stanovených kritérií jsou navržena příslušná opatření se stanovením odpovědnosti
- Vyhodnocení nového stavu** - tj. opakování celého procesu znovu - po provedení opatření se vyhodnocuje nový stav opětovným zjišťováním koeficientu $RPZ = V1 \times V2 \times O$.

4.8. Znalost metody Six Sigma

Základní pojmy

Program je založen na myšlence redukce počtu defektů (3,4 defektů na 1 milión příležitostí) a využívá pro stanovení cílů obecné metriky – hodnoty násobku sigma. Program přináší redukci nákladů, zvýšení jakosti a výkonnosti.

Six Sigma je metodika pro neustálé zlepšování procesů. Shrnuje některé známé postupy a nástroje jakosti, které jsou známy již z dřívějšíka (TQM), ale přináší samozřejmě i nové postupy a přístupy. Metodika Six Sigma je přizpůsobena potřebám reálné podnikové praxe, nejde jako v některých případech o postupy, které jsou vhodné spíše pro teoretické úvahy. Je použitelná pro všechny typy organizací, nejen tedy pro organizace zabývající se výrobou.

Dosažení úrovně Six Sigma znamená, že se podnik dostává na špičkovou úroveň v oblasti kvality a výkonnosti. Kromě spokojených zákazníků to v důsledku znamená i dramatické snižování nákladů, zvýšení prodeje a zisku. Six Sigma však má pozitivní vliv i v nehmotné oblasti (lepší komunikace, zainteresovanost vzhledem ke kvalitě, aj.). Základem Six Sigma je použití modelu DMAIC.

Model zlepšování DMAIC

Model zlepšování DMAIC se skládá z 5 fází – fáze definování, měření, analýzy, zlepšování a řízení.

Fáze definování (Define)

Smyslem této fáze je:

- aby tým dobře porozuměl problému
- definování zákazníků, jejich potřeb a očekávání
- organizace, rozdělení úloh a odpovědností
- stanovení cílů a milníků a přezkoumání kroků

Výsledky této fáze jsou dokumentovány v projektové chartě (Project Charter). Na závěr této fáze je proveden update této charty, který je pak zveřejněn za účelem dokumentace rozsahu a směru projektu 6-sigma.

Fáze měření (Measure)

Smyslem této fáze je stanovit techniky pro sběr dat týkajících se současného provedení. Toto osvětlí příležitosti pro projekt a zajistí strukturu pro monitorování následných zlepšení.

Během fáze měření tým „rozluští“ hádanku o tom, jak dobře vlastně proces funguje. Sbírají se data z různých zdrojů, čas cyklu, typy vad, frekvence vad, zpětná vazba od zákazníka, atd.

Výstupem je:

- plán sběru dat, který specifikuje typ dat a techniku sběru dat
- validace systému měření
- vhodný vzorek dat pro analýzu
- předběžná analýza výsledků, jenž zajistí nasměrování projektu
- srovnávací hladinu měření stávajícího stavu

Fáze analýzy (Analyze)

Předchozí fáze dává týmu možnost zaměřit pozornost v užším slova smyslu na zřejmé příležitosti pro projekt.

Po provedení analýzy by tým měl být schopen odpovědět na následující otázky:

- Jaký byl přístup k analýze dat?
- Jaké jsou příležitosti pro zlepšování?
- Jaké jsou kořenové příčiny, které přispívají k příležitostem pro zlepšování?
- Jak byla analyzována data, aby byly identifikovány zdroje variability?
- Změnily výsledky analýzy formulaci nebo oblast problému?

Fáze Zlepšování (Improve)

Z předchozí fáze by měl tým perfektně rozumět, které faktory ovlivňují projekt.

Cílem této fáze je:

- generování myšlenek o způsobech zlepšování procesu
- návrh a pilotní zlepšení
- validace zlepšení
- implementace zlepšení

Výstupem této fáze je:

- identifikace alternativ pro zlepšení
- implementace nejlepší alternativy pro zlepšení procesu
- validace zlepšení
- příprava na přechod do řídicí fáze

Fáze řízení (Control)

Řízení znamená monitorování implementovaných zlepšení za účelem udržení přínosů a zajištění nápravných akcí, pokud je třeba.

Smyslem řídicí fáze je institucionalizace zlepšení produktu/procesu. Projektový tým převede řízení zpět na vlastníka procesu (osobu odpovědnou za běžící proces).

Na výstupu řídicí fáze bude vlastník procesu rozumět:

- očekávání zákazníka na provedení produktu/procesu
- jak měřit a monitorovat X-y, aby bylo zajištěno provedení Y
- jaké provést nápravné akce, jestliže je proces mimo kontrolu

Možné problémy při zavádění Six sigma

Možné důvody problémů při zavádění metody Six Sigma:

- 1) **Nejasně formulovaný cíl** - toto platí nejen u této metody, když nevíme kam jdeme určitě dojdeme někam jinam
- 2) **Nedostatečná firemní komunikace** - opět závažný problém a mnoho firem si tento nedostatek ani neuvědomuje
- 3) **Formální přístup** - když se to musí tak to nějak uděláme, ať je nějaká činnost...
- 4) **Změny bez předchozího projednání** - jaksi se pozapomene změnu oznámit, opět naráží na problémy v komunikaci
- 5) **Neangažovanost vrcholového managementu** - chce pouze výsledky a zapomíná pomáhat
- 6) **Nezájem o osobní rozvoj lidí** - opět leží problém na straně firmy nemající zájem o rozvoj svých zaměstnanců (stojí to peníze), ale už nepočítá by to přineslo
- 7) **Neochota učit se** - nikdo učený z nebe nespadl, ale když není zájem o zlepšování svých dovedností a znalostí...

4.9. Znalost DOE (Design of Experiments/Taguchi Approach) – robustnost procesu

Základy DOE

Experimentování představuje vlastně testování kombinací různých hodnot (úrovní) faktorů, o nichž si myslíme, že mají vliv na odezvu (charakteristiku jakosti). Protože testování všech variant představuje neúměrně veliký počet zkoušek, používají se pro experimentování zkrácené metody, které zkoumají pouze určitou frakci všech možných kombinací. DOE používající Taguchiho přístup představuje postup, který výrazně redukuje nutný počet zkoušek a přináší mnoho dalších výhod. Proto je také doporučen standardy QS 9000 a ISO/TS 16949.

Obecně DOE přináší tyto pozitiva:

- zlepšování (optimalizaci) jakosti
- snižování nákladů
- redukcí % neshodných výrobků
- vyšší spokojenost zákazníka

Odezva (charakteristika jakosti)

Odezva je veličina, pomocí které vyjadřujeme výsledky experimentu. Odezva představuje závislou proměnnou. Při experimentech je nutno rozlišovat tři typy charakteristik (N, S, B):

N - nominal is best
S - smaller is better
B - bigger is better

Faktor

Faktor neboli parametr je nezávislá návrhová proměnná, která ovlivňuje charakteristiku jakosti. Symbolicky označujeme faktory velkými tiskacími písmeny, tj. A, B, C, atd. a jejich úrovně pro experiment označujeme jako A1 (faktor A na první úrovni), A2 (faktor A na druhé úrovni), atd.

Rozlišujeme dva základní druhy faktorů:

- **Regulovatelný faktor** - návrhová proměnná, o které si myslíme, že ovlivňuje odezvu a je přitom začleněna do experimentu, hodnotu proměnné můžeme a zároveň chceme nastavit a udržovat
- **Šumový faktor** - faktor, který negativně ovlivňuje odezvu, nemůžeme nebo nechceme ho při vlastní aplikaci nastavit a udržovat na požadované hodnotě, ale můžeme to provádět během experimentu.

Interakce

Interakce je kombinovaný účinek dvou faktorů, tzn. účinek jednoho faktoru je závislý na hodnotě nastavení druhého faktoru. Interakci dvou faktorů zapisujeme symbolicky jako $A \times B$.

Ortogonalní soustavy

Návrhy experimentů provádíme pomocí tzv. ortogonalních soustav.

Tabulka 1: Ortogonalní soustava L-8:

číslo experimentu	sloupec						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Soustava má 8 řádků a 7 sloupců. Každý řádek reprezentuje podmínky pokusů s úrovněmi faktorů, které jsou označeny číslicemi 1 nebo 2 v řádku. Čísla v jednotlivých sloupcích vyjadřují úroveň faktoru pro příslušné experimenty.

Pro dvouúrovňové faktory se používají při navrhování experimentů nejčastěji tyto soustavy:

- L-4 pro 2 nebo 3 faktory
- L-8 pro 4 až 7 faktorů
- L-12 pro 8 až 11 faktorů
- L-16 pro 8 až 15 faktorů
- L-32 pro 16 až 31 faktorů

Existují i větší soustavy pro 2 úrovně, ale jejich použití dělá experimentální logistiku velmi těžkopádnou. Soustavy vyššího řádu se proto používají zpravidla jen pro simulační studie.

Pro tříúrovňové faktory máme k dispozici tyto nejfrekventovanější soustavy:

- L-9 pro 3 až 4 faktory
- L-18 až pro 7 faktorů ve 3 úrovních a jeden dvouúrovňový faktor
- L-27 až pro 13 faktorů

Soustavy vyššího řádu se opět používají spíše pro simulační studie než pro vlastní experimenty. Zvláštní postavení mezi uvedenými soustavami mají soustavy L-12 a L-18. Do těchto soustav nelze přiřadit interakce. Do ostatních soustav můžeme alternativně přiřadit namísto faktorů i interakce.

Oblasti použití DOE

- analytické simulace
- návrh a vývoj výrobku
- návrh a vývoj procesu
- zlepšování procesu (zvýšení cp a cpk)
- testování a validace
- řešení problémů s jakostí ve výrobě
- efektivní použití SPC
- pro analýzu a zlepšování systému měření (MSA)

Experimentální procedura

- plánování experimentů (brainstorming)
- návrh experimentů (ortogonální soustavy)
- provedení experimentů (náhodné pořadí)
- analýza experimentů (optimum, ANOVA, optimální provedení) +ověřovací testy

Plánování experimentů

Prvním krokem při plánování experimentů je ustanovení experimentálního týmu. Do týmu by měli být zahrnuti zástupci všech oddělení, která ovlivňují produkt nebo proces. Velikost týmu by však neměla přesahovat rozumnou míru a měla by se pohybovat v rozmezí 2-15 lidí.

Základním elementem pro plánování experimentů je brainstorming. Ze členů experimentálního týmu je nutno určit vedoucího týmu.

Brainstormingová sezení jsou věnována velkému množství otázek a na každou z nich musí experimentální tým nalézt správnou odpověď:

- určení cíle experimentu (např. návrh parametrů pro generátor, aby hluchnost byla minimální)
- definování charakteristiky jakosti (objektivní kritérium pro měření schopnosti dosáhnout cíle experimentu, tj. nalezení vhodné charakteristiky jakosti, např. hluchnost generátoru)
- výběr faktorů a jejich úrovní (nejdříve je nutno vytvořit vyčerpávající seznam všech možných faktorů prostřednictvím brainstormingového sezení experimentálního týmu, dále musíme z nich vybrat ty, které budou zahrnuty do experimentu, faktory, které byly vybrány pro experiment, je nutno v dalším rozčlenit na dvě skupiny - regulovatelné faktory a šumové faktory, poté stanovit počet úrovní pro každý faktor a hodnotu nastavení pro každou jednotlivou úroveň

Návrh experimentů

Výsledkem plánování experimentů je definovaný cíl, kterého chceme dosáhnout, a charakteristika jakosti, která je měřítkem pro posouzení, zda cíle bylo dosaženo. Kromě toho známe potenciální faktory, které nejpravděpodobněji ovlivňují danou charakteristiku jakosti, jejich úrovně. Při návrhu experimentů musíme přiřadit faktory do ortogonální soustavy. U jednoduchých experimentů, tj. u experimentů, kde neuvažujeme o interakcích nebo o modifikacích ortogonálních soustav, je přiřazení faktorů do soustavy velmi jednoduchou záležitostí. Faktory totiž zařazujeme do jednotlivých sloupců zcela libovolně. Vlastní postup při návrhu experimentů podle ortogonálních soustav je nejlépe demonstrovat na konkrétním příkladě. Na tomto místě je ukázán případ nejjednoduššího návrhu experimentu, tj. experimentu, kde neuvažujeme o interakcích, ani o šumových faktorech.

Příklad: Návrh experimentu "Hluchnost generátoru"

Cílem experimentu je provést takový návrh parametrů generátoru, aby jeho hluchnost byla co nejnižší. Charakteristikou jakosti je proto hluchnost generátoru, což je charakteristika jakosti typu S.

Budeme zkoumat 4 faktory, všechny ve 2 úrovních:

faktor A: vzduch.mezera

úroveň 1 A1 = 1mm

úroveň 2 A2 = 3mm

faktor B: impregnace

úroveň 1 B1 = měkká

úroveň 2 B2 = tvrdá

faktor C: kontaktní kartáč

úroveň 1 C1 = typ 1

úroveň 2 C2 = typ 2

faktor D: stator

úroveň 1 D1 = původní návrh

úroveň 2 D2 = epoxidový povlak

Tabulka 2: Návrh experimentu podle L-8

L-8							
číslo experimentu	sloupec						
	1 A	2 B	3 C	4 D	5 -	6 -	7 -
1	1	1	1	1	0	0	0
2	1	1	1	2	0	0	0
3	1	2	2	1	0	0	0
4	1	2	2	2	0	0	0
5	2	1	2	1	0	0	0
6	2	1	2	2	0	0	0
7	2	2	1	1	0	0	0
8	2	2	1	2	0	0	0

4 faktory znamenají volbu soustavy L-8. Nyní musíme do jednotlivých sloupců soustavy přiřadit faktory. V našem případě, kdy neuvažujeme o interakcích, je přiřazení faktorů do sloupců zcela libovolné. Můžeme se např. držet přirozeného pořadí, takže faktor A přiřadíme do sloupce 1, faktor B do sloupce 2, faktor C do sloupce 3 a faktor D do sloupce 4. Avšak při pohledu na soustavu L-8 vidíme, že tato soustava je použitelná až pro 7 faktorů, zatímco my máme k dispozici pouze 4 faktory. Sloupce, do kterých nebyl přiřazen žádný faktor, označíme jako nepoužívané (symbolicky to provedeme tak, že 1 a 2 ve sloupcích nahradíme 0).

Bez potřebných znalostí o Taguchiho technice je vždy vhodné ještě slovně popsat podmínky pro jednotlivé experimenty.

Tabulka 3: Popis jednotlivých experimentů

Číslo experimentu	Název faktoru	Úroveň faktoru
1	Vzduch.mezera Impregnace Kontaktní kartáč Stator	A1 = 1mm B1 = měkká C1 = typ 1 D1 = původní návrh
2	Vzduch.mezera Impregnace Kontaktní kartáč Stator	A1 = 1mm B1 = měkká C1 = typ 1 D2 = epoxidový povlak

Jak je patrné, navrhování jednoduchých experimentů pomocí standardních soustav je velmi snadná záležitost. Experimenty podobného typu jako v tomto příkladě se používají zejména v počáteční fázi experimentování, kdy se snažíme zkoumat co největší množství faktorů, a proto neuvažujeme ani o interakcích, ani o opakování experimentů.

Provádění experimentů

Experimenty je možno provádět buďto v laboratorních nebo přímo v provozních podmínkách. Při experimentování ve výrobě je možno narazit na "střety zájmů" mezi potřebným množstvím produkce na jedné straně a mezi potřebným časem na experimenty, který snižuje vlastní produktivní čas výroby, na straně druhé. V praxi je obvyklé řešit tento problém tak, že se experimenty provádějí mimo pracovní dobu, např. na zvláštních nočních směnách, o sobotách a nedělích, apod. Kdykoli je to možné, měli by se experimenty provádět v náhodném pořadí.

Analýza experimentů

Analýza výsledků experimentů spočívá především v nalezení kombinace faktorů, která dává nejlepší výsledek a dále v určení relativního podílu jednotlivých faktorů na jakosti výstupu. Na závěr se provádí odhad výsledku při optimálních podmínkách, který je nutno verifikovat ověřovacími experimenty. Vlastní analýza představuje poměrně rozsáhlé výpočty, zejména pokud jde o určení relativního podílu jednotlivých faktorů, kde je používána statistická technika ANOVA (analýza rozptylu). Mimoto se postupy při analýze mohou podle povahy experimentu v některých směrech odlišovat.

Příklad: Analýza experimentu "Hlučnost generátoru"

Zadání viz. předchozí příklad. Tabulka 4 ukazuje výsledky jednotlivých experimentů:

Tabulka 4: Výsledky experimentů

číslo experimentu	sloupec							výsledky y[dB]
	1 A	2 B	3 C	4 D	5 -	6 -	7 -	
1	1	1	1	1	0	0	0	$y_1 = 60$
2	1	1	1	2	0	0	0	$y_2 = 39$
3	1	2	2	1	0	0	0	$y_3 = 42$
4	1	2	2	2	0	0	0	$y_4 = 43$
5	2	1	2	1	0	0	0	$y_5 = 96$
6	2	1	2	2	0	0	0	$y_6 = 90$
7	2	2	1	1	0	0	0	$y_7 = 81$
8	2	2	1	2	0	0	0	$y_8 = 66$

Vlastní analýza zahrnuje 3 kroky:

- výpočet hlavních účinků faktorů (stanovení optimální kombinace faktorů)
- výpočet relativního podílu vlivu jednotlivých faktorů
- odhad výsledku při optimálních podmínkách

Ad a) výpočet hlavních účinků faktorů

U každého faktoru na každé úrovni budeme počítat průměrný účinek. Takže pro faktor A v úrovni 1, tj. A1, sečteme výsledky experimentů, které zahrnují faktor A1 a podělíme počtem takovýchto experimentů. V tabulce 4 vidíme, že A1 se objevuje u experimentů E-1 až E-4:

$$\frac{(60 + 39 + 42 + 43)}{4} = 46.$$

Podobně bychom vypočetli průměrné účinky i u ostatních faktorů. Hlavní účinek faktoru je rozdíl mezi dvěma průměrnými účinky faktoru ve dvou úrovních. Hlavní účinky faktorů jsou přehledně seřazeny v tabulce 5. Rozdíl mezi průměrnými hodnotami každého faktoru na úrovni 2 a 1 představuje relativní vliv účinku. Čím větší je rozdíl, tím větší je tento vliv. Znaménko u rozdílu vyjadřuje, zda změna z úrovně 1 na úroveň 2 zlepšuje nebo zhoršuje výsledek.

Tabulka 5: Hlavní účinky faktorů

sloupec	faktor	úroveň 1	úroveň 2	úroveň 2-1
1	A: vzduch. mezera	46,00	83,25	7,25
2	B: impregnace	71,25	58,00	-13,25
3	C: kont. kartáč	61,50	67,75	6,25
4	D: stator	69,75	59,50	-10,25

Protože charakteristika jakosti (hlučnost) je čím menší, tím lepší (typ S), kombinace faktorů s nejlepším výsledkem (pravděpodobné optimum) bude A1B2C1D2.

Ad b) relativní podíl jednotlivých faktorů (ANOVA, analýza rozptylu)

Při analýze rozptylu neanalyzujeme data přímo, ale pracujeme s jejich rozptylem. Podstatou analýzy rozptylu je rozklad celkového rozptylu dat na složky objasněné (rozptyl, který je způsoben změnou úrovní faktorů) a složky neobjasněné (rozptyl, který je způsoben jinými vlivy). Pro tento účel je nutné vypočítat celou řadu veličin, které se uspořádávají do standardního tabulkového formátu - tabulky ANOVA.

Tabulka 6: ANOVA

Faktory	f(DOF) stupně volnosti	S součet čtverců	V rozptyl	F F-statistika	S' čistý součet čtverců	P procentuální podíl
A	1	2775,125	2775,125	58,888	2728	76,718
B	1	351,125	351,125	7,450	304	8,549
C	1	78,125	78,125	1,657	31	0,871
D	1	210,125	210,125	4,458	163	4,583
chyba	3	141,375	47,125			
Celkem	7	3555,875				9,279

Ve sloupci pro procentuální podíl vidíme, jak ten či onen faktor ovlivňuje charakteristiku jakosti. Klíčovým faktorem je faktor A (téměř 77 %), kterému by v dalším měla být věnována největší pozornost.

Ad c) odhad výsledků při optimálních podmínkách

Odhad výsledku provádíme tak, že vypočteme průměrný výsledek pro celý experiment a k němu přičítáme přínos jednotlivých faktorů (při nastavení na optimální hodnotu) nad tento průměr. Po stanovení hodnoty optima následují některé další statistické výpočty, pomocí kterých stanovíme toleranci (interval spolehlivosti) okolo optimální hodnoty, ve které by se měly s předem zvolenou pravděpodobností pohybovat výsledky ověřovacích testů. Pokud konfirmační testy potvrdí výsledky predikované analýzou, lze optimální nastavení faktorů použít v sériové výrobě.

Implementace DOE do podnikové praxe

Kroky pro zavedení DOE do podnikové praxe jsou následující:

- úvodní zaškolení pracovníků, kteří budou členy prvních experimentálních týmů, typicky je doporučeno 3 nebo 4 denní školení DOE (rozsah 24 - 32 hodin)
- vypracování metodického pokynu/směrnice pro DOE, tato činnost je na čas poměrně náročná
- provedení prvního experimentu, doporučuje se pod vedením externího specialisty na DOE, poněvadž u prvního experimentu by mohlo dojít ke zbytečným chybám, případný neúspěch u prvního experimentu by pak negativně ovlivnil zavádění této metody jakosti
- zavedení DOE jako standardního nástroje pro neustálé zlepšování jakosti (v souladu s ISO 9000, ISO/TS 16949), pro tento účel je nezbytné zavedení softwarového vybavení

4.10. Global 8D

Global 8D je velmi účinná standardizovaná metoda šetřící čas a investice v situaci, kdy se náhle objeví problém, jehož příčina je neznámá, kdy je třeba **problém řešit co nejrychleji, nejúčinněji** a přitom ochránit zákazníka od nežádoucích důsledků. Proces Global 8D se aplikuje na stávající systém v situaci, když vznikne problém.

Základy Global 8D

Proces G8D hledá definici a pochopení problému. Ptá se, proč proces funguje mimo cílový rozsah a poskytuje mechanismus pro určení kořenů příčin a implementaci vhodného nápravného opatření. Metoda G8D nám poskytne algoritmus pro určení příčin a provedení vhodných nápravných opatření.

Proces G8D může také měnit systémy, takže problém a jiné jemu podobné problémy mohou být ochráněny před opětovným výskytem.

Jednotlivé kroky Global 8D

Jednotlivé kroky Global 8D:

- D0 - Příprava pro proces G8D
- D1 - Založení týmu

- D2** - Popis problému
- D3** - Navržení dočasných nápravných opatření
- D4** - Definování a verifikování kořenových příčin a bodu úniku
- D5** - Výběr a verifikace trvalých nápravných opatření
- D6** - Implementace a validace trvalých nápravných opatření
- D7** - Prevence výskytu
- D8** - Uznání týmových a individuálních příspěvků

D0 - Příprava pro proces G8D

V souvislosti se symptomy hodnotí potřebu procesu G8D. Je-li to nezbytné, provádí se nouzová opatření, aby se chránil zákazník před důsledky a zahájil se proces 8D.

Podpůrné nástroje a techniky:

- zprávy o spokojenosti zákazníků
- zpětná vazba ze zpráv dealerů
- prohlídky kvality
- historie jiných G8D
- diagramy trendů
- regulační diagramy
- histogramy
- zprávy o vícepráci/opravách
- bodové diagramy aj.

D1 - Založení týmu

Účel D1 je sestavit malou skupinu lidí se znalostí procesu nebo produktu, v daném čase, s autoritou a odborností ve vyžadovaných technických disciplínách, s pravomocí řešit problém a implementovat nápravná opatření.

Podpůrné nástroje a techniky:

- subjektivní odborný postup
- organizační schéma
- analýza chování (Myers, Brick)
- počítačový systém G8D

D2 - Popis problému

Účel D2 je za pomoci standardizované techniky popsat externí/interní problémy a detailizovat problém v kvantifikovaných pojmech.

Podpůrné nástroje a techniky:

- technika opakování “proč”,
- popis problému technikou “je/není”
- C + E diagram
- vývojový diagram
- FTA
- funkční blokové schéma
- FMEA
- regulační diagramy

- diagramy trendů
- techniky SPC
- Paretův diagram
- histogram
- dokumentované postupy ISO
- výsledky předvýrobních běhů
- dodavatelské údaje SPC
- vizuální inspekce
- zprávy o vícepráci/opravách
- piktogramy
- způsobilost procesů
- bodové diagramy
- zpětná vazba zákazníka
- výrobní audity
- technické výkresy

D3 - Navržení dočasných nápravných opatření

Účel D3 je definovat, verifikovat a implementovat prozatímní opatření, aby se izolovaly důsledky problémů od interního/externího zákazníka, dokud nebudou implementována trvalá nápravná opatření. (tzn. získat čas pro řešení kořenových příčin). Účelem D3 je také validovat účinnost prozatímních opatření.

Podpůrné nástroje a techniky:

- Payenterův diagram
- reference k údajům “je/není”
- vývojový diagram procesu
- metody prevence problému
- údaje SPC
- zprávy z inspekce
- nahodilé zprávy
- proces tvorby rozhodnutí
- analýza rizik
- FMEA
- plánovací techniky
- plán činností
- projektování řídicích technik
- Ganttovy diagramy
- diagram PERT
- organizační schéma
- studie způsobilosti procesu
- kreativita

D4 - Definování a verifikování kořenových příčin a bodu úniku

Účel D4 je izolovat a verifikovat kořenové příčiny testováním každé teorie kořenové příčiny oproti popisu problému a testovacích údajů. Také izolovat a verifikovat místo v procesu, kde by důsledek kořenové příčiny mohl být odhalen, ale nebyl (bod úniku).

Nástroje pro zlepšení procesu:

- analýza odchylek
- techniky zlepšování procesu (např. RAPID)
- experimentování (DOE)
- analýza podmínek prostředí
- robustní návrh
- nové technologie/materiály
- analýza systému měření (MSA)
- diagram afinity
- diagram vzájemných vztahů
- stromový diagram
- matice priorit
- benchmarking.

D5 - Výběr a verifikace trvalých nápravných opatření pro kořenové příčiny a bod úniku

Účel D5 je vybrat trvalá nápravná opatření pro odstranění kořenových příčin, vybrat nejlepší trvalá opatření pro bod úniku, ověřit, že obě rozhodnutí budou pro implementaci úspěšná a nezpůsobí žádné důsledky. Vybrané opatření je nutno ověřit a zkontrolovat, že jejich implementace byla úspěšná a nezpůsobí žádné vedlejší problémy.

Podpůrné nástroje a techniky:

- tvorba rozhodnutí
- analýza rizik
- FMEA
- metody způsobilosti procesu
- vstup operátora
- vstup dodavatele
- vstup zákazníka
- vývojový diagram procesu
- metody verifikace
- experimentální techniky např. DOE
- testovací metody
- kreativita
- strukturované inventivní myšlení (SIT)
- TRIZ
- benchmarking
- organizační schéma
- revize stavu odbornosti týmu
- vztahová analýza
- revize kontrol procesu
- revize soupisky materiálu
- analýza silového pole (FFA)
- metody robustního návrhu
- Weibullova analýza

D6 - Implementace a validace trvalých nápravných opatření

Účelem D6 je plánovat a implementovat vybrané nápravné opatření, odstranit prozatímní nápravné opatření a monitorovat dlouhodobé výsledky.

Podpůrné nástroje a techniky:

- diagram PERT
- Ganttovy diagramy
- kritická cesta
- plán činností
- prevence problému
- vývojový diagram procesu
- kreativita
- FMEA
- QFD
- DFM
- DFA
- validační metody
- revize kontrolního bodu
- technika “je/není”
- soupiska materiálu
- PPAP
- instrukce procesu/postupu
- metody vnitřní dokumentace
- garanční metody
- technické změny řádu postupu/procesu
- trénink operátorů
- postupy kvality
- SPC
- Paynterův diagram
- zákaznický dohled
- způsobilost procesů

D7 - Prevence výskytu

Účel a funkce D7 je uzpůsobit nezbytnosti systému - včetně politiky, praxe a postupu - pro prevenci výskytu problému a tvořit doporučení pro systematické zlepšení dle nezbytnosti.

Podpůrné nástroje a techniky:

- revize procesu G8D od D0 do D6
- opakování “proč”
- benchmarking
- kreativita
- mapování procesu
- vývojový diagram procesu
- rozhraní multidisciplinárních postupů
- tvorba rozhodnutí
- analýza rizik
- FMEA
- QFD
- pokusné běhy na navržených procesních změnách
- interview expertů subjektivních záležitostí
- metody plánování prevence problému

- storyboard
- metody zlepšování procesu
- hlas zákazníka
- pracovní úkolová analýza
- analýza silového pole

D8 - Uznání týmových a individuálních příspěvků

Účelem D8 je shromáždit týmovou zkušenost, zkompletovat nedokončenou práci týmu a upřímně uznat jak týmové, tak individuální příspěvky.

Podpůrné nástroje a techniky:

- revize G8D
- vstup vedoucího týmu
- kreativita
- tvorba rozhodnutí
- analýza rizik
- počítačový systém G8D

4.11. QFD (Quality Function Deployment) - překlad požadavků zákazníka

Základy QFD

QFD je systematický proces, který pomáhá identifikovat požadavky zákazníka a přenáší je do všech funkcí a aktivit ve společnosti tak, že hlas zákazníka je brán neustále na zřetel. Navíc, názorné vizuální velké pomůcky (matice) představují vždy vstup a výstup, což zajišťuje vizuální sledování potřeb zákazníka až do výroby.

Úkoly metody QFD

QFD bylo vyvinuto pro odstranění těchto problémů:

- zanedbání požadavků zákazníka
- zanedbání konkurence
- koncentrace na každou jednotlivou specifikaci v izolaci
- různé interpretace specifikací
- nedostatečná strukturalizace
- ztráta informací
- nedostatečná vazba na předchozí rozhodnutí

Dům jakosti

Základním nástrojem QFD pro plánování nového výrobku je Dům jakosti:

Jde o první matici ze série matic. Jako u všech matic, řádky představují vstupy a sloupce výstupy. Vstupy jsou hlas zákazníka. Diagram má 8 polí a každé z nich reprezentuje rozdílné hledisko plánovaného výrobku. Pole nazýváme pokoje. Dům jakosti je „postaven“, když jsou vyplněny všechny nezbytné vstupy a výstupy.

Pokoj 1

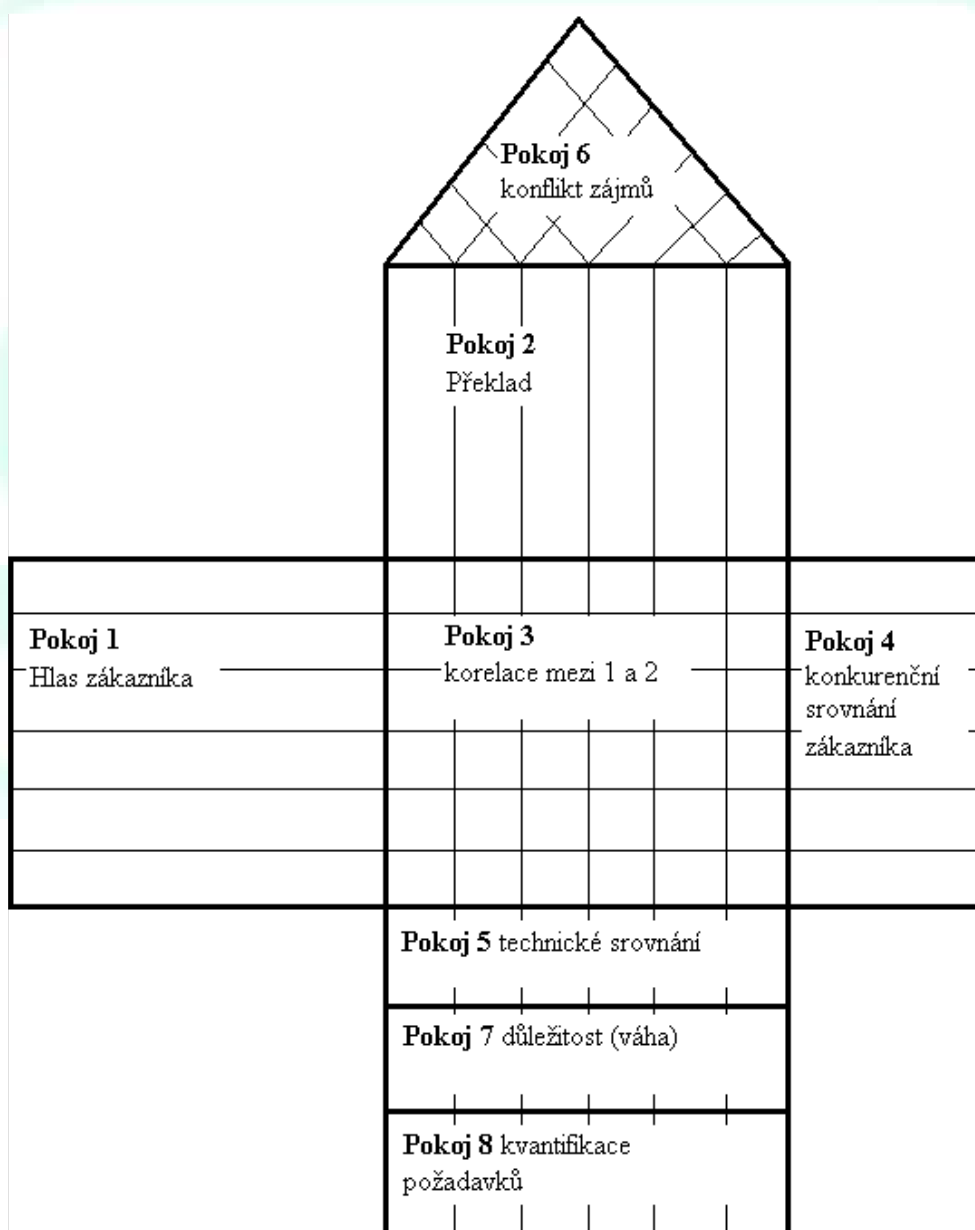
Obsahuje hlas zákazníka v jeho jazyce. Hlas zákazníka je subjektivní, kvalitativní a netechnický. Při vývoji nového výrobku je důležité, aby tým přeložil tyto potřeby do podnikového jazyka, který je kvantitativní a technický.

Pokoj 2

Zde se provádí překlad.

Pokoj 3

Zde se vyjasňuje vzájemná závislost mezi 1 a 2, čímž se eliminuje chybný překlad. Tým zde verifikuje a zlepšuje přesnost překladu.



Pokoj 4

Zde se provádí konkurenční srovnání z pohledu zákazníka.

Pokoj 5

Technické srovnání za použití standardních testů. Typicky se srovnávají 3 výrobky - náš a 2 konkurenční. Jestliže srovnání není dostupné (výrobek je úplně nový), ohodnotí se existující plnění potřeb zákazníka.

Pokoj 6

Nebo také střecha, vyjadřuje konflikt zájmů. Pokud se specifikace vytvářejí v izolaci, ústí to v chybu. V tomto pokoji se zkoumají všechny páry specifikací s ohledem na interference nebo zesílení (synergie). To umožňuje včasnou identifikaci interakcí mezi specifikacemi, což umožňuje předejít konfliktu zájmů.

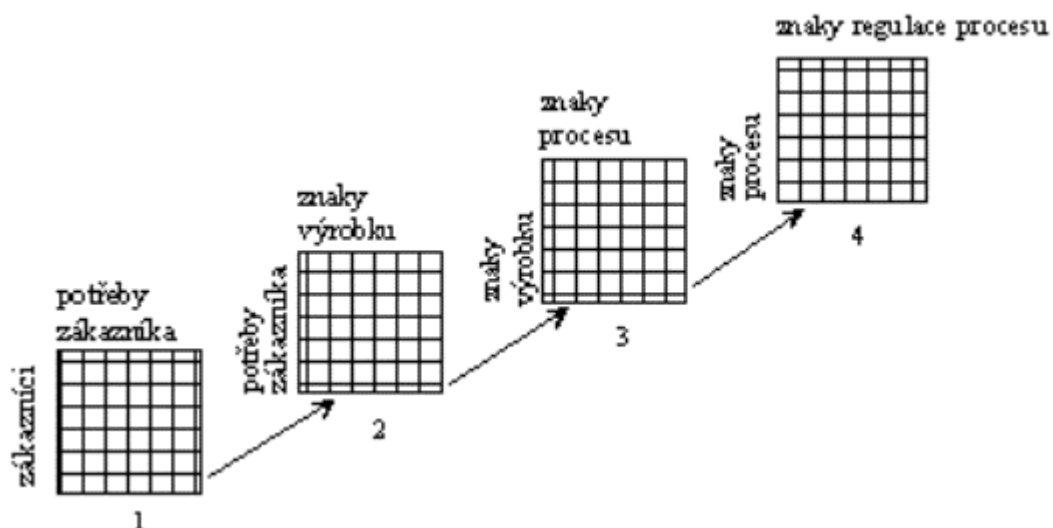
Pokoj 7

Zde se vyjadřuje váha (důležitost) každého požadavku. Pokud jsou 2 požadavky důležité a složité a pokoj 6 ukáže interakci, je jim věnována při vývoji největší pozornost.

Pokoj 8

Je konečným objektem celého domu jakosti. Provádíme zde kvantifikaci požadavků na nový produkt. Na základě pokoje 5 tým odvozuje hodnoty požadavků na nový - lepší produkt.

Po dokončení domu jakosti používá meziútvarový tým QFD pro další překlad požadavků do návrhu výrobku, procesu, atd. Výstup každé matice je vstupem pro další matici.



5. Specializace „Elektronik“

5.1. Praktická elektronika

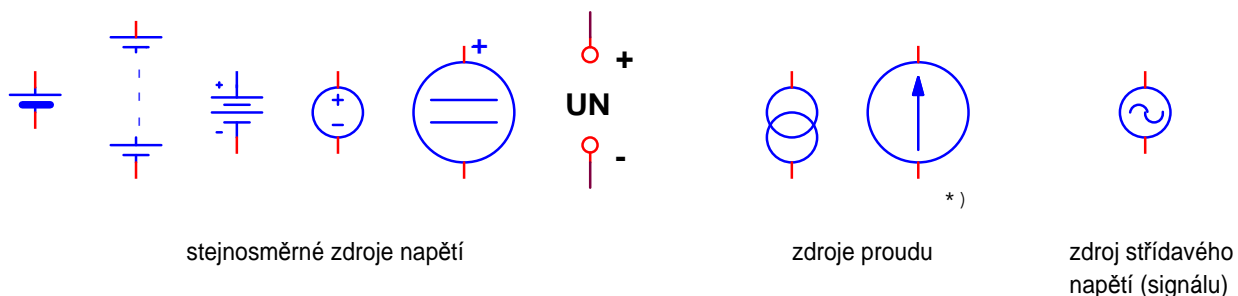
Na začátku kapitoly se budeme zabývat psanými i nepsanými standardy elektronické dokumentace i praktickými hledisky realizace elektronických obvodů. Jedním z důvodů je podat obecné informace nezbytné k samostatné práci na cvičeních podle instrukčních listů.

Elektronická schémata a značky

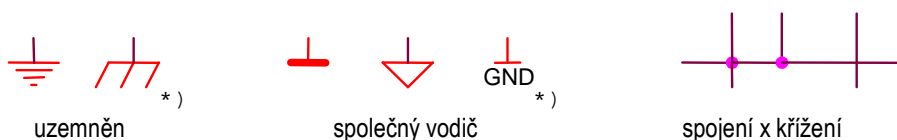
V obecné a energetické (silnoproudé) elektrotechnice resp. výkonové elektronice se na schématu kreslí zpravidla vlevo *zdroj*, vpravo pak *spotřebič*. Ve sdělovací (slaboproudé) elektrotechnice, kterou obvykle vzhledem k součástkové základně nazýváme jen *elektronika*, se vlevo kreslí *zdroj signálu*, např. anténa, mikrofon, snímač, klávesnice, (měřicí) generátor, vpravo pak *zátěž*, např. (vysílací) anténa, reproduktor, relé nebo akční člen, signalizační prvek (svítivá dioda, displej), měřicí přístroj. Nejsou-li uvedené prvky přímo součástí obvodu, umísťují se na příslušná místa schématu značky konektorů nebo pouze obecné svorky (kroužky), vlevo jsou tedy *vstupy*, vpravo *výstupy* obvodu. Svorky *napájecích zdrojů* se považují za pomocné, umísťují se podle potřeby. Pokud schéma zobrazuje napájecí zdroj, je připojení na síť nebo na baterii vlevo a výstup vpravo.

Ve výukových schématech se zdroje signálu a příp. i napájení kreslí příslušnými dvojpólovými značkami (viz Obr. 0-1), na běžných schématech bývají pouze popsány vstupní, výstupní a napájecí svorky, buď v párech, nebo jen samotné, označující „živý“ vodič signálu. Druhým pólem je vždy *společný vodič* (méně správně *zem*) elektronického obvodu (GND, ground), vůči němuž se vztahují všechny signály i vnitroobvodová napětí, uvedená např. na servisních schématech u příslušného uzlu hodnotou napětí nebo odkazem na obrázek časového průběhu signálu. Pokud je napětí jednoho uzlu měřeno vůči jinému uzlu (než společnému), musí to být vyznačeno (např. párovým indexem) – srovnej, co znamená např. U_B a U_{BE} v Obr. 0-47.

Společný vodič je nutno odlišit jak od skutečného *uzemnění* (např. na kovové rozvodné potrubí vodovodu, plynu nebo ústředního vytápění), tak od připojení na vodivou skříň zařízení, spojenou s ochranným vodičem sítě – ať už společným s nulovým vodičem ve staré, 4-vodičové soustavě, nebo s vodičem PE v nově používané 5-vodičové rozvodné soustavě TN-S. Každé vyobrazení značky společného vodiče (Obr. 0-2) představuje stále stejný uzel obvodu, tedy všechny připojené svorky a vývody součástek jsou spojeny navzájem. Ve smíšených obvodech se mohou rozlišovat různé „země“ (např. analogová, digitální, vysokofrekvenční, výkonová), které se pak spojují v jediném bodě (např. na svorce zdroje nebo na vstupním konektoru), aby se tak minimalizovalo vzájemné rušení dílčích obvodů zemními smyčkami.



Obr. 0-1 Značky zdrojů



Obr. 0-2 Značky „zemí“ a vedení vodičů

Poznámka *) označuje na obrázcích způsob značení používaný v USA a Japonsku, popř. v programech pro kreslení schémat.

Značka *stejnosměrného zdroje napětí* zpravidla představuje *baterii* (správně buď *primární článěk*, nebo *akumulátor*) nebo *síťový zdroj* (transformátor s usměrňovačem a filtračním kondenzátorem), stále častěji však *zdroj stabilizovaný*, realizovaný *stabilizátorem napětí*, zařazeným za zdroj síťový nebo méně často za baterii. Střídavým zdrojem napětí je pak zpravidla výstup transformátoru. Uvedené dvojpolý do značné míry vyhovují představě *ideálního zdroje napětí* s nulovým vnitřním odporem jako jednomu ze základních obvodových prvků. Naproti tomu *zdroj proudu* se dá jednoduše vytvořit ze zdroje vyššího napětí a sériového rezistoru, ovšem maximální hodnota zatěžovací impedance je výrazně omezena. Též energetická účinnost tohoto řešení je nízká. Elektronický *stabilizátor proudu* snižuje požadavky na hodnotu napětí (nestabilizovaného) napětového zdroje, za kterým je zařazen, nelze ho však použít pro střídavý proud. Z uvedených důvodů zastupuje značka zdroje proudu zpravidla obvod *ideálního stabilizátoru proudu*, tedy prvku, který udržuje konstantní proud ve smyčce napájené z jiného, napětového zdroje.

Připomeňme, že rozmístění značek součástek a spojů mezi uzly na ploše schématu sice může, ale na druhé straně vůbec nemusí ani přibližně odpovídat skutečnému fyzickému rozmístění součástek a vedení propojovacích vodičů resp. vodivých cest na plošném spoji (viz. odst. „*Desky plošných spojů a jejich osazování*“). Spojení vývodů do jednoho uzlu tedy můžeme zpravidla realizovat mnoha různými způsoby propojení, z nichž však některá jsou méně vhodná než jiná. Konkrétní realizaci např. ve skříní zařízení zobrazuje příp. *zapojovací schéma* (*schéma kabeláže*).

Při čtení i kreslení schémat je nutno věnovat patřičnou pozornost odlišení vodivého spojení (zvýrazněné tečkou) od prostého křížení spojů. Spojení ve tvaru T se rovněž vždy zdůrazňuje tečkou (Obr. 0-2).

Základní schématické značky (baterie, spínač, rezistor, kondenzátor, cívka, žárovka, zvonek apod.) se uvádějí již ve fyzice na základní škole. S dalšími značkami se seznámíme v dalších odstavcích i kapitolách.

Značení součástek a hodnot

Ve schématech se *druh součástky* značí zpravidla jedním, výjimečně však až třemi písmeny, (bez mezery) následovaný *pořadovým číslem* (až trojmístným), např. OZ12. Toto označení (reference) se tiskne celé – na rozdíl od značek odpovídajících veličin – zpravidla písmem jednotné velikosti. Pouze v učebních schématech se používá dolní index. Označení druhu součástky může být jednak víceméně standardní (R, L, C, D, ...), jednak závislé na zemi původu (tranzistor: T, Q; integrovaný obvod: IO, IC, U atd.). Pořadová čísla na schématu zpravidla rostou zleva doprava a shora dolů, první číslice trojčíferného čísla často znamená list schématu nebo blok zapojení. Písmena na konci se zde zpravidla používají jen jako rozlišení součástek na stejné pozici ve více shodných blocích (např. R20A, R20B) nebo pro rozlišení prvků integrovaných v jednom pouzdře (logických hradel, optonů, operačních zesilovačů, ...), které pak vystupuje pod jediným pořadovým číslem.

Hodnota (pasivní) *součástky* a *typ* aktivní součástky se někdy píšou přímo do schématu, jindy jen do seznamu součástek (kusovníku). Druh i hodnota (typ) se píšou vedle schématické značky tak, aby nemohlo dojít k záměně s jinou značkou. Typy aktivních prvků se někdy píší mimo vlastní (obdélníkový) obrys schématu pod nebo nad značkou prvku. Převážně se skládají ze dvou až tří písmen a dvou až pěti číslic (např. TDA2030; diskrétní prvky viz. Příl. 3), americké značení diskrétních prvků začíná číslicí, následuje písmeno a zpravidla 4 další číslice (např. dioda 1N4148, tranzistor 2N2338). Typy pasivních součástek se zpravidla uvádějí pouze v seznamu součástek. Jejich značení se liší podle výrobce.

Z rozsahu hodnot pasivních součástek o více než 10 řádů (kondenzátory) plyne, že se nemohou vyrábět v lineární řadě hodnot. To vedlo spolu s jejich značnými výrobními tolerancemi (alespoň ve srovnání se strojními díly) k celosvětově standardizovaným *geometrickým řadám jmenovitých hodnot*, značených **E_n**, kde číslo *n* je $3 \cdot 2^k$ ($k = 0 \dots 6$, tedy E3 až E192) znamená počet hodnot na 1 dekádu (viz Příl. 1). V další dekádě se opakují stejné platné číslice. Pro tyto hodnoty je charakteristické jednak že se (konstantní relativní) toleranční pole hodnot (např. $\pm 10\%$ pro E12) dotýkají až lehce překrývají, jednak že se jedná o čísla iracionální, takže některá „významná“ čísla (např. 2,5 a 5) v této řadě nejsou přesto, že hodnoty jsou zaokrouhleny na jedno nebo dvě ($k > 3$) desetinná místa. Tolerance hodnot součástek však mohou být nižší, než jak by vyplývalo ze vzdálenosti hodnot členů použité řady – např. moderní standardní rezistory vyráběné v řadě E24 mají toleranci jen 1 %. Pro některé speciální účely se používají i další řady vyvolených hodnot **R_m** (R5 a R10), známé též ze strojírenství.

Ke značce či do seznamu součástek se hodnota zapisuje běžným způsobem (např. 2,7 kΩ) zcela výjimečně. Používá se *značka hodnoty* tvořená pouze značkou násobné či dílčí předpony, jejíž pozice v čísle představuje desetinnou čárku (viz Příl. 1). Narozdíl od současného značení používal starší způsob pouze násobné předpony, takže základem, který se násobil, byla u kapacity hodnota 1 pF. Značka předpony mohla být i prvním znakem celé značky hodnoty (např. M33 jako $0,33 \cdot 10^6$, nově pouze 330k nebo 330n). Pozici desetinné čárky ve značce hodnoty, která je řádu jednotek, zaujímá (místo značky předpony) značka příslušné veličiny (např. 4R7), dříve i „J“ jako jednotka (4J7).

Jak se značí hodnota přímo na součástce ? Záleží na velikosti a tvaru součástky a tedy na ploše, která je pro označení (např. potisk) k dispozici :

- **běžný zápis hodnoty** vč. dalších parametrů – obv. jen u elektrolytických kondenzátorů (např. 100 μF / 35 V)
- **značka hodnoty** : 2–3 číslice a 1 písmeno viz výše, příp. písmeno za lomítkem pro označení tolerance
- **číselné značení** : 2–3 číslice představují mantisu, 1 exponent (násobitel) – viz značení keramických kondenzátorů v Příl. 1 se základem 1 pF, též indukčnosti se základem 1 μH
- **barevné proužky** : 2–3 mantisa, 1 exponent, 1 tolerance, příp. 1 teplotní koeficient – viz Příl. 1

Pouzdrění součástek

O provedení, tvaru a materiálu pasivních součástek se zmíníme v odst. „*pasivní součástky*“.

Na pouzdrech polovodičových prvků, zejména integrovaných obvodů, se uvádí zjednodušené *logo výrobce*, někdy dokonce včetně země výroby, plné *typové označení* doplněné písmeny označujícími *typ pouzdra* a třídu dovoleného *teplotního rozsahu* a kód *výrobní série*, např. potisk plastového pouzdra DIP14 operačního zesilovače : SGS, LM324CN, Italy, 309. Na velmi malá pouzdra (SMD) se tiskne pouze číselná část typového

označení. Pouzdra jsou standardizována a označena dohodnutými zkratkami. Výkresy příkladů pouzder jsou zobrazeny v Příl. 1 a Příl. 2.

Vývody součástek nejsou na jejich pouzdrech popsány, je nutno se obrátit na zjednodušené výkresy pouzder v katalogových listech. Vývody diskretních součástek jsou tam popisovány písmeny, označujícími jejich elektrody (A, K, B, C, E, G, ...), v pohledu na pouzdro ze strany těchto vývodů. Orientace je možná díky asymetrii pouzdra (zploštění, asymetrické umístění nebo různá velikost vývodů apod.). Stejně se zobrazují kulatá kovová pouzdra integrovaných obvodů, jejichž vývody se ovšem číslují. Orientují se pomocí vyčnívajícího jazýčku, označujícího zpravidla vývod s nejvyšším číslem. Číslování probíhá v tomto pohledu ve směru hodinových ručiček.

Plastová a keramická pouzdra integrovaných prvků nejběžnějšího obdélníkového tvaru mají vývody po obou delších stranách (DIL, DIP, od 8 do 48 vývodů), ve čtvercových pouzdrech na všech čtyřech stranách (např. PLCC) nebo dokonce ve více řadách zespodu pouzdra. Základní rozteč vývodů je 0,1" (2,54 mm), u součástek pro povrchovou montáž (SMD) pak poloviční až čtvrtinová. Vývody se zásadně číslují při pohledu shora, proti směru hodinových ručiček od zářezu na kratší straně pouzdra nebo od tečky u krajního vývodu č. 1. Pouzdra DIP a PLCC není vždy nutné do desek pájet, je možné je zasouvat do zapájených patič.

Do značné míry standardizované **rozsahy pracovních teplot** polovodičových součástek jsou :

- 0 ... +70 °C spotřební elektronika (consumer, commercial)
finální výrobky často pouze 0 ... +40 °C
- -40 (-25, -10) ... +85 °C průmyslová elektronika (industrial),
vozidlová elektronika (automotive)
- -55 ... +125 °C vojenská technika (extended, military)
... minimum odpovídá teplotě vzduchu ve výškách dostupů vojenských letadel, maximum souvisí s maximální dovolenou teplotou křemíkového polovodičového přechodu +155 °C

Teplota má velký vliv na elektronické součástky – zejména na zbytkové proudy a zesílení polovodičů a na svodový proud a kapacitu kondenzátorů. Pracovní teplotní rozsah se udává i u všech pasivních součástek a právě u elektrolytických kondenzátorů je menší než maximální u polovodičů. V normách bývá též definován rozsah dovolené *relativní vlhkosti* a *rázů* (přetížení) a minimální *tlak vzduchu* (u hermetických pouzder).

Katalogy součástek

Výrobci součástek vydávají buď *přehledové* (souhrnné) katalogy, ve kterých jsou pro každou součástku na jediném řádku tabulky uvedeny nejdůležitější hodnoty, nebo podrobné *konstrukční* katalogy s kompletními údaji, které jsou doplněny i řadou grafických závislostí veličin nebo dokonce obrázky časových průběhů napětí sejmutých digitálním osciloskopem (např. šum nebo přechodová charakteristika). Katalogy jsou setříděné obvykle podle funkčních skupin součástek – např. katalog diod, členěný na diody usměrňovací, běžné spínací, Schottkyho, ..., Zenerovy – tyto dále podle dovolené výkonové ztráty, pak podle typového označení a nakonec vzestupně podle Zenerova napětí. Výkresy pouzder nalezneme buď přímo na stránkách každé typové řady součástek, nebo souhrnně na konci katalogu. Na začátku či konci bývá též uveden seznam použitých značek veličin.

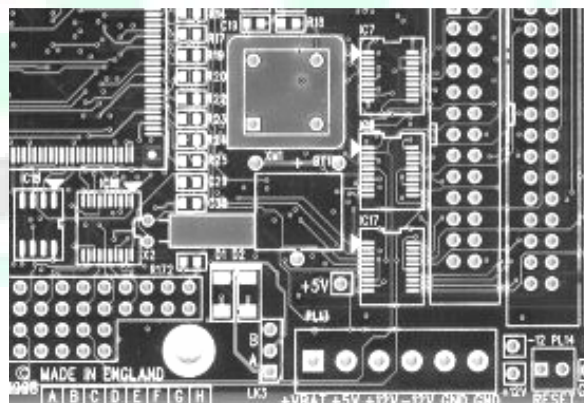
V katalogích se uvádějí jednak hodnoty *mezní*, jednak *charakteristické*. V části mezních hodnot se jinak běžný index „M“ nebo „max“ (příp. „min“), označující maximální (minimální) hodnotu veličiny u její značky neuvádí. V tabulkách bývají kromě prvního sloupce s označením veličiny a posledního se značkou jednotky tři sloupce hodnot nadepsané MIN, TYP (typická) a MAX. V tabulce mezních hodnot je pak vyplněn jen jeden sloupec. V záhlaví

tabulky charakteristických hodnot jsou uvedeny podmínky měření (např. napájecí napětí, rozsah teplot, zátěž, kmitočet hodinového signálu, ...). Poznámky pod čarou mohou specifikovat podmínky pro hodnoty na jednotlivých řádcích a upřesňovat, zda uvedené hodnoty jsou testované na každém kusu. V opačném případě se zpravidla jedná o statistické určení krajních hodnot na základě předpokládaného normálního rozdělení, avšak bez jakéhokoliv upřesnění (interval spolehlivosti).

Ke složitým integrovaným obvodům se vydávají mnohastránkové *katalogové listy* (datasheet), dostupné obv. i na internetových stránkách výrobců ve formátu Acrobat Reader (.PDF), popř. i PostScript (PS) a HTML. Obsahují úvodní stránku, shrnující charakteristické rysy obvodu, blokové schéma, obrys pouzdra s popisem číslovaných vývodů pomocí několikaznakových zkratk jejich funkce (viz Příl. 2), tabulku s popisem funkce vývodů, popis funkce celého obvodu, někdy i vč. potřebných vztahů a teoretických základů, u programovatelného obvodu (např. A/D převodník) způsob programování jeho funkcí (popis adresace, registrů atd.) vč. příp. časových diagramů signálů, měřicí zapojení pro hlavní charakteristické hodnoty, někdy i typická zapojení vč. podprogramů obsluhy programovatelných obvodů nejběžnějšími mikrořadiči. Na konci bývá přehled pouzder, teplotních rozsahů a příp. výběrových tříd, ve kterých se obvod dodává, s příslušným typovým označením.

Desky plošných spojů a jejich osazování

Většina elektronických zařízení je sestavena z mnoha součástek, které v něm musí být nějak upevněny a jejich vývody musí být podle schématu vodivě spojeny buď přímo, nebo vodičem. Nízká hmotnost i malé mechanické namáhání většiny součástek zpravidla nevyžaduje zvláštní mechanické upevnění (např. šroubovým nebo lepeným spojem), takže již od nepaměti prováděné měkké pájení vývodů cínovou pájkou slouží jak k vodivému připojení, tak k upevnění součástky. Ačkoliv je možno jednodušší zapojení vyrobit na pájecí svorkovnici nebo na izolační desce opatřené nýty, pájecími očky, měděnými ploškami popř. paticemi, není tento postup reálný jednak u složitých zapojení, jednak u moderních integrovaných obvodů v miniaturních pouzdrech s roztečí vývodů (vzdáleností od sebe) 1,27 mm nebo dokonce 0,64 mm, nemluvě o nemožnosti automatizovat alespoň částečně výrobu takového zařízení. Řešením je použití *desek plošných spojů* (DPS; PCB – printed circuit boards). Zpravidla se jedná o základní desku z nevodivého materiálu, na níž jsou vytvořeny plošky pro připájení součástek a na které jsou po jedné, nebo více stranách zhotoveny měděné cesty (spoje), jež realizují elektrické spojení příslušných vývodů navzájem. Na Obr. 0-3 je příklad takové desky před osazením součástek. Provedení DPS se dělí podle použitých materiálů, podle prostředí použití, podle hustoty spojů v návrhu atd.

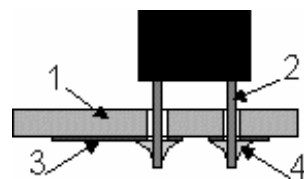


Obr. 0-3 Příklad DPS

Rozdělení DPS podle počtu vrstev

Jednovrstvé DPS (Obr. 0-4)

Všechny vodivé cesty i pájecí plošky pro připájení součástek (souhrnně se nazývají motiv) jsou pouze na jedné straně DPS. Jedná se o nejjednodušší provedení, na jedné straně základního nosného materiálu (poz. 1) jsou vytvořeny vodivé cesty (poz. 3), součástky (poz. 2) se osazují ze strany kde není motiv tak, že se vývody prostrčí otvorem v DPS a pomocí pájky (poz. 4) se připájí. Výhodou jednostranných DPS jsou nízké výrobní náklady – vzhledem k tomu, že není třeba prokovovat otvory, velmi často se lisují, což výrazně snižuje cenu – dále snadná opravitelnost, možnost strojního pájení (součástky nezakrývají motiv) a snadné testování. Nevýhodou jsou naopak omezené možnosti návrhu, neboť ne vždy je možno realizovat všechny spoje tak, aby se nekřížily (což se v omezeném množství řeší pomocí drátových propojek), a dále fakt, že vinou smrštnění mědi a cínu na jediné straně DPS dochází k zakřivení větších desek. S těmito DPS se velmi často setkáváme u běžné spotřební elektroniky, u silnoproudých aplikací a případně tam, kde více než o elektrické propojení jde o mechanické upevnění součástek v určité poloze.



Obr. 0-4

Dvouvrstvé DPS (Obr. 0-5)

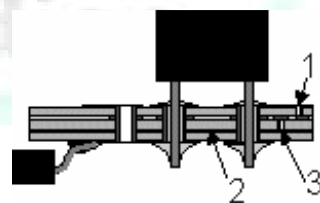
Motiv vodivých cest i pájecích plošek je vytvořen na obou stranách DPS; v takovém případě je nutno zajistit i průchod signálu z jedné strany DPS na druhou (poz. 3), takže všechny otvory jsou prokoveny, t.j. stěny otvorů jsou po vyvrtání pokryty vrstvou mědi. Součástky je teoreticky možno osazovat z obou stran, nicméně na stranu pájení se většinou umísťují pouze povrchově montované součástky SMD (poz. 5) (Surface Mounted Devices), které se pájejí na plochu, nikoliv do otvorů. Výhodami této technologie jsou snazší návrh, možnost lepšího využití plochy DPS jak pro součástky, tak pro spoje, minimální zakřivení DPS (při srovnatelné ploše spojů po obou stranách). Mezi nevýhody je třeba zařadit řádově náročnější technologii a tedy vyšší cenu DPS, zhoršení opravitelnosti (je-li defekt pod tělem součástky) a zhoršení testovatelnosti (některé plošky mohou být jen na jedné straně). Setkáváme se s nimi u složitější spotřební elektroniky, u jednodušších zásuvných desek do PC atd..



Obr. 0-5

Vícevrstvé DPS (Obr. 0-6)

Motiv je realizován na více vrstvách. Zjednodušeně lze říci, že jde o více dvouvrstevných DPS proložených izolačním materiálem (poz. 2) a za tepla slisovaných k sobě. Za povšimnutí stojí i moderní technologie „slepých“ děr (poz. 1 – buried; průchod z jedné vrstvy na jinou je realizován pouze na vnitřních vrstvách), případně „ztracených“ děr (poz. 3 – blind; otvor začínající na vnější vrstvě nevede skrz, ale jen do některé vnitřní vrstvy). Vnitřních vrstev se využívá nejen na rozvod signálů, nýbrž i na rozvod napájení – je-li např. zemnicí potenciál rozveden po celé ploše příslušné vrstvy, vytváří se tak i stínící vrstva pro snížení vlivu elektromagnetického vyzařování, případně vytváří blokovací kapacitu. Výhodou, kromě uvedeného využití, je i možnost realizovat velmi složitá schémata. Mezi nevýhody je třeba zařadit opět vyšší cenu a neopravitelnost takovýchto DPS. Jejich uplatnění je v oblastech, kde je třeba na malý prostor umístit mnoho spojů a obvodů, případně do vysokofrekvenčních aplikací – základní desky do PC, zásuvné desky PC, mobilní telefony, palubní počítače automobilů atd..

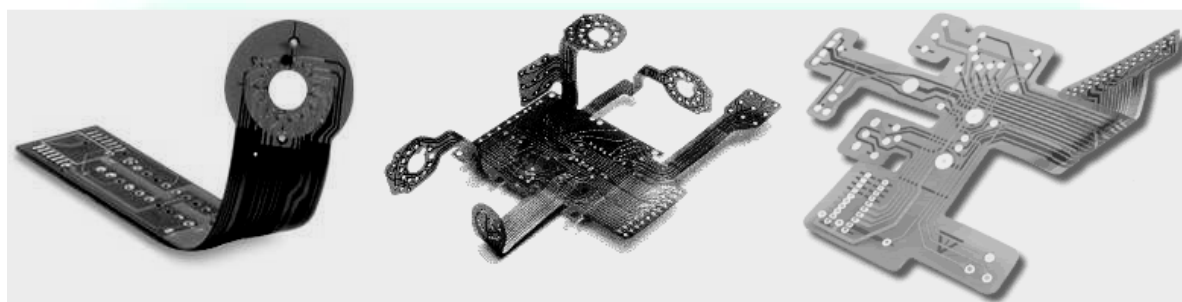


Obr. 0-6

Další pohledy na DPS

Nosný materiál

DPS si obvykle představujeme jako tuhý, neohebný materiál (rigid); nosným materiálem mohou být tvrzené papíry, skelné lamináty, aramidová vlákna, polyimidy, případně i tepelně dobře vodivý hliník a pod. V některých zařízeních však není tuhost základního materiálu žádoucí – DPS slouží nejen jako nosič součástek, nýbrž i jako náhrada kabelů. Takovéto DPS se nazývají *ohebné* (flex) – viz Obr. 0-7. Základním materiálem jsou PET, PEN nebo polyimidy, jejich podíl na trhu DPS neustále roste a nalézt je můžeme ve fotoaparátech, ve videokamerách a videorekordérech, v tiskárnách, přístrojových deskách automobilů atd., všude tam, kde složitý tvar přístroje neumožňuje použití tuhých DPS, nebo kde jsou i tradiční kabely příliš rozměrné, těžké a náročné na výrobu a osazení. Výhodou je, že celá elektronika se osadí a ožije „na rovném stole“ a jako fungující celek se složí do aplikace.



Obr. 0-7 Příklady ohebných DPS

Spojový motiv

Tloušťka měděné fólie (nalisované či nakaširované na základní materiál), jež tvoří motiv, je běžně 18 μm (ale používá se i 10 μm , 35 μm , 75 μm , 105 μm). Šířka spojů se mění podle proudových nároků a může být i mnoho milimetrů, pro běžné signály je to však v současnosti 0,25 mm, ovšem v předpovědích pro rok 2003 je to již pouze 0,1 mm. Otvary v DPS byly dříve určovány rozměrem vývodů součástek; s rostoucím podílem SMD součástek se otvary vyskytují zejména pro vytvoření průchodu z jedné vrstvy na jinou (vias) a trend vede ke zmenšování *vrtaných otvorů* z dnešních 0,5 mm k 0,1 mm, nemluvě o technologiích microvias, které umožňují vytvořit průchody o průměru 0,075–0,025 mm (!).

Postup výroby DPS

Jednovrstvé DPS se vyrábí poměrně snadno. Do základního materiálu se vyvrtají otvory (a lze je vrtat, či lisovat později), na vrstvu mědi se nanese ochranná vrstva v místech budoucího motivu (buď leptuodolná barva, nebo vrstva speciálního fotocitlivého fotorezistu). Nadbytečná měď je odleptána a po omytí (stripping) ochranné vrstvy je výroba hotova.

V případě dvouvrstvé (a obecně vícevrstvé) DPS je výroba složitější. Zmíněným postupem by totiž došlo k odleptání prokovení otvorů. Základní materiál je tedy na vrtačce vyvrtán a stěny všech otvorů jsou chemicky pokoveny. Na obě strany se nanese motiv negativně – je zakryta ta část motivu, kterou je třeba odleptat. Na plochu, která tvoří budoucí motiv, je nanesena vrstvička cínu (tedy i na stěny prokovených otvorů), který je odolný leptací lázni. Po omytí ochranné vrstvy je vidět pouze holou měď určenou k odleptání a cínem chráněný motiv. Po odleptání je nutno cín před dalšími výrobními kroky odstranit.

Nepájivá maska

Vzhledem k tomu, že při pájení součástek je nebezpečí vzniku zkratů pájecích plošek na okolo vedoucí spoje, opatřuje se povrch DPS vrstvou barvy, která zakrývá celý motiv právě

s výjimkou pájecích plošek. Tato vrstva se nazývá *nepájivá maska* (Stop Solder Mask) – setkat se můžeme s tradiční zelenou barvou, s maskami červenými, modrými i bílými. Nízká smáčitelnost této barvy zabraňuje vzniku zkratových můstků a snižuje i náchylnost DPS na zkrat v případě, že na motiv spadne nějaká vodivá nečistota.

Povrchové úpravy pájecích plošek

Povrchovou úpravou DPS rozumíme ochranu maskou nezakrytých pájecích plošek z důvodu oxidace čisté mědi. Zatímco dnes stále ještě vede technologie pokrytí pájecích plošek motivu DPS vrstvou pájky (o tloušťce do 20 μm - tzv. HAL; typický stříbřitě lesklý povrch), z důvodu potřeby rovného povrchu pro nejnovější SMD součástky se rozvíjí povlaky na organické bázi o tl. 0,5 μm (OSP – organic solder preservation) nebo na principu galvanického či chemického vylučování cínu, platiny nebo zlata (tl. 0,16 μm).

Potisk DPS

Potisk, někdy též *servisní tisk* (sítotisk, silkscreen print), se používá pro potřeby osazování a testování. Na motiv je ze strany, kde je umístěna součástka, nanесena vrstva barvy (bílá, žlutá ...), která symbolicky vyznačuje umístění součástky (nebo testovacího bodu) a většinou i její označení (např. R12). Osazovací pracovník tak přímo na DPS vidí, kam příslušná součástka patří, jak je orientována (dioda, integrovaný obvod ...); pracovník pověřený oživováním se snáze orientuje po DPS podle schématu zapojení. V době osazovacích automatů je význam potisku spíše pro kontrolu osazení součástek a pro oživování.

Obrysové opracování DPS

Při výrobě DPS se celý motiv obklopí technologickým okolím (jsou zde upevňovací otvory a další výrobní údaje) a deska se tedy vyrábí v tzv. technologickém přířezu (desky rozměrově malé se sdružují do jednoho technologického okolí). Závěrečnou operací (kromě testování) je tedy opracování obrysu na zadaný rozměr. U obdélníkových DPS se provádí stříhání na optických nůžkách. V případě, že vadí vzniklé otřepy, se zabrousí obrys. U členitějších tvarů, případně u DPS, kde je důležitá přesnost rozměru a opracování, se obrys frézuje. Další metodou je vyfrézování drážky po obou stranách DPS v místě hrany obrysu (scoring – řez je na Obr. 0-8); osazování součástek i pájení se provádí ve sdruženém formátu a na výsledný rozměr se nakonec dělí prostým lámáním. Samozřejmě je možno tyto technologie kombinovat.

Rozměry DPS nejsou obecně standardizovány; výjimkou jsou desky některých stavebnicových systémů, např. základní desky PC, desky měřicích systémů VXI a CompactPCI, různé stavebnice automatizačních prostředků, používajících např. desky rozměru tzv. eurokarty (160 × 100 mm²) nebo moduly PC/104 (99 × 90 mm²). Takové DPS jsou často opatřeny i standardně umístěnými konektory, takže mohou být zasunuty do vany nebo rámu a vytvářet tak i složitá, avšak modulově sestavená zařízení.



Obr. 0-8

Rozdělení součástek z hlediska osazování

Provedení součástek je rozdílné — podle typu se liší nejen počtem vývodů, ale i velikostí, použitými materiály a podobně. Z hlediska osazování součástek na DPS je však lze rozdělit na dvě velké skupiny:

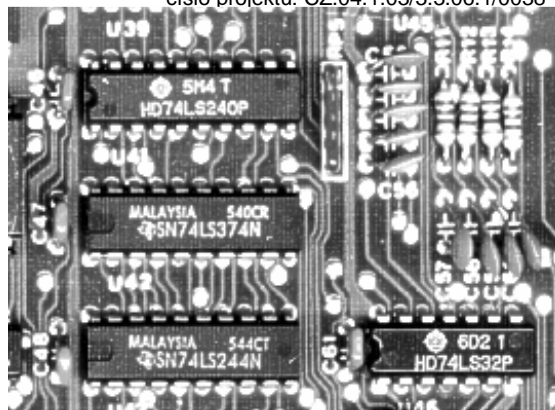
Součástky „klasické“ – někdy se označují jako THT (through-hole technology) (Obr. 0-9)

Do této skupiny patří všechny součástky s pouzdry, opatřenými nožičkami (pin) připájenými do průchozího otvoru v DPS. Tato technologie má v současné době snad jedinou výhodu, kterou je možnost snadného ručního pájení. Při automatizovaném osazování je třeba upravovat tvar a délku vývodů na správnou rozteč, problémem je i možnost uchopení

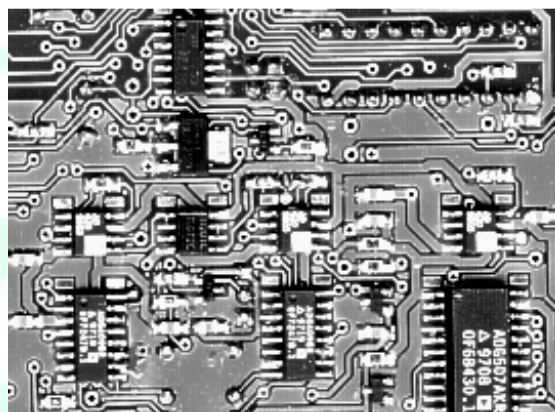
automatem. Na obrázku jsou vidět rezistory (označení R11, R12, ...), keramické kondenzátory v jejich blízkosti, blokovací kondenzátory u integrovaných obvodů, a integrované obvody TTL v pouzdrech DIP (Dual Inline Package).

Součástky povrchově montované – SMD (surface mounted devices) (Obr. 0-10)

Tyto součástky nejsou pájeny do otvorů, ale jsou připájeny na plošky na jedné z vnějších stran DPS. Na Obr. 0-10 (měřítko je stejné s Obr. 0-9 pro porovnání velikosti součástek) jsou vidět rezistory a kondenzátory v pouzdrech 0805, integrované obvody v pouzdrech SOIC, diody v pouzdrech SOT, ... Výhodou této technologie je přiblížení výsledného rozměru součástky rozměru čipu křemíku, zmenšení plochy DPS nebo její lepší využití, úspora místa DPS (díky absenci otvorů pro připájení vývodů je mnohem více místa na spoje, takže mohou být SMD součástky i proti sobě na obou stranách DPS), řádově snazší automatizované osazování (lehčí součástky, vývody není nutno prostrkovat otvory ...).



Obr. 0-9 Klasické součástky

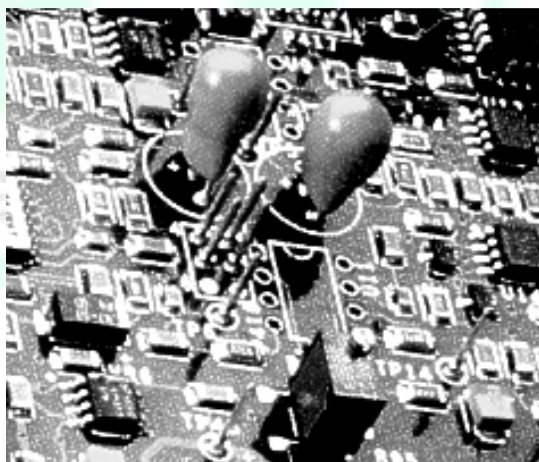


Obr. 0-10 SMD součástky

Metody pájení

Při osazování klasických součástek na DPS se většinou součástky umísťují po její jedné straně (označuje se jako strana součástek), po jejich osazení se všechny najednou zapájí ve speciálním stroji, kdy DPS je přesunuta přes lázeň roztaveného cínu (pájení vlnou).

Uvedený Obr. 0-11 nepředstavuje obvykle používanou konstrukci, neboť v případě kombinované montáže (klasické součástky s SMD) se obvykle SMD prvky umísťují na opačnou stranu DPS (na stranu pájení). Montáž SMD součástek se provádí dvěma technologiemi :



Obr. 0-11 Kombinovaná montáž

pájecí pastou (reflow)

Na všechny pájecí plošky SMD součástek je nanесena vrstva speciální pasty (např. i najednou sítotiskem), složené především z práškovité pájky a gelového tavidla. Do této hmoty osazovací automat vloží součástky a celá deska je vložena do pece, ve které se pasta přetaví a výsledkem jsou pájené spoje. Nevýhodou tohoto postupu je omezená možnost manipulace s DPS mezi osazením a přetavením – dočasné spojení není dostatečně pevné.

lepidlem + pájení vlnou

Pod součástku (mimo pájecí plošky) je umístěna kapka (nebo více) lepidla; součástka je umístěna automatem na požadovanou pozici a je v podstatě přilepena. Po vytvrzení lepidla není sice součástka vodivě spojena s motivem DPS, je však možno s DPS manipulovat bez nebezpečí posunu součástky po desce nebo jejího uvolnění. Následuje zapájení, například na vlně. Tato metoda je výhodná zejména pro kombinovanou montáž, kdy jedním průchodem DPS vlnou lze zapájet jak klasické součástky, tak SMD.

V poslední době se začíná prosazovat ještě jedna metoda připevnění křemíkového čipu k motivu DPS – DCA (Direct Chip Attach) / COB (Chip On Board). Čip se přiloží přímo na DPS, některou z možných metod je připojen k motivu a teprve potom je (přímo na DPS) zapouzdřen „ostrůvkem“ speciální hmoty (encapsulating).

Chlazení výkonových součástek

Ztrátové teplo je nutno z polovodičové součástky odvést do okolí tak, aby teplota přechodu resp. čipu nepřesáhla nejvyšší povolenou hodnotu ϑ_{JM} (j ... junction = přechod), která pro Si součástky bývá 155 °C. Podle základů vedení tepla pro ni platí

$$\vartheta_j = \vartheta_a + R_{\vartheta} P_{tot} \quad (0.1)$$

kde ϑ_a (a ... ambient) je teplota okolí a $R_{\vartheta} = R_{\vartheta i} + R_{\vartheta e}$ je celkový tepelný odpor, který se skládá ze složky $R_{\vartheta i}$ (internal) uvnitř pouzdra (z čipu na pouzdro, není nižší než 0,5 K/W) a z vnější složky $R_{\vartheta e}$ (external), t.j. z pouzdra do okolního prostředí, ať už při sdílení tepla vedením nebo prouděním. Podle tepelného odporu $R_{\vartheta i}$ se určuje katalogová maximální výkonová ztráta P_{tot} , t.j. s ideálním chlazením ($R_{\vartheta e} \rightarrow 0$), kterému se lze přiblížit pouze ponořením součástky do proudícího oleje. Za teplotu okolí součástek ϑ_a se nepovažuje teplota pokojová, nýbrž teplota vzduchu uvnitř zařízení za jeho provozu – obv. se uvažuje oteplení na 45 °C.

Pro velmi malé příkony může k rozptýlení tepla stačit *povrch pouzdra* ($R_{\vartheta p} \approx 10^1 \dots 10^2$ K/W, p ... package), ploška měděné folie na *DPS* (teplo se na ni přenáší širším vývodem součástky) nebo *chladičí křídélko*. Větší příkony vyžadují montáž na skříň zařízení nebo na chladičí plech či profilovaný *chladič* (obv. mat. Al) s tepelným odporem $R_{\vartheta h}$ (h ... heatsink), popř. ještě vybavený přídatným ventilátorem nebo tepelným výměníkem. Pouzdro musí být zpravidla od chladiče elektricky izolováno použitím izolačních průchodek pro šrouby a především tenkou *podložkou* (slída, nylon; kontakt se zlepší potřením ploch silikonovou vazelínou), takže se ještě uplatní přídatný tepelný odpor $R_{\vartheta s}$ (s ... separator) ve vztahu $R_{\vartheta e} = R_{\vartheta h} + R_{\vartheta s}$. Pro stanovení $R_{\vartheta h}$ jsou kromě tvaru a rozměrů chladiče důležité součinitele tepelné vodivosti jeho materiálu λ a přestupu tepla konvekcí h (povrchová úprava, orientace v prostoru, proudění vzduchu).

Příklad: plocha čtverec 1 dm², klidný vzduch

1. lesklý Al plech, tl. > 2 mm, visle

$R_{\vartheta h} = 8$ K/W

2. černěný masivní profilovaný Al chladič, hl. 50 mm

$R_{\vartheta h} = 1$ K/W

Počítačem podporovaný návrh elektronických zařízení

Vlivem rostoucí složitosti elektronických obvodů a zrychlováním vývoje již není myslitelný návrh elektronických systémů bez využití výpočetní techniky. V procesu vývoje a konstrukce elektronických zařízení se používají různé systémy CAD (Computer Aided Design) resp. CAE (Computer Aided Engineering), které více či méně pokrývají celý cyklus návrhu elektronického systému. Vzhledem ke složitosti celého procesu je někdy nutné použít při návrhu více návrhových systémů či jejich modulů. Díky otevřenosti návrhových systémů je pak možná snadná přenositelnost výsledků mezi jednotlivými moduly. Architektura

návrhových systémů se zpravidla skládá z následujících částí:

Editor schémat

Při kreslení schématu se kromě schématických značek součástek (symbolů) a spojů mezi jejich vývody (net) ukládají do databáze i hodnoty (value) dalších vlastností (property), jako je typ, pouzdro, dodavatel, model pro simulaci popř. i další vlastnosti zavedené uživatelem, které jsou všechny uloženy v knihovních souborech a mohou být používány v dalších modulech.

Editor spojů

Na základě souboru (netlist) vygenerovaného z databáze, který v tomto případě obsahuje odkazy na pouzdra součástek a popisuje spoje mezi jejich vývody, se rozmísťují pouzdra součástek (placing) a natahují plošné spoje (routing) buď ručně podle vyznačených, přímých spojových čar mezi vývody pouzder, nebo pomocí programu autorouter – vzhledem ke složitosti úlohy bývá automatický návrh kvalitní pouze pro některé, byť časté typy desek, např. vícevrstvé desky s výhradně číslicovými obvody.

Postprocesory pro přípravu výroby

Pro výrobu plošných spojů připraví soubory pro vektorovou nebo rastrovou osvitovou jednotku plochých filmů (fotoplotter) – nejen pro vlastní obrazec plošných spojů, ale i pro pájecí pastu, potisk, nepájivou masku – a pro souřadnicovou NC vrtačku děr nebo frézku. Některé systémy mohou generovat i program pro testovací automat. Zatím méně obvyklé je generování třírozměrného modelu osazených desek a celého zařízení nejen s kabeláží, ale i s návazností na vyšší celek (stroj, výrobní linka, dopravní prostředek apod.).

Návrh programovatelných obvodů

Vzhledem k rostoucímu používání programovatelných zakázkových obvodů v elektronických obvodech se stává běžnou součástí návrhových systémů modul pro návrh programovatelných obvodů. Vstupní popis požadované funkce je většinou zadáván pomocí jazyka HDL (Hardware Description Language) a výstupem je pak soubor ve standardizovaném formátu JEDEC, který slouží pro programování konkrétního programovatelného obvodu.

Pro návrh složitých programovatelných obvodů (např. FPGA) musíme použít specializované návrhové systémy, které jsou většinou jednoúčelové – zaměřené na konkrétního výrobce součástek. Funkce navrhovaných obvodů se zde zadávají pomocí standardizovaných jazyků vyšší úrovně (VHDL či Verilog), které se svou syntaxí blíží vyšším programovacím jazykům. Podrobněji se budeme návrhu programovatelných obvodů věnovat v kap. 3.

Simulátor obvodů

Pro urychlení a zlevnění vývoje je výhodné si navrhovaný elektronický systém vyzkoušet ještě před sestavením z fyzických součástek. K tomuto účelu slouží simulátory, které jsou schopny analyzovat některé analogové či číslicové funkce budoucího obvodu (výpočet stejnosměrného pracovního bodu, frekvenční analýza, analýza v časové oblasti, analýza vlivu tolerance parametrů součástek apod.). Vstup dat je většinou zajištěn provázaností s editorem schémat, výstupem simulátoru jsou pak tabulky hodnot či průběhy zadaných veličin v konkrétních bodech elektrického schématu, zobrazené grafickým postprocesorem.

Přesnost simulace úzce souvisí s kvalitou modelů (tj. určitou úrovní abstrakce chování), které simulátor při své činnosti používá. Většina používaných simulátorů je založena na matematických modelech jednotlivých komponent (součástek, funkčních bloků, podsystémů). Ve většině případů je tímto popisem soustava diferenciálních rovnic, jejichž řešení je v rámci námi stanovených mezí stejné jako chování reálného modelovaného systému. Je zřejmé, že pomocí modelu můžeme analyzovat jen ty vlastnosti a vztahy, které jsou v matematickém modelu zachyceny.

Mezi nejznámější a nejpoužívanější CAD software patří programy Formica, LSD2000, Eagle, Fly, v nejvyšší třídě pak CadStar, PADS, OrCAD Cadence a Mentor Graphics. Známými

simulačními programy jsou různé varianty výpočetního jádra SPICE, např. PSpice (nyní součástí OrCAD), dále Microcap a Electronic Workbench.

Vývoj elektronického zařízení

Vývoj elektronického zařízení vychází stejně jako v jiných odvětvích výroby či služeb především z tržních hledisek plánované výroby – z průzkumu potřeb a nasycení trhu, konkurenčních výrobků a příp. patentové ochrany jejich řešení, z možné koncové ceny, prodejních kanálů, volby záruční lhůty a zajištění servisu, dosažitelné efektivity výroby, podílu řešení vlastními silami a kooperací, návratnosti příp. investic na vývoj a prostředků na příp. patentovou ochranu apod. Jistým specifikem výroby elektroniky je velký rozsah možné opakovatelnosti výroby – od jedinečné, jednorázové realizace přes výrobu kusovou, malosériovou až po velkosériovou (tisíce kusů denně). Poznamenejme, že výroba některých elektronických součástek již spadá do výroby hromadné. Klíčovým kritériem se stává rychlost uvedení nového výrobku na trh, takže řada etap vývoje, přípravy výroby a zajišťování odbytu probíhá paralelně. Kritickým faktorem mohou být i dodací lhůty některých komponent; uvažuje se i využití příp. skladových zásob.

Vývoj tak propojuje soubor všech požadavků na funkci, parametry, design a způsob ovládání, na bezpečnost provozu, na klimatickou a mechanickou odolnost a otřesuvzdornost, na spolehlivost, životnost a opravitelnost, na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC), t.j. odolnost proti rušení i na vlastní odrušení, na omezení rozměrů, hmotnosti a příkonu s ekonomickými hledisky jak výroby, nastavení, seřizování, provozu a údržby, tak vývoje samotného.

Podle uvedených technických i ekonomických kritérií se elektronické výrobky rozdělují především na *průmyslové* (řídící a regulační technika, telekomunikace, složitější měřicí technika atd.) a *spotřební* (domácí audio- a videotechnika, domácí elektrospotřebiče, hračky, běžné PC, mobilní telefony, automobilová elektronika atd.). Vývoj a výroba *vojenské* (letecké, kosmické) a *lékařské* elektroniky má ještě svá další specifika.

Již v rámci zadání je nutno mít představu **ideového návrhu** s funkčním principem a odpovídajícím blokovým schématem – z literatury, podle obdobného zařízení nebo i vlastní, původní návrh. Jednotlivé bloky se pak konkretizují :

- a) *Schéma zapojení*
Přímé použití nebo modifikace schématu z literatury nebo z dokumentace podobných zařízení (je-li dostupná), využití dílčích bloků zcela odlišných zařízení, popř. vlastní návrh.
- b) *Hodnoty prvků*
Výpočtem podle základních zákonů elektrotechniky, podle empirických vztahů z literatury, na základě simulace nebo volba podle zkušenosti – často se totiž dají vypočítat pouze krajní meze, takže se použije kompromis např. mezi „rychlostí“ obvodu a jeho spotřebou, rozměrem součástky a jejím ohřevem apod.
- c) *Typy prvků*
Výběr z katalogů podle vypočteného nebo odhadnutého zatížení a podle požadavků na přesnost parametrů, klimatickou odolnost, životnost, stálost hodnot (stárnutí) apod. Co se týče mezních hodnot, podobně jako v jiných oborech se určují započtením koeficientu bezpečnosti.

Funkční vzorek slouží k ověření zapojení nových nebo modifikovaných obvodů resp. hodnot součástek. Zapojuje se buď bez pájení na nepájivém kontaktním poli nebo pájenými vodiči na desce plošných spojů s univerzálním rastrem a paticemi. Používají se klasické (tzn. nikoliv SMD) součástky a více prvků s nastavitelnou hodnotou (trimrů); možno použít jiné (např. méně stabilní) typy součástek. Vyzkouší se funkce obvodu a proměří se základní parametry. Napájení je obvykle z externího zdroje. Nesplňuje-li funkční vzorek zadání, je

nutno nejprve cíleně měnit hodnoty součástek, pak i schéma zapojení. V poslední době se vzhledem k používání prostředků CAD (odst. „*počítačem podporovaný návrh elektronických zařízení*“) a operativnosti výroby DPS („*desky plošných spojů a jejich osazování*“) přechází na zapojování funkčních vzorků na již konkrétně navržených DPS.

Prototyp již musí splňovat všechny požadavky zadání kromě těch, která nemají vliv na jeho funkci (povrchová úprava a potisk krytu apod.). Navrhnu se finální DPS – rozmístění součástek a vedení spojů může být kritické zejména u vysokofrekvenčních a rychlých číslicových obvodů. Ověří se všechny funkce a parametry přístroje za podmínek jeho skutečného provozu i při přetížení, provedou se (pokud lze) zkoušky odolnosti aj. Kontroluje se splnění předpisů bezpečnostních i norem EMC. Nutné změny v zapojení se v této fázi již provádějí obtížně a jsou velmi nákladné.

Zpravidla již souběžně s vývojem probíhá **příprava výroby**. Programy pro příp. osazovací a testovací automat se týkají výrobní linky DPS, často u externího specializovaného dodavatele. Připraví se výrobní dokumentace – především technologické postupy a předpisy sériové výroby (např. montáž rámu a krytů, zapojování kabeláže, mezioperační kontrola, testování, seřizování, ...) včetně požadovaných mezí měřených parametrů. Vývoj jednoúčelových testovacích a seřizovacích přípravků pro velkosériovou výrobu resp. vývoj programů a stanovení testovacích masek pro příp. automatizovaná měřicí a testovací pracoviště malosériové výroby musí probíhat paralelně s vývojem zařízení. Pochopitelně musí být zabezpečena i výroba potřebných mechanických dílů (lisovací a střížné nástroje, vstřikovací formy apod.).

Výrobní postup, přípravky, měřicí pracoviště a kvalita výroby se ověří výrobou omezeného počtu kusů při **ověřovací sérii**. Pokud výrobek spadá do příslušné kategorie, musí absolvovat zkoušky v akreditované zkušebně a získat potřebný atest. Nelze zapomenout ani na vhodné balení výrobku a jeho vybavení průvodní dokumentací a návodem k použití.

Zásady ožívání

Ožívání elektronického zařízení je postup, ve kterém se všechny jeho části postupně uvádějí do chodu, odstraňují se chyby, ověřuje se jeho funkce a provádí základní nastavení. Je vhodné se řídit některými osvědčenými zásadami :

1. Před připojením napájení zkontrolujeme zapojení podle schématu, zejména polaritu napájení a elektronických součástek. Pracujeme-li v týmu, kontrolu by měl provádět pracovník jiný, než který obvod zapojoval.
2. Zařízení zapojíme přes ampérmetry na napájecí zdroj. Pokud je vybaven regulovatelným elektronickým omezením odebíraného proudu, nastavíme ho na dvoj- až pětinasobek očekávané hodnoty. Jinak je nutno zvyšovat napájecí napětí od nuly nebo do napájení sériově zařadit omezovací rezistory. Překračuje-li napájecí proud výrazně očekávanou hodnotu, ožívání přerušíme a hledáme hrubou chybu v zapojení (zkrat, polarita diody) nebo vadnou součástku.
3. Po zapnutí kontrolujeme dotykem, zda se nepřehřívají polovodičové součástky a odpory. Opakujeme po několika minutách.
4. Zkontrolujeme všechna napájecí napětí ve všech důležitých uzlech a stejnosměrná napětí ve vybraných uzlech zapojení. Poté můžeme přistoupit k ověřování funkce zařízení, jeho nastavení a proměření.

Zásady hledání závad

1. Měříme stejnosměrné napětí vůči společnému vodiči ve všech důležitých uzlech zapojení a poté ve všech uzlech v okolí místa, kde byl zjištěn výrazný nesoulad změřené a očekávané (vypočtené resp. zvolené) hodnoty. Proudové větve obvodu kontrolujeme z úbytkem napětí na příslušných rezistorech.
2. Měřením napětí vůči jedné napájecí svorce na elektrodách součástek připojených ke společnému vodiči zkontrolujeme, zda jsou skutečně se společným vodičem a společnou svorkou zdroje spojeny.
3. Výstup každé bezvadné součástky musí odpovídat jejímu (byť i z hlediska celého obvodu nesprávnému) buzení.
4. Výměnu součástky nebo její přesné proměření (vyžaduje alespoň částečné vypájení) důkladně uvážíme, neboť může způsobit další závady (poškození nebo zkrat plošného spoje, utržení vodiče apod.). Měření součástky přímo v obvodu (pochopitelně bez napájení) může sloužit pouze k hrubé kontrole – je nutno uvážit vliv dalších pasivních prvků i možné otevření polovodičových přechodů, neboť běžné multimetry měří odpor napětím až 2 V.
5. Nejčastější závady jsou způsobeny chybou v obrazci plošného spoje nebo v propojení vodiče, řádově chybnou hodnotou součástky (především rezistoru), záměnou dvou rezistorů popř. kondenzátorů, obrácenou diodou nebo elektrolytickým kondenzátorem, pootočeným tranzistorem nebo integrovaným obvodem. Velmi časté jsou závady konkrétního kusu – přerušený plošný spoj nebo propojovací vodič, zkrat pájených bodů cínovým můstkem, studený spoj nebo zcela utržený vodič. Provádíme vizuální kontrolu, tah za součástky a vodiče, zkroucení desky. Méně časté je přelomení rezistoru a vada elektrolytického kondenzátoru, jen zřídka vnitřní vada (nové) polovodičové součástky. Nejčastěji se hledají studené spoje a mikroskopické trhliny plošných spojů, jakož i mimotolerantní součástky.
6. Místo zkratu na plošném spoji je možno hledat pomocí napájecího zdroje s omezením proudu a voltmetru s rozlišením alespoň 0,1 mV. Do obvodu se zkratem přivádíme co největší proud, který ještě nepřehřívá součástky resp. plošné spoje (až 1 A). Měřením úbytku napětí a jeho polaritu na jednotlivých spojích postupně od přívodu napájení je možno zjistit, kterými spoji zkratový proud teče a tak najít místo zkratu.
7. Obvod (popř. i napájecí zdroj) může kmitat v širokém spektru kmitočtů. Kontrolujeme osciloskopem nebo alespoň střídavým nízkofrekvenčním voltmetrem, který narozdíl od běžných multimetrů pro technické kmitočty (stovky hertz, nejvýše kiloherty) měří řádově do 10 MHz.
8. Neděláme ukvapené závěry a velké změny v obvodu. Přestane-li obvod po změně fungovat, vrátíme se zpět. Nesprávně-li se, hledáme chybu v místě posledního pájení. Důsledek každé změny se snažíme napřed odhadnout úvahou a potom potvrdit měřením. Případný rozpor vysvětlíme a svůj názor opravíme. Zásadně neděláme více než jednu změnu v jednom kroku. Než změnu akceptujeme, ověříme si návratem k předcházejícímu stavu, že pozorované zlepšení není náhodné. Akceptovanou změnu zakreslíme do pracovního schématu.

— — —

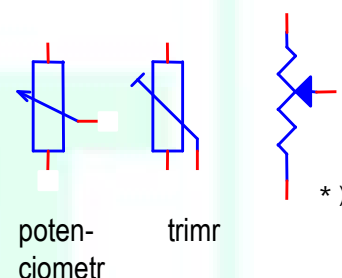
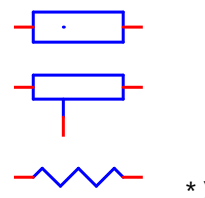
Elektronika může být stejně jako některé jiné obory vykládána problémovým přístupem, t.j. od zobecněných, typických funkcí obvodů či celých zařízení s následujícím výkladem toho, co je právě k pochopení jejich zapojení, parametrů apod. potřeba. Jiný přístup postupuje od starších, zpravidla jednodušších součástek a obvodů ke složitějším nebo se zdůrazňuje systémový přístup na obecně pojatých funkčních blocích. Praktický přístup upřednostňuje příklady schémat; další možností je zdůraznění funkce a vlastností jednotlivých součástek. V této kapitole výklad použití a základních zapojení převážně následuje v odstavci za výkladem součástky, nicméně některé obecnější partie jsou uvedeny v samostatných podkapitolách.

5.2. Pasivní součástky

V základech elektrotechniky se uvádějí vztahy pro výpočet hodnot pasivních obvodových prvků (R , L , C) z jejich geometrie a elektrických vlastností použitých materiálů. Realizace těchto ideálních prvků (t.j. součástky) vykazují i některé parazitní vlastnosti, což se vyjadřuje náhradními schématy, v nichž se objevují další ideální prvky.

Rezistory

Rezistor je součástka, která realizuje **(elektrický) odpor** R [Ω]. Říkáme, že „rezistor R má odpor x ohmů“. Běžně se však i pro součástku používá slovo „odpor“. Jedná se o nejběžnější a v diskrétním provedení nejčastěji používanou pasivní součástku. Jak vyplývá z Ohmova zákona, rezistorem se nastavuje proud tekoucí ze zdroje napětí nebo úbytek napětí v obvodu se zdrojem proudu. Zároveň se na něm mění elektrická energie na tepelnou – v provedení topných spirál, tyčí, vloček atd. (což ovšem nejsou elektronické součástky) je skutečným spotřebičem elektrické energie. Vyvíjené teplo zvyšuje jeho teplotu nad teplotu okolí, takže pro dané provedení (rozměry a materiál, určující maximální teplotu) je limitován maximální povolený **(jmenovitý) ztrátový výkon** P_z [W] jako mezní parametr, aby nedošlo k nevratné změně vlastností rezistoru, příp. až k jeho zničení („spálení“). Jako okolí se zpravidla uvažuje klidný vzduch o teplotě $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, což odpovídá provozem přiměřeně ohřátému vnitřku zařízení, umístěného v prostředí s pokojovou teplotou. Při tomto mezním výkonu, který je pochopitelně roven elektrickému příkonu, se rezistor ohřeje na vysokou teplotu a výrazně se sníží jeho životnost. Prakticky se typy rezistorů do obvodu vybírají tak, aby byly zatíženy na méně než polovinu jmenovité hodnoty ztrátového výkonu. Rezistor může být poškozen též přiložením velkého *napětí*, které u vysokých odporů ani nezpůsobí jeho výkonové přetížení. V některých obvodech to může vést i k ohrožení bezpečnosti obsluhy. Povrch rezistorů v klasickém provedení se chrání lakováním nebo smaltováním.



K charakteristickým parametrům rezistorů patří **teplotní součinitel odporu** [K^{-1}], který se na rozdíl od těžké fyzikální vlastnosti vodivých kovů neznačí α (s hodnotou řádově $4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$), nýbrž **TKR**. Udává se maximální hodnota (bez znaménka, které není určeno) v celém rozsahu pracovních teplot rezistoru, neboť závislost odporu na teplotě není lineární. Praktickou jednotkou je ppm/K (Part Per Million, t.j. 10^{-6} , na 1 kelvin).

Nelinearita rezistoru (napěťový součinitel odporu) je prakticky zanedbatelná, neuvažujeme-li pomalou změnu odporu se změnou teploty, vyvolanou vlastním ohřevem rezistoru.

Rezistory se vyrábějí jako

drátové

- odporový drát (konstantan, manganin) na keramickém tělísku (plný či pro vyšší P_z dutý válec)
- mají velkou indukčnost, pokud nejsou vinuty bifilárně (t.j. tam a zpět souběžně, takže se magnetické pole vyvolané stejným, avšak opačně tekoucím proudem ruší)

vrstvé

- uhlík C, kov (Ni-Cr, Si-Fe-Cr,...), kysličník kovu (SnO, SbO) nebo nitrid tantalu na keramickém tělísku (válec, destička, kvádr) – od rozměru $\varnothing 2 \times 6 \text{ mm}^2$ resp. $1,25 \times 0,5 \times 2 \text{ mm}^3$

- délka vrstvy může být prodloužena drážkou ve tvaru spirály nebo meandru broušením nebo vypálením laserem, což umožňuje dostavit odpor, avšak zvyšuje indukčnost

hmotové

- dřívě tyčinky z plniva, pojiva a např. grafitu
- v monolitických integrovaných obvodech z různě silně dotovaných vrstev polovodiče (libovolné, avšak jen menší hodnoty s velkou základní tolerancí), zabírají větší plochu než tranzistor, takže je snaha o minimalizaci jejich počtu a náhradu tranzistorovými zdroji proudu.

Podle nastavitelnosti rozlišujeme rezistory *pevné* a *proměnné*. Pokud se jejich odpor mění nástrojem (obv. šroubovákem) pro jednorázové či nepříliš často opakované seřízení obvodu, nazývají se **trimry**. Z praktického hlediska se rozlišuje, zda je osa nastavení kolmá na desku (provedení „naležato“) nebo s ní rovnoběžná („nastojato“). Jsou-li opatřeny hřídelí (standardně Ø 6 mm nebo Ø 4 mm) pro knoflík nebo úchytem pro hmatník a konstruovány na velký počet cyklů (bývá udáván v katalogu) při obsluze zařízení (např. nastavení hlasitosti), nazývají se **potenciometry**.

Poznámka *) u zobrazených značek označuje způsob značení používaný v USA a Japonsku.

Proměnné rezistory mohou být v provedení *posuvném* (např. též školní reostat), častěji jsou však *otočné* – standardně *jednotáčkové* (přesněji je aktivní rozsah natočení ca 220...300°), pro speciální účely v měřicích přístrojích, napájecích zdrojích, funkčních generátorech apod. i drahé *víceotáčkové* (zpravidla 10 otáček), někdy s přesnou stupnicí vč. indikace pořadového čísla aktuální otáčky. Průběh odporu dráhy potenciometru na úhlu natočení hřídele (příp. posuvu) je *lineární* (označení /N za hodnotou), *logaritmický* (/G, např. pro nastavení hlasitosti), příp. *exponenciální* (/E, měřicí přístroje aj.). Potenciometry mohou být i *tandemové*, t.j. dvojice se stejným odporem na jediné hřídeli (stereofonní zařízení, RC oscilátory aj.), a *dvojité*, t.j. dvojice příp. i různých hodnot, nezávisle otáčená soustřednými hřídeli (měřicí přístroje). Sledovaným parametrem je dovolená chyba linearity, u tandemových pak nesouběh obou drah (u logaritmických vyjádřený v decibelech). Logaritmické potenciometry s jednou nebo dvěma *odbočkami*, ke kterým jsou zapojené RC členy, slouží pro *fyziologickou regulaci hlasitosti*, t.j. ke zdůraznění krajů nízkofrekvenčního pásma (nízké kmitočty silně, vysoké slaběji) při nízko nastavené hlasitosti v souladu s proměnnou kmitočtovou citlivostí lidského ucha (hlasitost) při různé intenzitě zvuku. Doplnkem potenciometru může být *vypínač* (napájení, funkce měřicího přístroje), buď vypínaný v levé krajní poloze, nebo zapínaný povytažením hřídele.

Na velmi vysokých kmitočtech se může uplatnit mezizávitová *kapacita* a dokonce i u vrstevných rezistorů *indukčnost* šroubovice a příp. dlouhých vývodů.

Každý činný odpor je zdrojem *tepelného* (bílého, *Johnsonova*, *odporového*) **šumu** o napětí

$$U_{nt} = \sqrt{4k\Theta RB} \quad (0.2)$$

kde k je Boltzmannova konstanta ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$), θ termodynamická teplota a R odpor rezistoru a konečně B je šířka pásma, ve kterém se šumové napětí měří.

Parametry běžných rezistorů jsou souhrnně uvedeny v Tab. 0–1.

Tab. 0–1 Parametry rezistorů

veličina		min.	typ.	max.	jednotka	
CHARAKTERISTICKÁ						
odpor R		pevné	1R0		10M	Ω
		proměnné	100R; 1k0		1M0	Ω
	řada	pevné	E12	E24	E192	
		proměnné		E6; 1-2.5-5		
	tolerance	pevné	0,1	1; 5	10	%
		proměnné	1	10	30	%
TKR		10	50; 200	2000	ppm/K	
MEZNÍ						
ztrátový výkon P_z		pevné	0,125	0,5	50	W
		proměnné	0,1	0,5	5	W
	řada			1:2; 1-2.5-5		
napětí U		150	300	500	V	

Příklad 0–1 Teplotní závislost odporu

V měřicím obvodu je použit přesný rezistor 10 k Ω – typ s tolerancí 0,1 % a TKR = 50 ppm/K. V jakém rozsahu teplot nepřekročí změna odporu způsobená změnou teploty jmenovitou tolerancí rezistoru ?

Řešení :

Minimální změna od pokojové teploty, která může způsobit odchylku $\delta = 0,1 \%$, je $\Delta\vartheta = \delta / \text{TKR} = 1000 \text{ ppm} / 50 \text{ ppm} \cdot \text{K}^{-1} = 20 \text{ K}$, což odpovídá přibližně rozsahu teplot od 0 °C do 40 °C.

Kondenzátory

Alternativní cizí slovo **kapacitor** se příliš neujalo, neboť v češtině pojmy pro odlišení součástky a veličiny existují: kondenzátor \times **kapacita** C [F]. Kondenzátory se široce uplatňují jak ve střídavých, tak ve stejnosměrných obvodech. V obvodech střídavého proudu jsou kmitočtově závislou impedancí a posouvají vůči sobě napětí a proud (napětí se zpožďuje za proudem), což se uplatňuje m.j. ve fázovacích a rezonančních obvodech. Ve stejnosměrných obvodech pracují jako kapacity *filtrační* (filtrace pulzní složky usměrněného napětí), *blokovací* (snížení impedance pro příp. střídavou složku) a *vazební* (oddělují stejnosměrnou složku napětí mezi dvěma obvody). Na RC člancích může probíhat přechodový děj, který např. časuje překlápění klopných obvodů.

Protože je snahou vyrábět objemově co nejmenší kondenzátory, je dielektrická vrstva velmi tenká a může dojít k jejímu proražení i malým napětím. Proto je **(jmenovité) napětí** za dané teploty okolí pro kondenzátor stejným mezním parametrem jako ztrátový výkon pro rezistor. Běžně se udává napětí *stejnosměrné*, u fóliových kondenzátorů též *střídavé* – přirozeně



efektivní hodnota, která je menší než stejnosměrná výrazněji, než by odpovídalo příslušnému koeficientu $1/\sqrt{2}$.

Konstrukční principy a volba dielektrika mají zásadní vliv na charakteristické parametry kondenzátorů, což je především kmitočtově závislý **ztrátový činitel $\text{tg } \delta$** . Značí se též **D** (zejména v anglosaské literatuře), udává se často jen pro jediný kmitočet f (50 Hz resp. 100 Hz, popř. 1 kHz). Je definován poměrem činného a jalového výkonu na kondenzátoru :

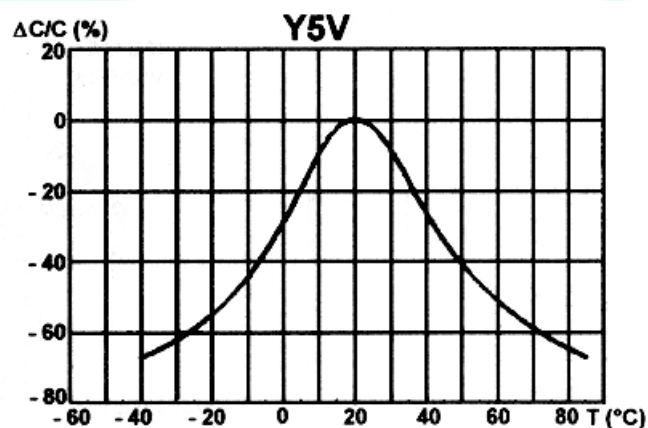
$$\text{tg } \delta = \frac{P}{Q} = \frac{1}{2\pi f R_{\text{Cp}} C} \quad (0.3)$$

Činný výkon (spíše příkon) způsobují dielektrické ztráty a (zpravidla menší) ztráty svodovým odporem – oboje se vyjadřuje jediným ekvivalentním odporem paralelního náhradního schématu kondenzátoru R_{Cp} . Méně často se používá sériový náhradní obvod, který přirozeně vede na jinou hodnotu i vztah pro R_{Cs} .

Analogicky s rezistory je definován **teplotní součinitel kapacity TKC $[\text{K}^{-1}]$** . Závislost u některých druhů kondenzátorů není monotónní – má bod obratu okolo pokojové teploty (viz Obr. 0-12). Pokud je přesto nutno teplotní nestabilitu kapacity vyjádřit jednou hodnotou, vyjadřuje se TKC jako směrnice úhlopříčky obdélníku opsaného okolo charakteristiky (ve zkoumaném rozsahu).

Keramické kondenzátory

Mají tvar disků nebo téměř čtvercových polštářků (výjimečně i trubiček) malých rozměrů – průměr nebo hrana od 3 mm do 12 mm – s dielektrikem z keramických materiálů s výrazně odlišnými vlastnostmi. Vysoká permitivita materiálu (ϵ_r mezi 10^2 až 10^4 , $C \geq 10$ nF) způsobuje velkou toleranci, nízkou teplotní stabilitu, napěťovou nelinearitu, polarizační efekty, hysterezi i kmitočtovou závislost (až řádový pokles kapacity s kmitočtem), takže se tyto kondenzátory hodí pouze na pozice blokovacích a vazebních kondenzátorů v obvodech pracujících s kmitočty do 1 MHz. Materiály s nižší permitivitou jsou kvalitnější, takže kondenzátory ($C \leq 1$ nF) je možno použít i ve vysokofrekvenčních rezonančních obvodech.



Obr. 0-12 Závislost kapacity keramického kondenzátoru na teplotě

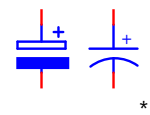
Keramické kondenzátory mají malou sériovou indukčnost a průměrný svodový proud. Vyrábějí se i v SMD pouzdrech.

Fóliové kondenzátory

Jsou tvořeny dvěma metalizovanými fóliemi svinutými v pouzdrech rozměrů značně rozdílných, ve tvaru válce (vývody axiální) či kvádra (vývody na jedné straně). V SMD provedení se vyrábějí pouze omezeně. Kondenzátorový papír (označení MP) se již téměř nepoužívá, takže se někdy nazývají *plastové* podle použité fólie z polystyrénu, polyesteru, polypropylénu, polykarbonátu nebo teflonu při ϵ_r řádu jednotek. Některé typy mají špičkové parametry z hlediska minimálních ztrát i při vyšších kmitočtech, jiné minimální dielektrickou polarizaci a vysokou linearitu nebo zase velmi malý svodový proud. Používají se např. v signálových filtrech, oscilátorech, funkčních generátorech, jako integrační kapacity v A/D převodnících a vazební kapacity v jakostních nízkofrekvenčních obvodech.

Elektrolytické kondenzátory

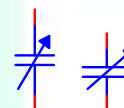
Na rozdíl od předešlých bipolárních kondenzátorů se někdy nazývají *unipolární*, neboť se mají používat pouze se **správnou polarizací** v obvodu, kde je též stejnosměrné napětí. Dielektrikem je totiž velmi tenká vrstva *kysličníku hliníku* nebo *tantalu* (kvalitnější a dražší), vytvořená anodickou oxidací na povrchu *anody*, tvořené fólií nebo spékaným práškem (velký aktivní povrch jako např. u živočišného uhlí nebo v plicních sklípcích). Separátor, oddělující anodu od válcového pouzdra, tvořícího kontakt *katody*, je napuštěn elektrolytem. Velká aktivní plocha a tenké dielektrikum, byť s běžným $\epsilon_r \approx 10$, zajišťují elektrolytickým kondenzátorům velkou kapacitu na jednotku objemu a nízkou cenu, alespoň při nevelkých mezních napětích. Na druhé straně nepřesně definovaná geometrie znamená velké tolerance. Kladný vývod je vždy ten, který z pouzdra vychází axiálně izolační průchodkou, nebo delší z obou radiálních (jednostranných) vývodů.



Elektrolytické kondenzátory dosáhnou plné kapacity a minima trvalého svodového proudu až po mnoha hodinách formování napětím správné polarity, nesprávná polarizace naopak dielektrikum odformuje a po delší době může vést až k explozi vyvíjených plynů, stejně jako průraz překročením mezního napětí (správné polarity). Nesvědčí jim vyšší teploty, které snižují životnost i kapacitu především typů s tekutým elektrolytem (vysychání). Výrazná je i *napěťová nelinearita*. Používají se jako filtrační v síťových zdrojích stejnosměrného napájení, jako blokovací a vazební v nízkofrekvenčních obvodech, jako časovací apod. Speciální nízkonapěťové kondenzátory s kapacitou jednotek faradů slouží jako *záložní zdroje* elektronických zařízení s velmi malou spotřebou při výpadku napájení (též při přemísťování s dočasným odpojením od sítě), výměně baterií apod.

V obvodech bez stejnosměrné polarizace se používají *bipolární elektrolytické kondenzátory*, které si lze zjednodušeně představit jako dva standardní elektrolytické kondenzátory v jednom pouzdře, zapojené antisériově.

Analogicky k rezistorům existují kapacitní **trimry** (max. 200 pF, běžně do 50 pF), např. pro doladování rezonančních obvodů nebo kmitočtovou kompenzaci odporových děličů, a **proměnné kondenzátory** (max. 500 pF) pro ladění rezonančních obvodů v přijímačích a generátorech. Oba druhy mohou být *vzduchové*, první z nich též keramické a druhé fóliové. Otočný (proměnný) kondenzátor představuje soustava desek rotoru, zasouvající se mezi půlkruhové desky izolovaného statoru, takže se mění účinná plocha. Rotor může mít desky nejen půlkruhového tvaru, takže závislost kapacity na natočení nemusí být lineární. Otočné kondenzátory bývaly až 4-násobné (měly 4 sekce), běžné jsou dvojité. Pracovní úhel 180° bývá často převodován do několika otáček pro jemné ladění. Jedná se o rozměrnou a drahou, spíše mechanickou součástku, nyní nahrazovanou varikapy (viz odst. „Varikap“).



Kondenzátory v *monolitických obvodech* zaujímají na čipu relativně velký prostor, a proto patří k velice drahým součástkám (např. oproti tranzistorům). Reálně dosažitelné velikosti kapacit se pohybují maximálně v desítkách pikofaradů. Ve většině případů se používají následující dva způsoby realizace:

- Kapacita ochuzené vrstvy závěrně polarizovaného PN přechodu (jako u varikapu) – plošná kapacita je závislá na přiloženém napětí a pro napětí 1 V se pohybuje okolo 920 pF/mm²; při napětí vyšším než 7 V se však přechod prorazí.
- Kapacita metalizace vůči dotovanému polovodiči – výhodou je vysoké průrazné napětí (ca 40 V); kapacita je zhruba 360 pF/mm².

Používané kapacity (A/D převodníky, obvody se spínanými kondenzátory) bývají řádu desetin pikofaradů, v dynamických pamětech (kap. 2) pak ještě daleko nižší.

V provedení SMD jsou k dispozici i elektrolytické tantalové kondenzátory s kapacitou do 100 μF.

Parametry běžných kondenzátorů jsou souhrnně uvedeny v Tab. 0–2.

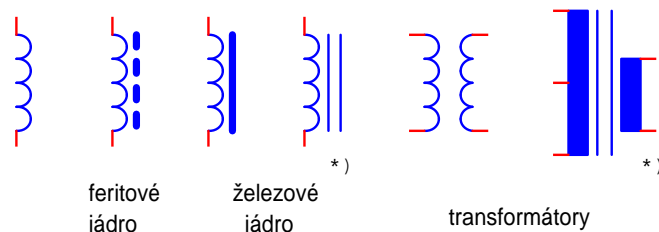
Tab. 0–2 Parametry kondenzátorů

veličina		min.	typ.	max.	jednotka
CHARAKTERISTICKÁ					
kapacita C	keramické	1p0		330n	F
	fóliové	100p; 1n0		10μ	F
	elektrolyt.	100n; 1μ0		47m; 1	F
	řada	keramické	E6	E12	
		fóliové	E6	E12	
		elektrolyt.	E3; 1-2-5	E6	
	tolerance	keramické	5	20	–20 +80 %
		fóliové	5	10	20 %
		elektrolyt.	20	–50 +100	%
TKC	keramické	30		5000	ppm/K
	fóliové	30		200	ppm/K
	elektrolyt.	neudává se			
tg δ	keramické	0,001		0,05	
	fóliové	0,001		0,01	
	elektrolyt.	0,05		0,5	
izolační odpor	keramické	10 ⁸		10 ¹⁰	Ω
	fóliové	10 ¹⁰		10 ¹⁴	Ω
	elektrolyt.	10 ⁴		10 ⁷	Ω
MEZNÍ					
napětí U	keramické	25	500	1000	V
	fóliové	50	160	1000	V
	elektrolyt.	6,3		450	V
	řada		R5	speciální	

Cívky a transformátory

Alternativním cizím slovem pro cívku je **induktor**, i když to znamená také (na cívce založené) zařízení pro generování vyššího střídavého napětí např. pro vyzvánění v telefonním systému místní baterie. Cívky jsou analogicky s kondenzátory kmitočtově závislou impedancí (pro stejnosměrný proud se uplatní pouze odpor vinutí),

posouvají vůči sobě střídavé napětí a proud se stejným využitím, avšak s opačným znaménkem (proud se opoždí za napětím) než kondenzátory. Cívka je tedy jednak realizací **vlastní indukčnosti** L [H], jednak vytváří magnetické pole (např. relé, stator motoru), zatímco u *transformátoru* se uplatňuje **vzájemná indukčnost** M [H] a jeho převod se ve sdělovací technice posuzuje spíše podle transformace impedance než napětí a proudu. Galvanické oddělení obvodů transformátorem se uplatní při výrazně rozdílném potenciálu obvodů (např. buzení hradel tyristorů/triaků) a pro zamezení rušení po společném vodiči (např. na stanicích počítačové nebo telefonní sítě).



Výpočet vlastní indukčnosti z geometrie cívky je obecně velmi složitý, neboť závisí na dráze magnetických siločar, nicméně existují některé zjednodušené případy a odpovídající vztahy (např. pro toroid nebo solenoid). Obecná je závislost indukčnosti na *relativní permeabilitě* μ_r materiálu jádra a na druhé mocnině *počtu závitů*.

Cívka je navinuta izolovaným drátem (smalt, lak, popř. opleť) na kostře s příp. jádrem, může však být i samonosná. Protože drát může mít i velmi malý průřez (řada začíná na $\varnothing 0,06$ mm), je mezním parametrem stejnosměrný (**jmenovitý**) proud, který nezpůsobí nevratné poškození součástky (např. termoplastové kostry nebo izolace) nadměrným ohřevem.

Charakteristickým parametrem je především minimální **činitel jakosti** Q :

$$Q = \frac{1}{D} = \frac{2\pi f L}{R_{Ls}} \quad (0.4)$$

kde odpor sériového náhradního obvodu cívky vyjadřuje kromě stejnosměrného odporu vinutí též ztráty (hysterezní, příp. i vířivými proudy) v příp. feromagnetickém jádře a povrchový jev (skin efekt) ve vodiči. Posledně jmenovaný jev se u cívek pro velmi vysoké kmitočty snižuje použitím leštěného a stříbřeného drátu s velkým průměrem. Pokud má cívka (magneticky měkké) jádro, může být *feritové* (spékané prášky kyslíčků kovů, především železa) s maximální počáteční permeabilitou μ_{ri} až 10^4 nebo *kovové* (s převahou železa, doplněného křemíkem, nebo s vysokým podílem niklu či kobaltu) s μ_{ri} až 10^6 . Jádra způsobují nelinearitu *závislosti indukčnosti na proudu* cívkou i její *teplotní závislost*, značnou u feritových materiálů, nižší u kovových.

Co se týče tvaru, může jít o tyčinky, trámky (např. feritové antény), šroubovací jádra do kostřiček, toroidy, uzavřené hříčky nebo o rozmanité tvary složené z feritových profilů či transformátorových plechů, a to příp. se vzduchovou mezerou. Šroubovací jádra kostřiček a hříčků umožňují indukčnost více či méně nastavit (obdoba kapacitních trimrů, ale s menším rozsahem).

Dalším charakteristickým parametrem cívek je *elektrická pevnost* – maximální efektivní napětí, které nezpůsobí průraz izolace mezi závity vinutí. Protože vinutí cívek s vysokou

indukčností je tvořeno až tisíci závitů (stovky metrů) tenkého drátu, je charakteristickým parametrem i maximální (stejnoseměrný) *odpor vinutí*.

Cívky i sdělovací transformátory se vyrábějí často až podle požadavků a zejména kmitočtového rozsahu konkrétního zařízení – mohou mít řadu vinutí (transformátory) nebo odboček (cívky). Sériově se vyrábějí konstrukční díly (kostry, jádra, transformátorové plechy, kryty, montážní úchyty), často dodávané v soupravách, a již hotové sestavy rezonančních obvodů (t.j. vč. kondenzátorů) pro vybrané kmitočty, především pásmové propusti tzv. mezifrekvenčních zesilovačů.

Tlumivky – t.j. cívky s jedním, méně často dvojitým vinutím bez odbočky – se vyrábějí v různém provedení především pro vysokofrekvenční filtraci stejnosměrného napájení a pro odrušení (např. motorů, spínaných zdrojů, tyristorových/triakových regulátorů), a to i na velké proudy. V poslední době se vyrábějí malé feritové cívky s poměrně malým činitelem jakosti v axiálním i radiálním provedení v řadě E12, malé indukčnosti pro nízké proudy i v provedení SMD.

Obecně jsou však cívky i transformátory považovány za rozměrné, hmotné a drahé součástky a převažuje snaha se bez nich obejít i za cenu hledání úplně jiného obvodového řešení (piezokeramické filtry soustředěné selektivity, aktivní filtry a syntetické induktory s operačními zesilovači, optrony a modulační obvody pro galvanické oddělení).

Parametry některých cívek jsou uvedeny v Tab. 0–3.

Tab. 0–3 Parametry cívek pro sdělovací elektroniku

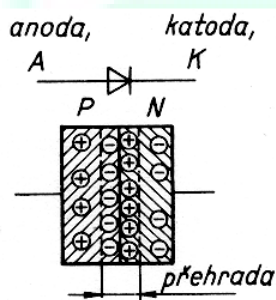
veličina		min.	max.	jednotka	
CHARAKTERISTICKÁ					
indukčnost L	filtrační	1μ	10m	H	
	obvodová	100μ	1	H	
	vř (rezonanční)	0μ1	1m	H	
	sériově vyráběné	rozsah	0μ1	33m	H
		řada	E6	E12	
		tolerance	5	20	%
jakost Q		10	200		
ss odpor		0R1	1k0	Ω	
teplotní součinitel α	feritová jádra	0,01	0,5	% / K	
MEZNÍ					
proud		0,03	10	A	

5.3. Diody

Diody jsou pasivní elektronické součástky se dvěma elektrodami (anoda, katoda), které vykazují *usměrňovací, ventilový účinek*, takže v propustném směru (forward), při polaritě vnějšího napětí anoda+ /katoda–, proud vedou, kdežto v závěrném směru (reverse), při polaritě opačné (anoda– / katoda+), proud nevedou. Voltampérová charakteristika ideálního „ventilu“ přechází ze záporné poloosy napětí na kladnou poloosu proudu. Některé typy diod se však využívají k jiným účelům než je usměrňování.

P-N přechod

Usměrňovací účinek vykazuje bariéra na rozhraní dvou (polo)vodivých oblastí odlišných vlastností – *polovodičový přechod P-N a přechod kov-polovodič*. Základním materiálem polovodičových součástek je co nejčistší monokrystal intrinsického (vlastního) polovodiče se 4 valenčními elektrony (dříve germánium Ge, nyní nejčastěji křemík Si, speciálně galiumarzenid GaAs), jehož atomy jsou v krystalové mřížce vázány pevnou kovalentní vazbou a malá vodivost (za běžné teploty) je způsobena pouze elektrony uvolněnými tepelnou energií. Extrinsický (t.j. nevlastní) polovodič typu P resp. N se vytvoří různými technologiemi dotování tzv. *akceptorem* (prvek se 3 valenčními elektrony, např. bór B, arzén As, antimon Sb) resp. *donorem* (prvek s 5 valenčními elektrony, např. fosfor P, galium Ga, indium In). Donor dodá polovodiči převahu nosičů negativního náboje – volných elektronů (polovodič N), akceptor zase virtuálních nosičů pozitivního náboje, tzv. *děry* (polovodič P), neboť jeho atom může snadno přijmout uvolněný elektron atomu základního prvku (např. Si). Postupným dotováním akceptory nebo donory je možné typ vodivosti v požadovaných částech základního materiálu měnit.



Obr. 0-13 Dioda

Principiální uspořádání (geometricky neodpovídající skutečnosti) přechodu P-N je na Obr. 0-13. Rozhraní musí být vytvořeno přímo v krystalu polovodiče předotováním (metalurgický přechod), nikoliv spojením dvou kusů polovodičů opačné vodivosti. Teorie polovodičů a funkce přechodu je záležitostí fyziky pevných látek a její výklad je poměrně složitý, pro praktické účely např. 4. Spokojíme se konstatováním, že v okolí přechodu vznikne oblast prostorového náboje, vytvářející

potenciálovou bariéru, která se při závěrné polarizaci přechodu zvyšuje, při propustné snižuje až zanikne, takže může téci proud.

Funkci ideálního přechodu popisuje *diodová rovnice* (W. Shockley)

$$I_A = I_s \left(e^{\frac{U_A}{U_T}} - 1 \right) \quad U_T = \frac{mk\Theta}{q} \quad (0.5)$$

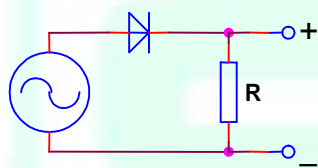
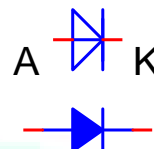
kde $1 < m < 2$ je technologická konstanta a q elementární náboj, takže při pokojové teplotě $\Theta \cong 300 \text{ K}$ a $m = 1$ je *teplotní potenciál* $U_T = 26 \text{ mV}$. Kladné hodnoty napětí na přechodu U_A a proudu přechodem I_A znamenají polarizaci přechodu v propustném směru, záporné hodnoty pak polarizaci v závěrném směru. Pro měřitelné proudy v propustném směru je $U_A \gg U_T$, takže lze jednotku v závorce zanedbat. Stručně lze říci, že při určité hodnotě napětí dochází ke strmému nárůstu proudu. *Nasycený (saturační) proud* $I_s \approx 10^{-9} \text{ A}$ je též teplotně závislý

$$\frac{I_{s2}}{I_{s1}} = e^{\gamma(\vartheta_2 - \vartheta_1)} \quad (0.6)$$

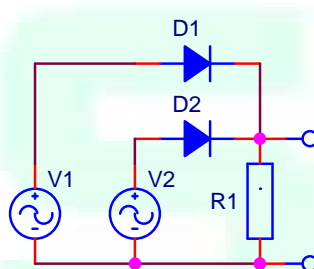
Technologická konstanta $\gamma = 0,06 \dots 0,1$ znamená, že nasycený proud křemíkového přechodu vzroste $2\times$ až $3\times$ na každých 10 K zvýšení teploty v pracovním rozsahu teplot polovodiče. Ze vztahů (0.5) a (0.6) se dá odvodit *teplotní koeficient napětí Si P-N přechodu v propustném směru* – pro běžné teploty, proudy a technologie vychází $\frac{\Delta U_F}{\Delta \vartheta} = -2,5 \dots -2,0 \text{ mV/K}$, tedy napětí s teplotou klesá. Pro praktické hodnoty napětí v závěrném směru ($U_A \ll 0$) je naopak exponenciální člen zanedbatelný vůči jednotce, takže přechodem teče *zbytkový proud* $I_R = -I_s$.

Dioda

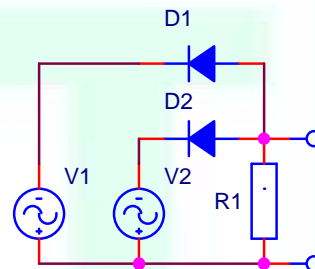
Předchůdcem detekčních diod byly krystalové detektory (1901), hrotové germániové diody se vyrábějí od r. 1945, výkonové křemíkové od r. 1958. Samotným názvem „dioda“ se zpravidla míní *dioda usměrňovací* či *spínací*, s P-N přechodem, v současnosti křemíková. Strana P přechodu je *anodou*, N *katodou* diody. Usměrňovače střídavého napětí do kmitočtu několika set kilohertz jsou součástí síťových napájecích zdrojů a měničů. DC-DC měniče jsou obvody, které mění hodnotu stejnosměrného napětí převodem na střídavé napětí, jeho transformací a usměrněním. Zapojení usměrňovačů se probírají v základech elektrotechniky. Nejjednodušší jednopulzní/jednocestné zapojení a tím i základní funkci diody připomíná Obr. 0-14. Diody se též integrují do usměrňovacích můstků (zpravidla atypická pouzdra, se 4 vývody), méně často po dvojicích do pouzder, typických pro výkonové tranzistory. Diody na menší proudy jsou běžně k dispozici v SMD provedení.



Obr. 0-14 Jednopulzní usměrňovač



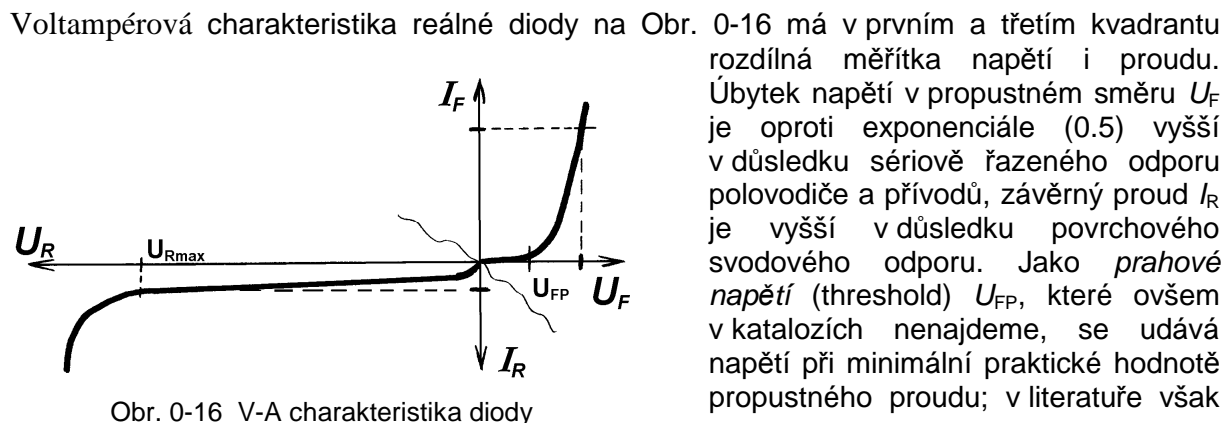
a) maximum



b) minimum

Obr. 0-15 Spínací obvody s diodami – výběr napětí

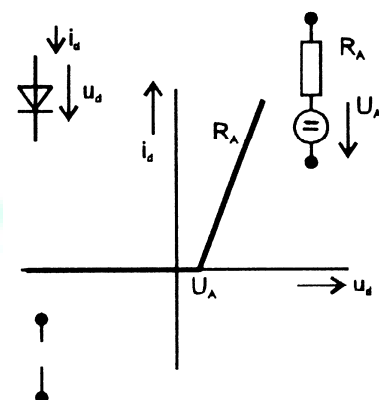
Za spínací se považují miniaturní diody v signálových, elektronických obvodech, kde nemusejí být periodicky komutovány, t.j. přepínány mezi závěrnou a propustnou polaritou. Jako příklad uveďme obvody pro výběr maximálního resp. minimálního napětí ze dvou zdrojů na Obr. 0-15. Podobná zapojení se používají pro funkce logického součtu (OR) resp. součinu (AND) v obvodech diodové logiky v číslicové elektronice (kap. 2).



Obr. 0-16 V-A charakteristika diody

Voltampérová charakteristika reálné diody na Obr. 0-16 má v prvním a třetím kvadrantu rozdílná měřítka napětí i proudu. Úbytek napětí v propustném směru U_F je oproti exponenciále (0.5) vyšší v důsledku sériově řazeného odporu polovodiče a přívodů, závěrný proud I_R je vyšší v důsledku povrchového svodového odporu. Jako *prahové napětí* (threshold) U_{FP} , které ovšem v katalogích nenajdeme, se udává napětí při minimální praktické hodnotě propustného proudu; v literatuře však

najdeme i vyšší hodnotu, odpovídající až významné hodnotě proudu – nazvěme ji prostě *napětím v propustném směru*. Při jmenovitém (mezním) proudu, který je přesněji definován jako *maximální dovolená střední hodnota* I_{FAV} (Forward Average Value), je ovšem úbytek napětí na diodě daleko vyšší. Součin napětí a proudu dává ztrátový výkon diody, který se stejně jako u rezistoru mění na teplo. Schopnost odvádět toto teplo je obecně určena pouzdem každé součástky (velikost, plocha) a okolním prostředím (vzduch/kapalina klidná/proudící), příp. i polohou (vodorovně/svisle). Maximální proud je dán plochou přechodu resp. průřezem vodivého kanálu (u tranzistorů FET, odst. „Unipolární tranzistory“). Poznamenejme, že určení I_{FAV} u usměrňovačů s filtračním kondenzátorem, u nabíječek akumulátorů i jiných podobných obvodů není triviální (nutno určit tzv. úhel otevření diody). Impulzně může být dioda namáhána řádově vyšším proudem I_{FSM} (Forward Surge Maximum). Obě vztažné hodnoty proudu („minimální“ a „významná“) pro stanovení napětí v propustném směru je nutno uvažovat v kontextu velikosti diody, tedy podle I_{FAV} , takže u malé spínací diody ($I_{FAV} = 0,1$ A) půjde o hodnoty např. 1 μ A a 5 mA, u velké usměrňovací diody ($I_{FAV} = 20$ A) pak např. 100 μ A a 1 A.



Obr. 0-17 Náhradní schéma a V-A charakteristika diody

V závěrném směru je V-A charakteristika diody omezena elektrickým průrazem, kde bez omezení proudu na řádově nižší hodnotu než je I_{FAV} dojde k poškození součástky – porovnej hodnoty činitelů ve ztrátovém výkonu $P_z = U_F I_F = U_R I_R$. Spokojíme se konstatováním, že se může jednat o dva různé jevy – lavinový nebo Zenerův (viz též odst. „Zenerova dioda“). Prakticky se nesmí překročit *maximální opakovatelné závěrné napětí* U_{RRM} (Reverse Repetitive Maximum) resp. *maximální neopakovatelné závěrné napětí* U_{RSM} (Reverse Surge Maximum) – obdoba I_{FSM} . Vyšších hodnot výrobci dosáhnou (kromě technologických zlepšení) zvýšením tloušťky polovodičového plátku. Pro *závěrný proud* I_R diod při napětí blízkém meznímu platí totéž, co pro prahové napětí – záleží na „velikosti“ diody.

Pro účely analýzy i syntézy obvodů se závěrný proud diody zanedbává (rozpojený obvod ve 3. kvadrantu Obr. 0-17) a V-A charakteristika v propustném směru se zjednodušuje lomenou čarou na základě *náhradního schématu* (Obr. 0-17 vpravo nahoře). Napětí ideálního zdroje U_A je právě tím charakteristickým napětím v propustném směru, odpor R_A odpovídá vybrané hodnotě *diferenciálního odporu* r_d , který je definován převrácenou hodnotou sklonu tečny k charakteristice v uvažovaném pracovním bodě P

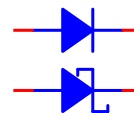
$$r_d = \left. \frac{\Delta U_F}{\Delta I_F} \right|_P \quad (0.7)$$

Ještě větším zjednodušením charakteristiky v propustném směru je představa konstantního (na procházejícím proudu nezávislého) úbytku napětí na diodě.

Hlavním **dynamickým parametrem** diod je *doba (závěrného) zotavení* t_{rr} (Reverse Recovery), která udává, jak rychle dokáže dioda po velmi rychlé komutaci napětí a za definovaných hodnot propustného i (dočasněho špičkového) závěrného proudu přepnout z propustného do závěrného směru a tedy blokovat průchod proudu. Po komutaci totiž krátkodobě teče proud, způsobený odváděním náboje, nahromaděného při průchodu proudu v propustném směru. Parametr t_{rr} je důležitý z hlediska velkého signálu – pro malý signál, většinou harmonický, ať už v propustném, či závěrném směru, charakterizuje diodu její *impedance*, t.j. zjednodušeně paralelní kombinace dynamického odporu a *kapacity*

přechodu. Jako detektory (usměrňovače) vysokofrekvenčního signálu řádu megahertzů až gigahertzů se používají *vysokofrekvenční diody* s malou plochou přechodu a tudíž malou kapacitou. Používají se proto i *hrotové diody*, jako jedny z mála ještě germaniové, v nichž je přechod vytvořen v oblasti bodového kontaktu drátku s polovodičem.

Schottkyho dioda



Schottkyho dioda využívá *přechod kov–polovodič* M-P resp. M-N (M = Metal), jehož princip funkce se poněkud liší od přechodu P-N. Polarita v propustném směru je $P+ | M-$ resp. $N- | M+$. Předností je přibližně $2,5\times$ *nižší napětí v propustném směru* než u odpovídající běžné diody. Naopak v závěrném směru jsou parametry horší – o několik řádů *vyšší závěrný proud* a s tím související *nižší závěrné napětí*. Bezkonkurenční jsou *dynamické parametry* – doba zotavení z principu neexistuje, stejně jako kapacita v propustném směru. Ostatní, okrajové jevy jako je indukčnost přívodů způsobují zpoždění téměř neměřitelná.

Schottkyho dioda se uplatní jednak v nízkonapěťových obvodech, kde každý úbytek napětí hraje roli, jednak v obvodech vysokofrekvenčních až do desítek gigahertzů. Typické je použití v DC-DC měničích na nízké napětí.

Hlavní parametry usměrňovacích a spínacích diod jsou uvedeny v Tab. 0–4. Nyní již téměř

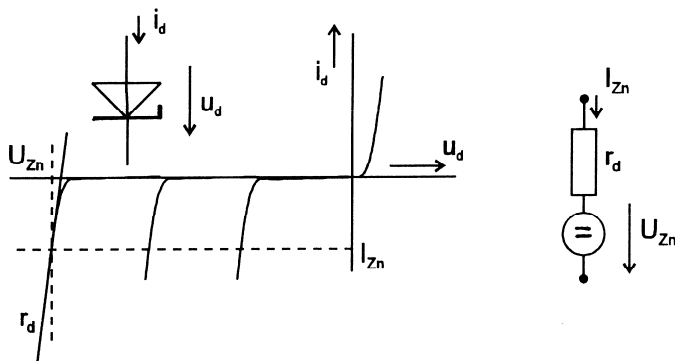
Tab. 0–4 Parametry Si diod pro sdělovací elektroniku (za pokojové teploty)

veličina	značka		min.	typ.	max.	jednotka
MEZNÍ						
střední hodnota propustného proudu	I_{FAV}		0,1		30	A
opakovatelné závěrné napětí	U_{RRM}	standard	50		2000	V
		Schottky	20		400	V
CHARAKTERISTICKÁ						
závěrný proud	I_R	standard	0,005		1	μA
		Schottky	0,5		100	μA
prahové napětí	U_{FP}	standard		0,4		V
		Schottky		0,1		V
napětí v propustném směru	U_F	standard		0,7		V
		Schottky		0,3		V
napětí v propustném směru při I_{FAV}	$U_F @ I_{FAV}$	standard	0,9		1,5	V
		Schottky	0,4		0,6	V
doba zotavení	t_{rr}	standard	10^{-9}		10^{-5}	s
		Schottky		10^{-12}		s
diferenciální odpor	r_d		10^{-2}		10^1	Ω

nepoužívané germaniové usměrňovací diody měly prahové i závěrné napětí blízké Schottkyho diodám, ale vzhledem k vyššímu vnitřnímu odporu byl na nich vyšší úbytek napětí. Poznamenejme ještě, že diody pro energetiku pracují při napětích až několik desítek kilovoltů a proudech řádu kiloampér.

Zenerova dioda

Zenerova dioda je optimalizována pro provoz v závěrném směru, v oblasti průrazu, který při nízkém napětí nastává na základě Zenerova jevu, při vyšším napětí lavinovým jevem. Mezní hodnotou je maximální závěrný proud, který je

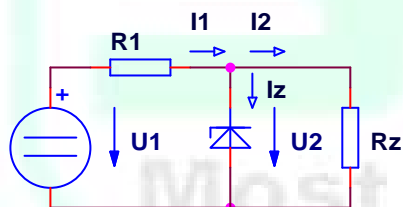


Obr. 0-18 V-A charakteristika Zenerovy diody

charakteristiky.

odvozen z výkonové ztráty P_z daného typu (několik hodnot od 0,1 W do 10 W) a závěrného (Zenerova) napětí U_z , charakteristického pro každý vyráběný subtyp v řadě E12 nebo E24 v rozmezí až 2...200 V (viz Obr. 0-18). Např. dioda BZX85V012 má $P_z = 1,3$ W a $U_z = 12$ V. Dalším charakteristickým údajem je *diferenciální odpor* r_{dz} ve vodivé oblasti závěrné části

V propustném směru má V-A charakteristika průběh shodný s běžnou Si diodou. Diody se jmenovitým napětím menším než 5,25 V nemohou z principu pracovat na základě Zenerova jevu – výrobci zřejmě zapojují více běžných diod v propustném směru do série, což je vidět i na méně výrazném ohybu a nízké strmosti charakteristiky. Zenerovo napětí je teplotně závislé – *teplotní součinitel napětí* $TKV < 0$ při Zenerově jevu, $TKV > 0$ při lavinovém jevu; maximální hodnoty jsou $|TKV| < 1000$ ppm/K. Při Zenerově napětí mezi 5,6 V až 6,0 V se uplatňují oba zmíněné jevy, takže pro určitou hodnotu je $TKV \rightarrow 0$.



Obr. 0-19 Stabilizátor napětí se Zenerovou diodou

Zenerova dioda se používá jako omezovač napětí (např. ochrana vstupů integrovaných obvodů), posouvač stejnosměrné úrovně napětí (mezi výstupem jednoho a vstupem druhého elektronického obvodu) a jako stabilizátor napětí – proto se nazývá též *stabilizační dioda*. V případě potřeby symetrické limitace se zapojí dva kusy antisériově. Funkce stabilizace napětí vyplývá z V-A charakteristiky za ohybem – i pro velké změny proudu diodou se napětí na ní mění velmi málo, neboť diferenciální odpor je malý.

Zapojení stabilizátoru napětí je na Obr. 0-19.

Příklad 0–2 Návrh stabilizátoru napětí

Navrhněte *stabilizátor napětí*, zařazený za síťovým zdrojem. Vstupní napětí U_1 se mění v důsledku kolísání síťového napětí ($\pm 10\%$) a proměnného odběru z filtračního kondenzátoru usměrňovače v rozmezí U_{1min} do U_{1max} , odebíraný proud od I_{2min} do I_{2max} řádu desítek miliampér. Výstupní napětí má být $U_2 \pm 5\%$, povolené kolísání napětí je $\pm 2\%$ – nejde o jeho výchozí toleranci, ale o jeho stabilitu. Určete očekávaný činitel stabilizace S .

Řešení (etapy viz odst. „Vývoj elektronického zařízení“):

Ideový návrh:

Požadované parametry lze zajistit nejjednodušším stabilizátorem se Zenerovou diodou (pouze 2 součástky). Tato volba vyžaduje, jak tomu u ideových návrhů bývá, určitou

zkušenost.

Schéma :

Schéma je jediné možné (Obr. 0-19).

Typy a hodnoty prvků :

Podle větvení proudu ve výstupním uzlu určíme přibližně $I_{Zmax} \cong I_{2max} - I_{2min}$, platí též $U_Z = U_2$. Z katalogu tedy vybereme typovou řadu Zenerových diod podle očekávané maximální výkonové ztráty $P_Z = U_Z I_{Zmax}$, konkrétní typ pak podle jmenovité hodnoty U_{Zn} , nejbližší požadovanému napětí U_2 . Poznamenejme si konkrétní hodnotu I_{Zmax} a diferenciální odpor r_d .

Mezní hodnoty odporu R_1 se vypočítají užitím Kirchhoffových zákonů a Ohmova zákona. První mezní stav nastává, je-li vstupní napětí maximální a odebíraný proud minimální. Proud diodou nesmí překročit hodnotu I_{Zmax} , takže dostáváme podmínku R_{1min} . Ve druhém mezním stavu je vstupní napětí minimální, avšak odebíraný proud maximální. Diodou však musí téci proud alespoň I_{Zmin} , aby ještě stabilizovala – pracovní bod musí zůstat za ohybem charakteristiky (Obr. 0-18); dostáváme podmínku R_{1max} . Hodnota I_{Zmin} nebývá v katalogu specifikována – obv. můžeme použít hodnotu proudu (pokud není příliš velká ve vztahu k I_{Zmax}), pro kterou je uváděno napětí U_{Zn} .

$$R_{1min} = \frac{U_{1max} - U_{Zn}}{I_{Zmax} + I_{2min}} \quad (1)$$

$$R_{1max} = \frac{U_{1min} - U_{Zn}}{I_{Zmin} + I_{2max}} \quad (2)$$

Hodnotu R_1 volíme blíže maximální hodnotě, aby stabilizátor neměl zbytečně velký odběr naprázdno a součástky se méně zahřívaly. Určíme výkonové zatížení P_{R1} rezistoru R_1 při maximálním vstupním napětí; jmenovité zatížení volíme alespoň 2× větší.

$$P_{R1} = \frac{(U_{1max} - U_{Zn})^2}{R_1} \quad (3) \quad S = \frac{\frac{\Delta U_1}{U_1}}{\frac{\Delta U_2}{U_2}} \quad (4)$$

Pro konkrétní hodnoty $U_2 = 6 \text{ V}$, $U_{1n} = 12 \text{ V}$ $\begin{smallmatrix} +30\% \\ -10\% \end{smallmatrix}$, $I_{2min} = 0$, $I_{2max} = 20 \text{ mA}$ vybereme Zenerovu diodu BZX83V006.2 s hodnotou $P_Z = 0,5 \text{ W}$, $U_{Zn} = 6,2 \text{ V}$ (řada E24 s tolerancí 5 %), $I_{Zmin} = 5 \text{ mA}$ a $r_d = 6 \Omega$ (typ.). Vypočítáme $I_{Zmax} = P_Z / U_{Zn} = 80 \text{ mA}$.

Po dosazení do (1) a (2) vyjde $R_{1min} = 118 \Omega$, $R_{1max} = 184 \Omega$, volíme z řady E12 hodnotu 180R nebo 150R. Maximální zatížení rezistoru 150R je $P_{R1} = 0,59 \text{ W}$, volíme typ na 1 W nebo raději na 2 W.

Činitel stabilizace S , který se určuje z naměřených hodnot dle (4), odhadneme podle děliče $R_1 - r_d$ na $S \cong R_1 / r_d = 25$, takže při změně $\Delta U_1 / U_1 = 40 \%$ dostaneme podle (4) výstupní kolísání $\Delta U_2 / U_2 = 1,6 \%$.

Vnitřní odpor stabilizátoru R_i odhadneme na r_d (přesněji dle Théveninova teorému: $r_d \parallel R_1$), takže pokles výstupního napětí odběrem proudu bude činit $\Delta U_{21} = R_i I_{2max} = 0,12 \text{ V}$, což představuje 2 % z U_2 .

Dá se tedy očekávat, že kolísání napětí nepřekročí zadanou toleranci 4 %. Střední výstupní napětí bude o něco vyšší, než bylo požadováno.

Varikap

Varikap je podobně jako Zenerova dioda diodou optimalizovanou pro provoz v závěrném směru, ovšem z hlediska výrazné závislosti *kapacity na napětí* $C_T = f(U_R)$, která má u diod tvar (C_{T0} , U_0 a n jsou regresní konstanty)



$$C_T = \frac{C_{T0}}{\left(1 - \frac{U_R}{U_0}\right)^n} \quad (0.8)$$

Používá se k ladění rezonančních obvodů a oscilátorů, především v přijímačích. Varikapy se často dodávají ve dvojici nebo čtveřici s definovanou maximální chybou souběhu závislosti (0.8). Maximální kapacita při minimálním pracovním napětí 3 V (u moderních 1 V) je $C_{\max} = 20 \dots 300$ pF, maximální napětí je 30 V (u moderních pro bateriově napájené přijímače stačí 6 V), poměr $C_{\max} : C_{\min} = 3 \dots 20$, takže se jimi dá přeladit celý vlnový rozsah rozhlasu (VKV, SV) nebo sousedních pásem televize (srovnej s Thompsonovým vztahem (0.47) pro rezonanční kmitočet).

Svítivá dioda



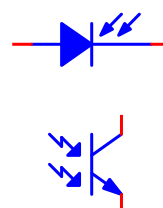
Dioda, nazývaná dříve i *elektroluminiscenční*, je známa téměř jen pod zkratkou **LED** (Light Emitting Diode), neboť průchodem proudem (v propustném směru) emituje světlo. Dlouhodobě se vyrábějí (levné) typy s *červeným*, *zeleným* a *žlutooranžovým* světlem, dále *infračervené* LED, v současnosti však nabídka předních výrobců pokrývá všechny barvy včetně bílé. Podobně pestrý je sortiment tvarů svítící části pouzder (čirých či barevných) – kulatá (\varnothing 1,8, 3, 5, 8, 10, 20 mm), obdélníková, trojúhelníková, šipky, segmenty 7-segmentových displejů až do výšky číslice 150 mm. V jednom (čirém) pouzdru mohou být i dva různobarevně svítící čipy buď s jednou z elektrod vyvedenou samostatně, takže součástka může svítit červeně, zeleně i oranžově (napájené oba čipy), nebo zapojené antiparalelně s pouhými dvěma vývody, takže při jedné polaritě svítí červeně, při druhé zeleně.

Úbytek napětí na LED je vyšší než u běžných diod ($U_F = 1 \dots 3$ V, typ. okolo 1,5 V), naopak dovolené závěrné napětí je velmi malé (i jen 5 V). Diferenciální odpor v propustném režimu je nižší než u běžných diod, takže se LED dají použít též ke stabilizaci malých napětí. Pracovní proud je od 2 mA do 100 mA, typicky 8...20 mA. Kromě standardního sortimentu se vyrábějí typy *nízkopříkonové* (2 mA) a *vysocesvítivé* (svítivost až 10 cd).

Řada použití LED je všeobecně známá: signalizace na všech možných přístrojích a zařízeních, velké displeje 7-segmentové (např. hodiny a teploměry) i maticové (běžící informační a reklamní texty), osvětlení varovné (na bicykl, brzdové svítilny automobilů, semaforey) i přímé. Méně nápadné je použití infračervených LED ve fotozávorách dálkových (např. turnikety metra) i koncových (např. disketové mechaniky, tiskárny) a v dálkovém ovládání výrobků spotřební elektroniky.

Laserové diody jsou již typickými *optoelektronickými součástkami*. Mají malý vyzařovací úhel, takže se jejich paprsek hodí jako snímací v CD a DVD mechanikách, ve svítících bodových ukazovátkách a v zabezpečovacích fotozávorách. Díky vysoké koherenci (zde infračerveného) záření se uplatní jako širokopásmové vysílače přenosu informací světlovodnými vlákny. Charakteristickými údaji jsou *vlnová délka* záření λ [nm] a *optický výkon* P_{opt} [mW] při jmenovitém napájení.

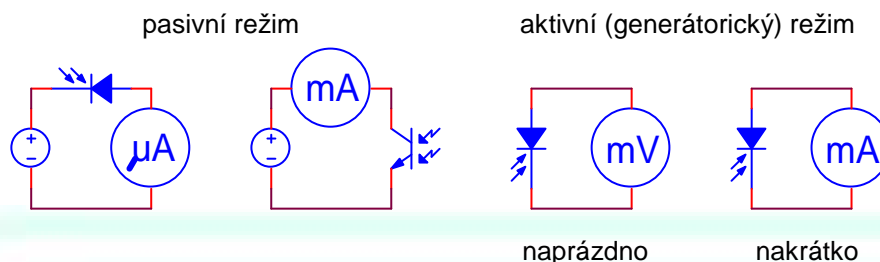
Fotodioda a fototranzistor



U **fotodiody** a **fototranzistoru** se využívá závislosti proudu nebo napětí na *osvětlení* E [lx , $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] P-N přechodu. Další významnou vlastností je *poměrná spektrální citlivost* S_λ [-], která je dána především použitým polovodičem.

V *pasivním režimu* se mění závěrný proud fotodiody nebo propustný proud fototranzistorem (Obr. 0-20), v *aktivním (generátorickém) režimu* přeměňuje fotodioda světelnou energii na elektrickou o napětí typicky 0,45 V (Si). Principiálně stejné solární články (t.j. z monokrystalického polovodiče) mají nejvyšší konverzní účinnost, ale i cenu.

Fotodiody a fototranzistory se uplatňují jako přijímače světla ve všech výše zmíněných aplikacích, ve kterých jsou LED a laserové diody vysílači světla. Dále slouží k měření osvětlení (luxmetry, expozimetry) a snímání infračerveného záření při bezdotykovém měření

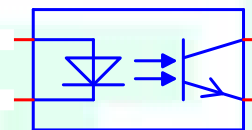


Obr. 0-20 Měřicí zapojení fotodiody a fototranzistorů

teploty (pyrometry).

Optron

Zatímco ve výše zmíněné koncové fotozávoře jsou LED a fototranzistor odděleny šěrbinou, do níž se zasouvá praporek, připevněný k pohyblivému dílu, v optronu (optočlen, optocoupler, photocoupler) jsou zapouzdřeny v minimální vzdálenosti, která zabezpečí *galvanické oddělení* obou obvodů s elektrickou pevností 0,5...10 kV (mezni parametr). Závislost proudu kolektoru (tranzistor viz odst. „Tranzistor“) na proudu LED $I_C = f(I_D)$ je nelineární, v pracovním rozmezí proudů (např. $I_D = 0,5...20$ mA) však může být charakterizována *proudovým převodním součinitelem* $CTR = I_C / I_D$ s hodnotou 20...200 %. Optrony s Darlingtonovým zapojením (odst. „tranzistorové spínače“) mají CTR až 4000 %. Mezní kmitočet běžných typů je řádu stovek kilohertz, speciální typy pracují až do desítek megahertzů. Některé jsou vybavené vestavěným tvarovačem a převodníkem na logické úrovni TTL číslicové elektroniky (viz kap. 2), neboť tak jako tak přenášejí převážně logický signál (sepnuto × rozepnuto).



Optrony s nižším izolačním napětím jsou zapouzdřeny v pouzdrech DIP nebo SMD (vstup na jedné, výstup na druhé straně), a to až 4 současně. Optrony se používají pro galvanické oddělení nebezpečného napětí, plovoucích měřicích obvodů a rušivých zemních smyček. Dvojitě optrony se zaručeným souběhem, zapojené do zpětnovazebního obvodu s operačním zesilovačem (odst. „Operační zesilovače“), mohou pracovat jako oddělovač analogového signálu s chybou linearit menší než 0,01 % a mezním kmitočtem až 1 MHz.

Optoelektronické součástky ve srovnání s jinými polovodičovými součástkami za provozu sice velmi pomalu, avšak měřitelně stárnou – snižuje se jejich konverzní účinnost.

5.4. Tranzistory

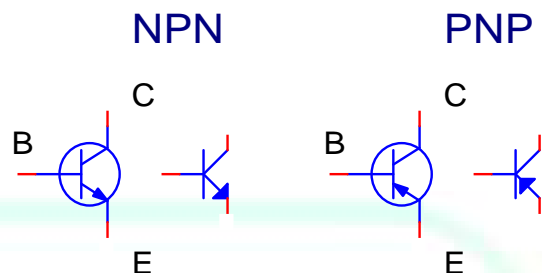
Tranzistory (zkrácením TRANSfer resISTOR) jsou aktivní elektronické součástky (zpravidla) se třemi elektrodami. První hrotový germaniový tranzistor byl vyvinut v r. 1948 (nositelé Nobelovy ceny z r. 1956 J. Bardeen, W. H. Brattain a W. Shockley).

Pojem *aktivní* součástka na rozdíl od pasivní znamená, že *zesiluje výkon*, je *řízeným zdrojem*, tedy malým výkonem na vstupu ovládá (řídí) větší výkon na výstupu z příkonu,

dodávaného pomocným napájecím zdrojem. Přitom jedna ze tří elektrod tranzistoru je z hlediska signálu společná vstupnímu i výstupnímu obvodu dvojbranu. Může se jednat o zesílení spojitého signálu (zesilovače, oscilátory) nebo o dvoustavové ovládání VYPNUTO (nevede proud) × ZAPNUTO (vede proud) v řídicí/regulační technice (spínače) a v číslicové technice (logické obvody, klopné obvody, viz kap. 2). Zesílení výkonu dosahují tranzistory buď zesílením napětí, nebo proudu, nebo obojího současně.

Bipolární tranzistory

Bipolární tranzistor (Bipolar Junction Transistor – BJT) se skládá ze tří různě silně dotovaných oblastí se střídajícím se typem vodivosti (buď N-P-N, nebo P-N-P), které tak tvoří 2 těsně uspořádané P-N přechody (viz principiální Obr. 0-21). Nosiči proudu jsou jak elektrony, tak díry – proto bipolární tranzistor. Z hlediska uspořádání polovodiče se tedy rozdělují na tranzistory typu **NPN** a **PNP**. Tranzistory NPN se vyrábějí v širším sortimentu a mají o něco větší „rychlost“ a zesílení než PNP, což souvisí s tím, že většinovými (majoritními) nosiči v nich jsou rychlejší elektrony.



Tranzistorový jev spočívá v tom, že nosiče náboje emitované z nejvíce dotované oblasti nazvané **emitor (E)** do tenké **báze (B)** (historicky podle základní destičky (base) v hrotových tranzistorech) ve své většině procházejí závěrně (!) polarizovaným přechodem a jsou „sbírány“ nejméně dotovaným, avšak největším **kolektorem (C)**. Množství nosičů proudu, které projdou z emitoru do kolektoru, lze ovládat proudem propustně polarizovaného přechodu B-E. Zřejmě platí

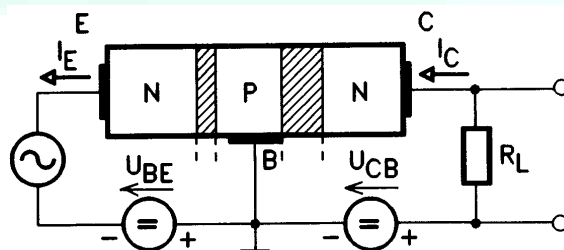
$$I_E = I_C + I_B \quad (0.9)$$

První prakticky použitelné, plošné germaniové tranzistory byly vyrobeny v r. 1950, křemíkové tranzistory se používají od r. 1957, integrované obvody číslicové od r. 1960 a analogové od r. 1963.

Zapojení na Obr. 0-21 odpovídá historicky prvnímu z používaných zapojení – se **společnou bází (SB)**, ve kterém pro **proudový zesilovací činitel α**

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad (0.10)$$

platí $\alpha < 1$ a $\alpha \rightarrow 1$, avšak napěťové zesílení je značné, neboť v kolektorovém obvodu může být vzhledem k velkému napájecímu napětí zdroje U_{CB} i velký pracovní odpor R_L , na kterém vzniká při změnách proudu kolektoru velký úbytek napětí. Zapojení SB se již používá pouze ve speciálních vysokofrekvenčních obvodech a pro méně běžnou transformaci impedance z malé na velkou hodnotu.



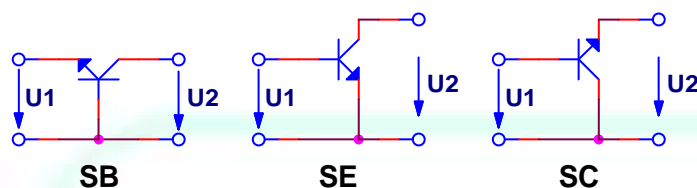
Obr. 0-21 Principiální zapojení bipolárního tranzistoru

Základním zapojením je zapojení se **společným emitorem (SE)** (Obr. 0-22), jehož (stejnoseměrný) **proudový zesilovací činitel β**

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (0.11)$$

je hlavním charakteristickým parametrem bipolárního tranzistoru v **normálním aktivním režimu**. V zapojení se **společným kolektorem (SC)**, které se uplatňuje jako proudový zesilovač s velkou vstupní a malou výstupní impedancí, se žádná samostatná veličina zesílení nezavádí.

Vstupní, převodní a výstupní charakteristiky bipolárního tranzistoru se tedy kreslí v zapojení SE, obvykle do sdruženého grafu kolem společného osového kříže, s různými měřítky napětí i proudů na vodorovné i svislé ose. Důvodem je dříve rozšířené používání graficko-početních



Obr. 0-22 Základní zapojení tranzistoru

metod při výpočtu obvodů s nelineárními prvky, při nichž toto uspořádání umožňuje snadno přenášet pracovní bod mezi kvadranty sdružených charakteristik. Ve 4. kvadrantu se obvykle zpětná převodní charakteristika nekreslí, neboť závislost vstupního napětí na výstupním je zanedbatelná.

Příklad sdružených charakteristik Si tranzistoru malého výkonu pro všeobecné použití je na Obr. 0-23.

Průběh *vstupní charakteristiky* potvrzuje, že mezi bází a emitorem je P-N přechod jako u diody, polarizovaný v propustném směru. Pouze napětí jsou asi o 0,1...0,3 V vyšší než u diod. Vstupní a převodní charakteristiky bývají udány pouze pro jednu hodnotu parametru U_{CE} .

Převodní charakteristika není zcela lineární – pokud bychom vynesli závislost $\beta = f(\log I_C)$, viděli bychom, že proudové zesílení je ve střední části nejvyšší a pro proudy malé (řádu 10^{-6} až 10^{-4} A) i velké (od ca desetiný maximálního) klesá třeba i na třetinu.

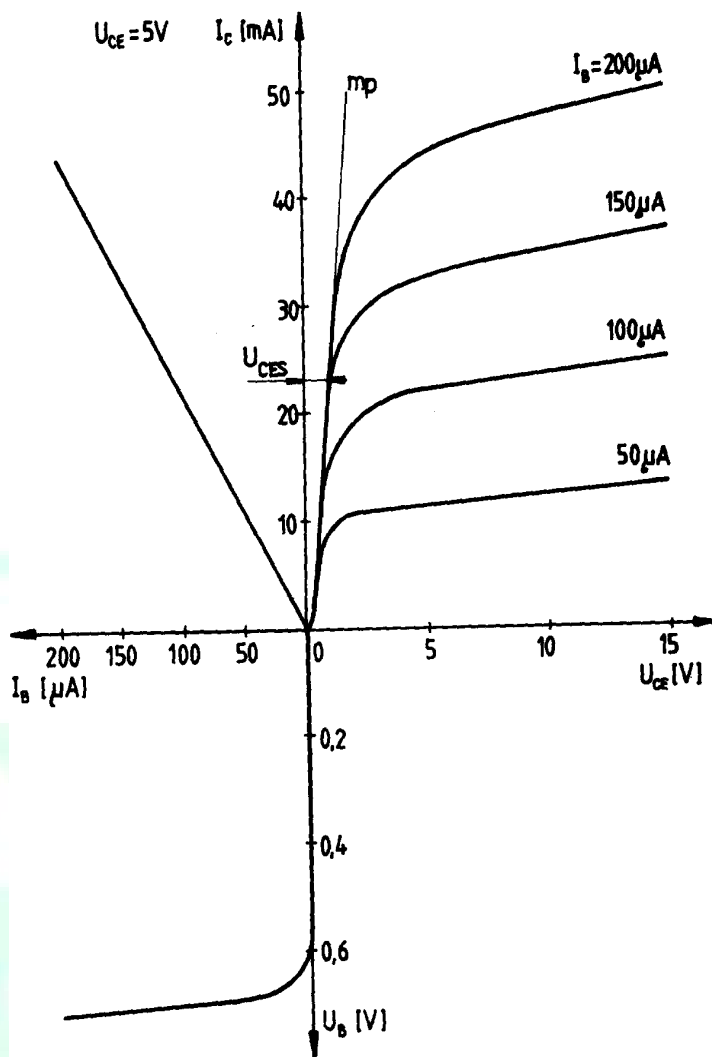
Výstupní charakteristiky, uváděné pro několik proudů I_B jako parametr, jsou od určité hodnoty napětí U_{CE} na I_B již málo závislé, takže se přibližují charakteristice zdroje (= stabilizátoru) proudu. Říkáme, že se bipolární tranzistor chová z pohledu ideálních aktivních obvodových prvků jako *zdroj proudu (kolektoru) řízený proudem (báze)*.

Společné části charakteristik spadají do tzv. *mezní přímky* „mp“, která udává zbytkové, *saturační napětí* U_{CES} , t.j. úbytek napětí (např. 0,2 V) na zcela otevřeném tranzistoru pro daný proud kolektoru. Počátek (mez) tohoto **režimu saturace (nasycení)** je dán dějem uvnitř polovodiče, při kterém v důsledku velkého proudu báze přestane být přechod B-E polarizován v závěrném směru, t.j. $U_{CB} = 0$, resp. prakticky $U_{CE} = U_{BE}$. Příslušnou křivku (čárkovane na Obr. 0-52, kde oblast saturace označena S) je možno do výstupních charakteristik zakreslit přenesením odpovídajících bodů ze vstupní charakteristiky. V saturaci ovšem proudové zesílení β podstatně klesá, takže pro dosažení mezní přímky (= plné saturace) je nutné přivést do báze proud ca $2\times$ až $5\times$ vyšší než v normálním aktivním režimu (pro stejný proud I_C). Zároveň až řádově déle trvá vypnutí tranzistoru po přerušení proudu do báze.

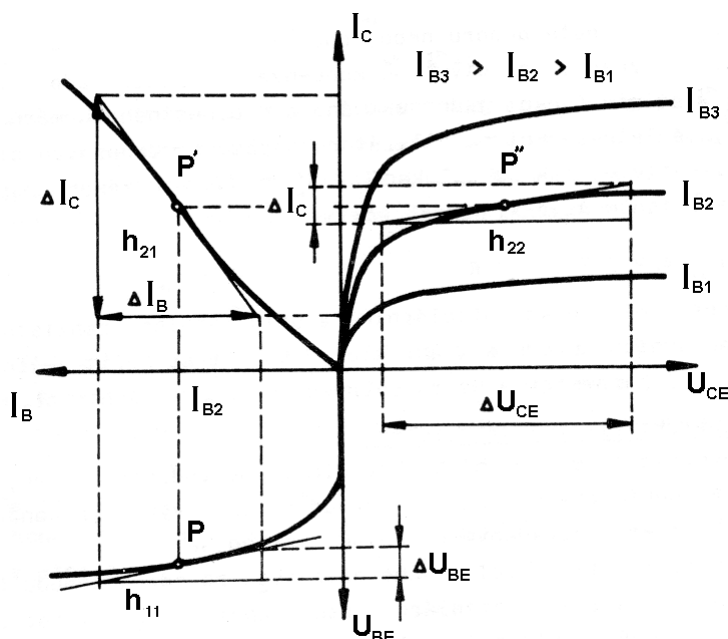
Při $I_B = 0$ protéká kolektorem zbytkový proud I_{CE0} , u Si tranzistorů za pokojové teploty zanedbatelný. Tranzistor je v **nevodivém režimu**, je vypnut. Dokonce je vhodné spojit bázi s emitorem, neboť pak protéká kolektorem ještě řádově menší zbytkový proud I_{CB0} .

Pro úplnost dodejme, že tranzistor může pracovat i v *inverzním aktivním režimu*, ve kterém je zaměněn emitor za kolektor. Proudové zesílení je však nejméně o řád nižší, stejně jako možné napájecí napětí. Toto atypické zapojení se používá zřídka, např. pro proudové spínače ($U_{CES} \downarrow$) v D/A převodnicích (kap. 4) nebo v číslicových hradlech TTL (kap. 2).

Jako u každé polovodičové součástky, i u tranzistoru jsou hodnoty napětí a proudů elektrod omezeny mezními napětími (především U_{CEM}), mezními proudy (především I_{CM}) a celkovou výkonovou ztrátou P_{tot} , se kterou porovnáváme – s malou chybou zanedbání proudu báze – skutečnou výkonovou ztrátu $P_C = U_{CE} I_C$. Pro konstantní $P_C = P_{tot}$ zakresluje ve výstupní charakteristice hyperbolu maximální kolektorové ztráty. Tranzistor může spínat i daleko vyšší výkon než je jeho výkonová ztráta, neboť v saturaci platí $U_{CE} = U_{CES}$ a I_C může nabýt až hodnoty I_{CM} , aniž by došlo k překročení P_{tot} . Přitom maximální možný příkon zátěže (load) $P_{LM} = U_{CEM} I_{CM}$ je řádově vyšší. Zajímavé je, že napětí U_{CEM} závisí na odporu R_{BE} obvodu, připojeného mezi bázi a emitor – srovnej se zbytkovými proudy viz výše. Při $R_{BE} = 0$ je nejvyšší (je to vlastně mezní napětí kolektorového přechodu U_{CB}), při $R_{BE} \rightarrow \infty$ (rozpojeno) je nejnižší a značí se U_{CE0} .



Obr. 0-23 Sdružené charakteristiky tranzistoru KC508



Obr. 0-24 Pracovní bod tranzistoru a jeho linearizace

Charakteristiky tranzistoru jsou obecně nelineární. Pro malé změny proudů a napětí (v praxi např. zesilování slabého signálu mikrofону) lze však nalézt na charakteristikách klidový (statický) **pracovní bod**, v jehož okolí se závislosti téměř neodchylují od linearizace, vyjádřené tečnou k charakteristice v pracovním bodě (viz Obr. 0-24 a též (0.7)). Funkci tranzistoru pro malé signály lze pak popsat soustavou 2 lineárních rovnic o 2 nezávisle proměnných, které popisují linearizovaný obvodový model tranzistoru jako dvojbranu. Volba nezávislých (a tím i 2 zbývajících závislých) proměnných může být provedena $\binom{4}{2} = 6$ způsoby,

ovšem běžně se používají jen některé.

Pro nízkofrekvenční bipolární tranzistory se používají *hybridní (smíšené) rovnice sériově paralelní* s dvoubranovými **parametry h**

$$\begin{aligned} u_1 &= h_{11}i_1 + h_{12}u_2 \\ i_2 &= h_{21}i_1 + h_{22}u_2 \end{aligned} \quad (0.12)$$

Místo značení ΔU_1 atd. jsou použita malá písmena, která obvykle představují okamžité, časové hodnoty příslušné veličiny – zde se však jedná o malé změny obecných vstupních (u_1, i_1) resp. výstupních (u_2, i_2) veličin od jejich klidových hodnot v pracovním bodě. Pro konkrétní zapojení tranzistoru se může použít index z označení elektrod(y), např. u_{BE}, i_E , který se doplní i k h -parametru (jako malé písmeno !), např. h_{11c} . Parametry h_{ije} (t.j. pro zapojení SE; $i, j = 1, 2$) se nejnázne měří, a proto o nich bývají informativní údaje i v katalogových listech výrobců. Zde se často stejnosměrný proudový zesilovací činitel β značí jako h_{21E} na rozdíl od střídavého h_{21e} (srovnej indexy $E \leftrightarrow e$) – nicméně platí $h_{21e} \cong \beta$. Parametry h_{ijb} pro SB a h_{ijc} pro SC lze z h_{ije} vypočítat užitím převodních vztahů (např. [6], [7]).

Položí-li se $i_1 = 0$ (vstup naprázdno) resp. $u_2 = 0$ (výstup nakrátko), lze z (0.12) vyjádřit jednotlivé h -parametry a uvědomit si jejich fyzikální význam; jsou uvedeny i hodnoty pro malé tranzistory :

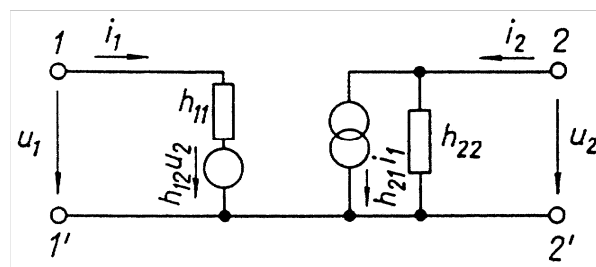
$h_{11} = u_1 / i_1$	vstupní impedance (odpor) nakrátko	500 ... 5000 Ω
$h_{12} = u_1 / u_2$	zpětný napěťový činitel naprázdno	$(1 \dots 10) \cdot 10^{-4}$
$h_{21} = i_2 / i_1$	proudový zesilovací činitel nakrátko	$(20 \dots) 50 \dots 300 (\dots 1000)$
$h_{22} = i_2 / u_2$	výstupní admitance (vodivost) naprázdno	10 ... 30 μS

Parametry h zjištěné ze stejnosměrných charakteristik, stejně jako hodnoty uváděné v katalogích, platí pouze pro nízké kmitočty (kHz). Na vyšších kmitočtech (MHz) by již musely být uvažovány jako komplexní čísla. Pro popis vysokofrekvenčních tranzistorů se však používají komplexní admitanční parametry (viz kapitola „Unipolární tranzistory“).

Náhradní lineární obvod bipolárního tranzistoru pak vidíme na Obr. 0-25 – obsahuje jednak výstupní zdroj proudu, jednak zdroj napětí ve vstupním obvodu, kterým se vyjadřuje zpětný přenos (velmi malý, jak jsme uváděli).

Hlavním **dynamickým parametrem** je **tranzitní mezní kmitočet** $f_T = f \cdot |h_{21e}|$, který je možno měřit na kmitočtu f kdekoliv v oblasti poklesu proudového zesílení $|h_{21e}(f)|$ se strmostí 6 dB na oktávu.

Šum tranzistoru má několik složek, pocházejících z různých oblastí jeho systému. Vyjadřují se střední kvadratickou hodnotou napětí resp. proudu náhradních zdrojů. Nejdůležitější je **tepelný šum** (viz (0.2)) činného odporu báze a tzv. **blikavý** (hyperbolický, „ $1/f$ “) šum

Obr. 0-25 Náhradní lineární obvod s h -parametry

$$U_{nt} = \sqrt{K \ln \frac{f_h}{f_d}} \quad (0.13)$$

který na rozdíl od tepelného šumu roste při snižujícím se středním kmitočtu pásma s hranicemi od f_d do f_h , v němž se měří.

Parametry tranzistorů (a polovodičových součástek obecně) vykazují velký výrobní rozptyl – u dvou kusů jednoho typu tranzistoru se některé z nich mohou lišit až o jeden řád. U bipolárních tranzistorů všechny h -parametry závisí na nejdůležitějším parametru h_{21e} (resp. h_{21E}), který jako jediný bývá udáván v přehledových katalozích a podle něhož se, pokud je třeba, provádí individuální výběr nebo výrobní třídění kusů – to obvykle do tří tříd, označených písmeny A ($h_{21E} \downarrow$), B nebo C ($h_{21E} \uparrow$) za typovým číslem.

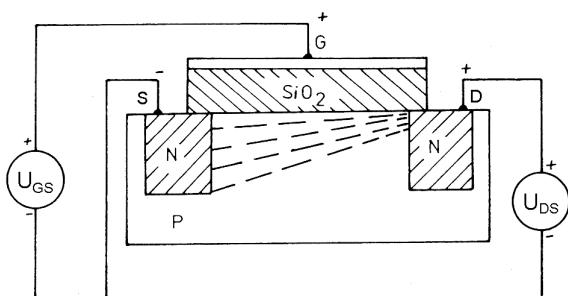
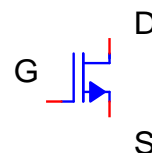
Zvýšení teploty tranzistoru způsobí snížení napětí U_{BE} (jako u diody), zvýšení I_{CE0} (viz („zesilovače“)) a též proudového zesilovacího činitele β .

Tab. 0–5 Parametry bipolárních tranzistorů (pro sdělovací elektroniku)

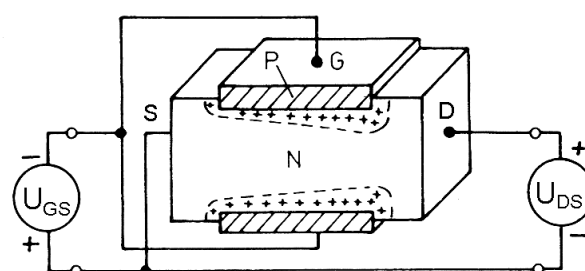
veličina	značka	min.	typ.	max.	jednotka
MEZNÍ					
proud kolektoru	I_C	0,03	> 0,1	30	A
proud báze	I_B	0,03		0,1	$\times I_C$
napětí C-E (báze odpojena)	U_{CE0}	15	60	1000	V
napětí B-E v závěrném směru	U_{BER}	3	10		V
celková výkonová ztráta	P_{tot}	0,1		250	W
CHARAKTERISTICKÁ					
proudový zesilovací činitel SE	β	20	100...300	1000	
zbytkový proud C-E	I_{CE0}	0,001	0,1	1000	μA
saturační napětí	U_{CES}	0,05	0,3	2	V
doba zapnutí/vypnutí	t_{on}, t_{off}	1		1000	ns
tranzitní kmitočet	f_T	3	100	10000	MHz

Unipolární tranzistory

U bipolárního tranzistoru jsou proudy všech tří elektrod navzájem galvanicky vázány. Naproti tomu u tranzistoru unipolárního je proud mezi dvěma elektrodami ovládán napětím elektrody třetí (podobně jako u elektronek) a je tvořen nosiči jednoho typu. V opačně dotované vrstvě, než má nosný plátek polovodiče (substrát), se vytvoří vodivý *kanál* (N nebo P), jehož šířka se řídí příčným elektrickým polem mezi řídicí elektrodou (**hradlo G** – gate) a substrátem, který tvoří protilehlou elektrodu, někdy i zvlášť vyvedenou. Unipolární tranzistory se proto běžně nazývají **FET** (Field Effect Transistor, tranzistory řízené elektrickým polem), ovšem elektrické pole se uplatňuje pouze uvnitř polovodiče – řízeny jsou pochopitelně externím napětím. Ačkoliv oba konce kanálu a tedy i směr proudu v něm jsou do značné míry záměnné (srovnej inverzní zapojení bipolárního tranzistoru), příslušné elektrody se rozlišují – **source S** odpovídá emitoru E, **drain D** kolektoru C. Protože české názvy elektrod



Obr. 0-26 Princip tranzistoru MOSFET



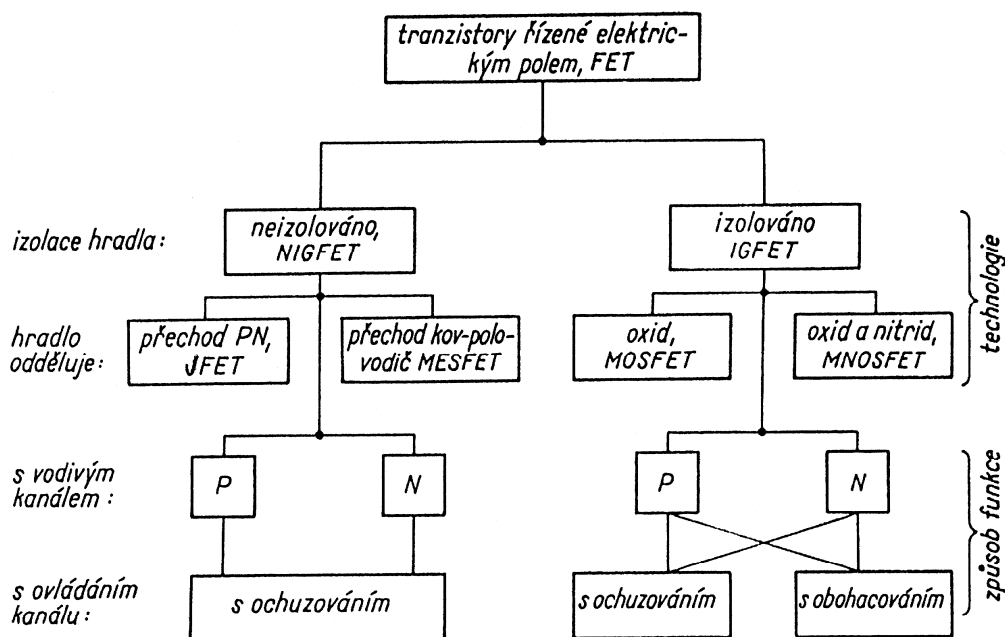
Obr. 0-27 Princip tranzistoru JFET

neexistují, zůstaneme u označení emitor/kolektor, ostatně často používaného.

Hradlo musí být od kanálu odděleno – buď *závěrně polarizovaným přechodem* (P-N, kov-polovodič), nebo přímo *izolační vrstvou* (oxid, nitrid křemíku). Kanál je od substrátu izolován P-N přechodem. Ještě důležitějším, funkčním rozdílem je, zda je *kanál zabudovaný*, t.j. teče jím proud I_{DSS} při nulovém napětí hradla (vůči emitoru) a *uzavíracím napětím* správné polaritě U_{GSoff} (U_{GST}) = 1...10 V se kanál zahradí, nebo zda je *kanál indukovaný*, t.j. otevře se a vede proud až při určitém prahovém napětí $U_{GST} = 0,5...5$ V. Pokud má FET se zabudovaným kanálem izolované hradlo (**MOSFET**, Metal Oxid Semiconductor FET)(Obr. 0-26), může pracovat jak v režimu *ochuzování* kanálu (uzavírání), tak i *obohacování* (zvyšování proudu

Tab. 0-6 Schématické značky a převodní charakteristiky FET

tranzistor	JFET	MOSFET		FET (obecný)
kanál	zabudovaný	zabudovaný	indukovaný	
N				
P				
převodní charakteristika				



Obr. 0-28 Klasifikace FET

napětím U_{GS} opačné polaroty než je U_{GSoff}). FET s oddělením hradla P-N přechodem (**JFET**, Junction FET) (Obr. 0-27) nemůže v režimu obohacování pracovat z toho prostého důvodu, že by se přechod polarizoval v propustném směru a hradlem by tekla velký proud. Příklad klasifikace FET je na Obr. 0-28.

Princip JFET byl popsán již v r. 1952, Si MOSFET se vyrábějí od r. 1965, integrované obvody s FET se používají od r. 1967. Současné vysoce integrované číslicové obvody využívají technologii CMOS (Complementary MOS, t.j. s kanály obou vodivosti).

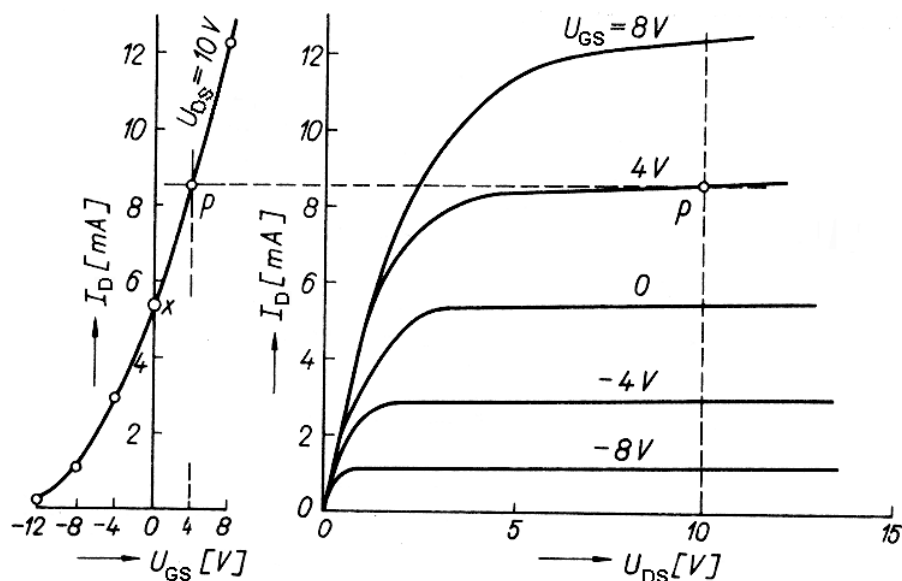
Používané schematické značky FET (Tab. 0–6) mají mnemotechnický základ (izolační mezera nebo šipka propustnosti přechodu hradlo-kanál resp. kanál-substrát, spojitá resp. přerušovaná čára kanálu), pro obecný FET můžeme použít značku zjednodušenou. V této tabulce jsou také principiálně znázorněny *převodní charakteristiky*.

Vzhledem k nelinearitě převodní charakteristiky (z pohledu celého rozsahu) nelze charakterizovat zesílení FET prostým poměrem výstupního proudu ke vstupnímu napětí (srovnej (0.11)), nýbrž jen diferenciálním parametrem – **strmostí S** (jako u elektronek) za definovaného napětí U_{DS}

$$S = \left. \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \right|_{U_{DS}} \quad [\text{mA/V, A/V}] \quad (0.14)$$

Uvádět *vstupní charakteristiky* FET nemá smysl, neboť do hradla teče zanedbatelný stejnosměrný proud.

Výstupní charakteristiky se liší od bipolárních tranzistorů nejen tím, že jejich parametrem je místo proudu napětí hradla, ale především povlnnějším nárůstem proudu při růstu napětí U_{DS} – závislost I_D na U_{DS} je v **odporovém režimu** polynomem druhého stupně. Od *saturačního napětí* $U_{DSsat} = U_{GS} - U_{GST}$ proud stoupá již málo – FET se chová jako zdroj proudu (= stabilizátor proudu, viz s. 186). Říkáme, že se unipolární tranzistor chová z pohledu ideálních aktivních obvodových prvků jako *zdroj proudu řízený napětím (hradla)* nebo (v odporovém režimu) *odpor (kolektor-emitor) řízený napětím (hradla)*. Poznamenejme, že saturace (nasycení) unipolárního tranzistoru probíhá na jiném principu a má i jiný



Obr. 0-29 Charakteristiky tranzistoru MOSFET malého výkonu se zabudovaným kanálem

charakter než u tranzistoru bipolárního, jak plyne i z odlišných oblastí výstupní charakteristiky, ve kterých se projevuje.

Na Obr. 0-29 je příklad konkrétních charakteristik FET tranzistoru. Je z nich patrné, že zde již úplné sdružení charakteristik není možné.

V **nevodivém režimu** je FET zahrazen napětím hradla $|U_{GS}|$ menším než $|U_{GSoff}|$ a vykazuje velmi velký odpor kanálu R_{DSoff} , naopak pro velké napětí $|U_{GS}|$ v **režimu saturace** (nasycení) má kanál zbytkový odpor R_{DSon} závisící na průřezu a délce kanálu.

K linearizaci charakteristik unipolárních tranzistorů se téměř výhradně používají **admitanční** (resp. **vodivostní**) **parametry y** v příslušné soustavě rovnic

$$\begin{aligned} i_1 &= y_{11}u_1 + y_{12}u_2 \\ i_2 &= y_{21}u_1 + y_{22}u_2 \end{aligned} \quad (0.15)$$

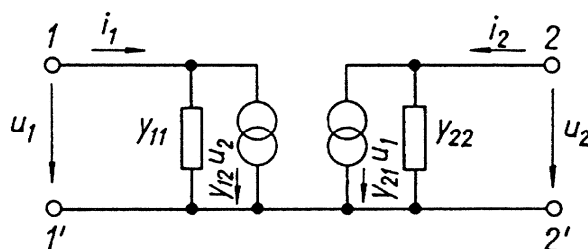
Všechny y -parametry jsou definovány **nakrátko** :

$y_{11} = i_1 / u_1$	vstupní admitance	
$y_{12} = i_1 / u_2$	zpětná převodní admitance	
$y_{21} = i_2 / u_1$	(dopředná) převodní admitance	hodnota dle I_{DM} od mA do A na 1 V
$y_{22} = i_2 / u_2$	výstupní admitance	30...300 μS v saturaci (pro malé typy)

Ačkoliv admitance y_{11} a y_{12} mají zanedbatelnou reálnou složku, nedá se totéž říci o složce imaginární. Na vyšších kmitočtech se totiž projeví příslušné kapacity, často uváděné v katalogu jako jediný údaj o vstupu resp. zpětném přenosu, dle vztahu $y_{ij} = g_{ij} + j b_{ij} = g_{ij} + j \omega c_{ij}$. Na velmi vysokých kmitočtech pak může být vstupní admitance FET nižší než u bipolárního tranzistoru. U výkonových FET je vstupní kapacita značná, řádu jednotek nanofaradů. Převodní admitance je vlastně již zavedenou strmostí S (0.14).

Rovnicím (0.15) odpovídá náhradní lineární obvod dle Obr. 0-30.

Co se týče **dynamických vlastností** FET pro všeobecné použití, je kmitočet f_T (viz odst. „bipolární tranzistory“) vyšší než u bipolárních tranzistorů a odpovídá spíše jejich vysokofrekvenčním typům. Tranzistory GaAs druhu MESFET (MEtal Semiconductor FET) s oddělením hradla přechodem kov-polovodič jsou součástkami pro mikrovlnné aplikace až přes 10 GHz. Tranzistory FET mají obecně vyšší blikavý šum (0.13) než bipolární, takže pro nízkošumové operační zesilovače (odst. „reálné operační zesilovače“) a nf předzesilovače jsou vhodnější bipolární tranzistory. Teplota má přirozeně vliv i na parametry FET. Zajímavé je, že součinitel závislosti proudu I_D na teplotě (za jinak konstantních podmínek) sám závisí na velikosti tohoto proudu – pro velké hodnoty obrací svoje znaménko na záporné, takže některé druhy a technologie FET se do jisté míry samy chrání proti přetížení nadměrným proudem (a výkonovou ztrátou), kterým by se přehřívaly.



Obr. 0-30 Náhradní lineární obvod s y-parametry

Klasifikace typů tranzistorů

Tab. 0–7 Parametry FET (pro sdělovací elektroniku)

veličina	značka	min.	typ.	max.	jednotka
MEZNÍ					
proud kolektoru (D)	I_D	0,01		40	A
napětí D-S	U_{DS}	30		1500	V
napětí hradla	$ U_{GS} $	10		100	V
celková výkonová ztráta	P_{tot}	0,1		250	W
CHARAKTERISTICKÁ					
strmost	S	0,003	dle I_{DM}	10	A/V
odpor ve vypnutém stavu	r_{DSoff}	10^7		10^{10}	Ω
odpor v sepnutém stavu	r_{DSon}	0,03	dle I_{DM}	300	Ω
svodový odpor hradla	R_{GS} (J-) (MOS-)	10^6 10^{12}		10^8 10^{14}	Ω
tranzitní kmitočet	f_T	500		10000	MHz

Zvláště se označují typy **vysokofrekvenční** (dle f_T , důležité výkonové zesílení A_p a tzv. šumové číslo F na vysokém kmitočtu), dále **výkonové** ($R_{\theta j} < 15$ K/W, viz odst. „chlazení výkonových součástek“) a **spínací** (důležité U_{CES} , doba zapnutí t_{on} a vypnutí t_{off} – viz kapitola „Tranzistorové spínače“, a to oproti tranzistorům malého výkonu, pro všeobecné použití (někdy nazývaným nízkofrekvenční, ačkoliv f_T je řádu desítek megahertz). Speciální skupinou jsou např. též **nízkofrekvenční nízkošumové** tranzistory.

Kromě výše uvedených bipolárních tranzistorů a druhů FET se ve **výkonové elektronice** používají ještě další, modifikované resp. kombinované druhy tranzistorů.

Tranzistorové spínače

Elektronické spínače s tranzistory mohou buď *připojovat zátěž* (t.j. regulovat, *spínat výkon*), *přepínat signál* nebo pracovat jako *převodník úrovně* či *aktivní prvek logických obvodů*.

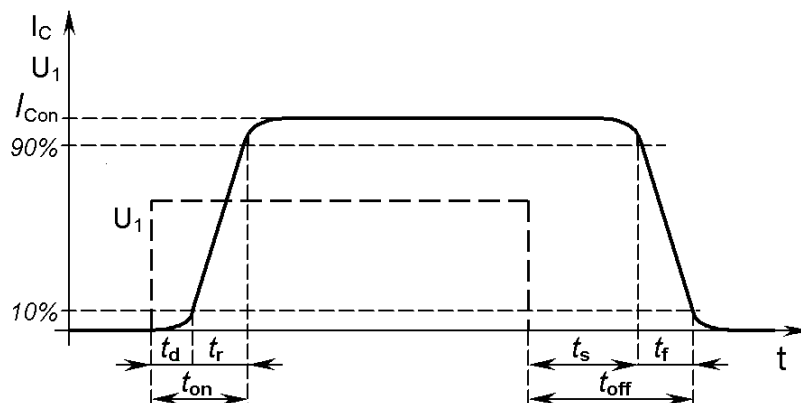
Ve **výkonovém spínači** se výstupní, zesílený proud nemění spojitě, nýbrž skokem (za velmi krátkou dobu) přechází z téměř nulové hodnoty na velkou a naopak. Zpravidla je i napájecí napětí zátěže vyšší než napájecí napětí budicího obvodu, kterým v některých speciálních případech může být i mechanický spínač proudu do báze, častěji se však jedná o výstup číslicového obvodu, operačního zesilovače nebo klopného či jiného obvodu s tranzistory. Zátěží bývá např. segment multiplexovaného LED displeje, žárovka (např. automobilová), relé nebo stykač, elektropneumatický nebo elektrohydraulický ventil, pohybový elektromagnet, krokový nebo menší stejnosměrný motor, topný (t.j. odporový) element, cívka spínaného zdroje, tlumivka DC-DC měniče nebo stator asynchronního motoru na výstupu trojfázového měniče.

Zapojení SE se používá častěji než SC, SB se nepoužívá. V uzavřeném stavu (za běžné teploty) teče Si tranzistorem zanedbatelný zbytkový proud I_{CE0} , takže se vlastnostmi blíží rozpojenému mechanickému kontaktu (vypínače nebo relé). V otevřeném stavu je však třeba, na rozdíl od kontaktu, uvažovat určitý úbytek napětí (U_{CES} resp. úbytek na r_{RDOn} u FET). V obou případech se samozřejmě nesmějí překročit mezní hodnoty, tedy napětí ve vypnutém stavu $U_{CEoff} < U_{CEM}$ a (ustálený) proud v sepnutém stavu $I_{Con} < I_{CM}$ (viz Obr. 0-52 a komentář k němu) a tranzistor musí být v obvodu správně polarizován. Obvykle je jednou výstupní elektrodou připojen ke společnému vodiči nebo napájecí sorce.

Sepnutí elektronického spínače proběhne za zlomek mikrosekundy ve srovnání s jednotkami milisekund u relé nebo ještě delším časem sepnutí stykače. Přesto je nutno odlišit spínače přepínající „občas“ při dvoustavovém řízení (např. pohonu) nebo regulaci (např. vytápění) od *periodicky*, a zpravidla *vyšším kmitočtem* pracujících spínačů ve zdrojích nebo v regulátorech pohonů pulzní šířkovou modulací (PWM – Pulse Width Modulation, viz kap. 4). Doba, po kterou tranzistor přechází z jednoho stavu do druhého (a prochází např. též bodem $U_{CEoff}/2$ a $I_{Con}/2$), pak může být souměřitelná s periodou přepínání, takže střední kolektorová ztráta může ve srovnání s hodnotou v bodě sepnutí řádově vzrůst a dokonce překročit maximální výkonovou ztrátu P_{tot} .

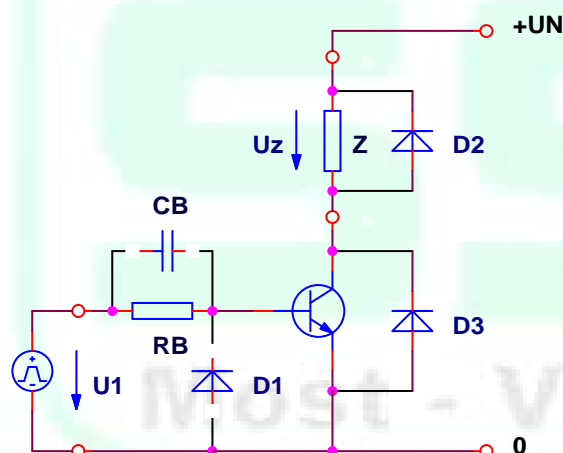
Protože úplné sepnutí a vypnutí nelze na průběhu (např. na obrazovce osciloskopu) jednoznačně určit, definují se uvedené doby jako *délka náběžné hrany (doba nárůstu)* t_r (Rise Time) a *délka sestupné hrany (doba poklesu)* t_f (Fall Time) mezi hodnotami 10 % a 90 % I_{Con} , popř. maximálního napětí na zátěži ($\cong U_N$), jak je naznačeno idealizovanými průběhy budicího napětí spínače U_1 a proudu kolektoru I_C na Obr. 0-31. Čas sepnutí t_{on} je ovšem delší o *dobu zpoždění* t_d (Delay Time) a čas vypnutí t_{off} o *dobu přesahu* t_s (Storage Time), která představuje největší zpoždění u bipolárního tranzistoru v důsledku návratu ze saturace. Pro úplnost uveďme, že u logických obvodů se časy zpoždění t_{PLH} a t_{PHL} (kap. 2), odpovídající časům t_{on} a t_{off} , měří buď mezi okamžiky dosažení 50-procentní úrovně napětí mezi oběma krajními úrovněmi (L a H), nebo mezi časy dosažení rozhodovací úrovně, typické pro technologickou řadu číslicového obvodu.

Jak již bylo uvedeno, úplné sepnutí bipolárního tranzistoru vyžaduje, aby do báze tekla proud vyšší než v aktivním režimu. Uvádí se buď *činitel nasycení* $k_s = I_{Bsat} / I_B$, který bývá v rozmezí 2 až 5, nebo odpovídající *vnucený zesilovací činitel* $B_s = I_{Csat} / I_{Bsat}$, který není parametrem tranzistoru (byť se volí podle β a k_s), ale externího obvodu. Podle I_{Bsat} se počítá odpor předřadného rezistoru R_B (Obr. 0-32). Nejméně vhodným způsobem vypnutí tranzistoru pro dobu zotavení ze saturace (t_s) je rozpojení obvodu báze. Děj proběhne rychleji, je-li vstup spínače připojen na nulové napětí, a nejrychleji tehdy, přepne-li budicí obvod polaritu (tedy záporné napětí u NPN tranzistoru) – to způsobí závěrné zotavení přechodu B-E obdobně jako u diody. Příp. antiparalelně zapojená dioda (D1)



Obr. 0-31 Průběh spínání tranzistoru

chrání přechod před nadměrným závěrným napětím (nízká mezní hodnota U_{BER}). Dočasné zvýšení zapínacího i vypínacího proudu nad trvalou hodnotu zrychlí přepínací děje. Nejjednodušším řešením je kondenzátor C_B zapojený paralelně k rezistoru R_B .



Obr. 0-32 Výkonový spínač s bipolárním tranzistorem

Při spínání *kapacitní* nebo *induktivní* zátěže je průběh výstupního napětí a proudu složitější a může dojít k přetížení tranzistoru. Častá je zejména indukční zátěž (vinutí elektromagnetů, relé, motorů), jejíž rychlé rozpojení vyvolává velké napěťové špičky ($u = -L \frac{di}{dt}$), které by

mohly prorazit tranzistor. Ve všech obvodech s indukční zátěží (pokud to není principiálně vyloučené) se proto paralelně k ní připojuje již preventivně *ochranná komutační dioda* (D2), která zkratuje napětí indukované na cívce. Jak známo, polarita tohoto napětí je taková, že působí proti

změně, která ho vyvolala (viz znaménko minus výše připomenutého zákona indukce), t.j. snaží se udržet původní proud obvodem. Příp. dioda (D3) připojovaná mezi emitor a kolektor (někdy již integrovaná v pouzdru tranzistorů) chrání tranzistor před zákmity závěrného napětí, způsobenými parazitním LC obvodem některých zátěží.

Příklad 0-3 Výpočet tranzistorového spínače

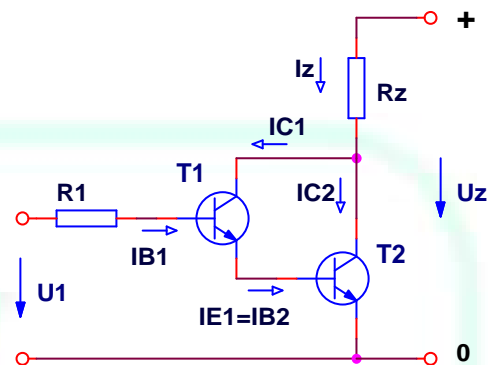
Vyberte typ tranzistoru a vypočítejte odpor R_B ve spínači z Obr. 0-32, který zapíná stykač s cívkou o odporu $R_L = 100 \Omega$ na stejnosměrné napětí 24 V. Spínač je buzen z výstupu hradla technologie HC (kap. 2), které dává naprázdno napětí $U_1 = 5$ V a vnitřní odpor v úrovni H má $R_i \cong 40 \Omega$.

Řešení :

Kolektorem tranzistoru poteče proud $I_C \cong U_N/R_L = 0,24 \text{ A}$ (zanedbáme U_{CES}). Volíme tranzistor v malém pouzdru TO-92, avšak s $I_{CM} = 0,8 \text{ A}$ a U_{CEM} alespoň 45 V, např. BC337B ($\beta = 100 \dots 250$). Vyjdeme z minimální hodnoty $\beta = 100$, pak můžeme zvolit k_s pouze 2, tedy $I_B = k_s I_C / \beta = 4,8 \text{ mA}$. Tímto proudem vznikne na výstupním MOSFET tranzistoru hradla zanedbatelný úbytek napětí $\Delta U = R_i I_B \cong 0,2 \text{ V}$, takže při odhadnutém $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$ vychází $R_B = (U_1 - \Delta U - U_{BE}) / I_B = 0,85 \text{ k}\Omega$, volíme 820R. Dioda D2 je nezbytná, použití kondenzátoru C_B vzhledem k účelu obvodu nemá smysl.

Pokud by proud budiče báze nestačil k sepnutí velkého proudu, může se použít dvojice tranzistorů (i komplementární) v kaskádním zapojení – asi nejznámější je **Darlingtonovo zapojení** (Obr. 0-33), často integrované ve stejném pouzdrě jako samostatný výkonový tranzistor. Jeho proudové zesílení je součinem zesílení obou tranzistorů $\beta = \beta_1 \beta_2$. Nevýhodou je velké saturační napětí celého zapojení – aby mohl téci do báze tranzistoru T2 proud, musí být na tranzistoru napětí alespoň $U_{CE2} = U_{CES1} + U_{BE2}$, tedy ca 1 V.

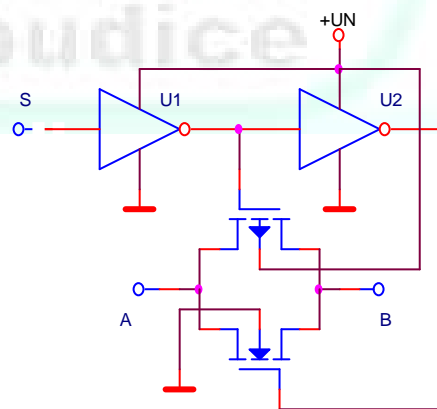
Pro spínání větších proudů se stále více rozšiřuje použití výkonových unipolárních tranzistorů – nedochází u nich k saturaci (hromadění náboje), takže vypínají rychleji, a sepnutý stav se udrží v podstatě nulovým příkonem. Hradlo se ovšem nemůže ponechat nepřípojené, protože jeho napětí pak nedefinovaně „plave“. Vypnutí vždy vyžaduje spojení s nulovým potenciálem. Při rychlém a periodickém spínání teče do značné vstupní kapacity hradla C_{GS} (resp. c_{11} ve vyjádření y_{11} , viz s. 222) nezanedbatelný proud a jeho dvojitý budič musí být příslušně dimenzován – přesto se obv. doplňuje omezovací rezistor o malém odporu.



Obr. 0-33 Darlingtonovo zapojení tranzistorů

Pro **spínače signálu** se již téměř výhradně používají tranzistory MOSFET s indukovaným kanálem – jednak řídicí napětí neproniká do signálové cesty, jednak polarita spínaného napětí (polarizace kanálu) má minimální vliv na jeho funkci a odpor v sepnutém stavu je téměř konstantní (minimální nelinearita). Často se používá paralelně spojený komplementární pár (PMOS + NMOS = CMOS) (Obr. 0-34), který umožňuje spínat svorky A a B o napětí v celém rozsahu napájecího napětí U_N CMOS invertorů U1 a U2 (viz kap. 2) – pokud by napětí U_{GS} jednoho tranzistoru nebylo dostatečné pro jeho otevření, zastoupí ho doplňkový tranzistor, jehož otevírací napětí má polaritu opačnou.

Spínače signálu bývají integrované do **analogového multiplexeru** $m \times n$ (na Obr. 0-35 je $m = 1$), což je vlastně elektronický m -pólový n -polohový přepínač. Spínače každé sekce (pólu) jsou jedním koncem spolu spojené a vždy je sepnut jen i -tý z nich, což

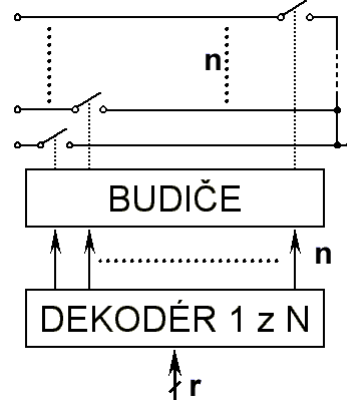


Obr. 0-34 Spínač signálu s CMOS-FET

zabezpečí příslušný logický kombinační obvod (dekodér „1 z N“, kap. 2), který má r vstupů ($2^r \geq n$), jejichž logické úrovně odpovídají binárnímu číslu i . Prakticky bývá $m = 1, 2, 4$ a $n = 2, 4, 8, 16$, avšak nikoliv obě maxima současně.

Spínače signálu se uplatňují např. v analogově číslicových (A/D) a číslicově analogových převodnicích (kap. 4), v zesilovačích s řízeným ziskem, analogové multiplexery např. přepínají vstupy v audio i video zařízeních nebo měřicí kanály na vstup A/D převodníku. Spínače jako *převodníky úrovní* navzájem přizpůsobují různá napětí odpovídajících si logických úrovní mezi rozdílnými technologiemi číslicových obvodů (TTL \leftrightarrow ECL) nebo k jiným standardním úrovním signálů (průmyslová: 24 V, RS-232C: ± 12 V, aj.).

Tranzistory ve spínacím režimu jsou základem všech technologií číslicových obvodů (kap. 2).



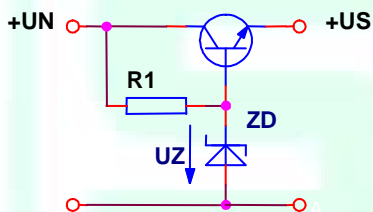
Obr. 0-35 Analogový multiplexer

sériová linka

Jednoduché stejnosměrné obvody s tranzistory

Existuje mnoho poměrně jednoduchých, široce používaných obvodů různého účelu s několika diodami a tranzistory. Kromě obvodů zmíněných v předcházejících či následujících odstavcích si zde však všimneme jen dvou.

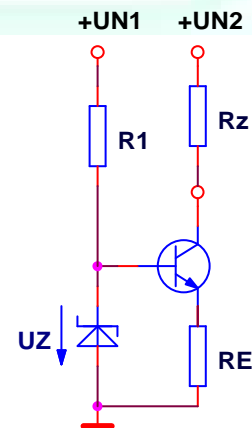
Maximální výstupní proud nejjednodušších stabilizátorů napětí se Zenerovou diodou je řádu desetin ampéru. Přidáním výkonového tranzistoru vznikne **stabilizátor napětí** (Obr. 0-36), u nějž je možno buď zvýšit odebíraný proud, nebo použít Zenerovu diodu s malou výkonovou ztrátou – z původního stabilizátoru R1-ZD se odebírá proud $\beta \times$ menší než je výstupní proud emitorem tranzistoru. Výstupní stabilizované napětí U_S je ovšem o úbytek U_{BE} tranzistoru nižší než napětí U_Z a je také o něco méně stabilní – s odebíraným proudem se poněkud mění β a U_{BE} (ovšem v řádu setin voltu).



Obr. 0-36 Výkonový stabilizátor napětí

Zenerovu diodu a tranzistor je možno zapojit i jako **stabilizátor proudu** dle Obr. 0-37. Je-li na bázi tranzistoru konstantní napětí, je přibližně konstantní i na jeho emitoru (pouze malé změny U_{BE}), a tedy rezistorem R_E teče konstantní proud (viz též Obr. 0-46c). Stejný proud (pouze o I_B menší) pak teče kolektorem přes proměnnou zátěž R_Z , pokud na tranzistor zbude alespoň minimální napětí v aktivním režimu (ca 1 V). Napětí báze může stabilizovat Zenerova dioda, LED, méně kvalitně několik sériově zapojených diod nebo dokonce jen „tvrdý“ odporový dělič ze stabilizovaného napětí U_{N1} . Tento stabilizační obvod může být pochopitelně napájen ze stejného zdroje U_{N2} jako zátěž.

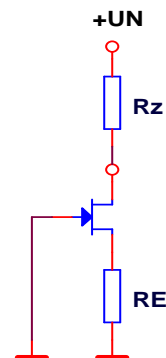
Na rozdíl od obvodu s bipolárním tranzistorem nevyžaduje zapojení stabilizátoru proudu s tranzistorem FET se zabudovaným kanálem (Obr. 0-38) žádný externí referenční prvek. Proud v oblasti nasycení výstupních charakteristik je dán příslušným napětím U_{GS} , které se nastaví úbytkem na zpětnovazebním rezistoru R_E . Pokud jako požadovaný,



Obr. 0-37 Stabilizátor proudu

stabilizovaný proud vyhovuje proud I_{DSS} (při $U_{GS} = 0$), vypustí se R_E , takže kromě tranzistoru není potřeba žádná další součástka.

Poznamenejme, že kvalitní stabilizátory napětí a proudu pracují na principu regulačního obvodu s velmi silnou zápornou zpětnou vazbou (odst. „řazení bloků a zpětná vazba“), s použitím operačního zesilovače (odst. „operační zesilovače“).



Obr. 0-38 Stabilizátor proudu s JFET

5.5. Elektronické funkční bloky

Na elektronický obvod se můžeme dívat jako na tzv. černou skříňku (black box) – elektronický funkční blok, který realizuje určitou funkci – aniž bychom zkoumali, co je uvnitř. Z elektrického hlediska se jedná o n -bran. I poměrně složité obvody vystačí se dvěma vstupy a jediným výstupem (= trojbran; pomocné napájecí vstupy se nepočítají). Jejich funkci při pomalé změně veličin můžeme popsat soustavou (*statických*) *voltampérových charakteristik* (viz tranzistor), dynamické vlastnosti pak *přechodovými charakteristikami*, obecně pro různě velké skoky vstupní veličiny. Výsledná funkce různě řazených nelineárních bloků závisí i na jejich pořadí.

Nelinearita bloku způsobuje **nelineární zkreslení**, které lze nejlépe posoudit na harmonickém signálu definované amplitudy – na výstupu obvodu se objeví vyšší harmonické vstupního signálu. Jednou z více možných definic, s hodnotami uváděnými v procentech, je **činitel zkreslení THD** (Total Harmonic Distortion)

$$THD = \frac{\sum_{i=2}^n U_i^2}{U_1^2} \quad (0.16)$$

kde U_i je efektivní hodnota i -té harmonické (U_1 – napětí signálu o vstupním kmitočtu) a počet $n-1$ uvažovaných harmonických je dán praktickou šířkou pásma signálu.

Pokud je blok lineární nebo linearizovatelný v určitém pracovním bodě, lze jeho funkci popsat diferenciální rovnicí s konstantními koeficienty resp. *operátorovým přenosem* – obvykle Laplaceovým obrazem

$$F(p) = \frac{L\{x_2\}}{L\{x_1\}} = \frac{\sum_{i=0}^m b_i p^i}{\sum_{j=0}^n a_j p^j} \quad (0.17)$$

což je funkce komplexní proměnné $p = j\omega$, která popisuje lineární soustavu s nulovými počátečními podmínkami, x_1 je vstupní, x_2 výstupní signál. Každý akumulací člen (L , C) zvyšuje řád soustavy a tedy též počet pólů (kořenů polynomu jmenovatele) a/nebo nul (kořenů polynomu čitatele) přenosu. Pro posouzení teoretického řádu přenosu uveďme, že každý stupeň zesilovače zpravidla představuje 2 integrační články.

Pokud je přenos obvodu ve tvaru (0.17) znám, lze z něj usoudit (viz základy teorie kybernetiky), zda je obvod stabilní, t.j. zda samovolně nekmitá. Jednoznačným kritériem stability, které však vyžaduje znalost kořenů polynomu jmenovatele, je, že *póly přenosu musí ležet v levé polorovině komplexní roviny*.

Základní parametry

Základními **provozními parametry** linearizovaných bloků jsou :

$$\text{napětíové zesílení (přenos)} \quad A_u = U_2 / U_1 \quad (0.18)$$

$$\text{proudové zesílení (přenos)} \quad A_i = I_2 / I_1 \quad (0.19)$$

$$\text{výkonové zesílení (přenos)} \quad A_p = P_2 / P_1 \quad (0.20)$$

$$\text{vstupní impedance} \quad Z_1 = U_1 / I_1 \quad (0.21)$$

$$\text{výstupní impedance} \quad Z_2 = U_2 / I_2 \quad (0.22)$$

Zesílení se často nazývá **zisk**, zejména pokud se udává v logaritmické míře. Výchozím vztahem je desítkový logaritmus poměru dvou výkonů, který dává hodnotu v jednotkách *bel* (podle vynálezce telefonu Grahama Bella). Pro poměr napětí (zřídka i proudů) odpovídajících poměru výkonů je hodnota dvojnásobná, neboť výkon je úměrný druhé mocnině napětí, popř. proudu ($\log x^2 = 2 \log x$). Vhodnou velikost má dílčí jednotka *decibel* [**dB**], takže se používají vztahy pro ni upravené

$$A_p = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad A_u = 20 \log \frac{U_2}{U_1} \quad A_i = 20 \log \frac{I_2}{I_1} \quad (0.23)$$

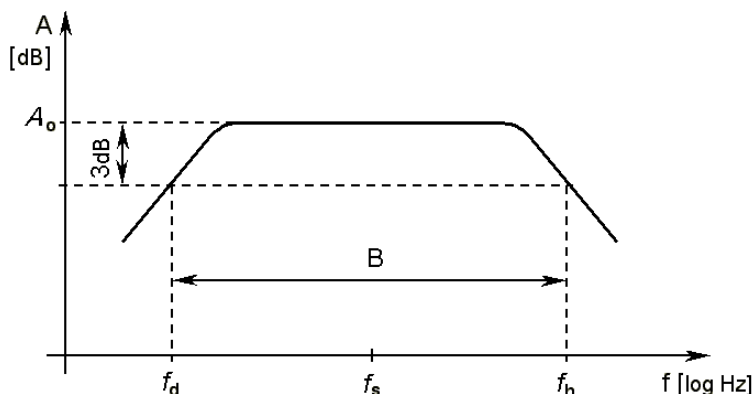
Důvodem logaritmické míry je velký možný rozsah zesílení resp. zeslabení elektronického bloku i úrovní signálů (od zlomků mikrovoltů do desítek voltů). V případě zeslabení resp. potlačení signálu (= záporná hodnota zisku v dB) se může použít převrácený poměr, nazývaný **útlum** (kladná hodnota v dB). Decibely se používají i v jiných oborech, např. v akustice (pro akustický tlak, akustický výkon a hlasitost). Pro vyjádření úrovně signálu může být stanovena *vztažná hodnota* příslušné veličiny $X_1 = X_{\text{ref}}$, např. v akustice je jím práh slyšitelnosti (= plošná hustota akustického výkonu 1 pW/m²), v elektronice výkon 1 mW nebo 1 μW. V některých případech je vztažná hodnota vyjádřena připojením dalšího písmene ke značce dB, v elektronice nejčastěji **dBm** (na 1 mW). Odpovídající úroveň napětí je dána odporem (modulem impedance) zátěže. V elektroakustice je standardizována hodnota 600 Ω, v radioelektronice a vysokofrekvenční technice 50 Ω (= charakteristická impedance nejčastěji používaných koaxiálních kabelů). Ze vztahu pro výkon na zátěži pak plyne neokrouhlá hodnota referenčního napětí, v elektroakustice 0 dBm \equiv 775 mV.

Provozní parametry se určují z napětí resp. proudů na svorkách obvodu, kdežto **externí parametry** z vnitřního napětí resp. proudu zdroje signálu a z napětí resp. proudu na připojené zátěži. Ačkoliv optimální výkonové přizpůsobení nastane při shodné impedanci zdroje i zátěže, z hlediska udržení pracovních bodů a nízkého zkreslení signálu je nutno zajistit, aby impedance zátěže Z_z resp. vstupní impedance následujícího obvodu byla podstatně vyšší než vnitřní impedance zdroje signálu Z_g resp. výstupní impedance předcházejícího obvodu. Pouze ve vf technice a v datových sítích mají vstupy i výstupy obvodů jmenovitou impedanci, obvykle shodnou s charakteristickou impedancí spojovacích kabelů (např. 50 Ω, 75 Ω). V obvodech zpracovávajících audiosignál nebo videosignál se obvykle požaduje $Z_z \geq 10 Z_g$, v měřicích obvodech musí být tento poměr 10^2 až 10^5 podle požadované přesnosti. Při $Z_g \ll Z_z$ pak můžeme uvažovat jednotné **parametry naprázdno**, popř. při $Z_g \gg Z_z$ zase **parametry nakrátko**.

Amplituda i fáze přenosu jsou kmitočtově závislé. Zejména v audiotechnice nehraje fáze takovou roli (a též se obtížněji měří), takže se zpravidla udává pouze **amplitudová frekvenční charakteristika** („amplitudová“ se často vynechává), a to pro větší rozsah kmitočtu vždy v *logaritmické souřadnici* nezávisle proměnné. Závisle proměnná amplituda lineárně vynesena v decibelech je také vlastně logaritmickou souřadnicí. Příklad charakteristiky střídavého, širokopásmového zesilovače je na Obr. 0-39. Při poklesu zesílení na **-3 dB** (0,707×) oproti vyrovnanému průběhu ve středu pásma se určují *dolní* resp. *horní*

mezní kmitočet f_d a f_h a šířka pásma $B = f_h - f_d$. Střední kmitočet pásma se určuje $f_s = \sqrt{f_d f_h}$, popř. $f_s \approx (f_d + f_h)/2$. U stejnosměrných zesilovačů se f_d pochopitelně neuvádí. Průběh charakteristiky jak v propustné oblasti, tak v oblasti útlumu může být ve skutečnosti (oproti Obr. 0-39) i výrazně zvlněný.

Horní mezní kmitočet je dán integračními RC články, ať už úmyslně zapojenými, nebo parazitními, nežádoucími (kapacity mezi vývody součástek, v kabelech a mezi spoji na DPS). K těm patří i vnitřní kapacity a omezená rychlost nabití náboje v polovodičových součástkách, což vyjadřuje kmitočet f_T (viz str. 219). Analogicky je dolní mezní kmitočet určen derivačními RC články ve střídavě vázaných obvodech. Jak je známo již ze základů teoretické elektrotechniky, pro mezní kmitočty f_m obou článků, kde je modul impedance rezistoru a kondenzátoru shodný (t.j. pokles přenosu na $1/\sqrt{2}$, což jsou 3 dB), platí



Obr. 0-39 Amplitudová frekvenční charakteristika zesilovače

$$f_m = \frac{1}{2\pi RC} \quad (0.24)$$

Odporem R zde může být vnitřní vstupní odpor bloku nebo odpor předpokládané zátěže. Vliv kaskádně řazených, avšak impedančně oddělených RC článků se sčítá (t.j. na mezním kmitočtu je např. pro 3 články pokles 9 dB), takže pro zachování šířky pásma celého obvodu je nutné volit mezní kmitočet do (0.24) s náležitou rezervou ($f_m \ll f_d$ resp. $f_m \gg f_h$).

Na výstupu všech reálných funkčních bloků se kromě užitečného signálu objevují produkty zkreslení (0.16), vnitřní šum bloku (0.2)(0.13) a vnější rušivá napětí, jako je např. indukované napětí síťového kmitočtu a jeho harmonických (*brum*) nebo *hluk* např. rotujících mechanismů (gramofon, magnetofon), přenášených do elektrického obvodu snímači. Úroveň těchto „cizích“ napětí se vyjadřuje **odstupem rušivých napětí** či **odstupem signálu od šumu SNR** (Signal-to-Noise Ratio; noise zde znamená všechna rušivá napětí) v decibelech

$$\text{SNR} = 20 \log \frac{U_{\text{Snom}}}{U_N} \quad (0.25)$$

kde U_N je efektivní hodnota rušivých napětí a U_{Snom} je jmenovité efektivní napětí signálu (= rozsah). Pokud je signál zvukový, může se SNR posuzovat až za výstupem psychofyzilogického filtru, který zohledňuje různou citlivost lidského ucha na zvuk různých kmitočtů (viz fyziologická regulace s. 200).

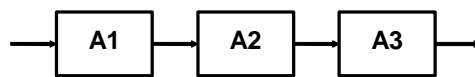
Řazení bloků a zpětná vazba

Nejběžnějším způsobem řazení bloků je **kaskádní zapojení** (přímý přenosový řetězec). U lineárních bloků je výsledný přenos *součinem* dílčích přenosů

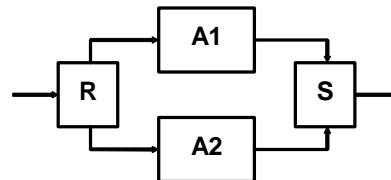
$$A_u = \prod_{i=1}^n A_{ui} \quad (0.26)$$

Nelineární přenosovou funkci jednoho bloku je možno linearizovat dalším blokem s přenosovou funkcí *inverzní* (např. kompendér - expandér v audiotechnice).

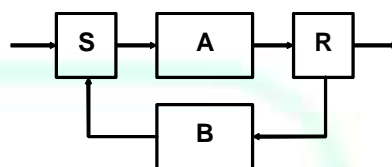
Druhým způsobem řazení bloků je **paralelní zapojení** – signál se rozděluje na paralelní přenosové cesty a pak se opět slučuje do jediného výstupního signálu. Mohou se tak odděleně zpracovávat dílčí kmitočtová pásma (např. ekvalizéry v hi-fi soupravách, obvody pro potlačení šumu) nebo kladná a záporná amplituda signálu (obvody pro vytvoření absolutní hodnoty, výkonové stupně push-pull – odst. „zesilovače“).



Obr. 0-41 Kaskádní zapojení



Obr. 0-40 Paralelní zapojení



Obr. 0-42 Zpětnovazební zapojení

V blokových schématech jsou spoje mezi bloky pouze jednorázové – ačkoliv si je můžeme představit jako „živé“ vodiče bez zakresleného párového, společného vodiče, je nutno mít stále na paměti, že bloky jsou dvojbrany. *Rozdělovací (R) a slučovací (S) obvody* pak mohou mít dvě podoby – *paralelní*, která rozděluje resp. sčítá proudy, a *sériová*, která rozděluje resp. sčítá napětí (viz obr. Obr. 0-43 a komentář k němu).

Poněkud zvláštním, ale velmi často používaným zapojením bloků je **zpětnovazební zapojení** – paralelní řazení cest s přenesením části výstupního signálu do vstupního slučovacího obvodu. Zpětná vazba se uplatňuje nejen v elektronických a regulačních obvodech, ale též v systémech všeho druhu (mechanické, fluidické, chemické, biologické, ... a dokonce i sociální).

Blok A bývá unilaterálním zesilovačem (t.j. s jednosměrným přenosem, jinak řečeno bez zpětného přenosu) se zesílením A_u , blok B pak pasivním obvodem (např. pouhý odporový dělič) s **činitelem zpětné vazby** (přenosem) β . Pro výsledný přenos A'_u pak lze snadno odvodit **Blackův vztah**

$$A'_u = \frac{A_u}{1 - \beta A_u} \quad (0.27)$$

Při analýze zapojení a jeho stability se často uvažuje *přenos otevřené (rozpojené) zpětnovazební smyčky* $T = \beta A_u$; obvod si představíme rozpojený např. mezi bloky R a B, vstup bloku B je pak vstupem obvodu s kaskádně zapojenými bloky B, S, A a R. Je nutno upravit impedanci zdroje signálu a zátěže tak, aby se impedanční poměry v obvodu nezměnily.

Jaký vliv má zpětná vazba (ZV) na parametry zapojení, je-li její činitel β *kmitočtově nezávislý*? Hlavním kritériem je znaménko přenosu otevřené smyčky T , jak se projeví ve jmenovateli (0.27) :

- **Kladná zpětná vazba (KZV)** při $T > 0$

$0 < T < 1$ – zesílení A' stoupá, ovšem na úkor zhoršení dalších parametrů (zkreslení aj.)
 $T > 1$ – *nadkritická* KZV, obvod je nestabilní, probíhají tzv. regenerativní děje (kmity) vyžadující nelineární popis

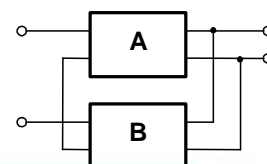
- **záporná zpětná vazba (ZZV)** při $T < 0$, t.j. otevřená smyčka obrací fázi – zesílení A' klesá

ZZV snižuje citlivost výsledného zesílení na změny původního zesílení zesilovače, takže se potlačí vliv výrobních a teplotních rozptylů parametrů polovodičových součástek. ZZV při

konstantním (lineárním) činitelem β a v režimu zesilovacího bloku mimo silně nelineární oblasti charakteristiky linearizuje výslednou převodní funkci – *klesá činitel harmonického zkreslení*. To neplatí v oblasti saturace, kde ZV nemůže vůbec působit. V kmitočtové oblasti je příznivým vlivem *zvětšení šířky pásma* obvodu.

Dalšími kritérii jsou *zapojení slučovacího obvodu*, které má vliv na vstupní impedanci, a *zapojení rozdělovacího obvodu*, ovlivňujícího výstupní impedanci. Obvyklý principiální způsob propojení podle Obr. 0-43 (paralelní rozdělení = napěťová ZV, sériové sloučení) znamená při ZZV *zvýšení vstupní a snížení výstupní impedance*.

Kmitočtově závislá KZV se používá v generátorech (oscilátory, astabilní klopné obvody) (odst. „generátory“), ZZV v obvodech s požadavky na speciální průběh kmitočtové charakteristiky (korekční zesilovače gramofonů, magnetofonů, ekvalizérů, aktivní filtry, aj.).



Obr. 0-43 Zpětnovazební zapojení dvojitě

Nejjednodušší realizací zpětnovazebního bloku je však prostý odporový dělič (např. R4-R2 na Obr. 0-51, R2-R1 na Obr. 0-63) nebo dokonce jen jediný rezistor společný vstupnímu i výstupnímu signálu (např. R_E na Obr. 0-46).

5.6. Zesilovače

Zesilovače zvětšují užitečný výkon signálu při zachování jeho časového průběhu resp. spektrálního složení. Potřebná energie se dodává z pomocných, stejnosměrných napájecích zdrojů.

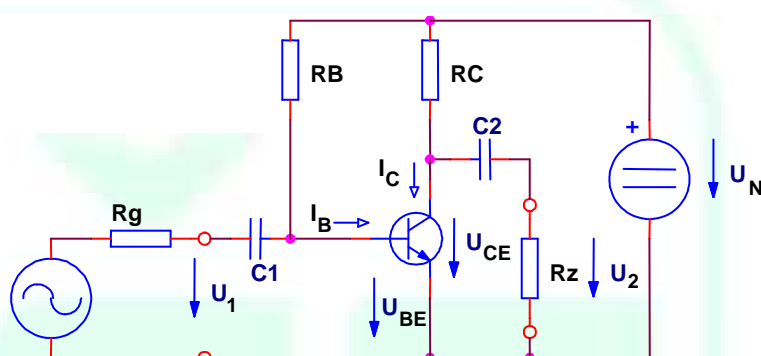
Zesilovače můžeme klasifikovat

- Podle OBVODOVÉ VELIČINY:
 - Zesilovače *napětí* (režim naprázdno), *proudu* (režim nakrátko) nebo *výkonu* (jmenovitá zátěž) mají vyšší, definované zesílení příslušné veličiny a pracují se zatěžovací impedancí blízkou ideálnímu režimu (s. 229).
- Podle ROZKMITU SIGNÁLU:
 - **Předzesilovače** jsou linearizovatelné zesilovače malých signálů – mají mít velké zesílení, malý šum a brum a zvláště nízké zkreslení.
 - **Výkonové zesilovače** napájejí energetický měnič (elektroakustický, elektromechanický, ...) a využívají celou charakteristiku aktivního prvku, mají mít velkou účinnost, malou výstupní impedanci a nízké zkreslení.
- Podle KMITOČTOVÉHO PÁSMU:
 - *Stejnoseměrné* (ss, =, DC) – přitom mohou mít $f_h \approx 10^7$ Hz.
 - *Střídavé* (stř, ~, AC) – mohou pracovat i od $f_d \approx 10^0$ Hz
 - *nízkofrekvenční* zpracovávají především signál (slyšitelného) zvuku (16 Hz ... 20 kHz), ale mohou pracovat až do stovek kilohertz,
 - *vysokofrekvenční* obv. mají $f_d \geq 100$ kHz, f_h až 10^{10} Hz.
- Podle ŠÍŘKY PÁSMU
 - *Širokopásmové*: $f_h/f_d \geq 10$ – např. nízkofrekvenční nebo videozesilovače (50 Hz ... 6 MHz, popř. až 250 MHz)
 - *Úzkopásmové (selektivní)*: $B/f_s \leq 0,1$ – např. televizní kanálové ($B \approx 8$ MHz, $f \approx 200 \dots 900$ MHz)

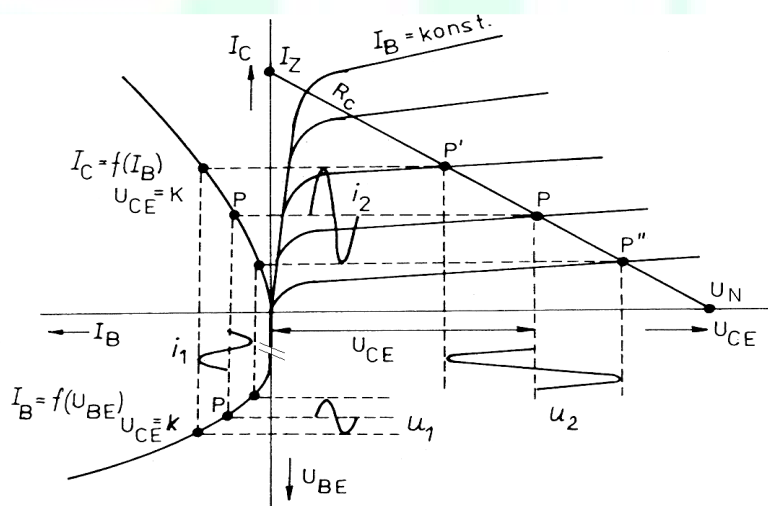
- Podle ZÁKLADNÍHO ZAPOJENÍ
SB, SE, SC a jejich kombinace
- Podle POLOHY KLIDOVÉHO PRACOVNÍHO BODU na převodní charakteristice
Třídy: A, AB, B, C
- Podle PRACOVNÍ ZÁTĚŽE
 R , L , LC , *aktivní*
- Podle POČTU STUPŇŮ a VAZBY mezi nimi

Ukážeme si některá zapojení zesilovačů s diskrétními součástkami – především bipolárními tranzistory. Nejjednodušší možné zapojení – **nízkofrekvenční předzesilovač** s jedním bipolárním tranzistorem v zapojení SE – vidíme na Obr. 0-44. Odhlédneme-li od zdroje signálu s vnitřním odporem R_g , zátěže R_z a napájecího zdroje U_N , skládá se kromě vlastního tranzistoru pouze ze 4 dalších součástek.

Proudem báze I_B , který teče rezistorem R_B , se nastavuje (*statický, klidový*) pracovní bod P do víceméně lineární oblasti charakteristik (viz též str. 217). Vlivem vstupního střídavého napětí u_1 , převáděného diferenciálním vstupním odporem (přibližně h_{11e}) na změny proudu báze, se pak po charakteristice pohybuje *dynamický pracovní bod* mezi body P' a P'' (Obr. 0-45), které odpovídají amplitudám signálu. Na pracovním rezistoru R_C se změny proudu kolektoru I_C převádějí na změny napětí na kolektoru (U_{CE}), t.j. na výstupní střídavé napětí u_2 . Ze strany samotného tranzistoru a pro střídavý signál jsou zátěží oba rezistory R_C (*pracovní, funkční zátěž*) i R_z (*užitečná zátěž*) zařazené paralelně (!), neboť napájecí zdroj představuje pro střídavý proud téměř zkrat. Dynamický pracovní bod se ve výstupní charakteristice pohybuje po *zatěžovací přímce*, která je určena krajními body: při uzavřeném tranzistoru ($I_C = 0$) je na něm napětí zdroje U_N , při zcela otevřeném tranzistoru je na něm nulové napětí (zanedbáme U_{CES}), takže jím teče proud $I_Z = U_N / R_C$. Promítnutí bodů P' resp. P'' mezi charakteristikami zároveň dokládá, že *zapojení SE invertuje vstupní signál*, t.j. otáčí jeho fázi (180°). Uvážíme-li, že na obrázku je vstupní charakteristika v detailu (s posunutím nuly), je porovnáním amplitud obou napětí zřejmé, že napěťové zesílení je v tomto zapojení značné.



Obr. 0-44 Nejjednodušší tranzistorový předzesilovač



Obr. 0-45 Zesílení signálu v charakteristikách tranzistoru

zároveň dokládá, že *zapojení SE invertuje vstupní signál*, t.j. otáčí jeho fázi (180°). Uvážíme-li, že na obrázku je vstupní charakteristika v detailu (s posunutím nuly), je porovnáním amplitud obou napětí zřejmé, že napěťové zesílení je v tomto zapojení značné.

Statický pracovní bod P je určen čtveřicí hodnot $[U_{BE}, I_B, U_{CE}, I_C]$. Pro běžné účely se volí $U_{CE} = U_N/2$, neboť se očekává, že dosažitelné výstupní napětí při přebuzení (bez limitace, t.j. bez „oříznutých“ vrcholů sinusového signálu) bude při velké zatěžovací impedanci nejvyšší právě v okolí tohoto bodu. Proud I_C se volí podle impedance zátěže ($Z_Z \downarrow \Rightarrow I_C \uparrow$). Ke zvolenému bodu ve výstupní charakteristice se volí hodnoty bodu ve vstupní charakteristice. Často však nemáme charakteristiky konkrétního kusu tranzistoru odměřené, takže I_B vypočítáme pomocí zesilovacího činitele β (např. změřeného multimetrem, byť při jiném proudu I_C) a napětí U_{BE} odhadneme ze známé vstupní charakteristiky podobného tranzistoru.

Ačkoliv to z převodní charakteristiky není příliš patrné, roste zesilovací činitel β i napěťové zesílení tranzistorového zesilovače s napětím U_{CE} a proudem I_C (do určité hodnoty).

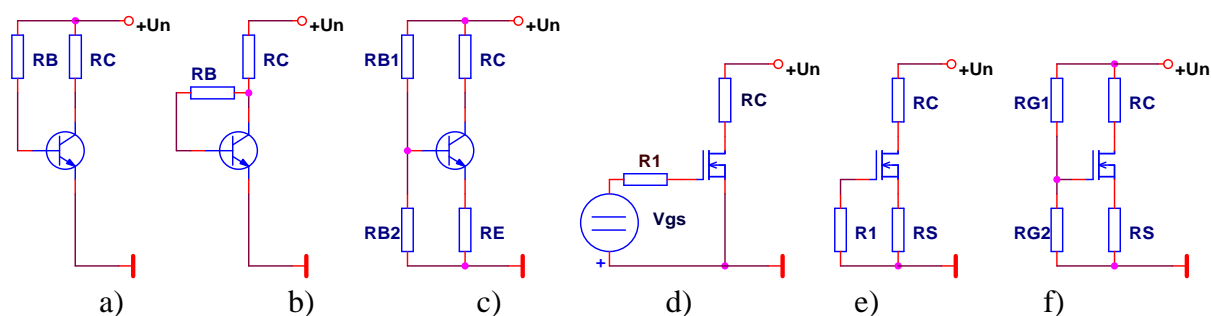
Pracovní zátěž (= zátěž kolektoru u zkoumaného zesilovače v zapojení SE) může být

- *odporová*
- *indukční*
 - přes tlumivku nebo vinutí transformátoru se dostává na kolektor téměř plné napětí zdroje
 - vyšší impedance pro střídavý proud, takže dochází k vyššímu zesílení
 - kmitočtově závislé
 - zejména ve vf zesilovačích
- *rezonanční* (laděná, selektivní) s paralelním rezonančním LC obvodem
 - též plné napětí zdroje, velmi vysoká impedance (závisí na jakosti obvodu Q) a tedy i zesílení jen pro určitý kmitočet
 - zejména ve vf zesilovačích, směšovačích apod.
- *aktivní* (nelineární) se stabilizátorem proudu, realizovaným minimálně jedním dalším tranzistorem
 - opačné vodivosti
 - má vysoký vnitřní odpor, takže i velké stejnosměrné zesílení
 - v integrovaných obvodech, zejména operačních zesilovačích (odst. „operační zesilovače“)

Kondenzátor $C1$ resp. $C2$ stejnosměrně odděluje vstupní resp. výstupní uzel od zdroje signálu resp. zátěže. Proud, který by vytékaly z těchto uzlů, pokud by kondenzátory nebyly zařazeny, by znemožnily nastavení zvoleného pracovního bodu.

Nastavení pracovního bodu je třeba podle okolností stabilizovat. Důvodem jeho nežádoucího posunu může být:

- vliv teploty na β (S), U_{BE} (U_{GST}) a I_{CE0} – u Ge tranzistorů byla nutná stabilizace téměř vždy, u Si jen pro velký rozsah teplot
- rozptyl β (S) – minimalizace nastavování při sériové výrobě a záměně vadných kusů při poruše



Obr. 0-46 Stabilizace pracovního bodu tranzistorů

Základní zapojení pro **nastavení a stabilizaci pracovního bodu** jsou na schématu Obr. 0-46.

Varianta (a) odpovídá zapojení na Obr. 0-44, varianta (b) již částečně stabilizuje pracovní bod – má-li tranzistor např. vyšší β (jiný kus nebo vzrůst teploty), pak vlivem záporné zpětné vazby (viz odst. „řazení bloků a zpětná vazba“) poklesne proud báze dle příčinného řetězce: $\beta \uparrow \Rightarrow I_C \uparrow \Rightarrow \Delta U_{RC} \uparrow \Rightarrow U_{CE} \downarrow \Rightarrow U_{RB} \downarrow \Rightarrow I_B \downarrow \Rightarrow I_C \downarrow$. Můstkové zapojení (c) je nejběžnějším obvodem pro stabilizaci pracovního bodu. Rezistor R_E volíme tak, aby úbytek na něm byl $U_E = 0,1 \dots 0,2 U_N$, a rezistory R_{B1} a R_{B2} děliče pro nastavení napětí báze tak, aby $I_{RB1} = 2 \dots 5 I_B$. Zpětná vazba, např. při uvažovaném poklesu zesílení, se projevuje takto: $\beta \downarrow \Rightarrow I_C \downarrow \Rightarrow U_E \downarrow \Rightarrow \uparrow U_{BE} = U_B - U_E$ ($U_B \equiv \text{konst.}$) $\Rightarrow I_B \uparrow \Rightarrow I_C \uparrow$, t.j. snížení I_C poklesem β se částečně vykompenzovalo. Větší proud děličem („tvrdší“ dělič) zlepšuje stabilizaci pracovního bodu, ale menší odpory jeho rezistorů snižují vstupní odpor zesilovače.

Příklad 0-4 Výpočet odporů v tranzistorovém předzesilovači

Vypočtete hodnoty R_C a R_B předzesilovače se zapojením Obr. 0-24a) pro $U_N = 12 \text{ V}$, $I_C = 4 \text{ mA}$ a $\beta = 250$.

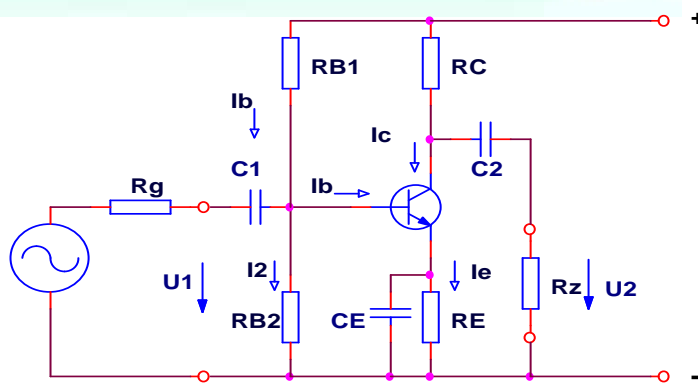
Řešení :

Platí $R_C = (U_N - U_{CE})/I_C$. Jak již bylo uvedeno, volíme $U_{CE} = U_N/2$, tedy $R_C = 1,5 \text{ k}\Omega$ (1k5). Vypočítáme $I_B = I_C/\beta = 16,0 \mu\text{A}$ a podle Obr. 0-23 odhadneme zokrouhlené napětí $U_{BE} = 0,65 \text{ V}$, které bychom dokonce pro zadané, dostatečně velké napájecí napětí mohli zanedbat. Přesně je $R_B = (U_N - U_{BE})/I_B = 0,71 \text{ M}\Omega$ (680k).

Pracovní bod FET s indukovaným kanálem nelze nastavit obvody (a) nebo (b), neboť na R_B by nebyl úbytek napětí ($I_G = 0$!). Varianta (f) je shodná s (c) s tím, že místo U_{BE} figuruje podstatně vyšší U_{GST} . Jiná situace je u FET se zabudovaným kanálem v režimu ochuzování – ačkoliv lze při vyšších napájecích napětích použít zapojení (f), schéma (d) ukazuje, že prosté nastavení pracovního bodu vyžaduje zdroj napětí opačné polaroty než je napájecí. Používá se proto zapojení (e), kde hradlo je na potenciálu společného vodiče (na R_1 není úbytek napětí) a potřebné, opačně polarizované napětí U_{GS} vzniká jako úbytek na odporu R_S proudem I_D .

Připomeňme, že *zapojení s tranzistory vodivosti PNP resp. s kanálem P* jsou napájena *záporným napětím*. Kladné napájecí napětí obvodů však převažuje jednak historicky (obvody s elektronkami), jednak kvůli většímu sortimentu tranzistorů NPN a též podle napájení +5 V první technologie (TTL) číslicových integrovaných obvodů (viz kap. 2).

Záporná zpětná vazba na rezistoru R_E by se uplatnila i pro střídavý signál v zesilovači dle Obr. 0-47. Kondenzátorem C_E je pro střídavý signál přemostěn rezistor R_E , takže na středních kmitočtech je pak zesílení shodné se zapojením Obr. 0-44. Exaktní určení kapacit C_E , C_1 a C_2 derivačních článků RC není triviální – pouze u C_2 je hodnota odporu R ve vztahu pro jeho výpočet (0.24) evidentní – je to odpor zátěže (zde rezistor R_Z). Pro volbu C_E není přímo rozhodující odpor R_E , ale poměr kapacity

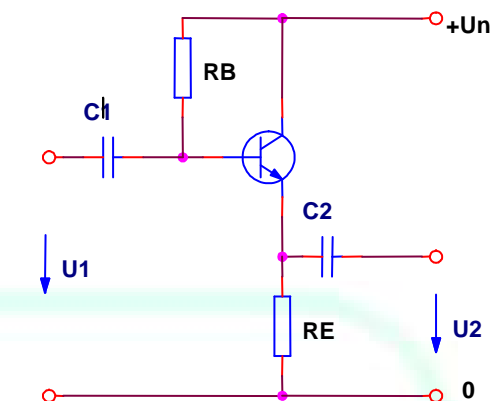


Obr. 0-47 Předzesilovač se stabilizací pracovního bodu

C_E na mezním kmitočtu k R_C , a to ve vztahu k zesílení zesilovače na středních kmitočtech. Prakticky se C_E volí $3\times$ až $10\times$ větší, než vyjde podle (0.24) s hodnotou R_E . U C_1 považujeme za hodnotu R diferenciální vstupní odpor tranzistoru h_{11e} , neboť R_{B1} a R_{B2} mají nejméně o řád vyšší hodnotu.

Pro nízkofrekvenční předzesilovač bývá C_1 a C_2 řádu jednotek až desítek mikrofaradů, C_E až stovky mikrofaradů (tedy elektrolytické kondenzátory). Napájecí napětí je mezi 3 až 40 V, typicky 6 až 20 V, proud kolektoru od 0,1 mA (nízkošumové předzesilovače), spíše však od 1 mA do ca 20 mA. Napětí na tranzistoru při odporové zátěži bývá mezi čtvrtinou a polovinou napájecího napětí.

Jednoduchým tranzistorovým zesilovačem je i **emitorový sledovač**. Jedná se o zapojení tranzistoru SC, neboť pro střídavý proud je kolektor přes (zde již nezakreslený) napájecí zdroj spojen se společným vodičem.



Obr. 0-48 Emitorový sledovač

Tento obvod nezesiluje napětově (proto „sledovač“; $A_u \rightarrow 1$, ovšem $A_u < 1$), ale proudově, a tak umožňuje zapojit za obvod s velkou výstupní impedancí obvod s nízkou vstupní impedancí – pracuje jako impedanční oddělovač. Jeho vstupní odpor lze přibližně vyjádřit jako $R_i \approx h_{11} + h_{21}R_E$.

Tab. 0–8 Parametry jednostupňových tranzistorových zesilovačů

tranzistor bipolární	impedance [Ω]		zesílení			fáze
	vstupní	výstupní	proudové	napětové	výkonové	
SB	10...100	100k...1M	0,97.0,998	10...100	10...100	zachována
SE	100...3k	10k...100k	30...300	30...3k	100...300k	obrácena
SC	30k...1M	100...1k	30...500	0,97.0,998	30...500	zachována

tranzistor unipolární	impedance [Ω]		zesílení napětové	fáze
	vstupní	výstupní		
SG	10k	10k...100k	1	zachována
SS	1M...1G	100k	30...1000	obrácena
SD	1M...1G	100	1	zachována

V Tab. 0–8 jsou uvedeny parametry jednostupňových tranzistorových zesilovačů podle použitého zapojení.

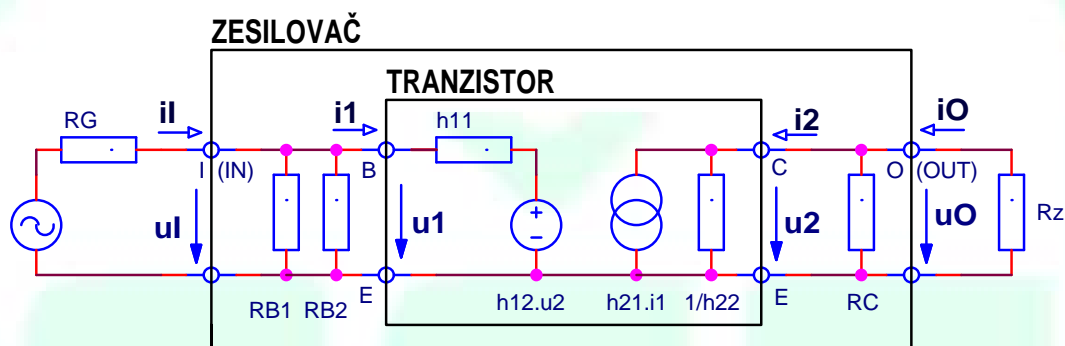
Při výpočtu provozních parametrů (viz odst. „základní parametry“) zesilovače vycházíme z náhradního lineárního obvodu. Pro střední kmitočty pásma střídavého zesilovače nahradíme kondenzátory i stejnosměrné zdroje zkratem, tranzistory pak jejich náhradním obvodem (Obr. 0-25, Obr. 0-30). Na Obr. 0-49 je náhradní obvod pro zapojení z Obr. 0-47.

Ačkoliv je možno sestavovat rovnice pro popis zesilovače bez rozlišení dílčího náhradního obvodu tranzistoru, obvykle se rovnice (0.12) resp. (0.15), popisující samotný tranzistor, využívají. Pokud je to možné, tak paralelně řazené odpory slučujeme do substitučních odporů, zde R_{B1} a R_{B2} do R_B , popř. R_C a R_z do R_L . Z rovnic je pak třeba vyloučit veličiny nepotřebné pro výpočet tak, aby bylo možno vyjádřit příslušný podíl vstupních resp. výstupních veličin dle definičního vztahu hledaného parametru (0.18) až (0.22), ve kterém index 1 představuje vstup I a index 2 výstup O. Kromě větvení proudů mezi svorkami zesilovače a tranzistoru je nutno upozornit na znaménko ve vztahu

$$u_2 = -R_z i_O = -R_L i_2 \quad (0.28)$$

neboť předpokládaný smysl proudu a napětí je opačný.

Stejným způsobem se postupuje při použití parametrů y (náhradní obvod tranzistoru Obr. 0-30 a rovnice (0.15)). Odvozené vztahy (např. [6]) platí obecně pro všechna zapojení (SB, SE, SC), pouze se dosazují jiné číselné hodnoty (h_{jib} , h_{ije} , h_{ijc} resp. y_{jib} , y_{ije} , y_{ijc}).



Obr. 0-49 Náhradní lineární obvod tranzistorového zesilovače

Příklad 0-5 Výpočet zesílení tranzistorového zesilovače

Odvoďte vztah a vypočítejte hodnotu proudového zesílení A_i jednotranzistorového zesilovače podle Obr. 6-47, jsou-li známy h -parametry použitého tranzistoru KF508 v nastaveném pracovním bodě :

$$h_{11e} = 4,4 \text{ k}\Omega \quad h_{12e} = 7,3 \cdot 10^{-4} \quad h_{21e} = 100 \quad h_{22e} = 24 \text{ }\mu\text{S}$$

Řešení :

Použijeme schéma na Obr. 0-49 a soustavu rovnic (0.15).

$$\text{Z větvení proudů v uzlech platí :} \quad u_1 = R_B (i_1 - i_i) \quad (1) \quad i_c = i_O - \frac{u_2}{R_C} \quad (2)$$

$$\text{Dosazením (1) a (0.28) do 1. rovnice (0.12) :} \quad R_B (i_1 - i_i) = h_{11} i_1 - h_{12} R_z i_O \quad (3)$$

$$\text{Dosazením (2) do 2. rovnice (0.12), po úpravě :} \quad R_C i_O = R_C h_{21} i_1 + u_2 (R_C h_{22} + 1) \quad (4)$$

$$\text{Úpravou (3) :} \quad i_1 = \frac{R_B i_i + h_{12} R_z i_O}{h_{11} + R_B} \quad (5)$$

Dosazením (5) do (4), po úpravě :

$$R_C (h_{11} + R_B) i_O = R_B R_C h_{21} i_i + R_C R_z h_{12} h_{21} i_O - R_z (R_C h_{22} + 1) (h_{11} + R_B) i_i \quad (6)$$

Rovnici (6) upravíme do tvaru $A_i = i_o / i_i$, s použitím determinantu : $D_h = h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21}$
(7)

Výsledný vztah je pak :
$$A_i = \frac{h_{21}R_B R_C}{(h_{11} + R_B)(R_C + R_z) + R_C R_z (R_B h_{22} + D_h)} \quad (8)$$

Po dosazení hodnot $R_{B1} = 220k$, $R_{B2} = 27k$, $R_C = 4k7$ a $R_z = 15k$ vyjde $R_B = R_{B1} || R_{B2} = 24,05 k\Omega$,
 $D_h = 0,0326$ a výsledek $A_i = 18,7$.

Odvození napěťového zesílení naprázdno je jednodušší – neuvažujeme ani větvení výstupního proudu, ani rezistory R_{B1} a R_{B2} , neboť $u_i = u_1$. Výsledný vztah

$$A_u = \frac{-h_{21}R_L}{h_{11} + D_h R_L} \quad (0.29)$$

můžeme zjednodušit idealizací tranzistoru na řízený zdroj proudu ($Z_2 \rightarrow \infty \Rightarrow h_{22} \rightarrow 0$) bez zpětného přenosu ($h_{12} \rightarrow 0$), takže $D_h = 0$, a pak pro zesílení dostáváme $A_u = -h_{21}R_L/h_{11}$. Napěťové zesílení v zapojení SE tedy může být několikrát větší než proudový zesilovací činitel $\beta \cong h_{21e}$.

Pokud bychom v Obr. 6-47 uvažovali odpor R_E nepřemostěný kondenzátorem C_E , bude náhradní obvod i vztah odvozený pro zesílení složitější. Na základě výše uvedených zjednodušení vychází přibližný vztah $A_u \approx R_C/R_E$ za předpokladu, že poměr R_C/R_E (v podstatě činitel β ZZV) je podstatně menší než h_{21e} .

Příklad 0–6 Výpočet vstupního odporu tranzistorového zesilovače

Odvoďte vztah a vypočítejte hodnotu vstupního odporu R_i jednotranzistorového zesilovače podle Obr. 6-47, jsou-li známy h -parametry použitého tranzistoru.

Řešení :

Opět použijeme schéma na Obr. 0-49 a soustavu rovnic (0.15).

Z 2. rovnice za pomoci (0.28) vyjádříme
$$i_2 = \frac{h_{21}}{1 + h_{22}R_L} i_1 \quad (1)$$

dosadíme do 1. rovnice
$$u_1 = h_{11}i_1 - h_{12}R_L \frac{h_{21}}{1 + h_{22}R_L} i_1 \quad (2)$$

ze které jsme tak vyloučili zbytečné i_2

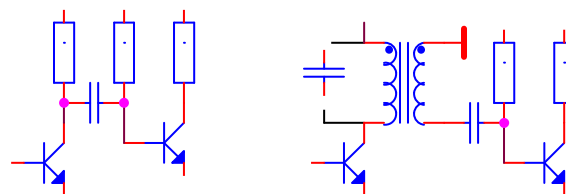
a prostou úpravou poměru u_1/i_1 obdržíme
$$R'_i = \frac{h_{11} + D_h R_L}{1 + h_{22}R_L} \quad (3)$$

který je vstupním odporem samotného tranzistoru. Celý obvod má vstupní odpor $R_i = R'_i || R_{B1} || R_{B2}$. Při zjednodušení stejném jako u napěťového zesílení obdržíme z (3) hodnotu $R'_i \cong h_{11}$.

Pokud potřebujeme vyšší zesílení než poskytne jeden tranzistor – buď přímo jako výsledné, nebo jako rezervní pro zavedení dostatečně silné záporné zpětné vazby – zapojujeme několik tranzistorů do *vícestupňových zesilovačů* (obv. nejvýše 4 stupně). V nich mohou být základní zapojení kombinována (např. SE-SC, SC-SE Darlingtonovo viz odst. „tranzistorové spínače“, tzv. kaskáda SE-SB), zejména z důvodu impedančního přizpůsobení.

Vazba mezi stupni může být

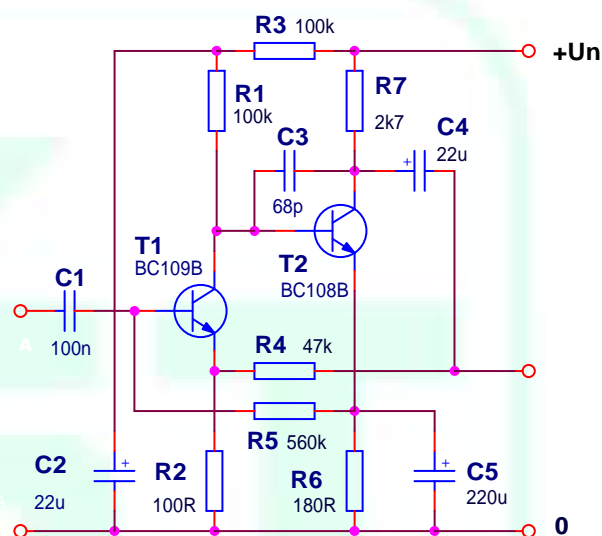
- *galvanická*
 - nezbytná u stejnosměrných zesilovačů, ale používána i u střídavých (Obr. 0-33, Obr. 0-51)
- *kapacitní*
 - kmitočtově závislá (derivační RC článek)
- *transformátorová*
 - jak u indukční, tak u rezonanční zátěže
 - kmitočtově závislá



Obr. 0-50 Kapacitní a transformátorová vazba

Zastavme se u příkladu

skutečného zapojení dvoustupňového nízkofrekvenčního předzesilovače na Obr. 0-51. Integrační článek R3-C2 filtruje zbytky brumu ze síťového zdroje a případné kolísání napětí na přívodu napájení v důsledku změn proudu kolektoru T2, které by se mohlo přenést do prvního stupně a vést k rozkmitání zesilovače. Aby pro nízký mezní kmitočet RC článek mohla být kapacita C_2 co nejmenší, volí se $R_1 = R_3$, kdy je vnitřní odpor děliče $R = R_1 || R_3$ do vztahu (0.24) maximální. Nastavení pracovního bodu obou stupňů je pochopitelně vázané – stabilizaci zavádí stejnosměrná ZZV tím, že R5 pro nastavení pracovního bodu T1 je zapojen na emitorový rezistor R6 druhého stupně. Střídavá ZZV děličem R4-R2 ($| \beta | = R_2 / (R_2 + R_4) = 2,12 \cdot 10^{-3}$) nastavuje zesílení ca 450 (ve vztahu (0.27) uvažujeme celkové zesílení obou stupňů $A_{u0} \approx 10^4$). Smyčkou ZZV je potlačen i vliv C4 na dolní mezní kmitočet. Kondenzátor C1 může mít menší kapacitu, neboť vstupní odpor dosahuje vlivem ZZV mnoha set kiloohmů (pokud nebude degradován malým odporem R5). Kondenzátor C3 omezuje zesílení na velmi vysokých kmitočtech, na kterých by se obvod mohl rozkmitat.



Obr. 0-51 Příklad zapojení dvoustupňového předzesilovače

Příklad 0-7 Výpočet odporů pro nastavení pracovního bodu dvoustupňového zesilovače

Určete rezistory pro nastavení pracovního bodu ve dvoustupňovém předzesilovači dle Obr. 0-51 s napájecím napětím $U_N = 24 \text{ V}$. Tranzistor T1 bude mít velmi malý kolektorový proud $I_{C1} = 100 \mu\text{A}$ i napětí $U_{CE1} = 1,5 \text{ V}$, aby měl nízký šum. Pak bude mít proudový zesilovací činitel nízký, uvažujeme dolní hranici pro daný typ $\beta_1 = 200$; prahové napětí odhadneme na $U_{BE1} = 0,55 \text{ V}$. Tranzistor T2 má vyšší proud kolektoru, umožňující i určité zatížení výstupu předzesilovače: $I_{C2} = 5 \text{ mA}$. Vzhledem k U_N volíme $U_{CE2} = 10 \text{ V}$, zesilovací činitel uprostřed rozsahu: $\beta_2 = 350$, odhadneme $U_{BE2} = 0,65 \text{ V}$.

Řešení :

Ačkoliv by bylo možno řadu úbytků napětí na rezistorech či větvích se proudů v uzlech se

znalostí věci ihned zanedbat, uvedeme si z výukových důvodů úplné rovnice.

Ve smyčkách kolektoru platí (připomeňme (1.9)) :

$$\text{pro T1 ...} \quad U_N = (R_1 + R_3)(I_{C1} + I_{B2}) + U_{CE1} + R_2(I_{B1} + I_{C1}) \quad (1)$$

$$\text{pro T2 ...} \quad U_N = R_7 I_{C2} + U_{CE2} + U_{E2} \quad (2)$$

$$\text{samostatně vyjádřeno ...} \quad U_{E2} = R_6(I_{B2} + I_{C2} - I_{B1}) \quad (3)$$

Vzájemnou vazbu tranzistorů vyjadřují vztahy, v nichž jsou místo úbytků napětí pro přehlednost uvedena pouze příslušná uzlová napětí :

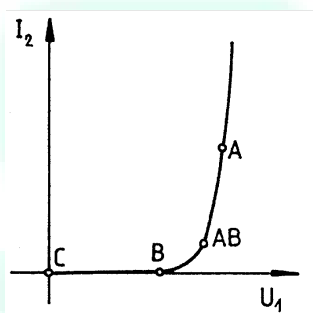
$$U_{C1} = U_{BE2} + U_{E2} \quad (4)$$

$$U_{E2} = U_{B1} + R_5 I_{B1} \quad (5)$$

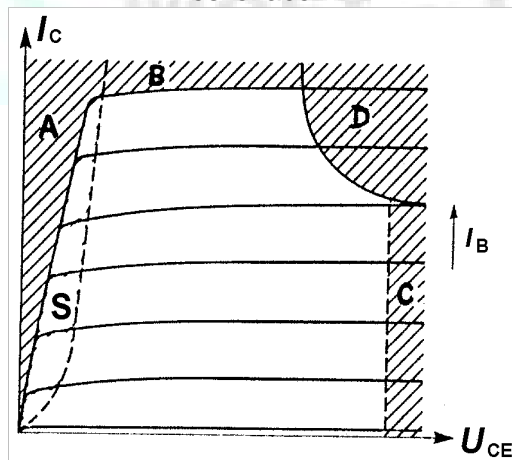
Na volbě odporu R_2 (v mezích desítek až stovek ohmů) z hlediska stabilizace pracovního bodu nezáleží, volíme $R_2 = 100\Omega$. Proudů bází jsou dle (1.11) $I_{B1} = 0,50\mu\text{A}$ a $I_{B2} = 14,3\mu\text{A}$. Pak z (1) dostaneme pro součet $R_1 + R_3$ hodnotu $197\text{ k}\Omega$, volíme $R_1 = R_3$ (viz výklad výše). Poslední člen v (1) představuje U_{E1} , po přičtení U_{CE1} pak získáme U_{C1} , takže ze (4) je $U_{E2} = 0,86\text{ V}$. Ze vztahu (3) vypočítáme $R_6 = 172\Omega$, z (5) při $U_{B1} = U_{E1} + U_{BE1}$ pak $R_5 = 600\text{ k}\Omega$. Zbývá ze (2) určit $R_7 = 2,63\text{ k}\Omega$.

Volba rezistorů v řadě E12 je patrná z Obr. 0-51.

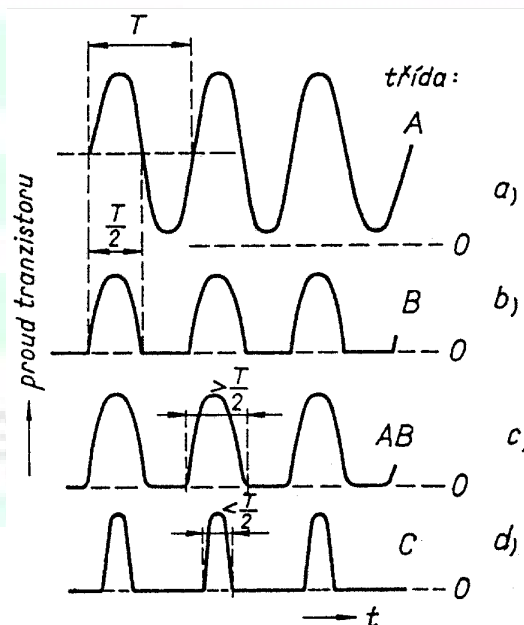
Výkonové zesilovače (koncové stupně) teoreticky využívají celou oblast charakteristik,



Obr. 0-53 Poloha pracovního bodu tříd zesilovače



Obr. 0-52 Omezení výstupních charakteristik tranzistoru



Obr. 0-54 Výstupní signál zesilovačů podle třídy

odpovídající normálnímu aktivnímu režimu, jak je ohraničen mezními hodnotami a saturací (oblast S) ve výstupních charakteristikách Obr. 0-52. Připomeňme, že oblast A je vymezena napětím U_{CES} , oblast B začíná hodnotou I_{CM} , oblast C hodnotou U_{CEM} (obv. U_{CE0}) a konečně oblast D je ohraničena

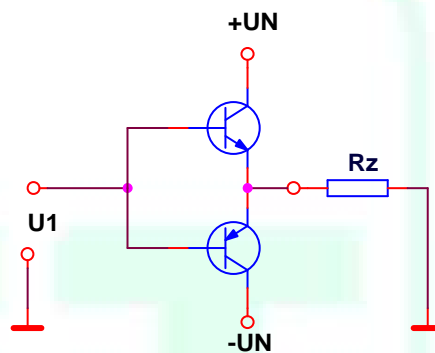
hyperbolou $P_{CM} (\cong P_{tot})$.

Běžné nastavení pracovního bodu předzesilovače „doprostřed charakteristik“ (str. 233) se nazývá **třída A**. Zejména u výkonových zesilovačů se však používají i jiná nastavení, která umožňují snížit velký klidový příkon třídy A, který je vyšší než výstupní výkon. Na Obr. 0-53 je obecná převodní charakteristika $U_1 \rightarrow I_2$ bipolárního i MOSFET tranzistoru s vyznačením klidových pracovních bodů, označených písmeny příslušných tříd.

Přivedeme-li na vstup tranzistoru harmonické napětí s periodou T a velkou amplitudou, aby se dynamický pracovní bod pohyboval po téměř celém rozpětí charakteristiky, jak tomu má u výkonového zesilovače být, bude mít výstupní proud časový průběh dle Obr. 0-54.

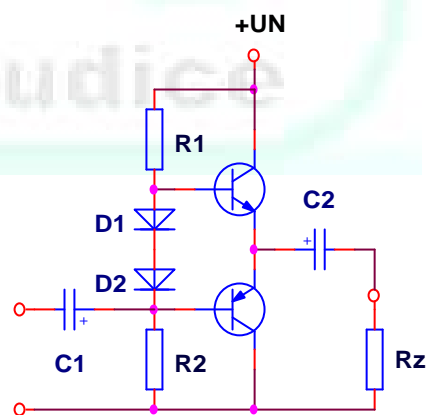
Třídy B i C se používají ve *dvojčinných* stupních – jeden tranzistor zpracovává signál tehdy, když má kladnou polaritu, paralelně řazený druhý tranzistor pak v době, kdy má signál zápornou polaritu (paralelní řazení bloků viz odst. „Řízení bloků a zpětná vazba“).

Starší zapojení s výstupním transformátorem se již téměř nepoužívá, známé je naopak zapojení push-pull, nyní běžně s komplementární (doplňkovou) dvojicí tranzistorů, t.j. s tranzistory opačné vodivosti. Nejčastěji se používá zapojení SC, jehož principiální zapojení na Obr. 0-55 má přímo spojené vstupy obou paralelních větví (báze tranzistorů), takže se zde jedná o **třídu C**, která pracuje bez předpětí. Výstupy větví se spojují přímo, zde propojením emitorů. Galvanická vazba vyžaduje použít symetrické napájení. Třída C, obvyklá ve stejnosměrných zesilovačích (např. servopohony), se neobejde bez silné ZZV, která umožní funkci i pro slabší signál. Zapojení ve třídě C s jediným tranzistorem mohou použít úzkopásmové vysokofrekvenční koncové zesilovače, neboť zesílené pulzy se převedou na harmonický signál zatěžovacím laděným obvodem.



Obr. 0-55 Princip zapojení push-pull

Častěji se používá nastavení do **třídy B**, s prahovým předpětím – na schématu Obr. 0-56 je vytvořeno úbytkem na dvou diodách. Tento obvod je napájen asymetricky, takže buzení i zátěž (reproduktor) musí být odděleny kondezátory. Ve skutečnosti se pracovní bod nízkofrekvenčních koncových zesilovačů posouvá do **třídy AB**, aby se minimalizovalo přechodové zkreslení signálu kolem nuly, kde pak pracují oba tranzistory. Klidový proud zesilovačů s maximálním proudem jednotek ampér bývá několik desítek miliampér, takže bez signálu mají minimální příkon (ve třídách B a C nulový – alespoň bez budicího stupně). Pro teplotní stabilizaci tohoto pracovního bodu se používají i složitější obvody, které mohou např. snímat teplotu chladiče výkonových tranzistorů.



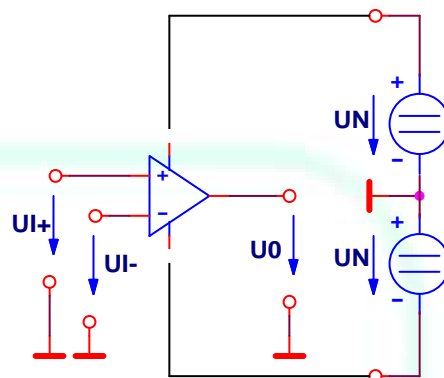
Obr. 0-56 Push-pull ve třídě B

5.7. Operační zesilovače

Operační zesilovače se původně používaly v analogových počítačích, které sloužily k řešení diferenciálních rovnic, především při zkoumání časové odezvy regulovaných soustav. Skládaly se z diskretních prvků (nejprve i z elektronek) a měly vyveden jen jediný, invertující vstup.

Operační zesilovač (OZ) je univerzální *stejnoseměrný zesilovač* s dobrou stabilitou nuly, s velmi velkým zesílením (řádově 10^5 až 10^6), velkým vstupním a malým výstupním odporem, s velkou odolností proti rušení, který zesiluje rozdílové napětí mezi *neinvertujícím* (označen +) a *invertujícím* (označen –) vstupem (Obr. 0-57). Nezesiluje tedy *souhlasné napětí*, t.j. napětí přivedené na oba dva vstupy současně.

Operační zesilovače se využívají především v měřicí a automatizační technice, jsou buď přímo součástí, nebo jsou zapojené v podpůrných obvodech převodníků (A/D a D/A, viz kap. 4), nachází se i v zařízeních zvukové techniky.



Obr. 0-57 Operační zesilovač

Ideální operační zesilovač

Většina zapojení s OZ pracuje v uzavřené smyčce silné *záporné zpětné vazby* (ZZV), takže parametry obvodu téměř nezávisí na parametrech konkrétního kusu a často ani typu OZ, na jejich změnách s teplotou a napájecím napětím, ale pouze na hodnotách vnějších obvodových prvků (tzv. *operační síť*). Pro zjednodušení jejich výpočtu se zavádí pojem **ideální operační zesilovač**, který má:

- **napěťové zesílení** (otevřené smyčky) $A_{u0} \rightarrow \infty$
- **vstupní odpor** (Input) $R_i \rightarrow \infty$ resp. nulový vstupní proud I_i
- **výstupní odpor** (Output) $R_o \rightarrow 0$

Často se ještě dodává okamžitá odezva výstupu na vstup nebo nulový fázový posun mezi vstupním

a výstupním signálem, což lze též zapsat jako

- **šířka pásma** (Band Width) $BW \rightarrow \infty$ resp. horní mezní kmitočet $f_h, f_T \rightarrow \infty$

Operační zesilovač má 2 vstupní a 1 výstupní vývod a 2 pomocné napájecí vývody, které se na schématech obvykle nekreslí. Aby bylo možno zpracovávat stejnosměrné napětí až k nulové hodnotě (což bipolární tranzistor neumí ani na vstupu, ani na výstupu), popř. napětí obou polarit, vytváří se vztažný uzel (= společný vodič) obvodu o napětí, které je obv. polovinou napětí mezi napájecími vývody operačního zesilovače. Operační zesilovač však nemá žádný (třetí) napájecí vývod, který by se ke společnému vodiči připojoval. Obvyklým řešením je zapojení dvou stejných napájecích zdrojů do série (Obr. 0-57); společný vodič (uzel) je v jejich spoji. Operační zesilovač je možné napájet i z jediného zdroje, pokud vytvoříme společný uzel s přibližně středním napětím uměle (stabilizátor se Zenerovou diodou, odporový dělič přemostěný kondenzátorem, výstup pomocného OZ).

Funkci *samotného OZ* (bez ZV) popisuje vztah

$$U_o = A_{u0}(U_{i+} - U_{i-}) \quad (0.30)$$

který platí pouze v lineárním režimu, kdy je výstupní napětí $|U_o|$ menší než maximální možné $|U_{om}|$, které se objeví na výstupu v saturem (přebuzeném) stavu; obecně rozdílná napětí

$|U_{OM+}|$ (kladná saturace) resp. $|U_{OM-}|$ (záporná saturace) jsou o 1 V až 3 V nižší než příslušné napájecí napětí $|+U_N|$ resp. $|-U_N|$. Operační zesilovač je tedy *zdroj napětí řízený rozdílem vstupních napětí*.

Vstupní rozsah v lineárním režimu je vzhledem k ohromnému zesílení nepatrný – z (0.30) dostaneme pro typické hodnoty $U_O \approx 10$ V a $A_{u0} \approx 10^5$ rozdílové napětí $\Delta U_i \approx 0,1$ mV – nelze tedy v tomto režimu OZ bez ZZV prakticky použít. Operační zesilovač může v několika málo zapojeních pracovat též s kladnou zpětnou vazbou (KZV). Bez ZV se hodí jako **komparátor** dvou napětí, jehož funkci můžeme vyjádřit :

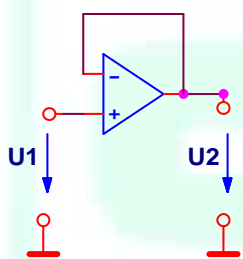
$$U_O = U_{OM+} \text{ při } U_{i+} > U_{i-}$$

$$U_O = U_{OM-} \text{ při } U_{i+} < U_{i-}$$

K výpočtu obvodů s OZ, zapojených se ZZV, se používá **princip virtuální nuly** resp. **fiktivního zkratu**, plynoucí z (0.30) pro konečné U_O a nekonečné A_{u0} :

Rozdílové napětí mezi vstupy OZ je v lineárním režimu a s uzavřenou smyčkou ZZV nulové.

Ukažme si aplikaci tohoto principu na nejjednodušším lineárním obvodu – **napěťovém sledovači** (Obr. 0-58). Zapojení se stoprocentní zpětnou vazbou nepotřebuje žádnou další součástku. Na základě principu virtuální nuly je výstupní napětí přesně rovno vstupnímu. Obvod má v důsledku ZZV extrémně velký diferenciální vstupní odpor a velmi malý výstupní odpor, takže pracuje jako dokonalý impedanční oddělovač.



Obr. 0-58 Napěťový sledovač

Jen nepatrně složitější je odvození vztahu pro výpočet prvků v jednom ze dvou základních zesilovačů s OZ (Obr. 0-59).

V tomto zapojení, stejně jako v řadě dalších, je neinvertující vstup OZ spojen se společným vodičem. OZ je tak zapojen jako *invertující operační zesilovač* s jediným vstupem i výstupem (na schématu vyznačeno svorkami). Impedance Z_1 a Z_2 jsou obecné (t.j. komplexní čísla) – mohou nahrazovat libovolně složité dvojpolý, složené z prvků R, L, C. Vzhledem k principu virtuální nuly je na invertujícím vstupu nulové napětí; zároveň do něj neteče žádný proud ($R_i \rightarrow \infty \Rightarrow I \rightarrow 0$), takže ani nevytéká z uzlu Z_1 - Z_2 . Podle Kirchhoffova zákona platí $U_1/Z_1 = U_2/Z_2$, tedy

$$U_2 = -\frac{Z_2}{Z_1} U_1 \quad (0.31)$$

Představují-li impedance Z_i pouhé rezistory R_i , dostaneme pro zesílení A_u tohoto **invertujícího zesilovače**

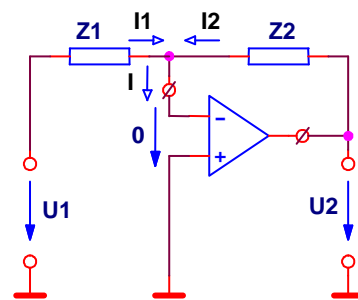
$$A_u = -\frac{R_2}{R_1} \quad (0.32)$$

které tak pochopitelně nezávisí na parametru OZ A_{u0} . Vstupní odpor zesilovače je $R_i = R_1$.

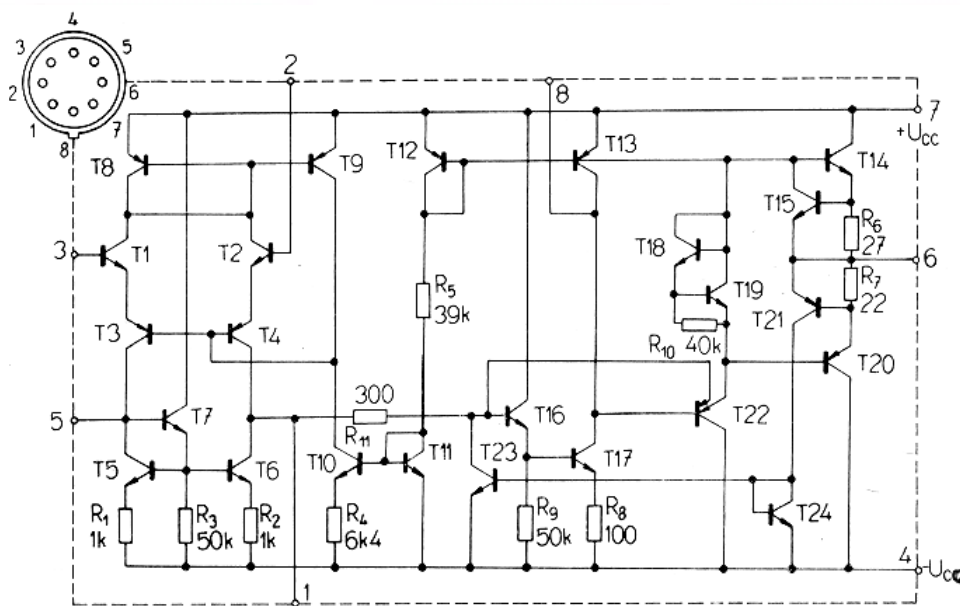
Reálné operační zesilovače

Operační zesilovače se vyrábějí již několik desetiletí téměř výhradně v integrované podobě. V jednom pouzdře mohou být až čtyři obvody se společným napájením. Představu o počtu součástek poskytne vnitřní schéma staršího, standardního typu OZ na Obr. 0-60. Používají se nejen bipolární tranzistory, ale i JFET a CMOS(FET), které umožňují dosáhnout opravdu vysokého vstupního odporu (bez ZZV).

Na vstupu OZ je zapojení, nazývané **diferenční stupeň** (princiálně na Obr. 0-61), jehož vlastností je, že nezesiluje souhlasné, ale jen rozdílové napětí. Předpokládáme shodu charakteristik a teploty tranzistorů T1 a T2, což lze v integrovaném provedení téměř docílit. Jsou-li vstupní napětí U_{1A} a U_{1B} shodná, tečou přechody B-E obou tranzistorů stejné proudy a proud stabilizátoru I se dělí do emitorů v poměru 1:1. Na rezistoru R2 je pak klidový úbytek napětí U_2 . Stabilizátor proudu zajišťuje tuto podmínku pro velký rozsah vstupních napětí. Zvýší-li se jedno vstupní napětí oproti druhému, příslušný tranzistor se více otevře a druhý poněkud uzavře (změní se totiž napětí v uzlu emitorů), tím se změní poměr emitorových proudů obou tranzistorů, takže se změní i U_2 .

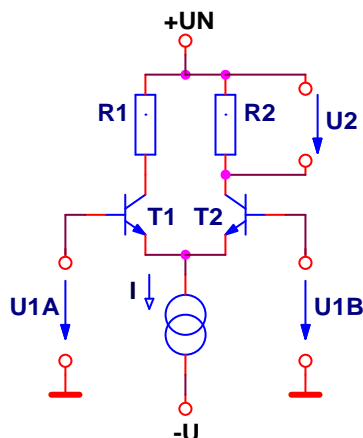


Obr. 0-59 Invertující zesilovač



Obr. 0-60 Vnitřní zapojení operačního zesilovače (typ 748)

V OZ mají všechny napěťové zesilovací stupně (včetně diferenčního) aktivní zátěž. Největší podíl na zesílení má střední stupeň v zapojení SE (často kaskádním). Koncový stupeň je dvojnásobný komplementární (push-pull) s elektronickou pojistkou, která chrání výstupní tranzistory před zkratem na společný vodič i na napájení. Běžný výstupní proud OZ by neměl překročit 5 mA, maximálně 10 mA. Protože i vstupní napětí může být v rozsahu napájecího, neměl by se OZ, připojený správně na napájení, poškodit s jakýmkoliv zapojením vstupů i výstupů.



Obr. 0-61 Diferenční stupeň

Standardní („historické“) napájecí napětí OZ je ± 15 V, aby OZ mohly na vstupu i výstupu s rezervou zpracovávat napětí v rozsahu ± 10 V, což byl standard pro analogové počítače i měřicí a regulační obvody. Odpovídající typy OZ pak již nemusí správně pracovat s napájecím napětím nižším než ± 6 V. V současnosti se však již nabízí řada typů OZ, optimalizovaných na napájení ± 5 V.

Na významu nabývají typy rail-to-rail (cośi jako „od dorazu k dorazu“ – český název chybí), které mohou zpracovat napětí v celém rozsahu napájecího napětí – některé jen na vstupu, jiné i na výstupu, pokud jsou zatíženy velkou impedancí, takže úbytek na sepnutém výstupním tranzistoru lze zanedbat. OZ tohoto provedení můžeme napájet jediným zdrojem, často bateriovým, tedy nízkým napětím +5 V nebo dokonce jen +3 V, pokud nepotřebujeme

zpracovávat napětí opačné polarity (což je zrovna případ invertujícího zesilovače). Poznamenejme, že se však stále jedná o značkové a tudíž podstatně dražší typy.

Nepříjemnou vlastností reálných OZ je **vstupní napěťová nesymetrie** U_{i0} (Input Offset Voltage), způsobená rozptylem parametrů tranzistorů ve vstupním diferenčním stupni. Je definována jako absolutní hodnota napětí, které by bylo nutno přivést mezi vstupy, aby výstupní napětí bylo nulové. Je-li o několik řádů nižší než rozsah vstupního napětí, lze ji zanedbat. V opačném případě je možno u většiny OZ (pokud nejsou zrovna čtyři v jednom pouzdře) napěťovou nesymetrii vyrovnat vnějším trimrem, připojeným mezi dva pomocné vývody OZ (č.1 a č.5 na Obr. 0-60) a napájecí svorku (č.4). Změna (drift) U_{i0} s teplotou však zůstává. Zaručenou nízkou hodnotu U_{i0} mají speciální, dražší typy OZ. Podobným parametrem je **vstupní proudová nesymetrie** I_{i0} , t.j. rozdíl mezi klidovými proudy obou vstupů. U bipolárních OZ působí **vstupní klidový proud** I_B na rezistoru o vyšším odporu, připojeném na vstup, nezanedbatelný úbytek napětí, který se projeví jako další nežádoucí vstupní napětí. Proto by měla operační síť mít stejný vnitřní odpor pro oba vstupy OZ, aby se úbytky napětí na obou vstupech do značné míry navzájem kompenzovaly. V praktických zapojeních s invertujícím bipolárním operačním zesilovačem (princiálně např. Obr. 0-59, Obr. 0-68) proto můžeme nalézt pomocný rezistor, připojený mezi neinvertující vstup a společný vodič. Úplné kompenzaci napěťových úbytků brání nesymetrie proudů (I_{i0}) a její teplotní závislost. V operačních sítích se používají odpory od stovek ohmů (nikoliv však jako zátěž výstupu OZ – došlo by k jeho přetížení) do stovek kiloohmů (u bipolárních OZ).

Vstupní napěťová popř. proudová nesymetrie způsobuje **aditivní chybu** (*chybu nuly, posun nuly, offset*) přenosu operační sítě. Konečné zesílení otevřené smyčky se projeví (opět při vyšších zesíleních zesilovače) jako **multiplikativní chyba** (*chyba zisku, chyba rozsahu*). Určíme ji porovnáním reálného zesílení (0.27) se vztahem pro ideální hodnotou, která plyne z (0.27) dosazením $A_{u0} \rightarrow \infty$

$$A_{u0} = \frac{1}{\beta} \quad (0.33)$$

Pro relativní (multiplikativní) chybu pak platí přibližně

$$\delta_A \cong \frac{1}{\beta A_u} \quad (0.34)$$

takže např. v zesilovači s $A_u = 10^2$ používajícím OZ s $A_{u0} = 10^5$ je chyba $-0,1\%$ – zde ovšem neuvažujeme další chybu způsobenou tolerancemi zpětnovazebních rezistorů.

Míru potlačení souhlasného (součtového) napětí vyjadřuje **činitel potlačení souhlasného signálu CMR** (Common Mode Rejection (Ratio)), který v decibelech (kladné číslo) vyjadřuje,

jak se projeví souhlasný signál (stejnoseměrný nebo nízkého kmitočtu) U_{CM} na hodnotě U_{I0} , tedy

$$CMR = 20 \log \frac{U_{CM}}{\Delta U_{I0}} \quad (0.35)$$

Analogicky, avšak obvykle nikoliv v decibelech, se uvádí *citlivost (vstupní napěťové nesymetrie) na změnu napájecího napětí* **SVR** (Supply Voltage Rejection (Ratio))

$$SVR = \frac{\Delta U_{I0}}{\Delta U_N} [\square V/V] \quad (0.36)$$

Skutečný OZ má též omezený dynamický rozsah. Limitována je maximální rychlost změny výstupního napětí – **rychlost přeběhu** **SR** (Slew Rate) [V/μs], která se uplatní při velkém výstupním napětí. Pro malé signály je rozhodující **šířka pásma** **BW** (Band Width), která vzhledem k samozřejmé hodnotě $f_d = 0$ je totožná s kmitočtem f_h , a to *při jednotkovém zesílení*, t.j. při 100-procentní ZZV. Z toho plyne, že f_h napěťového zesílení otevřené smyčky je při nízkém $BW \approx 1$ MHz „pomalých“ OZ jen řádu jednotek či desítek hertz. Zesilovač s takovým OZ pak při vyšším zesílení nevyhovuje ani pro nízkofrekvenční pásmo.

Obvod s OZ, který je sám o sobě složitým obvodem, se může při vysokém stupni i *záporné* (!) ZV nežádavě rozkmitat – nehovoříme teď o parazitní KZV úbytky na společných nebo napájecích vodičích či kapacitními vazbami mezi výstupem a vstupem, ale o úmyslně nastavené ZZV. Některé OZ nejsou bez *kmitočtové kompenzace* stabilní při (nastaveném) jednotkovém zesílení. Stabilita OZ se pak zajišťuje vnějšími obvodovými prvky (nejčastěji jediný kondenzátor), připojenými k dalšímu pomocnému vývodu OZ (mezi č.8 a č.6 na Obr. 0-60, popř. i ke společnému vodiči).

Šum OZ je dán především tranzistory vstupního diferenčního stupně, pro něž platí, co bylo uvedeno v odst. „*bipolární tranzistory*“.

Parametry OZ jsou uvedeny v Tab. 0–9.

Kromě již zmíněných OZ typu rail-to-rail, typů s velmi nízkou vstupní napěťovou nesymetrií či klidovým proudem (BiFET, CMOS – též speciální *elektrometrické*) se zvláště uvádějí např. OZ *rychlé* (SR i BW), *nízkopříkonové*, *nízkošumové*, *přístrojové* (vysoké zesílení a nízká nelinearita), pro *hi-fi audio* obvody (nízký šum, nízké nelineární zkreslení) a *výkonové* v pouzdrech podobných výkonovým tranzistorům (P_{tot} až 50 W), určené pro nízkofrekvenční zesilovače a stejnosměrné servopohony. Výstup běžného OZ je možno velmi jednoduše proudově posílit výkonovým stupněm dle Obr. 0-55.

Obvody s operačními zesilovači

V literatuře bychom našli stovky obvodů s jedním až čtyřmi OZ – základní např. v [5]. Uvedme si alespoň nejdůležitější obvody, řazené podle druhu zpětné vazby a prvků v operační síti.

Lineární obvody

Pokud připojíme vstup invertujícího zesilovače (Obr. 0-59) na zdroj referenčního napětí a rezistor R_2 bude proměnný, z přímo úměrného napětí U_2 zjistíme neznámý odpor R_2 – obvod pracuje jako **převodník R/U**.

Speciálním případem invertujícího zesilovače pro $R_2 = R_1$ je **invertor** s výstupním napětím $U_2 = -U_1$.

Tab. 0–9 Parametry běžných operačních zesilovačů

veličina	značka	min.	typ.	max.	jednotka
MEZNÍ					
napájecí napětí	U_{CC}	± 6	± 18	± 22	V
vstupní napětí	U_i		U_{CC}		V
doba zkratu výstupu	t_{sc}		trvale		s
CHARAKTERISTICKÁ					
zesílení otevřené smyčky	A_{u0}	$3 \cdot 10^4$	10^5	$5 \cdot 10^6$	
vstupní odpor ¹⁾	R_i	10^5	10^6	10^7	Ω
výstupní odpor	R_o	$3 \cdot 10^1$	10^2	$2 \cdot 10^2$	Ω
napájecí napětí	U_{CC}	± 1	$\pm 15, +5, \pm 5$		V
klidový napájecí proud	I_{CC}	0,1	1	10	mA
výstupní napětí	$\pm U_{OM}$	$ U_{CC} -3$		$ U_{CC} -1$	V
výstupní zkratový proud	I_{OM}	10		30	mA
vstupní napěťová nesymetrie ²⁾	U_{i0}	0,01	1	10	mV
vstupní klidový proud ¹⁾	I_{IB}	1	50	300	nA
vstupní proudová nesymetrie ¹⁾	I_{i0}		0,1		$\times I_{IB}$
potlačení souhlasného napětí	CMR	80	100	140	dB
potlačení vlivu napájecího napětí	SVR	0,2	10	100	$\mu V/V$
rychlost přeběhu	SR	0,01	1	300	V/ μs
šířka pásma	BW	0,03	3	200	MHz

1) Pro bipolární OZ

2) Hodnota, u které výrobce zaručuje, že nebude překročena – minimální může být statisticky i nulová

Rozšířením invertujícího zesilovače o další vstupy, opatřené rezistory R_{1i} , vznikne **sumační zesilovač** (na Obr. 0-62 se 3 vstupy), jehož výstupní napětí je

$$U_2 = -R_2 \sum_{i=1}^n \frac{U_{1i}}{R_{1i}} \quad (0.37)$$

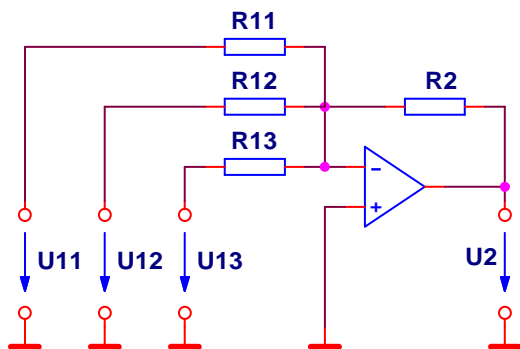
Obvod se hodí např. pro slučování signálů v audiotechnice nebo výstupů jednotlivých složek PID regulátoru. Pokud nevyhovuje, že sumační zesilovač zároveň mění znaménko vstupních napětí, zařadíme za něj invertor.

Druhým základním zapojením zesilovače s OZ je **neinvertující zesilovač** (Obr. 0-63). Na základě principu virtuální nuly ($U_- = U_1$) dostaneme z rovnosti proudů $U_1/R_1 = (U_2 - U_1)/R_2$ vztah pro zesílení

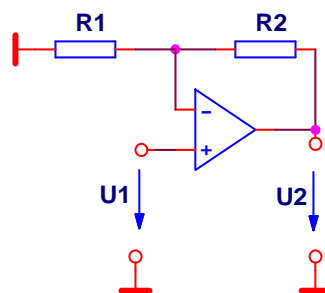
$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (0.38)$$

Zpětná vazba je zavedena napěťovým děličem R_2 - R_1 , tedy $|\beta| = R_1 / (R_1 + R_2)$, po dosazení do (0.33) se záporným znaménkem (invertující vstup) obdržíme rovněž (0.38).

Výhodou zapojení je velký vstupní odpor. Pokud ovšem není trvale připojen stejnosměrně vázaný zdroj signálu, má být vstup přes rezistor spojen se společným vodičem, aby nebyl



Obr. 0-62 Sumační zesilovač

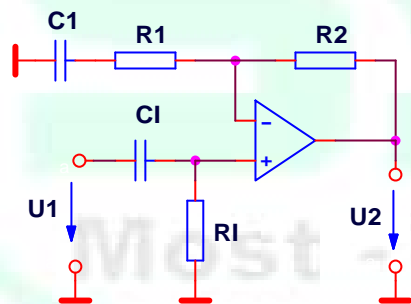


Obr. 0-63 Neinvertující zesilovač

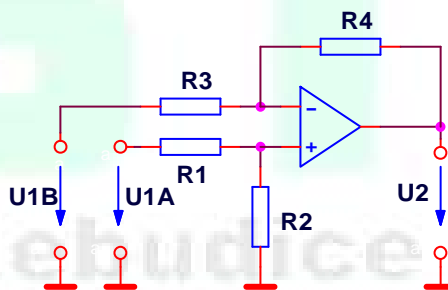
plovoucí – OZ by se za krátký čas dostal do saturace. V ojedinělých případech by mohlo být na závadu, že na rozdíl od invertujícího zesilovače nelze nastavit $A_u < 1$.

Proud rezistorem R2 nezávisí na hodnotě R_2 (pokud není OZ v saturaci), takže se obvod zároveň chová jako *řízený zdroj (= stabilizátor) proudu* plovoucí zátěží R2. Toto zapojení však nemá příliš velké praktické uplatnění.

Při velkých zesíleních, běžné vstupní napěťové nesymetrii a příp. nežádoucí stejnosměrné složce vstupního signálu se na výstupu zesilovače objeví nezanedbatelné stejnosměrné napětí (= chyba nuly). Pokud je zesilovač určen ke zpracování střídavého signálu (např. v audiotechnice), používá se modifikované zapojení – **střídavý zesilovač** na Obr. 0-64. Kondenzátor C1 odděluje příp. stejnosměrnou složku vstupního signálu, kondenzátor C1 odpojuje pro stejnosměrné napětí rezistor R1 od společného vodiče, takže vstupní napěťová nesymetrie není vůbec zesilována (stejnosměrná 100-procentní ZZV). Pro požadovaný dolní mezní kmitočet f_d vypočteme kapacity C1 a C1 podle (1.24).



Obr. 0-64 Střídavý zesilovač



Obr. 0-65 Diferenční zesilovač

Doposud uvedená zapojení přiváděla vstupní signál na jediný z obou vstupů OZ – jednalo se o zesilovače s *asymetrickým vstupem*.

Diferenční (rozdílový) zesilovač (Obr. 0-65) při shodných poměrech R_2/R_1 a R_4/R_3 zesiluje až na znaménko stejné napětí U_{1A} jako U_{1B} podle vztahu

$$U_2 = A_u (U_{1A} - U_{1B}) \quad (0.39)$$

takže souhlasné napětí připojené na oba vstupy současně nezesiluje – jedná se o zesilovač se *symetrickým vstupem*. Potlačí se tak např. rušivé napětí, indukované shodně do společně vedených (nejlépe navzájem zkroucených) přívodních vodičů nebo vznikající na zemní smyčce mezi zesilovačem a vzdáleným zdrojem signálu. Diferenční zesilovač též může zesilovat napětí v diagonále měřicího můstku.

Při $U_{1A} = 0$ se jedná z hlediska U_{1B} o zapojení invertujícího zesilovače, naopak při $U_{1B} = 0$ se jedná o neinvertující zesilovač, na nějž přichází U_{1A} zeslabené dělicím poměrem $R_2 / (R_1 + R_2)$. Obě funkce se na principu lineární superpozice kombinují, takže pro zesílení platí

$$A_u = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \quad (0.40)$$

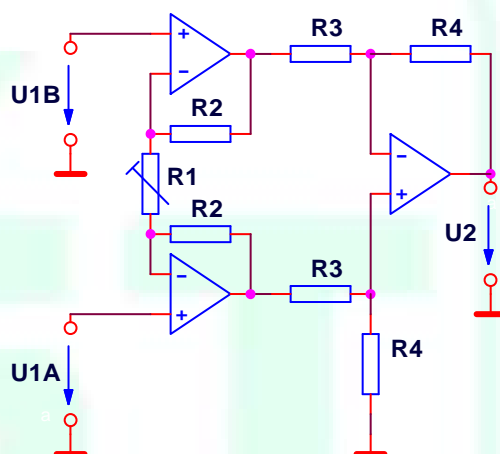
přičemž se zpravidla volí $R_1 = R_3$ a $R_2 = R_4$. Nevýhodou zapojení je malý odpor obou vstupů a skutečnost, že změna zesílení vyžaduje naprosto shodnou změnu dvou rezistorů.

Připomeňme, že ačkoliv (0.39) je formálně shodný s (0.30), samotný OZ bez ZZV nelze jako diferenční zesilovač použít.

V měřicí technice se zpravidla používá dokonalejší **přístrojový zesilovač** (Obr. 0-66), který bývá i integrován. Zapojení vzniklo doplněním diferenčního zesilovače o napěťové sledovače na vstupech, takže vstupní odpor je velký. Další úprava zapojení umožňuje nastavovat zisk jediným rezistorem R_1 podle vztahu

$$A_u = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3} \quad (0.41)$$

Potlačení souhlasného signálu (CMR) diferenčním i přístrojovým zesilovačem závisí na dodržení shodného poměru R_4/R_3 v obou dělicích, v přístrojovém zesilovači pak i na shodě obou rezistorů s hodnotou R_2 . Běžná tolerance rezistorů 1 % není dostačující, musí být dorovnána trimrem resp. laserovým trimováním rezistorů v integrovaném obvodu. Integrované přístrojové zesilovače umožňují buď nastavit pevná zesílení (např. 1, 10, 100, 1000) propojením patřičných vývodů, nebo libovolné jediným externím rezistorem R_1 . Přístrojové zesilovače jsou základem měřicích obvodů v různých měřicích modulech nebo v zásuvných kartách do PC, bývají na vstupech některých A/D převodníků (kap. 4).



Obr. 0-66 Přístrojový zesilovač

Příklad 0-8 Výpočet odporů sumačního zesilovače

Navrhněte obvod s OZ, který realizuje funkci $U_{\text{sum}} = 0,5 \cdot U_x + U_y + 2,5 \cdot U_z$. Pokud je rozsah výstupního napětí $U_{2\text{max}} = \pm 5 \text{ V}$, jaký je vstupní rozsah $U_{1\text{max}}$, má-li být jednotný pro všechny vstupy?

Řešení :

Použijeme sumátor dle Obr. 0-62 a za ním zařazený invertor. Zvolíme odpor R_2 např. 50 kΩ, pak budou podle (0.37) odpory R_{1i} na jednotlivých vstupech 100 kΩ (x), 50 kΩ (y) a 20 kΩ (z).

Ze zadané funkce při $U_{\text{sum}} = U_{2\text{max}}$ a pro nejnepriznivější případ $U_{1\text{max}} = U_x = U_y = U_z$ dostaneme

$$U_{1\text{max}} = 0,25 U_{2\text{max}}, \text{ t.j. } U_{1\text{max}} = \pm 1,25 \text{ V.}$$

Příklad 0-9 Výpočet odstupů rušivých napětí

Vypočítejte odstup rušivých napětí nízkofrekvenčního mikrofonního zesilovače s OZ se symetrickým vstupem a jmenovitým výstupním napětím 0,775 V ($\equiv 0 \text{ dBm}$, viz s. 229),

indukuje-li se do přívodních vodičů mikrofону brum o (souhlasném) napětí 5 mV. Zesilovač má zesílení 400 a potlačení souhlasného napětí na nízkých kmitočtech 80 dB.

Řešení :

Rušivé souhlasné napětí se projeví po potlačení o 80 dB ($= 10^4 \times$ zeslabené) jako rušivé diferenční napětí $0,5 \mu\text{V}$. Zesilovač ho zesílí na 0,2 mV, což vzhledem k výstupnímu rozsahu 775 mV dává dle (0.25) hodnotu $\text{SNR} = 72 \text{ dB}$. Ve skutečnosti by tato hodnota byla o několik dB nižší, neboť při malém vstupním rozsahu zesilovače (2 mV) se již projeví šum i nízkošumového OZ.

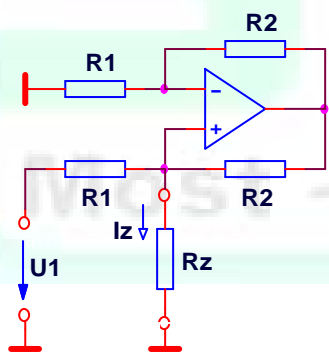
Nejjednodušší **řízený stabilizátor proudu** do uzemněné zátěže je na Obr. 0-67. Proud se řídí jednoduchým vztahem $I_z = U_1/R_1$, rozsah (kromě maximálního proudu z výstupu OZ) záleží na volbě R_1 a R_2 .

Základním obvodem s funkcí v časové oblasti je **integrátor** (Obr. 0-68) – obvod, který byl základem analogových počítačů, uplatňuje se v regulátorech, v některých analogově číslicových převodnících, ve funkčních generátorech (odst. „*Astabilní klopné obvody a generátory funkcí*“) a v aktivních filtrech. Postupem shodným s odvozením

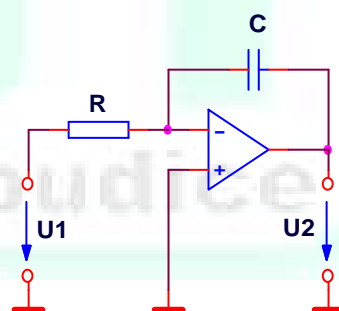
(0.31) dostaneme po dosazení $i = C \frac{du}{dt}$ a po integraci závislost

$$u_2 = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_1 d\tau \quad (0.42)$$

kde malé písmeno u znamená časově proměnné napětí. Pokud je vstupní napětí U_1 konstantní, mění se výstupní napětí v čase lineárně, než dojde k saturaci výstupu. Protože vstupní napěťová nesymetrie OZ je též integrována, způsobuje pomalou změnu výstupního napětí i při nulovém vstupním napětí. Praktické použití tedy vyžaduje doplnit základní obvod buď obvodem nulování, např. elektronickým spínačem krátce sepnutým např. před měřením, nebo rezistorem o velké hodnotě – oba prvky se zapojují paralelně ke kondenzátoru.



Obr. 0-67 Stabilizátor proudu



Obr. 0-68 Integrátor

Čistě inverzní obvod – **derivátor** – se příliš nepoužívá, protože z principu příliš zesiluje šum a rušení ve vstupním signálu. Jeho schéma vznikne záměnou rezistoru a kondenzátoru v Obr. 0-68.

Příklad 0–10 Výpočet integrátoru

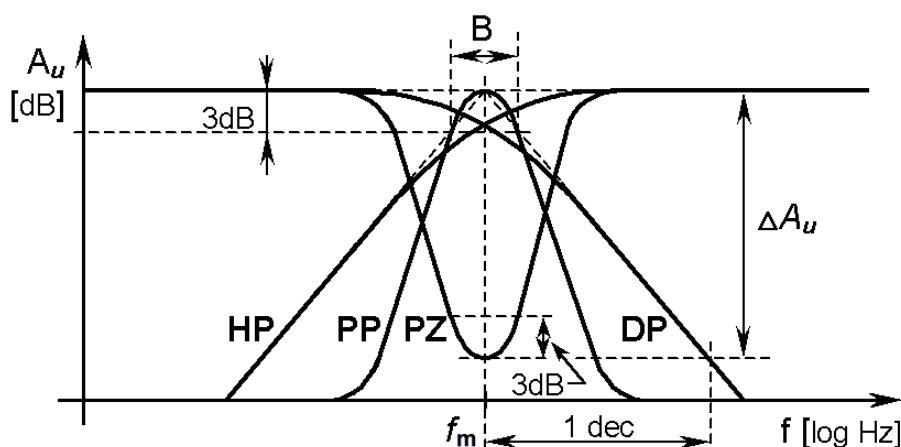
Vypočítejte dobu od zapnutí napájení $\pm 15 \text{ V}$, po které se může dostat OZ typu 741 v integrátoru (Obr. 0-68) s $R = 100\text{k}$ a $C = 470\text{n}$ do saturace (uvažujeme $\pm 13 \text{ V}$) i při uzemněném vstupu. Maximální katalogové hodnoty jsou $U_{10} = 6 \text{ mV}$ a $I_{10} = 100 \text{ nA}$.

Řešení :

Průchodem vstupního proudu OZ rezistorem vzniká nekompenzovaný (na neinvertujícím vstupu není rezistor) úbytek napětí $U_{11} = R I_B = 10 \text{ mV}$. Musíme uvažovat nepříznivý případ, kdy vstupní napěťová nesymetrie má stejné znaménko. Ačkoliv se obě napětí projevují přímo na neinvertujícím vstupu OZ, můžeme si představit, že se jedná o vstupní napětí $U_1 = U_{11} + U_{10}$ obvodu s ideálním OZ. Ze vztahu (0.42) pro konstantní vstupní napětí obdržíme $u_2 = -\frac{t}{RC} U_1$, takže pro $u_2 = U_{OM} = 13 \text{ V}$ vyjde $t = 38 \text{ s}$.

Aktivní filtry

Rozsáhlou skupinou lineárních obvodů jsou **aktivní filtry**, t.j. filtry se zesilovačem, zpravidla operačním, a s prvky R, C, které jsou náhradou za pasivní LC filtry s příp. oddělovacími zesilovači, neboť, jak již bylo řečeno, indukčnosti jsou rozměrné a drahé.



Obr. 0-69 Frekvenční charakteristiky filtrů

Funkce filtrů (Obr. 0-69) spočívá buď v omezení frekvenční charakteristiky zdola (**horní propust** HP) či zhora (**dolní propust** DP), nebo, zjednodušeně řečeno, v náhradě (proudově buzeného) rezonančního obvodu paralelního (**pásmová propust** PP) či sériového (**pásmová zadrž** PZ).

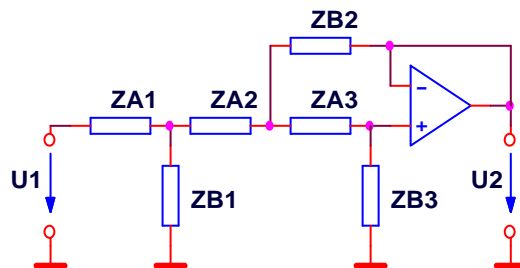
Navrhují se podle požadovaného zobecněného **mezního kmitočtu** f_m a *strmosti charakteristiky* v oblasti poklesu (pro DP a HP) resp. podle *jakosti* Q (pro PP a PZ), se kterou je vázána šířka pásma B pro změnu přenosu o 3 dB, příp. praktičtější $B_{\Delta A}$, kde ΔA je významná úroveň potlačení PZ v dB (např. B_{20} , B_{40}). Dalšími kritérii jsou *zvlnění amplitudové charakteristiky v propustném pásmu* i v *nepropustném pásmu*, *maximální útlum v nepropustném pásmu* a *průběh fázové frekvenční charakteristiky*. Podle těchto doplňkových kritérií se volí *typ* (matematické) *aproximace* požadovaného přenosu DP a HP – buď s *maximálně plochou charakteristikou* (nejběžnější, *Butterworthova* aproximace, viz Obr. 0-69), nebo s tzv. *izoextremální charakteristikou* (Besselova, Čebyševova, Cauerova).

Pouze u Butterworthových filtrů je kmitočet f_m , který je *kmitočtem zlomu* asymptotické amplitudové charakteristiky, přesně shodný s dolním (f_d) resp. horním (f_h) mezním kmitočtem, na kterém dochází k poklesu zesílení o 3 dB.

Dosažitelná strmost charakteristiky DP/HP na asymptotě v oblasti poklesu o hodnotě $\delta_p = \Delta A_i / \text{dec}$ (na dekádu, t.j. poměr kmitočtů 1:10) resp. $\delta_p = \Delta A_i / \text{oct}$ (na oktávu, t.j. poměr kmitočtů 1:2) je dána **řádem** filtru n

$$\delta_p = 20n \text{ dB/dec} = 6n \text{ dB/oct} \quad (0.43)$$

Každý akumulční člen (zde C) zvyšuje řád o jednotku; PP a PZ jsou 2. řádu. Podle jednotlivých aproximací jsou vypočteny a tabelovány koeficienty, ze kterých se počítají hodnoty R a C. Protože jednostupňové aktivní filtry vysokých řádů mají extrémní požadavky na přesnost hodnot a na parametry OZ, skládají se propusti řádu vyššího než třetího z kaskádního spojení více stupňů 2. a 3. řádu, ovšem s navzájem odlišnými hodnotami prvků.



Obr. 0-70 Aktivní filtr (DP, HP) s OZ

Nejběžnější zapojení DP/HP 3. řádu s *napětovým sledovačem* je na Obr. 0-70, kde jsou prvky R, C obecně označeny jako impedance Z_{Ai} (v přímé větvi) a Z_{Bi} (příčné). V zapojení DP jsou na pozicích Z_{Ai} *rezistory* (obvod musí přenášet stejnosměrný signál) a na pozicích Z_{Bi} *kondenzátory*, u HP to je obráceně (obvod přenáší jen střídavý signál). V propustích 2. řádu chybí vstupní RC člen Z_{A1} - Z_{B1} , další členy pak ovšem mají prvky s jinými hodnotami než měly pro 3. řád.

Uvedené zapojení se zpravidla používá se shodnými hodnotami prvků v přímé větvi ($R_{A1} = R_{A2} = R_{A3}$ resp. $C_{A1} = C_{A2} = C_{A3}$) a podle koeficientů k_i (ca $0,03 < k_i < 30$), tabelovaných pro danou aproximaci a její řád, se dopočítávají hodnoty příčných prvků v závislosti na f_m ze vztahu

$$f_m = \frac{k_i}{2\pi RC} \quad (0.44)$$

Při záměně DP \leftrightarrow HP mají koeficienty k_i navzájem převrácené hodnoty.

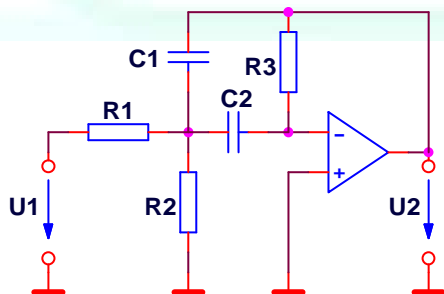
Příklad zapojení *úzkopásmové propusti* je na Obr. 0-71.

Pro její parametry platí vztahy

$$f_m = \frac{1}{2\pi C \sqrt{R_{12} R_3}} R_{12} = R_1 \parallel R_2 B = \frac{1}{\pi R_3 C} Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_3}{R_{12}}} \quad (0.45)$$

Širokopásmové propusti se realizují kaskádním zapojením DP a HP potřebného řádu.

Pomocí speciálních zapojení s OZ, která se nazývají **gyrátory**, je možno měnit charakter impedance (např. kapacitu na indukčnost, odpor na kapacitu apod.). Takto je možno snadno realizovat značné *syntetické indukčnosti*, byť jen pro poměrně malá napětí a proudy a zpravidla jednou svorkou uzemněné. Používají se např. v ekvalizérech zvukových souprav.



Obr. 0-71 Pásmová propust s OZ

Aktivní filtry mají široké uplatnění – zejména DP slouží k odfiltrování všudypřítomného šumu a rušení na pomalu se měnícím signálu, PP zase vybírá užitečný signál, pokud má stálý kmitočet. PZ se uplatní např. při měření nelineárního zkreslení (0) potlačením kmitočtu základního signálu (nevyskytuje se v čitateli (0.16)), HP se spolu s DP využívá např. v aktivních reproduktorových výhybkách apod.

Příklad 0–11 Výpočet aktivního filtru

Navrhněte aktivní filtr, který potlačí rušení síťového kmitočtu a jeho harmonických alespoň o 40 dB v užitečném signálu se střídavou složkou o horním mezním kmitočtu 10 Hz.

Řešení :

Síťový kmitočet je $5\times$ vyšší než nejvyšší kmitočet signálu, což odpovídá 0,70 dekády (= $\log 5$). Strmost charakteristiky dolní propusti s mezním kmitočtem 10 Hz tedy musí být alespoň $\delta_p = 40/0,7 = 57$ dB/dec, což vyžaduje filtr 3. řádu – viz (0.43). V zapojení dle Obr. 0-70 zvolíme $ZA1 = ZA2 = ZA3 = R = 100k$. Např. v [5] nalezneme koeficienty Butterworthovy DP do (0.44) :

$$k_1 = 1,392$$

$$k_2 = 3,546$$

$$k_3 = 0,2024$$

a vypočteme kapacity na pozicích ZB1, ZB2 a ZB3 :

$$C_1 = 2,22 \cdot 10^{-7} \text{ F (220n)} \\ (33n)$$

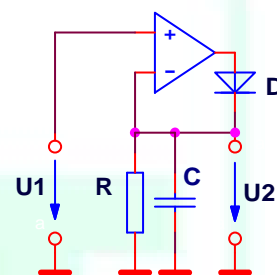
$$C_2 = 5,64 \cdot 10^{-7} \text{ F (560n)}$$

$$C_3 = 0,322 \cdot 10^{-7} \text{ F}$$

Nelineární obvody

Velkou skupinou obvodů s nelineární převodní funkcí jsou *usměřňovače*. Na rozdíl od pasivních diodových usměřňovačů usměřňují i napětí řádově menší než jsou prahová napětí diod, např. v měřicích přístrojích. Umožňuje to silná ZZV, linearizující V-A charakteristiku diod.

Nejjednodušším usměřňovačem je **špičkový detektor** jedné polaridy dle Obr. 0-72. Kladná amplituda U_1 nabíjí kondenzátor C – zpětnou vazbou se nastaví i při malém vstupním napětí takové výstupní napětí OZ, aby se dioda D pootevřela tak, jak je potřeba. Napětí se na kondenzátoru C udrží i mezi impulzy, neboť ten se vybíjí s dlouhou časovou konstantou RC. Nevýhodou zapojení je, že při záporném vstupním napětí přechází OZ do saturace (dioda D nevede – závěrná polarizace), ze které návrat trvá řádově delší dobu, než by např. odpovídalo rychlosti přeběhu. Špičkové detektory se používají např. jako indikátory úrovně signálu v audiotechnice.

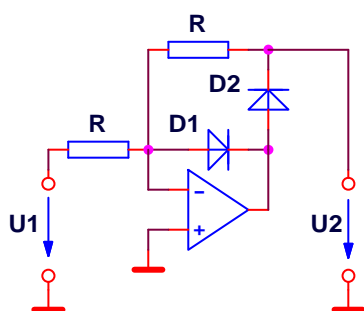
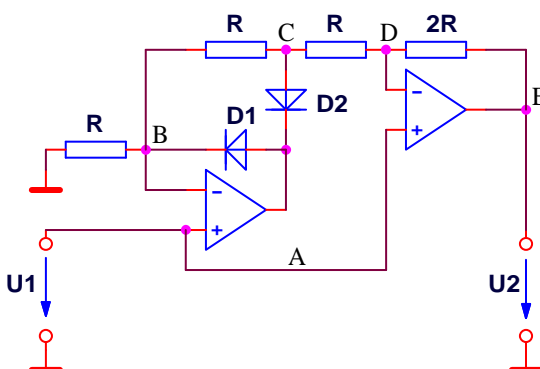


Obr. 0-72 Špičkový detektor

V měřicí technice se používají **přesné usměřňovače** střídavého napětí, často nazývané – zejména pracují-li i se stejnosměrným signálem – **obvody absolutní hodnoty**.

Jednocestný usměřňovač na Obr. 0-73 převádí invertovanou zápornou půlvlnu vstupního napětí přes diodu D2 na kladné výstupní napětí. Při kladné půlvlně na vstupu je smyčka ZZV uzavřena přes D1, takže se OZ nedostane do saturace. Na výstupu je nulové napětí invertujícího vstupu. Nevýhodou obvodu je malý vstupní odpor, daný rezistorem R.

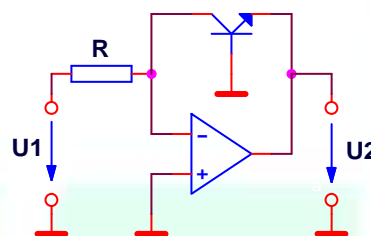
Jedno z mnoha zapojení *dvoucestného usměřňovače* se dvěma OZ na Obr. 0-74 má velký vstupní odpor. Kladná půlvlna na vstupu (uzel A) nastaví totéž napětí v uzlu B přes diodu D1. Aby se v uzlu D objevilo napětí shodné s uzlem A (princip virtuální nuly), nezbývá než aby bylo stejné i ve výstupním uzlu E. Záporná půlvlna na vstupu nastaví dvojnásobek toho napětí v uzlu C tak, aby v uzlu B bylo shodné s uzlem A (vlastně neinvertující zesilovač se shodnými odpory děliče). Jestliže je tedy v uzlu C napětí $-2U_1$ a v uzlu A napětí $-1U_1$, musí být v uzlu E hodnota $+1U_1$ (přírůstek $2\times$ ve shodě s rezistorem $2R$), aby v uzlu D bylo $-1U_1$ shodné s uzlem A.

Obr. 0-73 Jednocestný
usměrňovač

Obr. 0-74 Dvojcestný usměrňovač

Různá zapojení usměrňovačů se liší též podle počtu přesných rezistorů, která vyžadují, a podle kmitočtových vlastností.

Jako další příklad nelineárního obvodu uvedeme **logaritmátor** (Obr. 0-75), použitelný např. za přesným špičkovým detektorem jako převodník napětí na logaritmickou stupnici, např. v indikátorech úrovně v decibelech při záznamu zvuku na studiovém magnetofonu nebo digitálním záznamovém zařízení. Logaritmátor využívá rovnici (0.5) v inverzním tvaru ($\exp \rightarrow \ln$), neboť P-N přechod je zapojen ve zpětné vazbě, takže vstupnímu napětí je úměrný jeho proud. Toto principiální zapojení však nelze v praxi použít bez korekčního obvodu, neboť proud přechodem je, jak již víme, teplotně silně závislý. Vstupní napětí musí být kladné, výstupní je pak záporné. Obvod **exponenciátoru** získáme přesunutím tranzistoru do vstupní části obvodu, takže (0.5) se uplatní v přímém tvaru.



Obr. 0-75 Princip logaritmátoru

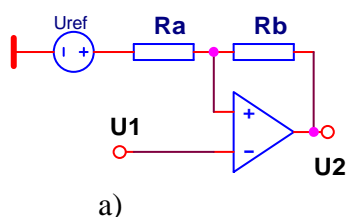
Klopné obvody

Klasifikace klopných obvodů je uvedena v kap. 2.

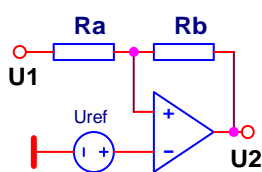
Operační zesilovač bez ZV je použitelný jako *komparátor* pouze v některých obvodech. Pokud se vstupní napětí mění pomalu a je zarušené, docházelo by náhodně k častému, falešnému překlápění komparátoru. Zpravidla je nezbytné zavést do obvodu alespoň malou hysterezi překlápění, což zajistí KZV. Takový komparátor se nazývá **Schmittův (klopný) obvod** a podle volby, který vstup bude referenční a který pracovní, rozlišujeme dvě zapojení (Obr. 0-76), lišící se charakterem převodní funkce a vstupním odporem : a) invertující, $R_1 \uparrow$; b) neinvertující, $R_1 \downarrow$.

Převodní charakteristika obvodu z Obr. 0-76a) je na Obr. 0-77. *Hystereze* je taková závislost (nikoliv funkce), jejíž hodnota závisí na tom, zda nezávisle proměnná dosáhla své hodnoty shora nebo zdola – nezávisí však na rychlosti změny. Hysterezní závislost má tvar smyčky (např. magnetizace feromagnetického materiálu), v případě klopného obvodu pravoúhlého průběhu, se změnami skokem. Při růstu U_1 ze záporných hodnot je výstup OZ v kladné saturaci, takže napětí U_{1B} neinvertujícího vstupu, při kterém se obvod překlápí, je vyšší než (zde kladné) referenční napětí U_{REF} . Po překlápní OZ do záporné saturace se na neinvertujícím vstupu nastaví nové, nižší (i než U_{REF}) srovnávací napětí U_{1A} , které se uplatní

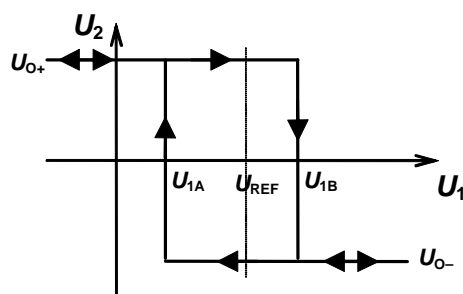
při poklesu U_1 . Důležité je, že při změně vstupního napětí (např. rušením) v pásmu o hysterezi $U_{1B} - U_{1A}$ je stav výstupu zachován.



b)



Obr. 0-76 Schmittův klopný obvod



Obr. 0-77 Převodní charakteristika Schmittova obvodu

Příklad 0–12 Výpočet prvků Schmittova klopného obvodu s OZ

Určete napětí U_{REF} a odpory R_a a R_b ve Schmittově obvodu z Obr. 0-76, aby překlápecí napětí (Obr. 0-77) byla $U_{1A} = 2\text{ V}$ a $U_{1B} = 4\text{ V}$. Bipolární OZ je napájen napětím $\pm 12\text{ V}$, jeho maximální výstupní napětí jsou $U_{OM+} = 11\text{ V}$, $U_{OM-} = -10\text{ V}$.

Řešení :

Nezatíženým děličem R_a - R_b teče proud $I = \frac{U_2 - U_{REF}}{R_a + R_b}$, napětí uzlu je $U_{I+} = U_{REF} + R_a I$.

Po dosazení za proud I a se substitucí $k = R_a / (R_a + R_b)$ platí pro oba stavy klopného obvodu na mezích jeho překlacení ($U_{I+} = U_{I-} = U_{1A,B}$) dvojice rovnic

$$\begin{aligned} U_{1A} &= (1-k) U_{REF} + k U_{OM-} \\ U_{1B} &= (1-k) U_{REF} + k U_{OM+} \end{aligned}$$

Odečtením první rovnice od druhé dostaneme $k = \frac{U_{1B} - U_{1A}}{U_{OM+} - U_{OM-}} = 0,0952$, volíme přiměřený

rezistor R_a , např. $10\text{ k}\Omega$, a k němu dopočteme $R_b = R_a \cdot (1-k)/k = 95,0\text{ k}\Omega$, takže složíme rezistory $91\text{ k}\Omega + 3\text{ k}\Omega$ nebo $180\text{ k}\Omega \parallel 200\text{ k}\Omega$.

Z jedné rovnice pak vyjádříme U_{REF} , např.: $U_{REF} = \frac{U_{1A} - k U_{OM-}}{1-k} = 3,26\text{ V}$

5.8. Generátory

Generátory jsou obvody, které bez vstupního signálu generují *periodický výstupní signál*. Obsahují buď elektronickou součástku se záporným diferenciálním odporem, nebo aktivní, zesilovací prvek s uzavřenou smyčkou *kladné zpětné vazby* (KZV, viz odst. „Řízení bloků a zpětná vazba“).

Oscilátory

Oscilátory generují signál s *ustáleným harmonickým průběhem*, t.j. běžné střídavé napětí různého kmitočtu. Klidový pracovní bod zesilovacího prvku leží uvnitř aktivní oblasti charakteristik, dynamický pracovní bod se pohybuje především v této oblasti. KZV je *kmitočtově závislá*, pro jediný kmitočet splňuje Barkhausenovu **podmínku oscilací** (viz (0.27))

$$T(j\omega_0) = 1 \quad (0.46)$$

t.j. signál se musí po průchodu smyčkou zpětné vazby vrátit v původní velikosti a s nulovým fázovým posuvem. Komplexní rovnice se tedy rozpadá na dvě dílčí, reálné podmínky :

- **podmínka fázová :** $\varphi_{\beta} + \varphi_A = \varphi_{ZV} = 0$ nebo násobky 360°
Aby byla stabilita kmitočtu nezávislá na dalších prvcích obvodu, musí být závislost fáze fázovacího obvodu na kmitočtu v okolí f_0 co nejstrmější.
- **podmínka amplitudová :** $|\beta A| = 1$
T.j. dle (1.27) je zesílení $A_u \rightarrow \infty$, takže obvod generuje na výstupu signál i bez vstupního signálu.

Po přivedení napájecího napětí však počáteční amplitudová podmínka oscilací musí být $|\beta_p A_p| > 1$, aby se oscilace vybudily (růstem napětí nebo zesílením šumu). Amplituda kmitů se pak ustálí zmenšením modulu přenosu při narůstání amplitudy – každý oscilátor tedy musí mít „automatiku“, která reguluje modul (ekvivalentního) přenosu T tak, aby nebyla příliš ovlivněna fáze a aby se spolehlivě a rychle ustálila amplituda kmitů. Jakost regulačního mechanismu určuje stálost amplitudy při změnách teploty a napájecího napětí i činitel harmonického zkreslení výstupního signálu popř. i stabilitu kmitočtu oscilací. Přesto v běžných zapojeních oscilátorů s jedním tranzistorem žádný zvláštní regulační obvod nenalezneme – využívá se nelinearity převodní charakteristiky, v níž se usměrněním velkého signálu na přechodu B-E posune pracovní bod tranzistoru do oblasti menšího proudu kolektoru, takže se zesílení sníží.

Oscilátory se rozdělují podle obvodu fázové podmínky.

LC oscilátory

Kmitočet oscilátoru určuje *rezonanční LC obvod*, takže je blízký kmitočtu ideálního obvodu ze známého Thompsonova vztahu

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (0.47)$$

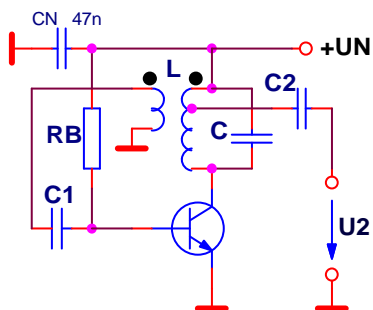
Kapacita a indukčnost mají být v přiměřeném poměru s ohledem na jakost cívky a výstupní i vstupní impedance aktivního prvku co nejvyšší, aby i jakost celého obvodu byla dostatečná – na ní závisí strmost fázové frekvenční charakteristiky $d\varphi_{\beta}/df$ a tím i stabilita kmitočtu. Pokud je třeba navázat obvod s nižší impedancí, použije se oddělené vinutí s nižším počtem závitů (transformátor), odbočka na cívce nebo rozdělení kapacity na více kondenzátorů (kapacitní dělič). Kmitočet oscilátoru se snadno ladí otočným kondenzátorem nebo varikapem. Pro velmi vysoké kmitočty (GHz) se používají *obvody s rozloženými parametry* (mikropásková vedení na plošném spoji, koaxiální vedení, vlnovody).

Je známo velké množství zapojení oscilátorů, nazývaných jmény jejich autorů. Jako příklad si však uvedeme zapojení na Obr. 0-79, použitelné sice jen pro nižší kmitočty, avšak odvozené ze známého obvodu – zesilovače SE s rezonanční zátěží a transformátorovou vazbou (viz Obr. 0-50). Místo připojení dalšího stupně se však výstup zapojí ve správné fázi na vstup. Tečka u vývodů značí začátky vinutí vinutých ve stejném smyslu. Výstup je navázán v místě s nízkou impedancí – na odbočce vinutí blízko konce cívky, uzemněného přes blokovací kondenzátor CN. Blokovací kondenzátory se umísťují blízko obvodů s vysokofrekvenčním signálem nebo pulzním odběrem (měniče, číslicové obvody), neboť vnitřní impedance rozvodu napájení nemusí být pro vysoké kmitočty dostatečně nízká.

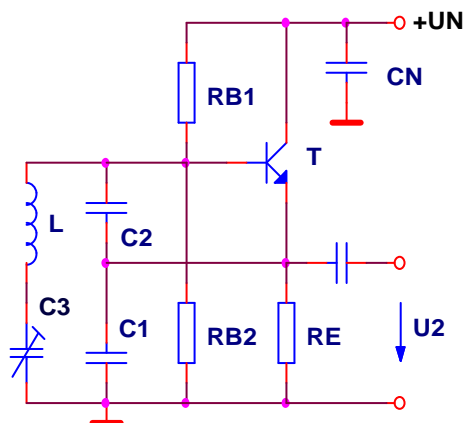
Příklad skutečně používaného zapojení pro vyšší kmitočty je na Obr. 0-78. Rezananční kapacitu a zároveň kapacitní dělič zde tvoří všechny 3 kondenzátory C1, C2 a C3 ($C_1 \ll$

C_2, C_3). Tranzistor je tak k rezonančnímu obvodu připojen ve 3 bodech (kolektor přes CN k uzlu C1-C3), jedná se tedy o jedno z možných zapojení tzv. *tříbodových oscilátorů*.

RC oscilátory



Obr. 0-79 LC oscilátor s transformátorem



Obr. 0-78 LC oscilátor typu Colpitts

Jedním z principů RC oscilátorů je **postupné**

posouvání fáze příčkovým článkem s několika RC členy. Ačkoliv na kapacitě dochází teoreticky k posuvu napětí a proudu o 90° , po připojení rezistoru je posun nižší – je nutno použít alespoň *tři* (někdy se používají i 4) *integrační* nebo *derivační články*, aby bylo dosaženo fázového posuvu 180° . Principiální schéma s obecným invertujícím (= posuv o dalších 180°) zesilovačem (tranzistor SE nebo OZ) je na Obr. 0-81. Jednotlivé RC články jsou jednak buzeny z různých vnitřních impedancí, jednak jsou různými impedancemi zatíženy. Vlastní impedance RC článků mohou být buď shodné, nebo odstupňované – další stupeň má obvykle $10\times$ vyšší odpor a $10\times$ nižší kapacitu než předchozí, což snižuje požadavky na zesílení zesilovače ($A_u \approx 10^1$). Pro shodné hodnoty RC platí

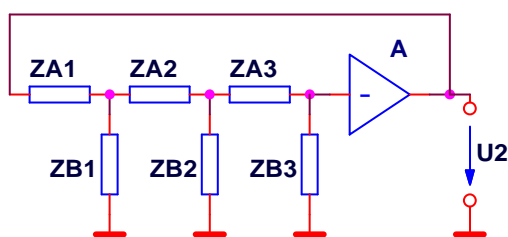
$$f_o = \frac{K}{2\pi RC} \quad (0.48)$$

kde K je konstanta řádově se nelišící od jednotky, avšak různá pro integrační resp. derivační zapojení RC článků.

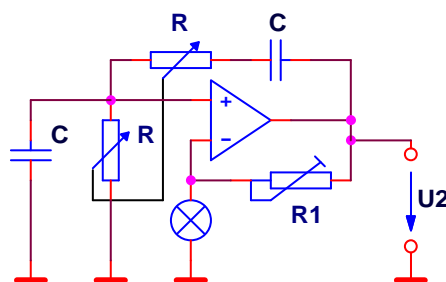
Oscilátory dle Obr. 0-81 jsou nastaveny na pevný kmitočet. Existuje však i speciální zapojení s více zesilovači a fázovacími obvody mezi nimi, které lze ladit, a to dokonce jediným rezistorem.

Jiné principy vyžadují dvě smyčky zpětné vazby – KZV pro fázovou, ZZV pro amplitudovou podmínku. Patří k nim RC oscilátory s **T-články** a s Wienovým můstkem.

Nejvíce je používán oscilátor s **Wienovým můstkem** se shodnými prvky R a C , který je přeladitelný tandemovým potenciometrem (Obr. 0-82). Wienův můstek má na kmitočtu dle (0.48) při $K = 1$ nulový fázový posuv, takže je splněna podmínka KZV na neinvertujícím vstupu OZ. Potřebné zesílení $A_u = 3$ se stabilizuje v obvodu ZZV nelineárním setrvačným prvkem (miniaturní žárovka, termistor) nebo FET, řízeným usměrněným výstupním napětím. Konkrétně na Obr. 0-82 tvoří žárovka s rezistorem $R1$ dělič, jehož dělicí poměr je po zapnutí, se studeným vláknem žárovky, podstatně vyšší než 1:3. Po rozkmitání a vzrůstu výstupního napětí se zvýší teplota vlákna a tudíž i její odpor, takže dělicí poměr a zesílení se sníží a amplituda je tak stabilizována.



Obr. 0-81 RC oscilátor s příčkovým článkem

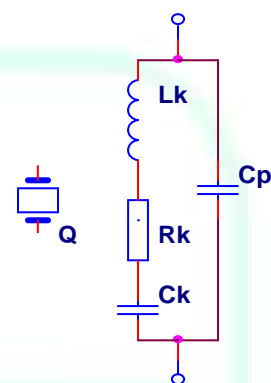


Obr. 0-82 Oscilátor s Wienovým můstkem

Krystalové oscilátory

Krystalem se nazývá rezonátor z výbrusu *monokrystalického křemene* (SiO_2), opatřený vodivými polepy (elektrodami), u něhož se využívají vlastní mechanické kmity buzené nepřímým piezoelektrickým jevem a snímané na základě přímého piezoelektrického jevu. Výbrus může kmitat různými typy kmitů; jeho vlastnosti závisí na druhu řezu, t.j. na poloze řezných rovin vůči krystalografickým osám.

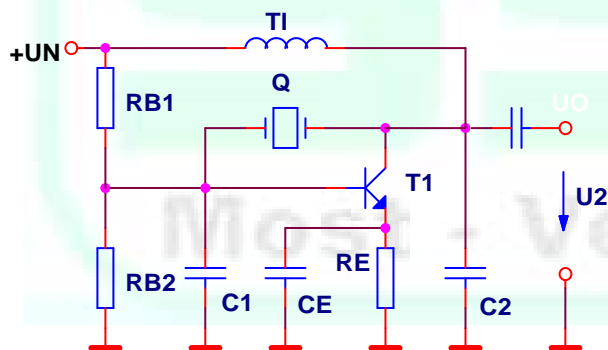
Krystal se chová jako elektrický *rezonanční obvod s extrémní jakostí Q* řádu až 10^6 (viz Obr. 0-80). Vykazuje rezonanci sériovou a paralelní, jejichž kmitočty jsou od sebe vzdáleny řádově 10^{-4} jmenovitého kmitočtu f_0 a uplatní se podle zapojení krystalu v obvodu oscilátoru. Pomocnými kondenzátory je možno kmitočet oscilátoru jemně doladit.



Obr. 0-80 Krystal a jeho náhradní schéma

Krystalové oscilátory s tranzistory se používají jednak jako *kmitočtové normály* (speciální zapojení s regulací zisku, teplotní

kompenzací a příp. doladováním varikapem), jednak v jednoduchých rádiových pojítkách a dálkových ovládáních s pevně nastaveným vysílacím resp. přijímacím kmitočtem. Příklad jednoduchého zapojení je na Obr. 0-83. Krystal zde spolu s kondenzátory C1 a C2 (5...200 pF) tvoří fázovací článek tvaru π o posuvu 180° , takže se uzavírá KZV (při invertujícím zesilovači SE). Změnou kapacity C1 a C2 je možno v úzkých mezích doladit kmitočet oscilátoru.



Obr. 0-83 Oscilátor typu Pierce s krystalem

Krystalové oscilátory s logickými hradly jsou jako *zdroje* tzv. *hodinového signálu* nezbytnou součástí synchronních sekvenčních logických obvodů (kap. 2) od nejjednodušších až po mikroprocesory (včetně osobních počítačů), integrovaných analogově číslicových převodníků (kap. 4), měřicích přístrojů (např. čítače pro měření kmitočtu, generátory s přímo kmitočtovou syntézou), syntezátorů kmitočtu v přijímačích všeho druhu (tunery ve zvukových soupravách, televizory, mobilní telefony) i řady dalších spotřebních výrobků (především hodinky).

Astabilní klopné obvody a generátory funkcí

K nejjednodušším obvodům patří **multivibrátor** s tranzistory (Obr. 0-84), t.j. *astabilní klopný obvod* (astabilní = bez stabilního stavu, t.j. trvale se překlápějící). Oba tranzistory by byly přes rezistory R_B v klidu sepnuty. Kondenzátory C_B uzavírají nadkritickou KZV – na výstup dvou kaskádně spojených stupňů SE se přenesou pulzy v polaritě shodné se vstupem.

Po připojení napájení spíná náhodně jeden z tranzistorů rychleji a obvod se rozkmitá. Kondenzátor (např. C_{B2}) mezi rozepnutým (T1) a sepnutým (T2) tranzistorem se nabije téměř na napájecí napětí. Sepnutím tranzistoru T1 se na bázi T2 dostane záporné napětí, takže se T2 uzavře, což trvá až do doby, než se kondenzátor přes R_{B2} vybije. Pak se začne otevírat přes R_{B2} tranzistor T2 a tato změna se přenesou přes C_{B1} na T1 – začíná tak druhá část periody.

Napětí na kondenzátoru u_C v čase t od okamžiku, kdy bylo na vstup RC článku náhle přivedeno napětí U_{RC} , se řídí známým vztahem pro přechodový děj

$$u_C = (U_{RC} - U_{C0}) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) + U_{C0} \quad (0.49)$$

kde $\tau = RC$ je časová konstanta RC článku a U_{C0} napětí na kondenzátoru před začátkem děje. Po malé úpravě, logaritmování a vyjádření t dostáváme praktický vztah

$$t = \tau \ln \frac{U_{RC} - U_{C0}}{U_{RC} - u_C} \quad (0.50)$$

V našem případě je $U_{C0} = -U_N$ (zanedbáme U_{BE}), $U_{RC} = U_N$ (zanedbáme U_{CES}) a $u_C = 0$ (zanedbáme U_{BE}), tedy délka každé části periody je $t_i = \tau_i \ln 2$, což znamená pro celou periodu

$$T \cong 0,7(R_{B1}C_{B1} + R_{B2}C_{B2}) \quad (0.51)$$

Časové konstanty tzv. *relaxace* obvodu $\tau_{ti} = R_{Ci}C_{Bi}$ jsou řádově kratší než τ , takže

Tab. 0–10 Parametry oscilátorů

oscilátory	LC		RC		krystalové		jednotka
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	
rozsah	10^4	$3 \cdot 10^8$	10^1	10^6	10^4	$3 \cdot 10^7$ ¹⁾	Hz
přeladitelnost		1:3		$1:10^3$ ²⁾		10^{-4}	
stabilita ⁴⁾	10^{-2}	10^{-4}	10^{-1}	10^{-3}	10^{-8} ³⁾	10^{-4}	

1) Na vyšších harmonických až 200 MHz

2) Typicky 1:20

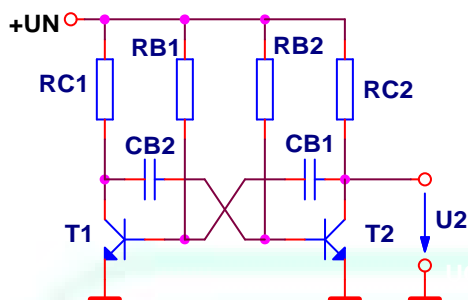
3) S termostatem až 10^{-10}

4) Maximální vliv teploty, napájecího napětí a stárnutí

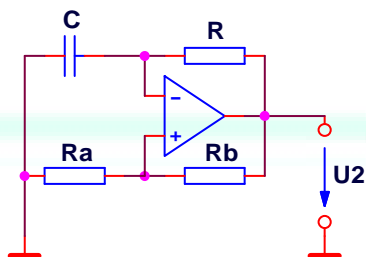
kondenzátory se v příslušné části periody opravdu stačí přes R_{Ci} nabít na napájecí napětí; jak plyne z exponenciální funkce, např. za dobu 7τ na 99,9 %.

Příkladem použití obvodu může být blikáč – do série s jedním rezistorem R_{Ci} zapojíme LED a vhodně zvolíme kapacitu kondenzátorů.

Astabilní klopný obvod (AKO, Obr. 0-85) s jedním OZ vznikl ze Schmittova obvodu (Obr.



Obr. 0-84 Multivibrátor



Obr. 0-85 Astabilní klopný obvod s jedním OZ

0-76a) při $U_{REF} = 0$ doplněním o integrační RC článek, jehož výstupní napětí je vstupním napětím Schmittova obvodu. Vstupní napětí RC článku se skokem mění mezi U_{OM+} a U_{OM-} operačního zesilovače, též komparační napětí je nastaveno z výstupního napětí OZ děličem R_b/R_a , takže napětí na kondenzátoru se mění v mezích hystereze.

Příklad 0–13 Výpočet astabilního obvodu s OZ

Vypočítejte periodu překlápění astabilního klopného obvodu dle Obr. 0-85 pro $R = 220k$, $C = 680n$, $R_a = 33k$ a $R_b = 47k$. Operační zesilovač je napájen ze zdroje $\pm 5V$, jeho maximální výstupní napětí předpokládáme $+4V$ a $-3V$.

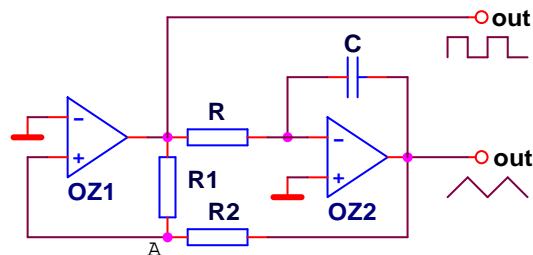
Řešení :

Komparační napětí, které je zároveň napětím na kondenzátoru v okamžiku překlápění OZ, vypočteme jednoduše z děliče R_b/R_a jako $u_{C\pm} = \frac{R_a}{R_a + R_b} U_{OM\pm}$, konkrétně $u_{C+} = 1,65V$ a $u_{C-} = -1,24V$. Výchozí napětí kondenzátoru U_{C0} a konečné u_C v (0.50) jsou vlastně vždy opačné hodnoty ($u_{C-} \rightarrow u_{C+}$, $u_{C+} \rightarrow u_{C-}$), skok $U_{RC} = \Delta U_2$ je celkovým skokem napětí na výstupu OZ, tedy $\Delta U_2 = U_{OM+} - U_{OM-} = 7,0V$. Perioda T se skládá ze dvou částí, tedy

$$T = RC \left(\ln \frac{\Delta U_2 - u_{C-}}{\Delta U_2 - u_{C+}} + \ln \frac{-\Delta U_2 - u_{C+}}{-\Delta U_2 - u_{C-}} \right)$$

Po dosazení vyjde $T = 0,125s$.

Obvod na Obr. 0-86 je nejjednodušším **generátorem funkcí**, které se používají např. v měřicích přístrojích. Má pouze výstupy s průběhem „trojúhelník“ a „obdélník“, úplný generátor poskytuje tvarováním trojúhelníkového signálu i průběh „sinus“. Zapojení vzniklo spojením integrátoru (Obr. 0-68) a Schmittova obvodu (Obr. 0-76b), opět pro $U_{REF} = 0$. Integrátor OZ2 integruje



Obr. 0-86 Jednoduchý generátor funkcí

konstantní napětí $U_{2s} = U_{OM+}$ resp. U_{OM-} na výstupu Schmittova obvodu OZ1. Přesáhne-li lineárně (!) rostoucí výstupní napětí U_{2t} aktuální komparační úroveň, OZ1 se překlopí a znaménko změny napětí U_{2t} se změní. Kmitočet výstupního napětí se určí použitím (0.42) a výpočtem napětí na děliči R1-R2 za podmínky nulového napětí v uzlu A.

— — —

Existuje mnoho dalších analogových elektronických obvodů, kterými jsme se v tomto textu nezabývali.

Patří k nim např. obvody radioelektroniky a komunikační techniky jako jsou *směšovače*, které posunují kmitočet přijímaného nebo vysílaného signálu pomocí přídavného oscilátoru (téměř ve všech přijímačích) a *modulátory* a *demodulátory*, nezbytné při radiovém přenosu, kde se užitečným signálem moduluje nosná vlna amplitudově (AM) nebo kmitočtově (FM). Uvedené obvody často pracují na principu čtyřkvadrantové analogové *násobičky*.

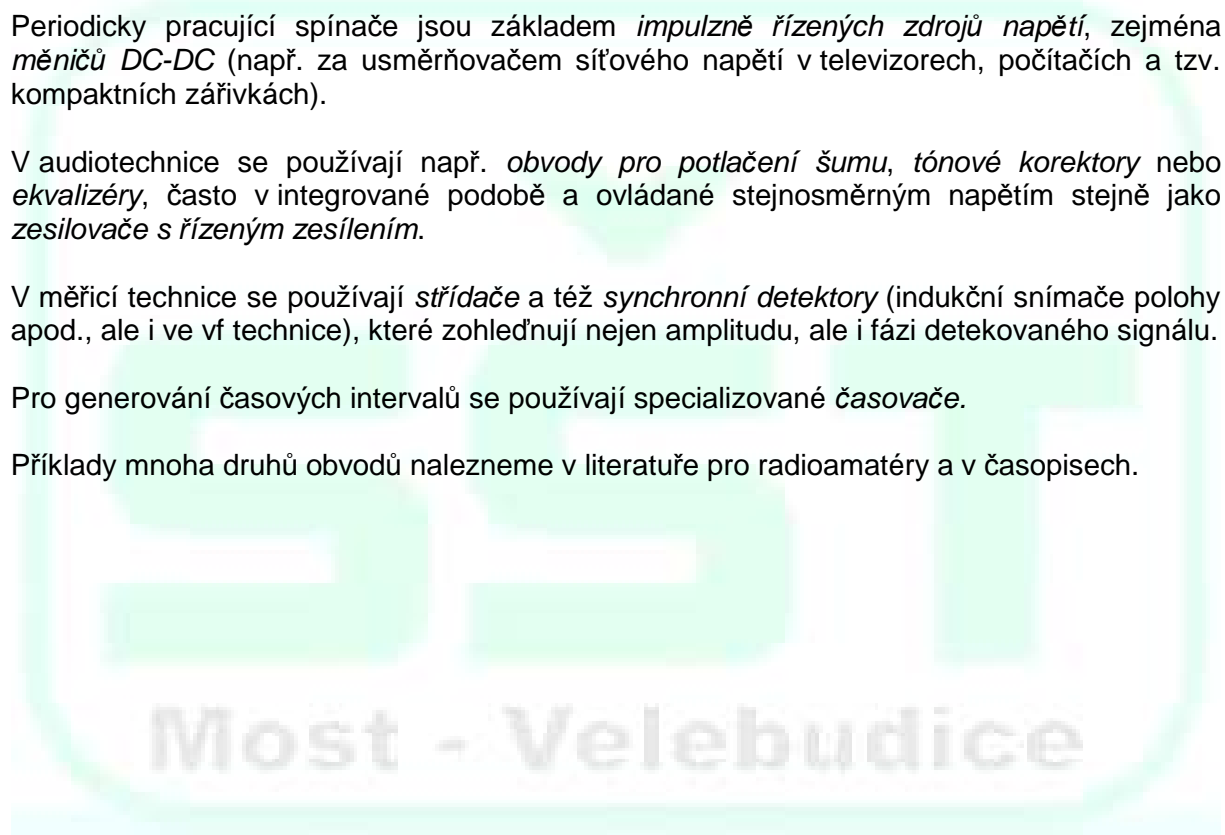
Periodicky pracující spínače jsou základem *impulzně řízených zdrojů napětí*, zejména *měníčů DC-DC* (např. za usměrňovačem síťového napětí v televizorech, počítačích a tzv. kompaktních zářivkách).

V audiotechnice se používají např. *obvody pro potlačení šumu*, *tónové korektory* nebo *ekvalizéry*, často v integrované podobě a ovládané stejnosměrným napětím stejně jako *zesilovače s řízeným zesílením*.

V měřicí technice se používají *střídače* a též *synchronní detektory* (indukční snímače polohy apod., ale i ve vf technice), které zohledňují nejen amplitudu, ale i fázi detekovaného signálu.

Pro generování časových intervalů se používají specializované *časovače*.

Příklady mnoha druhů obvodů nalezneme v literatuře pro radioamatéry a v časopisech.



Literatura

- [1] Nouza, J. – Doležal, I. – Košek, M : Mikroelektronika – cvičení. [Skriptum] VŠST, Liberec 1991.
- [2] Neumann, P. – Uhlíř, J. : Elektronické obvody. [Skriptum] ČVUT, Praha 1996.
- [3] Foit, J. – Hudec, L. : Součástky moderní elektroniky. ČVUT, Praha 1996.
- [4] Vobecký, J. – Záhlava, V. : Elektronika – součástky a obvody, principy a příklady. Grada, Praha 2000.
- [5] Belza, J.: Zapojení s operačními zesilovači. Konstrukční elektronika A-radio, 1 (1996), č.3.
- [6] Čermák, J. : Kurs polovodičové techniky. SNTL, Praha 1976.
- [7] Zelenka, J. : Elektrotechnika a průmyslová elektronika. [Skriptum] VŠST, Liberec 1983.



Příl. 1 Řady jmenovitých hodnot a značení hodnot součástek**Vybrané řady
jmenovitých hodnot**

E24	E12	E6	R5
1,0	1,0	1,0	1,0
1,1			1,6
1,2	1,2		2,5
1,3			4,0
1,5	1,5	1,5	6,3
1,6			
1,8	1,8		
2,0			
2,2	2,2	2,2	
2,4			
2,7	2,7		
3,0			
3,3	3,3	3,3	
3,6			
3,9	3,9		
4,3			
4,7	4,7	4,7	
5,1			
5,6	5,6		
6,2			
6,8	6,8	6,8	
7,5			
8,2	8,2		
9,1			

**Jmenovitá napětí
elektrolytických
kondenzátorů**

6,3 V
10 V
16 V
25 V
35 V
50 V
63 V
100 V
160 V
200 V
250 V
350 V
450 V

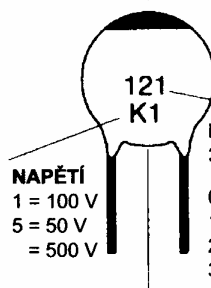
**Příklady značení jmenovitých
hodnot rezistorů a kondenzátorů
ve schématech a na součástkách**

veličina/ /hodnota	platný systém	starý systém
1,2 Ω	1R2	1j2
150 Ω	150R	150
180 k Ω	180k	M18
3,9 M Ω	3M9	3M9
5,6 pF	5p6	5j6
100 pF	100p	100
220 nF	220n	M22
33 μ F	33u	33M
4,7 mF	4m7	4G7

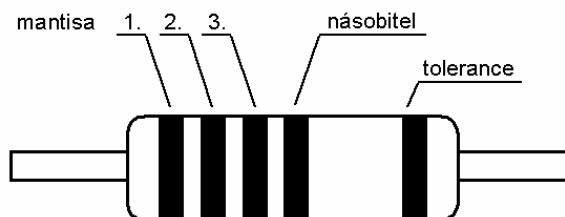
**Značení
keramických
kondenzátorů****BAREVNÁ ZNAČKA DIELEKTRIKA**

NPO	černá	Y5P	červená
N1500	oranžová	Y5U	modrá
Y5E	modrá	Y5T	
Y5F	stříbrná	Z5V	černá

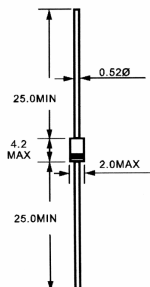
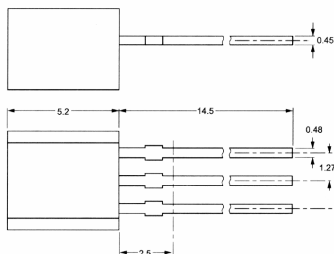
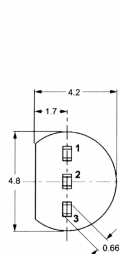
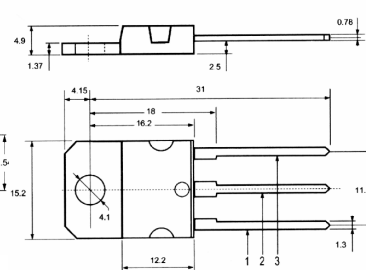
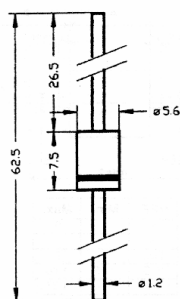
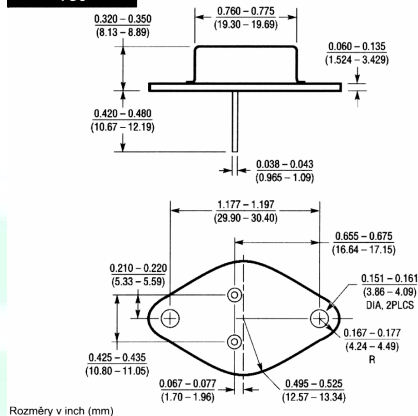
TOLERANCE	
C	$\pm 0.25\text{pF}$
D	$\pm 0.5\text{pF}$
J	$\pm 5\%$
K	$\pm 10\%$
M	$\pm 20\%$
S	$-20+50\%$



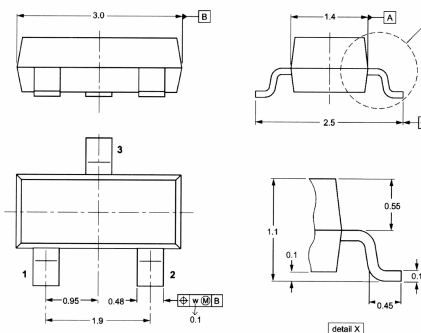
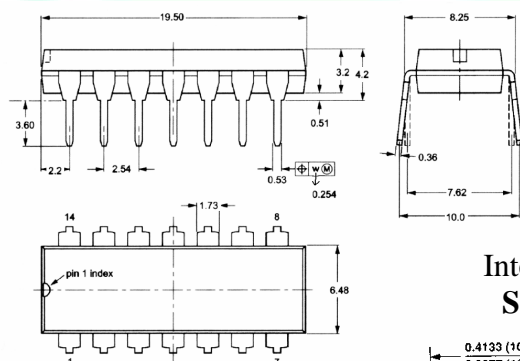
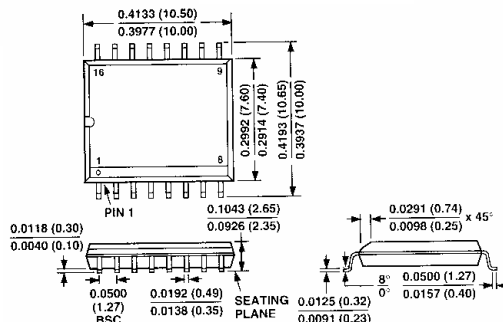
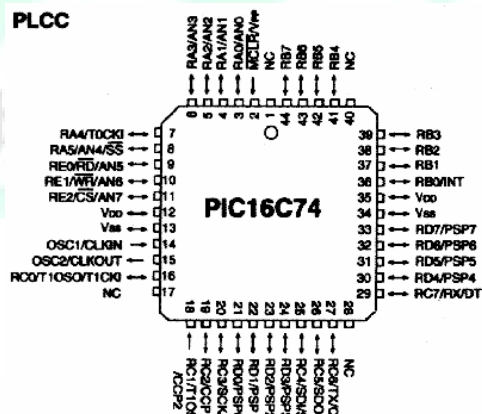
KÓD = 1.+2. HODNOTA 3. NÁSOBITEL			
0	10 ⁰	5	10 ⁵
1	10 ¹	6	10 ⁶
2	10 ²	7	10 ⁷
3	10 ³	8	10 ⁻²
4	10 ⁴	9	10 ⁻¹

**Značení
rezistorů
barevnými
proužky**

BAREVNÝ KÓD													
barva	černá	hnědá	červená	oranžová	žlutá	zelená	modrá	fialová	šedá	bílá	zlatá	stříbrná	žádná
číslice	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-	-	-
násobitel	1	10	100	1k	10k	100k	1M	10M	100M	1G	0,1	0,01	-
odchylka	-	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	-	-	$\pm 0,5\%$	$\pm 0,25\%$	$\pm 0,1\%$	-	-	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

Příl. 2 Výkresy vybraných pouzder polovodičových součástek**Diody (miniaturní)****DO35****Tranzistory malého výkonu****TO92****Výkonové tranzistory a stabilizátory (plast. pouzdro)****TO218****Diody výkonové****5.6 x 7.5****Výkonové tranzistory a stabilizátory (kovové pouzdro)****TO3**

Rozměry v inch (mm)

Tranzistory a diody (SMD)**SOT23****Integrované obvody
DIP-14****Integrované obvody
SOIC-16 (SMD)****Integrované obvody
(mikrořadič PIC16C74)
PLCC-44 (SMD/patice)****PLCC**

Příl. 3 Značení typů polovodičových součástek

2-3 písmena a 2-3 číslice :	A₁A₂ [A₃] D₁D₂ [D₃] [A₄]
-----------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- **A₁** – materiál

A n. G (TESLA)	...	Ge
B n. K (TESLA)	...	Si
C ... GaAs		
- **A₂** – druh (pouze výběr)

A	...	detekční nebo spec. vf dioda
B	...	varikap
C	...	malý nf tranzistor
D	...	velký nf tranzistor ($R_{\theta} < 15 \text{ K/W}$)
F	...	malý vf tranzistor
L	...	velký vf tranzistor ($R_{\theta} < 15 \text{ K/W}$)
P	...	fotodioda, fototranzistor
S	...	malý spínací tranzistor
U	...	velký spínací tranzistor ($R_{\theta} < 15 \text{ K/W}$)
Y	...	usměrňovací dioda
Z	...	referenční (Zenerova) dioda
- **A₃** – u průmyslových typů W, X, Y, Z
- **D₁D₂ [D₃]** typové číslo 2- n. 3-místné
- **A₄** – příp. třídění dle β A, B, C
Př.: KY132, BC517C, BUZ11

Příl. 1 Značení standardizovaných číslicových integrovaných obvodů

⇒ s napájením 5 V a logickými úrovněmi TTL kompatibilními

Značení :	V₁V₂ [V₃] D₁D₂ [T₁T₂T₃] X₁X₂ [X₃X₄X₅]
-----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- **V₁V₂ [V₃]** – značka výrobce, např.: SN ... Texas Instruments, MH ... býv. Tesla
- **D₁D₂** – označení řady : **74**, popř. 54, 84 pro vyšší teplotní n. napětíový rozsah
- **T₁T₂T₃** – příp. 1 až 3 písmena označení technologie (např.: S ... Schottky, HCT ... High speed CMOS, TTL vstupní úroveň)
- **X₁X₂ [X₃X₄X₅]** – 2 až 3, méně často 4, výjimečně 5 číslic : **typ obvodu** (např.: 04 ... šestice invertorů, 374 ... osmice klopných obvodů D)

Př.: MH7400, GD74LS138, MC74HCT4066

⇒ technologie CMOS s napájením až 15 V (řada 4000)

Značení :	V₁V₂ [V₃] 4 X₂X₃X₄ [X₅]
-----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- **V₁V₂ [V₃]** – značka výrobce (např.: HEF ... Philips, MHB ... býv. Tesla)
- **4 X₂X₃X₄ [X₅]** – 4, výjimečně 5 číslic : **typ obvodu** (např.: 4001 ... čtveřice dvouvstupových NOR, 4527 ... násobička BCD)