

Martin Kanálik, Anastázia Margitová

## Optimalizácia nákladov na palivo tepelnej elektrárne v spolupráci s vodnou elektrárnou

Tento článok sa zaoberá hospodárnym rozdeľovaním zaťaženia (vyrobených činných výkonov) medzi jednu tepelnú a jednu vodnú elektrárňu. Cieľom hospodárneho rozdeľovania zaťaženia je zníženie nákladov na palivo potrebných na činnosť tepelnej elektrárne. V praktickej časti je prezentovaný principiálny výpočet optimálneho rozdelenia vyrobených činných výkonov medzi tepelnú a vodnú elektrárňu. Hlavným zámerom tejto publikácie je rozšírenie a detailnejšie vysvetlenie tejto problematiky, ktorá je súčasťou predmetu Optimalizácia prevádzky elektrizačnej sústavy.

Kľúčové slová: hospodárne rozdeľovanie zaťaženia; minimalizácia nákladov na palivo; tepelná elektrárňu; vodná elektrárňu; optimalizácia prevádzky elektrizačnej sústavy

This article deals with the economical distribution of the load (produced active power) between one thermal and one hydroelectric power plant. The aim of economical load distribution is to reduce the fuel costs required for the operation of a thermal power plant. The practical part presents the principal calculation of the optimal distribution of produced active power between the thermal and hydroelectric power plant. The main purpose of this publication is to expand and explain in more detail this issue, which is a part of the subject Optimization of power system operation. **(Optimization of fuel costs in a thermal power plant in cooperation with a hydroelectric power plant)**

Keywords: economical load distribution; reduction fuel costs; thermal power plant; hydroelectric power plant; optimization of power system operation

### ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A VELIČÍN

#### Skratky

ES	elektrizačná sústava
TE	tepelná elektrárňu
VE	vodná elektrárňu
OZE	obnoviteľný zdroj energie
DDZ	denný diagram zaťaženia
MLM	metóda Lagrangeových multiplikátorov
č.	číslo
VD	vývojový diagram

#### Veličiny

$P$	činný výkon (MW)
$P_I$	činný výkon na I. intervale DDZ (MW)
$P_{II}$	činný výkon na II. intervale DDZ (MW)
$P_{III}$	činný výkon na III. intervale DDZ (MW)
$P_{TE}$	činný výkon TE (MW)
$P_{TEI}$	činný výkon TE na I. intervale DDZ (MW)
$P_{TEII}$	činný výkon TE na II. intervale DDZ (MW)
$P_{TEIII}$	činný výkon TE na III. intervale DDZ (MW)
$\Delta P_{TEI}$	zmena činného výkonu TE na I. intervale DDZ (MW)
$P_{VE}$	činný výkon VE (MW)
$P_{VEI}$	činný výkon VE na I. intervale DDZ (MW)
$P_{VEII}$	činný výkon VE na II. intervale DDZ (MW)
$P_{VEIII}$	činný výkon VE na III. intervale DDZ (MW)

$\Delta P_{VEI}$	zmena činného výkonu VE na I. intervale DDZ (MW)
$N$	náklady na palivo TE za jednu hodinu (€/h)
$N_t$	náklady na palivo TE za určité časové obdobie (€)
$N_I$	náklady na palivo TE na I. intervale DDZ (€)
$N_{II}$	náklady na palivo TE na II. intervale DDZ (€)
$N_{III}$	náklady na palivo TE na III. intervale DDZ (€)
$b$	pomerný prírastok palivových nákladov TE (€/MWh)
$b_I$	pomerný prírastok palivových nákladov TE na I. intervale DDZ (€/MWh)
$b_{II}$	pomerný prírastok palivových nákladov TE na II. intervale DDZ (€/MWh)
$b_{III}$	pomerný prírastok palivových nákladov TE na III. intervale DDZ (€/MWh)
$\Delta b_{II}$	zmena pomerného prírastku palivových nákladov TE na II. intervale DDZ (€/MWh)
$\Delta b_{III}$	zmena pomerného prírastku palivových nákladov TE na III. intervale DDZ (€/MWh)
$V$	spotreba vody VE za jednu hodinu (m <sup>3</sup> /h)
$V_t$	spotreba vody VE za určité časové obdobie (m <sup>3</sup> )
$V_I$	spotreba vody VE na I. intervale DDZ (m <sup>3</sup> )
$V_{II}$	spotreba vody VE na II. intervale DDZ (m <sup>3</sup> )
$V_{III}$	spotreba vody VE na III. intervale DDZ (m <sup>3</sup> )
$V_{VE}$	celkové množstvo vody VE (m <sup>3</sup> )

$v$	pomerný prírastok spotreby vody VE ( $\text{m}^3/\text{MWh}$ )
$v_I$	pomerný prírastok spotreby vody VE na I. intervale DDZ ( $\text{m}^3/\text{MWh}$ )
$v_{II}$	pomerný prírastok spotreby vody VE na II. intervale DDZ ( $\text{m}^3/\text{MWh}$ )
$v_{III}$	pomerný prírastok spotreby vody VE na III. intervale DDZ ( $\text{m}^3/\text{MWh}$ )
$\Delta v_{II}$	zmena pomerného prírastku spotreby vody VE na II. intervale DDZ ( $\text{€/MWh}$ )
$\Delta v_{III}$	zmena pomerného prírastku spotreby vody VE na III. intervale DDZ ( $\text{€/MWh}$ )
$t$	časové/regulačné obdobie (h)
$t_I$	čas trvania I. intervalu DDZ (h)
$t_{II}$	čas trvania II. intervalu DDZ (h)
$t_{III}$	čas trvania III. intervalu DDZ (h)
$W_I$	bilancia činných výkonov na I. intervale DDZ (MW)
$W_{II}$	bilancia činných výkonov na II. intervale DDZ (MW)
$W_{III}$	bilancia činných výkonov na III. intervale DDZ (MW)
$\mathcal{Q}$	miera spotreby celkového množstva vody VE ( $\text{m}^3$ )
$\varepsilon$	presnosť výpočtu pre splnenie bilancie výkonov (MW)
$\xi$	presnosť výpočtu pre splnenie spotreby celkového množstva vody VE ( $\text{m}^3$ )
$\alpha$	Lagrangeov multiplikátor ( $\text{€/m}^3$ )
$l$	počet iterácií pre splnenie bilancie výkonov (–)
$k$	počet iterácií pre splnenie spotreby celkového množstva vody VE (–)

## I. ÚVOD

Pojem optimalizácia predstavuje výber jedného stavu z určitého súboru stavov, ktorý najviac spĺňa kladené podmienky, t. j. ide o výber najlepšej možnosti pri definovanom ciele. Medzi základné optimalizačné úlohy pri prevádzke ES patria [1]:

- minimalizácia nákladov na výrobu elektrickej energie pri dodržaní zadaného množstva a kvality elektrickej energie, taktiež zadanej spoľahlivosti ES (ekonomické hľadisko),
- minimalizácia činných strát v elektrickej sieti (tzv. optimalizácia režimov).

Medzi celkové náklady na výrobu elektrickej energie v ES patria [2]:

- náklady na palivo (sú závislé od rozdelenia výkonov),
- náklady na údržbu a opravy zariadení, materiál, mzdy atď. (sú nezávislé od rozdelenia výkonov).

Optimalizovať celkové náklady na výrobu elektrickej energie je teda možné realizovať minimalizovaním nákladov na palivo potrebných na činnosť TE. Spôsob znižovania nákladov na palivo TE spočíva v hospodárnom rozdeľovaní činných a jalových výkonov medzi niekoľko TE, ale aj medzi TE a VE, ktoré dokážu vyrábať elektrickú energiu získanú z OZE.

V kapitole II sú prezentované základné charakteristiky TE a VE vyjadrujúce vzťah medzi spotrebovaným množstvom paliva/vody a vyrobeným činným výkonom. V kapitole III je uvedený význam DDZ a vyjadrenie DDZ postačujúce na účely výpočtov v tomto

článku. Kapitola IV pojednáva o MLM vhodnej na riešenie hospodárneho rozdeľovania výkonov, ktorej podrobné odvodenie je uvedené v [1]. Kapitola V predstavuje hlavnú časť práce, v ktorej je uvedený princíp výpočtu optimálneho rozdelenia iba činných výkonov medzi TE a VE bez uvažovania strát v elektrickej sieti.

## II. CHARAKTERISTIKY TEPELNÝCH A VODNÝCH ELEKTRÁRNÍ

Vzťah medzi výrobou elektrickej energie v TE a prislúchajúcimi financiami investovanými do paliva je možné vyjadriť:

- nákladovou charakteristikou,
- charakteristikou pomerného prírastku palivových nákladov.

Nákladová charakteristika TE predstavuje závislosť nákladov na palivo za jednu hodinu od vyrobeného činného výkonu. Nákladovú charakteristiku je možné vyjadriť:

- analyticky, napríklad
- $$N = 1000 + 5P_{TE} + 0,15P_{TE}^2 + 0,0015P_{TE}^3, \quad (1)$$

- graficky (Obr. 1 prislúchajúci rovnici (1)).

Náklady na palivo za určité časové/regulačné obdobie je možné získať z nasledujúcej rovnice (vychádzajúca z rovnice (1)):

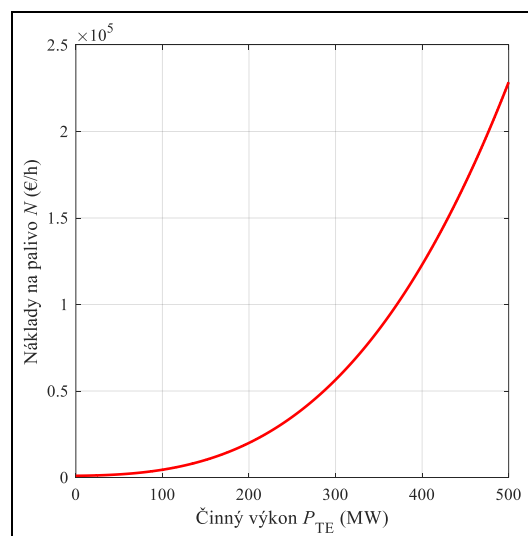
$$N_t = (1000 + 5P_{TE} + 0,15P_{TE}^2 + 0,0015P_{TE}^3)t. \quad (2)$$

Charakteristika pomerného prírastku palivových nákladov TE je definovaná ako závislosť pomerného prírastku palivových nákladov na výrobu jednej megawatthodiny elektrickej energie od vyrobeného činného výkonu. Túto charakteristiku je možné získať derivovaním nákladovej charakteristiky podľa činného výkonu. Charakteristiku pomerného prírastku palivových nákladov je možné vyjadriť:

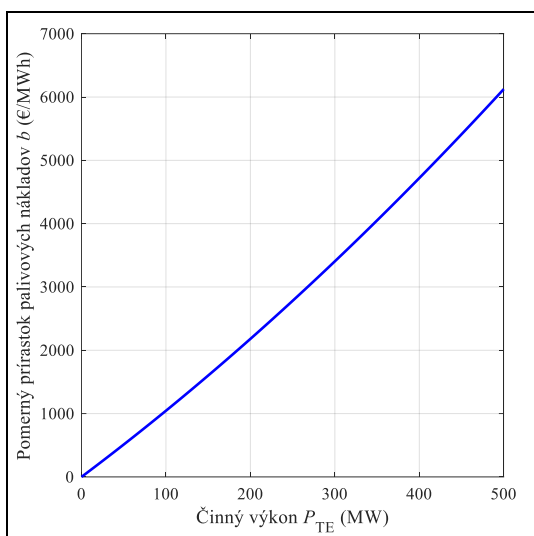
- analyticky (deriváciou rovnice (1))

$$b = \frac{\partial N}{\partial P_{TE}} = 5 + 0,3P_{TE} + 0,0045P_{TE}^2, \quad (3)$$

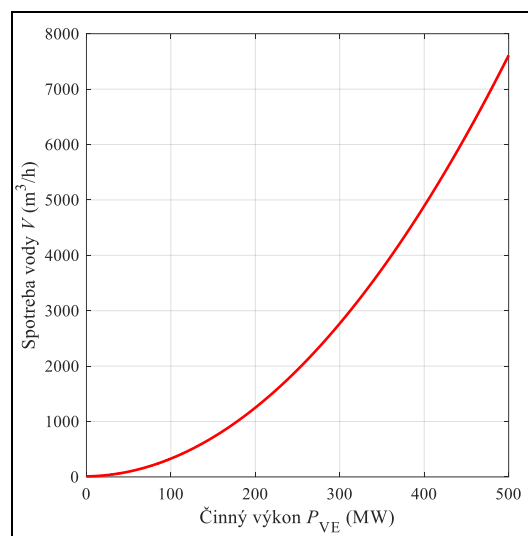
- graficky (Obr. 2 prislúchajúci rovnici (3)).



Obr. 1. Nákladová charakteristika TE.



Obr. 2. Charakteristika pomerného prírastku palivových nákladov TE.



Obr. 3. Spotrebná charakteristika vody VE.

Vzťah medzi výrobou elektrickej energie vo VE a prislúchajúcim spotrebovaným objemom vody je možné vyjadriť:

- spotrebnou charakteristikou vody,
- charakteristikou pomerného prírastku spotreby vody.

Každá VE môže spracovať iba obmedzené množstvo vody za dané regulačné obdobie. Zvyčajne je to jeden deň (24 hodín) a závisí to od hydrometeorologických podmienok. Ak je k dispozícii určité množstvo vody za dané regulačné obdobie, z ekonomického hľadiska je žiaduce, aby bolo v čo najväčšej miere využité. Aj optimálne (hospodárne) rozdeľovanie zaťaženia medzi TE a VE sa preto navrhuje pre dané regulačné obdobie.

Spotrebná charakteristika vody VE definuje závislosť spotreby vody za jednu hodinu od vyrobeného činného výkonu. Spotrebnú charakteristiku vody je možné vyjadriť:

- analyticky, napríklad
- $$V = 10 + 0,2P_{VE} + 0,03P_{VE}^2, \quad (4)$$

- graficky (Obr. 3 prislúchajúci rovnici (4)).

Spotrebu vody za určité časové/regulačné obdobie je možné získať z nasledujúcej rovnice (vychádza z rovnice (4)):

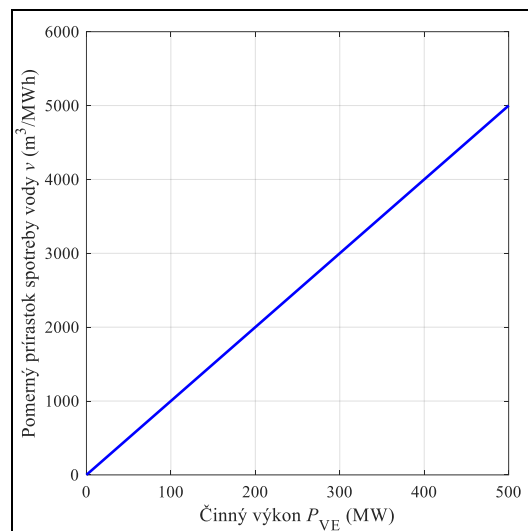
$$V_t = (10 + 0,2P_{VE} + 0,03P_{VE}^2)t. \quad (5)$$

Charakteristika pomerného prírastku spotreby vody VE predstavuje závislosť pomerného prírastku spotreby vody na výrobu jednej megawatt hodiny elektrickej energie od vyrobeného činného výkonu. Túto charakteristiku je možné získať derivovaním spotrebnej charakteristiky vody (podľa činného výkonu). Charakteristiku pomerného prírastku spotreby vody je možné vyjadriť:

- analyticky (deriváciou rovnice (4)),

$$v = \frac{\partial V}{\partial P_{VE}} = 0,2 + 0,06P_{VE}, \quad (6)$$

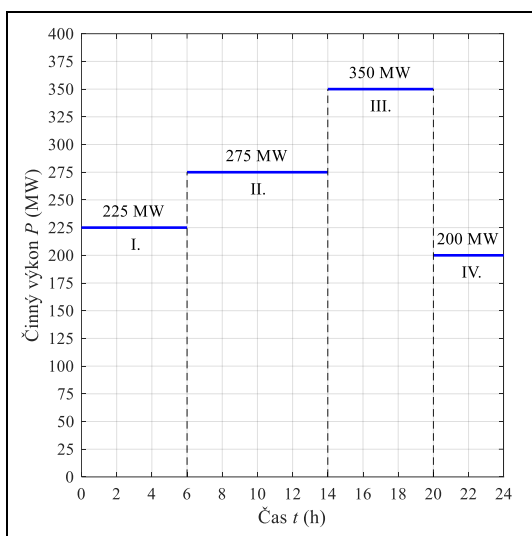
- graficky (Obr. 4 prislúchajúci rovnici (6)).



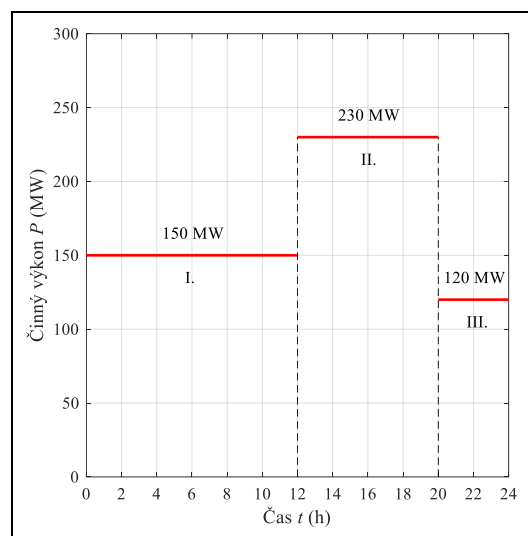
Obr. 4. Charakteristika pomerného prírastku spotreby vody VE.

### III. DENNÝ DIAGRAM ZAŤAŽENIA

Denný diagram zaťaženia (DDZ) vyjadruje časovú postupnosť zaťaženia v danej oblasti ES alebo jej časti v priebehu daného dňa (skúmané regulačné obdobie, 24 hodín). DDZ sa zvyčajne vyjadruje postupnosťou dvadsaťštyrihodinových hodnôt zaťaženia, ale môže byť vyjadrený aj po štvrt' hodinách, minútach či v päťsekundových intervaloch [2]. Zjednodušená podoba DDZ rozdeleného na štyri intervaly s konštantným zaťažením je uvedená na Obr. 5. Takéto vyjadrenie DDZ je postačujúce na účely výpočtov prezentovaných v tomto článku.



Obr. 5. DDZ pozostávajúci zo štyroch intervalov s konštantným zaťažením.



Obr. 7. DDZ pozostávajúci z troch intervalov s konštantným zaťažením.

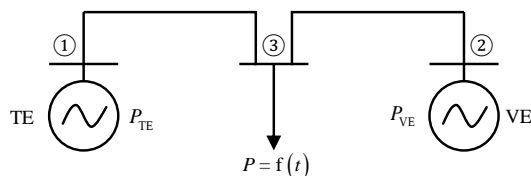
#### IV. METÓDA LANGRANGEOVÝCH MULTIPLIKÁTOROV NA HOSPODÁRNE ROZDEĽOVANIE ZAŤAŽENIA MEDZI TE A VE

Cieľom MLM je rozdeliť zaťaženie (v tomto prípade vyrobené činné výkony) medzi TE a VE tak, aby náklady na palivo TE boli minimálne. Hľadá sa teda minimum funkcie nákladov na palivo (t. j. nákladovej charakteristiky).

Určené vyrobené výkony nemôžu nadobúdať ľubovoľné hodnoty, ale sú obmedzené radom prevádzkových a väzobných podmienok. Musí byť zachovaná bilancia výkonov, t. j. výroba sa musí rovnať spotrebe (podmienka č. 1). Taktiež sa musí spotrebovať celkové množstvo vody VE, ktoré je k dispozícii za dané regulačné obdobie (podmienka č. 2). Ďalšou podmienkou je dodržanie tzv. Lagrangeovho kritéria, ktoré je bližšie popísané v kapitole V (podmienka č. 3).

#### V. PRINCIPIÁLNY VÝPOČET HOSPODÁRNEHO ROZDEĽOVANIA ZAŤAŽENIA MEDZI TE A VE

V tejto časti je prezentovaný principiálny výpočet hospodárneho rozdelenia zaťaženia, konkrétne vyrobených činných výkonov medzi jednu TE a jednu VE bez uvažovania strát v danej elektrickej sieti (Obr. 6). Tento typ príkladu je nutné riešiť iteračným spôsobom. Výpočet sa realizuje pre každý interval DDZ zvlášť. Pre každý interval DDZ musia byť splnené všetky podmienky (3) odvodené z MLM (kapitola IV).



Obr. 6. Principiálna schéma vyšetrovanej elektrickej siete.

Skúmaný denný DDZ je rozdelený na tri intervaly (Obr. 7):

- I. interval, zaťaženie 150 MW, trvanie 12 h,
- II. interval, zaťaženie 230 MW, trvanie 8 h,
- III. interval, zaťaženie 120 MW, trvanie 4 h.

Nech je:

- nákladová charakteristika TE:

$$N = 200 + 4P_{TE} + 0,075P_{TE}^2 + 0,001P_{TE}^3,$$

- spotrebná charakteristika vody VE:

$$V = 10 + 0,2P_{VE} + 0,03P_{VE}^2,$$

- celkové množstvo vody VE:  $V_{VE} = 12\,000\text{ m}^3$ ,

- presnosť výpočtu pre splnenie bilancie výkonov:  $\varepsilon = 10^{-5}\text{ MW}$ ,

- presnosť výpočtu pre splnenie spotreby celkového množstva vody VE:  $\xi = 10^{-5}\text{ m}^3$ .

Podľa metódy Langrangeových multiplikátorov musia byť pre prípad bez uvažovania strát splnené podmienky:

- bilancia výkonov na každom intervale DDZ:

$$W_I = P_{TEI} + P_{VEI} - P_I = 0,$$

$$W_{II} = P_{TEII} + P_{VEII} - P_{II} = 0,$$

$$W_{III} = P_{TEIII} + P_{VEIII} - P_{III} = 0,$$

- miera spotreby celkového množstva vody VE:

$$\Omega = V_I + V_{II} + V_{III} - V_{VE} = 0,$$

- Lagrangeovo kritérium:

$$\alpha = b_I/v_I = b_{II}/v_{II} = b_{III}/v_{III} = \text{konšt.}$$

Z MLM vyplýva, že hodnota Lagrangeovho multiplikátora musí byť konštantná pre každý interval DDZ. Musí byť teda konštantný pomer pomerného prírastku palivových nákladov TE a pomerného prírastku spotreby vody VE na každom intervale skúmaného regulačného obdobia. Multiplikátor taktiež vyjadruje zmenu nákladov na palivo TE v závislosti od zmeny spotreby vody VE. Čím menšia je hodnota multiplikátora, tým viac je využitá VE a naopak. Každá VE má vlastný multiplikátor (v tomto prípade je iba jedna VE).

Iteračný proces predstavuje metódu, pri ktorej sa opakovane používa určitá definovaná operácia/funkcia/rovnica s cieľom postupne sa priblížiť k skutočnému riešeniu (skutočnej hodnote danej neznámej alebo viacerých neznámych) s určitou presnosťou výpočtu. Proces tohto niekoľkonásobného opakovania sa nazýva iterovanie, počet opakovaní je definovaný pojmom iterácie. V každej iterácii sa na výpočet používajú hodnoty neznámych získané v predošlej iterácii. Aby bolo možné určiť hodnoty neznámych v predošlej iterácii, je nevyhnuté zvoliť počiatočné priblíženia neznámych, t. j. ich hodnoty v tzv. nulte iterácii. Iteračný proces teda prebieha až do momentu, pokiaľ sa výsledok iteračného výpočtu so zadanou presnosťou nezhoduje so skutočným riešením (skutočnou hodnotou odhadovanej neznámej veličiny, resp. viacerých veličín). Aby bolo možné splniť zadanú presnosť výpočtu (podmienku), musí sa realizovať úprava hodnôt predmetných veličín v každej iterácii.

V prípade príkladu uvedeného v tejto kapitole existuje viacero variantov riešenia. V tomto dokumente je pre splnenie bilancie výkonov prezentovaná úprava týchto veličín:

- pomerného prírastku palivových nákladov TE,
- pomerného prírastku spotreby vody VE.

Pre splnenie spotreby celkového množstva vody VE je možné upravovať nasledujúce veličiny:

- činný výkon TE,
- činný výkon VE.

Kombinovať úpravu veličín pre splnenie bilancie výkonov a splnenie spotreby celkového množstva vody VE je možné ľubovoľne. Existujú teda 4 spôsoby, akými je možné riešiť daný príklad. V tomto článku sú prezentované dva typy VD znázorňujúcich princíp výpočtu hospodárneho rozdelenia zaťaženia (vyrobených činných výkonov) medzi TE a VE bez uvažovania strát v elektrickej sieti, kde:

- VD č. 1 (Obr. 8, Obr. 9, Obr. 10) predstavuje variant riešenia zmenou činného výkonu TE a pomerného prírastku palivových nákladov TE.
- VD č. 2 (Obr. 11, Obr. 12, Obr. 13) predstavuje variant riešenia zmenou činného výkonu VE a pomerného prírastku spotreby vody VE.
- Zvyšné dva varianty nie sú uvedené.

Rovnice uvedené vo VD č. 1 a č. 2 nie sú kvôli vyššej prehľadnosti číslované. Namiesto toho sú nižšie k obom VD uvedené poznámky prislúchajúce číslam v kruhu znázorneným v daných VD. VD a ich jednotlivé časti sú z dôvodu veľkosti uvedené na konci dokumentu.

Poznámky k VD č. 1 pre variant úpravy činného výkonu TE a pomerného prírastku palivových nákladov TE:

- Okrem vstupných údajov sa na začiatku výpočtu určí počiatočné priblíženie činného výkonu TE na I. intervale DDZ (bod ① vo VD).
- Činný výkon VE na I. intervale sa vypočíta tak, aby bola splnená bilancia výkonov, čo zjednoduší výpočet (bod ② vo VD).
- Multiplikátor určený na I. intervale ostáva konštantný aj pre výpočet na II. a III. intervale (Lagrangeovo kritérium, bod ③ vo VD).

- Počiatočné priblíženia výkonov, pomerný prírastok palivových nákladov TE a pomerný prírastok spotreby vody VE na II. intervale sa volia sa rovnaké, ako na predošlom I. intervale (bod ④ vo VD). Bilancia výkonov v tomto prípade nebude splnená. Je potrebné upraviť hodnotu pomerného prírastku palivových nákladov TE. Ak  $l = 0$ , zmena pomerného prírastku palivových nákladov TE sa volí úvahou (bod ⑤ vo VD):

- ak  $W_{II}^{(0)} > 0$ , potom zaťaženie na II. intervale pokleslo oproti predošlému I. intervalu, je potrebné následne znížiť výrobu TE. Zníženie výroby TE je možné zabezpečiť znížením pomerného prírastku palivových nákladov TE o zvolenú zápornú hodnotu,
- ak  $W_{II}^{(0)} < 0$ , potom sa zaťaženie na II. intervale zvýšilo oproti predošlému I. intervalu, je potrebné následne zvýšiť výrobu TE. Zvýšenie výroby TE je možné zabezpečiť zvýšením pomerného prírastku palivových nákladov TE o zvolenú kladnú hodnotu.

- Od  $l > 0$  sa zmena pomerného prírastku palivových nákladov TE určuje podľa vzorca (bod ⑥ vo VD).

- Výpočet na III. intervale je obdobný ako na II. intervale (bod ⑦ vo VD).

- Po zabezpečení bilancie výkonov pre každý interval DDZ sa preveruje splnenie spotreby celkového množstva vody VE. Ak nie je splnená spotreba celkového množstva vody VE, je potrebné upraviť hodnotu činného výkonu TE na I. intervale. Ak  $k = 0$ , zmena činného výkonu TE sa volí úvahou (bod ⑧ vo VD):

- ak  $\mathcal{Q}^{(0)} > 0$ , potom bolo spotrebované väčšie množstvo vody, ako bolo k dispozícii počas skúmaného regulačného obdobia, VE bola príliš využitá, je potrebné následne zvýšiť výrobu TE o zvolenú kladnú hodnotu,
- ak  $\mathcal{Q}^{(0)} < 0$ , potom nebolo dostatočne spotrebované celkové množstvo vody VE, ktoré bolo k dispozícii počas skúmaného regulačného obdobia, VE bola nedostatočne využitá, je potrebné následne znížiť výrobu TE o zvolenú zápornú hodnotu.

- Od  $k > 0$  sa zmena činného výkonu TE určuje podľa vzorca (bod ⑨ vo VD).

- Na účely tohto článku je vyhovujúce voliť hodnoty pre zmenu pomerného prírastku palivových nákladov TE a zmenu činného výkonu TE v nulte iterácii rovné  $\pm 1$  (€/MWh, resp. MW).

Poznámky k VD č. 2 pre variant úpravy činného výkonu VE a pomerného prírastku spotreby vody VE:

- Okrem vstupných údajov sa na začiatku výpočtu určí počiatočné priblíženie činného výkonu VE na I. intervale DDZ (bod ① vo VD).
- Činný výkon TE na I. intervale sa vypočíta tak, aby bola splnená bilancia výkonov, čo zjednoduší výpočet (bod ② vo VD).
- Multiplikátor určený na I. intervale ostáva konštantný aj pre výpočet na II. a III. intervale (Lagrangeovo kritérium, bod ③ vo VD).
- Počiatočné priblíženia výkonov, pomerný prírastok palivových nákladov TE a pomerný prírastok spotreby vody VE na II. intervale sa volia sa rovnaké, ako na predošlom I. intervale (bod ④ vo VD). Bilancia výkonov v tomto prípade nebude splnená. Je potrebné upraviť hodnotu pomerného prírastku spotreby vody VE. Ak  $l = 0$ , zmena pomerného prírastku spotreby vody VE sa volí úvahou (bod ⑤ vo VD):

- ak  $W_{II}^{(0)} > 0$ , potom zaťaženie na II. intervale pokleslo oproti predošlému I. intervalu, je potrebné následne znížiť výrobu VE. Zníženie výroby VE je možné zabezpečiť znížením pomerného prírastku spotreby vody VE o zvolenú zápornú hodnotu,
- ak  $W_{II}^{(0)} < 0$ , potom sa zaťaženie na II. intervale zvýšilo oproti predošlému I. intervalu, je potrebné následne zvýšiť výrobu VE. Zvýšenie výroby VE je možné zabezpečiť zvýšením pomerného prírastku spotreby vody VE o zvolenú kladnú hodnotu.
- Od  $l > 0$  sa zmena pomerného prírastku spotreby vody VE určuje podľa vzorca (bod ⑥ vo VD).
- Výpočet na III. intervale je obdobný ako na II. intervale (bod ⑦ vo VD).
- Po zabezpečení bilancie výkonov pre každý interval DDZ sa preveruje splnenie spotreby celkového množstva vody VE. Ak nie je splnená spotreba celkového množstva vody VE, je potrebné upraviť hodnotu činného výkonu VE na I. intervale. Ak  $k = 0$ , zmena činného výkonu VE sa volí úvahou (bod ⑧ vo VD):
  - ak  $\Omega^{(0)} > 0$ , potom bolo spotrebované väčšie množstvo vody, ako bolo k dispozícii počas skúmaného regulačného obdobia, VE bola príliš využitá, je potrebné následne znížiť výrobu VE o zvolenú zápornú hodnotu,
  - ak  $\Omega^{(0)} < 0$ , potom nebolo dostatočne spotrebované celkové množstvo vody VE, ktoré bolo k dispozícii počas skúmaného regulačného obdobia, VE bola nedostatočne využitá, je potrebné následne zvýšiť výrobu VE o zvolenú kladnú hodnotu.
- Od  $k > 0$  sa zmena činného výkonu VE určuje podľa vzorca (bod ⑨ vo VD).
- Na účely tohto článku je vyhovujúce voliť hodnoty pre zmenu pomerného prírastku spotreby vody VE a zmenu činného výkonu VE v nulte iterácii rovné  $\pm 1$  ( $\text{m}^3/\text{MWh}$ , resp. MW).

## VI. ZÁVER

V tomto článku je podrobne opísaný princíp výpočtu hospodárneho rozdeľovania činných výkonov medzi TE a VE bez uvažovania strát v elektrickej sieti. Táto publikácia môže slúžiť ako návod na praktické cvičenie z predmetu Optimalizácia prevádzky elektrizačnej sústavy a taktiež na lepšie pochopenie danej problematiky.

## POĎAKOVANIE

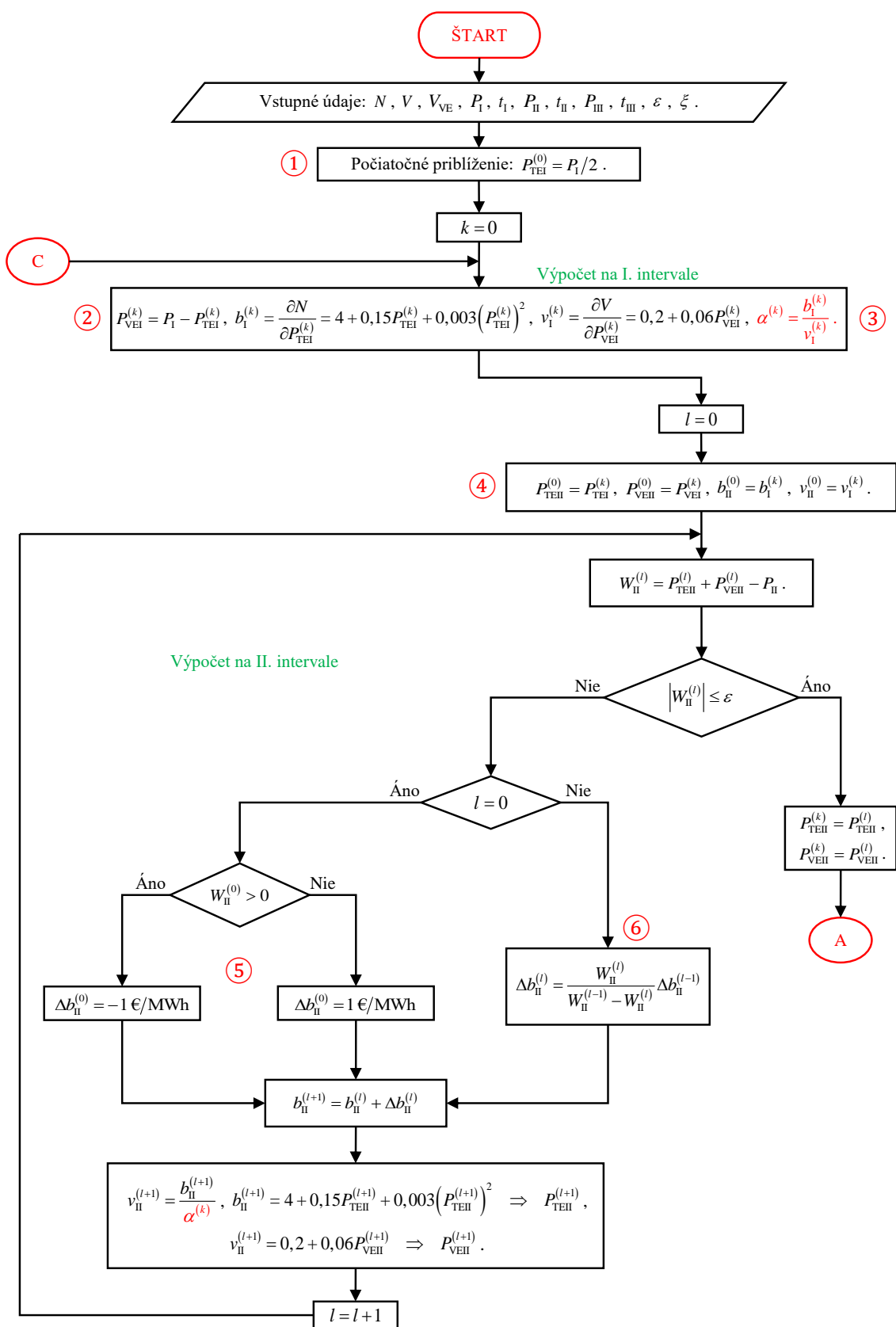
Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-19-0576.

## LITERATÚRA

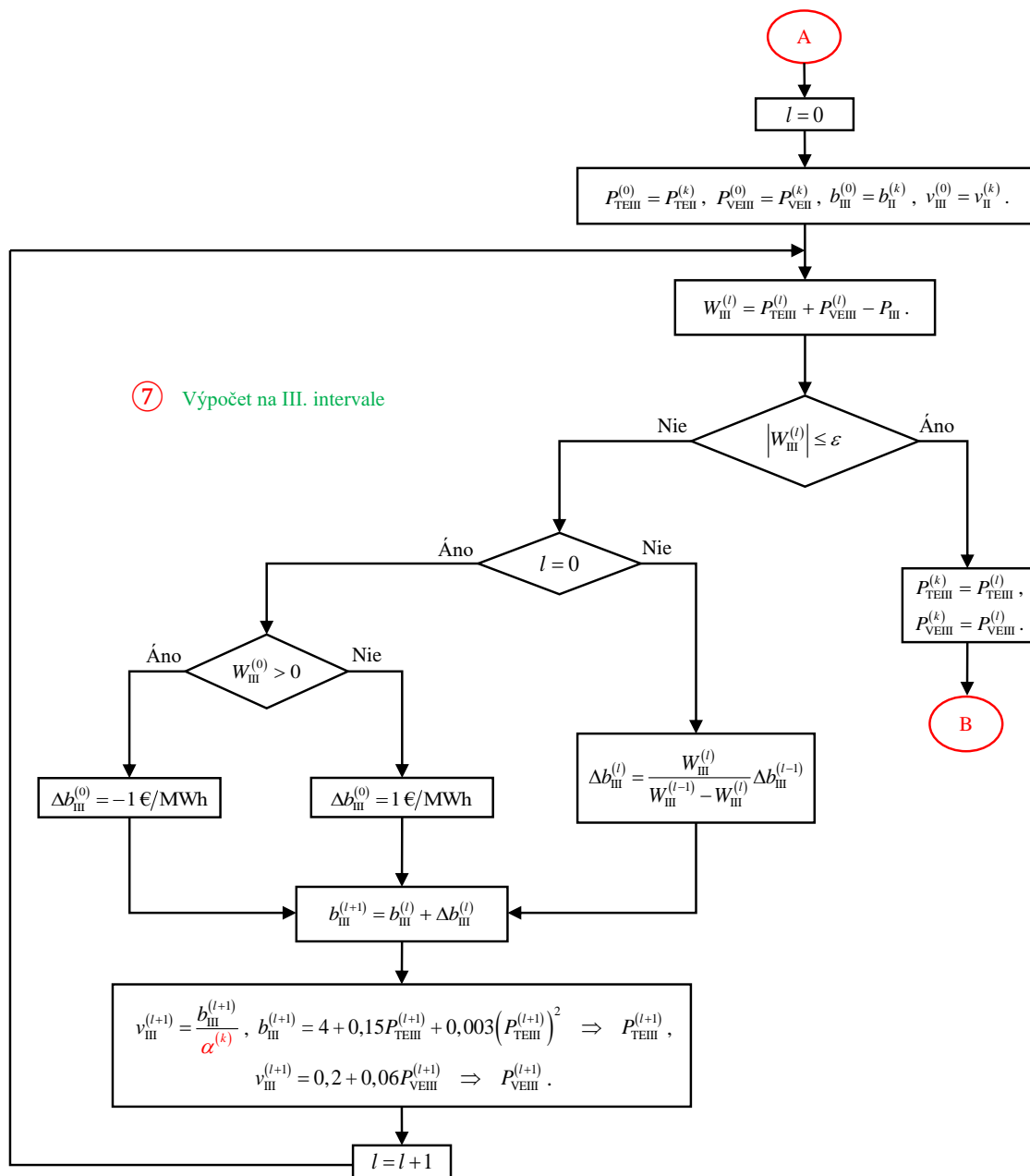
- [1] M. Kolcun, E. Beňa, and A. Mészáros, *Optimalizácia prevádzky elektrizačnej sústavy*. Košice: Technická univerzita, 2009.
- [2] M. Kanálik and J. Tomčík: *Prenos a rozvod elektrickej energie*. Košice: Technická univerzita, 2019.

## ADRESY AUTOROV

Martin Kanálik, Technická Univerzita v Košiciach,  
Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 042 10,  
Slovenská republika, [Martin.Kanalik@tuke.sk](mailto:Martin.Kanalik@tuke.sk)  
Anastázia Margitová, Technická Univerzita v Košiciach,  
Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 042 10,  
Slovenská republika, [Anastazia.Margitova@tuke.sk](mailto:Anastazia.Margitova@tuke.sk)

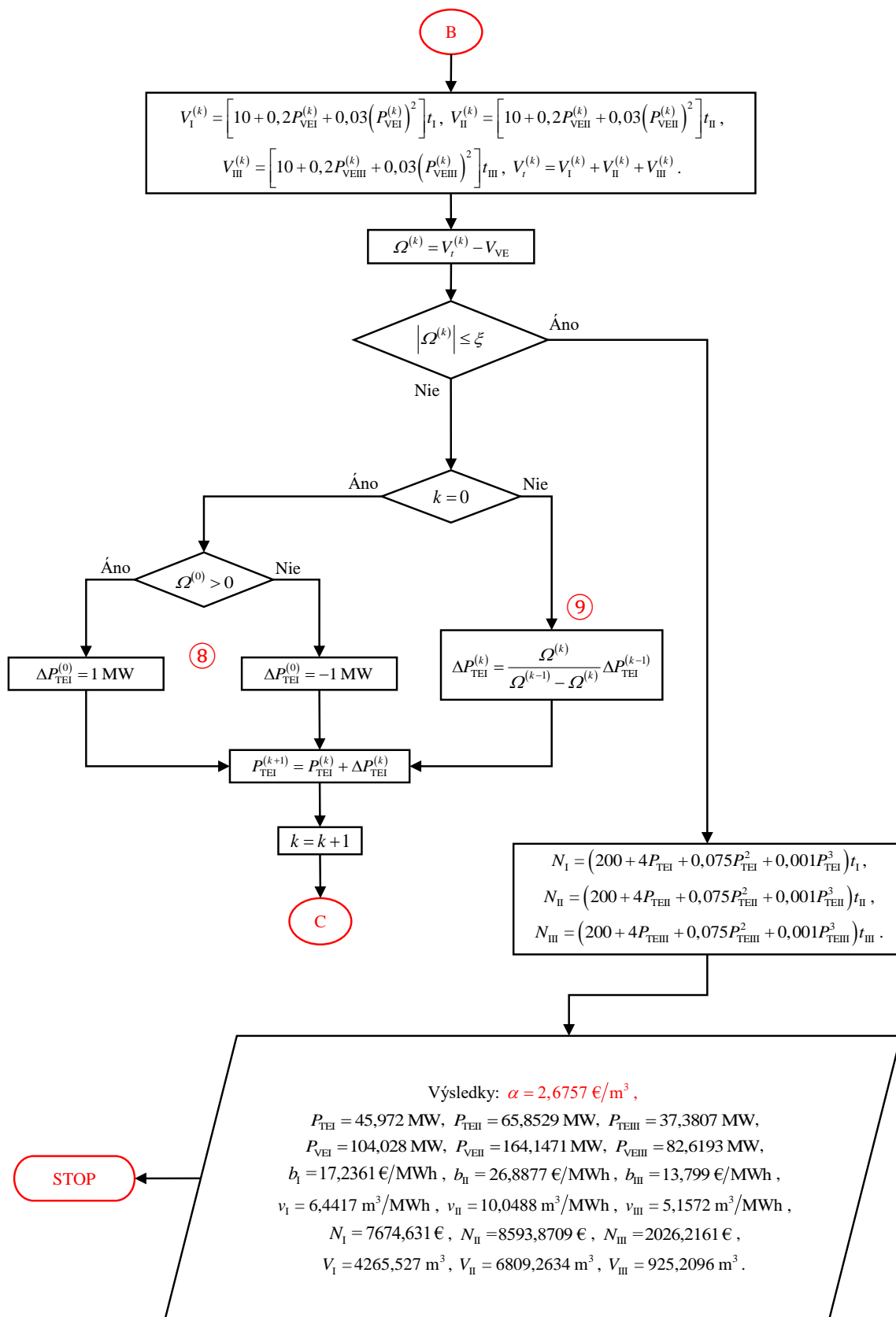


Obr. 8. VD č. 1 pre variant úpravy činného výkonu TE a pomerného prírastku palivových nákladov TE (časť 1).

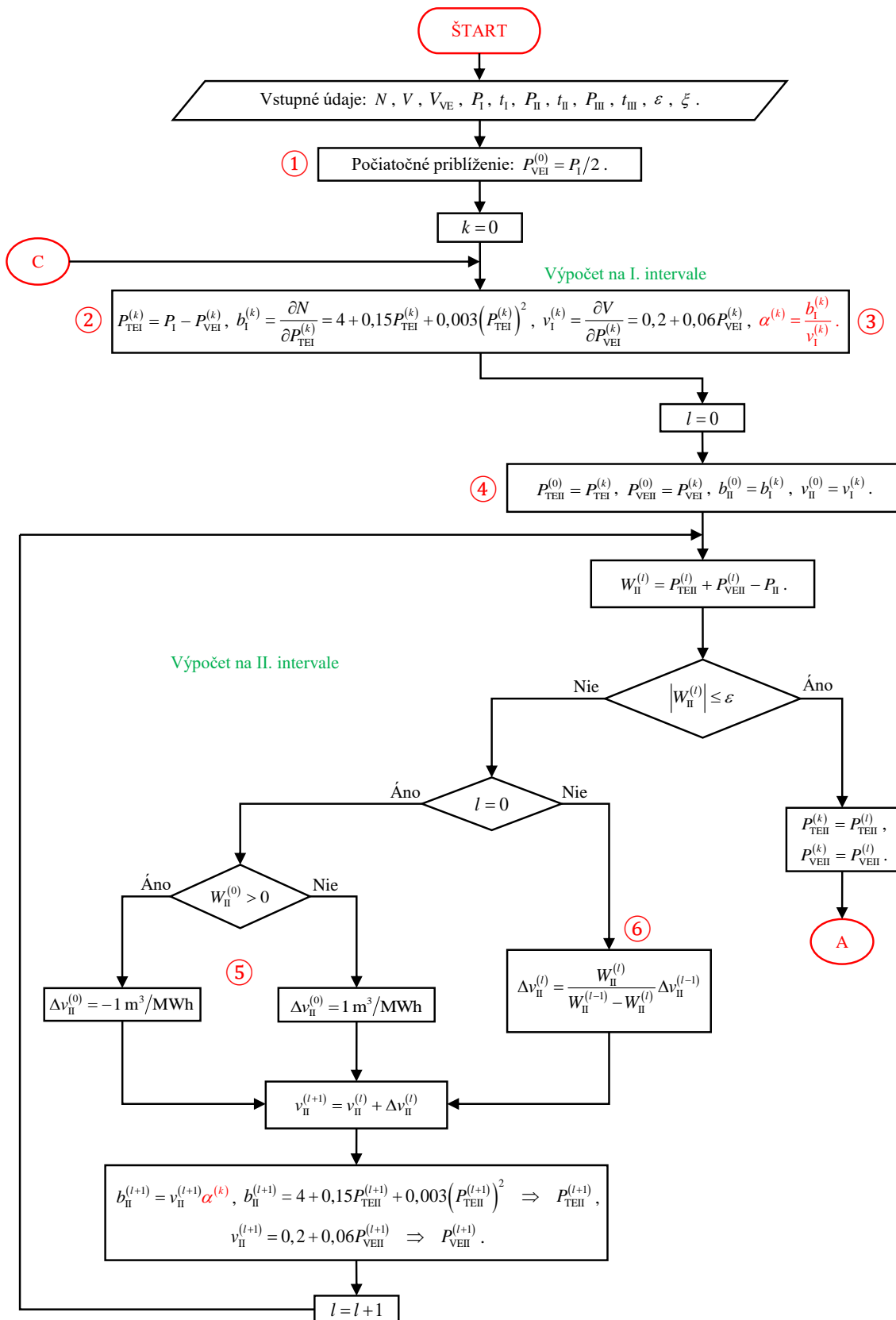


Obr. 9. VD č. 1 pre variant úpravy činného výkonu TE a pomerného prírastku palivových nákladov TE (časť 2).

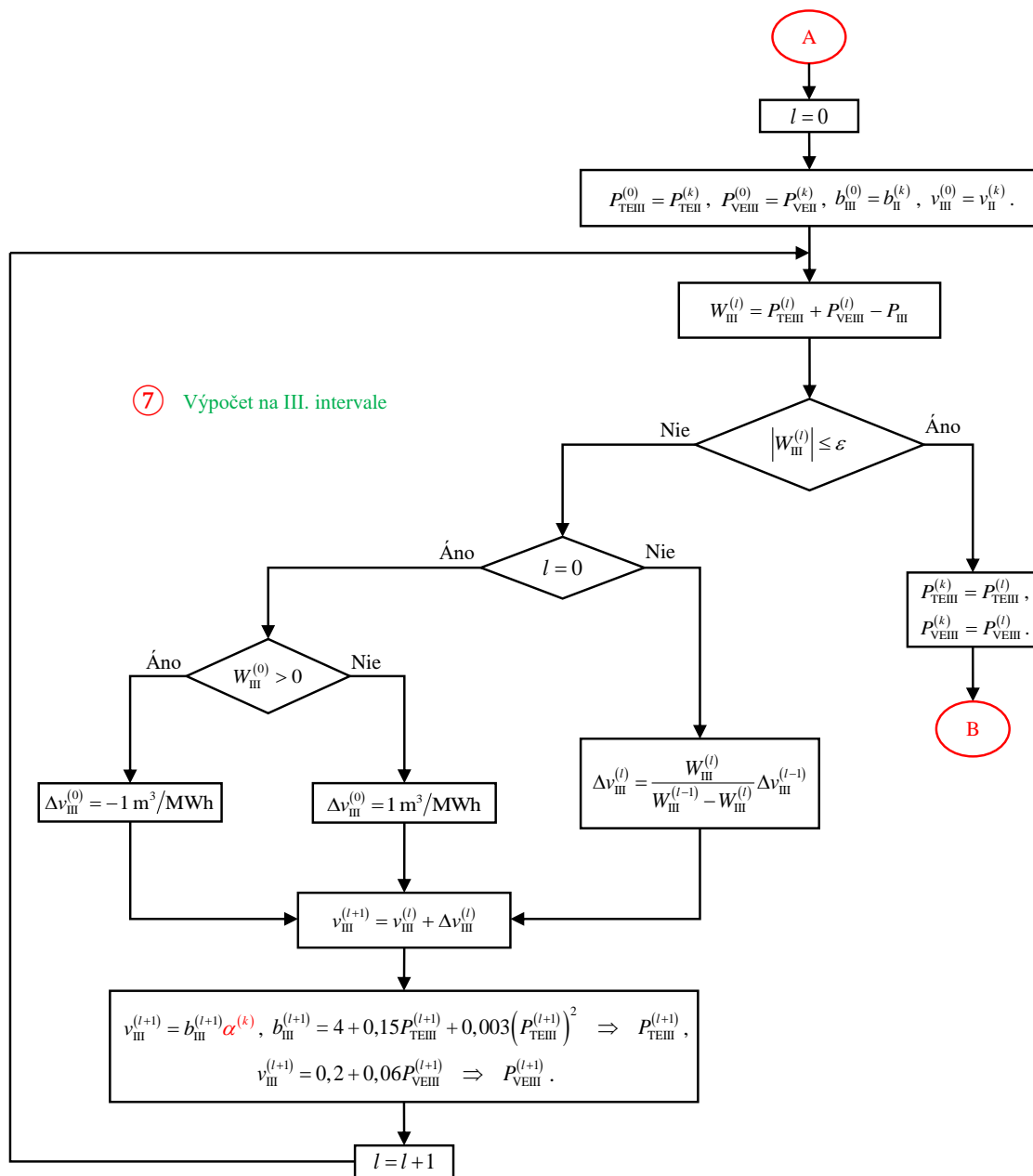




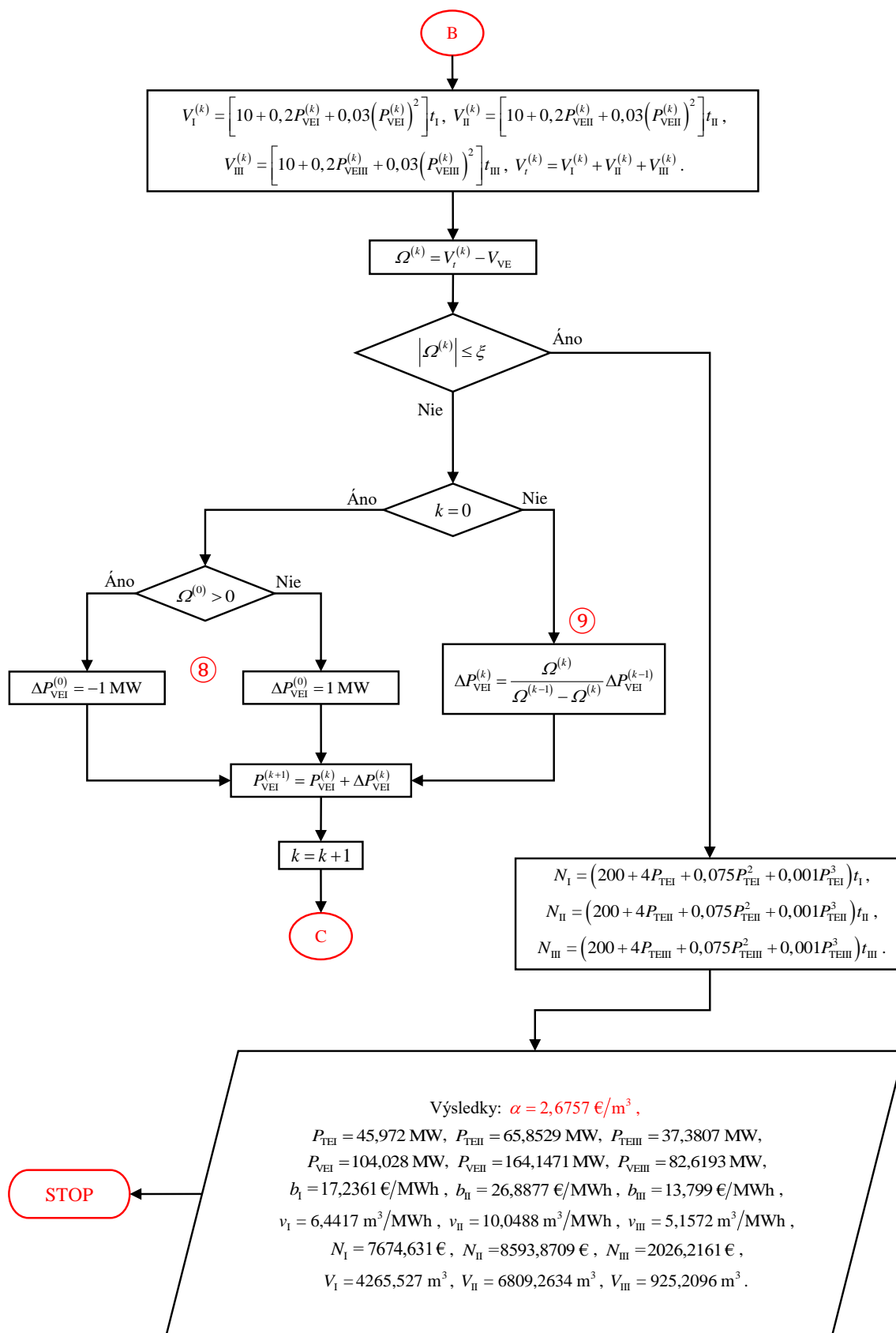
Obr. 10. VD č. 1 pre variant úpravy činného výkonu TE a pomerného prírastku palivových nákladov TE (časť 3).



Obr. 11. VD č. 2 pre variant úpravy činného výkonu VE a pomerného prírastku spotreby vody VE (časť 1).



Obr. 12. VD č. 2 pre variant úpravy činného výkonu VE a pomerného prírastku spotreby vody VE (časť 2).



Obr. 13. VD č. 2 pre variant úpravy činného výkonu VE a pomerného prírastku spotreby vody VE (časť 3).