

# PLÁNOVÁNÍ PALBY

## na samočinném počítači

Podplukovník Miroslav Š k o p, podporučík Ivan K o r e c — promovaný matematik

### Automatizace plánování palby

Automatizace plánování a vedení boje s nepřítelem, zvláště s prostředky JN musí být natolik účinná, aby dávala automatizovaným prvkům, řídícím bojovou činnost, dostatečně přesné údaje k vlastnímu řízení bojové činnosti.

V období přípravy, plánování a organizace bojové činnosti je nutné shromažďovat a zpracovávat tyto informace:

- údaje o nepříteli, zvláště počty prostředků jaderného napadení, takticko-technická data prostředků, rozmístění, pravděpodobné způsoby vedení bojové činnosti apod.

- údaje o vlastních jednotkách, tj. počty, takticko-technická data, bojové možnosti,

- vlivy počasí na plnění úkolu, denní a noční doba.

Na základě těchto údajů můžeme získat návrh na

- efektivní a ekonomické využívání jednotlivých druhů palebných prostředků,

- nejvýhodnější členění vlastní bojové sestavy,

- optimální řešení celkového zámyslu vedení boje s nepřítelem, zvláště s jeho prostředky JN.

Rozsah řešení těchto otázek bude na jednotlivých stupních velení rozdílný.

Řešit uvedené úkoly jako celek by bylo v počátečním období zpracování jednotlivých automatizovaných oblastí příliš rozsáhlé. Z tohoto důvodu řešíme celý úkol automatizace palby formou dílčích úloh, z nichž jednu — operační plánování palby — ve své obecné formě popíšeme.

### Operační plánování palby

K tomuto úkolu bylo zadáno, že máme m..... palebných prostředků a n..... nepřátelských cílů. Cíle jsou obecně různé důležitosti a dle toho rozděleny do 5 kategorií. Jako první úkon zjistíme možnost střelby libovolným prostředkem na libovolný cíl a bude-li střelba možná, vypočítáme ukazatel účinnosti palby a to pro bodové cíle „P“ — pravděpodobnost zasažení cíle a „SO“ — pro plošné (skupinové) cíle — spolehlivě zasaženou část plochy cíle. Takto zjištěné údaje uspořádáme do tvaru tabulky.

V řádcích píšeme palebné prostředky, ve sloupcích cíle. Do jednotlivých okének buď nuly, není-li možná palba příslušným prostředkem na příslušný cíl, aneb je tak zapsán ukazatel účinnosti palebného prostředku na daný cíl (P nebo SO).

Nyní máme určit každému palebnému prostředku jeden cíl k ničení tak, aby celková efektivnost palby byla co největší. Při řešení úlohy jsme dále omezili tím, že každý prostředek může ničit nejvíc jeden

| čís.<br>cíl                | n <sub>1</sub> | n <sub>2</sub> | ...n-1 | n |
|----------------------------|----------------|----------------|--------|---|
| čís.<br>pal.<br>prostředku |                |                |        |   |
| m <sub>1</sub>             |                |                |        |   |
| m <sub>2</sub>             |                |                |        |   |
| m-1                        |                |                |        |   |
| m                          |                |                |        |   |

cíl a každý cíl může být ničen nejvíc jedním prostředkem.

Je možné, že při respektování tohoto požadavku budou některé prostředky ničit cíle, na které mají mnohem menší efektivnost palby než je jejich maximální. Je dokonce možné, že nebudou vůbec ničit žád-

## Operační umění a taktika

Podplukovník Miroslav Š k o p,  
podporučík Ivan K o r e c,  
promovaný matematik

ný cíl, i když by měly možnost. Vyplývá to z toho, že chceme dosáhnout maximální efektivnost palby celého palebného pod-systému a to velmi často není možné do-sáhnout při maximální efektivnosti jednotlivých palebných prostředků.

### Příklad 1

Předpokládáme, že máme dva cíle A, B stejně nebezpečnosti a dva palebné prostředky 1, 2. Podle vypočítaných ukazatelů účinnosti tabulka vypadá takto:

| pal. prostř. | cíl |    |
|--------------|-----|----|
|              | A   | B  |
| 1            | 90  | 70 |
| 2            | 70  | 20 |

Kdybychom v tomto případě chtěli, aby efektivnost palby prvního prostředku byla maximální, musel by druhý prostředek ničit cíl B s efektivností palby jen 20 %. Proto je výhodnější, aby první prostředek ničil cíl B a druhý prostředek cíl A.

### Příklad 2

Předpokládáme, že máme dva cíle A, B, přičemž cíl A je mnohem nebezpečnější (např. prostředek JN v pal. postavení) než cíl B a dva palebné prostředky a příslušná tabulka je stejná jako v příkladě 1. Tentokrát bude výhodnější cíl A ničit s efektivností palby 90 % i když se tím značně sníží efektivnost palby na cíl B, tj. 20 %.

### Příklad 3

Předpokládáme, že máme čtyři cíle stejné důležitosti A, B, C, D, a čtyři palebné prostředky 1, 2, 3, 4.

Příslušná tabulka vypadá takto:

| pal. prostř. | cíl |    |    |    |
|--------------|-----|----|----|----|
|              | A   | B  | C  | D  |
| 1            | 70  | 0  | 0  | 0  |
| 2            | 90  | 60 | 0  | 0  |
| 3            | 0   | 90 | 60 | 0  |
| 4            | 0   | 0  | 90 | 70 |

Nyní se můžeme rozhodnout dvěma způsoby: buď bude prostředek 2 ničit cíl A, prostředek 3 cíl B a prostředek 4 ničit cíl C; cíl D nebude ničen vůbec; anebo bude prostředek 1 ničit cíl A, prostředek 2 cíl B, prostředek 3 cíl C a prostředek 4 cíl D. Výhodnější je v tomto případě druhý způsob, i když součet  $70+60+60+70 = 260$  je menší než  $90+90+90 = 270$ .

### Příklad 4

Předpokládáme, že situace je stejná jako v příkladě 3 a že cíl D je mnohem méně důležitý než cíle A, B, C. V takovém případě je výhodnější volit první způsob, při němž není využit prostředek číslo 1 a není pokryt cíl D, i když prostředek 1 mohl ničit cíl A s ukazatelem efektivnosti 70 %. Zde se opět projevuje rozpor mezi požadavkem efektivního využití jednoho prostředku a požadavkem efektivnosti využití celého palebného pod-systému.

### Příklad 5

Předpokládáme, že máme dva cíle A, B stejné důležitosti a tři palebné prostředky 1, 2, 3.

Tabulka hodnot po vyplnění:

| pal. prostř. | cíl |    |
|--------------|-----|----|
|              | A   | B  |
| 1            | 80  | 40 |
| 2            | 50  | 70 |
| 3            | 40  | 70 |

V tomto případě je výhodné, aby první prostředek ničil cíl A. K použití pal. prostředku 2 nebo 3 na cíl B bude opět vyhovující nižší kilotonáž při zachování stejné efektivnosti palby.

Z příkladů je patrné, že kromě zvolených ukazatelů efektivnosti palby (jednotlivých prostředků na jednotlivé cíle) je rozhodující i důležitost jednotlivých cílů a kilotonáž jednotlivých palebných prostředků. Pro potřeby plánování palby bylo zvoleno celkem 5 důležitostí. Cíle s nižším číslem budeme pokládat za důležitější (a to mnohokrát) než cíle v kategorii s vyšším číslem. Z příkladů 1–5 je vidět, že za kritérium optimálnosti využití palebného pod-systému je výhodné vzít:

1. počet pokrytých cílů první kategorie,
2. součet ukazatelů účinnosti palby na cíle první kategorie,
3. počet pokrytých cílů druhé kategorie,
10. součet ukazatelů účinnosti palby na cíle páté kategorie,
11. celkově spotřebovanou kilotonáž.

Přitom v prvním až desátém bodu je nutné udanou funkci maximalizovat, v 11. bodu minimalizovat. Kritéria bereme ve stanoveném pořadí; bod 1 je důležitější než bod 2, bod 2 důležitější než bod 3 atd.

V takovéto formě je kritérium optimálnosti využití palebných prostředků (raket a letectva) nevhodné k metodě lineárního programování. Z takto zvolených kritérií je nutné odvodit nově, jednodušší. Při tomto odvozování pro větší názornost nebude toto uvedeno v kódu samočinného počítače tj. dvojkově, ale použijeme obvyklou desítkovou soustavou a konstanty budou podle možnosti mocniny čísla 10 aneb aspoň jejich násobky s malými celými čísly. V daném případě nemají tyto úpravy vliv na podstatu problému.

Úlohu plánování palby je vhodné řešit jako dopravní problém. Aby se nám však nevyskytovaly záporné sazby, nebudeme příslušnou účelovou funkci (kterou ještě neznáme, ale kterou budeme v dalším hledat) minimalizovat, ale maximalizovat.

V přípravě jednoho palebného prostředku a jednoho cíle je ukazatel efektivity palby současně vhodným ukazatelem optimálnosti využití palebného prostředku. Stejně je to i v případě jednoho palebného prostředku a více cílů stejné důležitosti. Na uvedených příkladech jsme ukázali, že součet ukazatele efektivity palby nedává obraz o optimálnosti využití palebného pod systému. Proto je nutné ukazatele efektivity palby přepočítat na takový ukazatel optimálního využití palebného prostředku, aby součet nových ukazatelů pro jednotlivé palebné prostředky byl kritériem optimálnosti využití palebného pod systému.

Předpokládáme nejprve zjednodušení, že všechny cíle jsou stejně důležité (bez ohledu na použitou kilotonáž). K ukazateli efektivity přidáme 1000, aby tento uka-

zatel byl nenulový a sestavíme znovu příklad 3.

| pal. prostř. | cíl  |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|
|              | A    | B    | C    | D    |
| 1            | 1070 | 0    | 0    | 0    |
| 2            | 1090 | 1060 | 0    | 0    |
| 3            | 0    | 1090 | 1060 | 0    |
| 4            | 0    | 0    | 1090 | 1070 |

Maximální součet nových ukazatelů dosáhneme tehdy, bude-li prostředek číslo 1 řídit cíl A, prostředek 2 cíl B atd. Toto řešení je skutečně nejvýhodnější. V případě, že počet cílů nepřevyšuje 10, tento způsob zaručuje se 100 % jistotou optimální využití palebného pod systému podle kritérií, které jsme zvolili.

Pro větší počet už sice nezaručuje optimální využití se 100 % jistotou, ale s pravděpodobností více než postačující (zvýšením konstanty 1000 např. na 10 000 by byl způsob zaručeně správný až do 100 cílů).

Protože však můžeme pochybovat o tom, zda je třeba striktně dodržovat zásadu pokrytí maximálního počtu cílů i za cenu velkého zmenšení P nebo SO (viz kritéria 1–2, 3–4 atd.), bude výhodnější tuto konstantu snížit.

Všimněme si ještě jednou příkladu 4, ke kterému patří tabulka ukazatelů efektivity palby (stejná jako u příkladu 3), ale cíl D je menší důležitosti než cíle A, B, C, které mají stejnou důležitost. Jejich větší důležitost vyjádříme tím, že v nové tabulce efektivity palby vynásobíme jejich připravenou hodnotu číslem 100. Nová tabulka bude tedy vypadat takto:

|   | A       | B       | C       | D    |
|---|---------|---------|---------|------|
| 1 | 107 000 | 0       | 0       | 0    |
| 2 | 109 000 | 106 000 | 0       | 0    |
| 3 | 0       | 109 000 | 106 000 | 0    |
| 4 | 0       | 0       | 107 000 | 1070 |

V tomto případě dosáhneme nejvyšší hodnotu součtu ukazatelů optimálnosti tehdy, ničí-li druhý prostředek cíl A, třetí prostředek cíl B a čtvrtý prostředek cíl C. Toto je v souladu s původním rozбором kladu 4.

Vhodnost konstanty 100 závisí od toho, kolikrát jsou důležitější cíle A, B, C v posouzení s cílem D. Stejně jako dříve můžeme konstatovat, že (jak je mezi důležitostí cíle D a důležitostí cíle A, B, C rozdíl jedné kategorie) je výhodnější konstantu 100 snižovat než zvyšovat.

V našem případě se však vyskytují cíle více kategorií. Zvolíme proto pro každou kategorii nějaké číslo, kterým budeme násobit číslo 1000 + ukazatel účinnosti palby v procentech.

Např. pro pět kategorií bychom mohli volit čísla

|                |                   |
|----------------|-------------------|
| I. kategorie   | 10, 000, 000, 000 |
| II. kategorie  | 100, 000, 000     |
| III. kategorie | 1, 000, 000       |
| IV. kategorie  | 10, 000           |
| V. kategorie   | 100               |

Nemusíme se přitom obávat velkých čísel. Jsou sice nepraktická pro ruční výpočet, ale stroj s nimi počítá stejně rychle jako s malými. Jediná podmínka, kterou musíme splnit, je nepřekročit rozsah stroje. Pro poslední kategorii jsme zvolili číslo 100 proto, abychom mohli správně uvážít kilotonáž. S takto uvedenými ukazateli optimálnosti vzali jsme již v úvahu všechna kritéria kromě kritéria minimální spotřeby kilotonáže. Předpokládáme, že používáme kilotonáže 10, 50, 100, 300 a 500 kt. Nejprve vydělíme všechny uvedené kilotonáže 5, abychom dostali čísla do 100. Obdržíme čísla 2, 10, 20, 60, 100. Převědeme ještě tento údaj o kilotonáži tak, abychom jeho přičítáním k sestaveným ukazatelům optimálnosti dostali nového ukazatele, který by již zahrnoval všechny požadavky včetně minimální spotřeby kilotonáže. Protože ostatní ukazatelé se maximalizovaly, musí se maximalizovat i tento poslední. Nebudeme proto připočítávat čísla 2, 10, 20, 60 a 100, ale čísla  $100 - 2 = 98$ ,  $100 - 10 = 90$  až  $100 - 100 = 0$ . Na tato čísla je možno pohlížet jako na „úspornou kilotonáž“ vzhledem k „maximální možné spotřebě“ (za předpokladu, že by všechny prostředky používaly kilotonáž 500 kt).

Za předpokladu, že

1. víme o každém palběm prostředku X a každém cíli Y, zda může palběný prostředek X působit na cíl Y a známe ukaza-

tele efektivity palby každého palběného prostředku,

2. známe kategorii důležitosti u všech cílů,

3. známe používání kilotonáže všech palběných prostředků vypočteme takové ukazatele optimálnosti využití palběných prostředků na jednotlivé cíle, že jejich součet je ukazatelem optimálnosti využití celého palběného podsystemu. Tímto se nám podařilo přenést úlohu plánování palby na úlohu lineárního programování. Důležité přitom je, že ukazatel optimálnosti použití palběného prostředku X na cíl Y závisí jen od údajů o tomto palběm prostředku a nepřátelském cíli. Z toho např. vyplývá, uvažujeme-li jen část palběných prostředků, v původní tabulce uvažovat jen řádky, v kterých jsou tyto palběné prostředky. Obdobně bychom mohli uvažovat jen část cílů tím, že bychom brali k nim patřící sloupce. Obou omezení můžeme popřípadě využít současně.

V případě, že bylo možno použít palběný prostředek na určitý cíl, uskutečňovali jsme s ukazatelem efektivity palby tyto operace, abychom z něho dostali vhodné ukazatele optimálnosti využití palběného podsystemu:

1. připočítání konstanty  $K = 1000$ ,  
2. vynásobení konstantou  $L = 100, 100^2, 100^3, 100^4$ , neb  $100^5$  v závislosti od kategorie cíle,

3. připočtení „ukazatele úsporné kilotonáže“  $q$ .

Tyto operace můžeme vyjádřit vzorcem:

$$I_0 = (K + f) \cdot L + q.$$

Vzniká otázka, zda by nebylo výhodnější popřípadě při jiných hodnotách konstant  $K, L, q$ , nějak zaměnit pořadí operací 1, 2, 3. Ukážeme nyní, že toto není vhodné.

Plati:

$$10 = L \cdot K + L \cdot f + q$$

Záměnami pořadí operací mohli bychom dostat ještě tyto hodnoty:

$$11 = L \cdot f + K + q$$

$$12 = L \cdot K + L \cdot f + L \cdot q$$

$$13 = K + L \cdot f + L \cdot q$$

Chceme-li dosáhnout minimální součet spotřebované kilotonáže, nesmíme jednotlivé sčítance  $q$  násobit různými konstantami. Kdybychom tak učinili např. při zvolených hodnotách  $L$ , tak bychom mnohem častěji ničili cíl nejmenší důležitosti ráží 500 kt, než cíl největší důležitosti ráží 3 kt, což by bylo nesprávné. Proto nejsou

vhodné ukazatele 12 a 13. Ukazatel 11 je zase nevhodný proto, poněvadž zvolíme-li konstantu  $K$  příliš velkou, bude převládá nad sčítancem  $L \cdot f$ , tj., že metoda bude maximalizovat v první řadě počet pokrytých cílů bez ohledu na kategorii.

To by nebylo správné a není také cílem řešení. Nepřevládá-li ale nad sčítancem  $L \cdot f$  (toto přichází v úvahu hlavně u cílů první kategorie), metoda nemaximalizuje počet pokrytých cílů v první kategorii, ale součet ukazatelů efektivnosti palby, a toto není rovněž naším cílem. Nejvýhodnější je ukazatel 10. Zvolíme-li konstantu věty  $K$ ,  $L$  dostatečně velkou, zabezpečí tento ukazatel optimálnosti splnění požadovaných kritérií 1–11 pro palebný podsystém obsahující např. až 50 palebných prostředků a libovolný počet cílů.

Tímto jsme převedli úlohu plánování palby na distribuční problém lineárního programování. Po formulaci tohoto problému ve speciální formě, kterou potřebujeme, uvedeme některé metody řešení tohoto problému. Při zavádění těchto metod je třeba hodnotit jejich vhodnost pro náš problém. Metody popíšeme bez nároků na matematickou přesnost, ale přitom tak, abychom pomocí uvedených formulací mohli napsat přesné matematické formulace. Při popisování použijeme názvy, používané v lineárním programování k obecnějším problémům a metodám.

**Základní zadání:** Je dána tabulka (matice) s  $m$  řádkami a  $n$  sloupci. V jednotlivých prvcích tabulky jsou kladná čísla nebo nuly. Je třeba vybrat z tabulky několik prvků tak, aby

1. v každém řádku byl vybrán jeden prvek (okénko),
2. v každém sloupci byl vybrán nejvíce jeden prvek (jedno okénko),
3. součet čísel ve vybraných okénkách byl maximální.

### Metody řešení

#### A. Metoda severozápadního rohu

Z tabulky vybereme prvek v prvním řádku a prvním sloupci, v druhém řádku a v druhém sloupci atd., pokud nevyčerpáme všechny řádky a všechny sloupce. Jinými slovy, vybereme prvky „na hlavní diagonále“.

Nevýhodnost této metody (pro samostatné použití) je zřejmá. Může se stát, že v hlavní diagonále jsou samé nuly, i když nad ní jsou velká čísla. Tato metoda se dá použít jen k hledání tzv. výchozí varianty.

#### B. Metoda maximálního prvku:

V tabulce najdeme okénko s největším číslem a vybereme je. Příslušný řádek a sloupec vyškrtáme. Mezi ostatními okénky najdeme okénko s největším číslem a vybereme je. Takto postupujeme, pokud je to možné. Tato metoda dává již lepší výsledky než metoda severozápadního rohu, ale také je vhodnější k sestrojení výchozí varianty.

#### C. Metoda indexová:

Okénko tabulky očíslovujeme čísly 1, 2, 3, ..., potom vybereme okénko číslo 1, vyškrtáme řádek a sloupec s tímto okénkem, vybereme ze zbývajících okének okénko s nejnižším číslem, vyškrtáme řádek a sloupec s tímto okénkem a takto postupujeme, pokud je to možné. Pokud jsou okénka očíslována, bez ohledu na to, jaká čísla jsou v tabulce, má tato metoda stejné nevýhody, jako metoda severozápadního rohu. Metoda indexová je výhodná jen při řešení mnoha úloh s tabulkou stejných rozměrů, přičemž čísla v jednotlivých okénkách se málo mění. Tento předpoklad není v našem případě splněn.

#### D. Metoda Vogelova:

V každém řádku a v každém sloupci zjistíme rozdíl dvou největších prvků. Mezi těmito rozdíly najdeme maximální a v příslušném řádku, resp. sloupci vybereme maximální prvek. Vyškrtáme řádek a sloupec s vybraným prvkem.

Zjistíme rozdíly maximálních prvků v nevyškrtnutých řádcích a sloupcích a obdobně jako předtím vybereme další prvek. Potom znovu vyškrtáme řádek a sloupec s vybraným prvkem a postupujeme obdobně až do vyškrtnutí všech řádků anebo sloupců.

Tato metoda dává už ve velké většině případů pro náš případ dosti přesné výsledky a je zvládnutelná samočinnými počítači, které jsou k dispozici, v přijatelném čase. V našem případě jsou však sloupcové rozdíly obvykle menší než řádkové a proto je výhodné omezit se na počítání řádkových rozdílů. To je časově značně úspornější. Bez podrobnějšího prozkoumání nelze říci, která z metod je výhodnější z hlediska přesnosti (pozn. je možné sestrojit příklady, v kterých dává původní Vogelova metoda lepší výsledky než upravená metoda, ale můžeme sestrojit i příklady, kde je to opačně). K plánování palby však zjednodušená Vogelova metoda vyhovuje.

Na jednom praktickém příkladu ukážeme metodu severozápadního rohu, meto-

# Operační umění a taktika

Podplukovník Miroslav Š k o p,  
podporučík Ivan K o r e c,  
promovaný matematik

du maximálního prvku a zjednodušenou Vogelovu metodu.

Příklad:

Máme cíle A, B, C, D 4. kategorie, cíle E, F 5. kategorie důležitosti; máme šest palebných prostředků, které mají kilotonáž 50, 10, 100, 300, 500 a 20 kt.

Tabulka ukazatelů účinnosti palby:

Metoda severozápadního rohu by přiřadila prvnímu palebnému prostředku cíl A, druhému cíl B atd., palbu by mohly uskutečnit pouze prostředky 1, 3, 5.

Ukazatel optimálnosti využití palebných prostředků by byl:

$$10,910.090 + 0 + 10,850.080 + 106.000 + 0 = 21,866.170.$$

Tuto úlohu budeme nyní řešit metodou

| paleb.<br>prostř. | onáž<br>tílo- | Cíl<br>kat.<br>díl. | A  | B  | C  | D  | E  | F  |
|-------------------|---------------|---------------------|----|----|----|----|----|----|
|                   |               |                     | 4  | 4  | 4  | 4  | 5  | 5  |
| 1                 | 50            |                     | 91 | 68 | 45 | 70 | 0  | 90 |
| 2                 | 10            |                     | 60 | 0  | 55 | 0  | 20 | 0  |
| 3                 | 100           |                     | 63 | 65 | 85 | 80 | 60 | 90 |
| 4                 | 300           |                     | 72 | 0  | 80 | 0  | 0  | 80 |
| 5                 | 500           |                     | 20 | 0  | 0  | 20 | 60 | 70 |
| 6                 | 20            |                     | 15 | 0  | 30 | 15 | 0  | 9  |

V takto upravené tabulce máme zachyceny všechny údaje potřebné k zjištění ukazatele optimálnosti využití palebného prostředku.

Vypočítáme např. ukazatel optimálnosti využití 1 palebného prostředku na cíl A.

$$K = 10.000; L = 1.000, q = 90, f = 91,$$

$$10 = L \cdot K + L \cdot f + q = 10.000.000 + 910.000 + 900 = 10,910.090.$$

Vypočítáme ještě ukazatel optimálnosti využití 5. palebného prostředku na cíl E.

$$V \text{ tomto případě je } K = 1.000, L = 100, q = 95, f = 60$$

$$10 = L \cdot K + L \cdot f + q = 100.000 + 9.100 + 95 = 109.195.$$

Není-li  $f$  udáno, je  $10 = 0$ .

Po výpočtu zadaná matice vypadá takto:

maximálního prvku. Největší číslo v celé tabulce je v prvním řádku a v pravém sloupci, tj. 10,910.090. Největší číslo v části tabulky bez prvního řádku a prvního sloupce je v třetím řádku a v třetím sloupci, tj. 10,850.080.

Po vynechání i třetího sloupce a třetího řádku (při ručním výpočtu) je největší číslo 10,200.000 v pátém řádku a ve čtvrtém sloupci. Dále bychom vzali prvek ve čtvrtém řádku a šestém sloupci (108.040) a potom prvek v druhém řádku a pátém sloupci (102.098). Potom už můžeme vybrat jen prvek v šestém řádku a pátém sloupci; tento prvek je 0 a proto šestý prostředek nebude střílet. Ukazatel optimálnosti využití palebných prostředků v tomto případě je: 10,910.090 + 10,850.080 +

| Paleb.<br>prostř. | Cíl      |          |          |          |        |        |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|
|                   | A        | B        | C        | D        | E      | F      |
| 1                 | 10910090 | 10680090 | 10450090 | 10700090 | 0      | 109090 |
| 2                 | 10600098 | 0        | 10550098 | 0        | 102098 | 0      |
| 3                 | 10630080 | 10650080 | 10850080 | 10800080 | 106080 | 109080 |
| 4                 | 10730040 | 0        | 10800040 | 0        | 0      | 108040 |
| 5                 | 0        | 0        | 0        | 10200000 | 106000 | 107000 |
| 6                 | 10150096 | 0        | 10300096 | 10150096 | 0      | 0      |



| pal.<br>prostr. | cíl      | A        | B        | C        | D | E      | F      | I.     | II.      | III.     | IV.      | V.     |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|---|--------|--------|--------|----------|----------|----------|--------|
| 1               | 10910090 | 10680090 | 10450090 | 10700090 | 0 | 0      | 109090 | 210000 | -        | -        | -        | -      |
| 2               | 10600098 | 0        | 10550098 | 0        | 0 | 102098 | 0      | 50000  | 10448000 | 102098   | 102098   | 102098 |
| 3               | 10630080 | 10650080 | 10850080 | 10800080 | 0 | 106080 | 109080 | 50000  | 50000    | 150000   | 10541000 | -      |
| 4               | 10720040 | 0        | 10800040 | 0        | 0 | 0      | 108040 | 80000  | 10692000 | -        | -        | -      |
| 5               | 10200000 | 0        | 0        | 10200000 | 0 | 106000 | 107000 | 0      | 10033000 | 10093000 | 1000     | 1000   |
| 6               | 10150096 | 0        | 10300096 | 10150096 | 0 | 0      | 0      | 150000 | 150000   | 10150096 | -        | -      |

$$+ 10,200.000 + 108.840 + 102.098 + 0 = 32,170.308.$$

Nakonec ukážeme výpočet zjednodušenou Vogelovou metodou. K tomu si nakreslíme a vyplníme ještě jednu tabulku ukazatelů optimální využití palebných prostředků. V každém řádku najdeme dva největší prvky a jejich rozdíl napíšeme do prvního sloupce nové tabulky. Mezi těmito rozdíly najdeme největší. V našem případě je to rozdíl v prvním řádku. V tomto řádku vyhledáme největší číslo. V našem případě je to číslo v prvním sloupci tabulky. Dále vynecháme řádek a sloupec s vybraným prvkem a doplňujeme druhý sloupec za tabulkou (první řádek v našem případě již nedoplňujeme).

Největší rozdíl dostáváme v našem příkladu ve čtvrtém řádku. Z tohoto řádku vybereme maximální prvek (samozřejmě jen z nevyškrtnutých sloupců). Obdobně jako jsme doplnili druhý sloupec, doplníme i třetí, čtvrtý atd. Za každým doplňujeme v sloupci o jedno okénko méně než v předcházejícím (o okénko v tom řádku, ve kterém byl naposledy vybraný prvek). Až nám zůstane v tabulce jen jeden nevyškrtnutý sloupec, nezjišťujeme už rozdíl, ale vybereme v tomto sloupci maximální prvek, který je ještě v neobsazeném řádku. V našem případě je už jeden volný řádek a proto můžeme vzít jen prvek v pátém řádku a šestém sloupci.

Upravenou Vogelovou metodou jsme dostali tyto výsledky:

- |                       |       |
|-----------------------|-------|
| 1. palebný prostředek | Cíl A |
| 2. palebný prostředek | cíl E |
| 3. palebný prostředek | cíl B |
| 4. palebný prostředek | cíl C |
| 5. palebný prostředek | cíl F |
| 6. palebný prostředek | cíl D |

Tím jsme ukončili výpočet.

Je-li počet řádků tabulky (u nás počet palebných prostředků) nižší než počet sloupců (tj. cílů), obsadíme všechny řádky dříve než vyčerpáme všechny sloupce. V tomto případě ukončíme výpočet po obsazení všech řádků. Bude-li naopak počet sloupců tabulky nižší než počet řádků, ukončíme výpočet po obsazení všech sloupců.

Vypočítáme ještě ukazatel optimálnosti využití palebných prostředků při návrhu sestavením pomocí Vogelovy metody, tj.  $10,919.000 + 10,658.000 + 10,804.000 + 10,159.600 + 102.098 + 107.000 = 42,749.698.$

Ze tří použitých metod dala tedy nejlepší výsledek upravená Vogelova metoda.