

## Hospodárny a hraničný výkon vedenia

### Príklad 5.1

Vypočítajte ekonomický (hospodárny) prenášaný výkon vedeniami 22 kV a 110 kV pri  $\tau = 5000 \text{ h.rok}^{-1}$  ( $\approx \tau_{\Delta} = 3500 \text{ h.rok}^{-1}$ ), ak je dané :

- a) 22 kV vedenie 3 x AlFe 70/11
- b) 110 kV vedenie 2 x 3 x AlFe 240/39
- c) 110 kV vedenie 3 x AlFe 240/39

Uvažujte s ročnou kvótou  $k = 0,14 \text{ (rok}^{-1}\text{)}$ , a účinníkom  $\cos \varphi = 0,95$ .

Parametre vedení

	a	b	c
$^1R_v (\Omega.\text{km}^{-1})$	0,411	0,12	0,12
$^1N_{iv} (\text{€}.\text{km}^{-1})$	8800	35000*)	40000
$l (\text{km})$	25	100	100
$c_{po} (\text{€}.\text{kWh}^{-1})$	0,0192	0,0186	0,0186
$c_{st} (\text{€}.\text{kW}^{-1})$	167,0	153,5	153,5

\*) Platí pre jeden systém dvojitého vedenia.

a) Náklady na jednotku elektrickej energie

$$c_{22} = \frac{c_{st}}{\tau} + c_{po} = \frac{167,0}{5000} + 0,0192 = 0,0526 \text{ €}.\text{kWh}^{-1}$$

Ekonomický výkon vedenia podľa (5.30):

$$P_{e22} = 22.0,95 \sqrt{\frac{8800.0,14.10^3}{0,411.3500.0,0526}} = 2,667 \text{ MW}$$

b) V tomto prípade

$$c_{110} = \frac{153,5}{5000} + 0,0186 = 0,0493 \text{ €} \cdot \text{kWh}^{-1}$$

$$P_{e110js,dv} = 110,0,95 \sqrt{\frac{35000,0,14 \cdot 10^3}{0,12 \cdot 3500,0,0493}} = 50,835 \text{ MW}$$

$$\text{c) } P_{e110j} = 110,0,95 \sqrt{\frac{40000,0,14 \cdot 10^3}{0,12 \cdot 3500,0,0493}} = 54,34 \text{ MW}$$

### Príklad 5.2

Prenášaný výkon na vedeniach uvedených v príklade 5.1 každoročne narastá a prevyšuje aj hodnoty  $P_e$ . Stanovte podmienky, za ktorých je z ekonomického hľadiska výhodné postaviť ďalšie paralelné vedenie rovnakého napätia s rovnakými parametrami.

Určujúcou podmienkou pre splnenie požiadavky je hraničný výkon vedenia, ktorý pre jednotlivé vedenia vypočítame zo vzťahu (5.33).

$$\text{a) } P_{h22} = \sqrt{2} \cdot 2,667 = 3,772 \text{ MW}$$

$$\text{b) } P_{h110js,dv} = \sqrt{2} \cdot 50,835 = 71,892 \text{ MW}$$

### Príklad 5.3

Vypočítajte hodnoty hospodárnych strát  $\Delta P_e$  pre vedenie v príklade 5.1.

Hospodárne straty vypočítame podľa vzťahu (5.38)

$$\Delta P_{e22} = \frac{8800,0,14}{3500,0,0526} = 6,692 \text{ kW} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$\Delta P_{e110js,dv} = \frac{35000,0,14}{3500,0,0493} = 28,398 \text{ kW} \cdot \text{km}^{-1}$$

### Príklad 5.4

Vypočítajte minimálne náklady na prenos výkonu  $P_m$  vedeniami z príkladu 5.1, uvažujte dĺžku 1 km.

Úlohu riešime pre jednotlivé vedenia najprv všeobecne podľa vzťahu (5.28)

a)

$$n_{22} = \frac{8800.0,14.l}{P_m.5000} + \frac{0,411.l.P_m.3500.0,0526.10^{-3}}{5000.22^2.0,95^2} =$$

$$= 0,2464 \frac{l}{P_m} + 0,3464.10^{-7}.l.P_m$$

Pre jednotkovú dĺžku 22 kV vedenia budú najmenšie náklady pri  $P_m = P_e$ , teda

$$n_{22} = 0,2464 \frac{1}{2667} + 3,464.10^{-8}.1.2667 = 0,1848.10^{-3} \text{ euro.kWh}^{-1}.\text{km}^{-1}$$

b)

$$n_{110js,dv} = \frac{35000.0,41.l}{P_m.5000} + \frac{0,12.l.P_m.3500.0,0493.10^{-3}}{5000.110^2.0,95^2} =$$

$$= 0,98 \frac{1}{P_m} + 0,3792.10^{-9}.l.P_m$$

Pre jednotkovú dĺžku jedného systému (teda polovice) 110 kV dvojitého vedenia budú minimálne náklady takéto:

$$n_{110js,dv} = 0,98 \frac{1}{50\,835} + 0,3792.10^{-9}.1.50\,835 = 0,0386.10^{-3} \text{ euro.kWh}^{-1}.\text{km}^{-1}$$

c)

$$n_{110j} = \frac{40000.0,14.l}{P_m.5000} + \frac{0,12.l.P_m.3500.0,0493.10^{-3}}{5000.110^2 * 0,95^2} =$$

$$= 1,12. \frac{l}{P_m} + 0,3792.10^{-9}.l.P_m$$

Pre jednotkovú dĺžku jednoduchého 110 kV vedenia budú minimálne náklady pri  $P_m = P_e$  takéto:

$$n_{110j} = 1,12 \cdot \frac{1}{54\,340} + 0,3792 \cdot 10^{-9} \cdot 1.54\,340 = 0,0412 \cdot 10^{-3} \text{ euro.kWh}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$$

## Záver

Zvyšovaním napäťových stupňov prenosových vedení úmerne stúpa ekonomická výhodnosť prenosu. Prenos elektrickej energie je lacnejší (pozri body b a c) viacnásobnými vedeniami.

## Príklad 5.5

Elektrické stanice dvoch okresných miest treba prepojiť vedeniami. Stanovte podmienku pre výber vhodného vedenia z hľadiska hospodárnosti pre prenášaný výkon  $P_m$ , ak návrh je realizovateľný v dvoch alternatívach:

- a) 22 kV vedenie dĺžky 10 km,
- b) 110 kV jednoduché vedenie ( $N_{iv} = 40000 \text{ €} \cdot \text{km}^{-1}$ ) celkovej dĺžky 20 km.

Ostatné parametre vedení sú uvedené v príklade 5.1.

Rozhodnutie o realizácii elektrického vedenia z hľadiska hospodárnosti umožňuje porovnanie merných nákladov na prenos energie  $n$ , z čoho vyplynie hraničný výkon  $P_{hr}$ . V tomto prípade ide o porovnanie merných nákladov dvoch vedení rôznych napätí a odlišnej dĺžky.

Teda

$$n_{22} = n_{110j} \rightarrow P_{h22+110j}$$

Po dosadení údajov do vzťahu (5.28) použitím čiastkových výsledkov z predošlého príkladu dostaneme rovnicu

$$0,2464 \frac{10}{P_m} + 0,3464 \cdot 10^{-7} \cdot 10 P_m = 1,12 \frac{20}{P_m} + 0,3792 \cdot 10^{-9} \cdot 20 P_m$$

$$2,464 + 0,3464 \cdot 10^{-6} P_m^2 = 22,40 + 7,584 \cdot 10^{-9} P_m^2$$

Vtedy

$$P_m = \sqrt{\frac{19,936}{0,3388 \cdot 10^{-6}}} = 7,67 \text{ MW}$$

$$P_{h22+110j} = P_m = 7,67 \text{ MW}$$

Pri rovnakých dĺžkach ( $l_{22j} = l_{110j}$ ) vedení

$$0,2464 \frac{1}{P_m} + 0,3464 \cdot 10^{-7} P_m = 1,12 \frac{1}{P_m} + 0,3792 \cdot 10^{-9} P_m$$

$$0,2464 + 0,3464 \cdot 10^{-7} P_m^2 = 1,12 + 0,3792 \cdot 10^{-9} P_m^2$$

$$P_{h22+110j} = P_m = 5,05 \text{ MW}$$

## Záver

Spomedzi uvedených typov vedení s danými parametrami je hospodárne realizovať na prenášanie výkonov do 5 MW vedenie 22 kV, nad hraničný výkon vyššie 5 MW je výhodnejšie 110 kV vedenie.

$$\frac{l_{22}}{l_{110j}} = l_p$$

Označme pomer dĺžok ako pomernú dĺžku

Pri  $l_p = 2$  (vtedy  $l_{22} = 2l_{110j}$ ) bude hraničný výkon  $P_{h22+110j}$

$$0,2464 \frac{2}{P_m} + 0,3464 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot P_m = 1,12 \frac{1}{P_m} + 0,3792 \cdot 10^{-9} \cdot P_m$$

$$0,4928 + 0,6928 \cdot 10^{-7} P_m^2 = 1,12 + 0,3792 \cdot 10^{-9} P_m^2$$

$$P_m = \sqrt{\frac{0,6272}{0,689 \cdot 10^{-7}}}$$

$$P_{h22+110j} = P_m = 3,017 \text{ MW}$$

Z porovnania výsledkov uvedených výpočtov vidieť, že zväčšovaním pomeru  $l_{22j} : l_{110j}$  klesá hraničný výkon  $P_{h22+110j}$ .

## Ekonomická efektívnosť transformačných staníc

### Príklad 5.8

V TS sú k dispozícii 3 transformátory (TR), pričom TR1 a TR2 pracujú podľa diagramu zaťaženia TS väčšinu roka. Transformátor TR3 sa pripája iba pri zvýšenej spotrebe, najmä v zimných mesiacoch. Určte výkon, pri ktorom treba z hľadiska hospodárneho chodu TS pripojiť TR3. Pri výpočte rešpektujte indukčnú spotrebu TR, pričom  $k_{\Delta} = 0,05 \text{ kW.kVAr}^{-1}$ .

Parametre transformátorov sú v tab. 5.1.

**Tab. 5.1 Parametre transformátorov**

TR	$S_n$ (MVA)	$\Delta P_o$ (kW)	$\Delta P_k$ (kW)	$i_o$ (%)	$u_k$ (%)
1	10	21,0	65,0	1,0	10
2					
3	16	40,0	123,2	0,9	12

Úlohou je určiť hraničný výkon. Pri výpočte vychádzame zo vzťahu (5.78), pretože treba rešpektovať aj indukčnú spotrebu TR. Jednotlivé členy tohto vzťahu vypočítame per partes a čiastkové výsledky potom do vzťahu (5.78) dosadíme. Postupujeme takto:

$$\Delta P_{o3} = 40 \text{ kW}$$

$$\Delta Q_{o3} = \frac{i_o}{100} S_n = \frac{0,9}{100} 16 \cdot 10^3 = 144 \text{ kVAr}$$

$$\Delta P_{o3} + k_{\Delta} \Delta Q_{o3} = 40 + 0,05 \cdot 144 = 47,2 \text{ kW}$$

$${}^{n-1} \Delta P_{kr} = {}^2 \Delta P_{kr} = \sum_{j=1}^2 \Delta P_{kj} \left( \frac{u_{k1}}{u_{kj}} \right)^2 = 65 + 65 \left( \frac{10}{10} \right)^2 = 130 \text{ kW}$$

$$k_{\Delta} {}^{n-1} \Delta Q_{kr} = k_{\Delta} {}^2 \Delta Q_{kr} = k_{\Delta} \sum_{j=1}^2 \frac{u_{kj}}{100} S_{nj} \left( \frac{u_{k1}}{u_{kj}} \right)^2 = 0,05 \left[ \frac{10}{100} 10 \cdot 10^3 + \frac{10}{100} 10 \cdot 10^3 \left( \frac{10}{10} \right)^2 \right] =$$

$$= 0,05 [ 10^3 + 10^3 ] = 100 \text{ kW}$$

$${}^n \Delta P_{kr} = {}^3 \Delta P_{kr} = 65 + 65 \left( \frac{10}{10} \right)^2 + 123,2 \left( \frac{10}{12} \right)^2 = 215,56 \text{ kW}$$

$$k_{\Delta}^n \Delta Q_{kr} = k_{\Delta}^3 \Delta Q_{kr} = 0,05 \left[ \frac{10}{100} 10 \cdot 10^3 + \frac{10}{100} 10 \cdot 10^3 \left( \frac{10}{10} \right)^2 + \frac{12}{100} 16 \cdot 10^3 \left( \frac{10}{12} \right)^2 \right] =$$

$$= 0,05 [10^3 + 10^3 + 1,33 \cdot 10^3] = 166,67 \text{ kW}$$

$${}^{n-1}S_r = {}^2S_r = \sum_{j=1}^2 S_{ij} \frac{u_{k1}}{u_{kj}} = 10 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3 \frac{10}{10} = 20 \cdot 10^3 \text{ kVA}$$

$${}^n S_r = {}^3S_r = 10 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3 \frac{10}{10} + 16 \cdot 10^3 \frac{10}{12} = 33,333 \cdot 10^3 \text{ kVA}$$

Čiastkové výsledky teraz dosadíme do vzťahu (5.78) a vypočítame hodnotu hraničného výkonu

$$S_{hr} = \sqrt{\frac{47,2}{\frac{130+100}{(20 \cdot 10^3)^2} - \frac{215,56+166,67}{(33,333 \cdot 10^3)^2}}} = \sqrt{\frac{47,2}{0,575 \cdot 10^{-6} - 0,344 \cdot 10^{-6}}} = \sqrt{204,329 \cdot 10^6} =$$

$$= 14,294 \cdot 10^3 \text{ kVA}$$

### Záver:

TR3 je výhodné pripojiť z ekonomického hľadiska vtedy, ak zaťaženie TS stúpne nad 14,294 MVA.

### Príklad 5.11

Porovnajte ekonomické zaťaženie dvoch variantov navrhovanej TS 110/22 kV s transformátorom:

25 MVA v 1. variante,

40 MVA v 2. variante,

ak predpokladáme neprerušenú prevádzku TR počas celého roka. Parametre transformátorov sú uvedené v tab. 5.2.

**Tab. 5.2 Parametre transformátorov 110/22 kV**

$S_n$	$N_i$	$P_o$	$P_k$	$i_o$	$u_k$
MVA	( $10^6$ €)	(kW)	(kW)	(%)	(%)

25	0,180	60,0	190,2	0,9	11
40	0,228	80,0	270,0	0,8	11

Ostatné vstupné údaje:

- merné náklady na elektrinu  $c_{st} = 157,7 \text{ eur.kW}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  ,  
 $c_{po} = 0,0188 \text{ eur.kWh}^{-1}$  ,
- ročná kvóta  $k = 0,14$  ,
- investičné náklady na jedno pole rozvodne v prípade
  - a) 110 kV sú  $0,28 \cdot 10^6 \text{ eur}$  ,
  - b) 22 kV sú  $0,03 \cdot 10^6 \text{ eur}$  ,
- čas životnosti TR aj celej TS je 25 rokov,
- merný činiteľ strát  $k_{\Delta} = 0,05 \text{ kW.kVA}^{-1}$  .

Úlohou je vypočítať ekonomické (hospodárne) zaťaženie TS. Pri riešení  $S_e$  vychádzame zo vzťahu (5.88) , teda

$$S_e = S_n \sqrt{\frac{N_i k + (\Delta P_o + k_{\Delta} \Delta Q_o) T_{pr} c_1}{(\Delta P_k + k_{\Delta} \Delta Q_k) \tau_{\Delta} c_2}}$$

Úlohu riešime po častiach.

Pri nepretržitej prevádzke, ak  $P_m = \text{konšt.}$  bude

$$T_{pr} \doteq \tau_{\Delta} = 8760h$$

Vtedy

$$c_1 = c_2 = \frac{c_{st}}{8760} + c_{po} = \frac{157,7}{8760} + 0,0188 = 0,0368 \text{ eur.kWh}^{-1}$$

Celkové investičné náklady (TR + príslušenstvo rozvodne)

$$N_{i25} = N_{iTR} + N_{i110} + N_{i22} = (0,18 + 0,28 + 0,03)10^6 = 0,49 \text{ mil. eur}$$

$$N_{i40} = (0,228 + 0,28 + 0,03)10^6 = 0,538 \text{ mil. eur}$$



Straty transformátora naprázdno

$$\Delta P_o + k_{\Delta} \Delta Q_o = \Delta P_o + k_{\Delta} \frac{i_o}{100} S_n$$

- 25 MVA:

$$60 + 0,05 \frac{0,9}{100} 25 \cdot 10^3 = 60 + 11,25 = 71,25 \text{ kW}$$

- 40 MVA:

$$80 + 0,05 \frac{0,8}{100} 40 \cdot 10^3 = 80 + 16 = 96,0 \text{ kW}$$

Straty transformátora nakrátko

$$\Delta P_{kr} + k_{\Delta} \Delta Q_{kr} = \Delta P_{kr} + k_{\Delta} \frac{u_k}{100} S_n$$

- 25 MVA:

$$190,2 + 0,05 \frac{11}{100} 25 \cdot 10^3 = 190,2 + 137,5 = 327,7 \text{ kW}$$

- 40 MVA:

$$270 + 0,05 \frac{11}{100} 40 \cdot 10^3 = 270 + 220 = 490,0 \text{ kW}$$

Ekonomické zaťaženie TS s transformátorom

- 25 MVA:

$$S_{e25} = 25 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{0,49 \cdot 10^6 \cdot 0,14 + 71,25 \cdot 8760 \cdot 0,0368}{327,7 \cdot 8760 \cdot 0,0368}} =$$

$$= 25 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{915\,68,72}{1\,056\,39,99}} = 25 \cdot 10^3 \sqrt{0,867} = 23,276 \text{ MVA}$$

- 40 MVA:

$$S_{e40} = 40 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{0,538 \cdot 10^6 \cdot 0,14 + 96 \cdot 8760 \cdot 0,0368}{490 \cdot 8760 \cdot 0,0368}} =$$

$$= 40 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{1\,105\,99,95}{1\,579\,60,32}} = 40 \cdot 10^3 \sqrt{0,7} = 32,808 \text{ MVA}$$

### Záver

Ekonomické zaťaženie TS v oboch variantoch je menšie než menovité zaťaženie TR; v prvom variante  $S_{e25} = 23,276 \text{ MVA}$ , v druhom  $S_{e40} = 32,808 \text{ MVA}$ .

### Príklad 5.12

Vypočítajte hraničný výkon TS pre voľbu výstavby ďalšieho transformátora:

- 25 MVA k prvému 25 MVA transformátoru,
- 40 MVA k prvému 40 MVA transformátoru,
- 25 MVA k prvému 40 MVA transformátoru,
- 40 MVA k prvému 25 MVA transformátoru.

Údaje o TR a TS sú v predchádzajúcom príklade.

Hraničný výkon pre spoluprácu dvoch rovnakých TR počítame podľa vzťahu (5.99) a pre nerovnaké TR podľa vzťahu (5.96):

$$\text{a) } S_{hr25+25} = \sqrt{2} \cdot S_{e25} = \sqrt{2} \cdot 23,276 = 32,917 \text{ MVA}$$

$$\text{b) } S_{hr40+40} = \sqrt{2} \cdot S_{e40} = \sqrt{2} \cdot 32,808 = 46,398 \text{ MVA}$$

$$\text{c) } S_{hr40+25} = \sqrt{\frac{N_{i25}k + (\Delta P_{o25} + k_{\Delta} \Delta Q_{o25}) T_{pr} c_1}{\left( \frac{{}^1\Delta P_{kr} + k_{\Delta} \Delta Q_{kr}}{{}^1S_r^2} - \frac{{}^2\Delta P_{kr} + k_{\Delta} \Delta Q_{kr}}{{}^2S_r^2} \right) \tau_{\Delta} c_2}}$$

Pri výpočte  $S_{hr40+25}$  použijeme čiastkové výsledky z predošlého príkladu a ostatné, zatiaľ neznáme parciálne výsledky vypočítame:

$${}^1\Delta P_{kr} + k_{\Delta} \cdot {}^1\Delta Q_{kr} = 270 + 0,05 \cdot 4400 = 490 \text{ kW}$$

$${}^1S_r^2 = (40 \cdot 10^3)^2 = 1600 \cdot 10^6 \text{ (kVA)}^2$$

$${}^2\Delta P_{kr} = 270 + 190,2 \cdot \left(\frac{11}{11}\right)^2 = 460,2 \text{ kW}$$

$$k_{\Delta} \cdot {}^2\Delta Q_{kr} = 0,05 \cdot (0,11 \cdot 40 \cdot 10^3 + 0,11 \cdot 25 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{11}{11}\right)^2) = 357,5 \text{ kW}$$

$${}^2S_r^2 = \left(40 \cdot 10^3 + 25 \cdot 10^3 \cdot \frac{11}{11}\right)^2 = 4225 \cdot 10^6 \text{ (kVA)}^2$$

*Vtedy*

$$S_{hr40+25} = \sqrt{\frac{0,49 \cdot 10^6 \cdot 0,14 + 71,25 \cdot 8760 \cdot 0,0368}{\left(\frac{490}{1600 \cdot 10^6} - \frac{460 + 357,5}{4225 \cdot 10^6}\right) \cdot 8760 \cdot 0,0368}} = 50,191 \text{ MVA}$$

$$\text{d) } S_{hr25+40} = \sqrt{\frac{0,538 \cdot 10^6 \cdot 0,14 + 96 \cdot 8760 \cdot 0,0368}{\left(\frac{327,7}{625 \cdot 10^6} - \frac{817,7}{4225 \cdot 10^6}\right) \cdot 8760 \cdot 0,0368}} = 31,568 \text{ MVA}$$

## Záver

Vo všetkých prípadoch (a, b, c, d) je vypočítaný hraničný výkon väčší než menovitý výkon prvého transformátora. To znamená, že skutočný hraničný výkon uvedených TR bude daný menovitým výkonom prvého TR, čo vyplýva z možnosti technickej realizácie (TR nemožno trvale preťažovať).

## Príklad 5.13

Znázornite priebeh merných nákladov na elektrickú energiu v TS podľa predošlého príkladu. Na zostavenie závislostí  $n_{TR} = f(P_m)$  budeme potrebovať hodnoty merných nákladov podľa hodnôt prenášaného výkonu  $P_m$ . Pri riešení budeme vychádzať zo vzťahu (5.89)

a vzhľadom na veľkosť transformátorov v TS budeme uvažovať aj ich straty spôsobené prenosom indukčnej energie.

Merné náklady na prenos pri realizácii iba jedného TR 25 MVA v TS:

$$n_{TR25} = \frac{0,49 \cdot 10^6 \cdot 0,14 + 71,25 \cdot 8760 \cdot 0,0368}{8760 P_m} + \frac{327,7 \cdot 8760 \cdot 0,0368 P_m}{(25 \cdot 10^3)^2 \cdot 8760 \cdot 1} =$$

$$= \frac{10,453}{P_m} + 19,295 \cdot 10^{-9} P_m \quad (\text{€} \cdot \text{kWh}^{-1}; \text{kW})$$

Závislosť  $n_{TR25}$  od zvolených hodnôt  $P_m$  je uvedená v tabuľke:

$P_m$ ( MW )	5	10	15	$P_e=23,276$	25	$P_h=32,917$	40	50,191
$n_{TR}$ ( $10^{-3}$ €·kWh <sup>-1</sup> )	2,187	1,238	0,9863	0,8982	0,9004	0,9526	1,033	1,177

Merné náklady na prenos pri paralelnej spolupráci dvoch 25 MVA TR v TS:

$$n_{TR25+25} = \frac{10,453}{\frac{1}{2} P_m} + 19,295 \cdot 10^{-9} \frac{1}{2} P_m = \frac{20,906}{P_m} + 9,6475 \cdot 10^{-9} P_m$$

$$(\text{€} \cdot \text{kWh}^{-1}; \text{kW})$$

Závislosť  $n_{TR25+25} = f(P_m)$  vidieť z nasledujúcej tabuľky:

$P_m$ ( MW )	20	23,276	25	32,917	40	50
$n_{TR25+25}$ ( $10^{-3}$ €·kWh <sup>-1</sup> )	1,238	1,123	1,077	0,953	0,909	0,90

Merné náklady na prenos pri realizácii iba jedného 40 MVA TR v TS:

$$n_{TR40} = \frac{0,538 \cdot 10^6 \cdot 0,14 + 96 \cdot 8760 \cdot 0,0368}{8760 P_m} + \frac{490 \cdot 8760 \cdot 0,0368 P_m}{(40 \cdot 10^3)^2 \cdot 8760 \cdot 1} =$$

$$= \frac{12,131}{P_m} + 11,27 \cdot 10^{-9} \cdot P_m \quad (\text{€} \cdot \text{kWh}^{-1}; \text{kW})$$

Závislosť  $n_{TR40} = f(P_m)$  vidieť z nasledujúcej tabuľky:

$P_m$ ( MW )	25	$P_e=32,808$	40	$P_h=46,398$	50,191
$n_{TR40}$ ( $10^{-3}$ € kWh $^{-1}$ )	0,767	0,74	0,754	0,790	0,807

Merné náklady na prenos pri paralelnej spolupráci dvoch 40 MVA TR v TS:

$$n_{TR40+40} = \frac{12,131}{\frac{1}{2}P_m} + 11,27 \cdot 10^{-9} \frac{1}{2}P_m = \frac{24,262}{P_m} + 5,635 \cdot 10^{-9} P_m$$

(€ kWh  $^{-1}$  ; kW )

Priebeh  $n_{TR40+40}$  vidieť z nasledujúcej tabuľky:

$P_m$ ( MW )	40	46,398	50,191	60	65
$n_{TR40+40}$ ( $10^{-3}$ € kWh $^{-1}$ )	0,832	0,779	0,766	0,742	0,740

Merné náklady na prenos pri paralelnej spolupráci 40 a 25 MVA TR v TS:

$$n_{TR40+25} = \frac{(0,538 \cdot 10^6 \cdot 0,14 + 96.8760 \cdot 0,0368)}{8760P_m} + \frac{(0,49 \cdot 10^6 \cdot 0,14 + 71,25.8760 \cdot 0,0368)}{8760P_m} + \frac{(460 + 357,5) \cdot 8760 \cdot 0,0368}{4225 \cdot 10^6 \cdot 8760 \cdot 1} = \frac{22,584}{P_m} + 7,12 \cdot 10^{-9} P_m$$

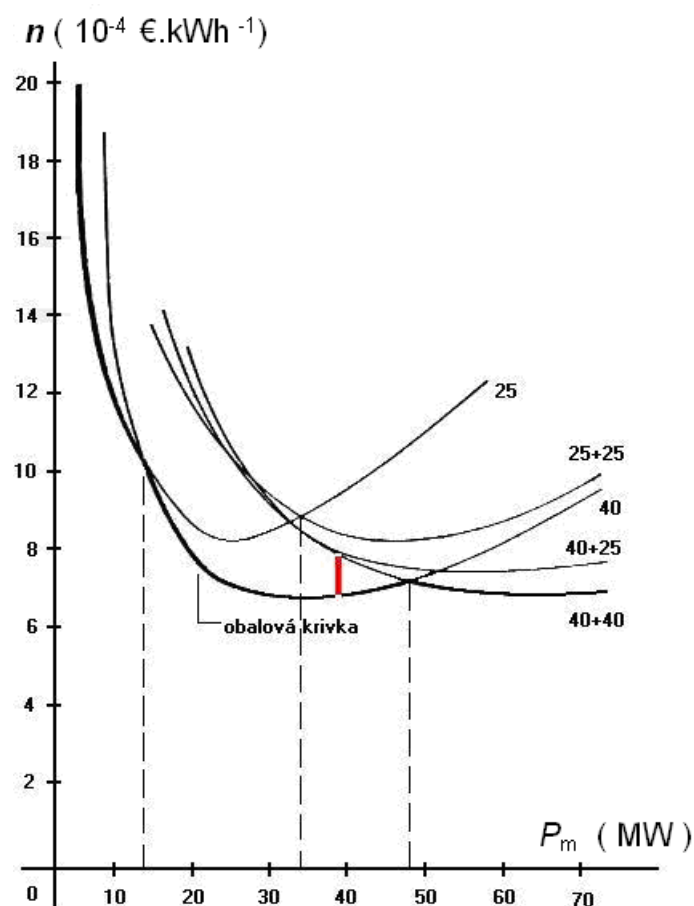
Ekonomický výkon TR v tomto zapojení bude:

$$P_{e40+25} = 23,276 + 32,808 = 56,084 \text{ MW}$$

Závislosť  $n_{TR40+25} = f(P_m)$  vidieť z nasledujúcej tabuľky:

$P_m$ ( MW )	40	46,398	56,084	65
$n_{40+25}$ ( $10^{-3}$ Sk kWh $^{-1}$ )	0,8494	0,8141	0,8020	0,8102

Podľa hodnôt uvedených v jednotlivých tabuľkách sú vypracované grafy na obr.5.9.



**Obr.5.9 Výber optimálnej konfigurácie paralelne pracujúcich transformátorov**

### Záver

Zo závislostí  $n_{TR} = f(P_m)$  na obr.5.9 vyplýva, že vzhľadom na zadané vstupné údaje spolupráca transformátorov 25 MVA nie je hospodárna, pretože už od výkonu 13,33 MW je ekonomicky výhodnejšie používať TR s väčším menovitým zaťažením. Výsledky sú síce ovplyvnené cenovými reláciami jednotlivých častí TS, ale tým sa podstata uvedenej závislosti nemení. Vyplýva z nej, že vždy treba overovať hospodárnosť použitia menších TR. Z daných TR je hospodárne realizovateľná táto konfigurácia TS:

- do 13,33 MW navrhujeme TS s jedným 25 MVA TR,
- vyše 13,33 do 40 MW navrhujeme TS s jedným 40 MVA TR,
- od 40 do 80 MW navrhujeme TS s dvoma 40 MVA TR.

Ako vidieť, kombinácia transformátorov 25 MVA je z ekonomického hľadiska nevýhodná.

Výpočty sú spracované pri účinníku  $\cos\varphi = 1$ , pri inej hodnote sa uvedené údaje príslušne zmenia.

Uvedenú úlohu možno rozšíriť pre n u nás vyrábaných alebo dostupných transformátorov. Z ich obalovej krivky minimálnych merných nákladov na prenos možno potom zvoliť vhodnú kombináciu TR pre daný prenášaný výkon.