

## NAVRHOVANIE A OPTIMALIZÁCIA V KONŠTRUKČNEJ PRÍPRAVE VÝROBY

Pri fáze navrhovania a optimalizácie v konštrukčnej príprave výroby zásadnú úlohu zohráva proces riešenia konštrukčnej úlohy (KÚ), kde je využívaný prístup aplikáciou **intuície**, alebo aplikáciou **metodiky konštruovania**. Etapy konštruovania od prístupu pokus-omyl až k vedeckému konštruovaniu, ktoré sa využíva aj v súčasnosti, sú uvedené na obr. 1. Prednosťou **metodiky konštruovania** sú:

- cieľavedomé objavovanie nových technických riešení,
- posúdenie všetkých vhodných riešení pre realizáciu danej funkcie,
- racionalizácia procesu riešenia problému,
- uľahčenie výberu optimálneho riešenia,
- vytvára predpoklad pre algoritmizáciu úloh.

| Historická etapa   | Metódy konštruovania          | Charakteristika tvorby (spôsob konštruovania)             | Pokrok v konštruovaní                                  |
|--------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| starovek           | pokus, omyl                   | ručná výroba bez predlohy                                 | výrobné skúsenosti                                     |
| stredovek          | cit a pokus, omyl             | ručne kreslené obrázky                                    | zlepšovanie názornosti                                 |
| 18. – 19. storočie | cit a intuícia                | pravouhlé premietanie, začiatky pevnostných výpočtov      | zlepšovanie pevnostného riešenia                       |
| 1890 až 1920       | intuícia                      | kóty, tolerancie, dobré pevnostné výpočty                 | zlepšovanie spoľahlivosti, spresňovanie výr. údajov    |
| 1920 až 1960       | intuícia a overovanie         | klasické konštruovanie so základnými vedeckými poznatkami | dobré pevnostné riešenie, zlepšovanie vzhľadu          |
| 1960 až 1990       | <b>metodika konštruovania</b> | klasické konštruovanie so základnými vedeckými poznatkami | <b>automatizácia časti riešenia, výpočty počítačom</b> |
| po roku 1990       | <b>vedecké konštruovanie</b>  | klasické konštruovanie so základnými vedeckými poznatkami | <b>zvýšenie podielu tvorivej práce, komplexnosť</b>    |

Obr. 1 Etapy konštruovania

Úlohou konštruktéra je **navrhnuť vhodnú funkciu, tvar, rozmery a dizajn výrobku**, z hľadiska potrieb budúcich užívateľov s prihliadnutím na platné bezpečnostné, hygienické, požiarne a ekologické predpisy a technické normy a **realizovať konštrukčnú dokumentáciu** (t. j. potrebné výkresy a technické správy). Konštruktér vytvára konštrukciu max. **konkurencieschopnú**, ktorá prinesie:

- najväčší ekonomický efekt,
- má najvyššie prevádzkové parametre,
- zodpovedá potrebám svetových výrobcov,
- dosiahne vysoké uplatnenie na trhu.

**Hlavné ukazovatele**, ktoré je nutné v konštrukčnej príprave výroby (KPV) dodržať sú:

- vysoká produktivita a hospodárnosť,
- spoľahlivosť,
- malé rozmery, či nízka hmotnosť,

- d. nízka spotreba materiálu,
- e. nízke náklady na pracovnú silu,
- f. nízka spotreba energie,
- g. nízke náklady na opravu,
- h. dlhý interval medzi opravami a aj dlhá trvanlivosť,
- i. vysoký stupeň automatizácie,
- j. jednoduchosť a bezpečnosť obsluhy,
- k. pohodlné riadenie,
- l. ľahká montáž a demontáž.

V KPV úloha konštruktéra a možnosti vytvárania variant konštrukčných riešení pre proces optimalizácie, sú determinované úrovňou zadanej konštrukčnej úlohy. Základná klasifikácia konštrukčných úloh je:

**1. Podľa zadania:**

- a) zadania, ktoré spracováva zákazník,
- b) zadania, ktoré spracováva konštruktér,
- c) úlohy zadávané vo vnútri konštrukcie.

**2. Podľa účelu:**

- a) vývojové úlohy,
- b) výrobné úlohy,
- c) normalizačné úlohy,
- d) práce bez hmotných dodávok,
- e) ponuky,
- f) režijné úlohy.

**3. Podľa využitia skôr nakreslenej konštrukčnej dokumentácie:**

- a) opakované,
- b) upravované,
- c) nové.

Konštruktér pri riešení konštrukčnej úlohy využíva jednu z **technických tvorivých činností**. Ku technickým tvorivým činnostiam patrí:

- **vynálezcovstvo,**
- **projektovanie,**
- **konštruovanie,**
- **racionalizáciu.**

Tieto činnosti pri riešení realizuje pomocou:

- A. JEDNODUCHÉHO KONŠTRUOVANIA** – ktoré je spojené s **konštrukciou jednoduchých detailov** alebo **jednoduchej zostavy** zo zadaných detailov,
- B. REPRODUKČNÉHO KONŠTRUOVANIA** – ktoré je spojené so zakresľovaním detailov z danej zostavy a **zhotovovaním výkresov podľa predlôh** (na konštrukcii sa nič nemení),

**C. PRODUKTÍVNEHO KONŠTRUOVANIA** – ktoré zahrňuje **konštruovanie nových detailov**, montážnych skupín a strojov na základe známych zariadení v nových podmienkach a hľadá analógie),

**D. TVORIVÉHO KONŠTRUOVANIA** – ktoré je tesne spojené s vynálezcovstvom (**hľadanie nových princípov**, konštrukcií a iné).

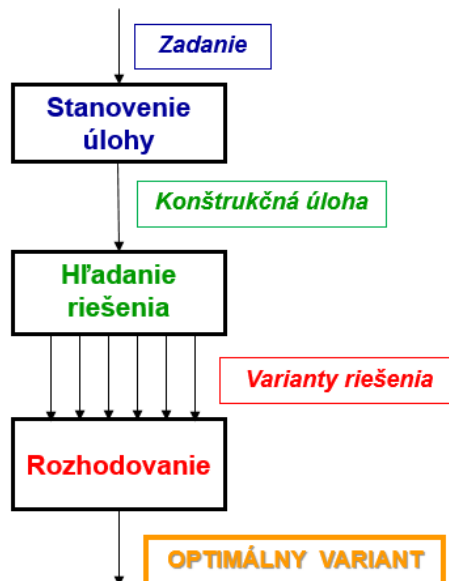
Postup pri konštruovaní sa skladá z tzv. **myšlienkových operácií**. Sú to:

- Pochopiť požiadavky zákazníka.
- Stanoviť podmienky a kritériá pre rozhodovanie.
- Hľadať možné riešenia.
- Zhodnotiť riešenia podľa kritérií.
- Rozhodnúť o vyhovujúcom riešení, alebo stanoviť nové požiadavky.
- Overiť vybrané riešenia.

Základné myšlienkové operácie sú:

1. **STANOVENIE ÚLOHY**,
2. **HĽADANIE RIEŠENIA**,
3. **ROZHODOVANIE**.

Tieto jednotlivé operácie a z nich vyplývajúce činnosti definuje **elementárny reťazec základných myšlienkových operácií**, ktorý je uvedený na obr. 2, kde výrazne sa využívajú prístupy analýzy a syntézy.



**Obr. 2 Elementárny reťazec základných myšlienkových operácií**

Pri intuícii sa konštruktér spolieha, že ho správne riešenie napadne. Riešenie však môže byť *úspešné* alebo *neúspešné*. Pri metodike konštruovania, čo je súhrn myšlienkových, logických a organizačných pravidiel, ktoré umožňujú získať viac dobrých riešení, je benefit v tom, že proces dosiahnutia *optimálneho riešenia* konštrukčnej úlohy je rýchlejší. V niektorých prípadoch je vhodné aplikovať obidva spôsoby riešenia KÚ, ktoré sa navzájom dopĺňajú.

**Metodika konštrukčnej práce** sa skladá z:

- 1. Metodiky stanovenia úlohy, podmienok a kritérií,**
- 2. Metodiky riešenia konštrukčnej úlohy,**
- 3. Metodiky výberu variantov a ich hodnotenie.**

## **1. Metodika stanovenia úlohy, podmienok a kritérií**

Metodika stanovenia úlohy, podmienok a kritérií je členená na niekoľko fáz. **Fázy stanovenia konštrukčnej úlohy** sú:

- a/ Zadanie úlohy.
- b/ Rozbor a kritika úlohy.
- c/ Štúdium.
- d/ Záverečná správa ku štúdiu.
- e/ Spresnenie úlohy.
- f/ Schválenie úlohy.

Proces stanovenia úlohy a následne stanovenie podmienok a kritérií, ktoré sú dôležité pri následnej optimalizácii, vychádza hlavne z typu zadania. **Základná klasifikácia typu zadania** je:

1. **Zadanie spracované zákazníkom** – je postup najnáročnejší, nakoľko konštruktér musí zadanie kriticky hodnotiť, t. j. je oponentom zadania. Oponentúra musí zabezpečiť to, aby:
  - a. zadanie neobsahovalo požiadavku na funkciu ale požiadavku na účinok,
  - b. zadanie bolo úplné,
  - c. podmienky zadania boli úplné.
  - d. zadané podmienky (technické parametre), plnili funkciu kritérií.
  - e. bola možnosť použitia normalizovaných, alebo skôr vyriešených úloh.
  - f. zadanie obsahovalo požiadavky na náhradné diely, garancie, záruky a iné.
2. **Zadanie spracované konštruktérom** – je proces jednoduchší, nakoľko celé zadanie spracúva konštruktér sám, prípadne v spolupráci s inými úsekmi technickej prípravy výroby (TPV), pričom následne sa hodnotí procesom oponentúry skupinou odborníkov.
3. **Zadanie zadané vo vnútri konštrukcie** – je proces najjednoduchší, pretože celé zadanie sa zadáva ústne, prípadne v skratke bodov, nakoľko zadanie zadáva konštruktér konštruktérovi. Rovnako sa následne hodnotí procesom oponentúry skupinou odborníkov.

## **2. Metodika riešenia konštrukčnej úlohy**

Metodika riešenia konštrukčnej úlohy je proces hľadanie alternatív, pričom konštruktér by sa mal riadiť následnými pravidlami:

- a/ Pre dané zadanie nájsť viac alternatív riešení – nezakresľovať prvé riešenie.
- b/ Na hľadanie alternatív používať špeciálne metódy.
- c/ Problém zovšeobecniť, nájsť základné princípy a potom riešiť čiastkové problémy.
- d/ Nekopírovať existujúce riešenia, t. j. nájsť lepšie riešenie.
- e/ Pri návrhu alternatív prelínať vlastný návrh s výpočtom a rozhodovaním.

Pri hľadaní alternatív sa využívajú **metodiky riešenia konštrukčnej úlohy**, ako sú:

**A. Metóda stanovenia vzťahov.**

**B. Systematické metódy.**

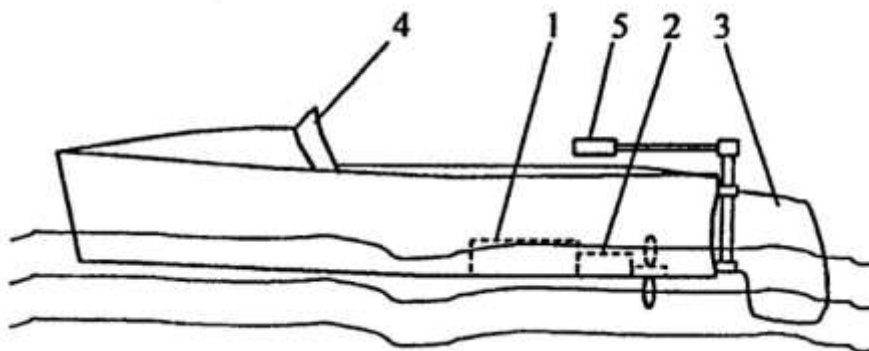
**C. Metódy, založenými na preberaní vzorov z prírody.**

**D. Metódy vyvodenej (provokovanej) intuície.**

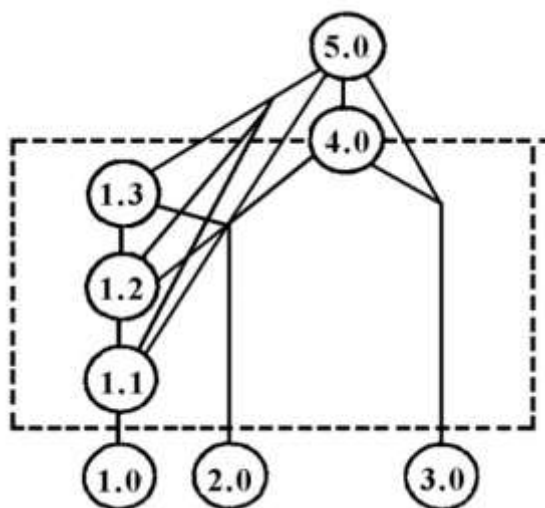
**E. Elementárne metódy na získanie nových riešení.**

#### **A. Metóda stanovenia vzťahov**

Pri riešení zadania aplikáciou metódy stanovenia vzťahov sa nové riešenie hľadá cestou zovšeobecnenia už existujúceho riešenia, resp. definovania jeho základných častí spolu s definovaním jednotlivých väzieb medzi nimi, čo odpúta riešiteľa od pôvodného riešenia a umožní navrhnuť niekoľko nových riešení. Príklad tejto metódy je ilustrovaný na obr. 3, kde úloha je návrh nového riešenia plavidla. Reálne plavidlo je rozdelené na jednotlivé konštrukčné časti a následne sú na takto zovšeobecnené prvky (obr. 4) zadané vzťahy medzi týmito časťami, čo pri aplikácii výsledkov vedy a výskumu, napr. nových materiálov, nových technológií a iných, umožní navrhnuť nové alternatívy riešení.



**Obr. 3 Hlavné konštrukčné prvky plavidla**



**Obr. 4 Graf vonkajších vzťahov**

(1.0 – pohon, 1.1 – motor, 1.2 – spojka, 1.3 – prevody),  
(2.0 – prenos pohybu), (3.0 – zmena smeru)  
(4.0 – rám), (5.0 – riadenie)

## **B. Systematické metódy**

Systematické metódy vychádzajú zo súčasného stavu vedeckého poznania javov a z logiky zákonitostí vývoja. Tieto metódy vychádzajú z vedeckých metód poznania, ktoré sú:

- analýza,
- syntéza,
- abstrakcia a zovšeobecnenie,
- konkretizácia,
- indukcia,
- dedukcia a iné.

## **C. Metódy, založenými na preberaní vzorov z prírody**

Sú to metódy, ktoré sú založené na tzv. Bionickom princípe, t. j. ako sa požadovaný účinok realizuje v prírode. Tieto poznatky uplatňuje pri zdokonaľovaní existujúcich strojov, prístrojov, pri efektívnosti energetických systémov, chemických procesov a iné, pričom využíva abstraktné myslenie.

**BIONIKA** – veda o originálnych technických systémoch a technologických postupoch, ktoré človek vypracoval na základe pozorovania a myšlienok, prevzatých z prírody.

## **D. Metódy vyvodenej (provokovanej) intuície**

Základom metód vyvodenej intuície je psychologické provokovanie vnemových a myšlienkových procesov, ktoré sú založené na procesoch asociácie. K základným **metódam vyvodenej intuície** patria:

- **BRAINSTORMING** – je tzv. „Útok na mozog“, kde základom je 5 až 12 osôb (nie riešitelia problému, pričom sa vzájomne nepoznajú). Pracujú po dobu 30 až 45 min, pričom každá osoba po oboznámení sa s problémom, uvádza 6 až 8 nápadov. Výsledkom je 30 až 96 riešení, resp. nápadov, ktoré posudzujú riešitelia. Pri tejto metóde je dôležitá kvantita a nie kvalita.
- **BRAINWRITING** – je písomná forma brainstormingu, kde základom je 5 až 12 osôb (nie riešitelia problému, pričom sa vzájomne nepoznajú). Pracujú po dobu 30 až 45 min. Každá osoba po oboznámení sa s problémom, píše nový nápad (riešenie) na novú kartičku, podá ďalej v smere hodinových ručičiek a ostatní sa postupne k jeho riešeniu vyjadrujú. Výsledkom je 30 až 96 riešení, resp. nápadov, ktoré posudzujú riešitelia. Pri tejto metóde je rovnako dôležitá kvantita a nie kvalita.
- **METAPLÁN** – pri tejto metóde sa postupuje ako pri brainwritingu, kde základom je 5 až 12 osôb (nie riešitelia problému, pričom sa vzájomne nepoznajú). Pracujú po dobu 30 až 45 min, ale osoby sú v anonymite. Nápady, resp. riešenia posudzujú riešitelia.
- **SYNEKTICKÁ METÓDA** – je to metóda spájania zdanlivo nesúvisiacich prvkov. Základom je 2 až 6 osôb (sú oboznámení s metódou). Je potrebné určiť vedúceho skupiny, ktorý je dobre oboznámený s úlohou a vhodne zvolí predmet diskusie. Platia 3 zásady, a to:
  - 1) Neznáma úloha sa stáva známou podrobným rozborom, presnou definíciou alebo formuláciou problémov.
  - 2) Účastníkom sa úloha objasňuje tak, aby sa zámerne vzdávali od obvyklého pohľadu na problém.
  - 3) Úloha sa rieši a posudzuje na základe nových hľadísk, a tým sa objavujú nové riešenia.

Vzniknuté nápady, resp. riešenia posudzujú odborníci.

- **METÓDA 126** – je metóda spájania zdanlivo nesúvisiacich prvkov. Základom je 6 osôb. Každá osoba má svoj list papiera, na ktorý napíše 3 riešenia, na ktoré má časový limit 5 min. Po stanovenom čase posunie list susedovi, ktorý si prečíta návrhy a napíše svoje ďalšie 3 riešenia. Po návrate listu k pôvodnému členovi tímu, opäť napíše svoje nové 3 riešenia. Výsledných riešení je 126 (7x3x6). Vzniknuté riešenia posudzujú odborníci.
- **METÓDA 365** – je metóda spájania zdanlivo nesúvisiacich prvkov. Základom sú skupiny, v ktorých je 5 osôb. Každá skupina má svoj list papiera, na ktorý napíše 3 riešenia, na ktoré má stanovený čas max. 6 min. Po stanovenom čase posunie list susednej skupine, ktorá si prečíta návrhy a napíše svoje ďalšie 3 riešenia. Po návrate listu k pôvodnému tímu, opäť napíše svoje nové 3 riešenia. Vzniknuté riešenia posudzujú odborníci.
- **ANALÝZA NABÁDACIEHO SLOVA** – je metóda, kde vyriešenie technického problému vznikne v inej oblasti. Základom je tzv. nabádacie slovo, ktoré nemá súvisieť s riešeným problémom. Môže byť náhodne vybrané napr. zo slovníka. Každá osoba má svoj list papiera, na ktorý napíše všetky asociované výrazy, ktoré s nabádacím slovom súvisia. Po stanovenom čase na návrhy sa následne hľadá súvislosť medzi návrhmi, resp. výrazmi a východiskovým problémom. Vzniknuté riešenia posudzujú riešitelia.
- **WINDOW-VIEWING** – je to metóda nazvaná „Pohľad z okna“, kde základom je odpútanie sa od každodennej práce, termínov a stresu. Základným cieľom je tvorba konštruktívnych a jedinečných nápadov. Je to najrozšírenejšia metóda v Japonsku a úspešne aplikovaná v Google. Vzniknuté riešenia posudzujú riešitelia.

#### **E. Elementárne metódy na získanie nových riešení**

Elementárne metódy na získanie nových riešení sú vhodné na hľadanie riešení pre malé skupiny súčastok, kde je potrebné získať mnoho variantných riešení. Medzi elementárne metódy patrí:

- **METÓDA ANALÓGIE** – je metóda, kde základom sú nové myšlienky na riešenie problému, ktoré sú získavané z analógie podobných situácií u iných problémov v prírode alebo technike. Napr. v prírode sú neurónové siete, kde ich princíp je využívaný v informatike pri spracovaní informácií, alebo rotačný pád semena javora pri jeho rozmnožovaní je aplikovaný v konštrukčnom riešení vrtuľníka.
- **METÓDA APLIKÁCIE VÝROBNÉHO FAKTORA** – je metóda, kde základom je prenesenie riešenia (riešení) z iného odboru, alebo odvetvia do riešenia nového napr. zariadenia.
- **METÓDA POROVNÁVANIA FUNKCIÍ** – je metóda, kde základom je vyhľadať predmety, ktoré by plnili tú alebo podobnú funkciu hospodárnejšie ako analyzovaný predmet.
- **METÓDA POROVNÁVANIA PODOBNOSTÍ** – je metóda, kde základom je vyhľadať predmety alebo činnosti, ktoré sú podobné tvarom, usporiadaním, rozmermi, hmotnosťou, pohybmi a pod. s porovnávaným predmetom alebo činnosťou. Nemalo by sa jednať o podobnosť úžitkovej podstaty predmetu, ktorého nové riešenie je hľadané.
- **METÓDA AGREGÁCIE** – je metóda, ktorej základom je spojenie dvoch známych, doposiaľ samostatne pracujúcich elementov do jedného spoločného celku.
- **INVERZNÁ METÓDA** – je metóda hľadania nového riešenia, kde jej princípom je pri novom návrhu kinematické obrátenie, t. j. vzájomná zámena elementov (prvkov) riešenia.
- **METÓDA ADAPTÁCIE** – je metóda, kde jej podstatou je pretvorenie vzorového riešenia na potreby nových podmienok, tak aby sa dosiahol lepší alebo nový účinok.

### 3. Metodika výberu variantov a ich hodnotenie.

Pri metodike výberu variantov a ich hodnotení sa jedná o proces hľadania optimálneho variantu riešenia. Konštruktér sa riadi definovaným kritériom, t. j. splnením stanovených podmienok. **Metodika výberu zložitejších variantov** a ich hodnotenie sa realizuje:

**A. Bodovacou metódou.**

**B. Metódou konečného účinku.**

**C. Metódou výsledného efektu.**

**D. Histogramovou metódou.**

#### A. Bodovacia metóda

Bodovacia metóda sa realizuje opakovaním operácií, ktoré sú:

1. Návrh a výber kritérií,
2. Voľba meradla kritérií,
3. Určovanie jednotlivých hodnôt kritérií,
4. Spracovanie hodnôt do celkovej hodnoty,
5. Rozhodnutie o optimálnom variante.

Hodnotenie a výber optimálneho riešenia sa spracúva vo forme tabuľky (obr. 5). Ak na základe stanovených kritérií vo výsledku metóda stanovuje viac riešení s rovnakým počtom bodov, pridávajú sa ďalšie kritéria s cieľom stanovenia jedného riešenia s najvyšším počtom bodov.

| Kritéria<br>Alternatíva | 1. | 2. | 3. | ... | n | $\Sigma$ |
|-------------------------|----|----|----|-----|---|----------|
| A                       |    |    |    |     |   |          |
| B                       |    |    |    |     |   |          |
| C                       |    |    |    |     |   |          |
| ...                     |    |    |    |     |   |          |
| N                       |    |    |    |     |   |          |

**Obr.5 Bodovacia metóda**

#### B. Metóda konečného účinku

Pri metóde konečného účinku hodnotíme každú funkciu, alebo prvok, či pri novom riešení má kladný, záporný, alebo žiadny účinok. Je to presnejšia metóda, nakoľko sa neberie do úvahy len kladný efekt, ale je hodnotený aj efekt záporný, ktorý môže nadobúdať zásadný charakter vlastností hodnoteného variantu. Pri procese hodnotenia jednotlivých prvkov, ich efekt môže nadobúdať aj vyššie hodnoty ako je 1, čím je definovaná aj váha jednotlivých kritérií, a to ako:

1. Kladný účinok  $\rightarrow +1, +2, +3, \dots, +m$
2. Žiadny účinok  $\rightarrow 0$
3. Záporný účinok  $\rightarrow -1, -2, -3, \dots, -n$

Po čiastkových hodnoteniach sa realizuje súčet všetkých kladných účinkov (KÚ) a súčet celkových záporných účinkov (ZÚ) pre jednotlivé hodnotené varianty, podľa vzťahu (1) a (2), pričom vo výsledku je dôležitý celkový kladný účinok (CKÚ), ktorý sa vypočíta podľa vzťahu (3).

$$KÚ = \sum_{i=1}^k m_i \quad (1)$$

$$ZÚ = \sum_{i=1}^j n_i \quad (2)$$

$$CKÚ = KÚ + ZÚ \quad (3)$$

Optimálne riešenie, resp. variant je návrh, ktorý dosiahol max. hodnotu CKÚ, ktorý sa vypočíta podľa vzťahu (4).

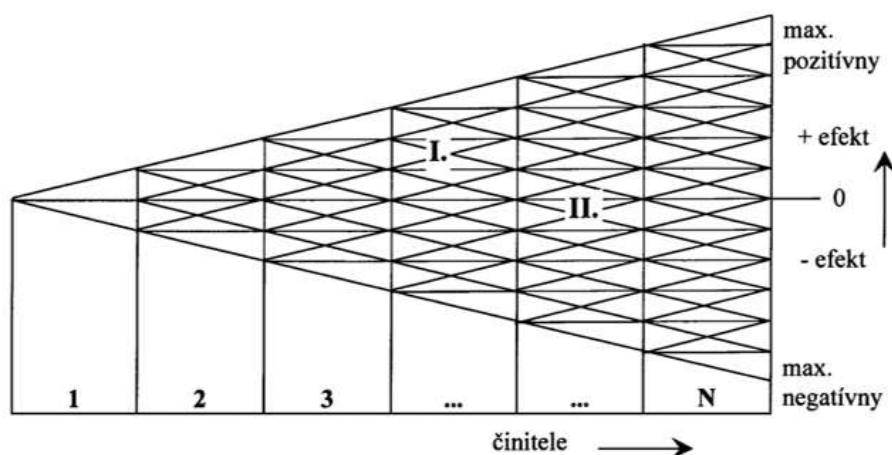
$$OV = \max(+CKÚ) \quad (4)$$

### C. Metóda výsledného efektu

Metóda výsledného efektu je založená na úvahe, či efekt alternatívneho riešenia bude pozitívny, negatívny, alebo nenadobúda žiadny efekt. Pri procese hodnotenia jednotlivých prvkov, ich efekt môže nadobúdať aj vyššie hodnoty ako je 1, čím je definovaná aj váha jednotlivých kritérií, a to ako:

1. Pozitívny efekt → (+)
2. Neprináša efekt → (=)
3. Negatívny efekt → (-)

Jednotlivé efekty a k nim pridelené váhy sú zaznamenávané do tzv. siete efektov (obr. 6). Rovnako, ako pri predchádzajúcej metóde je prínosom aj prihliadanie na negatívne efekty jednotlivých porovnávacích kritérií. Optimálne riešenie, resp. variant je návrh, ktorý dosiahol max. hodnotu pozitívneho efektu.

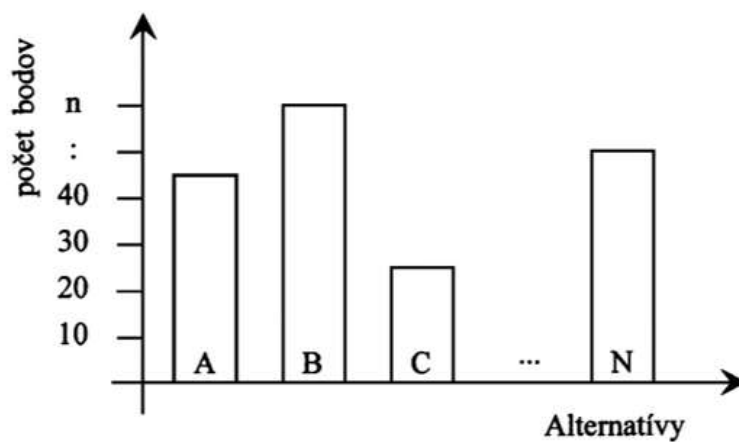


Obr. 6 Hodnotiaca sieť výsledného efektu

### D. Histogramova metóda

Metóda histogramova vychádza z princípu bodovacej metódy. Rovnako sa realizuje opakovaním operácií, ako sú návrh a výber kritérií, voľba meradla kritérií, určovanie jednotlivých hodnôt kritérií, spracovanie hodnôt do celkovej hodnoty a v závere je to rozhodnutie o optimálnom variante.

Hodnotenie a výber optimálneho riešenia sa spracúva do histogramu (obr. 7). Ak na základe stanovených kritérií vo výsledku metóda stanovuje viac riešení s rovnakým počtom bodov, pridávajú sa ďalšie kritéria s cieľom stanovenia jedného riešenia s najvyšším počtom bodov, resp. s najvyšším stĺpcom.



**Obr. 7 Výber optimálneho riešenia aplikáciou histogramovej metódy**