

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ  
UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**

**STUDIJNÍ OPORA**

**Název opory/předmětu: Plánování jakosti I**

**Číslo předmětu: 639 – 0409**

**Autor: Prof. Ing. Jiří Plura, CSc.**

**Katedra: katedra kontroly a řízení jakosti**

# 1. OBSAH A VÝZNAM PLÁNOVÁNÍ JAKOSTI

## Členění kapitoly:

- obsah plánování jakosti
- význam plánování jakosti



**Čas potřebný ke studiu: 1 hodina**



## Cíl: Po prostudování této kapitoly

- budete umět vysvětlit náplň plánování jakosti
- budete umět zdůvodnit význam plánování jakosti



## Výklad

### Obsah plánování jakosti

Plánování jakosti americký odborník J.M. Juran stručně charakterizoval jako „proces formování cílů jakosti a vývoje prostředků pro splnění těchto cílů“. S touto klasickou definicí přibližně koresponduje i definice uvedená v terminologické normě ČSN EN ISO 9000:2006, kde je plánování jakosti definováno jako „část managementu jakosti zaměřená na stanovení cílů jakosti a specifikování procesů nezbytných pro provoz a souvisejících zdrojů pro splnění cílů jakosti“.

Plánování jakosti je jedním ze tří procesů tzv. trilogie jakosti (Juranova trilogie), která charakterizuje náplň managementu jakosti:

- 1) plánování jakosti;
- 2) řízení jakosti;
- 3) zlepšování jakosti.

Výsledkem plánování jakosti, jako procesu formování cílů a přípravy k jejich dosažení, by měl být postup vhodný k dosažení cílů. V průběhu řízení jakosti se činnosti stanovené ve fázi plánování jakosti realizují, hodnotí se skutečně dosahované výsledky a tyto výsledky se porovnávají s plánovanými cíli. V procesu zlepšování jakosti je pak hlavní úsilí soustředěno na zlepšování stávajícího stavu a jeho výsledkem by mělo být dosažení vyšší úrovně jakosti než bylo původně naplánováno.

Plánování jakosti zahrnuje široké spektrum aktivit, jejichž prostřednictvím se stanovují a dosahují cíle v oblasti jakosti. K hlavním aktivitám plánování jakosti lze například přiřadit:

- stanovení cílů jakosti a jejich rozpracování v organizaci;
- plánování systému managementu jakosti;
- zpracování plánů jakosti (dokumentů, které specifikují postupy a související zdroje, které se musí použít pro specifický projekt, produkt, proces nebo smlouvu);
- plánování znaků jakosti produktů;
- plánování jakosti procesů a ověřování jejich způsobilosti;
- plánování preventivních opatření s cílem minimalizovat riziko vzniku neshod;
- plánování kontrol jakosti;
- plánování systémů měření a ověřování jejich způsobilosti.

## **Význam plánování jakosti**

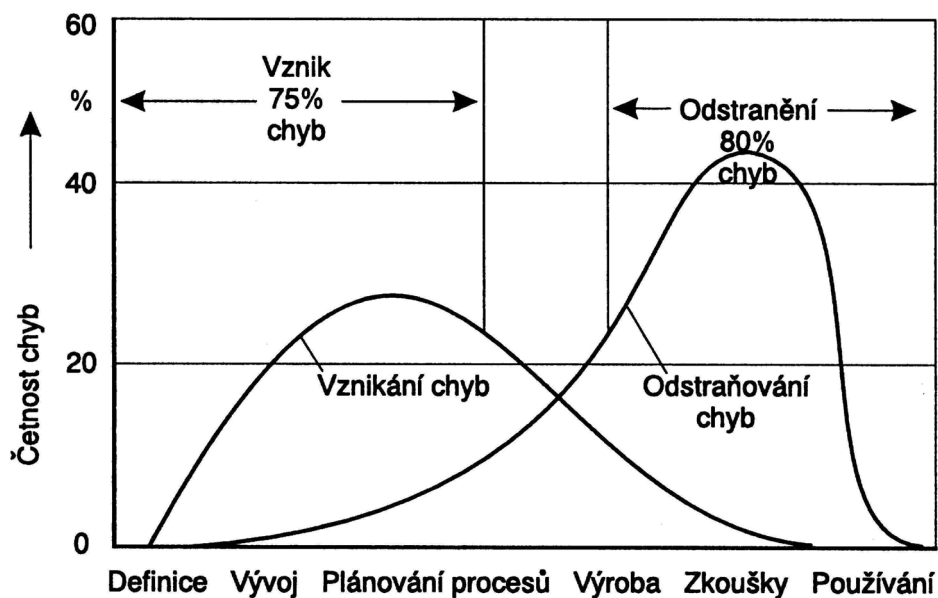
V současném vývoji managementu jakosti význam plánování jakosti neustále narůstá a jeho aktivity významně rozhodují o konkurenceschopnosti firem. Podstatná část aktivit plánování jakosti se realizuje v předvýrobních etapách a jejich cílem je

zajistit potřebnou jakost navrhovaných produktů a procesů. Pro tyto aktivity se používá souhrnné označení „plánování jakosti produktů“. Plánování jakosti produktů zahrnuje všechny aktivity managementu jakosti v předvýrobních etapách od návrhu jakosti produktu přes návrh a ověření způsobilosti procesu až po průběh ověřovací výroby. Plánování jakosti produktů je základním východiskem pro dosažení potřebné jakosti produktů.

V minulosti se za rozhodující etapu z hlediska jakosti konečného produktu považovala vlastní výroba. V současné době se již všeobecně uznává, že o výsledné jakosti produktu se až z osmdesáti procent rozhoduje již v předvýrobních etapách, tedy v průběhu plánování jakosti produktů. V jeho průběhu se vytváří koncepce budoucího produktu a přijímají se zásadní rozhodnutí, která rozhodují o tom, zda produkt splní požadavky zákazníka, bude konkurenceschopný a zajistí výrobcí přiměřený zisk.

Vysoký vliv předvýrobních etap na výslednou jakost produktů souvisí se skutečností, že v těchto etapách vzniká mnohem více chyb (neshod) než ve fázích realizace. Logické by tedy bylo, věnovat v těchto etapách maximální pozornost identifikaci a eliminaci těchto neshod. Intenzita odstraňování vzniklých chyb (neshod) je ale doposud v předvýrobních etapách malá a výrazněji narůstá až ve fázi výroby a užití (viz obr. 1.1).

Velice důležitým argumentem na podporu aktivit plánování jakosti produktů je ekonomické hledisko. Obecně platí, že čím v ranějších fázích životního cyklu produktu se podaří vzniklé neshody odhalit, tím nižší výdaje je potřeba vynaložit na jejich odstranění. Některé praktické zkušenosti ukazují, že výdaje spojené s odstraněním neshody ve fázi návrhu mohou být až desetkrát nižší než výdaje spojené s odstraněním neshody zjištěné ve výrobě, stokrát nižší než výdaje na odstranění neshody zjištěné před expedicí vyrobené dávky výrobků a tisíckrát nižší než výdaje na odstranění neshody, která se dostane až k zákazníkovi (tzv. pravidlo deseti). Přesto je pořád ještě častým jevem, že na plánování jakosti produktu „není dostatek peněz nebo času“, ale pak musí být dostatek peněz i času na mnohem nákladnější odstraňování problémů, které se vyskytnou ve fázi realizace.



Obr. 1.1: Časový nesoulad mezi vznikem a odstraňováním chyb (neshod).

Na základě uvedených skutečností lze význam plánování jakosti produktů shrnout do těchto základních bodů:

- Plánování jakosti produktů zásadním způsobem rozhoduje o spokojenosti zákazníků.
- Plánováním jakosti produktů se předchází vzniku neshod při realizaci produktu a jeho užívání.
- V předvýrobních etapách, ve kterých se plánování jakosti produktů realizuje, vzniká nejvíce chyb (neshod).
- Odstraňování neshod v průběhu plánování jakosti produktu vyžaduje jen zlomek nákladů nezbytných k odstraňování neshod v průběhu realizace a užívání produktu.
- Správná realizace plánování jakosti produktů je důležitým atributem konkurenceschopnosti organizace.
- Uplatňováním metod a postupů plánování jakosti organizace prokazuje, že využila všech prostředků k prevenci neshod a dosažení spokojenosti zákazníků, a tak zvyšuje důvěru zákazníků k produktům organizace.



## Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- plánování jakosti
- aktivity plánování jakosti
- plán jakosti
- pravidlo deseti



## Otázky:

1. Jak lze charakterizovat plánování jakosti?
2. Uveďte hlavní aktivity plánování jakosti
3. Uveďte, jakou měrou se plánování jakosti podílí na výsledné jakosti produktů.
4. Uveďte argumenty, prokazující význam plánování jakosti



## Úloha k řešení:



## Literatura k dalšímu studiu:

PLURA, J.: *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1

KOŠTURIÁK, J. - GREGOR, M.: *Podnik v roce 2001 - revoluce v podnikové kultuře*. Grada, 1993, 311 s.

FREHR, H. U.: *Total Quality Management*. Unis Publishing, Brno, 1995, 258 s.

## 2. METODICKÉ PŘÍSTUPY K PLÁNOVÁNÍ JAKOSTI PRODUKTŮ

### Členění kapitoly:

- Postup plánování jakosti produktů dle J.M. Jurana
- Moderní přístupy k plánování jakosti produktů



**Čas potřebný ke studiu: 1 hodina**



### Cíl: Po prostudování této kapitoly

- se seznámíte s metodickým postupem plánování jakosti produktů podle J.M. Jurana
- budete schopni charakterizovat moderní přístupy k plánování jakosti produktů



### Výklad

### Postup plánování jakosti produktů dle J.M. Jurana

Pro plánování jakosti produktů byla rozpracována řada metodických přístupů. K těm klasickým náleží plánování jakosti produktů podle J.M. Jurana.

Postup plánování jakosti produktů podle J.M. Jurana lze charakterizovat následující posloupností činností:

### **1) Určení zákazníků**

Cíle jakosti navrhovaného produktu vyplývají z potřeb zákazníků a ze strategických cílů organizace. Pro správné stanovení cílů jakosti produktu je tedy potřeba znát potenciální zákazníky, abychom mohli zjistit jejich skutečné potřeby.

### **2) Zjištění potřeb zákazníků**

Pro zjištění potřeb zákazníků je vhodné využít co nejširší spektrum možných zdrojů informací. Významnými zdroji informací mohou být například zprávy z průzkumu trhu, přímá interview se zákazníky, zprávy z návštěv obchodníků, servisní zprávy apod.

### **3) Překlad potřeb zákazníků do řeči výrobce**

Zákazník, zejména konečný uživatel, své potřeby často neformuluje v technických specifikacích, ale ve své řeči. Úkolem výrobce je transformovat tyto potřeby do konkrétních technických specifikací. Vhodným nástrojem k této transformaci je metoda QFD.

### **4) Stanovení měřitelných parametrů**

Technické specifikace produktu jsou nejlépe vyjádřeny hodnotami měřitelných parametrů.

### **5) Zavedení měření**

Pokud jsou potřeby zákazníka transformovány do měřitelných parametrů produktu, musí být výrobce schopen tato příslušná měření provádět nebo zajistit.

## **6) Vývoj produktu**

V této fázi plánování jakosti se vyvíjí produkt odpovídající potřebám zákazníků. Kromě potřeb zákazníků je při vývoji produktů nezbytné zohledňovat některé další aspekty jako jsou strategické záměry organizace, zájmy dalších zainteresovaných stran, údaje o úrovni vědy a techniky, informace o potenciálních zdrojích a možnostech organizace, omezující faktory (např. platná legislativa) apod.

## **7) Optimalizace návrhu produktu**

Za optimální je obvykle považován návrh, u něhož jsou stejnou měrou uspokojeny potřeby zákazníka i výrobce a minimalizovány jejich kombinované náklady. Důležitými nástroji optimalizace navrhovaného produktu je například přezkoumání návrhu a analýza možností vzniku vad a jejich následků (FMEA návrhu produktu).

## **8) Vývoj procesu**

Již vývoj produktu by měl probíhat za účasti technologů. Cílem této účasti je v dostatečném předstihu posoudit možnosti technologie ve vztahu k navrhovanému produktu. Nedílnou součástí vývoje procesu je i návrh systému kontroly a řízení procesu.

## **9) Optimalizace a prokázání způsobilosti procesu**

Optimalizace návrhu procesu využívá podobných metod jako optimalizace návrhu produktu (přezkoumání návrhu, FMEA procesu apod.). Důležitou součástí ověřování vhodnosti procesu je analýza jeho způsobilosti, jež charakterizuje schopnost procesu trvale poskytovat produkty splňující požadovaná kritéria jakosti.

## **10) Převod procesu do výrobních instrukcí**

Jsou zpracovány výrobní instrukce a optimální návrh výrobního procesu je zaváděn do provozního užívání.

## **Moderní přístupy k plánování jakosti produktů**

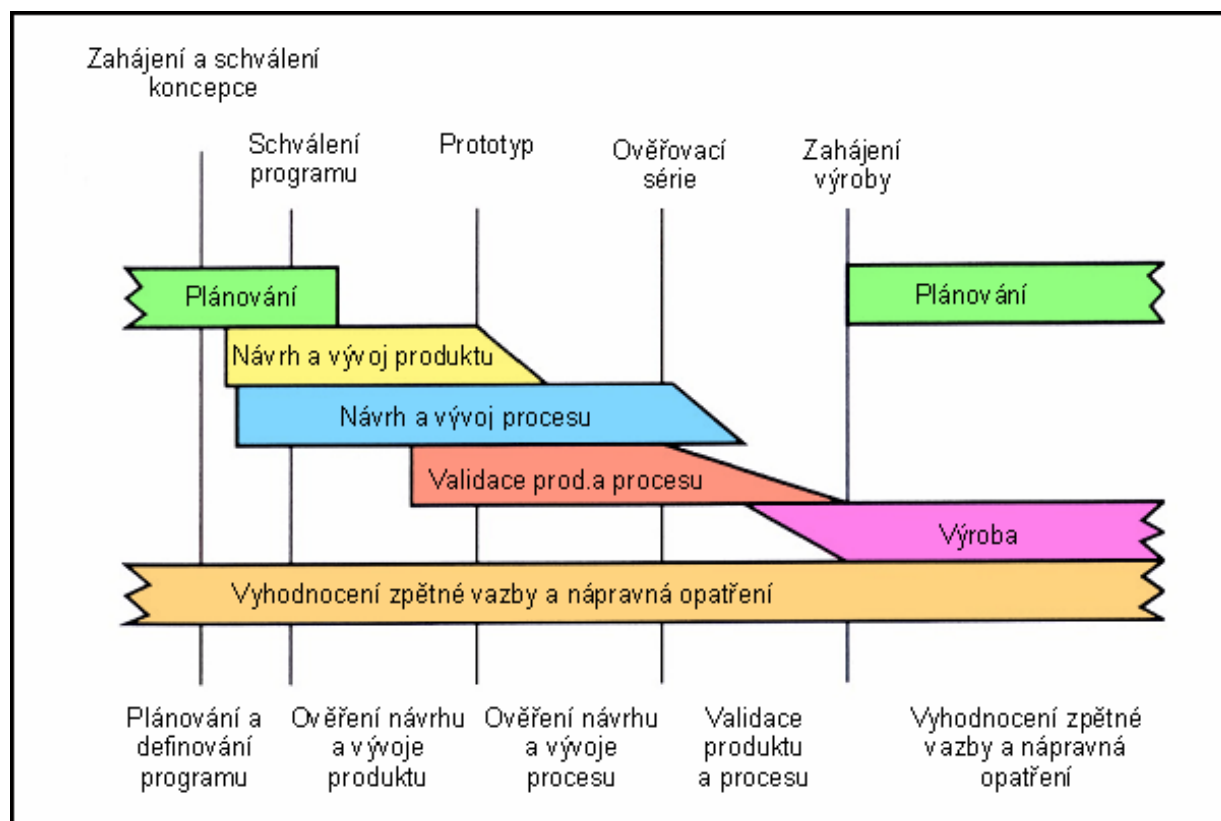
Jednotlivé aktivity postupu plánování jakosti produktů podle J.M. Jurana byly v minulosti realizovány jako sekvence jednotlivých činností. V tradiční organizační struktuře byly za jednotlivé aktivity odpovědné různé útvary, které postupně přebíraly odpovědnost za jejich realizaci. Útvar marketingu analyzoval potřeby zákazníka a získané informace předal útvaru vývoje, útvar vývoje se zabýval vývojem produktu a dosažené výsledky předal útvaru konstrukce atd..

Tento sekvenční (fázový) přístup má však řadu nedostatků, jejichž dominantní příčinou je nedostatečná komunikace mezi jednotlivými útvary (prakticky pouze při předávání výsledků). S rostoucí složitostí vyráběných produktů, s rostoucími požadavky zákazníků a s rozvojem konkurenčního prostředí se tento přístup stává nevyhovujícím.

V průběhu osmdesátých let minulého století se začalo intenzivněji rozvíjet tzv. simultánní inženýrství, při jehož uplatnění jsou návrh produktu, návrh procesu a vývoj všech dalších prvků úspěšnosti produktu od počátku chápány jako integrovaný soubor činností a cílů. Všechny aktivity probíhají souběžně a jsou realizovány týmem.

Prvky simultánního inženýrství jsou zahrnuty například v metodikách plánování jakosti produktů uplatňovaných v rámci standardů pro systémy managementu jakosti v oblasti automobilového průmyslu. Příkladem je metodika APQP (Advanced Product Quality Planning and Control Plan), vyvinutá firmami Chrysler, Ford a General Motors v rámci standardu QS-9000.

Základní schéma průběhu vzájemně se překrývajících dílčích procesů, které realizuje a koordinuje tým plánování jakosti produktu je uvedeno na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Plánování jakosti produktu podle metodiky APQP.

Efektivnost plánování jakosti lze výrazně zvýšit použitím vhodných metod a nástrojů. V požadavcích standardů v oblasti automobilového průmyslu je použití některých metod (např. metody FMEA, analýzy způsobilosti procesu, analýzy systému měření) striktně vyžadováno.



## Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- plánování jakosti produktů
- plánování jakosti produktů podle J.M. Jurana
- simultánní inženýrství
- metodika APQP



## Otázky:

1. Uveďte hlavní kroky plánování jakosti produktů podle J. M. Jurana
2. Jakými způsoby lze identifikovat potřeby zákazníků?
3. Které další aspekty, kromě požadavků zákazníků, by měly být zohledněny při vývoji produktu?
4. Charakterizujte sekvenční (fázový) přístup k plánování jakosti produktů a uveďte jeho nevýhody.
5. Vysvětlete pojem simultánní inženýrství.



## Úloha k řešení:



## Literatura k dalšímu studiu:

PLURA, J.: *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1

JURAN, J.M. - GRAYNA, F.M. at al. : *Juran's Quality Handbook*, 4th edition, Mc Graw.Hill, 1988

*Advanced Product Quality Planning and Control Plan (APQP)*. Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, 2.vydání, 1995

### 3. METODA QFD

#### Členění kapitoly:

- **Přínosy metody QFD**
- **Dům jakosti**
- **Zdokonalená varianta domu jakosti**
- **„Čtyřmaticový přístup“ k metodě QFD a „matice matic“**



**Čas potřebný ke studiu: 2 hodiny**



#### **Cíl: Po prostudování této kapitoly**

- se seznámíte s principy metody QFD
- budete schopni transformovat požadavky na produkt do znaků jakosti produktu pomocí Domu jakosti
- se seznámíte s dalšími možnostmi metody QFD



#### **Výklad**

#### **Přínosy metody QFD**

Metoda QFD (Quality Function Deployment) je metodou založenou na principu maticového diagramu, která umožňuje transformaci požadavků zákazníka do znaků jakosti navrhovaného produktu a procesu jeho realizace a další analýzy. Je aplikována v týmu a je důležitým nástrojem komunikace mezi pracovníky z různých odborných útvarů zapojených do vývoje produktu.

Základy metody QFD položil v Japonsku v roce 1966 Yoji Akao. První aplikace byly v japonských firmách realizovány v 70. letech 20. století.

Mezi hlavní výhody používání metody QFD se například řadí:

- orientace na zákazníka;
- vytváření báze informací pro plánování jakosti;
- snížení počtu konstrukčních a technologických změn;
- zkrácení doby vývoje;
- dřívější identifikace rizikových oblastí a konfliktních znaků jakosti;
- nižší náklady na vývoj a realizaci nových produktů;
- lepší komunikace a spolupráce mezi odbornými útvary.

## **Dům jakosti**

Nejnámější aplikací metody QFD je tzv. Dům jakosti, který se využívá při transformaci požadavků na produkt (požadavky zákazníka doplněné výrobcem o další, například zákonné požadavky) do cílových hodnot měřitelných znaků jakosti produktu.

Zpracování „Domu jakosti“ probíhá v týmu, v němž jsou zastoupeni zejména pracovníci marketingu a vývoje. Postup zpracování lze strukturovat do těchto kroků:

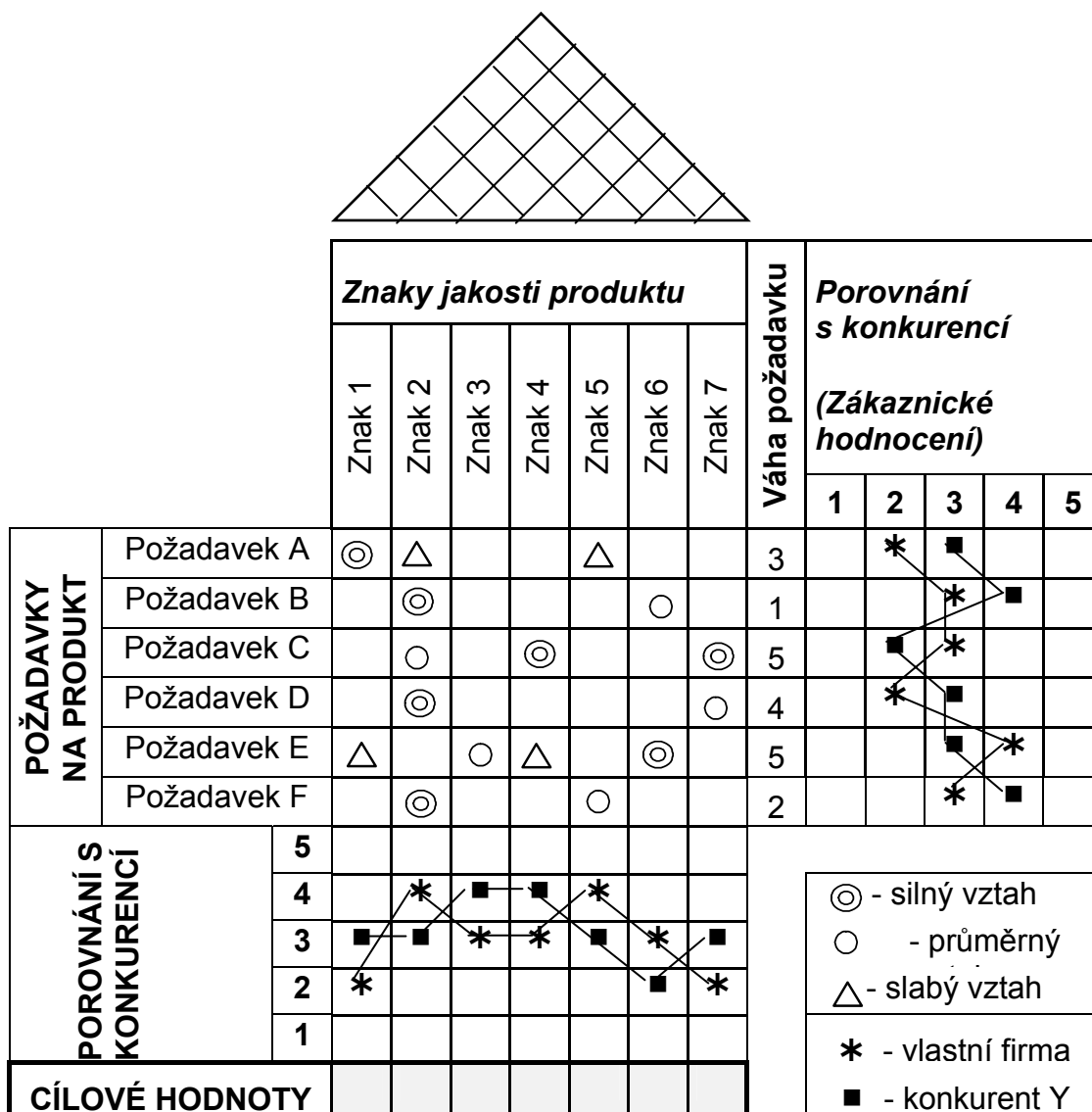
### **1. Identifikace požadavků na produkt**

Konkretizují se požadavky zákazníka a doplňují se o další, například zákonné požadavky. Požadavky na produkt se zaznamenávají do řádků Domu jakosti.

### **2. Stanovení váhy požadavků**

Jednotlivým požadavkům na produkt se přiřazuje váha vyjádřená bodovým hodnocením (obvykle stupnice 1 až 5). Nejnižší bodové hodnocení získávají ty požadavky, jejichž nesplnění zákazník pravděpodobně ani nezaregistruje, a naopak

nejvyšší bodové hodnocení budou mít požadavky, na které je kladen zvláště silný důraz.



Obr. 3.1 Dům jakosti.

### 3. Porovnání schopnosti plnit požadavky

Hodnotí se, jak je organizace schopna plnit jednotlivé požadavky na produkt ve srovnání s jejími konkurenty. Toto hodnocení by mělo vyjadřovat názor potenciálních zákazníků a obvykle ho provádějí pracovníci marketingu. K hodnocení schopnosti plnit jednotlivé požadavky se obvykle používá bodové hodnocení ve

stupnici I až 5, které se většinou zobrazuje graficky. Tyto informace jsou důležitým podkladem pro analýzu slabých a silných stránek organizace v porovnání s konkurencí.

#### **4. Stanovení měřitelných znaků jakosti produktu**

Identifikují se měřitelné znaky jakosti, kterými je definován navrhovaný produkt. Tyto znaky se zaznamenávají do sloupců Domu jakosti.

#### **5. Analýza vzájemných vztahů mezi požadavky a znaky jakosti**

V tomto kroku tým analyzuje vzájemné vztahy mezi jednotlivými požadavky na produkt a znaky jakosti produktu. Obvykle se používají čtyři stupně závislosti: silná závislost, průměrná závislost, slabá závislost či nezávislost. Zjištěná závislost se v buňkách maticového diagramu vyjadřuje zvolenými grafickými symboly, nezávislost je charakterizována prázdnou buňkou.

Maticový diagram vzájemných vztahů poskytuje první informace o tom, ve kterých znacích jakosti produktu se promítají jednotlivé požadavky na produkt. V případě, že některý z požadavků na produkt nesouvisí s žádným z uvedených znaků jakosti produktu, mělo by následovat doplnění znaku jakosti, který má vztah k plnění daného požadavku. V případě, že některý znak jakosti nezávisí na žádném z požadavků, bylo by možné dojít k závěru, že daný znak jakosti produktu je z hlediska splnění deklarovaných požadavků bezvýznamný. Je však potřeba prověřit, zda se v dané vlastnosti produktu nepromítá požadavek, který je považován za tak samozřejmý, že nebyl ani vysloven (tzv. očekávání zákazníka).

Analýza zpracovaného maticového diagramu rovněž umožňuje identifikovat znaky jakosti produktu, které jsou z hlediska plnění dané množiny požadavků na produkt nejdůležitější. Jedná se o znaky jakosti, které mají nejvíce vazeb (zejména těch silných) k požadavkům na produkt (v příslušných sloupcích se vyskytuje nejvíce grafických symbolů).

## **6. Porovnání schopnosti dosahovat znaky jakosti**

Na základě informací o technických parametrech konkurenčních produktů pak pracovníci vývoje porovnávají s konkurencí vlastní technické možnosti dosahovat jednotlivé znaky jakosti produktu s možnostmi konkurentů. K hodnocení se opět používá stupnice I až 5 bodů.

## **7. Analýza vztahů mezi znaky jakosti**

Analyzují se vztahy mezi jednotlivými znaky jakosti produktu navzájem. Míra závislosti se graficky zaznamenává do buněk vytvořené „střechy“ Domu jakosti, která rovněž představuje maticový diagram. Míru závislostí je vhodné doplnit o informaci, zda se jedná o pozitivní či negativní závislost

## **8. Návrh cílových hodnot znaků jakosti produktu**

V takto již téměř sestrojeném Domu jakosti je nyní dostatek informací k tomu, aby tým mohl navrhnout vhodné cílové hodnoty znaků jakosti navrhovaného produktu. Navržené cílové hodnoty znaků jakosti se zaznamenávají do základny Domu jakosti. Současně se stanovením těchto cílových hodnot by měly být určeny přípustné meze jejich variability.

Uvedenou základní variantu Domu jakosti lze dále rozšířit a doplnit o kvantitativní vyhodnocení důležitosti jednotlivých požadavků a znaků jakosti produktu.

## **Zdokonalená varianta Domu jakosti**

Vývoj metody QFD přináší řadu dalších modifikací Domu jakosti a dalších aplikací. Příkladem je zdokonalená varianta Domu jakosti (viz obr. 3.2), která zohledňuje některé další aspekty využívané při plánování jakosti produktů a umožňuje kvantitativně vyhodnotit důležitost jednotlivých znaků jakosti vzhledem k danému souboru požadavků na produkt. Hlavním cílem samozřejmě zůstává návrh cílových hodnot znaků jakosti produktu.

Zpracování zdokonalené varianty Domu jakosti probíhá v následujících krocích:

### **1. Identifikace požadavků na produkt**

Konkretizují se požadavky zákazníka a doplňují se o další, například zákonné požadavky. Požadavky na produkt se zaznamenávají do řádků Domu jakosti.

### **2. Stanovení důležitosti požadavků**

Jednotlivým požadavkům na produkt se přiřazuje stupeň důležitosti (A) vyjádřený bodovým hodnocením na stupnici 1 až 5 bodů.

$$A_i \in \langle 1;5 \rangle$$

Nejnižší bodové hodnocení získávají ty požadavky, jejichž nesplnění zákazník pravděpodobně ani nezaregistruje, a naopak nejvyšší bodové hodnocení budou mít požadavky, na které je kladen zvláště silný důraz.

### **3. Posouzení schopnosti organizace plnit jednotlivé požadavky na produkt**

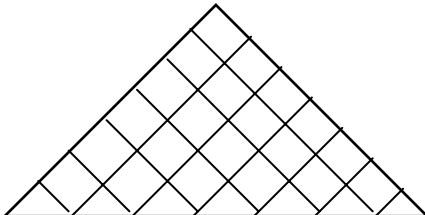
Hodnotí se, jak je organizace schopna plnit jednotlivé požadavky na produkt. Toto hodnocení by mělo vyjadřovat názor potenciálních zákazníků a obvykle ho provádějí pracovníci marketingu. K hodnocení schopnosti plnit jednotlivé požadavky se používá bodové hodnocení na stupnici 1 až 5.

$$N_i \in \langle 1;5 \rangle$$

### **4. Analýza schopnosti konkurentů plnit jednotlivé požadavky na produkt**

Hodnotí se, jak jsou schopni plnit jednotlivé požadavky na produkt konkurenti organizace. Toto hodnocení by opět mělo vyjadřovat názor potenciálních zákazníků a používá se bodové hodnocení na stupnici 1 až 5.

$$X_i \in \langle 1;5 \rangle$$

|                           |   |                                                                                              |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |
|---------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|----------------------|---------------------------|-------------|-------------|---------------------|--------------------------------------------|---------------------------|----------------|-------------------|--|--|
|                           |   | <div></div> |  |  |  |  |  |  | Zákaznické hodnocení |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |
|                           |   | ZNAKY JAKOSTI<br>PRODUKTU                                                                    |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |
|                           |   |                                                                                              |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |
| POŽADAVKY<br>NA PRODUKT   |   |                                                                                              |  |  |  |  |  |  | Stupeň důležitosti   | Vlastní firma- souč. stav | Konkurent A | Konkurent B | Vlastní firma –plán | Koef. plánovaného<br>stavebního<br>objektu | Koef. vlivu na prodejnost | Absolutní váha | Relativní váha, % |  |  |
|                           |   |                                                                                              |  |  |  |  |  |  | A                    | N                         |             |             | P                   | B                                          | C                         | D              | E                 |  |  |
|                           |   |                                                                                              |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |
|                           |   |                                                                                              |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |
|                           |   |                                                                                              |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |
|                           |   |                                                                                              |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |
| Celkem                    | Z |                                                                                              |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           | Celkem         |                   |  |  |
| Rel.váha<br>znaku, %      | V |                                                                                              |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |
| Porovnání s<br>konkurencí | 5 |                                                                                              |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |
|                           | 4 |                                                                                              |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |
|                           | 3 |                                                                                              |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |
|                           | 2 |                                                                                              |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |
|                           | 1 |                                                                                              |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |
| CÍLOVÉ<br>HODNOTY         |   |                                                                                              |  |  |  |  |  |  |                      |                           |             |             |                     |                                            |                           |                |                   |  |  |

Obr. 3.2: Zdokonalená varianta Domu jakosti.

### **5. Porovnání schopnosti organizace a konkurentů plnit jednotlivé požadavky na produkt a návrh plánovaného zlepšení**

Informace o schopnosti organizace a jejích konkurentů plnit jednotlivé požadavky na produkt jsou důležitým podkladem pro analýzu slabých a silných stránek organizace v porovnání s konkurencí a návrh plánovaného zlepšení.

$$P_i \in \langle 1; 5 \rangle$$

### **6. Výpočet koeficientu plánovaného zlepšení**

Míra plánovaného zlepšení v plnění určitého požadavku se vyjadřuje pomocí koeficientu plánovaného zlepšení, který se počítá jako poměr plánovaného hodnocení plnění požadavku (hodnocení, které firma chce dosáhnout) ke stávajícímu hodnocení:

$$B_i = \frac{P_i}{N_i}$$

### **7. Posouzení vlivu plnění jednotlivých požadavků na prodejnost produktu**

Dalším aspektem, který je u jednotlivých požadavků posuzován, je míra vlivu plnění požadavku na prodejnost produktu. K hodnocení míry tohoto vlivu se používá koeficient vlivu na prodejnost, pro který jsou doporučeny tyto hodnoty:

$$C_i = \{1; 1,2; 1,5\}$$

příčemž:

$C_i = 1$  : minimální vliv požadavku na prodejnost produktu

$C_i = 1,2$  : střední vliv požadavku na prodejnost produktu

$C_i = 1,5$  : silný vliv požadavku na prodejnost produktu

### **8. Stanovení absolutní váhy jednotlivých požadavků na produkt**

Váha jednotlivých požadavků u zdokonalené varianty Domu jakosti zohledňuje jejich důležitost, priority organizace při zlepšování jejich plnění a vliv jejich splnění

na prodejnost produktu. Absolutní váha jednotlivých požadavků se počítá podle vztahu:

$$D_i = A_i \cdot B_i \cdot C_i$$

kde:

$A_i$  - stupeň důležitosti požadavku

$B_i$  - koeficient plánovaného zlepšení plnění požadavku

$C_i$  - koeficient vlivu na prodejnost

### **9. Stanovení relativní váhy jednotlivých požadavků na produkt v procentech**

Stanovené hodnoty absolutních vah požadavků se přepočítávají na relativní váhy vyjádřené v procentech ( $E_i$ ) podle vztahu:

$$E_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \cdot 100$$

kde:

$n$  – celkový počet požadavků

### **10. Stanovení měřitelných znaků jakosti produktu**

Identifikují se měřitelné znaky jakosti, kterými je definován navrhovaný produkt. Tyto znaky se zaznamenávají do sloupců Domu jakosti.

### **11. Analýza vzájemných vztahů mezi požadavky a znaky jakosti**

V tomto kroku tým analyzuje vzájemné vztahy mezi jednotlivými požadavky na produkt a znaky jakosti produktu. Stejně jako u základní varianty se používají čtyři stupně závislosti: silná závislost, průměrná závislost, slabá závislost či nezávislost. Zjištěná závislost se v buňkách maticového diagramu vyjadřuje zvolenými grafickými symboly, nezávislost je charakterizována prázdnou buňkou. Buňky maticového diagramu jsou v případě zdokonalené varianty Domu jakosti úhlopříčkou rozděleny

na dvě části. Grafický symbol vyjadřující sílu vztahu se zaznamenává do horní části, spodní část je k dispozici pro záznam součinu  $S_{ij}$  (viz dále).

Stejně jako v případě základní varianty Domu jakosti, maticový diagram vzájemných vztahů poskytuje důležité informace o tom, ve kterých znacích jakosti produktu se promítají jednotlivé požadavky na produkt, a příslušné informace lze využít k doplnění chybějících znaků jakosti či požadavků na produkt nebo ke kvalitativnímu posouzení důležitosti jednotlivých znaků jakosti.

## **12. Vyhodnocení důležitosti jednotlivých znaků jakosti produktu**

U zdokonalené varianty Domu jakosti se pro vyjádření důležitosti jednotlivých znaků ve vztahu k jednotlivým požadavkům na produkt počítají součiny relativní váhy požadavku a koeficientu vyjadřujícího míru závislosti mezi daným požadavkem a znakiem:

$$S_{ij} = k_{ij} \cdot E_i$$

kde:

$k_{ij}$  – koeficient, vyjadřující míru závislosti mezi daným požadavkem a znakiem

$E_i$  – relativní váha znaku, %

Pro hodnoty koeficientu vyjadřujícího míru závislosti mezi daným požadavkem a znakiem se doporučuje využívat hodnoty:

$$k_{ij} = \{1; 3; 9\}$$

přičemž

$k_{ij} = 1$  : slabý vztah mezi daným požadavkem a daným znakiem

$k_{ij} = 3$  : průměrný vztah mezi daným požadavkem a daným znakiem

$k_{ij} = 9$  : silný vztah mezi daným požadavkem a daným znakiem

Důležitost jednotlivých znaků jakosti vzhledem k celému souboru požadavků na produkt (absolutní váhu znaků) pak lze vyjádřit pomocí součtu příslušných součinů v jednotlivých sloupcích, podle vztahu:

$$Z_j = \sum_{i=1}^n S_{ij}$$

Pro lepší interpretaci se dále provádí přepočet absolutní váhy znaku na relativní váhu vyjádřenou v procentech, podle vztahu:

$$V_j = \frac{Z_j}{\sum_{j=1}^m Z_j} \cdot 100$$

Informace o relativní váze jednotlivých znaků jsou jednak jedním z podkladů pro návrh cílových hodnot, jednak umožňují stanovit priority při vývoji produktu.

### **13. Porovnání schopnosti dosahovat znaky jakosti**

Na základě informací o technických parametrech konkurenčních produktů pracovníci vývoje porovnávají s konkurencí vlastní technické možnosti dosahovat jednotlivé znaky jakosti produktu s možnostmi konkurentů. K hodnocení se používá stupnice I až 5 bodů.

### **14. Analýza vztahů mezi znaky jakosti**

Analyzují se vztahy mezi jednotlivými znaky jakosti produktu navzájem. Míra závislosti se graficky zaznamenává do buněk vytvořené „střechy“ Domu jakosti, která rovněž představuje maticový diagram. Míru závislostí je vhodné doplnit o informaci, zda se jedná o pozitivní či negativní závislost.

### **15. Návrh cílových hodnot znaků jakosti produktu**

Soubor doposud zpracovaných informací v Domu jakosti představuje důležité podklady pro návrh cílových hodnot znaků jakosti navrhovaného produktu. Navržené cílové hodnoty znaků jakosti, které jsou hlavním výsledkem Domu jakosti se zaznamenávají do jeho základny.

## **„Čtyřmaticový přístup“ k metodě QFD a „matice matic“**

Dům jakosti je pouze jednou z nejznámějších a nejčastěji používanou aplikací metody QFD. Pod souhrnné označení „metoda QFD“ spadá i řada dalších aplikací, založených na principu maticového diagramu. Některé aplikace jsou zahrnuty pod nějaké souhrnné označení. Příkladem je tzv. „čtyřmaticový přístup“ nebo „matice matic“.

„Čtyřmaticový přístup“ využívá čtyř maticových diagramů, které na sebe navazují a jsou určeny pro plánování jakosti produktu, plánování jakosti dílů, plánování procesů a plánování způsobu řízení výroby (viz obr. 3.4). Následující maticový diagram přitom vždy využívá výsledky předcházejícího.

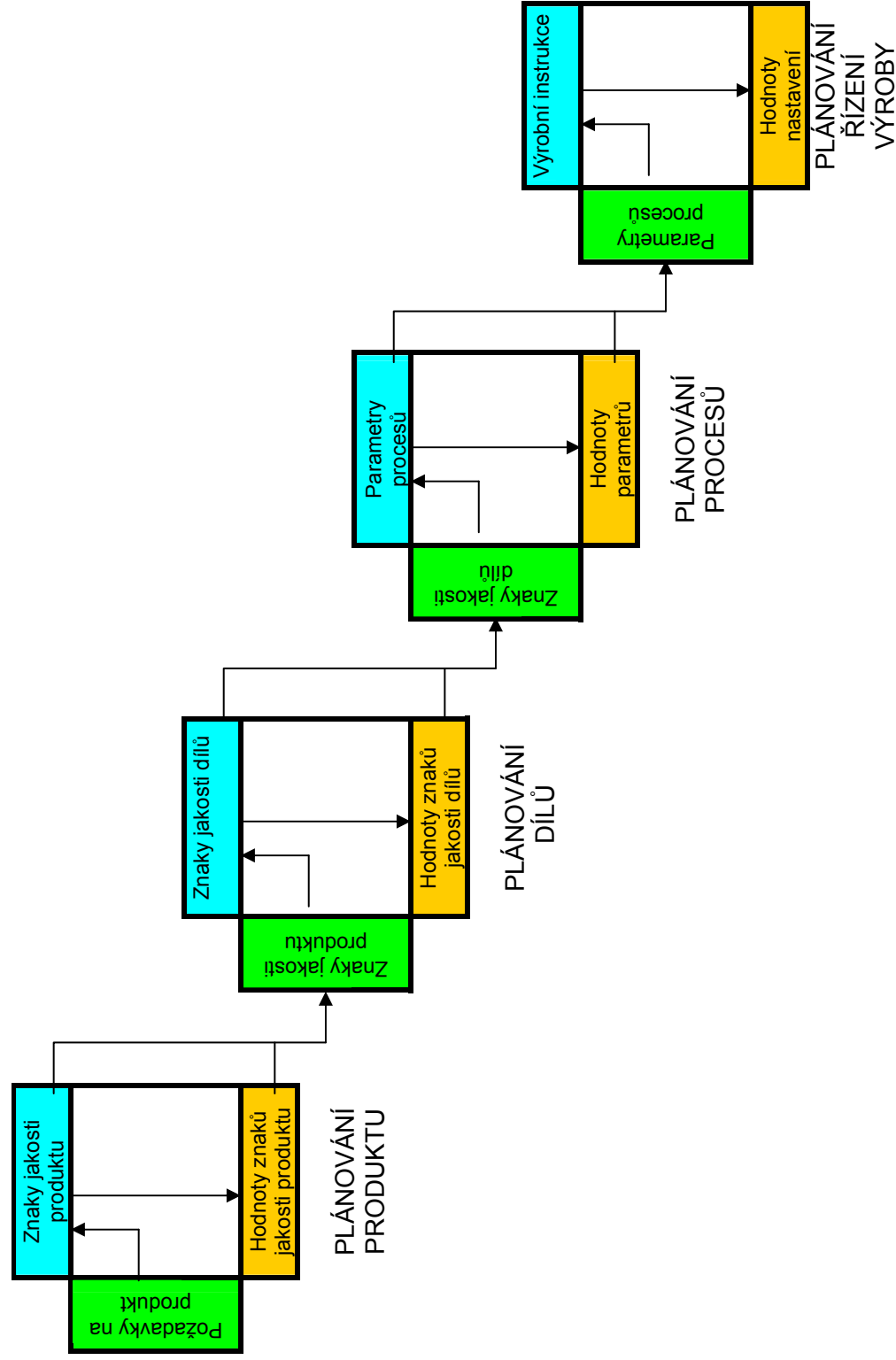
První z maticových diagramů odpovídá „Domu jakosti“ diskutovanému výše a slouží k plánování jakosti produktu, kdy se požadavky zákazníka transformují do znaků jakosti produktu. Výsledkem jeho aplikace tedy jsou cílové hodnoty znaků jakosti navrhovaného produktu.

Pomocí druhého maticového diagramu určeného k plánování dílů se cílové hodnoty znaků jakosti návrhu produktu, stanovené v prvním diagramu, transformují do znaků jakosti dílů (komponent), ze kterých bude produkt realizován.

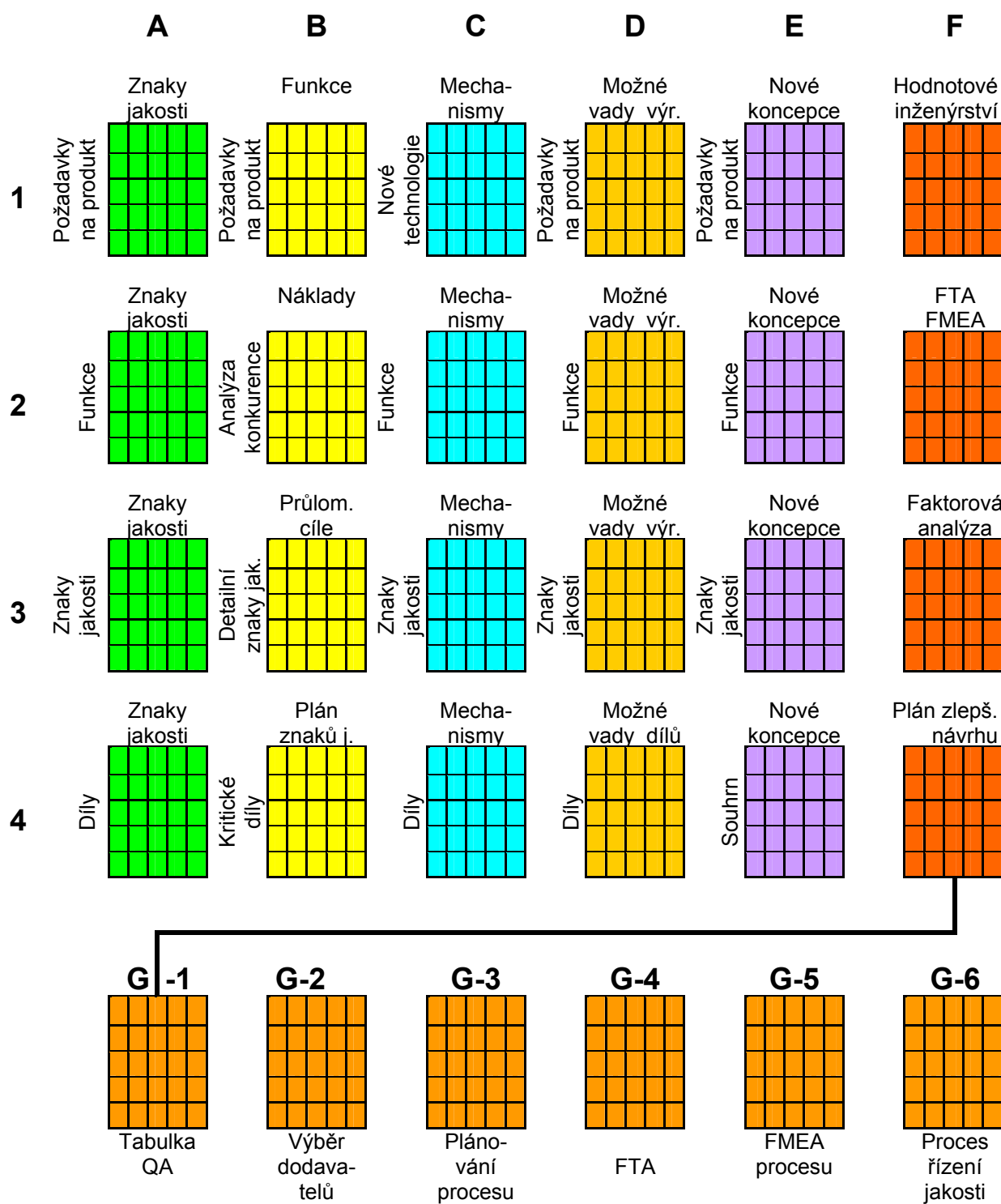
V maticovém diagramu pro plánování procesu (operací) se cílové hodnoty znaků jakosti dílů nebo materiálů transformují do parametrů potřebných operací. Výstupem jsou cílové hodnoty parametrů jednotlivých operací, které je potřeba zajistit pro dosažení cílové hodnoty znaků jakosti dílů.

Maticový diagram pro plánování způsobu řízení výroby slouží k transformaci parametrů jednotlivých operací do konkrétních výrobních instrukcí. Výstupem jsou informace o tom, jakým způsobem je potřeba výrobní proces nastavit a řídit, aby byly dosaženy požadované cílové parametry operací.

„Matice matic“ představuje ucelený soubor 30 různých diagramů, jejichž cílené použití může dále usnadnit plánování jakosti produktů. Jedná se v podstatě o souhrnné zobrazení různých aplikací, jež byly výsledkem vývoje metody QFD v 70. a 80. letech 20. století.



Obr. 3.3: Čtyřmaticový přístup metody QFD.



Obr. 3.4: Matice matic.



## Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- Metoda QFD
- Dům jakosti
- Čtyřmaticový přístup
- Matice matic



## Otázky:

1. Uveďte princip a přínosy metody QFD
2. Co je hlavním výsledkem Domu jakosti?
3. Co se analyzuje ve střeše Domu jakosti?
4. Uveďte, jakým způsobem se vyhodnocuje váha požadavků na produkt u zdokonalené varianty Domu jakosti?
5. Jakým způsobem se hodnotí vztahy mezi jednotlivými požadavky a jednotlivými znaky jakosti a jak se tyto informace využívají
6. Uveďte, jakým způsobem se vyhodnocuje váha znaků jakosti produktu u zdokonalené varianty Domu jakosti?
7. Jaké opatření by měl tým QFD realizovat v případě, že k některému požadavku na produkt se nemá vztah žádný z uvedených znaků jakosti?
8. Vysvětlete princip čtyřmaticového přístupu metody QFD.
9. Co se označuje jako Matice matic?



## Úloha k řešení:



## Literatura k dalšímu studiu:

PLURA, J.: *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1

## 4. METODA FMEA

### Členění kapitoly:

- Přezkoumání návrhu
- Metoda FMEA
- FMEA návrhu produktu
- FMEA procesu



**Čas potřebný ke studiu: 3 hodiny**



### Cíl: Po prostudování této kapitoly

- se seznámíte s účelem a obsahem přezkoumání návrhu
- pochopíte princip metody FMEA
- naučíte se postup aplikace metody FMEA návrhu produktu
- naučíte se postup aplikace metody FMEA procesu



### Výklad

#### Přezkoumání návrhu (Design Review)

Důležitou metodou plánování jakosti produktů je přezkoumání návrhu. Přezkoumání návrhu představuje týmové a systematické zkoumání návrhu s cílem

vyhodnotit jeho způsobilost plnit požadavky na jakost, identifikovat případné problémy a navrhnout postup jejich řešení.

Podle požadavků na systémy managementu jakosti v souladu s normou ISO 9001:2000 se ve vhodných etapách návrhu a vývoje musí přezkoumání návrhu v souladu s plánovanými činnostmi provádět. Doporučuje se, aby tato přezkoumání byla prováděna na závěr každé fáze vývoje návrhu a aby probíhala na různých úrovních hierarchie produktu. Přezkoumání návrhu mají provádět týmy zkušených a objektivních odborníků, kteří nejsou zapojeni do vývoje návrhu.

Přezkoumání návrhu se má zabývat všemi atributy jeho jakosti: jeho schopností plnit požadované funkce za předpokládaných podmínek použití, jeho spolehlivostí, udržitelností, bezpečností, vlivem na životní prostředí, splněním požadavků předpisů, estetickými vlastnostmi, možnostmi vzniku neshod, optimalizací nákladů apod. Průběh přezkoumání návrhu by měl mít přesný řád, v rámci kterého se formou otázek a odpovědí návrh analyzuje z různých odborných hledisek. O průběhu přezkoumání návrhu se zpracovává zpráva, ve které by měly být zaznamenány důležité otázky a odpovědi, zjištěné problémy k řešení a navržená doporučení. Široké spektrum oblastí, které by měly být v rámci přezkoumání návrhu posuzovány, lze dokumentovat výčtem vybraných doporučených prvků přezkoumání návrhu:

- schopnost fungovat za očekávaných podmínek používání;
- nezáměrná a nesprávná použití (nemůže nesprávné použití produktu vést k nějakému nebezpečí?);
- bezpečnost a slučitelnost s životním prostředím;
- soulad s požadavky předpisů;
- schopnost zajistit požadované tolerance
- přejímací kritéria (jsou se zákazníkem vyjasněna přejímací kritéria produktu?);
- skladovatelnost, snadnost instalace a likvidovatelnost;
- bezpečnost při poruše;
- analýza možností vzniku vad a jejich následků;
- požadavky na označení a instrukce pro uživatele;
- výrobitelnost;
- specifikace materiálů a jejich dostupnosti.

## **Metoda FMEA**

Metoda FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) představuje týmovou analýzu možností vzniku vad u posuzovaného návrhu spojenou s ohodnocením jejich rizik, jež je východiskem pro návrh a realizaci opatření vedoucích ke zmírnění těchto rizik. Je důležitou součástí přezkoumání návrhu a její aplikací lze odhalit až 90% možných neshod.

Metoda FMEA se využívá zejména ve dvou základních aplikacích:

- FMEA návrhu produktu - analyzuje možnosti vzniku vad u navrhovaného produktu
- FMEA procesu - analyzuje možnosti vzniku vad v průběhu navrhovaného procesu

Mezi hlavní přínosy aplikace metody FMEA lze přiřadit:

- systémový přístup k prevenci nízké jakosti;
- určení priorit opatření na základě kvantifikace rizika možných vad;
- optimalizaci návrhu, vedoucí ke snížení počtu změn ve fázi realizace;
- vytváření cenné informační databáze o produktu či procesu;
- minimální náklady na provedení v porovnání s náklady, které by mohly vzniknout při výskytu vad.

Metoda FMEA se používá zejména pro nové nebo inovované produkty nebo procesy, avšak lze ji aplikovat i na stávající produkty a procesy. V případě analýzy nových produktů či procesů by měla být zahájena dostatečně včas, v podstatě v okamžiku, kdy je zpracována první koncepce řešení.

FMEA je metodou, kterou je nutno aplikovat v týmu, neboť využívá znalosti a zkušeností řady odborníků. V týmu by měli mít své zastoupení pracovníci vývoje, konstrukce, technologie, výroby, útvaru řízení jakosti, zkušeben, marketingu, servisu a další „nositelé znalostí“. Pro efektivní práci týmu je důležité metodické a organizační řízení práce týmu zkušeným moderátorem.

Analýza FMEA návrhu výrobku nebo procesu probíhá v těchto základních fázích:

- a) analýza a hodnocení současného stavu;
- b) návrh opatření;
- c) hodnocení stavu po realizaci opatření.

Výsledky analýzy FMEA se průběžně zaznamenávají do standardizovaného formuláře (viz obr. 4.1 a 4.2).

### **FMEA návrhu produktu**

Cílem FMEA návrhu produktu je již v etapě návrhu produktu odhalit jeho případné nedostatky a ještě před jeho schválením produktu realizovat opatření, která by tyto nedostatky odstranila.

Postup analýzy FMEA návrhu produktu probíhá v následujících krocích:

#### **1. Dekompozice produktu na jednotlivé dílčí části**

Pomocí systematického diagramu nebo blokového schématu se navrhovaný produkt dekomponuje na dílčí části.

#### **2. Analýza možných vad:**

Analyzují se všechny možné vady, které se na jednotlivých dílčích částech produktu mohou vyskytnout v průběhu jeho používání. Vady se uvádějí jako fyzikální jevy.

Příklady možných vad:

- deformace
- zlomení
- koroze

#### **3. Analýza možných následků vad**

Analyzují se všechny možné následky, které mohou nastat v případě vzniku dané vady t.j. jaký dopad bude mít vznik dané vady na zákazníka.

Příklady možných následků vad:

- ztráta funkce
- zvýšená hlučnost
- poranění uživatele

#### **4. *Analýza možných příčin vad***

Analyzují se případné nedostatky navrhovaného řešení, které by mohly být příčinou dané vady. Každá vada přitom může být vyvolána několika příčinami.

Příklady možných příčin vad:

- nevhodný materiál
- nevhodné konstrukční řešení
- nevhodná tolerance

#### **5. *Analýza stávajících preventivních opatření:***

Je provedena analýza používaných opatření, která snižují pravděpodobnost výskytu dané možné vady.

#### **6. *Analýza stávajících způsobů ověřování navrhovaného řešení***

Analyzují se stávající způsoby ověřování navrhovaného řešení, které před jeho uvolněním do výroby mohou odhalit danou možnou vadu nebo její příčinu.

#### **7. *Hodnocení významu, očekávaného výskytu a odhalitelnosti jednotlivých možných vad***

Všechna tři kritéria se s využitím pomocných tabulek bodově hodnotí na stupnici 1 až 10 bodů – jedná se o trestné body.

Význam vady se hodnotí na základě významu nejzávažnějšího následku vady.

Očekávaný výskyt vady hodnotí pravděpodobnost vzniku dané vady vlivem dané příčiny za dobu plánovaného života produktu.

Odhalitelnost vady posuzuje schopnost odhalit vadu nebo její příčinu pomocí stávajících způsobů ověřování navrhovaného řešení před uvolněním do výroby.

Příklady hodnotících tabulek jsou uvedeny v tab. 4.1 až 4.3.

### **8. Výpočet rizikových čísel a jejich porovnání s kritickou hodnotou**

Pro jednotlivé možné vady, které by mohly vzniknout vlivem určité příčiny, se počítá rizikové číslo jako součin hodnocení významu, výskytu a odhalitelnosti ( $RPN = \text{Význam} \times \text{Výskyt} \times \text{Odhalitelnost}$ ). Vypočtená hodnota rizikového čísla se porovná s jeho kritickou hodnotou, která je obvykle stanovena zákazníkem (např.  $RPN_{\text{krit}} = 100$ ).

### **9. Návrh a realizace opatření ke snížení rizik**

U všech možných vad, kde hodnota rizikového čísla překročila kritickou hodnotu je úkolem týmu FMEA navrhnout taková opatření, která by riziko dané možné vady dostatečně snížila. (U možných vad, kde hodnota rizikového čísla nepřekročila kritickou hodnotu se riziko považuje za přijatelné a opatření se nemusí navrhnout). Navržená opatření posuzuje a schvaluje pracovník odpovědný za návrh, který rovněž přiděluje odpovědnost za jejich realizaci a stanovuje příslušné termíny.

### **10. Hodnocení rizik po realizaci opatření**

Po realizaci schválených opatření se tým FMEA schází znovu a opětovně hodnotí význam, očekávaný výskyt a odhalitelnost možných vad. Vypočtou se nová riziková čísla a porovnají se s kritickou hodnotou. V případě, že realizovaná opatření u některých možných vad nevedla k poklesu rizikového čísla pod kritickou hodnotu, navrhuje tým nová, účinnější opatření a celý postup se opakuje.

Tab. 4.1: Hodnocení významu vady při FMEA návrhu produktu

| Následek                   | Kritéria významu následku                                                                                                           | Hodnocení |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Kritický<br>- bez výstrahy | Velmi vysoké hodnocení významu, kdy vada bez výstrahy ohrožuje bezpečný provoz vozidla a/nebo znamená nesplnění závazného předpisu. | 10        |
| Kritický<br>- s výstrahou  | Velmi vysoké hodnocení významu, kdy vada s výstrahou ohrožuje bezpečný provoz vozidla a/nebo znamená nesplnění závazného předpisu   | 9         |
| Velmi vážný                | Vozidlo/prvek nefunkční se ztrátou hlavní funkce.                                                                                   | 8         |
| Vážný                      | Vozidlo/prvek funkční, ale se sníženou výkonností. Zákazník velmi nespokojen.                                                       | 7         |
| Střední                    | Vozidlo/prvek funkční, ale části zajišťující pohodlí nefungují. Zákazník nespokojen.                                                | 6         |
| Nízký                      | Vozidlo/prvek funkční, ale části zajišťující pohodlí fungují se sníženou výkonností. Zákazník poněkud nespokojen.                   | 5         |
| Velmi nízký                | Ozdobné nebo tlumicí prvky neodpovídají. Vadu zaznamená většina zákazníků (přes 75%).                                               | 4         |
| Nepatrný                   | Ozdobné nebo tlumicí prvky neodpovídají. Vadu zaznamená 50% zákazníků.                                                              | 3         |
| Zanedbatelný               | Ozdobné nebo tlumicí prvky neodpovídají. Vadu zaznamenají nároční zákazníci (méně než 25%).                                         | 2         |
| Žádný                      | Žádný následek.                                                                                                                     | 1         |

Tab. 4.2: Hodnocení pravděpodobnosti výskytu vady při FMEA návrhu produktu

| Pravděpodobnost výskytu vady      | Možný výskyt vad                   | Hodnocení |
|-----------------------------------|------------------------------------|-----------|
| Velmi vysoká: neustálé vady       | $\geq 100$ na tisíc vozidel/prvků  | 10        |
|                                   | 50 na tisíc vozidel/prvků          | 9         |
| Vysoká: časté vady                | 20 na tisíc vozidel/prvků          | 8         |
|                                   | 10 na tisíc vozidel/prvků          | 7         |
| Střední: občasné vady             | 5 na tisíc vozidel/prvků           | 6         |
|                                   | 2 na tisíc vozidel/prvků           | 5         |
|                                   | 1 na tisíc vozidel/prvků           | 4         |
| Nízká: poměrně málo vad           | 0,5 na tisíc vozidel/prvků         | 3         |
|                                   | 0,1 na tisíc vozidel/prvků         | 2         |
| Vzdálená: vada je nepravděpodobná | $\leq 0,01$ na tisíc vozidel/prvků | 1         |

Tab. 4.3: Hodnocení pravděpodobnosti odhalení vady při FMEA návrhu produktu

| Odhalitelnost                     | Pravděpodobnost odhalení vady při posuzování návrhu produktu                                               | Hodnocení |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Absolutní nejistota               | Posuzování návrhu produktu neodhalí možnou příčinu vady ani následnou vadu nebo se posuzování neprovádí.   | 10        |
| Velmi nepravděpodobná             | Je velmi nepravděpodobné, že posuzování návrhu produktu odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.    | 9         |
| Nepravděpodobná                   | Je nepravděpodobné, že posuzování návrhu produktu odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.          | 8         |
| Velmi nízká pravděpodobnost       | Velmi nízká pravděpodobnost, že posuzování návrhu produktu odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu. | 7         |
| Nízká pravděpodobnost             | Nízká pravděpodobnost, že posuzování návrhu produktu odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.       | 6         |
| Průměrná pravděpodobnost          | Průměrná pravděpodobnost, že posuzování návrhu produktu odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.    | 5         |
| Mírně nadprůměrná pravděpodobnost | Mírně nadprůměrná, že posuzování návrhu produktu odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.           | 4         |
| Vysoká pravděpodobnost            | Vysoká pravděpodobnost, že posuzování návrhu produktu odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.      | 3         |
| Velmi vysoká pravděpodobnost      | Velmi vysoká možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.         | 2         |
| Téměř jistota                     | Posuzování návrhu produktu téměř jistě odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.                     | 1         |

## **FMEA procesu**

FMEA procesu se obvykle provádí při návrhu výroby nových či inovovaných produktů nebo při změnách technologického postupu. FMEA procesu je rovněž velice cennou metodou zlepšování již používaných procesů a lze ji aplikovat i na nevýrobní procesy. Postup při analýze FMEA procesu je podobný jako při FMEA návrhu produktu s tím rozdílem, že příčiny možných vad tentokrát tým nehledá v navrhovaném produktu, ale v navrhovaném procesu.

Postup analýzy FMEA procesu probíhá v následujících krocích:

### **1. Dekompozice procesu na jednotlivé dílčí procesy**

Identifikují se jednotlivé dílčí procesy a celý proces se zobrazí pomocí vývojového diagramu.

### **2. Analýza možných vad**

Analyzují se všechny možné vady, které se v průběhu jednotlivých dílčích procesů mohou na zpracovávaném produktu vyskytnout.

Příklady možných vad:

- nesmontováno
- otřepy
- vysoká drsnost povrchu

### **3. Analýza možných následků vad**

Analyzují se všechny možné následky dané vady t.j. jaký dopad bude mít vznik dané vady na externího zákazníka, interní zákazníky (navazující procesy) nebo obsluhu procesu.

Příklady možných následků vad:

- nelze provádět další operaci
- poranění uživatele
- ohrožuje obsluhu

#### **4. Analýza možných příčin vad**

Analyzují se případné nedostatky navrhovaného procesu (např. nevhodné parametry procesu), které by mohly být příčinou dané vady.

Příklady možných příčin vad:

- nevhodné parametry svařování
- špatné seřízení stroje
- záměna programu obsluhou

#### **5. Analýza stávajících preventivních opatření**

Analýza používaných opatření, která snižují pravděpodobnost výskytu dané možné vady.

#### **6. Analýza stávajících způsobů kontroly**

Analýza kontrolních postupů jež umožňují danou vadu nebo její příčinu odhalit.

#### **7. Hodnocení významu, očekávaného výskytu a odhalitelnosti jednotlivých možných vad:**

Všechna tři kritéria se s využitím pomocných tabulek bodově hodnotí na stupnici 1 až 10 bodů – jedná se o trestné body.

Význam vady se hodnotí na základě významu nejzávažnějšího následku vady.

Očekávaný výskyt vady hodnotí pravděpodobnost, že v průběhu procesu daná vada vlivem dané příčiny vznikne.

Odhalitelnost vady posuzuje schopnost odhalit vadu nebo její příčinu pomocí stávajících způsobů kontroly.

#### **8. Výpočet rizikových čísel a jejich porovnání s kritickou hodnotou**

Pro jednotlivé možné vady, které by mohly vzniknout vlivem určité příčiny se počítá rizikové číslo jako součin hodnocení významu, výskytu a odhalitelnosti ( $RPN = \text{Význam} \times \text{Výskyt} \times \text{Odhalitelnost}$ ). Vypočtená hodnota rizikového čísla se

porovná s jeho kritickou hodnotou, která je obvykle stanovena zákazníkem (např.  $RPN_{krit} = 100$ ).

### **9. Návrh a realizace opatření ke snížení rizik**

U všech možných vad, kde hodnota rizikového čísla překročila kritickou hodnotu je úkolem týmu FMEA navrhnout taková opatření, která by riziko dané možné vady dostatečně snížila. (U možných vad, kde hodnota rizikového čísla nepřekročila kritickou hodnotu se riziko považuje za přijatelné a opatření se nemusí navrhovat). Navržená opatření posuzuje a schvaluje pracovník odpovědný za návrh procesu, který rovněž přiděluje odpovědnost za jejich realizaci a stanovuje příslušné termíny.

### **10. Hodnocení rizik po realizaci opatření**

Po realizaci schválených opatření se tým FMEA schází znovu a opětovně hodnotí význam, očekávaný výskyt a odhalitelnost možných vad. Vypočtou se nová riziková čísla a porovnají s kritickou hodnotou. V případě, že realizovaná opatření u některých možných vad nevedla k poklesu rizikového čísla pod kritickou hodnotu, navrhuje tým nová, účinnější opatření a celý postup se opakuje.

Tab. 4.4: Hodnocení významu vady při FMEA procesu

| Následek                  | Význam následku                                                                                                                     |                                                                                                                                               | Hodno-<br>cení |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|                           | Dopad na zákazníka                                                                                                                  | Dopad na výrobu/ montáž                                                                                                                       |                |
| Nebezpečný - bez výstrahy | Velmi vysoké hodnocení významu, kdy vada bez výstrahy ohrožuje bezpečný provoz vozidla a/nebo znamená nesplnění závazného předpisu. | Nebo může bez výstrahy ohrozit pracovníka obsluhy (stroj nebo sestavu).                                                                       | 10             |
| Nebezpečný - s výstrahou  | Velmi vysoké hodnocení významu, kdy vada s výstrahou ohrožuje bezpečný provoz vozidla a/nebo znamená nesplnění závazného předpisu   | Nebo může s výstrahou ohrozit pracovníka obsluhy (stroj nebo sestavu).                                                                        | 9              |
| Velmi vysoký              | Vozidlo/prvek nefunkční se ztrátou hlavní funkce.                                                                                   | Nebo se musí 100% produktů šrotovat nebo se musí vozidlo/prvek opravit v dílně za dobu delší než hodina.                                      | 8              |
| Vysoký                    | Vozidlo/prvek funkční, ale se sníženou výkonností. Zákazník velmi nespokojen.                                                       | Nebo se musí produkty třídit a část (méně než 100%) šrotovat nebo se musí vozidlo/prvek opravit v dílně za dobu od 0,5 do 1 hodiny.           | 7              |
| Střední                   | Vozidlo/prvek funkční, ale části zajišťující pohodlí nefungují. Zákazník nespokojen.                                                | Nebo se musí část (méně než 100%) produktů šrotovat bez třídění nebo se musí vozidlo/prvek opravit v dílně za dobu kratší než 0,5 hodiny.     | 6              |
| Nízký                     | Vozidlo/prvek funkční, ale části zajišťující pohodlí fungují se sníženou výkonností. Zákazník poněkud nespokojen.                   | Nebo se musí 100% produktů přetřídit bez šrotování část (méně než 100%) se musí přepracovat mimo linku, ale nemusí jít do opravárenské dílny. | 5              |
| Velmi nízký               | Ozdobné nebo tlumicí prvky neodpovídají. Vadu zaznamená většina zákazníků (přes 75%).                                               | Nebo se musí produkty přetřídit a část (méně než 100%) se musí přepracovat                                                                    | 4              |
| Malý                      | Ozdobné nebo tlumicí prvky neodpovídají. Vadu zaznamená 50% zákazníků.                                                              | Nebo se musí část (méně než 100%) produktů přepracovat (bez šrotování) na lince, ale mimo normální pozici.                                    | 3              |
| Velmi malý                | Ozdobné nebo tlumicí prvky neodpovídají. Vadu zaznamenají nároční zákazníci (méně než 25%).                                         | Nebo se musí část (méně než 100%) produktů přepracovat (bez šrotování) na lince a na normální pozici.                                         | 2              |
| Žádný                     | Žádný následek.                                                                                                                     | Nebo nepatrná obtíž v operaci nebo pro operátora nebo žádný dopad                                                                             | 1              |

Tab. 4.5: Hodnocení pravděpodobnosti výskytu vady u FMEA procesu

| Pravděpodobnost výskytu vady    | Možný výskyt vady         | $P_{pk}$    | Hodnocení |
|---------------------------------|---------------------------|-------------|-----------|
| Velmi vysoká:<br>neustálé vady  | $\geq 100$ na tisíc kusů  | $< 0.55$    | 10        |
|                                 | 50 na tisíc kusů          | $\geq 0.55$ | 9         |
| Vysoká:<br>časté vady           | 20 na tisíc kusů          | $\geq 0.78$ | 8         |
|                                 | 10 na tisíc kusů          | $\geq 0.86$ | 7         |
| Průměrná:<br>občasné vady       | 5 na tisíc kusů           | $\geq 0.94$ | 6         |
|                                 | 2 na tisíc kusů           | $\geq 1.00$ | 5         |
|                                 | 1 na tisíc kusů           | $\geq 1.10$ | 4         |
| Nízká:<br>poměrně málo vad      | 0,5 na tisíc kusů         | $\geq 1.20$ | 3         |
|                                 | 0,1 na tisíc kusů         | $\geq 1.30$ | 2         |
| Vzácná:<br>Vada nepravděpodobná | $\leq 0,01$ na tisíc kusů | $\geq 1.67$ | 1         |

Tab. 4.6: Hodnocení pravděpodobnosti odhalení vady u FMEA procesu

| Odhalení                          | Kritéria                                          | Druh kontroly |   |   | Rozsah                                                                                                                                                   | Hodnocení |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------|---------------|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|                                   |                                                   | A             | B | C |                                                                                                                                                          |           |
| Téměř nemožné                     | Jistota, že vada nebude odhalena                  |               |   | X | Nedá se odhalit nebo se nekontroluje                                                                                                                     | 10        |
| Velmi nepravděpodobné             | Nástroje kontroly vadu pravděp. neodhalí          |               |   | X | Kontrola se provádí jen nepřímo nebo namátkově                                                                                                           | 9         |
| Nepravděpodobné                   | Nástroje kontroly mají malou šanci vadu odhalit.  |               |   | X | Kontrola se provádí jen vizuálně                                                                                                                         | 8         |
| Velmi nízká pravděpodobnost       | Nástroje kontroly mají malou šanci vadu odhalit.  |               |   | X | Provádí se dvojnásobná vizuální kontrola                                                                                                                 | 7         |
| Nízká pravděpodobnost             | Nástroje kontroly mohou vadu odhalit.             |               | X | X | Kontrola se provádí pomocí diagramů (např. SPC)                                                                                                          | 6         |
| Průměrná pravděpodobnost          | Nástroje kontroly mohou vadu odhalit.             |               | X |   | Kontrola se opírá o měření nebo 100% kontrolu kalibrem, když součásti opustily prac.                                                                     | 5         |
| Mírně nadprůměrná pravděpodobnost | Nástroje kontroly mají dobrou šanci vadu odhalit. | X             | X |   | Odhalování vad v násled. operacích nebo kontrola kalibrem prováděná po seřízení a kontrola 1. kusu.                                                      | 4         |
| Vysoká pravděpodobnost            | Nástroje kontroly mají dobrou šanci vadu odhalit. | X             | X |   | Odhalení vad na pracovišti nebo na násled. operacích vícenás. přejímkami: při dodání, výběru, instalaci, ověřování. Nedají se převzít neshodné součásti. | 3         |
| Velmi vysoká pravděpodobnost      | Nástroje kontroly téměř jistě vadu odhalí.        | X             | X |   | Odhalení vad na pracovišti (automatické měření s autom. pozastavením). Nemůže propustit neshodné díly.                                                   | 2         |
| Téměř jistota                     | Nástroje kontroly téměř jistě vadu odhalí.        | X             |   |   | Neshodné součásti se nedají vyrobit, protože prvek byl proti vzniku vad zajištěn.                                                                        | 1         |

A = zajištěno proti chybám; B = kontrola kalibrem; C = ruční kontrola



FMEA PROCESU

Položka

Model

Základní tým

Zodpovědnost za návrh

Datum

Strana  
Zpracoval

Datum provedení FMEA:  
(původní) (revidovaná)

z

|                                         |               |                           |        |            |                                         |        |                                             |                                               |               |                |                        |                            |                       |        |        |               |                |
|-----------------------------------------|---------------|---------------------------|--------|------------|-----------------------------------------|--------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------|----------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|--------|--------|---------------|----------------|
| Funkce<br>procesu<br>-----<br>Požadavky | Možná<br>vada | Možné<br>následky<br>vady | Význam | Kritičnost | Možné<br>příčiny/<br>mechanismy<br>vady | Výskyt | Stávající<br>řízení<br>procesu,<br>prevence | Stávající<br>řízení<br>procesu,<br>odhalování | Odhalitelnost | Rizikové číslo | Doporučená<br>opatření | Odpověd-<br>nost<br>Termín | Provedená<br>opatření | Význam | Výskyt | Odhalitelnost | Rizikové číslo |
|                                         |               |                           |        |            |                                         |        |                                             |                                               |               |                |                        |                            |                       |        |        |               |                |

Obr. 4.2: Formulář pro záznam výsledků analýzy FMEA procesu.



## Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- Přezkoumání návrhu
- Metoda FMEA
- FMEA návrhu produktu
- FMEA procesu
- Rizikové číslo



## Otázky:

1. Charakterizujte přezkoumání návrhu a způsob jeho nerealizace.
2. Uveďte vybrané prvky přezkoumání návrhu
3. Uveďte princip a přínosy metody FMEA.
4. Vysvětlete pojmy vada, následek vady a příčina vady v případě FMEA návrhu produktu.
5. Vysvětlete, na základě čeho se hodnotí význam vady, výskyt vady a odhalitelnost vady při FMEA návrhu produktu.
6. Vysvětlete pojmy vada, následek vady a příčina vady v případě FMEA procesu.
7. Vysvětlete, na základě čeho se hodnotí význam vady, výskyt vady a odhalitelnost vady při FMEA návrhu produktu.
8. Co to je rizikové číslo a jak se počítá?
9. Jaké priority se u metody FMEA uplatňují při návrhu opatření pro zmírnění rizika?
10. Jakým opatřením lze snížit význam vady?



## Úloha k řešení:



## Literatura k dalšímu studiu:

PLURA, J.: *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1

QS-9000: FMEA - Analýza možných způsobů a důsledků závad. 3. vydání, Praha: Česká společnost pro jakost, 2001

## 5. ANALÝZA ZPŮSOBILOSTI PROCESU

### Členění kapitoly:

- Význam analýzy způsobilosti procesu
- Postup hodnocení způsobilosti procesu
- Základní indexy způsobilosti procesu
- Další indexy způsobilosti procesu
- Požadavky na způsobilost procesu a možnosti jejího dosažení
- Faktory ovlivňující vypovídací schopnost indexů způsobilosti procesu
- Odhad pravděpodobnosti výskytu neshodných produktů
- Analýza způsobilosti výrobního zařízení



**Čas potřebný ke studiu: 5 hodin**



### Cíl: Po prostudování této kapitoly

- budete umět charakterizovat způsobilost procesu
- naučíte se postup provádění analýzy způsobilosti proces
- budete umět interpretovat jednotlivé indexy způsobilosti a vysvětlit způsob jejich výpočtu
- naučíte se navrhopat vhodná opatření k zajištění způsobilosti procesu
- seznámíte se s faktory, které ovlivňují vypovídací schopnost indexů způsobilosti
- budete umět na základě indexů způsobilosti odhadnout očekávaný výskyt neshodných produktů
- naučíte se postup analýzy způsobilosti výrobního zařízení



## Výklad

### Význam analýzy způsobilosti procesu

Jednou z důležitých oblastí plánování jakosti produktu je ověření způsobilosti procesu navrhovaného k realizaci produktu. Způsobilost procesu (Process Capability) lze charakterizovat jako schopnost procesu trvale poskytovat produkty splňující požadovaná kritéria jakosti.

Znalost způsobilosti procesů je důležitá zejména z těchto důvodů:

- je součástí plánování jakosti produktů
- umožňuje odhad očekávaného výskytu neshodných produktů
- je součástí měření výkonnosti procesů a východiskem pro jejich zlepšování
- poskytuje informace pro plánování výroby
- zvyšuje důvěru a spokojenost zákazníků.

Ve standardech pro oblast automobilového průmyslu a jeho dodavatelů jsou analýzy způsobilosti procesu požadovány.

### Postup hodnocení způsobilosti procesu

Pro správné vyhodnocení způsobilosti procesu je potřeba dodržet správný postup, který zahrnuje ověření některých omezujících podmínek. Hodnocení způsobilosti procesu na základě měřitelných znaků jakosti by mělo probíhat v těchto krocích:

### **1. Volba znaku jakosti**

Způsobilost procesu se hodnotí vzhledem k určitému znaku jakosti produktu, který je bezprostředním výsledkem posuzovaného procesu. Zvolený znak by měl odrážet úspěšnost sledovaného procesu. Nezbytným předpokladem pro hodnocení způsobilosti procesu je, aby pro daný znak byla předepsána kritéria jakosti, například toleranční meze.

### **2. Analýza systému měření zvoleného znaku jakosti**

Vzhledem k tomu, že výsledky analýzy způsobilosti procesu mohou být výrazně ovlivněny jakostí naměřených údajů, je potřeba před shromažďováním údajů ověřit vhodnost používaného systému měření.

### **3. Shromáždění údajů z probíhajícího procesu**

Údaje o zvoleném znaku jakosti by měly být získávány z probíhajícího procesu v průběhu časového období, které by mělo být dostatečně dlouhé, aby se v něm projevy všechny běžné zdroje variability. V tomto období se v přibližně pravidelných časových či dávkových intervalech z procesu odebírá určitý počet po sobě vyrobených výrobků (podskupiny) a zjišťují se hodnoty sledovaného znaku jakosti. Měly by být získány údaje o cca 25 takových podskupinách.

### **4. Průzkumová analýza shromážděných údajů**

Shromážděné údaje je vhodné podrobit průzkumové analýze. K tomu je vhodné využít vhodné grafické nástroje. Tak například pomocí krabicového grafu lze identifikovat případné odlehlé hodnoty a posoudit symetričnost rozdělení sledovaného znaku. Velice cenné informace poskytuje histogram, ve kterém je vhodné doplnit předepsané toleranční meze. Toto zobrazení dává informace o charakteru rozdělení sledovaného znaku, jeho poloze vůči tolerančním mezím, dosahované variabilitě a míře dodržování tolerančních mezí. Tyto informace jsou důležité pro další postup a jsou cenným doplňkem vyhodnocovaných indexů způsobilosti.

## **5. Posouzení statistické zvládnutosti procesu**

Aby bylo možné hodnotit způsobilost procesu, musí být proces statisticky zvládnutý, tedy variabilita sledovaného znaku jakosti musí být vyvolána pouze působením náhodných příčin. K ověření statistické zvládnutosti procesu se využívají regulační diagramy, které umožňují vyhodnotit, zda proces ovlivňují pouze náhodné příčiny variability (je statisticky zvládnutý), nebo i vymežitelné příčiny variability (není statisticky zvládnutý). Před použitím některých typů regulačních diagramů je potřeba ověřit normalitu dat.

V případech, kdy proces není statisticky zvládnutý a nejsou k dispozici informace pro analýzu a odstranění vymežitelných příčin, lze vyhodnotit tzv. „výkonnost procesu s ohledem na dosahovanou jakost“ (process performance – indexy  $P_p$ ,  $P_{pk}$  atd), která však pouze charakterizuje momentální chování procesu a nelze ji použít k predikci.

## **6. Ověření normality sledovaného znaku jakosti**

K hodnocení způsobilosti procesu se standardně používají indexy způsobilosti založené na předpokladu normálního rozdělení sledovaného znaku jakosti. Základní informaci o podobnosti rozdělení sledovaného znaku normálnímu rozdělení poskytuje například histogram. Objektivní ověření normality je však potřeba provést pomocí vhodných testů.

Situace, kdy rozdělení sledovaného znaku jakosti neodpovídá normálnímu rozdělení, lze v zásadě řešit těmito způsoby:

- a) Transformace dat – pomocí vhodné transformační funkce lze získat novou proměnnou, která může normalitu splňovat - pak následuje výpočet indexů podle standardních vztahů (zároveň je nutno transformovat i toleranční meze!)
- b) Nalezení jiného teoretického modelu rozdělení - pak může následovat výpočet indexů způsobilosti podle upravených vztahů
- c) Použití indexů, které nejsou založeny na konkrétním modelu rozdělení sledovaného znaku

## **7. Výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání s požadovanými hodnotami**

K hodnocení způsobilosti procesů se běžně používají indexy způsobilosti. Nejčastěji jsou využívány indexy  $C_p$  a  $C_{pk}$ , které posuzují potenciální a skutečnou schopnost procesu trvale poskytovat produkty vyhovující tolerančním mezím. V menší míře se zatím uplatňují indexy  $C_{pm}$ ,  $C_{pm}^*$ , a  $C_{pmk}$ , které navíc posuzují schopnost procesu dosahovat cílové hodnoty sledovaného znaku jakosti.

## **8. Případný návrh a realizace opatření ke zlepšení procesu**

Pokud analýza způsobilosti procesu vede k závěru, že proces není způsobilý, je potřeba realizovat vhodná opatření k dosažení způsobilosti. Vhodná opatření lze odvodit ze vzájemného porovnání hodnot jednotlivých indexů způsobilosti, dobrou pomůckou je rovněž sestrojený histogram.

## **Základní indexy způsobilosti procesu**

### ***Index způsobilosti $C_p$***

Index způsobilosti  $C_p$  je mírou potenciální schopnosti procesu zajistit, aby sledovaný znak jakosti ležel uvnitř tolerančních mezí. Hodnota indexu  $C_p$  je poměrem maximálně přípustné a skutečné variability hodnot znaku jakosti bez ohledu na jejich umístění v tolerančním poli. Index  $C_p$  tedy charakterizuje potenciální možnosti procesu dané jeho variabilitou (schopnost sledovaného znaku „vejít se“ do tolerance), ale již nic neříká o tom, jak jsou tyto možnosti ve skutečnosti využity. Lze ho stanovit pouze v případě oboustranné tolerance. Počítá se podle vztahu:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

kde:

LSL - dolní toleranční mez

USL - horní toleranční mez

$\sigma$  - směrodatná odchylka

Skutečná variabilita sledovaného znaku jakosti je vyjádřena hodnotou  $6\sigma$ , jež v případě normálního rozdělení vymezuje oblast, v níž každá další hodnota bude ležet s pravděpodobností 0,9973. Hodnota  $C_p = 1$  tedy například poskytuje informaci, že minimální očekávaný výskyt neshodných produktů na výstupu z

procesu bude činit 0,27 %. Této minimální hodnoty bude dosaženo pouze tehdy, když střední hodnota sledovaného znaku jakosti bude ležet ve středu tolerančního pole.

Grafické znázornění charakteristik potřebných pro výpočet indexu způsobilosti  $C_p$  je uvedeno na obr. 5.1.

Pro výpočet indexu způsobilosti na základě shromážděných údajů je potřeba vhodným způsobem odhadnout směrodatnou odchylku. Pro odhad směrodatné odchylky jsou doporučovány vztahy založené na průměrné variabilitě v podskupinách:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

nebo:

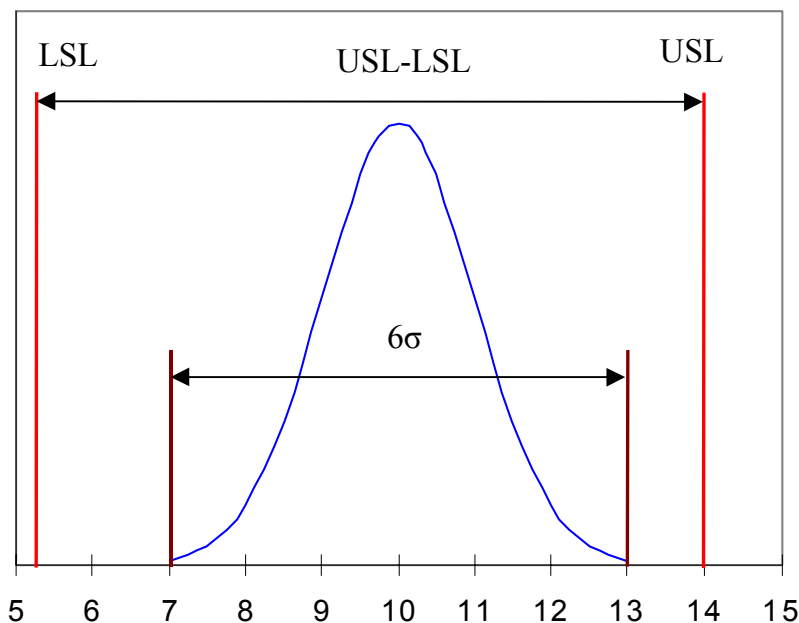
$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{C_4}$$

případně:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k s_j^2}{k}}$$

kde :

|            |                                                                   |
|------------|-------------------------------------------------------------------|
| $\bar{R}$  | -průměrné variační rozpětí v podskupinách                         |
| $\bar{s}$  | -průměrná hodnota výběrových směrodatných odchylek v podskupinách |
| $d_2, C_4$ | -koeficienty závislé na rozsahu podskupiny                        |
| $s_j^2$    | -výběrový rozptyl hodnot v j-té podskupině                        |
| k          | počet podskupin                                                   |



Obr. 5.1: Charakteristiky potřebné pro stanovení indexu způsobilosti  $C_p$ .

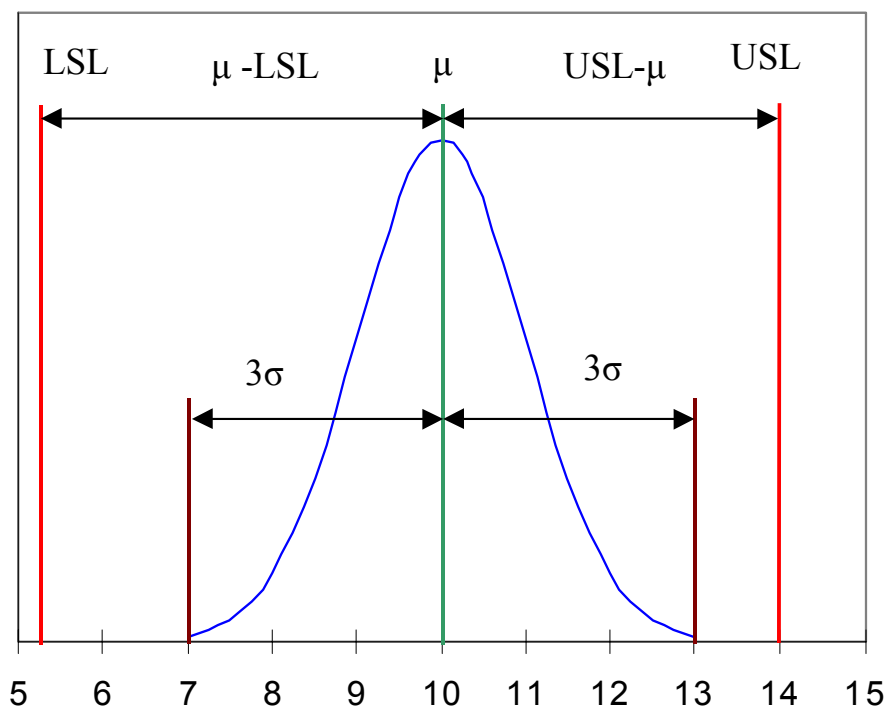
### **Index způsobilosti $C_{pk}$**

Index způsobilosti  $C_{pk}$  zohledňuje jak variabilitu sledovaného znaku jakosti, tak jeho polohu vůči tolerančním mezím. Index  $C_{pk}$  tedy charakterizuje skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané toleranční meze. Jeho hodnota vyjadřuje poměr vzdálenosti střední hodnoty sledovaného znaku jakosti od bližší toleranční meze k polovině skutečné variability hodnot. Index  $C_{pk}$  lze počítat jak v případě oboustranné, tak jednostranné tolerance. K jeho výpočtu se používá vztah:

$$C_{pk} = \min\{C_{pL}; C_{pU}\} = \min\left\{\frac{\mu - LSL}{3\sigma}; \frac{USL - \mu}{3\sigma}\right\}$$

kde:  $\mu$  - střední hodnota sledovaného znaku jakosti

Grafické znázornění charakteristik potřebných pro výpočet indexu způsobilosti  $C_{pk}$  je uvedeno na obr. 5.2.



Obr. 5.2: Charakteristiky potřebné pro stanovení indexu způsobilosti  $C_{pk}$ .

Mezi hodnotami indexů způsobilosti  $C_{pk}$  a  $C_p$  platí nerovnost:

$$C_{pk} \leq C_p$$

Hodnota indexu způsobilosti  $C_{pk}$  je tedy obecně menší a maximálně rovna hodnotě  $C_p$ . Rozdíl mezi hodnotami obou indexů je tím vyšší, čím více je střední hodnota sledovaného znaku vzdálena od středu tolerančního pole. Rovnosti obou těchto indexů způsobilosti je dosaženo pouze v případě, kdy střední hodnota sledovaného znaku jakosti leží právě ve středu tolerančního pole. Tehdy je potenciální způsobilost procesu daná variabilitou sledovaného znaku maximálně využita.

## Další indexy způsobilosti procesu

### **Index způsobilosti $C_{pm}$**

Index způsobilosti  $C_{pm}$  porovnává maximálně přípustnou variabilitu sledovaného znaku jakosti danou šířkou tolerančního pole s jeho skutečnou variabilitou kolem cílové (optimální) hodnoty  $T$ . Tento index tedy zohledňuje jak variabilitu hodnot sledovaného znaku jakosti, tak míru dosažení optimální hodnoty. Lze ho stanovit pouze v případě oboustranné tolerance a měl by být používán pouze tehdy, když cílová hodnota leží ve středu tolerančního pole.

Počítá se podle vztahu:

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

kde:  $T$  - cílová (optimální) hodnota

Mezi hodnotami indexů způsobilosti  $C_{pm}$  a  $C_p$  platí nerovnost:

$$C_{pm} \leq C_p$$

Rovnosti příslušných indexů je dosaženo pouze v případě, kdy střední hodnota sledovaného znaku jakosti odpovídá cílové hodnotě.

### **Index způsobilosti $C_{pm}^*$**

Pro případy, kdy cílová hodnota neleží ve středu tolerančního pole nebo je specifikována jednostranná tolerance, je zaveden index  $C_{pm}^*$ . Tento index porovnává vzdálenost cílové hodnoty sledovaného znaku od bližší toleranční meze s polovinou skutečné variability sledovaného znaku kolem této cílové (optimální) hodnoty. Počítá se pomocí vztahu:

$$C_{pm}^* = \min \left\{ \frac{T - LSL}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \frac{USL - T}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right\}$$

V případě, že cílová hodnota leží ve středu tolerančního pole odpovídá hodnota indexu  $C_{pm}^*$  hodnotě indexu  $C_{pm}$ .

### Index způsobilosti $C_{pmk}$

Index způsobilosti  $C_{pmk}$  porovnává vzdálenost střední hodnoty sledovaného znaku jakosti k bližší toleranční mezi s polovinou variability znaku kolem cílové hodnoty.

$$C_{pmk} = \min \left\{ \frac{\mu - LSL}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \frac{USL - \mu}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right\}$$

V případě oboustranné tolerance, kdy se dají stanovit indexy  $C_p$  a  $C_{pm}$ , lze definiční vztah převést na tvar:

$$C_{pmk} = \frac{C_{pk} \cdot C_{pm}}{C_p}$$

Index způsobilosti procesu  $C_{pmk}$  je tedy v podstatě kombinací některých výše uvedených indexů. Využívá dobré vlastnosti indexu  $C_{pk}$ , zejména jeho schopnost ohodnotit, zda hodnoty sledovaného znaku jakosti skutečně leží uvnitř tolerance, které kombinuje s mírou dosažení stanovené cílové hodnoty.

Mezi hodnotami indexů způsobilosti  $C_{pmk}$  a  $C_{pk}$  platí nerovnost:

$$C_{pmk} \leq C_{pk}$$

Rovnosti příslušných indexů je dosaženo pouze v případě, kdy střední hodnota sledovaného znaku jakosti odpovídá cílové hodnotě.

Z uvedených vztahů rovněž vyplývá nerovnost:

$$C_{pmk} \leq C_{pm}$$

Rovnosti těchto indexů je dosaženo v případě, kdy střední hodnota sledovaného znaku leží ve středu tolerančního pole.

Z výše uvedených charakteristik jednotlivých indexů způsobilosti je patrné, že každý z indexů charakterizuje způsobilost procesu jiným způsobem. Pro komplexnější posouzení způsobilosti by měly být vždy uváděny vhodné kombinace indexů. Stanovené hodnoty indexů způsobilosti by rovněž měly být vždy doplněny grafickým zobrazením rozdělení sledovaného znaku jakosti (například pomocí histogramu) vůči tolerančním mezím.

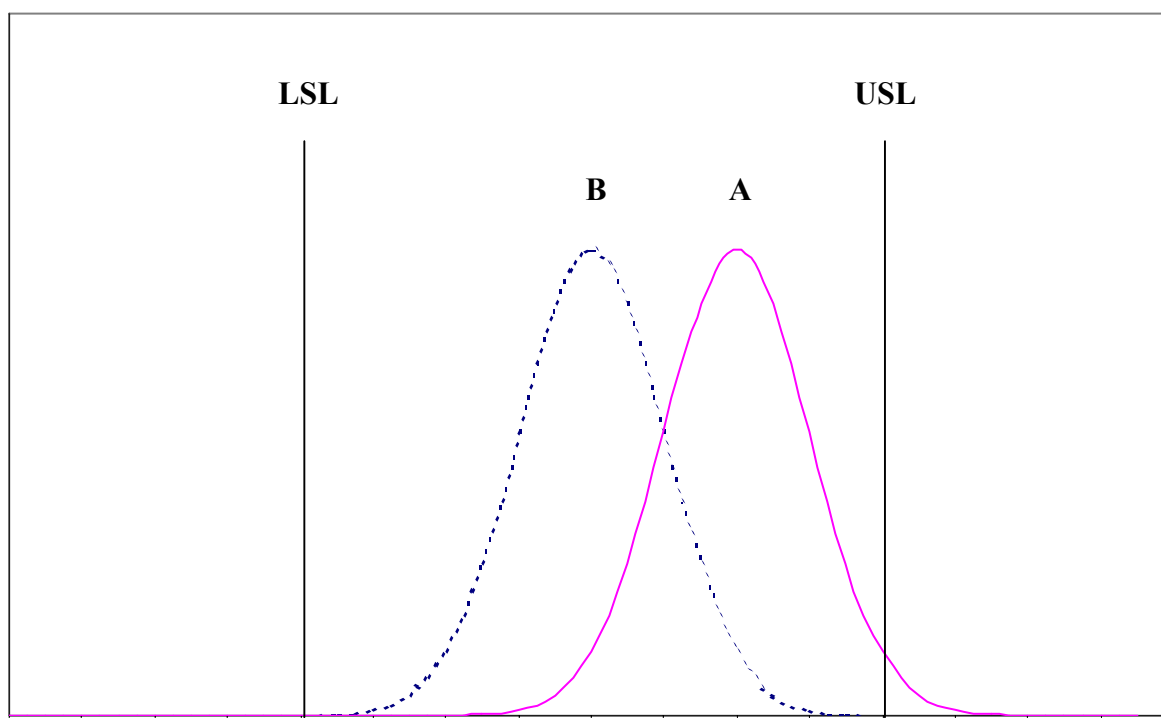
### **Požadavky na způsobilost procesu a možnosti jejího dosažení**

Požadavky na způsobilost procesu se většinou vztahují k hodnotě indexu způsobilosti  $C_{pk}$ , který charakterizuje reálnou způsobilost procesu udržovat sledovaný znak jakosti v předepsaných tolerančních mezích. Minimální hodnota indexu  $C_{pk}$ , při které je proces považován za způsobilý se s rozvojem technologií posouvá k vyšším hodnotám. V současné době se proces obvykle považuje za způsobilý v případě, když hodnota tohoto indexu způsobilosti dosahuje minimálně hodnoty 1,33 ( $C_{pk} \geq 1,33$ ). Tato hodnota představuje požadavek, aby dosahovaná střední hodnota sledovaného znaku jakosti ležela ve vzdálenosti nejméně  $4\sigma$  od tolerančních mezí.

V případě zjištění, že proces není způsobilý, je pro volbu vhodných opatření potřeba rozlišit případy, kdy nezpůsobilost je způsobena posunem hodnot vůči středu tolerančního pole. nebo vysokou variabilitou sledovaného znaku jakosti. Tyto situace lze identifikovat na základě porovnání hodnot indexu  $C_{pk}$  a  $C_p$ .

**a)  $C_{pk} < 1.33$ ;  $C_p \geq 1.33$**

V tomto případě se hodnoty sledovaného znaku mohou s dostatečnou rezervou vejít do tolerance, avšak tato možnost není využita (proces není vhodně seřízen). Pro zajištění způsobilosti procesu stačí proces správně seřídít vůči tolerančním mezím, nejlépe na střed tolerančního pole (pak hodnota  $C_{pk}$  dosáhne úrovně  $C_p$  a proces bude způsobilý). Danou situaci zobrazuje obr. 5.3.



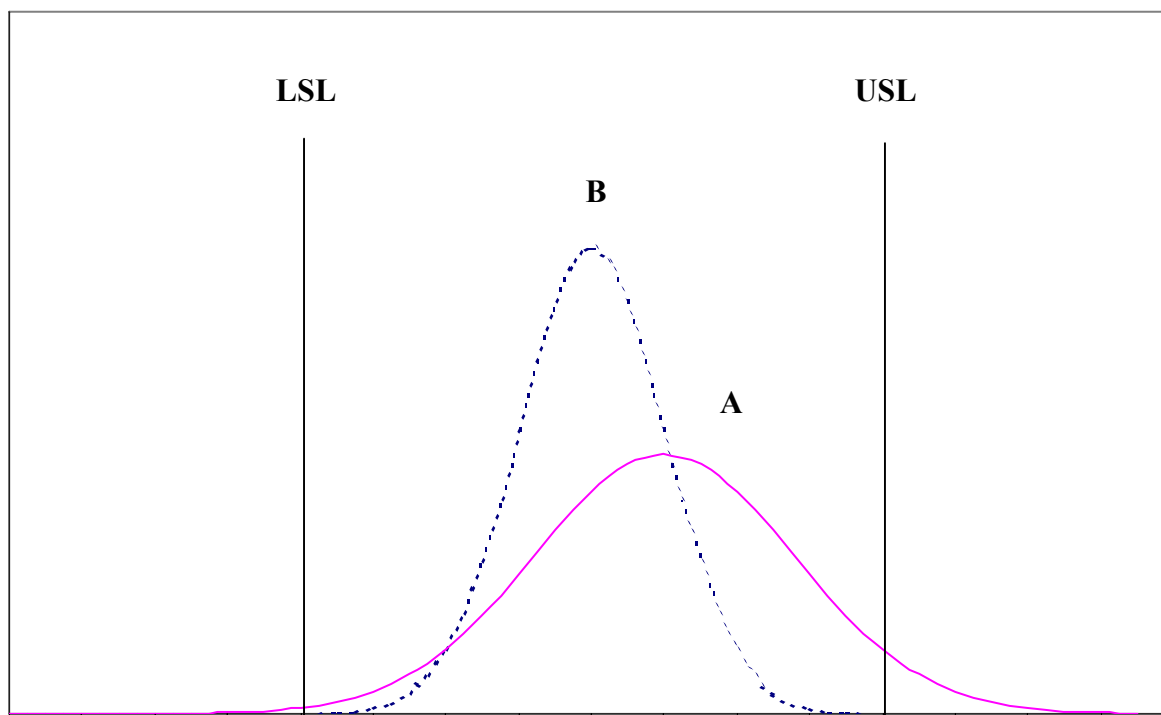
Obr. 5.3: Dosažení způsobilosti procesu seřizováním střední hodnoty (A - nezpůsobilý proces:  $C_{pk} = 0,67$ ;  $C_p = 1,33$ . B - způsobilý proces:  $C_{pk} = 1,33$ ;  $C_p = 1,33$ .)

**b)  $C_{pk} < 1.33$ ;  $C_p < 1.33$**

V tomto případě se hodnoty sledovaného znaku díky vysoké variabilitě procesu nemohou s dostatečnou rezervou vejít do tolerance. K dosažení způsobilosti je nutné snížit variabilitu sledovaného znaku, což obvykle vyžaduje buď radikální zásah do technologie nebo převod výroby na jiné výrobní zařízení.

Variabilitu procesu je potřeba snížit alespoň na takovou úroveň, aby hodnota indexu  $C_p$  byla alespoň 1,33 nebo vyšší. Pak už lze způsobilosti procesu dosáhnout seřízením střední hodnoty sledovaného znaku na střed tolerančního pole.

Danou situaci zobrazuje obr. 5.4.



Obr. 5.4: Dosažení způsobilosti procesu snižováním variability a seřizováním

A - nezpůsobilý proces:  $C_{pk} = 0,56$ ;  $C_p = 0,74$ .

B - způsobilý proces:  $C_{pk} = 1,33$ ;  $C_p = 1,33$ .)

### Faktory ovlivňující vypovídací schopnost indexů způsobilosti procesu

Vypovídací schopnost indexů způsobilosti je ovlivněna celou řadou faktorů. K těm nejdůležitějším lze přiřadit:

- ⇒ zvolený znak jakosti
- ⇒ druh použitých indexů způsobilosti
- ⇒ soulad kritérií jakosti s požadavky zákazníka
- ⇒ způsob shromáždění údajů
- ⇒ způsobilost použitého systému měření
- ⇒ počet hodnocených údajů
- ⇒ dodržení omezujících podmínek
- ⇒ způsob odhadu směrodatné odchylky

### Odhad pravděpodobnosti výskytu neshodných produktů

S pravděpodobností výskytu neshodných výrobků je nejvíce svázán index  $C_{pk}$ , resp. indexy  $C_{pL}$  a  $C_{pU}$ . Hodnoty indexů způsobilosti zohledňující i míru dosažení cílové hodnoty s pravděpodobností výskytu neshodných výrobků přímo nesouvisejí.

Pravděpodobnost výskytu neshodných výrobků lze v případě oboustranných tolerančních mezí (viz obr. 5.5) vyjádřit vztahem:

$$P = P(X < LSL) + P(X > USL)$$

Pro případ splnění normality sledovaného znaku jakosti lze pravděpodobnost výskytu neshodných výrobků odhadnout pomocí vztahu:

$$P = \Phi\left(\frac{LSL - \mu}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{\mu - USL}{\sigma}\right)$$

kde:

$\Phi$  – distribuční funkce normovaného normálního rozdělení

Úpravou výše uvedeného vztahu spojenou se zavedením hodnot indexů způsobilosti  $C_{pL}$  a  $C_{pU}$  lze pravděpodobnost výskytu neshodných výrobků vyjádřit ve tvaru:

$$P = \Phi(-3C_{pL}) + \Phi(-3C_{pU})$$

který lze dále upravit do podoby:

$$P = \Phi(-3C_{pk}) + \Phi(3C_{pk} - 6C_p)$$

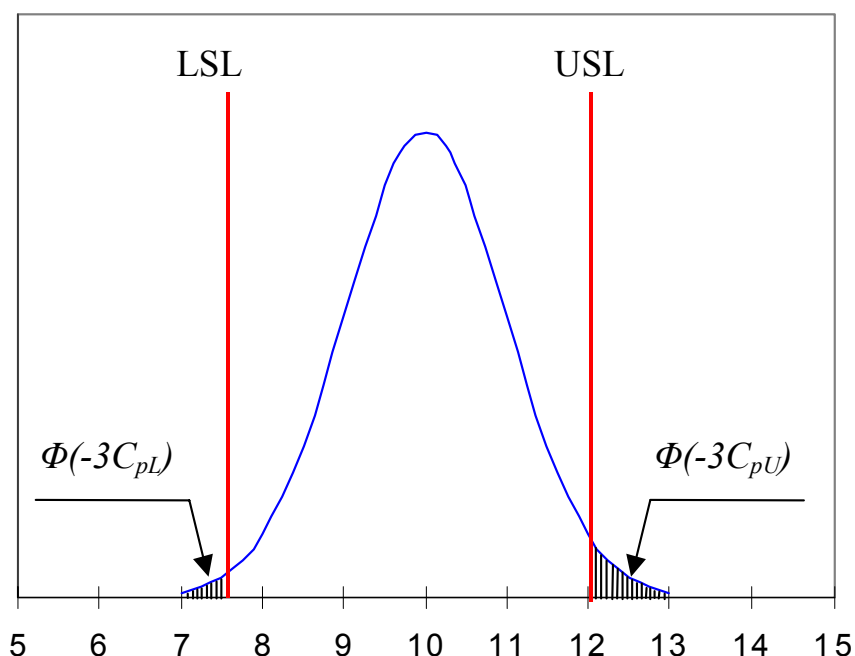
Ve specifickém případě, kdy střední hodnota sledovaného znaku jakosti leží právě ve středu tolerančního pole a hodnoty indexů  $C_p$  a  $C_{pk}$  se rovnají, lze pravděpodobnost výskytu neshodných výrobků stanovit pomocí vztahu:

$$P = 2 \cdot \Phi(-3C_{pk})$$

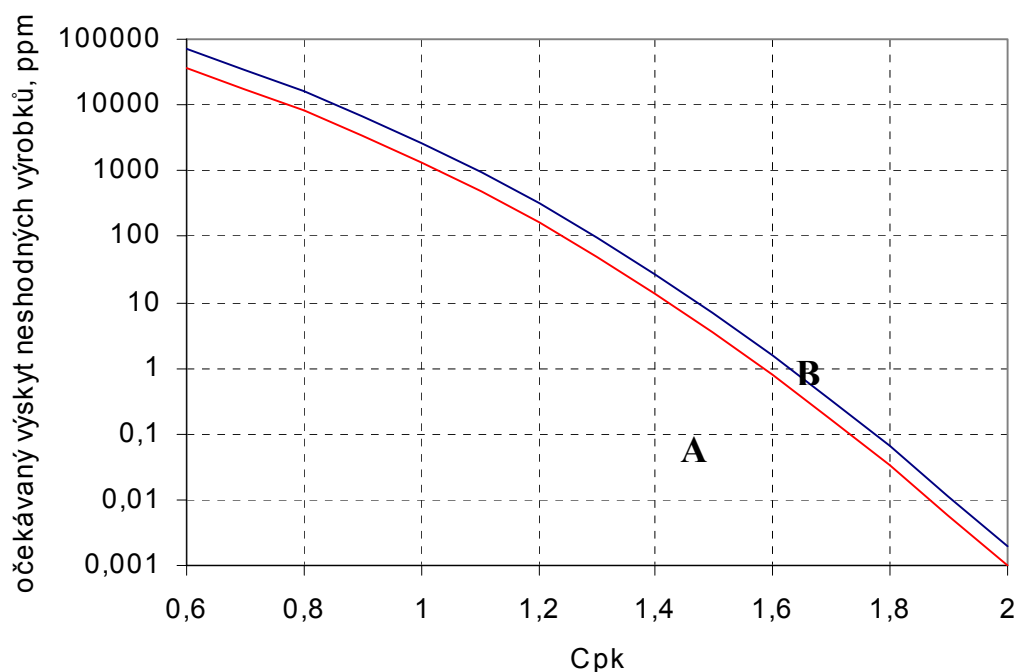
Pro případ jednostranné tolerance pak lze pravděpodobnost výskytu neshodných výrobků vyjádřit vztahem:

$$P = \Phi(-3C_{pk})$$

Závislosti očekávaného výskytu neshodných výrobků v ppm na hodnotě  $C_{pk}$  jsou zobrazeny na obr. 5.5.



Obr. 5.5: Stanovení pravděpodobnosti výskytu neshodných výrobků v případě oboustranné tolerance a normálního rozdělení sledovaného znaku.



Obr. 5.6: Závislost očekávaného výskytu neshodných výrobků na hodnotě  $C_{pk}$   
 ( A: jednostranná tolerance nebo  $C_{pk} \ll C_p$  ; B:  $C_{pk} = C_p$  )

### Analýza způsobilosti výrobního zařízení

Způsobilost výrobního zařízení lze charakterizovat jako schopnost výrobního zařízení poskytovat produkty splňující požadovaná kritéria jakosti.

Analýzy způsobilosti výrobního zařízení se obvykle provádějí v těchto situacích:

- u výrobce výrobního zařízení před dodáním zákazníkovi
- po instalaci výrobního zařízení u zákazníka
- po určité době provozování výrobního zařízení
- po opravách výrobního zařízení
- před zahájením výroby nového výrobku

Analýza způsobilosti výrobního zařízení by měla probíhat v těchto krocích:

1. *volba znaku jakosti produktu*
2. *analýza systému měření*
3. *shromáždění údajů (po stabilizaci všech vnějších faktorů ovlivňujících průběh procesu na výrobním zařízení) – 50 výrobků vyrobených za sebou*
4. *průzkumová analýza shromážděných údajů (histogram, krabicový graf, časová řada)*
5. *posouzení statistické zvládnutosti procesu na daném výrobním zařízení*
6. *ověření normality sledovaného znaku jakosti*
7. *výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání s požadovanými hodnotami*
8. *případný návrh a realizace opatření ke zlepšení způsobilosti výrobního zařízení*

Hlavní rozdíl u analýzy způsobilosti výrobního zařízení oproti analýze způsobilosti procesu spočívá ve způsobu shromáždění údajů (jsou potlačeny všechny další zdroje variability kromě vlivu výrobního zařízení). Indexy způsobilosti výrobního zařízení se počítají podle stejných vztahů jako indexy způsobilosti procesu, liší se však jejich označení ( $C_m$ ,  $C_{mk}$  atd.). Výrobní zařízení je považováno za způsobilé, jestliže platí  $C_{mk} \geq 1,67$ .



## Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- způsobilost procesu
- indexy způsobilosti procesu  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $C_{pm}$ ,  $C_{pm}^*$ ,  $C_{pmk}$
- způsobilost výrobního zařízení



## Otázky:

5. Na základě jakých údajů se vyhodnocuje způsobilost procesu?
6. Vysvětlete postup analýzy způsobilosti procesu.
7. Jak se při analýze způsobilosti procesu postupuje v případě statistické nezvládnutosti procesu nebo nesplnění normality sledovaného znaku?
8. Vysvětlete rozdíl mezi indexy způsobilosti  $C_p$  a  $C_{pk}$  a jejich vzájemný vztah.
9. Uveďte, způsob odhadu střední hodnoty a směrodatné odchylky při výpočtu indexů způsobilosti procesu.
10. Charakterizujte indexy způsobilosti procesu, jež zohledňují míru dosažení cílové hodnoty.
11. Jakými způsoby lze v různých situacích zajistit způsobilost procesu?
12. Vysvětlete, které faktory ovlivňují vypovídací schopnost indexů způsobilosti procesu.
13. Jakým způsobem lze na základě indexů způsobilosti odhadnout pravděpodobnost výskytu neshodných výrobků?
14. Čím se liší analýza způsobilosti výrobního zařízení od analýzy způsobilosti procesu?



## Úloha k řešení:

Zobrazte následující situace:

- a)  $C_p = 1$ ;  $C_{pk} = 1$
- b)  $C_p = 1$ ;  $C_{pk} = 0,67$
- c)  $C_p = 1$ ;  $C_{pk} = 0,33$
- d)  $C_p = 1$ ;  $C_{pk} = 0$
- e)  $C_p = 1$ ;  $C_{pk} = -0,33$
- f)  $C_p = 2$ ;  $C_{pk} = 1$



## Literatura k dalšímu studiu:

PLURA, J.: *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1

QS-9000: *Statistická regulace procesů (SPC)*. 2. vydání, Praha: Česká společnost pro jakost, 2006, 216 s

## 6. ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ

### Členění kapitoly:

- Statistické vlastnosti systémů měření
- Analýza systému měření pomocí indexů způsobilosti



**Čas potřebný ke studiu: 1 hodina**



### **Cíl: Po prostudování této kapitoly**

- budete umět definovat vybrané statistické vlastnosti systémů měření
- naučíte se postup analýzy systému měření pomocí indexů způsobilosti  $C_g$  a  $C_{gk}$



## Výklad

### Statistické vlastnosti systémů měření

Důležitou součástí plánování jakosti je analýza navrženého systému měření, který bude při realizaci produktu používán. Úkolem této analýzy je ověřit způsobilost daného systému měření k měření sledovaného znaku jakosti v daném výrobním nebo tolerančním rozpětí.

Analýze systému měření je potřeba věnovat náležitou pozornost, neboť naměřené údaje jsou základním podkladem pro rozhodování, například při kontrole jakosti produktu, regulaci procesu, hodnocení účinnosti nápravných opatření atd. O jakosti naměřených údajů rozhodují vlastnosti použitého systému měření.

Jakost systému měření se posuzuje na základě řady statistických vlastností. K těm nejdůležitějším se řadí strannost, shodnost, opakovatelnost, reprodukovatelnost, stabilita a linearita.

#### **Strannost**

Strannost měření je mírou jeho správnosti a vyjadřuje se jako rozdíl mezi aritmetickým průměrem výsledků opakovaného měření stejného znaku jakosti a přijatou referenční hodnotou (viz. obr. 6.1). Strannost měření tedy charakterizuje celkovou systematickou chybu měření.

#### **Shodnost**

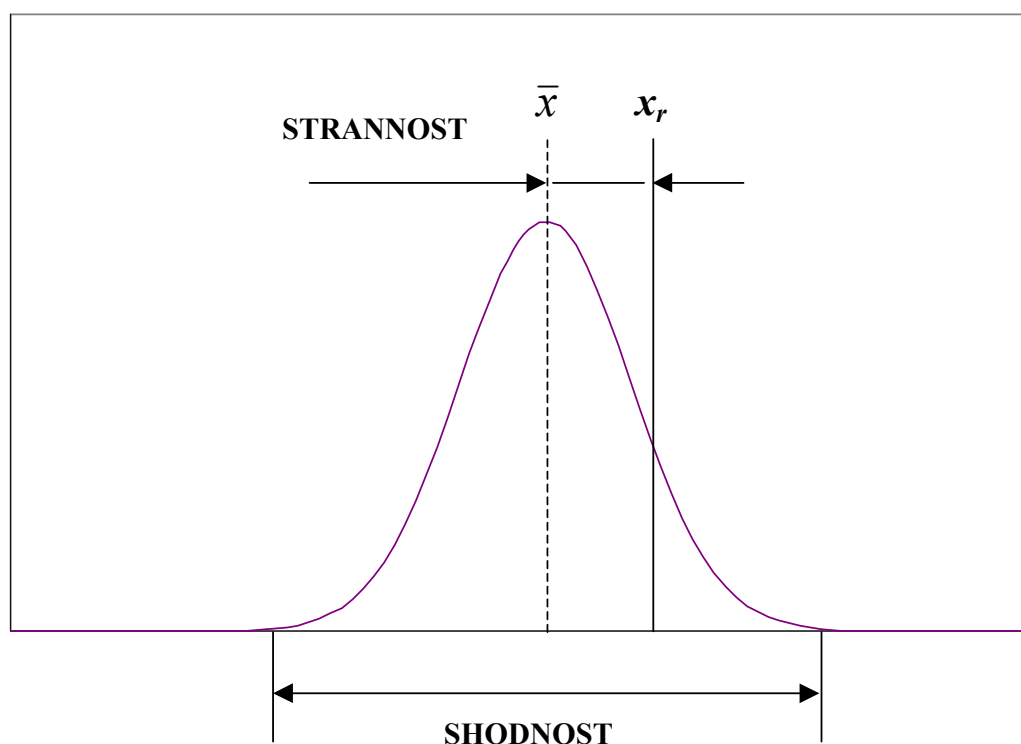
Shodnost měření vyjadřuje variabilitu výsledků opakovaného měření stejného znaku jakosti. Shodnost měření se vyjadřuje pomocí směrodatné odchylky výsledků měření a charakterizuje působení náhodných chyb měření (viz. obr. 6.1).

## Opakovatelnost

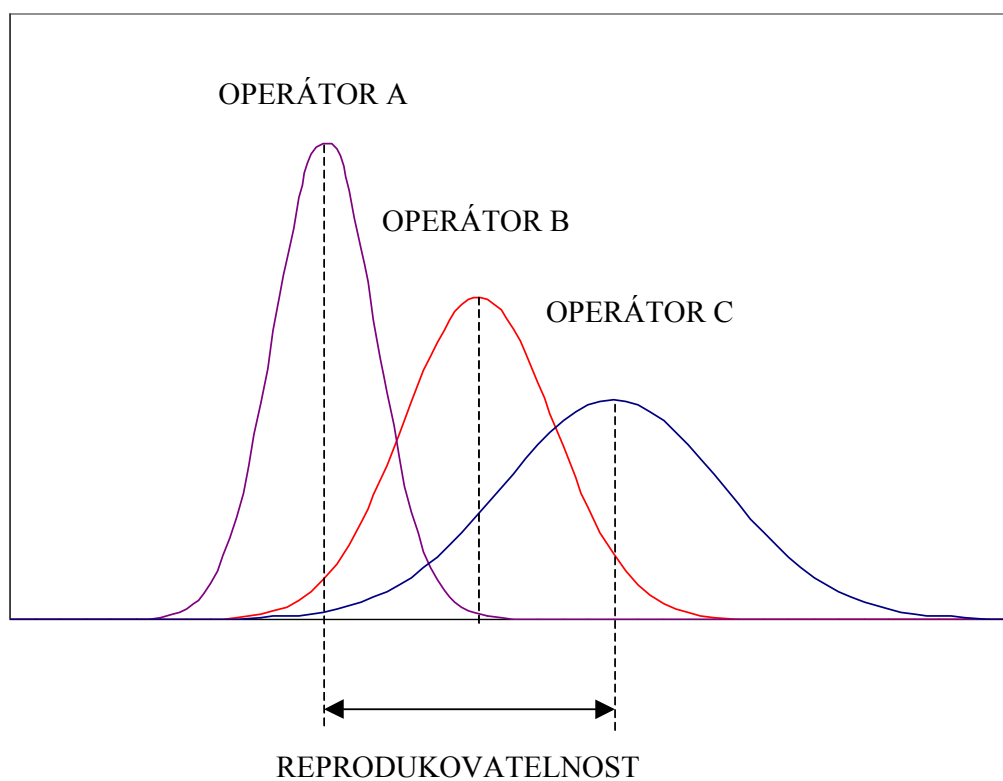
Opakovatelnost měření představuje shodnost měření v podmínkách opakovatelnosti. Podmínky opakovatelnosti jsou podmínky, kdy nezávislé výsledky měření získává stejný operátor, stejnou metodou, stejným měřicím prostředkem, ve stejném místě měření a v co nejkratším časovém rozmezí.

## Reprodukovatelnost

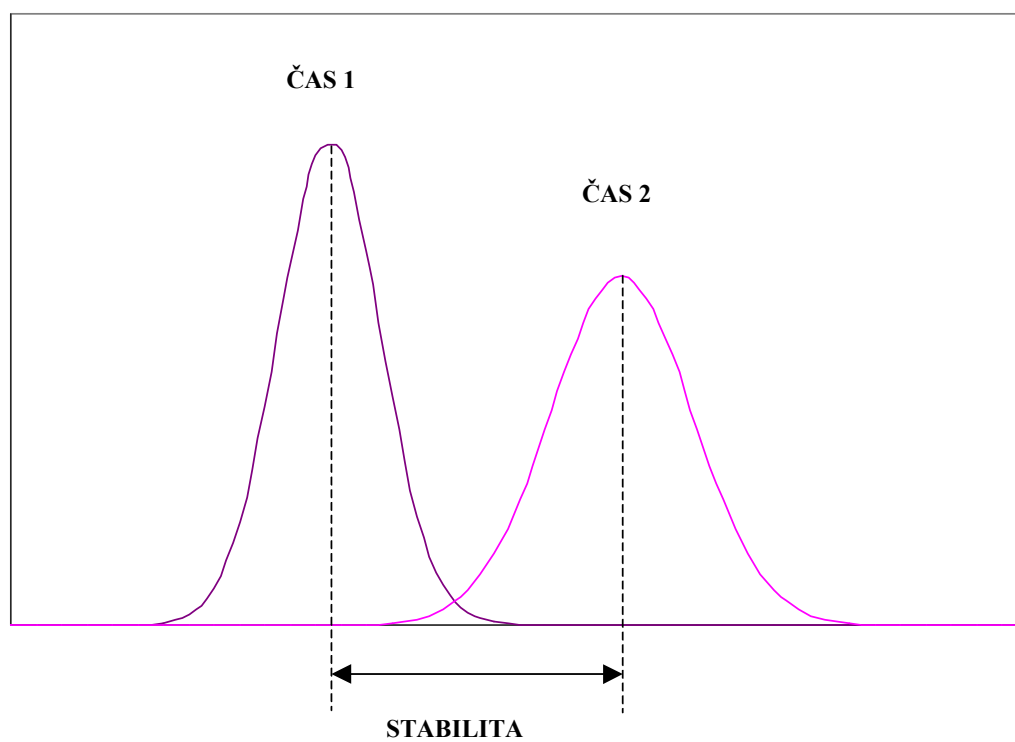
Reprodukovatelnost měření představuje variabilitu středních hodnot opakovaných měření stejného znaku jakosti provedených za různých podmínek. Nejčastěji se jedná o případ, kdy měření provádějí různí operátoři (viz obr. 8.2), může se však rovněž jednat o situaci, kdy jeden operátor měří různými měřidly, případně na různých měřicích stanovištích.



Obr. 6.1: Shodnost a strannost měření (  $\bar{x}$  – aritmetický průměr opakovaných měření,  $x_r$  – přijatá referenční hodnota).



Obr. 6.2: Reprodukovanost měření.



Obr. 6.3: Stabilita měření.

## Stabilita

Stabilita měření představuje celkovou variabilitu výsledků měření stejného znaku jakosti v delším časovém období. Je vyhodnocována na základě změny strannosti v závislosti na čase (viz obr. 6.3).

## Linearita

Linearita měření se vyjadřuje jako rozdíl mezi hodnotami strannosti v předpokládaném pracovním rozsahu měřidla.

K analýze systémů měření se používají různé postupy. Uvedme postup, který se zaměřuje na analýzu systému měření v podmínkách opakovatelnosti.

## Analýza systému měření pomocí indexů způsobilosti $C_g$ $C_{gk}$

Analýza systému měření pomocí indexů způsobilosti bývá rovněž označována jako hodnocení způsobilosti měřicího prostředku (měřidla). Umožňuje pomocí indexů způsobilosti posoudit strannost a shodnost měření v podmínkách opakovatelnosti, a tak posoudit vhodnost daného systému měření k měření sledovaného znaku jakosti v daném výrobním nebo tolerančním rozpětí. Toto hodnocení se obvykle provádí před použitím systému měření.

Analýza systému měření pomocí indexů způsobilosti  $C_g$   $C_{gk}$  by měla probíhat v následujících krocích:

1. Nastavení a adjustace systému měření
2. Provedení opakovaných měření etalonu odpovídajícího středu tolerance v podmínkách opakovatelnosti (minimálně 25 měření)
3. Zobrazení naměřených hodnot v průběhovém diagramu (závislost na pořadí) - analýza působení zvláštních příčin variability
4. Ověření normality naměřených hodnot
5. Výpočet indexů způsobilosti  $C_g$  a  $C_{gk}$  a jejich porovnání s požadovanými hodnotami

Zobrazení naměřených hodnot v průběhovém diagramu umožňuje posoudit, zda měření není ovlivněno nenáhodnými příčinami variability, tedy zda průběh naměřených údajů nevykazuje například trendy, periodicitu nebo jiná nenáhodná seskupení. V případě zjištění těchto signálů je potřeba příslušné příčiny identifikovat a trvale odstranit. Po jejich odstranění by mělo následovat opakování souboru měření.

Způsobilost systému měření (měřicího prostředku) se posuzuje pomocí indexů způsobilosti  $C_g$  a  $C_{gk}$ . Před vlastním výpočtem indexů způsobilosti je potřeba ověřit normalitu rozdělení naměřených hodnot.

Hodnoty indexů způsobilosti měřicích prostředků se například podle metodiky firmy Bosch počítají podle vztahů:

$$C_g = \frac{0,2 \cdot (USL - LSL)}{6\sigma_g}$$

$$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot (USL - LSL) - |x_r - \bar{x}|}{3\sigma_g}$$

kde:

USL – horní toleranční mez

LSL – dolní toleranční mez

$\sigma_g$  - směrodatná odchylka naměřených hodnot

$x_r$  - přijatá referenční hodnota etalonu

$\bar{x}$  - aritmetický průměr naměřených hodnot

Z uvedených vztahů je patrné, že hodnoty těchto indexů způsobilosti porovnávají určitý podíl šířky tolerančního pole s šířkou pásma variability naměřených hodnot. Hodnota indexu  $C_g$  zohledňuje pouze shodnost měření, hodnota  $C_{gk}$  pak jak shodnost, tak strannost měření. Mezi oběma indexy způsobilosti platí nerovnost:

$$C_{gk} \leq C_g$$

Systém měření (měřicí prostředek) se považuje za způsobilý v případě, že hodnota indexu  $C_{gk}$  je vyšší než 1,33.

Pokud je známa směrodatná odchylka procesu a variabilita sledovaného znaku je menší než šířka tolerančního pole ( $C_p \geq 1$ ), nahrazuje se toleranční rozpětí ve vztazích pro výpočet indexů způsobilosti hodnotou  $6\sigma$ , tedy skutečnou variabilitou sledovaného znaku.



## Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- analýza systému měření
- strannost
- shodnost
- opakovatelnost
- reprodukovatelnost
- stabilita
- linearita
- indexy způsobilosti systému měření  $C_g$  a  $C_{gk}$



## Otázky:

1. Jaký význam mají analýzy systémů měření?
2. Definujte základní statistické vlastnosti systémů měření (strannost, shodnost, opakovatelnost, reprodukovatelnost, stabilita, linearita)
3. Vysvětlete postup analýzy systému měření pomocí indexů způsobilosti  $C_g$  a  $C_{gk}$ .
4. Co znamenají podmínky opakovatelnosti?
5. Které vlastnosti systému měření charakterizují indexy  $C_g$  a  $C_{gk}$ ?



## Úloha k řešení:



## Literatura k dalšímu studiu:

PLURA, J.: *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1

Analýza systému měření. QS 9000: MSA. 3. vyd., Praha: Česká společnost pro jakost, 2003

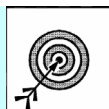
## 7. SEDM NOVÝCH NÁSTROJŮ MANAGEMENTU JAKOSTI

### Členění kapitoly:

- Afinitní diagram
- Diagram vzájemných vztahů
- Systematický diagram
- Maticový diagram
- Analýza údajů v matici
- Diagram PDPC
- Síťový graf



**Čas potřebný ke studiu: 6 hodin**



### Cíl: Po prostudování této kapitoly

- budete umět vysvětlit principy sedmi nových nástrojů managementu jakosti a účel jejich použití
- naučíte se postup aplikace sedmi nových nástrojů managementu jakosti



### Výklad

Při aktivitách plánování jakosti nacházejí významné uplatnění nástroje ze skupiny sedmi "nových" nástrojů managementu jakosti. Označení sedm "nových"

nástrojů se používá proto, aby se tato skupina nástrojů odlišila od sedmi základních nástrojů managementu jakosti.

Seskupování nástrojů do skupin po sedmi má svůj původ v Japonsku, kde sedmička je šťastným číslem. Stejně jako samuraj má mít sebou sedm součástí výzbroje, aby si poradil v každé situaci, tak i každý, kdo se zabývá řízením jakosti má být vybaven znalostmi těchto sedmi základních a sedmi „nových“ nástrojů. Skupina sedmi „nových“ nástrojů managementu jakosti byla v Japonsku rozpracována v průběhu sedmdesátých let minulého století. Tyto nástroje měly pomoci v nové éře komplexního řízení jakosti.

Zatímco sedm základních nástrojů se používá zejména pro řešení problémů operativního řízení jakosti, sedm „nových“ nástrojů nachází své uplatnění zejména při plánování jakosti, v rámci něhož je potřeba zpracovávat různorodé informace, definovat cíle jakosti a navrhnout vhodné postupy a metody k jejich dosažení.

Mezi sedm „nových“ nástrojů managementu jakosti se řadí:

1. Afinitní diagram
2. Diagram vzájemných vztahů
3. Systematický (stromový) diagram
4. Maticový diagram
5. Analýza údajů v matici
6. Diagram PDPC
7. Síťový graf

Uvedené nástroje mají některé společné rysy: využívají týmovou práci, jejich výsledkem je názorný grafický výstup a některé z nich jsou poměrně jednoduché. Maximálního efektu při aplikaci těchto nástrojů lze dosáhnout v případě, že nebudou používány izolovaně, ale jako organicky integrovaný soubor metod.

## **Afinitní diagram (diagram affinity)**

Afinitní diagram je vhodným nástrojem pro vytvoření a uspořádání různorodých námětů, týkajících se určitého problému. Pomocí afinitního diagramu se tyto náměty rozdělují do přirozených skupin, které objasňují strukturu řešených problémů. Zpracování afinitního diagramu umožňuje v relativně velice krátkém čase získat a uspořádat spoustu cenných námětů.

Tvorba afinitního diagramu probíhá v týmu a při jeho zpracování se uplatňuje zejména intuitivní myšlení. Složení týmu by mělo přibližně korespondovat s řešenou problematikou, je však vhodné tým doplnit i o „neodborníky“.

Zpracování afinitního diagramu by mělo probíhat v těchto krocích:

### **1. Vymezení problému.**

Prvním krokem týmu by mělo být upřesnění a jednoznačné vymezení problému. Pro udržení pozornosti týmu se doporučuje zapsat řešený problém na viditelné místo.

### **2. Tvorba námětů a jejich zaznamenání**

Úkolem týmu je pomocí brainstormingu shromáždit co nejvíce námětů, které by mohly přispět k vyřešení problému. Je snahou získat co nejvíce námětů, neboť se předpokládá, že čím jich bude více, tím je pravděpodobnější, že se mezi nimi vyskytnou takové, které mohou zásadně přispět k vyřešení problému. Všechny získané náměty se průběžně zapisují na kartičky.

### **3. Uspořádání námětů do přirozených skupin**

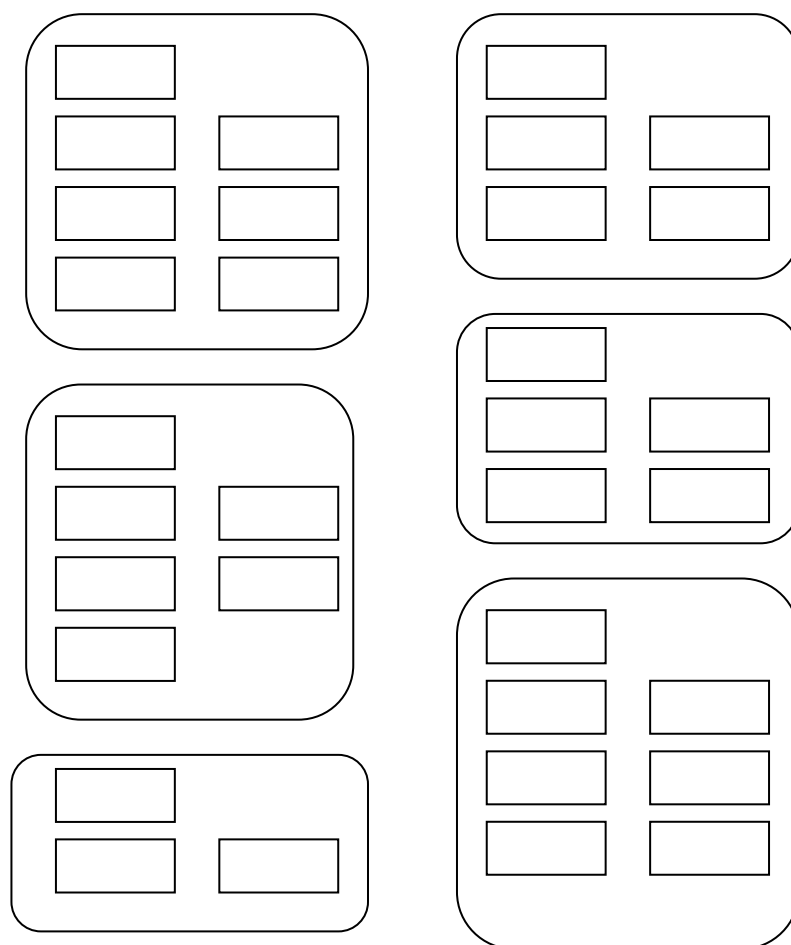
Po ukončení diskuze se kartičky se získanými náměty rozmístí na dostatečně velkou plochu a následuje jejich seskupování podle příbuznosti do přirozených skupin.

#### 4. *Pojmenování skupin námětů*

Důležitým krokem následujícím po vytvoření skupin příbuzných námětů je jejich pojmenování, které by mělo jednotlivé skupiny výstižně charakterizovat.

#### 5. *Zobrazení afinitního diagramu*

Na základě dosažených výsledků se pak sestrojí afinitní diagram, který názorně zobrazuje všechny náměty uspořádané do skupin (viz obrázek 7.1).



Obr. 7.1: Struktura afinitního diagramu.

Afinitní diagram je vzhledem k množství zpracovaných námětů metodou vysoce efektivní. Na rozdíl od různých diskuzí na běžných poradách, kdy řada námětů zůstane nevyslovena a mnohé z vyslovených nejsou nikdy uvažovány, se při zpracování afinitního diagramu využijí všechny náměty. Zpracování afinitního

diagramu vede k hlubšímu pochopení řešeného problému a je velmi dobrým východiskem pro jeho řešení.

Použití afinitního diagramu je vhodné zejména v těch případech, kdy řešený problém je složitý a obtížně zpracovatelný, vyžaduje zapojení skupiny řešitelů a je potřeba řešení, které neodpovídá tradičnímu přístupu. Afinitní diagram lze doporučit v řadě situací při odhalování podstaty problémů či hledání způsobů jejich řešení. Lze ho velmi dobře využít při hledání odpovědí na otázky typu: „Co všechno lze udělat pro zvýšení spokojenosti zákazníků?“, „Jak zlepšit jakost produktů?“, „Jaké vlastnosti by měl mít náš nový produkt?“, apod..

## **Diagram vzájemných vztahů**

Diagram vzájemných vztahů umožňuje na základě analýzy logických nebo příčinných souvislosti mezi jednotlivými náměty určit časové priority realizace jednotlivých aktivit nebo stanovit klíčové příčiny řešeného problému.

Výchozími údaji pro sestavení diagramu vzájemných vztahů mohou být náměty vytvořené při sestavování afinitního diagramu. Obvykle se však nepracuje se všemi vytvořenými náměty, protože zobrazení vzájemných vztahů by mohlo být značně nepřehledné, ale jen s jednotlivými skupinami námětů nebo s náměty v jedné vybrané skupině.

Zpracování diagramu vzájemných vztahů probíhá opět v týmu a mělo by se realizovat v těchto krocích:

### **1. Zobrazení problému a námětů**

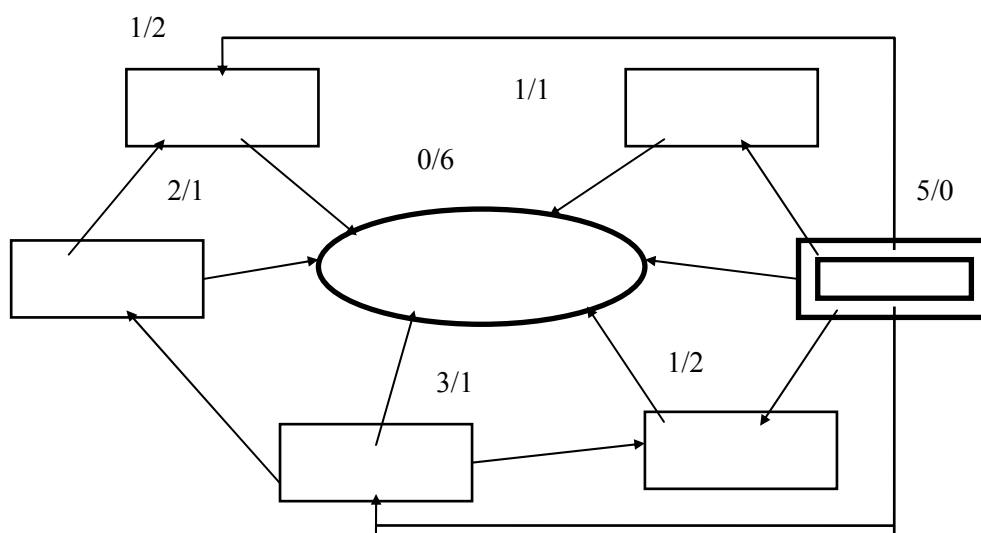
Řešený problém se zaznamená doprostřed vhodné pracovní plochy a kolem něj se rozmístí náměty, které se k němu vztahují.

## 2. Identifikace a zakreslení vztahů mezi náměty

Úkolem týmu je analyzovat logické nebo příčinné souvislosti mezi jednotlivými náměty. Zjištěné vztahy se zobrazují šipkami, jež v případě logických vztahů směřují od východiska k následku, v případě příčinných vztahů od příčiny k následku. Pomocí šipek se rovněž zobrazuje vztah k řešenému problému.

## 3. Vyhodnocení vztahů

Po identifikaci a zakreslení vztahů se pro každý námět vyhodnotí počet vystupujících a vstupujících šipek a zjištěné hodnoty se zaznamenají do diagramu (viz obr. 7.2). Jedná se v podstatě o vyhodnocení, kolikrát byl posuzovaný námět ve vztahu k ostatním východiskem (nebo příčinou), a kolikrát následkem.



Obr. 7.2: Struktura diagramu vzájemných vztahů.

## 4. Určení klíčového východiska či příčiny

Námět, z něhož vychází nejvíce šipek představuje, v závislosti na tom, zda se jedná o logické nebo příčinné vztahy, klíčové východisko nebo klíčovou příčinu problému. Obdobně námět, k němuž směřuje nejvíce šipek představuje klíčový

následek. Současně se stanoví pořadí ostatních námětů od klíčového východiska či příčiny ke klíčovému následku.

Zpracování diagramu vzájemných vztahů často vyžaduje několik schůzek týmu, neboť k objasnění některých vzájemných vztahů je potřeba provádět samostatná šetření. Zpracovaný diagram umožňuje lépe porozumět struktuře a vzájemným souvislostem mezi dílčími součástmi studovaného problému a stanovit priority při jeho řešení.

Diagram vzájemných vztahů je vhodnou metodou při hledání odpovědí na otázky typu: „Kde začít a jak postupovat při aktivitách směřujících ke zvýšení spokojenosti zákazníků?“, „Jak spolu souvisejí příčiny nízké jakosti našich produktů a která příčina je klíčová?“ apod.

### **Systematický (stromový) diagram**

Systematický diagram je názorným zobrazením systematické dekompozice určitého celku na jednotlivé dílčí části. Je vhodným nástrojem například pro rozložení problému na dílčí problémy, zobrazení struktury příčin problému, vytvoření plánu řešení problému nebo dekompozici hlavních požadavků zákazníků na konkrétnější požadavky. Například při zpracování plánu řešení problému se pomocí systematického diagramu jednotlivé procesy logicky dekomponují na dílčí procesy a ty pak až na jednotlivé činnosti.

Systematický diagram by měl být vytvářen opět v týmu a jeho zpracování by v případě zpracování plánu řešení problému mělo probíhat v těchto krocích:

#### **1. Definování cíle**

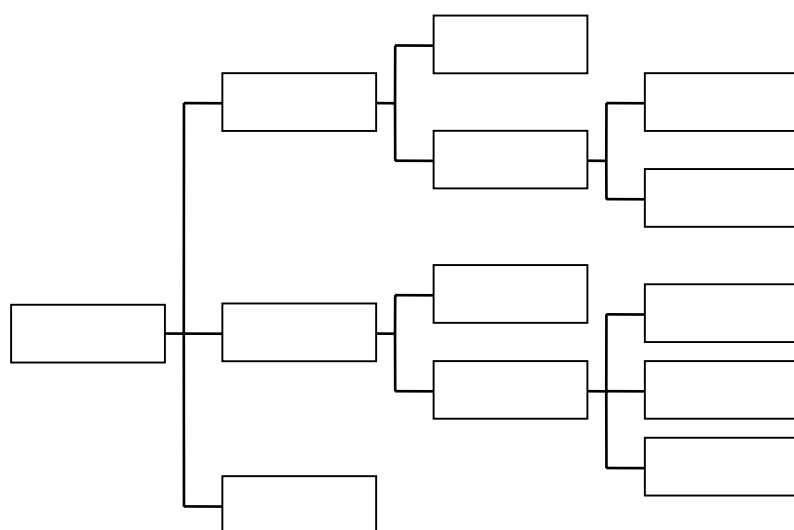
Prvním krokem práce týmu je definování cíle, který by měl být dosažen a jeho zapsání na levý okraj pracovní plochy.

## 2. Shromáždění námětů (činností) pro řešení problému

V případech, kdy zpracování systematického diagramu navazuje na tvorbu afinitního diagramu nebo diagramu vzájemných vztahů, lze vyjít z již vytvořených námětů. Pokud se přímo zpracovává systematický diagram, je náměty k řešenému problému potřeba vytvořit pomocí brainstormingu. Jednotlivé náměty by měly být zaznamenány na kartičkách.

## 3. Postupná dekompozice námětů na konkrétnější činnosti a doplňování logických mezer

Zpracování systematického diagramu se provádí postupným přiřazováním kartiček s náměty, jež vždy rozvíjejí předcházející úroveň až do dosažení dostatečné úrovně podrobnosti (viz obr. 7.3). Tuto postupnou dekompozici lze usnadnit vhodně volenými otázkami. V případě zjištění logických mezer tým operativně pomocí brainstormingu doplňuje další rozvíjející náměty.



Obr.7.3: Struktura systematického diagramu.

#### **4. Sestrojení systematického diagramu**

Po dosažení dostatečné úrovně podrobnosti a doplnění případných logických mezer by systematický diagram měl být překreslen do přehledné grafické podoby. Sestavený systematický diagram představuje názorné logické uspořádání všech dílčích kroků, jejichž provedení by mělo zajistit dosažení plánovaného cíle. Postupná dekompozice složitějších činností by měla být provedena do té míry, aby byly získány konkrétní dílčí úkoly, ke kterým lze přiřadit odpovědnost jednotlivých pracovníků.

#### **Maticový diagram**

Maticový diagram se používá k posouzení vzájemných souvislostí mezi prvky dvou nebo více oblastí problému. Jeho použití pomáhá doplnit chybějící prvky analyzovaných oblastí, identifikovat a odstranit „bílá místa“ v informační bázi vztahující se k problému, vymežit nejdůležitější prvky jednotlivých oblastí a optimalizovat jejich hodnoty.

Nejčastěji se využívají maticové diagramy tvaru "L", které analyzují souvislosti mezi prvky dvou oblastí. Jednotlivé oblasti (vícerozměrné proměnné) v maticovém diagramu mohou mít různou podobu, mohou to být požadavky, činnosti, vlastnosti produktu, parametry procesu apod.. Příkladem maticových diagramů tvaru „L“ jsou diagramy využívané při metodě QFD, například maticový diagram analyzující vzájemné vztahy mezi požadavky zákazníka a znaky jakosti výrobku, který je základem „Domu jakosti“ (viz obr. 7.4).

Práce týmu zpracovávajícího maticový diagram by měla probíhat v následujících krocích:

### **1. *Určení jednotlivých oblastí problému***

V základní aplikaci se jedná většinou o dvě vybrané oblasti, mezi jejichž prvky jsou analyzovány vzájemné vztahy.

### **2. *Určení prvků jednotlivých oblastí problému***

K určení dostatečně konkrétních prvků jednotlivých oblastí je vhodné využít afinitní diagram a systematický diagram.

### **3. *Analýza vzájemných vztahů mezi prvky oblastí***

Na pracovní ploše se sestrojí maticový diagram, v němž se stanovené prvky zaznamenají do záhlaví jednotlivých sloupců a řádků. Poté tým analyzuje a kvalitativně hodnotí sílu vztahů mezi prvky jednotlivých oblastí. Obvykle se rozlišují čtyři úrovně vztahů: silná závislost, průměrná závislost, slabá závislost a nezávislost. Míra závislosti mezi jednotlivými prvky se v buňkách maticového diagramu vyjadřuje vhodně zvolenými grafickými symboly.

### **4. *Analýza maticového diagramu***

Zpracovaný maticový diagram poskytuje celou řadu cenných informací. Je vhodným podkladem týmu pro posouzení úplnosti analyzovaných prvků, komplexní analýzu vztahů mezi prvky obou proměnných a pro vyhodnocení důležitosti jednotlivých prvků. Analýzu lze provádět na základě vizuálního posouzení rozmístění jednotlivých symbolů a míry jejich výskytu v jednotlivých řádcích a sloupcích. Tak například z příkladu uvedeného na obr. 7.4 je patrné, že při plánování jakosti produktu bude potřeba výraznou pozornost věnovat zejména znaku 2, neboť jeho hodnota ovlivňuje splnění většiny požadavků na produkt.

|                         |             | ZNAKY JAKOSTI<br>PRODUKTU |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------|-------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                         |             | Znak 1                    | Znak 2 | Znak 3 | Znak 4 | Znak 5 | Znak 6 | Znak 7 |
| POŽADAVKY<br>NA PRODUKT | Požadavek A | ⊙                         | △      |        |        | △      |        |        |
|                         | Požadavek B |                           | ⊙      |        |        |        | ○      |        |
|                         | Požadavek C |                           | ○      |        | ⊙      |        |        | ⊙      |
|                         | Požadavek D |                           | ⊙      |        |        |        |        | ○      |
|                         | Požadavek E | △                         |        | ○      | △      |        | ⊙      |        |
|                         | Požadavek F |                           | ⊙      |        |        | ○      |        |        |

⊙ - silný vztah  
○ - průměrný vztah  
△ - slabý vztah

Obr. 7.4: Příklad maticového diagramu tvaru „L“, analyzujícího vztahy mezi požadavky zákazníka a znaky jakosti produktu.

## Analýza údajů v matici

Analýza údajů v matici se zaměřuje zejména na porovnávání různých variant charakterizovaných řadou kritérií a výběr nejlepší varianty. Příslušnými variantami mohou být jednotlivé produkty, jednotlivé návrhy, jednotliví dodavatelé apod. Pomocí grafických či numerických metod analýzy údajů v matici lze například vyhodnotit nejvhodnější koncepci navrhovaného produktu, procesu či systému, provést výběr nejvhodnějšího dodavatele či vybrat nejvhodnější nápravné či preventivní opatření.

Obecný postup analýzy údajů v matici by měl probíhat v následujících krocích:

### **1. Definování cíle**

### **2. Volba kritérií (prvků), na jejichž základě bude vybírána nejvhodnější varianta (proměnná)**

Zvolená kritéria (prvky) mají odpovídat cíli úlohy, být měřitelná nebo alespoň hodnotitelná, charakterizovat rozhodující vlastnosti variant a být nezávislá.

### **3. Vymezení posuzovaných variant**

Pravděpodobnost, že se vybraná varianta nejvíce přiblíží optimu, lze výrazně zvýšit dostatečným počtem posuzovaných variant. Zařazení jednotlivých variant do souboru posuzovaných variant lze přitom podmínit splněním definovaných podmínek.

### **4. Shromáždění údajů o konkrétních hodnotách kritérií jednotlivých posuzovaných variant**

V tomto kroku by měly být shromážděny údaje o všech zvolených kritériích posuzovaných variant. K získání údajů by měly být použity srovnatelné postupy.

### **5. Definování optimální varianty**

Důležitým krokem analýzy údajů v matici je vymezení optimální varianty na základě definování optimálních hodnot posuzovaných kritérií.

### **6. Výběr vhodné metody analýzy údajů v matici**

Jak již bylo uvedeno k analýze údajů v matici lze využít jak numerické tak grafické metody. Vhodné je vždy uplatnit některou z grafických metod.

## 7. Vyhodnocení nejvhodnější varianty

Za nejvhodnější variantu je považována varianta, která se hodnotami kritérií nejvíce blíží optimální variantě.

Výchozí údaje pro analýzu údajů v matici budou mít obecně podobu uvedenou v tabulce 7.1.

Tab. 7.1: Tabulka hodnot pro analýzu údajů v matici

| VARIANTA<br>(PROMĚNNÁ)<br>(i) | KRITÉRIUM (PRVEK) (j) |          |          |          |     |          |
|-------------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|-----|----------|
|                               | 1                     | 2        | 3        | 4        | ... | n        |
| 1                             | $x_{11}$              | $x_{12}$ | $x_{13}$ | $x_{14}$ |     | $x_{1n}$ |
| 2                             | $x_{21}$              | $x_{22}$ | $x_{23}$ | $x_{24}$ |     | $x_{2n}$ |
| 3                             | $x_{31}$              | $x_{32}$ | $x_{33}$ | $x_{34}$ |     | $x_{3n}$ |
| ...                           |                       |          |          |          |     |          |
| m                             | $x_{m1}$              | $x_{m2}$ | $x_{m3}$ | $x_{m4}$ |     | $x_{mn}$ |

Pro analýzu údajů v matici se využívají například tyto metody:

- a) analýza hlavních komponent.
- b) stanovení "vzdáleností" mezi vícerozměrnými proměnnými
- c) mapa
- d) plošný diagram

### a) Analýza hlavních komponent

Analýza hlavních komponent patří mezi vícerozměrné statistické metody používané k redukci počtu prvků vícerozměrných proměnných. Při její aplikaci se na

základě analýzy vzájemných korelací mezi původními prvky konstruují nové "umělé" prvky, z nichž se pak vybírají ty, které postihují podstatnou část celkového rozptylu původních prvků (tzv. hlavní komponenty). Podaří-li se podstatnou část celkové variability původních proměnných vysvětlit pomocí několika hlavních komponent, je výběr nejvhodnější varianty mnohem jednodušší.

### **b) Stanovení vzdáleností mezi vícerozměrnými proměnnými**

Při tomto způsobu analýzy údajů v matici se pomocí vhodně zvolené metriky vyhodnocují vzdálenosti mezi jednotlivými variantami (vícerozměrnými proměnnými) a optimální proměnnou.

Velice důležitým krokem stanovení vzdáleností je zajištění číselné souměřitelnosti hodnot jednotlivých kritérií. To lze dosáhnout například jejich přepočtem na bodové hodnocení nebo zavedením normovaných veličin.

Přepočet číselně nesouměřitelných kritérií na bodové hodnocení lze provést například pomocí vztahu:

$$x_{ij,body} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \cdot 10$$

kde:

$\min_i x_{ij}$  - minimální hodnota j-tého prvku všech proměnných

$\max_i x_{ij}$  - maximální hodnota j-tého prvku všech proměnných

Standardizace číselně nesouměřitelných kritérií na normované veličiny se provádí pomocí vztahu:

$$u_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}$$

kde:

- $u_{ij}$  -normovaná hodnota  $j$ -tého prvku proměnné  $i$
- $\bar{x}_j$  -aritmetický průměr hodnot  $j$ -tého prvku všech proměnných
- $s_j$  -výběrová směrodatná odchylka hodnot  $j$ -tého prvku všech proměnných

K vyjádření vzdáleností mezi jednotlivými proměnnými lze použít například Minkowského metriku vzdálenosti, u níž se sčítají absolutní hodnoty rozdílů mezi hodnotami jednotlivých prvků posuzovaných proměnných:

$$D_{ik} = \sum_{j=1}^n |x_{ij} - x_{kj}|$$

kde:

- $D_{ik}$  -vzdálenost mezi proměnnými  $i$  a  $k$  vyjádřená pomocí Minkowského metriky
- $x_{ij}$  - hodnota  $j$ -tého prvku proměnné  $i$
- $x_{kj}$  - hodnota  $j$ -tého prvku proměnné  $k$
- $n$  - počet sledovaných prvků

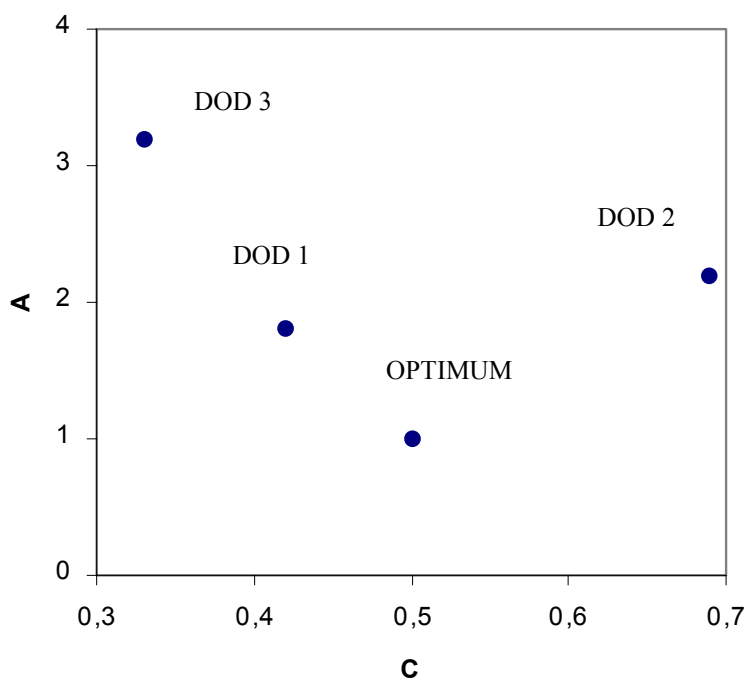
Analýza vypočtených vzdáleností se zaměřuje zejména na porovnání vzdáleností jednotlivých proměnných od optimální proměnné. Ty proměnné, které jsou od optimální proměnné vzdáleny méně, lze považovat za vhodnější než proměnné, jejichž vzdálenost je vyšší.

### c) Mapa

Mapa je názorným grafickým zobrazením polohy posuzovaných variant (vícerozměrných proměnných) v rovině na základě hodnot dvou kritérií (prvků). Zobrazení položek v mapě umožňuje jejich kategorizaci z hlediska dvou posuzovaných prvků a posouzení jejich blízkosti k optimu. Tato jednoduchá grafická

metoda je široce využitelná pro porovnávání produktů, surovin, výrobních linek, dodavatelů, pracovníků apod..

Na obrázku 7.5 je uveden příklad mapy porovnávající jednotlivé dodavatele s ohledem na hodnoty kritérií A a C. Pozice dodavatelů vůči optimu ukazuje, že z hlediska daných dvou kritérií se optimu nejvíce blíží Dodavatel 1.



Obr. 7.5: Mapa porovnávající jednotlivé dodavatele z hlediska kritérií A a C.

#### d) Plošné diagramy

Plošné diagramy umožňují grafické porovnání vícerozměrných proměnných obsahujících tři a více prvků. Hodnoty prvků (kritérií) se vynášejí na paprskovitě umístěné osy (pod úhlem  $360/n$ ) a jejich spojením vzniká ohraničená plocha, která charakterizuje vlastnosti dané proměnné z hlediska všech sledovaných prvků.

K tomu, aby plošné diagramy měly dostatečnou vypovídací schopnost, je potřeba dodržet některé obecné zásady pro jejich zpracování. Zejména by na všech osách měl být zajištěn stejný směr k lepším hodnotám prvků (do středu nebo od středu os), jinak řečeno, optimální varianta by měla být charakterizována buď nejmenší nebo největší plochou.

Velice důležitým aspektem zpracování plošných diagramů je volba stupnic na jednotlivých osách, která by v případě různorodých kritérií zajistila jejich srovnatelný vliv na velikost a tvar zobrazované plochy. Jedním z jednodušších přístupů je vytvoření stupnic, které, při stejně dlouhých osách, odpovídají variačnímu rozpětí hodnot daného prvku v posuzovaném souboru variant (tzv. obecný plošný diagram).

Některé propracovanější modifikace plošných diagramů mají přesně vymezený způsob vynášení hodnot na paprskovitě umístěné osy. Jako příklad lze uvést diagram slunečních paprsků (Sun Ray Plot) a hvězdicový diagram neboli polygon (Star Symbol Plot).

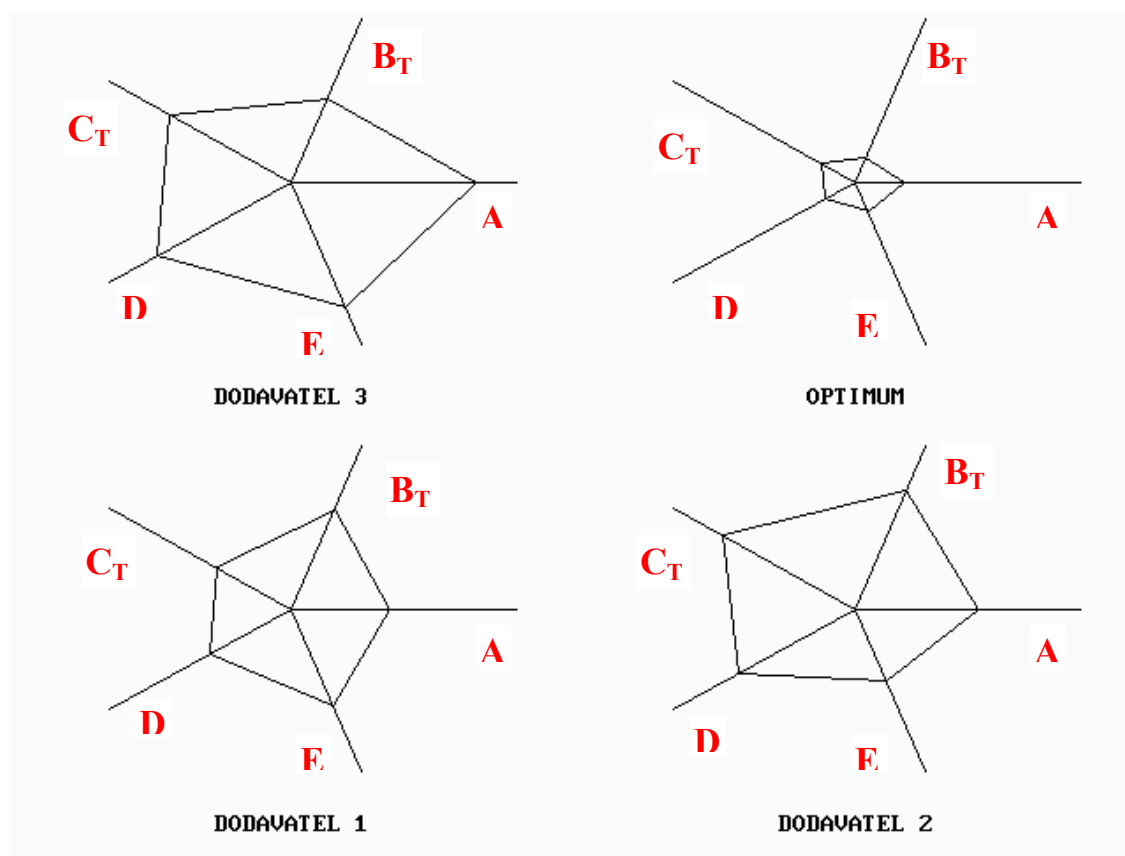
#### a) diagram slunečních paprsků

V případě diagramu slunečních paprsků jsou stupnice na jednotlivých osách vytvořeny tak, že v jejich polovině leží průměrná hodnota daného prvku (kritéria) a počátek a konec stupnice odpovídá zvolenému násobku směrodatné odchylky od této průměrné hodnoty. Příslušný násobek se volí již na počátku konstrukce tak, aby vyhovoval zobrazení všech hodnot. Tvorba stupnice na jednotlivých osách pro případ tří os je uvedena v tab. 7.2.

Tab. 7.2: Volba měřítek na osách diagramu slunečních paprsků pro případ tří prvků ( $c$  – zvolený násobek počtu směrodatných odchylek;  $m$  – počet zobrazovaných variant;  $s_i$  – výběrová směrodatná odchylka daného prvku)

| Osa   | Počátek: osy                          | Střed osy                                    | Konec osy                             |
|-------|---------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
| $x_1$ | $x_{1,poč} = \bar{x}_1 - c \cdot s_1$ | $\bar{x}_1 = \frac{\sum_{i=1}^m x_{i,1}}{m}$ | $x_{1,kon} = \bar{x}_1 + c \cdot s_1$ |
| $x_2$ | $x_{2,poč} = \bar{x}_2 - c \cdot s_2$ | $\bar{x}_2 = \frac{\sum_{i=1}^m x_{i,2}}{m}$ | $x_{2,kon} = \bar{x}_2 + c \cdot s_2$ |
| $x_3$ | $x_{3,poč} = \bar{x}_3 - c \cdot s_3$ | $\bar{x}_3 = \frac{\sum_{i=1}^m x_{i,3}}{m}$ | $x_{3,kon} = \bar{x}_3 + c \cdot s_3$ |

Příklad diagramů slunečních paprsků porovnávajících tři různé dodavatele na základě pěti vybraných kritérií je uveden na obr. 7.6. Zobrazená velikost ploch ukazuje, že optimu se nejvíce blíží Dodavatel 1.



Obr. 7.6: Porovnání dodavatelů pomocí diagramů slunečních paprsků.

## b) polygon

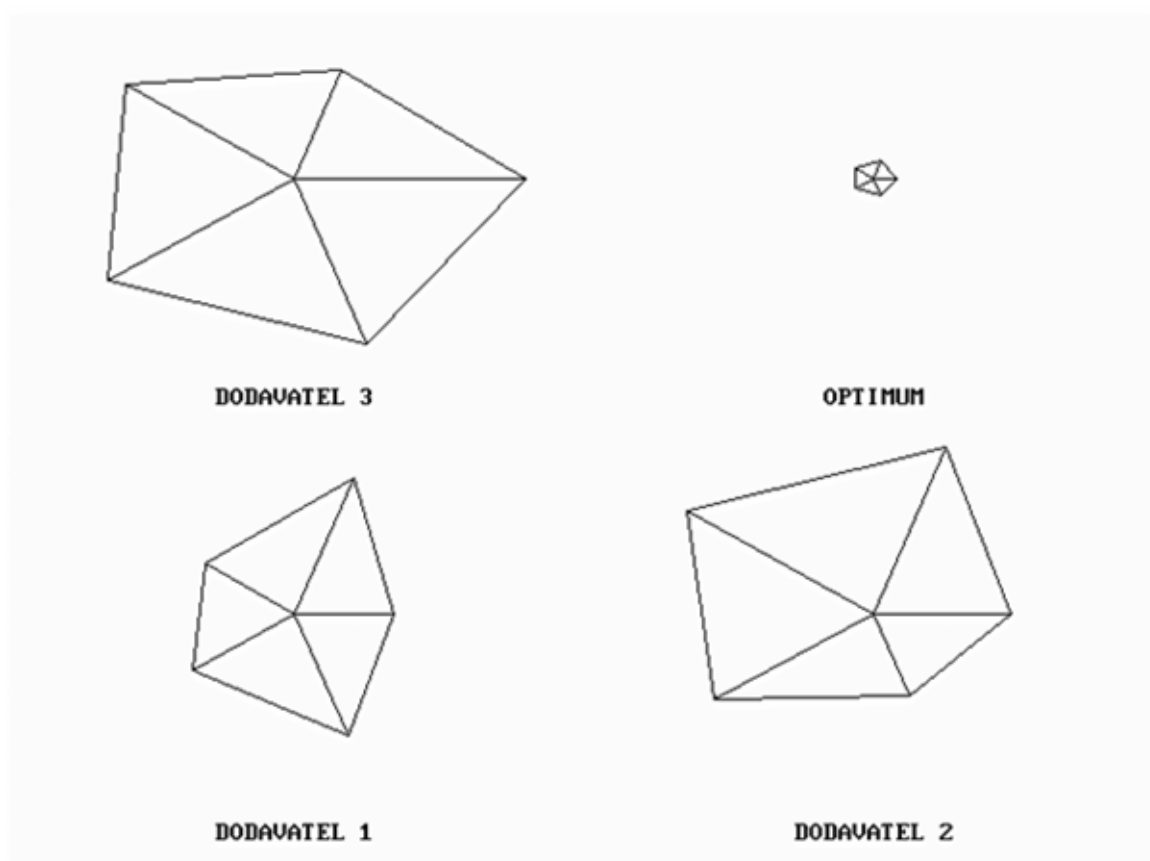
V případě polygonu osy diagramu (paprsky) nepřesahují plochu příslušného mnohoúhelníku. Paprsky odpovídající maximální hodnotě prvku mají zvolenou jednotkovou délku a paprsky odpovídající minimální hodnotě představují zvolený podíl této jednotkové délky ( $a$ ). U proměnných, u nichž hodnoty příslušného prvku leží v oblasti mezi minimální a maximální hodnotou, odpovídají délky příslušných paprsků relativním hodnotám prvků, které se počítají podle vztahu.

$$x_{ij}^* = \frac{(1-a) \cdot (x_{ij} - \min_i x_{ij})}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} + a$$

kde:

- $x_{ij}^*$  - transformovaná hodnota j-tého prvku i-té proměnné
- $x_{ij}$  - původní hodnota j-tého prvku i-té proměnné
- $\min_i x_{ij}$  - minimální hodnota j-tého prvku všech  $i$  proměnných
- $\max_i x_{ij}$  - maximální hodnota j-tého prvku všech  $i$  proměnných
- $a$  - parametr, představující podíl délky osy odpovídající minimální hodnotě prvku z délky osy odpovídající maximální hodnotě prvku (obvykle  $a=0,1$ )

Příklad polygonu zpracovaného na základě stejných dat jako diagram slunečních paprsků na obr. 7.6 je uveden na obr. 7.7. I zde je patrné, že z hlediska posuzovaných kritérií je nejvhodnější dodavatel 1.



Obr. 7.7: Porovnání dodavatelů pomocí polygonů.

### Diagram PDPC

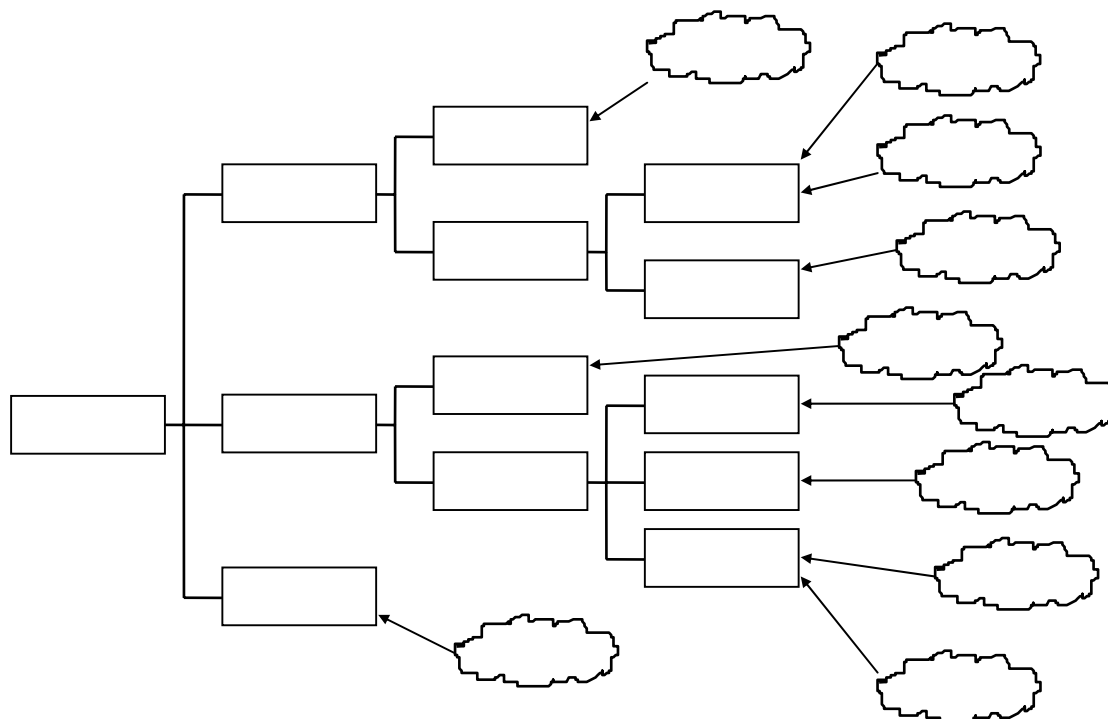
Diagram PDPC (Proces Decision Programm Chart) je nástroj, pomocí něhož se identifikují možné problémy, které mohou nastat při realizaci plánovaných činností a navrhnou se vhodná protioopatření.

Diagram PDPC je v podstatě rozšířením systematického diagramu, který zajišťuje systematickou dekompozici plánované činnosti na konkrétní dílčí činnosti.

Pro tyto činnosti se v týmu pomocí brainstormingu hledají odpovědi na otázky:

- Nemohou při zajišťování této činnosti nastat nějaké problémy?
- Jaká opatření by měla být naplánována, abychom předešli těmto možným problémům ?

Odpovědi na druhou otázku (plánovaná opatření) se zapisují vpravo od jednotlivých činností a rámuje se do „obláčků“ ( viz obr.7.8).



Obr.7.8: Struktura diagramu PDPC.

Při hledání vhodných opatření lze využít tyto možnosti:

- Vyhnoutí se problému (nalezení alternativních činností).
- Snížení pravděpodobnosti výskytu problému (změny činností nebo doplnění činností, které vedou ke snížení pravděpodobnosti výskytu problému).
- Připravenost na možný výskyt problému (plánování činností, vedoucích ke zvládnutí problému, pokud nastane).

Diagram PDPC se používá zejména v případech, kdy se jedná o nové úkoly nebo nové podmínky jejich řešení, nebo je dosažení cíle striktně časově limitováno.

## **Síťový graf**

Síťový graf je vhodným nástrojem pro stanovení optimálního harmonogramu průběhu projektu skládajícího se z řady činností a jejich následné monitorování. Zpracováním síťového grafu se získají důležité podklady pro stanovení vhodných opatření pro zkrácení celkové doby trvání projektu, pro rychlé posouzení vlivu zpoždění jednotlivých činností na časový harmonogram, pro operativní úpravy harmonogramu v případě jakýchkoliv změn doby trvání činností apod.. Jeho přínos je tím vyšší, čím více dílčích činností je potřeba pro dosažení konečného cíle realizovat.

Nejpoužívanější metodou, využívající síťový graf, je metoda kritické cesty (CPM - Critical Path Method).

Síťový graf je velice cenným nástrojem při projektech plánování jakosti nových produktů, zlepšování, zavádění systémů managementu apod.

Zpracování síťového grafu je vhodné realizovat v následujících krocích:

### ***1. Identifikace činností potřebných pro dosažení stanovených cílů projektu***

Identifikace jednotlivých činností projektu by měla probíhat v týmu. S ohledem na další postup zpracování je vhodné tyto činnosti zaznamenat na kartičky.

### ***2. Zpracování postupového diagramu***

Postupným uspořádáním činností zaznamenaných na jednotlivých kartičkách lze v týmu optimalizovat návaznost jednotlivých činností projektu a identifikovat činnosti, které mohou probíhat paralelně. Příklad postupového diagramu je uveden na obr. 7.9.

### ***3. Transformace postupového diagramu na síťový graf***

Postupový diagram, který představuje uzlově definovaný graf, není obvykle využíván pro vyhodnocení časových termínů. Vhodnější uspořádání nabízí síťový graf. Síťový graf je hranově definovaným grafem, který se skládá z uzlů a spojnic

resp. hran. Uzly představují zahájení a ukončení jednotlivých činností a označují se kroužky, orientované spojnice mezi těmito uzly pak představují jednotlivé činnosti.

Při transformaci postupového diagramu na síťový graf je potřeba zajistit, aby každá činnost byla jednoznačně identifikována čísly uzlu, ze kterého vychází a uzlu, do kterého vstupuje. Splnění tohoto požadavku někdy vyžaduje zavedení tzv. fiktivních činností, které se v síťovém grafu zakreslují čárkovanou spojnici. Příklad transformace postupového diagramu na síťový graf je uveden na obrázku 7.9.

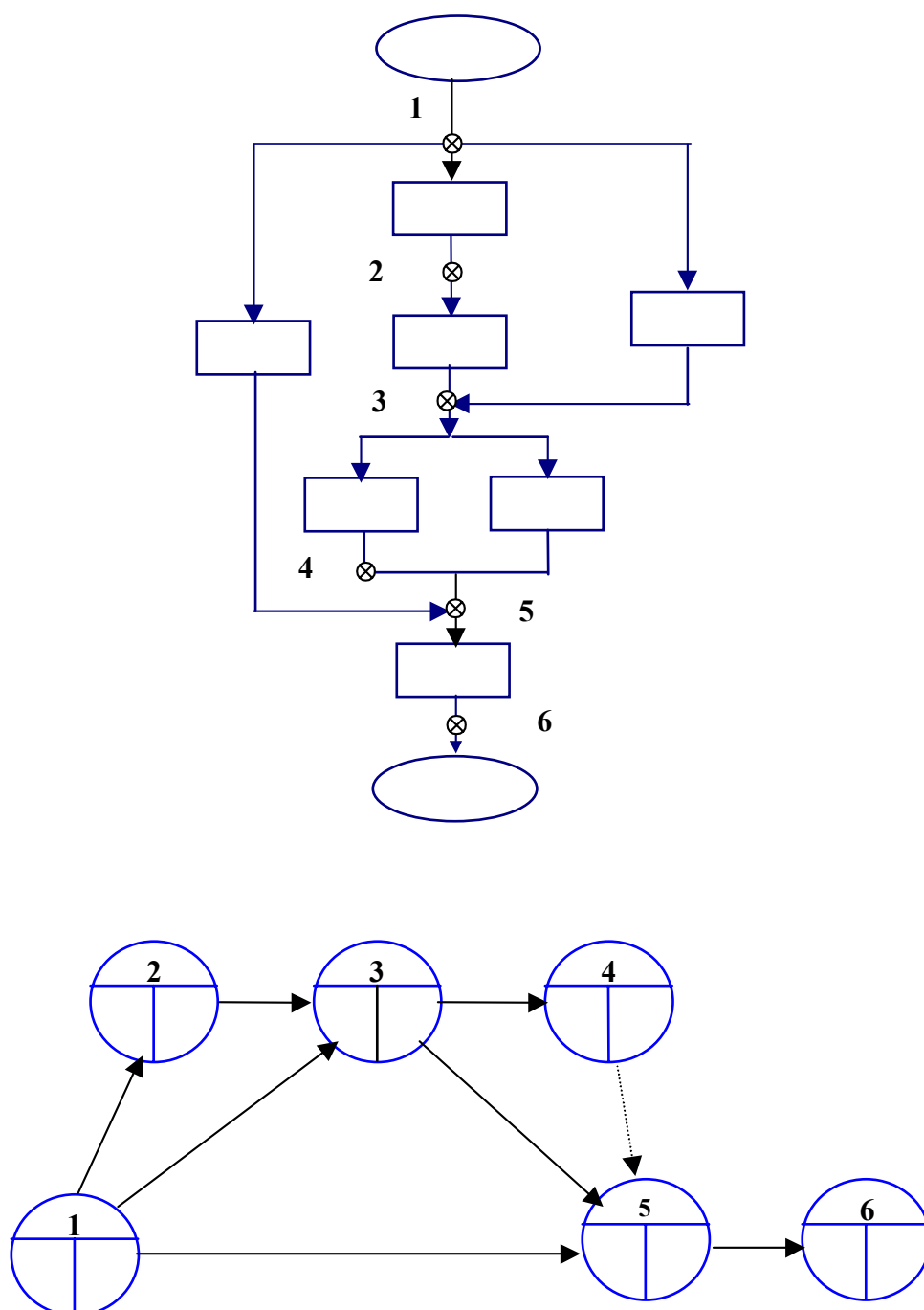
#### **4. Stanovení dob trvání jednotlivých činností**

Důležitým vstupem pro zpracování harmonogramu realizace jednotlivých činností je kvalifikovaný odhad dob jejich trvání. U odhadnutých dob trvání by mělo být dosaženo konsensu týmu.

#### **5. Vyhodnocení síťového grafu**

Vyhodnocení síťového grafu se provádí v relativním čase. Příslušné výpočty umožňují u každé činnosti stanovit:

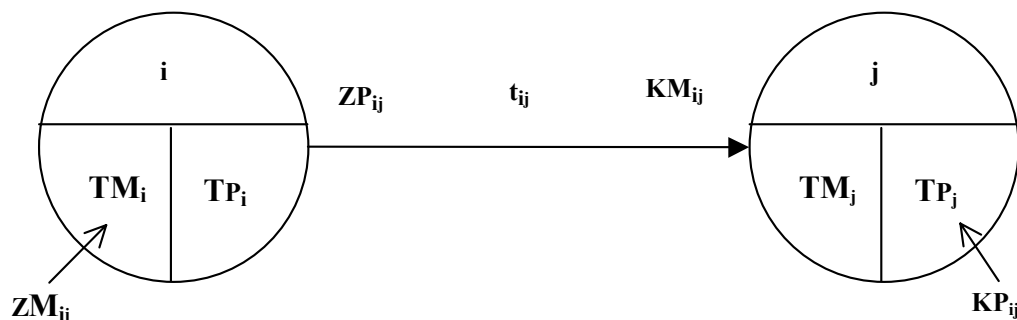
- Nejdříve možný začátek -  $ZM_{ij}$ , tedy čas, kdy nejdříve může být činnost (i,j) zahájena.
- Nepozději přípustný začátek -  $ZP_{ij}$ , tedy čas, kdy nejpozději musí být činnost (i,j) zahájena, jestliže má být projekt dokončen podle plánu.
- Nejdříve možný konec -  $KM_{ij}$ , tedy čas, kdy nejdříve může být činnost (i,j) ukončena.
- Nejpozději přípustný konec -  $KP_{ij}$ , tedy čas, kdy nejpozději musí být činnost (i,j) ukončena, jestliže má být projekt dokončen podle plánu.



Obr. 7.9: Příklad postupového diagramu a odpovídajícího síťového grafu

Uzly v síťovém grafu se rozdělí na tři části tak, aby do nich bylo možné zaznamenávat číslo uzlu ( $i$ ), nejdřívější čas uzlu ( $TM_i$ ) a nejpozdější čas uzlu ( $TP_i$ ). Nejdřívější čas uzlu odpovídá nejdříve možným začátkům všech činností, jež vycházejí z daného uzlu, nejpozdější čas uzlu odpovídá nejpozději přípustným

koncům všech činností končících v daném uzlu. Způsob záznamu příslušných údajů je znázorněn na obrázku 7.10.



Obr. 7.10: Záznam údajů v síťovém grafu.

Při vlastních výpočtech se vychází z počátečního uzlu sítě, u něhož se v relativním vyjádření času pokládá:

$$TM_{1j} = ZM_{1j} = 0$$

Po jednotlivých činnostech (spojnicích) se postupuje k následujícím uzlům, přičemž se vždy vypočte nejdříve možný konec každé činnosti podle vztahu:

$$KM_{ij} = TM_i + t_{ij}$$

kde:  $t_{ij}$  - doba trvání činnosti (i,j)

Na základě hodnot nejdříve možných konců činností vstupujících do určitého uzlu se stanoví nejdřívejší čas daného uzlu, tedy čas, kdy nejdříve mohou být zahájeny činnosti, jež z tohoto uzlu vycházejí. Tento čas se určí jako maximální hodnota nejdříve možných konců všech činností končících v daném uzlu podle vztahu:

$$TM_j = \max_i KM_{ij}$$

Jestliže do uzlu směřuje pouze jedna činnost, pak nejdříve možný konec činnosti je současně nejdřívějším časem daného uzlu.

Hodnota nejdřívějšího času uzlu se využívá pro další výpočty, neboť představuje nejdříve možné začátky všech činností, jež z daného uzlu vycházejí:

$$ZM_{jk} = TM_j$$

Uvedené výpočty postupně probíhají ve všech dalších uzlech až do dosažení konečného uzlu sítě.

Nejpozději přípustné konce a nejpozději přípustné začátky činností se počítají v opačném směru. Vychází se z konečného uzlu a ve směru k počátečnímu uzlu se nejpozději přípustné začátky činností počítají podle vztahu:

$$ZP_{ij} = TP_j - t_{ij}$$

Nejpozdější časy uzlů se postupně počítají jako minimální hodnota nejpozději přípustných začátků všech činností vycházejících z daného uzlu ( uzlu i ):

$$TP_i = \min_j ZP_{ij}$$

Hodnoty nejpozdějších časů uzlů přitom současně odpovídají hodnotám nejpozději přípustného konce všech činností, které do uzlu vstupují:

$$KP_{ij} = TP_j$$

## 6. Stanovení kritické cesty

Na základě zjištěných časových údajů se v síťovém grafu stanoví kritická cesta. Kritická cesta je cesta z počátečního do konečného uzlu sítě, která trvá nejdéle. Je to tedy sled činností, které nemají žádnou časovou rezervu. Pro činnosti ležící na kritické cestě (kritické činnosti) tedy platí, že jejich nejdříve možný začátek je současně nejpozději přípustným začátkem a nejdříve možný konec je současně nejpozději přípustným koncem, tedy :

$$ZM_{ij} = ZP_{ij}$$

$$KM_{ij} = KP_{ij}$$

Zpoždění kterékoliv z činností, ležících na kritické cestě, bude zpožďovat celý projekt.

## 7. Výpočet časových rezerv činností

V další fázi vyhodnocení síťového grafu se stanovují časové rezervy činností, které neleží na kritické cestě. Obvykle se rozlišuje časová rezerva celková, volná a nezávislá.

Při výpočtu celkové časové rezervy ( $RC_{ij}$ ) se předpokládá, že všechny předcházející činnosti skončily v nejdříve možných termínech a všechny následující činnosti začínají v nejpozději přípustných termínech. Tato rezerva se počítá podle vztahu:

$$RC_{ij} = (TP_j - TM_i) - t_{ij}$$

Při výpočtu volné časové rezervy ( $RV_{ij}$ ) se předpokládá, že všechny předcházející činnosti skončily v nejdříve možných termínech a všechny následující činnosti začínají rovněž v nejdříve možných termínech. Její hodnota se počítá podle vztahu:

$$RV_{ij} = (TM_j - TM_i) - t_{ij}$$

Při výpočtu nezávislé časové rezervy ( $RN_{ij}$ ) se předpokládá, že všechny předcházející činnosti skončily v nejpozději přípustných termínech a všechny následující činnosti začínají v nejdříve možných termínech. Její hodnota se počítá podle vztahu:

$$RN_{ij} = \max(TM_j - TP_i - t_{ij}; 0)$$

Mezi jednotlivými časovými rezervami činností platí vztah:

$$RC_{ij} \geq RV_{ij} \geq RN_{ij}$$

### 8. Záznam vyhodnocených údajů do přehledné tabulky

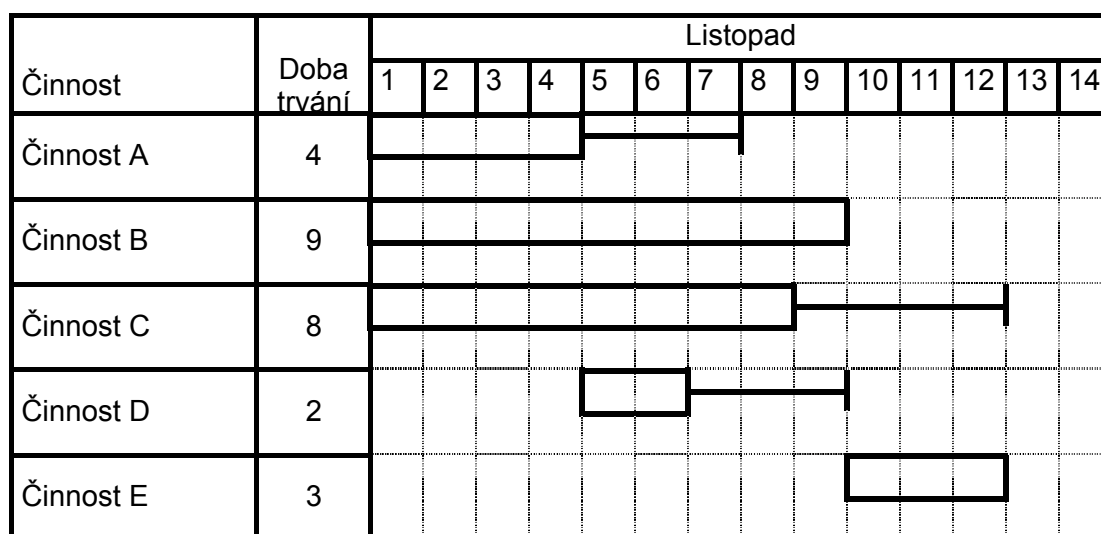
Vyhodnocené nejdříve možné a nejpozději přípustné termíny činností a jednotlivé časové rezervy těchto činností je vhodné pro další analýzu zaznamenat do přehledné tabulky:

| Činnost | Doba trvání     | ZM <sub>ij</sub> | KM <sub>ij</sub> | ZP <sub>ij</sub> | KP <sub>ij</sub> | RC <sub>ij</sub> | RV <sub>ij</sub> | RN <sub>ij</sub> |
|---------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| (1,2)   | t <sub>12</sub> | ZM <sub>12</sub> | KM <sub>12</sub> | ZP <sub>12</sub> | KP <sub>12</sub> | RC <sub>12</sub> | RV <sub>12</sub> | RN <sub>12</sub> |
| (1,3)   | t <sub>13</sub> | ZM <sub>13</sub> | KM <sub>13</sub> | ZP <sub>13</sub> | KP <sub>13</sub> | RC <sub>13</sub> | RV <sub>13</sub> | RN <sub>13</sub> |
| (2,3)   | t <sub>23</sub> | ZM <sub>23</sub> | KM <sub>23</sub> | ZP <sub>23</sub> | KP <sub>23</sub> | RC <sub>23</sub> | RV <sub>23</sub> | RN <sub>23</sub> |
|         |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |

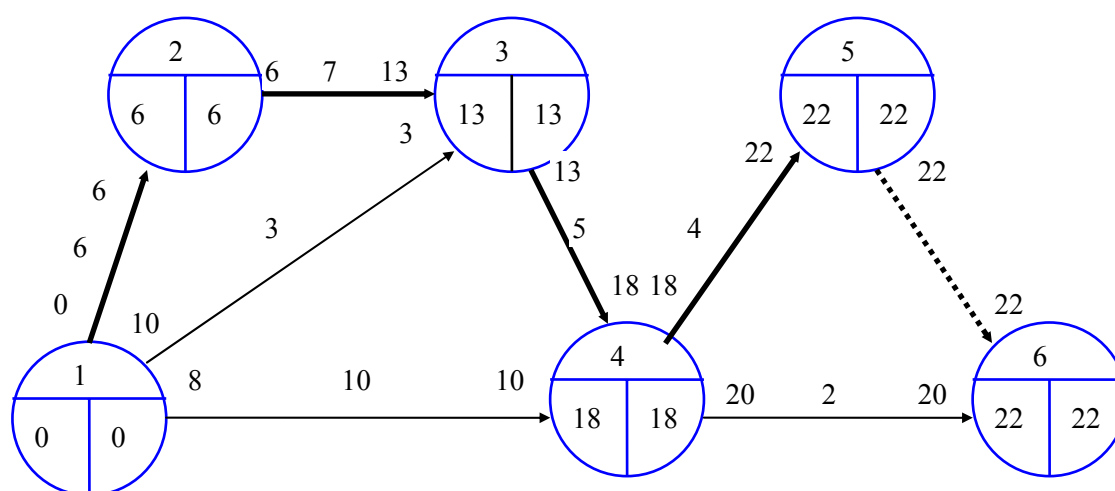
### 9. Zpracování Ganttova diagramu

Pro praktické využití je potřeba časové údaje stanovené v relativním čase převést na konkrétní kalendářní termíny. Kalendářní harmonogram průběhu jednotlivých činností se nejčastěji zpracovává graficky pomocí Ganttova diagramu. Jedná se uspořádaný horizontální sloupcový diagram, vynášený do kalendářní sítě. Nejdříve možné začátky jednotlivých činností odpovídají počátkům sloupců, nejdříve možné konce těchto činností odpovídají koncům sloupců a velikost celkové časové rezervy je vyjádřena úsečkou navazující na nejdříve možný konec činností (viz obr. 7.11).

Pro dokreslení způsobu vyhodnocení síťového grafu je uveden příklad, včetně přehledné tabulky stanovených termínů jednotlivých činností a časových rezerv (viz obr. 7.12). V síťovém grafu je tučně vyznačena kritická cesta. Kritickými činnostmi, tedy činnostmi, které nemají žádnou časovou rezervu a jejich zpoždění by zpozdilo termín ukončení projektu, jsou v daném případě činnosti (1,2), (2,3), (3,4) a (4,5).



Obr. 7.11: Příklad Ganttova diagramu.



| Činnost | Doba trvání | ZM <sub>ij</sub> | KM <sub>ij</sub> | ZP <sub>ij</sub> | KP <sub>ij</sub> | RC <sub>ij</sub> | RV <sub>ij</sub> | RN <sub>ij</sub> |
|---------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| (1,2)   | 6           | 0                | 6                | 0                | 6                | 0                | 0                | 0                |
| (1,3)   | 3           | 0                | 3                | 10               | 13               | 10               | 10               | 10               |
| (1,4)   | 10          | 0                | 10               | 8                | 18               | 8                | 8                | 8                |
| (2,3)   | 7           | 6                | 13               | 6                | 13               | 0                | 0                | 0                |
| (3,4)   | 5           | 13               | 18               | 13               | 18               | 0                | 0                | 0                |
| (4,5)   | 4           | 18               | 22               | 18               | 22               | 0                | 0                | 0                |
| (4,6)   | 2           | 18               | 20               | 20               | 22               | 2                | 2                | 2                |

Obr. 7.12: Příklad zpracovaného síťového grafu a tabulky výsledků.



## Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- Afinitní diagram
- Diagram vzájemných vztahů
- Systematický diagram
- Maticový diagram
- Analýza údajů v matici
- Diagram slunečních paprsků
- Polygon
- Diagram PDPC
- Síťový graf
- Kritická cesta
- Ganttův diagram



## Otázky:

1. Charakterizujte afinitní diagram a jeho výhody.
2. Vysvětlete způsob vyhodnocení diagramu vzájemných vztahů a jak lze využít výsledky.
3. Vysvětlete, jaké informace lze získat zpracováním maticového diagramu.
4. Vysvětlete obecný postup analýzy údajů v matici.
5. Jak se vypočítá Minkowského metrika a jaké podmínky musí být pro její použití splněny?
6. Vysvětlete postup zpracování a vyhodnocení plošných diagramů.
7. Na jakém principu jsou vytvořeny stupnice na osách u diagramu slunečních paprsků?
8. Jaké typy opatření lze použít u diagramu PDPC?
9. Vysvětlete způsob vyhodnocení síťového grafu.
10. Co je to kritická cesta a jak se stanoví?
11. Uveďte druhy vyhodnocovaných časových rezerv činností a způsob jejich stanovení.
12. Vysvětlete, které údaje jsou zaznamenány v Ganttově diagramu.



## Úloha k řešení:



## Literatura k dalšímu studiu:

PLURA, J.: *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. 1.vydání. Praha: Computer Press, 2001. 244 s., ISBN 80-7226-543-1