

**Štúdia o usporiadaní trhu s elektrinou a identifikácia podnetov
pre návrh novely vyhlášky č. 225/2011 Z. z. rešpektujúcej
špecifiká distribučnej sústavy ŽSR**

OBSAH

1. Úvod.....	4
2. Dodávateľsko-odberateľské vzťahy.....	4
3. Schémy zapojenia distribučnej sústavy a merania.....	6
4. Základné údaje o infraštruktúre ŽSR.....	51
5. Všeobecná teória strát.....	53
5.1 Definovanie pojmu straty.....	53
5.2 Príčiny vzniku strát elektrickej energie.....	55
5.2.1 Straty na vonkajších vedeniach.....	56
5.2.2 Činné straty na káblových vedeniach.....	63
5.2.3 Činné straty na výkonových transformátoroch.....	64
5.2.4 Straty na tlmivke.....	69
5.2.5 Straty na prechodových odporoch spojov.....	69
5.2.6 Vplyv vyšších harmonických na veľkosť strát elektrickej energie.....	71
5.3 Hospodárske aspekty merania strát elektrickej energie.....	72
5.3.1 Metóda Pro rata.....	73
5.3.2 MW-mile metóda.....	74
5.3.3 Proporciónálne rozdelenie strát.....	75
5.3.4 Z-bus metóda.....	77
5.3.5 Marginálne metódy.....	78
5.3.6 EBE metóda.....	82
6. Skladba nákladov na trakčnú energiu.....	85
6.1 Zložky spotreby trakčnej energie.....	85
6.2 Metódy určovania činnej trakčnej energie.....	86
6.2.1 Spôsob ad a) používa hodnoty merných spotrieb.....	86
6.2.2 Spôsob ad b) je založený na použití individuálnych elektromerov na hnacích vozidlách.....	88

7. <u>Metodika stanovenia strát elektriny</u>	93
8. <u>Definícia miesta odberu</u>	93
9. Stanovenie strát v rozvodoch na príslušnej napät'ovej hladine a pri konkrétnej premene napätia	94
9.1 Straty pri transformácii.....	94
9.2 Straty pri napájaní zabezpečovacích zariadení.....	94
9.3 Straty v rozvodoch sústavy 0,4 kV.....	95
9.4 Straty v trakčnom vedení sústavy 25 kV, 50 Hz.....	98
10. <u>Transformácia strát</u>	99
11. <u>Hodnoty strát elektriny v elektroenergetických zariadeniach ŽSR</u>	100
12. Záver	101
13. Prílohy	102

I. Úvod

Železnice Slovenskej republiky (ďalej len ŽSR) sú po stránke energetickej účastníkom trhu s elektrinou v rámci celej SR. Prakticky to znamená, že nakupujú sieťové služby od iných účastníkov trhu, nakupujú elektrinu od svojich dodávateľov a na druhej strane poskytujú sieťové služby pre svojich odberateľov a svojim odberateľom taktiež dodávajú elektrinu. Z toho dôvodu sa musia okrem iného riadiť platnou energetickou legislatívou a to predovšetkým nasledovnými predpismi:

- Zákon č. 656/2004 Z. z. o energetike a o doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov
- Zákon č. 309/2009 Z. z. z 19.6.2009, o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysokoúčinnnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov
- Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 317/2007 Z. z., ktorým sa ustanovujú pravidlá pre fungovanie trhu s elektrinou v znení neskorších predpisov
- Vyhláška Úradu pre reguláciu sieťových odvetví č. 225/2011 Z. z., ktorou sa ustanovuje cenová regulácia v elektroenergetike v znení neskorších predpisov
- Vyhláška Úradu pre reguláciu sieťových odvetví č. 189/2011 Z. z. o rozsahu cenovej regulácie v sieťových odvetviach a spôsobe jej vykonania
- Vyhláška Úradu pre reguláciu sieťových odvetví č. 315/2008 Z. z., ktorou sa ustanovujú štandardy kvality dodávanej elektriny a poskytovaných služieb v znení neskorších predpisov
- Vyhláška Úradu pre reguláciu sieťových odvetví č. 415/2008 Z. z., o spôsobe vedenia oddelenej evidencie skutočností, ktoré sú predmetom účtovníctva, o spôsobe vedenia oddelenej evidencie nákladov, výnosov, aktív a pasív a predkladaní výstupov z oddelenej evidencie.

2. Dodávateľsko-odberateľské vzťahy

Súčasťou infraštruktúry ŽSR je elektroenergetická sústava ŽSR, ktorá je pomerne zložitou sústavou a to či už z pohľadu jej štruktúry (používané napätové hladiny, spôsob merania a pod.), ale i svojím rozsahom, nakoľko je rozložená na celom území SR. Jej prevádzkovanie si vyžaduje iný prístup ako v prípade ostatných účastníkov trhu. Vzhľadom na vyššie uvedené skutočnosti sú v nasledujúcich kapitolách stručne popísaní dodávateľia a odberateľia elektriny v rámci celého komplexu ŽSR vrátane uvedenia bilancie nákupu a predaja elektriny. Hodnoty nákupu a predaja sú uvedené v prílohe č. 2 a 3.

Z tabuliek uvedených v prílohe č. 2 vyplýva, že na jednotlivých odberných miestach za rok 2011 ŽSR nakúpila elektrinu v celkovej výške 630 242 606,04 kWh.

Z tabuliek uvedených v prílohe č. 3 vyplýva že ŽSR bilancuje predaj elektriny svojim odberateľom na základe:

- Údajov určených meradiel (za rok 2011 bolo meraných 35 528 662,65 kWh, čo tvorí cca 5,6 % celkovej nakúpenej elektriny)
- Kvalifikovaného odhadu spotreby podľa normatífov
- Percentuálnym podielom nameraných odberov

Podľa údajov uvedených v tabuľke je možné konštatovať, že celkom za rok 2011 bolo vo vlastných zariadeniach ŽSR spotrebovaných a externým odberateľom predaných spolu 561 759 394, 28 kWh elektriny.

Z uvedených skutočností je zrejmé, že bilancie v rámci dodávateľsko-odberateľských vzťahov sú viac-menej založené na základe dohôd, zmlúv a technických odhadov a nie na základe výsledkov exaktne nameraných údajov.

Tabuľka č. 1 Dodávateľa elektriny v roku 2011

Dodávateľa elektriny v roku 2011		
Por.č.	Názov v FI	Sídlo
1	Západoslovenská energetika, a.s.	Č ulenova 6, 816 47 Bratislava
2	ŽOS Trnava, a.s.	Koniarekova 19, 917 21 Trnava
3	Slovenská plavba a prístavy, a.s., divízia Prístav Bratislava	Horárska 12, 815 24 Bratislava
4	MOVOS, s r.o.	Priemyselná 4, xxxxx xxxxx
5	REMKA, s.r.o.	Vajnorská 135, 832 37 Bratislava
6	Slovenská technická univerzita, Bratislava	Vazovova
1	Stredoslovenská energetika, a.s.	Ulica republiky 5, 010 47 Žilina
2	Železiarne Podbrezová a.s.	Kolkáreň 35, 976 81 Podbrezová
3	DNV ENERGO, a.s.	Areál ZTS 924, 018 41 Dubnica nad Váhom
4	VKÚ, a.s.	976 03 Harmanec 13
5	ŽOS Vrútky, a.s.	Dielenská kružná 2, 038 61 Vrútky
6	Oravské výrobné družstvo	Nemocničná 1, 026 01 Dolný Kubín
7	Mondi Business Paper SCP, a.s.	Bystrická cesta 13, 034 17 Ružomberok
8	Obecný úrad Jastrabá	Obecný úrad Jastrabá
1	Východoslovenská energetika a.s.	Mlynská 31, 042 91 Košice
2	SAD Prešov, a.s. P.O.BOX 190	Košická 2, 080 69 Prešov
3	TAJBA, a.s.	044 14 Čaňa
4	ACO GLOBAL spol.s.r.o	neuveďené
5	Sanatórium Dr. Guhra	Tatranská Polianka 4, 059 82 Vysoké Tatry
6	Vojenské klimatické kúpele Tatranské Matliare	Tatranské Matliare V/4, 059 53 Vysoké Tatry
7	AGRO PALIN,s.r.o.	neuveďené
8	Eva Kocúrová	Budkovce 136, 072 15 Budkovce
9	Vojenské zdravotnícke zariadenia, a.s., o.z. Klimatické kúpele Tat. Matliare	059 53 Vysoké Tatry
10	VÁHOSTAV SK, a.s.	neuveďené

Tabuľka č. 2 Dodávateľa elektriny v roku 2012

Dodávateľa elektriny v roku 2012		
Por.č.	Názov v FI	Sídlo
1	ZSE Energia, a.s.	Čulenova 6, 816 47 Bratislava
2	ZOS Trnava, a.s.	Koniarekova 19, 917 21 Trnava
3	Slovenská plavba a prístavy, a.s., divízia Prístav Bratislava	Horárska 12, 815 24 Bratislava
4	MOVOS, s.r.o.	Priemyselná 4, xxxxx xxxxx
5	REMKA, s.r.o.	Vajnorská 135, 832 37 Bratislava
6	Slovenská technická univerzita, Bratislava	Vazovova
1	Stredoslovenská energetika, a.s.	Pri Rajčianke 8591/4B; Žilina
2	Železiarne Podbrezová a.s.	Kolkáreň 35, 976 81 Podbrezová
3	DNV ENERGO, a.s.	Areál ZTS 924, 018 41 Dubnica nad Váhom
4	VKÚ, a.s.	976 03 Harmanec 13
5	ŽOS Vrútky, a.s.	Dielenská kružná 2, 038 61 Vrútky
6	Oravské výrobné družstvo	Nemocničná 1, 026 01 Dolný Kubín
7	Mondi Business Paper SCP, a.s.	Bystrická cesta 13, 034 17 Ružomberok
8	Obecný úrad Jastrabá	Obecný úrad Jastrabá
1	Východoslovenská energetika a.s.	Mlynská 31, 042 91 Košice
2	SAD Prešov, a.s. P.O.BOX 190	Košická 2, 080 69 Prešov
3	TAJBA, a.s.	044 14 Čaňa
4	ACO GLOBAL spol.s.r.o	neuveďené
5	Sanatórium Dr. Guhra	Tatranská Polianka 4, 059 82 Vysoké Tatry
6	Vojenské klimatické kúpele Tatranské Matliare	Tatranské Matliare V/4, 059 53 Vysoké Tatry
7	AGRO PALIN,s.r.o.	neuveďené
8	Eva Kocúrová	Budkovce 136, 072 15 Budkovce
9	Vojenské zdravotnícke zariadenia, a.s., o.z. Klimatické kúpele Tat. Matliare	059 53 Vysoké Tatry
10	VÁHOSTAV SK, a.s.	neuveďené

3.Schémy zapojenia distribučnej sústavy a merania

Pre lepšie ozrejmienie problematiky usporiadania trhu s elektrinou v rámci ŽSR ďalej uvádzame schémy zapojenia s uvedením spôsobu bilancovanie elektriny v rámci sústavy ŽSR.

Vložit schémy

4. Základné údaje o infraštruktúre ŽSR

Tabuľka č. 3 Základné údaje o infraštruktúre ŽSR

Odvetvie	Parameter	m. j.	Stav k 31.12.2010	
?- m v č o l i í o l i m o n u j -N	Stavebná dĺžka tratí celkom ¹¹	km	3 622,418	
	Z toho:			
	Jednokofajné trate ¹¹	km	2 607,220	
	□voj- a Yiakofajné trate	km	1 016,198	
	Širokorozchodné trate	km	98,691	
	Trate normálneho rozchodu ¹¹	km	3 473,627	
	Uzkorozchodné trate	km	50,100	
	Stavebná dĺžka koľají celkom	km	6 876,408	
	Z toho:			
	Hlavných koľají	km	4 637,320	
	Ostatných staničných koľají	km	2 239,088	
	Počet výhybiek	ks	8 529	
	Počet výhybkových jednotiek	ks	9 476	
	Počet mostov	ks	2 321	
	Oceľové	ks	456	
	Masívne	ks	1 866	
	Celková dĺžka mostov	m	62 154	
	Počet tunerov	ks	75	
	Jednokofajné tunely	Ks	68	
	□vojkofajné tunely	ks	7	
	Celková dĺžka tunelov	m	43 229	
	Železničné priecestia	ks	2 219	
	Budovy 1 stavby (prevádzkové)	ks	3 570	
	Budovy / stavby (prevádzkové) - obstavaný priestor	m ³	5 994 374	
	< Z T L U : o Q O E N ID í í < O S 5 S	Trat'ové zabezpečovacie zariadenia		
		Automatický blok	km	670
Jednosmerný automatický blok		km	129	
Obojsmerný automatický blok		km	541	
Automatické bradlo		km	512	
Poloautomatický blok		km	762	
Reléový poloautomatický blok		km	624	
H rádiový poloautomatický blok		km	138	
liate s telefonickým dorozumievaním		km	1 620	
Staničné zabezpečovacie zariadenia				
Dopravne s mechanickým zabezpečovacím zariadením		ks	159	
Dopravne s elektromechanickým zabezpečovacím zariadením		ks	76	
Dopravne s reléovým zabezpečovacím zariadením		ks	151	
Dopravne s ostatným zabezpečovacím zariadením		ks	75	
Dopravne s elektronickým zabezpečovacím zariadením		ks	20	
Trate s diaľkovo ovládaným zabezpečovacím zariadením - dispečerom	km	252		

	Vlakové zabezpečovacie zariadenie		
	Trate s prenosom informácií na vlakový zabezpečovač	km	762
	Priestavné zabezpečovacie zariadenie		
±	Nezabezpečené priestestia	ks	1 136
o	Zabezpečené priestestia	ks	1 081
	Z toho:		
<	Mechanické závory	ks	76
o	Svetelné priestavné zabezpečovacie zariadenia	ks	983
š	Trvalo zamknuté priestestia	ks	22
o	Spádoviskové zabezpečovacie zariadenia		
EL	Kofajové brzdy	ks	88
Hi	Z toho:		
a	Elektropneumatické	ks	74
<	Pružinovo-hydraulické	ks	14
<	Mechanizovaná spádoviská	ks	7
o	Poloautomatizované spádoviská	ks	1
>	Automatizované spádoviská	ks	1
É	Kompresorové stanice - spolu	ks	3
<	Balené priestorové (mobilné, jednostupňové kompresory)	ks	5
N	Balené skrutkové (mobilné, skrutkové kompresory)	ks	1
	Stacionárne (v halách, dvojstupňové piestové a skrutkové kompresory)	ks	2
	Elektrifikované trate - spolu	km	1 577,543
	elektrifikované AC 25 kV / 50 Hz	km	760,451
<	elektrifikované DC 3 000 V (1 500 V, 600 V)	km	817,092
<	Rozvinutá dĺžka trakčného vedenia - spolu	km	4 763
1ž	jednofázové trakčné vedenia	km	2 212
o É	jednosmerné trakčné vedenia	km	2 551
Hi	napájacie a spínacie stanice - spolu	ks	90
o ^	jednofázové trakčné napájacie stanice	ks	12
t LU	jednosmerné trakčné napájacie stanice	ks	36
UJ	podporné meniarne	ks	3
LÜ	jednofázové spínacie stanice	ks	17
	jednosmerné spínacie stanice	ks	19
	prevozné meniarne	ks	3
KU > =>	Dopravné - spolu	ks	1 016
sl	Z toho (obsadené / neobsadené zamestnancami):		
	železničné stanice	ks	3 09 / 5
	pohraničné prechodové stanice	ks	2 2 / 0
Q	ostatné dopravné (hradlá, odbočky, výhybne, zastávky, prekladiská, závorárske staň., dopravné podľa D3 a iné)	ks	87 / 593

LEGENDA

t)	1. Rozhodnutím MDPT SR c. j. 5411 / 2007 - STDD zo dňa 03.05.2007 bola zrušená trať Rimavská Sobota - Poltár (jednokofajná, neelektrifikovaná) o celkovej dĺžke 29,522 km.
	2. Rozhodnutím MDPT SR č. j. 101025 / 2008 - STDD / z 14325 zo dňa 25.03.2008 bola zrušená trať Odb. Devínske Jazero - Stupava (jednokofajná, neelektrifikovaná) o celkovej dĺžke 6,575 km.
	<i>Spolu = 36,097 km (nie je započítané v stavebnej dĺžke tratí spravovaných ŽSR)</i>

V stavebnej dĺžke tratí spravovaných ŽSR sú započítané trate s pozastavenou prevádzkou:

- Turňa nad Bodvou - št. hranica (MÁV) o celkovej dĺžke 3,139 km
- Komárno - Kolárovo o celkovej dĺžke 25,908 km
- Žabokrecká spojka o celkovej dĺžke 1,278 km

5. Všeobecná teória strát

4.1 Definovanie pojmu straty

Straty elektrickej energie v sústave sú zložitou funkciou veľkého počtu režimových parametrov. Jediným objektívnym spôsobom pre určovanie veľkosti strát v sústave je straty určiť na základe dodaného a odoberaného množstva elektrickej energie v sústave pomocou meracích prístrojov. Straty elektrickej energie v sústave definujeme ako rozdiel medzi množstvom elektriny, ktoré vstupuje do sústavy a množstvom elektriny, ktoré vystupuje z sústavy. V zmysle zákona o energetike je prevádzkovateľ sústavy povinný zabezpečiť meranie v sústave. Montáž určeného meradla zabezpečuje výrobca elektriny, prevádzkovateľ sústavy, prevádzkovateľ distribučnej sústavy a vlastník priameho vedenia. Len na základe nameraných údajov určených meradiel je možné objektívne určiť straty elektrickej energie v sústave.

V energetickej terminológii sa rozoznávajú dva druhy strát v súvislosti s výrobou, prenosom a spotrebou elektrickej energie, ktoré sú evidované v oficiálnom výkazníctve slúžiacom pre technické aj obchodné účely:

- straty činného výkonu ΔP ,
- straty činnej energie ΔA_p .

Straty činného výkonu sú definované v sústave SR ako rozdiel medzi sumou výkonov do sústavy dodaných $\sum_{i=1}^n P_{Gi}$ a sumou výkonov zo sústavy odoberaných $\sum_{j=1}^m P_{Vj}$ podľa

vzťahu:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n P_{Gi} - \sum_{j=1}^m P_{Vj}$$

Z časového hľadiska je pri posudzovaní strát činného výkonu nutné rozlišovať:

- okamžitý činný výkon p ,
- činný výkon P vypočítaný za jednu periódu sieťovej frekvencie $T = 1/f$,
- priemernú hodnotu činného výkonu za určitý čas P_t napr.:
 - P 1min.
 - P 3min.
 - P 15min.
 - P 60min.

V dispečerskej praxi pri riadení elektrizačnej sústavy v reálnom čase a dispečerských štatistikách sa pracuje s hodnotami činného výkonu P . Pri zabezpečovaní dodržania predpísaného salda sa pracuje aj s priemernými integrálnymi hodnotami činného výkonu P_t za čas P 1min. až P 60min.

Straty činnnej energie (skrátene nazývané činné straty) sú analogicky definované (ako straty činného výkonu) ako rozdiel medzi sumou činnnej energie do sústavy dodanej $\sum_{i=1}^n P_{Gi}$ a sumou činnnej energie zo sústavy odoberanej $\sum_{j=1}^m P_{Vj}$ podľa vzťahu:

$$AA_F = \sum_{i=1}^n A_{P_{Gi}} - \sum_{j=1}^m A_{P_{Vj}}$$

Hodnota činnnej energie A_p ako aj strát činnnej energie AA_p je vždy spojená s určitým časovým intervalom t . Definovaná je časovým integrálom činného výkonu P za určitý čas t vzťahom

$$A_p = \int P dt \quad AA_p = \int AP dt$$

Štrukturalizáciu strát v sústave je možné uskutočniť z viacerých pohľadov, jedným z nich je závislosť strát od zaťaženia daného zariadenia:

- Straty stále a nezávislé na zaťažení sústavy:
 - straty korónou (vonkajšie vedenia),
 - straty zvodom (vonkajšie vedenia, priechodky, izolátory),
 - straty v dielektriku (káble, transformátory, olejové priechodky, tlmivky),
 - hysterézne straty a straty vírivými prúdmi (transformátory, tlmivky, nosné svorky na vedeniach),
 - trvalá spotreba meracích a riadiacich systémov.
- Straty premenlivé, závislé na zaťažení sústavy:
 - straty vo vinutiach jednotlivých zariadení (transformátory, tlmivky),
 - straty na vonkajších vedeniach a kábloch,
 - straty na prechodových odporoch spojov,
 - straty v istiacich obvodoch a prvkoch.

Veľkosť činných strát v sústave je ovplyvnená najmä:

- veľkosťou prenášaných výkonov,
- napätím v uzloch sústavy,
- prenosom jalovej zložky výkonu,
- činným odporom vodičov vedení a transformátorov,
- prechodovými odpormi svoriek a spojov vodičov,
- zvodovým prúdom,
- korónou,
- izolačným stavom oleja transformátorov,
- kvalitou transformátorových plechov,
- skinefektom
- spôsobom merania a pod.

Ďalšie faktory vplývajúce na veľkosť strát sú:

- vonkajšia teplota,
- vlhkosť ovzdušia,
- znečistenie ovzdušia,

- smer a rýchlosť vetra,
- napät'ová a prúdová asymetria,
- obsah vyšších harmonických v napätí a prúde,
- kývanie siete,
- pozdĺžne a priečne rezonancie, a pod..

V praxi sa často ako pomocný ukazovateľ pri stratách používajú tzv. technické straty. Technické straty v sústave sú vyhodnocované výpočtovým programom na základe nameraných hodnôt zaťaženia sústavy v reálnom čase z riadiaceho a informačného systému. Tu je potrebné podotknúť, že tieto namerané hodnoty sú získané z bežných meradiel, nie určených a pre výpočty sa používajú priemerné hodnoty namerané počas určitého časového intervalu. Je dôležité poukázať na skutočnosť, že v mnohých prípadoch je výpočet strát na základe týchto hodnôt nepresný. Ukazovateľ technické straty je potrebné brať len ako orientačný, nakoľko vytvorené matematické modely sa z pohľadu veľkosti strát len približujú k skutočnému stavu. Vo väčšine matematických modelov nie sú zahrnuté mnohé ukazovatele, ktoré ovplyvňujú straty v sústave (straty zvodovým prúdom, straty korónou, hysterézne straty, straty na prechodných odporoch, prídavné straty meracích zariadení atď.). Ďalej je potrebné pripomenúť, že v týchto modeloch sú použité parametre jednotlivých prvkov, len pre určité podmienky (napr. rezistencia vodičov sa uvažuje len pre jednu teplotu). V mnohých prípadoch sú použité hodnoty deklarované výrobcom, bez následného overenia meraním. Neuvažuje sa vplyv starnutia na zariadenia (straty v dielektriku, hysterézne straty). Tieto výpočtové modely sú jednofázové, to znamená, že je uvažovaná prísna symetria jednotlivých prvkov ale aj zaťaženia, čo sa nezhoduje s realitou. Z uvedeného jednoznačne vyplýva, že technické straty nevyjadrujú skutočné straty v sústave a je to len orientačný údaj. Porovnaním technických strát so stratami určenými na základe určených meradiel môže dôjsť k nesúladu, z ktorého však nemožno vyvodzovať nejaké dôsledky.

V nasledujúcom texte sú uvedené vzťahy pre výpočet strát, ktoré však odrážajú len fyzikálnu podstatu vzniku strát na jednotlivých zariadeniach sústavy a nie je možné pomocou nich stanovovať skutočné straty v sústave.

V praxi je veľkosť strát v sústave vyjadrovaná percentami z prenesenej energie sústavou a tento ukazovateľ je braný ako jeden z faktorov hospodárnosti distribučnej sústavy ŽSR. Tu je však potrebné poukázať na skutočnosť, že takto definovaný ukazovateľ v plnom rozsahu nepreukazuje hospodárnosť alebo nehospodárnosť prevádzky distribučnej sústavy ŽSR z pohľadu výšky strát za stanovené obdobie. V mnohých prípadoch pri rovnakom množstve prenesenej alebo distribuovanej energie dosahujú straty až niekoľkonásobne rozdielne hodnoty.

4.1 Príčiny vzniku strát elektrickej energie

Prenos a distribúcia elektriny v distribučnej sústave ŽSR je uskutočnený pomocou prvkov ako sú najmä vedenia, elektrické stanice, regulačné, meracie zariadenia a podobne. Na všetkých týchto zariadeniach vznikajú činné straty, ktorých fyzikálna podstata ich vzniku je objasnená v nasledujúcich podkapitolách.

5.2.1 Straty na vonkajších vedeniach

Straty na vonkajších vedeniach vznikajú na činnom odpore vedenia (reálna zložka pozdĺžnej impedancie vedenia). V priečnej vetve sú to straty zvodovým prúdom a korónou.

5.2.1.1 Činné straty na rezistancii vedení

Činné straty na vedení v pozdĺžnej vetve sú dané rezistanciou vodiča a kvadrátom prúdu (Joulove straty). Pre straty na trojfázovom vedení platí:

$$AP = 3 A_j I^2$$

kde

R_1 je rezistencia vedenia [Q.km⁻¹],
 l dĺžka vedenia [km],
 I efektívna hodnota pretekajúceho prúdu vedením [A].

Rezistencia tvorí reálnu zložku pozdĺžnej impedancie vedenia. Pri určení rezistencie pri striedavom prúde je podstatný odpor pri jednosmernom prúde.

Odpor pri jednosmernom prúde je daný:

$$R = \frac{\rho_0 l}{S}$$

kde

ρ_0 je rezistivita pri teplote 20°C [Q.m],
 l dĺžka vodiča [m],
 S prierez vodiča [m²].

Vplyv na veľkosť rezistencie vedenia majú:

- materiál vodičov a čistota materiálu,
- teplota vodiča,
- skinefekt,
- predĺženie lán vplyvom krútenia úsekových vodičov,
- odchýlka skutočného prierezu od menovitého,
- predĺženie vodičov vplyvom vlastnej tiaže, námrazy, poveternostných podmienok a pod.

Rezistivita ρ_0 [Q.m] pre rôzne používané materiály vodičov a lán je v nasledujúcej tabuľke č.4.

Tabuľka č. 4 Teplotné súčinitele odporu a rezistivita vybraných materiálov

Materiál	Cu	Al, AlFe	Fe (približne)
α [K ⁻¹]	$3,93 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
ρ [K ⁻¹]	$0,45 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$
ρ_{20} [Q.m]	$17,8 \cdot 10^{-3}$	$28,7 \cdot 10^{-3}$	$200 \cdot 10^{-3}$

Vplyv teploty na veľkosť rezisatncie je možné vyjadriť pomocou činiteľa ka

$$k_a = 1 + a(a - a_0) + P(a - a_0)^2$$

kde

a, P sú teplotné súčinitele odporu [K⁻¹; K⁻²],
a uvažovaná teplota [°C].

Pre vodiče z materiálov Cu, Al a AlFe pri oteplení do 100 °C môžeme výraz P (a— a₀)² zanedbať a tiež pre Fe pri oteplení do 50 °C.

Skin efekt vyjadruje nerovnomerné rozloženie prúdu v priereze vodiča pri prechode striedavým prúdom. Ide o vytlačanie elektrického prúdu na povrch vodiča, tým sa nevyužíva celý prierez vodiča. Jeho dôsledkom nastáva zväčšenie rezistancie oproti odporu pri jednosmernom prúde. Skin efekt sa výraznejšie prejavuje pre frekvencie >> 50 Hz.

Vplyv skin efektu na veľkosť rezistancie vyjadruje koeficient ks. Pre AlFe laná vinuté v jednej vrstve koeficient zväčšenia vplyvom skin efektu závisí na permeabilite vodiča a veľkosti prúdu. Pre laná vinuté v dvoch vrstvách je možné použiť vzťahy ako pre jednomateriálové lano. Pre laná s väčším počtom vrstiev je možné použiť vzťahy ako pre duté vodiče, pretože oceľovým lanom (dušou) prechádza len 2 až 3% celkového prúdu.

Pre takýto prípad je koeficient zahrňujúci vplyv skin efektu:

$$K = 1 - 0,0375 \cdot 10^{-1} \left(\frac{(r_2 - r_1)f}{r_2 R_0} \right)^2$$

kde

r₂, r₁ je vonkajší resp. vnútorný polomer Al vrstvy [m], f
frekvencia [Hz],
R₀ odpor pri jednosmernom prúde na jednotku dĺžky vodiča [Qm⁻¹].

Krútenie jednotlivých drôtov tvoriacich AlFe lano spôsobuje zväčšenie rezistancie, pretože prúd tečie po skrutkoviči. Vplyvom prevádzky vznikajú na vodičoch oxidy a nečistoty, ktoré vytvárajú veľký prechodový odpor medzi povrchmi jednotlivých drôtov, ktorý spôsobuje, že prúd tečie jednotlivými vodičmi lana po skrutkoviči. Krútenie lán spôsobuje zväčšenie rezistancie asi o 2%.

5.2.1.2 Vplyv veľkosti a charakteru prenášaného výkonu na činné straty v pozdĺžnej vetve

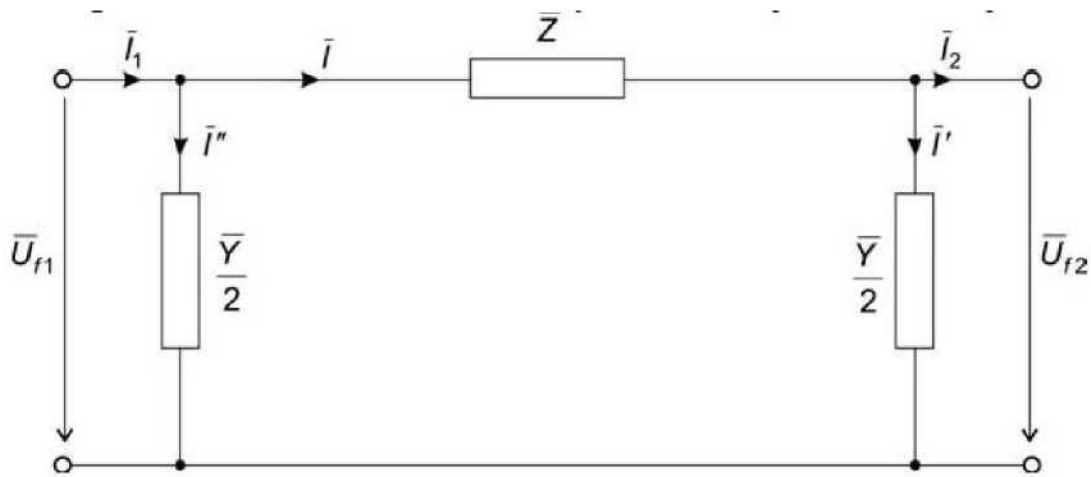
Činné straty v pozdĺžnej vetve na vedení sú podľa predchádzajúcich vzťahov priamo úmerné druhej mocnине efektívnej hodnoty pretekajúceho prúdu. Efektívna hodnota prúdu z trojfázového zdanlivého prenášaného výkonu je:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U}$$

kde

S je veľkosť zdanlivého výkonu,
U hodnota združeného napätia.

Z toho vyplýva, že veľkosť činných strát na rezistancii vedenia závisí od druhej mocniny veľkosti zdanlivého výkonu.
 Pri výpočte závislosti činných strát v pozdĺžnej vetve pre vonkajšie vedenie je možné uvažovať s „prvým priblížením“ a to vedením, ktoré je nahradené pomocou PI-článku. Náhradný PI-článok je na nasledujúcom obrázku:



Obr.1 Náhradná schéma PI-článku

kde

- \bar{I} je vektor pozdĺžnej impedancie vedenia $Z = R + j\omega L$, L indukčnosť vedenia,
- \bar{Y} vektor priečnej admitancie vedenia $Z = G + j\omega C$,
- G konduktancia vedenia,
- C kapacita vedenia.

Rovnice pre napätie a prúd na začiatku vedenia (pre náhradný PI-článok):

$$U_f \bar{i} = U_{f2} - IZ = U_{f2} - [I_2 + \frac{Y}{2} U_{f2}] Z = U_{f2} (1 - ZY) - I_2 Z$$

$$I_t = I'' + I = I U_{f1} (1 - ZY) + I_2 + U_{f2} \frac{Y}{2} Z = U_{f1} (Y - Y^2 Z) - I_2 (1 - ZY)$$

Celkové straty výkonu na vedení nahradenom PI-článkom sa rovnajú

$$= - \Delta P = \Delta P_{\text{pozdĺžne}} + \Delta P_{\text{priečne}}$$

kde

- $\Delta P_{\text{pozdĺžne}}$ sú straty v pozdĺžnej vetve PI-článku,
- $\Delta P_{\text{priečne}}$ sú straty výkonu v priečnej vetve PI-článku.

$$*W_{\&} = 3AW = 3 \frac{U_{f1}^2}{Z} \quad \frac{U_{f1}^2}{Z} = 3 \frac{U_{f1}^2}{Z} = 3 \frac{U_{f1}^2}{Z}$$

kde $AU = U_{f1} - U_{f2} = ZI$

Straty v pozdĺžnej vetve môžeme rozdeliť na reálnu a imaginárnu zložku:

$$AP \quad \} A Q p_{f1} \pm M_g$$

pozdĺžne $3RI$

$$AQ_{pzd} = 3XI^2$$

Straty v priečnej vetve náhradného PI-článku

$$Q_c = 3V_{f1}I \cdot 3U_{f2}I = 3U_{f1}U_{f1} \sim 3U_{f2}U_{f2} = 3 \frac{U_{f1}^2}{Z} - (u_{f1} - V_{f2})$$

priečne $\wedge \wedge$ priečne

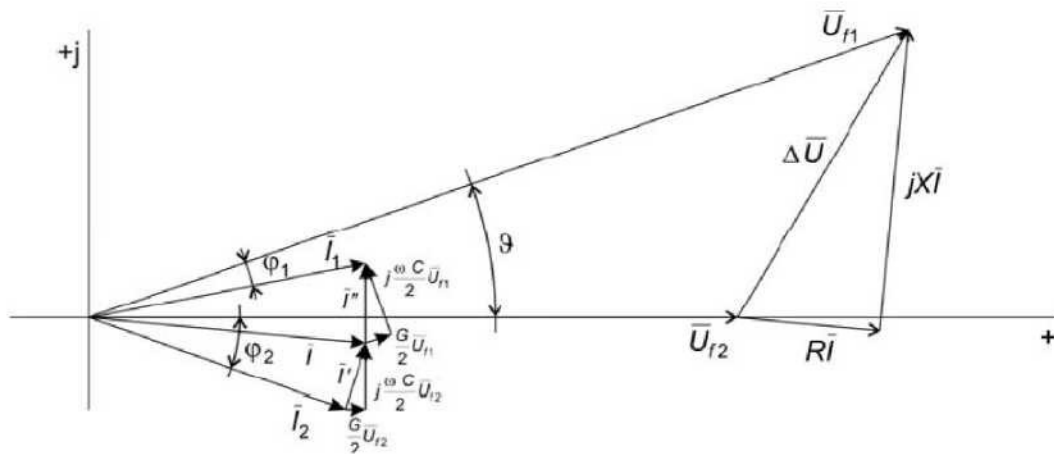
$$\wedge P_{priečne} = > iPh \sim lh$$

$$Q_c = 3 \frac{j\omega C}{2} (U_{f1}^2 + U_{f2}^2)$$

kde

- APriečne sú činné straty v priečnej vetve, t.j. straty spôsobené korónou a zvodovým prúdom,
- QC kapacitný nabíjaci výkon vedenia.

Fázorový diagram pre PI-článok zaťažený výkonom induktívneho charakteru je uvedený na nasledovnom obrázku



Obr. 2 Fázorový diagram pre náhradný PI-článok

Náhradný PI-článok poskytuje dostatočne presné výpočty pre vonkajšie vedenia do dĺžky 300 km, pre káblové vedenia do 100 km.

5.2.1.3 Činné straty na vonkajších vedeniach v priečnej vetve

Činné straty na vonkajších vedeniach v priečnej sú tvorené zvodovým prúdom a stratami korónou.

Koróna je neúplný samostatný výboj, ktorý vzniká v silne nehomogénnych poliach v blízkosti elektródy s malým polomerom zakrivenia (napr. vodiče vonkajšieho vedenia). Napätie, pri ktorom vzniká koróna je kritické napätie koróny.

Počiatkové napätie koróny U_{0k} je definované pre hladký a čistý povrch vodiča.

- Pri napätí $0,3 U_{0k}$ sa na vodiči (znečisteného za normálnej prevádzky - prach, atmosférické vplyvy) objaví tzv. hrotová koróna, ktorá spôsobuje malé straty.
- Pri napätí $0,5 - 0,6 U_{0k}$ vznikajú na väčších nerovnostiach povrchu vodiča (poškodený vodič, vodné kvapky, mastné škvrny) vzniká prechodová koróna - straty dosahujú už značné hodnoty.
- Po prekročení hodnoty napätia U_{0k} sa vytvorí svietiaci obal okolo vodiča - obalová koróna - straty sú veľké, v praxi neprípustné.

Straty korónou v prevádzke vonkajších vedení sú tvorené väčšinou trsovými výbojmi - prechodová koróna.

Vplyv na veľkosť strát korónou majú:

- atmosférické pomery - tlak vzduchu, teplota, vlhkosť, dážď, hmla, inovat' (dážď a hmla majú značný vplyv na straty korónou, inovat' a vlhkosť majú menší vplyv na veľkosť strát),
- drsný a mastný povrch vodiča - môže zvýšiť straty prechodovou korónou,

Pre výpočet strát existuje celý rad empirických a poloempirických vzorcov. Najstarší používaný vzorec podľa experimentálnych výsledkov je Peekov vzorec.

Podľa neho sú straty korónou na jednom vodiči:

$$\Delta P_k = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (U_f$$

kde		
ΔP_k	sú straty korónou	[kW/km],
f	frekvencia	[Hz],
r	polomer vodiča	[cm],
D	vzdialenosť medzi osami vodičov	[cm],
U_f	efektívna hodnota fázového napätia pri trojfázovom vedení alebo polovica hodnoty napätia medzi vodičmi jednofázového vedenia	[kV],
δ	hustota vzduchu	[kg/ cm ³],
U_{0k}	napätie, pri ktorom vznikne na povrchu vodiča kritická intenzita poľa pre vznik koróny	[kV].

Kritické napätie je dané vzťahom:

$$U_{cvt} = 21,1 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \sqrt{\frac{D}{r}}$$

kde	
m_1	je činiteľ rešpektujúci kvalitu povrchu vodiča, pre hladké vodiče s kruhovým prierezom je rovný 1, pre znečistené a drsné vodiče je od 0,98 - 0,92, pre laná je 0,98 - 0,82.
m_2	činiteľ rešpektujúci atmosférické vplyvy, pre dobré počasie je rovný 1, pre vlhké počasie a hmlu je 0,8.

Podľa Peeke je uvažovaná elektrická pevnosť vzduchu 21,1 kV/cm pri striedavom napätí alebo 30 kV/cm pri jednosmernom napätí.

Nepriaznivé účinky koróny:

- spôsobuje straty na vonkajších vedeniach,
- predstavuje zdroj vysokofrekvenčného rušenia,
- trvalá koróna vo vnútornej izolácii elektrických zariadení (transformátory, káble, elektrické stroje) spôsobuje ich poškodenie,
- vo vzduchových medzerách pod porcelánovými telesami priechodiek a bleskoistiiek vzniká vplyvom koróny ozón a oxidy dusíka. Vznikajúce kyseliny napádajú kovové časti týchto zariadení a poškodzujú ich.

Straty zvodom na vonkajších vedeniach sú spôsobené znečisteným povrchom izolátorov, zmenšením izolačného odporu vplyvom nepriaznivého počasia alebo zhoršením stavu izolácie (napr. spôsobené starnutím).

Zvodový prúd je všeobecne daný vzťahom:

$$I_{zv} = \frac{U_f}{R_{iz} + \frac{1}{G}}$$

kde

U_f je fázové napätie,
 R_{iz} odpor izolácie,
 G vodivosť izolácie.

Straty zvodom sa tiež ako straty korónou v praxi zisťujú meraním.

Priečne činné straty na vedení (straty korónou aj straty zvodovým prúdom) sú v náhradnej schéme vedenia reprezentované konduktanciou G .

$$G = \frac{A}{u} F_{pme} n e$$

kde

U je združené napätie [V],
 $A_{priečne}$ priečne činné straty na vedení [W].

5.2.1.4 Straty na nosných svorkách na vonkajšom vedení

Ak nosnú svorku namontujeme na vodič vonkajšieho vedenia, stáva sa jeho súčasťou a prechádza ňou elektrický prúd. Namontovanie nosnej svorky na lano zapríčini vznik ďalších strát na vedení:

- straty vplyvom skin efektu vo svorke,
- straty vplyvom premagnetovania svorky,

Jav nazývaný skin efekt bol vysvetlený v predchádzajúcom texte. Tak ako vplyva skin efekt na zvýšenie veľkosti rezistencie lana, tak sa prejaví aj v nosnej svorke namontovanej na lano vonkajšieho vedenia a zvýšia sa tým celkové Joulove straty na vedení. Ďalšie prídavné činné straty sú zapríčinené premagnetovaním svorky. Tieto straty sú straty hysterézou a straty vírivými prúdmi. Závesná časť nosnej svorky spolu s telesom svorky tvorí závit nakrátko, v ktorom vznikajú vírivé prúdy. Na straty vírivými prúdmi má vplyv:

- tvar a objem nosnej svorky,
- materiál nosnej svorky,
- nasýtenie nosnej svorky.

Veľkosť hysteréznych strát najviac ovplyvňuje materiál, z ktorého je nosná svorka vyrobená a jej nasýtenie. Hysterézne straty vznikajú aj v jadre AlFe lana, ktorého jadro je z feromagnetického materiálu. Ale ich veľkosť je oproti hysteréznym stratám v svorke zanedbateľná.

5.2.2 Činné straty na káblových vedeniach

Rezistanciu káblov určíme rovnakým spôsobom ako u vonkajších vedení. Uvažujeme aj možné zväčšenie rezistancie kábla vplyvom kovového plášťa resp. kovového panciera kábla (vplyv vírivých prúdov a hysterézie). Zväčšenie rezistancie uvedenými vplyvmi závisí aj od konštrukcie kábla. Je to však problematické matematicky exaktne vyjadriť.

Často sa používa vyjadrenie:

$$R = R_s + AR$$

kde

R_s je rezistancia kábla pri striedavom prúde s rešpektovaním vplyvu plášťa a malej vzdialenosti medzi jednotlivými žilami kábla,
 AR prídavná rezistancia, zväčšuje sa úmerne s prierezom kábla, závisí aj od typu kábla a menovitého napätia.
 Pre prierezy káblov 35 až 400 mm² je AR od 0,0003 až 0,003Q.km⁻¹.

Priečne činné straty na káblových vedeniach sú spôsobené dielektrickými stratami, ktorých veľkosť je daná pomocou stratového uhla δ , resp. stratovým činiteľom $\tan \delta$.

Stratový činiteľ $\tan \delta$ je definovaný:

$$\tan \delta = \frac{r}{U \epsilon_0 \epsilon_r \omega}$$

kde

r je merná vodivosť izolantu,
 ϵ_0 permitivita vákua,
 ϵ_r relatívna permitivita izolantu,
 ω uhlová frekvencia.

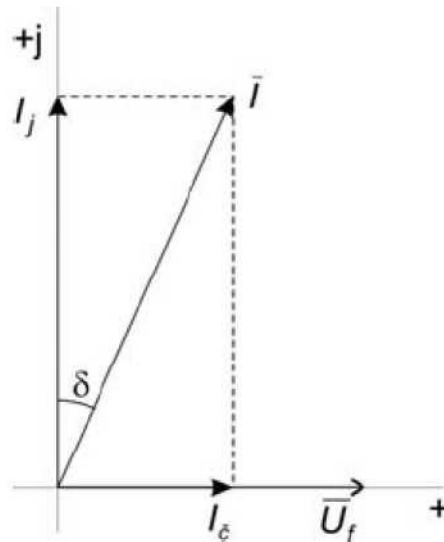
Súčin relatívnej permitivity a stratového činiteľa sa nazýva stratové číslo. Čím je tento súčin väčší, tým rýchlejšie sa dielektrikum zahrieva.

Trojfázové dielektrické straty v kábli sú:

$$\Delta P_d = 3 U_f I_f \tan \delta = \sqrt{3} U I_f \tan \delta = \omega U^2 C U \tan \delta$$

$$\Delta P_d = Q_c \tan \delta$$

kde $Q_c^2 = \omega C U^2$ je kapacitný nabíjaci výkon káblového vedenia,



Obr. 3 Prúd v dielektriku

kde I_c , I_j je reálna a imaginárna zložka prúdu.

5.2.3 Činné straty na výkonových transformátoroch

Na transformátore vznikajú straty vo vinutí a straty v magnetickom obvode. Straty vo vinutí sú Joulove straty na činnom odpore vinutia transformátora. Tieto straty sú priamo úmerné druhej mocnine veľkosti pretekajúceho prúdu vinutím. Preto sú tieto straty závislé na veľkosti a charaktere prenášaného výkonu cez transformátor (obdobne ako na vedení). Straty vo vinutí transformátora sa nazývajú straty nakrátko AP_k a zisťujú sa z merania nakrátko.

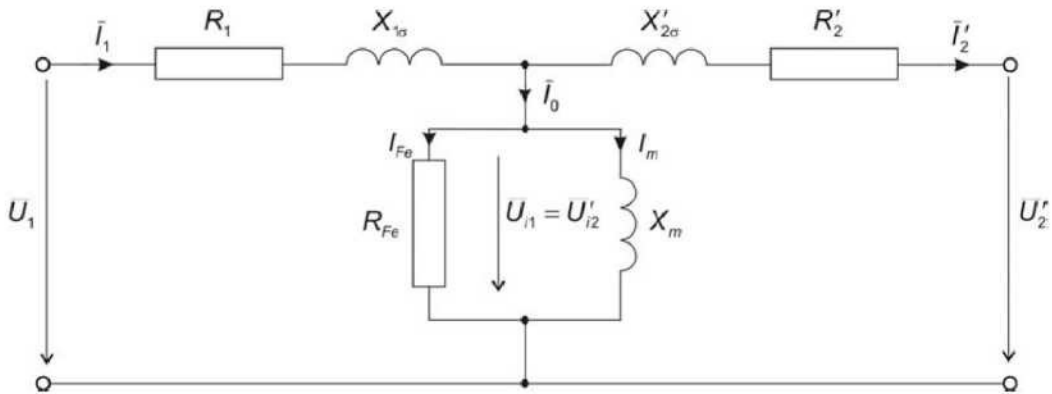
Pre trojfázový dvojvinuťový transformátor sú straty nakrátko dané:

$$AP_k = 3f i_{r'n}^2$$

kde R_{vin} je odpor vinutia (primárneho aj sekundárneho) transformátora.

Straty naprázdno (straty v magnetickom obvode transformátora) sú nezávislé od zaťaženia transformátora. Straty naprázdno sú tvorené stratami hysteréznymi a stratami vírivými prúdmi.

Úplná náhradná schéma dvojinuťového transformátora je na nasledovnom obrázku:



Obr. 4 Úplná náhradná schéma transformátora

kde

- R_1 je rezistancia primárneho vinutia, rozptylová reaktancia primárneho vinutia,
 $X_{1\sigma}$, rozptylová reaktancia primárneho vinutia,
 R_2' rezistancia sekundárneho vinutia prepočítaná na primárnu stranu transformátora
 $R_2 = p^2 R_2$,
 $X_{2\sigma}'$ rozptylová reaktancia sekundárneho vinutia prepočítaná na primárnu stranu
 $X_{2\sigma} = p^2 X_{2\sigma}$

p prevod transformátora, $p = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$

N_1 počet závitov primárneho vinutia,
 N_2 počet závitov sekundárneho vinutia,

U_1 napätie na vstupe,

U_2 napätie na výstupe,

U_2' napätie na výstupe prepočítané na vstup,

X_m magnetizačná (hlavná) reaktancia,

R_{Fe} fiktívna rezistancia železa, predstavujúca činné straty v železe,
 I_1 vstupný prúd,

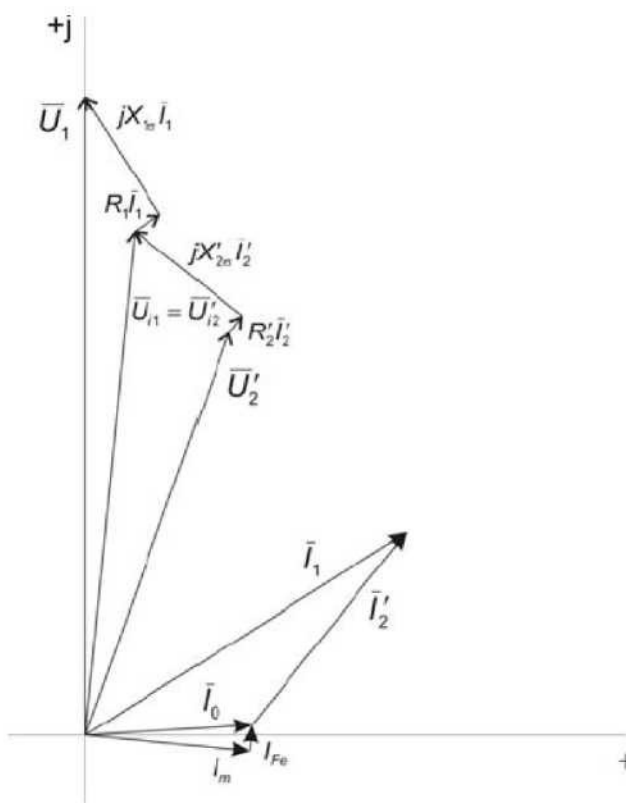
I_2' výstupný prúd prepočítaný na vstup $I_2' = -I_2$

I_0 prúd naprázdno $I_0 = I_{Fe} - jI_m$

I_m magnetizačný prúd,

I_{Fe} činná zložka prúdu naprázdno.

Fázorový diagram pre dvojvinuťový transformátor je na nasledovnom obrázku:



Obr. 5 Fázorový diagram pre dvojvinuťový transformátor

5.2.3.1 Straty v železe transformátora

Straty v železe transformátora sú spôsobené vírivými prúdmi a hysteréziou magnetického obvodu transformátora.

Hysterézne straty vznikajú pri striedavej magnetizácii feromagnetického materiálu. Veľkosť hysteréznych strát je úmerná veľkosti plochy hysteréznej slučky.

Tvar a veľkosť hysteréznej slučky je závislá:

- od chemického zloženia materiálu magnetického obvodu transformátora,
- od tepelného spracovania (žíhanie) plechov,
- od mechanického spracovania plechov (spôsob valcovania magnetických plechov transformátora).

V materiáli plechov sa vyskytujú rôzne znečistenia spôsobené uhlíkom, sírou, kyslíkom, dusíkom. Prítomnosť týchto znečisťujúcich prímiesí v magnetickom obvode zväčšuje hysterézne straty. Najnepriaznivejší je uhlík, preto sa zvyšuje v plechoch obsah kremíka, ktorý nedovoľuje v železe rozpustenie väčšieho množstva uhlíka. Kremík tiež zvyšuje vlastnú rezistanciu plechu a tak znižuje straty vírivými prúdmi.

Hysterézne straty sú tiež priamo úmerné frekvencii premagnetovania železa.

Hysterézne straty v jednotke hmoty sú dané:

$$= k_h f B^x$$

kde

f je frekvencia premagnetovania železa,
B maximálna hodnota indukcie,
 k_h konštanta závislá na chemickom zložení a spracovania plechov,
x doporučená hodnota exponentu pre plech valcovaný za tepla je 1,6,
pre anizotropný plech je väčšia, závislá od veľkosti indukcie.

Platí

$$AP_{hE} \\ \approx f B = 1.0T$$

alebo

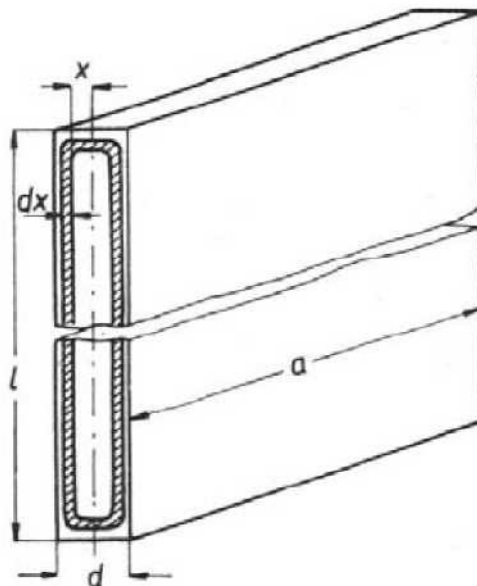
kde

$AP_{hB=1,0T}$ sú hysterézne straty pri indukcii B = 1,0 T,
 AP_{hB} hysterézne straty pri ľubovoľnej indukcii.

V oboch prípadoch uvažujeme rovnakú frekvenciu premagnetovania železa. Časovou zmenou magnetického poľa sa indukujú vo feromagnetiku napätia, ktoré v ňom vyvolávajú prúdy. Vzniká v ňom prúdové pole s prúdnicami do seba uzavretými, preto boli tieto prúdy pomenované ako vírivé prúdy. Vírivé prúdy vytvárajú magnetické pole, ktoré sa skladá s pôvodným poľom do poľa výsledného. Vo všeobecnosti sa vplyvom vírivých prúdov indukčné čiary poľa vytláčajú k povrchu, vzniká magnetický skin efekt. Vonkajším prejavom v elektrickom obvode je zníženie indukčnosti magnetujúcej cievky s feromagnetikom pri zvyšovaní frekvencie. Vírivé prúdy pri prechode prostredím o konečnej vodivosti vytvárajú Joulove straty. Voláme ich stratami vírivými prúdmi.

Pre výpočet veľkosti strát vírivými prúdmi vychádzajme z nasledovných predpokladov:

- Hrúbka plechu d je mnohonásobne menšia ako jeho šírka l ($d \ll l$).
- Plechom prechádza magnetický tok, ktorého siločiaru sú v smere s hranou plechu s.
- Predpokladajme, že indukcia B je v každom mieste prierezu rovnaká, takže tu nie je odmagnetizujúce pôsobenie vírivého prúdu. Tento predpoklad je pre nízke frekvencie (50 Hz) a tenké plechy vyhovujúci.
- Priechy prierez plechu rozdelíme na jednotlivé elementárne obvody hrúbky dx a plochy $S_x \approx 2lx$.



Obr. 6 Element plechu transformátora

Maximálna hodnota toku spriahnutého s týmto obvodom je

$$9x = 2Blx$$

Efektívna hodnota elektromotorickej sily v uvažovanom obvode je

$$E_x = 4\alpha x f$$

(2Blx) kde

α je činiteľ tvaru (pre sínusový priebeh prúdu je rovný 1,11).

Odpor uvažovaného elementárneho obvodu je

$$R_x = \frac{2l}{a} \rho dx$$

kde

ρ je merný odpor plechu.

Straty v elementárnom obvode sú

$$\Delta P = \frac{1}{2} i^2 R_x = \frac{1}{2} i^2 \frac{2l}{a} \rho dx$$

Straty v celom plechu sú

$$AP_{\Sigma} = \int_0^{d/Z} \sigma_{\text{Fe}} \cdot f \cdot B \cdot \rho \cdot dZ$$

$$alb = \frac{n_{Fs}}{Y_{pt}}$$

kde

m_{pe} je hmotnosť železa,
 Y_{Fe} merná hustota železa.

Potom straty vírivými prúdmi sú

$$AP_w = \frac{31}{4} \cdot \frac{f^2 B^2 m_{Fs}}{Y_{r,P}}$$

Straty na jednotku hmotnosti

$$\Delta P_w = \frac{31}{4} \cdot \frac{f^2 B^2}{Y_{Fe} \rho}$$

Pre zníženie strát vírivými prúdmi sa používajú plechy menších hrúbok a s väčším merným odporom (pridaním kremíku).

5.2.4 Straty na tlmivke

Straty na tlmivke sú podobného charakteru ako na transformátoroch. Sú tvorené stratami vo vinutí tlmivky a stratami v magnetickom obvode tlmivky - hysterézne straty a straty vírivými prúdmi, pre ktoré platia vzťahy uvedené v predchádzajúcej podkapitole.

5.2.5 Straty na prechodových odporoch spojov

Skrutkový spoj je druh mechanického spoja. Spoj je charakterizovaný tesným priblížením spojovacích častí, ktoré sa dosiahne vyvinutím mechanického tlaku. Priťahovaním skrutky, pod hlavou ktorej je vložený vodič, nastáva deformácia skrutky, vodiča i matice. Tlak vo vytvorenom spoji spôsobuje pružnú deformáciu jednotlivých častí.

Energiu vo vytvorenom spoji možno definovať:

$$W = \frac{1}{2} Fd$$

kde

W	je energia napätosti	[J]
F	sila	[N]
d	veľkosť pružnej deformácie	[m]

Počas celej dĺžky života spoja musí byť tlak dostatočný, aby bol zabezpečený dobrý elektrický kontakt a prechodový odpor spoja bol nízky a časovo nepremenný. Pri dlhodobom zaťažení a najmä pri zvýšenej teplote dochádza k tzv. tečeniu materiálu, to znamená, že pružná deformácia sa mení na plastickú a tým sa znižuje energia napätosti v spoji.

Krytie úbytku energie v pružne deformovanom vodiči sa musí zabezpečiť pomocou skrutky a matice, ktoré sú vyrobené z tvrdšieho a pružnejšieho materiálu ako vodič. Pri hliníkových vodičoch sa do spoja vkladá aj pružná oceľová alebo bronzová podložka, ktorá nahrádza úbytok energie. Skrutkové spoje sa uvoľňujú aj vplyvom vibrácií, vznikajúcich napr. v transformátore, na prípojniciach, vodičoch. Zmenšovaním tlaku v spoji dochádza k zvýšeniu prechodového odporu a tým aj zvýšením Joulových strát v spoji. Tepelné straty vznikajú pri prechode elektrického prúdu cez odpor.

Za čas t vznikne teplo dané vzťahom:

$$Q = \int_c^j R_p I^2 dt$$

kde	
R_p	je prechodový odpor spoja,
I	prúd pretekajúci spojom,
t	čas.

Elektrický odpor je teplotne závislý, priamo úmerne podľa vzťahu:

$$R_s = R_{20} (1 + \alpha(S - 20))$$

kde

R_s	je odpor vodiča (spoja) pri teplote S ,
R_{20}	odpor vodiča pri teplote $20\text{ }^\circ\text{C}$,
α	teplotný súčiniteľ odporu [K^{-1}].

Uvažovaním teplotne závislého odporu dostaneme upravený vzťah pre Joulovo teplo:

$$Q = \int_{t_0}^{t_1} I^2 R (1 - \alpha(Q - 2Q_0)) dt$$

Časť vzniknutého tepla v spoji sa odvádza do okolia konvekciou a radiáciou a časť spôsobuje zvýšenie teploty spoja.

5.2.6 Vplyv vyšších harmonických na veľkosť strát elektrickej energie

Pod pojmom vyššie harmonické sa rozumejú sínusové priebehy napätí a prúdov, ktorých frekvencia je celočíselným násobkom základnej frekvencie danej elektrickej siete. Vyššie harmonické vznikajú v sieťach, kde sú nainštalované zariadenia s nelineárnou voltampérovou charakteristikou. Medzi zdroje vyšších harmonických, ktoré sa môžu šíriť v celej ES patria predovšetkým:

- transformátory,
- jednosmerné a striedavé pohony,
- oblúkové pece,
- kompaktné žiarivky,
- elektronicky spínané zdroje,
- výkonové polovodičové prvky,
- statické VAR kompenzátory,
- cyklokonvertory,
- HVDC zariadenia,
- FACTS zariadenia.

Nepriaznivé účinky prúdov a napätí vyšších harmonických v ES sú:

- chybná činnosť regulačných zariadení a ochrán,
- chybná funkcia HDO a iných systémov sieťovej signalizácie,
- prídavné straty na kondenzátoroch a rotačných strojoch,
- prídavný hluk motorov a iných prístrojov,
- telefónne interferencie,
- prídavné činné straty,
- zhoršenie tepelného režimu spotrebičov,
- zníženie životnosti zariadení a ich prieraz,
- vznik nežiadúcich rezonančných javov v sieti,
- nárast chýb meracích a regulačných zariadení a iné.

Efektívna hodnota deformovaného prúdu je daná:

$$\sqrt{\sum_{n=1}^{n=\max} I_n^2} = I_1 \cdot \text{THDI}$$

kde

I_n je efektívna hodnota n-tej harmonickej prúdu,
 I_1 efektívna hodnota základnej harmonickej prúdu,
 THDI celkové harmonické skreslenie prúdu (Total Harmonic Distortion).

$$\text{THDI} = \frac{I_{\text{THD}}}{I_1}$$

Vplyv vyšších harmonických na zvýšenie činných strát v elektrizačnej sústave:

- Keďže činné straty sú priamo úmerné druhej mocnine efektívnej hodnoty prúdu, nárast efektívnej hodnoty prúdu v dôsledku vyšších harmonických zapríčiní zvýšenie činných strát.
- S výskytom vyšších harmonických sa zvyšujú aj straty hysterézne a vírivými prúdmi, pretože tieto straty sú závislé na frekvencii.
- Obsah vyšších harmonických v prúde môže spôsobiť výraznejší prejav skin efektu, pretože tento jav vzniká najmä pri vyšších frekvenciách.

4.1 Hospodárske aspekty merania strát elektrickej energie

V procese reštrukturalizácie energetiky, ktorý v súčasnosti prebieha v mnohých krajinách s cieľom vytvoriť trhové prostredie, sa vynára niekoľko problémov. Jedným z nich je určenie relatívnej zodpovednosti zdrojov a záťaží za straty činného výkonu v prenosovej sústave. Aby toto rozdelenie strát bolo spravodlivé voči všetkým subjektom, je potrebné použiť metodológiu, ktorá berie do úvahy všetky charakteristiky sústavy.

Straty závisia od tokov činného a jalového výkonu od generátora k záťaži cez niekoľko alternatívnych prenosových ciest, ktoré operátorovi nie sú známe, t.j. závisia od obmedzení systému a topológie siete. V princípe by mali za straty platiť výrobcovia aj spotrebiteľia, pretože rovnako využívajú prenosovú sústavu a sú teda zodpovední za straty.

Zásadným problémom pri rozdelení strát jednotlivým subjektom je fakt, že prenosové straty sú neseparovateľnou a nelineárnou funkciou výkonov vstupujúcich do jednotlivých uzlov, a teda ich nie je možné rozdeliť na súčet prvkov, ktoré môžu byť jednoznačne priradené jednotlivým generátorom a záťažiam.

V poslednom období bolo v literatúre navrhnutých niekoľko metód rozdelenia strát v prenosovej sústave, ktoré sa snažia korektne rozdeliť straty medzi generátory a záťaže. Avšak v každom z navrhnutých prístupov je určitý stupeň náhodnosti a ich výsledky sa od seba často od seba výrazne líšia, takže problém spravodlivého rozdelenia asi nebude nikdy úplne vyriešený. Je však možné zdefinovať určité vlastnosti, ktoré by mal algoritmus rozdelenia strát spĺňať na to, aby mohol byť uznaný za spravodlivý:

- byť v súlade s výsledným tokom výkonov alebo prúdov,

- uvažovať množstvo vyrobenej alebo spotrebovanej energie,
- uvažovať relatívne umiestnenie subjektu v prenosovej sústave,
- uvažovať topológiu siete a napäťovo-prúdové pomery,
- byť jednoducho implementovateľný a zrozumiteľný.

V nasledujúcom texte uvedieme stručné charakteristiky jednotlivých metód. Uvažujme, že:

$$P_G = P_D + AP$$

$$P_G = \sum_i P_{G_i}$$

$$\sum_{j=1} P_{D_j}$$

kde

P_G	je celkový vygenerovaný činný výkon,
P_{G_i}	výkon generátora v uzle i ,
P_D	celková spotreba činného výkonu,
P_{D_j}	spotreba v uzle j ,
AP	prenosové straty,
n_G	počet generátorických uzlov,
n_D	počet odberových uzlov.

5.3.1 Metóda Pro rata

Pro rata techniky patria medzi najpoužívanejšie (Conejo, *et al*, 2002). Najskôr sú straty globálne priradené generátorom a spotrebe, napr. 50% každej kategórii. Potom je použité proporcionálne rozdelenie: straty priradené generátoru (zátäži) sú proporcionálne vyrobenému (spotrebovanému) výkonu:

$$AP_{G_i} = \frac{2 P_{G_i}}{P_G}$$

$$AP_{D_j} = \frac{2 P_{D_j}}{P_D}$$

kde

AP_{G_i}	sú straty priradené generátoru i ,
AP_{D_j}	straty priradené záťaži j .

Potom je možné vyjadriť faktory rozdelenia strát pre generátory KG resp. záťaže KD nasledovne:

$$A J > = K_{r_{PC}}^{f_{i..}} \quad \begin{matrix} K_i = 1 AF \\ G = 2^3 G \end{matrix}$$

$$AJV = K_{PD}^{PD_i} \quad \begin{matrix} K_i = 1 AF \\ D = 2 PL \end{matrix}$$

Poznamenajme, že faktory rozdelenia strát sú rovnaké pre všetky generátory, resp. pre všetky záťaže. Straty priradené jednotlivým generátorom a záťažiam sú vždy kladné. Bola navrhnutá aj modifikácia tejto metódy, ktorá je namiesto výkonov založená na veľkosti prúdov.

Pro rata metóda je jednoducho implementovateľná, avšak neberie do úvahy relatívne umiestnenie subjektu v prenosovej sústave, t.j. relatívne vzdialené generátory a záťaže sú zvyhodnené na úkor ostatných.

5.3.2 MW-mile metóda

MW-mile metóda (Shrimohammadi, *et al*, 1996) priraduje 50% strát spotrebe a 50% generátorom, pričom je založená na miere využitia prenosovej sústavy T. Táto je funkciou veľkosti tokov výkonov ako aj prenosovej cesty a vzdialenosti a je definovaná pre jednotlivé generátory a záťaže nasledovne:

$$T_{G_i} = \sum_{k=1}^m F_{G_{ki}} l_k$$

$$T_{D_i} = \sum_{k=1}^m F_{D_{ik}} l_k$$

kde

- FD_{ik} je tok výkonu v MW vo vetve k spôsobený spotrebou i,
- FG_{ki} tok výkonu v MW vovetve k spôsobený generátorom i,
- l_k dĺžka vetvy v míľach,
- m počet vetiev.

Potom straty priradené jednotlivým generátorom a záťažiam sú:

$$A^i V - i F \text{ —————}$$

$$AP_n \sim AP \quad \begin{matrix} T_i \\ P^{TM} \\ A^{-1} \end{matrix} D_j$$

5.3.3 Proporcionálne rozdelenie strát

Táto metóda kombinuje výpočet tokov výkonov cez vedenia s princípom lineárneho proporcionálneho rozdelenia (Bialek, 1996, Bialek, *et al*, 2004; Adsoongnoen, *et al*, 2005). Najskôr sú rozdelené straty medzi záťaže s využitím jednoduchého princípu: straty spojené s každým vedením, ktorého tok vstupuje do daného uzla, sú prenesené na vedenia, ktorých toky vystupujú z uzla (alebo na spotreby v tomto uzle) proporcionálne k tokom výkonov v týchto vedeniach. Analogicky sú straty priradené generátorom podľa princípu: straty spojené s každým vedením, ktorého tok vystupuje z daného uzla, sú prenesené na vedenia, ktorých toky vstupujú do uzla (alebo na generátory v tomto uzle) proporcionálne k tokom v týchto vedeniach. Následne sú straty prepočítané tak, aby napr. 50% bolo priradených spotrebe a 50% výrobe. Vstupné informácie potrebné na aplikáciu tejto metódy sú toky č inných výkonov a straty v každom vedení a generovaný alebo spotrebovaný výkon v každom uzle. Vypočítané straty sú vždy kladné.

Pri rozdelení strát medzi spotrebu definujeme celkovú spotrebu zahrňujúcu straty:

$$P_D = P_d + \sum_{j=1}^n \delta_{ji} P_j^c$$

kde

P_D je celková spotreba v uzle j .

Celková spotreba P_D sa musí rovnať celkovej výrobe P_G . Podľa princípu proporcionálneho rozdelenia musí pre každý uzol ekvivalentnej bezstratovej siete platiť:

$$P_i^c = P_{G_i} + \sum \delta_{ji} P_j^c$$

$$V_i = 1, \dots, n$$

$$\frac{P_{ii}^c}{P_j^c} = \frac{P_i}{P_j}$$

kde

P_i^c je celkový výkon vstupujúci do uzla i ,

P_{G_i} výroba v uzle i ,

δ_{ji} tok výkonu vstupujúci do uzla i z vedení, ktoré sú k nemu pripojené,

A_i množina uzlov, z ktorých tečú výkony do uzla i ,
celkový tok výkonu z j do i ,

P_{ji} skutočný tok výkonu z j do i (meraný v j),

P_j skutočný výkon vstupujúci do j .

Systém lineárnych rovníc, podľa vyššie uvedenej teórie môže byť vektorovo prepísaný:

$$\mathbf{A}_d \mathbf{P}^c = \mathbf{P}_G$$

Riešením systému rovníc získame P_i^c , $i=1, \dots, n$. Potom je možné vyjadriť celkovú spotrebu a straty v uzle j :

$$P_{D_j}^c - \frac{P_j^c}{P_j} P_{D_j} = \Delta P_{D_j} = P_{D_j}^c - P_{D_j}$$

Analogicky sú straty priradené generátorom. Celková výroba zahrňujúca straty $P_{\mathcal{E}}$ je definovaná ako:

$$\mathbf{P}_G = \mathbf{1} \tilde{\mathbf{G}} + \mathbf{A} \mathbf{t} = \mathbf{Y} \mathbf{I}_{\mathcal{E}} \\ \mathbf{M}^{-1}$$

kde $P_{\mathcal{E}}$ je celková výroba v uzle i .

Táto celková výroba $P_{\mathcal{E}}$ musí byť rovná celkovej spotrebe P_D . Potom pre uzol i ekvivalentnej bezstratovej siete platí:

$$P_{\mathcal{E}} = P_D$$

kde P_{D_i} je spotreba v uzle i
 \mathbf{WMT} tok výkonu vystupujúci do uzla i
 P_i množina uzlov, do ktorých tečú výkony z uzla i .

Riešením systému rovníc získame P_{G_i} , $i=1, \dots, n$. Potom celkovú výrobu a straty v uzle i vyjadríme ako:

$$P_{G_i}^c - \frac{P_i^c}{P_i} P_{G_i} = \Delta P_{G_i} = P_{G_i}^c - P_{G_i}$$

Nakoniec straty prepočítame tak, aby 50% bolo priradených spotrebe a 50% výrobe. Vypočítame výslednú výrobu a spotrebu v uzloch:

$$P_{G_i}^r = \frac{P_{G_i}^c + P_{G_i}}{2} \quad P_{D_i}^r = \frac{P_{D_i}^c + P_{D_i}}{2}$$

a výsledné straty priradené každému generátoru a spotrebe:

$$\Delta P_{G_i} = P_{G_i} - P'_{G_i} \quad \Delta P_{D_j} = P_{D_j} - P'_{D_j}$$

Faktory rozdelenia strát pre generátory KG_i resp. záťaže KD_j môžeme vyjadriť nasledovne:

$$K_{G_i} = 1 - \frac{P'_{G_i}}{P_{G_i}} \quad K_{D_j} = \frac{P'_{D_j}}{P_{D_j}} - 1$$

5.3.4 Z-bus metóda

Z-bus (Conejo, *et al*, 2001) metóda rozdeľuje prenosové straty na základe riešenia ustáleného stavu a presných rovníc siete, ktoré sú reprezentované admitančnou maticou siete. V procese rozdeľovania strát sa uvažujú prúdy namiesto výkonov, čo zohľadňuje fakt, že prúdy predstavujú dominantný faktor pri určovaní prenosových strát. Generátorom a záťažiam, ktoré sú vzdialenejšie od „gravitačného stredu“ sústavy, sú priradené vyššie straty. Straty vypočítané touto metódou môžu byť aj záporné, ktoré môžu byť interpretované ako finančné stimuly pre generátory a záťaže, ktoré sú v sieti strategicky dobre umiestnené.

Cieľom Z-bus metódy je rozdeliť prenosové straty AP medzi n uzlov:

$$AP = \sum_{i=1}^n AP_i$$

kde AP_i sú straty priradené činnému výkonu vstupujúcemu do uzla i.

Výpočet jednotlivých AP_i je založený na inverzii admitančnej matice siete:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{G} + \mathbf{jB} \quad \mathbf{Z} = \mathbf{Y}^{-1} = \mathbf{R} + \mathbf{jX}$$

Predpokladajme, že existuje vypočítaný ustálený stav, ktorý okrem iného definuje vektor komplexných prúdov \mathbf{I} a vektor komplexných napätí v uzloch \mathbf{V} . Potom prenosové straty môžu byť vyjadrené pomocou komplexných prúdov a impedančnej matice:

$$\Delta P = \Re \left[\sum_{i=1}^n I_i^* \left(\sum_{j=1}^n R_{ij} I_j \right) \right]$$

Straty priradené jednotlivým uzlom potom sú:

$$\Delta P_i = \Re \left[I_i^* \sum_{j=1}^n R_{ij} I_j \right]$$

Všeobecne, ak v danom uzle je výroba P_{Gi} aj spotreba P_{Di} , potom im straty môžu byť rozdelené *pro rata* metódou:

APG, (í-tihp, íiv,, TÍÁL'í

ii

5.3.5 Marginálne metódy

Popularita tejto skupiny metód v súčasnosti narastá, sú implementované v Nórsku a uvažuje sa o nich v ďalších krajinách, napr. Brazília, Španielsko, Veľká Británia. Marginálne metódy (Conejo, *et al*, 2002; da Silva and de Carvalho Costa, 2003a; da Silva and de Carvalho Costa, 2003b; Galiana and Phelan, 2000; Galiana, *et al*, 2002; Belati, *et al*, 2005) sú založené na ITL (Incremental Transmission Loss) koeficientoch, ktoré pre daný uzol vyjadrujú citlivosť celkových strát na inkrementálnu zmenu výkonu vstupujúceho do tohto uzla za predpokladu, že výkony vstupujúce do ostatných uzlov okrem vzťažného uzla (ktorý straty kompenzuje) sú konštantné:

$$K_i = \frac{\partial(\Delta P)}{\partial(P_{G_i} - P_{D_i})}$$

kde

K_i je ITL koeficient prislúchajúci uzlu i .

ITL koeficient vzťažného uzla je rovný nule, pretože každá zmena výkonu vstupujúceho do tohto uzla je kompenzovaná v tomto uzle.

Straty priradené generátoru i a záťaži j sú vyjadrené nasledovne:

$$\Delta P_{G_i} = P_{G_i} \frac{\partial L}{\partial P_{G_i}} = P_{G_i} K_i$$

$$\Delta P_{D_j} = P_{D_j} \frac{\partial L}{\partial P_{D_j}} = P_{D_j} K_j$$

Avšak v dôsledku nelinearít sa súčet týchto strát $\Delta P'$ nerovná súčtu skutočných (nameraných) strát ΔP :

$$\Delta P \neq \sum_{i=1}^{n_G} \Delta P_{G_i} + \sum_{j=1}^{n_D} \Delta P_{D_j} = \sum_{i=1}^{n_G} P_{G_i} K_i - \sum_{j=1}^{n_D} P_{D_j} K_j = \Delta P'$$

Aby sa rozdelilo iba skutočné množstvo strát, je potrebné urobiť normalizáciu:

$$\Delta P = \Delta P' \frac{\Delta P}{\Delta P'} = \left(\sum_{i=1}^{n_G} P_{G_i} K_i - \sum_{j=1}^{n_D} P_{D_j} K_j \right) \frac{\Delta P}{\Delta P'} = \sum_{i=1}^{n_G} P_{G_i} K_i' - \sum_{j=1}^{n_D} P_{D_j} K_j'$$

kde $K_i = K_i \frac{\Delta P}{\Delta P'}$ je normalizovaný ITL koeficient pre generátor i

Potom straty priradené generátorom a záťažiam sú:

$$\Delta P_{G_i} = P_{G_i} K_i' \quad \Delta P_{D_j} = P_{D_j} K_j'$$

Táto metóda rozdelenia strát môže priradiť generátorom a záťažiam záporné straty, ktoré môžu byť interpretované ako krížové dotácie. Okrem toho jej výsledkom môže byť veľmi nerovnomerné rozdelenie strát medzi generátory a záťaže v neprospech generátorov. Vstupné informácie potrebné na aplikáciu tejto metódy sú generovaný alebo spotrebovaný výkon v každom uzle a riešenie ustáleného stavu.

V prípade, že sú záporné straty nevyhovujúce, je možné použiť nasledovnú modifikáciu, v ktorej sú definované rozdielne ITL koeficienty pre generátory a pre záťaže. Metóda využíva fakt, že ITL koeficienty pre daný vzťahný uzol môžu byť prepočítané vzhľadom k inému vzťahnému uzlu pomocou translačného koeficientu P ($0 < P < 1$).

Celkové straty môžu byť vyjadrené ako:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n K_i' P_i - \sum_{j=1}^n K_j' (P_{G_i} - P_{D_j})$$

a tiež ako:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n (P_{G_i} - P_{D_i}) = \sum_{i=1}^n P_i$$

Vynásobením vyššie uvedených rovníc koeficientom P ($0 < P < 1$) a výrazom $(1-p)$ a následne ich sčítaním dostaneme:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n P_i K_i' + (1-p) \sum_{i=1}^n P_i$$

z čoho vyplýva:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n [\beta K_i' + (1-\beta)] P_i = \sum_{i=1}^n K_{ni} P_i$$

kde $K_{ni} = \beta K_i' + (1-\beta)$ je nový ITL koeficient pre uzol i .

Zmena vzťahného uzla je uskutočnená takým spôsobom, že ITL koeficient generátora s najmenšou hodnotou sa zmení na nulový, čím sa zabráni priradeniu záporných strát generátorom. Nech K'_{Gk} je normalizovaný ITL koeficient generátora s najmenšou hodnotou, potom je transformačný koeficient β_G vypočítaný nasledovne:

$$K_{Gk} = 0 = \beta_G K'_{Gk} + (1 - \beta_G)$$

$$\beta_G = \frac{1}{1 - K'_{Gk}}$$

Nové ITL koeficienty pre generátory sú:

$$K'_{Gk} = \beta_G K_{Gk} + (1 - \beta_G)$$

Transformačný koeficient pre záťaž PD je vypočítaný ako:

$$K_{Dj} = \beta_D K'_{Dj} + (1 - \beta_D)$$

kde

K'_{Dm} je ITL koeficient záťaže s najvyššou hodnotou.

Potom nové ITL koeficienty pre záťaž sú:

$$K_{Dj} = \beta_D K'_{Dj} + (1 - \beta_D)$$

Nakoniec je možné ITL koeficienty normalizovať tak, aby 50% strát bolo priradených generátorom a 50% záťažiam.

ITL koeficienty môžu byť získané riešením nasledovného systému lineárnych rovníc s využitím napätí a uhlov z riešenia ustáleného stavu:

$\begin{bmatrix} K_P \\ K_Q \end{bmatrix}$	cP.	\hat{r}_P	ff.,	\hat{r}_Q	\hat{r}_Q	"cttP
	■ÍO, CP;	\hat{r}_P	m	\hat{r}_Q	\hat{r}_Q	*3, ČAP
			m^*		\hat{r}_Q	ře.
	\hat{r}_P	pp.	m	\hat{r}_Q	\hat{r}_Q	t?Áp
			K			60íí
	ilL		\hat{r}_Q	c	\hat{r}_Q	č_iP
m	SUi		\hat{r}_Q	\hat{r}_Q	čll]	
\hat{r}_P	\hat{r}_Q		\hat{r}_Q	\hat{r}_Q	PU. PíP	
dV_2	dU_2	ev_2	eu_2	fU_2	\hat{r}_U	ČU ₂
čPj		\hat{r}_Q	\hat{r}_Q	\hat{r}_Q	\hat{r}_Q	e^p
$C_{\sigma\sigma}$		eu_n	w^*		\hat{r}_U	J

K: = K.,

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} = U_i U_j [G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)]$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_i} = -B_{ii} U_i^2 - \sum_{j=1}^n U_i U_j [G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)]$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial U_j} = U_i [G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)]$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial U_i} = G_{ii} U_i + \sum_{j=1}^n U_j [G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)]$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j} = -U_i U_j [G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)]$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \theta_i} = -G_{ii} U_i^2 + \sum_{j=1}^n U_i U_j [G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)]$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial U_j} = U_i [G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)]$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial U_i} = -B_{ii} U_i \sum_{j=1}^n U_j [G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)]$$

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial \theta_i} = 2 \sum_{j=1}^n U_i U_j G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)$$

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial U_i} = 2 \sum_{j=1}^n G_{ij} [U_i - U_j \cos(\theta_i - \theta_j)]$$

kde G_{ij} je reálna časť ij -prvku uzlovej admítančnej matice.

5.3.6 EBE metóda

Jedná sa o jednu z najnovších metód (Mateus and Cuervo, 2005), ktorá vychádza z princípu ekvivalentných bilaterálnych výmen (EBE - Equivalent Bilateral Exchange). Je založená na tokoch výkonov v tom zmysle, že pri priradovaní strát jednotlivým subjektom zohľadňuje ich relatívne umiestnenie v sieti, nie je závislá od voľby vzťahného uzla, nevytvára nežiaduce záporné straty a je jednoducho aplikovateľná. Pri implementácii potrebuje informáciu o generovanom a spotrebovanom výkone v každom uzle a riešenie ustáleného stavu.

Predpokladajme, že je daný ustálený stav zahrňujúci toky výkonov a straty v jednotlivých vedeniach. Pre každé vedenie k spájajúce uzly s a r je priemerný tok z uzla s do uzla r vyjadrený ako:

$$P_k^{av} = \frac{P_{sr} + P_{rs}}{2}$$

kde

P_{sr} je tok výkonu z uzla s do uzla r

P_{rs} tok výkonu z uzla r do uzla s.

Straty vo vedení k sú:

$$\Delta P_k = P_{sr} - P_{rs}$$

Polovica týchto strát je priradená uzlu s a druhá polovica uzlu r, pričom tieto straty sú považované za virtuálne záťaž. Nech uzol j so spotrebou P_{Dj} je pripojený k ostatným uzlom množinou vedení Q_j , potom ekvivalentná záťaž v uzle P^{Δ} je:

$$P_{Dj}^{eq} = P_{Dj} + \Delta P_{Dj}$$

$$\Delta P_{Dj} = \sum_{k \in \Omega_j} \frac{\Delta P_k}{2}$$

Prvým krokom metódy je identifikovať ekvivalentné bilaterálne výmeny (EBE) medzi všetkými generátormi a záťažami vrátane virtuálnych. EBE medzi výrobou P_{Gi} a spotrebou P_{Dj} je definovaná nasledovne:

$$GL_{ij} = \frac{P_{Gi} P_{Dj}}{P_{Gi}}$$

EBE môže byť interpretovaná ako časť spotreby P_{Dj} , ktorá je pokrytá z P_{Gi} .

Predpokladá sa, že každý generátor rovnomerne pokrýva časť každej spotreby a naopak, každá spotreba je rovnomerne pokrytá časťou každej výroby. Potom platí:

$$P_{ij} = \frac{P_{G_i}}{n_G} \cdot \frac{P_{D_j}}{n_D}$$

EBE medzi generátormi a virtuálnymi záťažami je všeobecne definovaná ako:

$$GD_{ij}^{\Delta} = \frac{P_{G_i} \cdot P_{D_j}}{P_G}$$

Priemerný tok činného výkonu vo vedení k je potom daný:

$$P_k^{av} = \sum_{i=1}^{n_G} \sum_{j=1}^{n_D} \gamma_{ijk} (GD_{ij} + GD_{ij}^{\Delta})$$

kde

γ_{ijk} je distribučný faktor, ktorý vyjadruje citlivosť toku výkonu cez vedenie k vzhľadom k výkonu vstupujúcemu do uzla i za predpokladu, že uzol j je vzťažný. Distribučné faktory γ_{ijk} je možné vypočítať na základe riešenia ustáleného stavu (Galiana, *et al*, 2003).

Využitie vedenia k bilaterálnou výmenou ($GD_{ij} + GD_{ij}^{\Delta}$) je potom definované ako:

$$V_{ijk} = \gamma_{ijk} (GD_{ij} + GD_{ij}^{\Delta})$$

$$V_{ijk} = \gamma_{ijk} (GD_{ij} + GD_{ij}^{\Delta})$$

a celkové využitie vedenia k všetkými bilaterálnymi operáciami je:

$$V_k = \sum_{j=1}^{n_D} \sum_{i=1}^{n_G} \gamma_{ijk} (GD_{ij} + GD_{ij}^{\Delta})$$

Pre každú bilaterálnu výmenu je definovaný proporcionálny faktor využitia:

$$\sigma_{ijk} = \frac{\gamma_{ijk} GD_{ij}}{V_k} \quad \sigma_{ijk}^{\Delta} = \frac{\gamma_{ijk} GD_{ij}^{\Delta}}{V_k}$$

Straty sú priradené jednotlivým EBE proporcionálne k ich využitiu vedenia, t.j.:

$$\Delta P_{ijk} = \frac{P_{ij} \cdot \Delta P_{ijk}}{\sum_{k \in \Omega_j} P_{ijk}}$$

Straty ΔP_{ijk} sú rozdelené v pomere 50:50 medzi generátor i a záťaž j . Polovica strát ΔP_{ijk} je tiež priradená generátoru i , zatiaľ čo druhá polovica je proporčne rozdelená medzi všetky záťaže (nakoľko P_{Dj} je virtuálna záťaž). Výsledné straty priradené generátorom a záťažiam:

$$\Delta P_{Gi} = \sum_{j=1}^{n_D} \sum_{k \in \Omega_j} \left(\frac{\Delta P_{ijk} + \Delta P_{ijk}^{\Delta}}{2} \right)$$

$$\Delta P_{Dj} = \sum_{i=1}^{n_G} \sum_{k \in \Omega_i} \left(\frac{\Delta P_{ijk}}{2} \right) + \frac{P_{Dj}}{P_D} \sum_{i=1}^{n_G} \sum_{j=1}^{n_D} \sum_{k \in \Omega_j} \left(\frac{\Delta P_{ijk}^{\Delta}}{2} \right)$$

Nasledovná tabuľka sumarizuje kvalitatívne porovnanie predstavených metód, pričom:

PR	je <i>Pro-rata</i> metóda
ITL	marginálna ITL metóda
M-ITL	modifikovaná ITL metóda
PS	metóda prop. rozdelenia strát
Z-bus	<i>Z-bus</i> metóda
MW-m	<i>MW-mile</i> metóda
EBE	EBE metóda.

Tabuľka č. 5 Kvalitatívne porovnanie metód rozdeľovania strát

	PR	ITL	M-ITL	PS	Z-bus	MW-m	EBE
Uvažuje veľkosť pren. výkonu alebo prúdu?	áno	áno	áno	áno	áno	áno	áno
Uvažuje topológiu siete?	nie	áno	áno	áno	áno	áno	áno
Závisí od vzťahného uzla?	nie	áno	nie	nie	nie	nie	nie
Vytvára záporné straty?	nie	áno	nie	nie	áno	nie	nie
Je zrozumiteľná?	áno	áno	áno	áno	áno	áno	áno
Je jednoducho aplikovateľná?	áno	áno	áno	áno	áno	áno	áno

6. Skladba nákladov na trakčnú energiu

Náklady na nákup elektrickej energie pre elektrickú trakciu sú v zásade dané dvoma zložkami, a to:

- a) Náklady na nákup distribučných služieb v jednotlivých trakčných napájacích stanicích, pripojených k nadradeným prevádzkovateľom distribučných sústav. Ceny distribučných služieb sú regulované Úradom pre reguláciu sieťových odvetví (ďalej len „úrad“) a sú závislé od odoberaného výkonu (rezervácia kapacity, rôzna pre VN a VVN) a pretečeného množstva (platby za použitie sietí, systémové služby, cena na krytie viacerých nákladov spojených s podporou elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov, kombinovanej výroby elektrickej energie a tepla a druhotných zdrojov, cena za činnosti operátora trhu s elektrinou). Ceny distribučných služieb sú stanovené platným cenovým rozhodnutím úradu na príslušný rok.
- b) Cenou elektriny, kupovaných od príslušného obchodníka s elektrinou. Obchodník účtuje k predanému množstvu navyše daň z elektrickej energie a odvod do Národného jadrového fondu. Tieto platby sú stanovené zákonom a nie nepodliehajú regulácii podľa zákona č. 276/2001 Z. z. o regulácii sieťových odvetví a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej len „zákon o regulácii“).

6.1 Zložky spotreby trakčnej energie

Spotreba elektrickej energie v elektrickej trakkii je v zásade daná štyrmi zložkami a to:

- a) odber činnnej energie hnacími vozidlami (pre trakčné účely, vykurovania a klimatizácie vlakových súprav, reštauračné vozne),
- b) odber činnnej energie pevnými predkurovacími zariadeniami,
- c) spotrebou ostatných zariadení potrebných na prevádzku železničnej dopravnej cesty (napájanie zabezpečovacích zariadení, elektrický ohrev výmen, ostatná netrakčná technologická spotreba z trakkie atď.),
- d) súčtom celkových činných strát energie vznikajúcich v trakčnej napájacej sústave.

Zložka podľa bodu a) tvorí najväčší podiel nákladov na elektrickú energiu odoberanej v elektrickej trakkii. Jedná sa o elektrickú energiu odoberanú hnacími vozidlami oboch trakčných prúdových sústav, a to nielen pre vlastnú trakciu, ale aj pre napájanie vlastnej spotreby vlakových súprav (kúrenie, klimatizácia, spotreba reštauračných vozov).

Je to energia pretekajúca pripojovacím bodom hnacieho vozidla k trolejovým vedeniam, ktorým je jeho zberač. Je nespochybniteľné, že rovnaká energia sa potom vracia spätnou cestou (koľajnicami a zemou) do napájacej stanice.

Vzhľadom k tomu, že na sústavu 3 kV DC sú v meniarňach určené diódové trakčné usmerňovače, nemôže trolejovým vedením medzi susednými meniarňami pretekať vyrovnávací prúd, aj keď meniarne tejto sústavy pracujú paralelne.

Taktiež nemôže pretekať vyrovnávací prúd medzi susednými napájacími stanicami AC sústavy (trakčnými transformovňami), pretože trakčné vedenie traťových úsekov je napájané dôsledne jednostranne. Prevádzkovateľ dráhy ani dodávateľ elektrickej energie nemá záujem,

ani nemôže z bezpečnostných dôvodov pripustiť, prevádzkovať na AC sústave dvojstranné napájanie analogicky ako na sústavu DC.

6.1 Metódy určovania činnnej trakčnej energie

Hodnoty č innej energie odoberanej hnacím vozidlom je možné stanoviť:

- operatívnym výpočtom založeným na základe používaných modelových hodnôt Wh / hr_{tkm},
- na základe použitia údajov elektromerov činnnej energie inštalovaných na hnacích vozidlách.

Všeobecne možno k týmto metódam povedať, že každá z nich má svoje nepopierateľné výhody, ale aj nedostatky.

Vzniká tak všeobecný problém týkajúci sa presnosti stanovenia hodnôt činnnej energie odoberanej hnacími vozidlami elektrickej trakcie, ktorý by mal byť posudzovaný nielen z čisto metrologického hľadiska, ale mal by posudzovať aj ekonomickú a organizačnú stránku použitého spôsobu.

6.2.1 Spôsob ad a) používa hodnoty merných spotrieb

Je najjednoduchšou metódou nevyžadujúcou žiadne metrologické opatrenia. Ako príklad uvádzame merné hodnoty kWh / tis.h_{tkm}, aké sú v súčasnej dobe používané pre zúčtovanie spotreby dopravcu:

Tabuľka č. 6 Merná spotreba jednotlivých druhov vlakov

Druh vlaku	Merná spotreba [kWh/tis.h _{tkm}]
Vlaky Ex a R (SC, EC, IC, Ex, R, Sp, Sv)	25,00
Vlaky Os (zastávkové osobné vlaky, ostatné vlaky osobnej dopravy)	37,00
Vlaky nákladné (Nex, Rn, Pn, Vn, Mn+Vleč)	20,00
Ostatné vlaky (lokomotívne)	43,00

Je nespochybniteľné, že táto metóda má svoje úskalia, spočívajúce napr. v tom, že nerešpektuje:

- sklonové pomery tratí (redukovaný sklon, odpory oblúka),
- typy hnacích vozidiel, ich elektrické schémy trakčných obvodov, účinnosť a trakčné charakteristiky,
- použitú techniku jazdy,
- nepredvídané situácie v organizácii vlakovej dopravy (neplánované zastavenie, jazdy odbočkou, obmedzenie rýchlosti).

Možno povedať, že sa jedná o vplyvy, ktoré možno štatisticky spresniť s cieľom obmedzenia vplyvu jednotlivých uvedených úskalí.

Stále však ostáva vplyv týkajúci sa stanovenia vzťažnej hodnoty hrubých ton hmotnosti vlakových súprav. Tento problém sa vo zvýšenej miere dotýka práve ve ľkých spotrebičov elektrickej trakčnej energie, ktorými sú ucelené súpravy ťažkých nákladných vlakov, voziacich hromadné substráty (uhlie, ruda, tekutiny). Možno oprávnene predpokladať, že presnosť stanovenia skutočnej hmotnosti takých súprav nebude asi porovnateľná s presnosťou napr. elektromeru.

Niektoré zdroje uvádzajú až 30% rozptyl medzi deklarovanou a skutočnou hmotnosťou vlaku, a to z týchto dôvodov:

1. hmotnosť nákladu nákladného vlaku deklaruje prepravca - dopravcom nie je náklad až na výnimky vážený,
2. u osobnej dopravy je problém zrejмый pri uvedení si rozdielov hmotnosti prázdneho osobného vlaku a hmotnosti vlaku napr. v dopravnej špičke.

Podstatné zvýšenie spotreby vykazujú ťažké nákladné vlaky popísaného typu, ak by z dopravných dôvodov bola ich jazda postihnutá viacnásobnými zastaveniami s nasledujúcimi rozjazdmi či požiadavkou na krátenie jazdných dôb.

U súprav nákladných vlakov sa uplatňuje ešte vplyv zloženia vlakovej súpravy z hľadiska jazdného odporu. Je skutočnosťou, že ucelené súpravy sú obvykle zostavované jedným typom nákladných vozov, takže z hľadiska jazdného odporu taká súprava má najmenší koeficient aerodynamického odporu ($c \cdot V^2$) i pri väčšej jazdnej rýchlosti.

Bežné súpravy nákladných vlakov však bývajú oproti tomu často zostavované bez zreteľa na ich aerodynamické vlastnosti (napr. striedaním plošinových vozňov a vozňov krytých), čím sa zvyšuje aerodynamická zložka ich jazdného odporu a teda narastá aj hodnota odobratej elektrickej energie potrebnej pre vedenie takýchto vlakových súprav.

U vlakových súprav osobných vlakov je tento problém daný počtom cestujúcich. Možno oprávnene predpokladať, že bude badateľný rozdiel v spotrebe elektrickej energie málo a plne obsadenej súpravy.

Samostatnou kapitolou sú z hľadiska spotreby energie zastávkové vlaky. Tieto vozidlá majú aj pre sústavu 3 kV DC rozbehové vlastnosti rovnaké aké majú hnacie vozidlá AC sústavy 25 kV, 50 Hz. Vozidlá tejto koncepcie majú v porovnaní s klasickými vozidlami DC sústavy používajúcimi odporový rozjazd neporovnateľne menšiu mernú spotrebu (nezávisle na tom, či ich rozbehovej odporníky dovoľujú len dočasné alebo trvalé využitie).

Uvedená vlastnosť pulzného meniča sa uplatní aj u hnacích vozidiel lokomotívneho typu v prípade dopravnej požiadavky na pomalú jazdu či pri častých rozjazdoch.

6.2.2 Spôsob ad b) je založený na použití individuálnych elektromerov na hnacích vozidlách

Tento postup sa na prvý pohľad javí ako najdokonalejšia metodika určovania spotreby elektrickej energie v elektrickej trakcii. Je zároveň spôsobom, ktorý bol zvolený okolitými dopravcami (Nemecko, Rakúsko, a ďalšími európskymi štáty).

Pozitívne vlastnosti možno formulovať nasledovne:

- rešpektuje konkrétne trakčné podmienky danej jazdy, t.j. dané hnacie vozidlo vrátane jeho energetickej účinnosti, vlakovú súpravu z pohľadu jej hmotnosti a jazdného odporu, použitú jazdnú techniku vedenia vlaku i profil traťového úseku
- umožňuje zistenie i spotreby prípadného posunu či predbežného vykurovania osobných súprav cez stojacu lokomotívu,
- na jednosmernej trakčnej prúdovej sústave 3 kV meracia súprava umožňuje meranie skutočnej odobratej elektrickej energie, a to ako pre trakciu, tak prípadne aj pre napájanie vlastnej spotreby osobnej vlakovej súpravy,
- umožňuje otvorenie jednotného európskeho dopravného trhu - liberalizáciu a naplnenie ustanovení vytvárania európskej legislatívy.

Negatívne stránky:

- obstaranie elektromerov a ich nevyhnutných pomocných zariadení vhodných na prevádzku na hnacích vozidlách je finančne nákladné vzhľadom k pracovným podmienkam vládncim na hnacom vozidle (teplota, vlhkosť, otrasy, stiesnenosť strojovne),
- inštalácia meracej súpravy na hnacie vozidlo je zásahom do jeho vysokonapäťových obvodov,
- na hnacích vozidlách určených pre vedenie vlakov osobnej dopravy by bolo nutné časť meracej súpravy zdvojiť, aby sa umožnilo meranie vlastnej spotreby vlakovej súpravy (kúrenie, klimatizácia, reštauračné vozne),
- podľa analógie s podmienkami platnými v energetike by meracie súpravy (elektromery a ich pomocné zariadenia) boli v majetku či správe distribútora trakčnej elektrickej energie,
- všetky prvky meracích súprav by museli byť chránené plombami pre zamedzenie neoprávneného odberu,
- tieto meracie súpravy by bolo nutné periodicky kontrolovať,
- po inštalácii na vozidlo by bolo treba celú meraciu súpravu (elektromer a jeho pomocné zariadenia) spoločne ciachovať,

údaje namerané jednotlivými elektromermi by bolo nutné po vhodnom prenose periodicky vyhodnocovať s cieľom vystavenia faktúry za odobratú elektrickú energiu,

vlastný elektromer trakčnej energie musí dovoliť registrovať oddelene energiu odobratú hnacím vozidlom pre trakciu a vrátenú do napájacej sústavy (rekuperovaná pre iné blízke hnacie vozidlo v režime trakcie či späť do siete 110 kV) pri jeho brzdení (štvorkvadrantový elektromer),

elektromerové sústavy inštalované na hnacom vozidle možno použiť na fakturačné účely len v prípade, že dostane ako celok (t.j. vlastný elektromer vrátane jeho predradených prvkov, v prípade AC prístrojových transformátorov prúdu a napätia) atest príslušnej akreditovanej elektromerovej služby v súlade s STN EN 50463,

inak sú tieto meracie súpravy použiteľné iba formou podružných elektromerov podľa podmienok prístupu na železničnú dopravnú cestu stanovených prevádzkovateľom trakčnej napájacej sústavy.

Pre použitie elektromerových súprav u sústavy 3 kV DC je situácia jednoduchá. Pre úpravu trakčného napätia 3 kV na napätovú hladinu zodpovedajúcu vstupu elektromera možno použiť:

- delič napätia,
- predradený rezistor,
- prevodník.

Prídavnými zariadeniami je možné trakčné napätie vhodne prispôbiť napätovému vstupu elektromera. Rozdiel medzi použitím deliča napätia a predradeného rezistora spočíva v otázke elektrickej bezpečnosti celej meracej súpravy. Delič napätia by bol svojou vstupnou svorkou pripojený cez poistku na vhodný bod 3 kV v strojovni lokomotívy, druhý koniec musí byť spoľahlivo prepojený s kostrou vozidla. Elektromer je potom pripojený na odbočku deliča napätia a na kostru vozidla. Oproti tomu pri použití predradeného rezistora by sa v prípade nedokonalého prepojenia elektromera s kostrou vozidla mohlo dostať napätie 3 kV do ďalších obvodov elektromerovej súpravy, čo je neprípustné.

Prúdový vstup elektromera by bol napájaný z bočníka na úrovni stoviek mV. Bočník by bol vložený do vývodu trakčného prúdu na strane kostry hnacieho vozidla.

Vznikne problém, ak by bolo potrebné súčasne merať aj odber napr. pre kúrenie služobného vozidla alebo vlakovej súpravy. Pretože tento prúd sa uzatvára koľajnicami, bolo by nutné namiesto bočníka použiť bezkontaktný snímač - prevodník (napr. LEM) vložený do vývodu 3 kV smerom do vlakovej súpravy. V prípade prevodníka je nutné uvažovať linearitu prevodu a teplotnú stabilitu v širokom teplotnom rozsahu (napr. v strojovni lokomotívy je teplota v lete 50 až 60 ° C). Elektromer je integračný prístroj, kde sa chyba integruje. V prípade nelinearity použitého prevodníka sa bude jeho chyba kumulovať a bude ju ťažké kompenzovať.

Na trakčné prúdové sústavy 25 kV, 50 Hz je situácia podstatne zložitejšia. Problém spočíva v princípe funkcie jednofázových lokomotív používajúcich diódový menič (trakčné usmerňovače) a odbočkovou reguláciou jazdných stupňov, ktorých koncepcia bola používaná v šesťdesiatych rokoch minulého storočia. Hnacie vozidlá tohto typu sú v širokej miere používané v ŽSR, čiastočne na bulharských a ruských železničiach. Iné železničné správy hnacieho vozidla tejto zastaralej koncepcie vo väčšom počte nezaviedli ani už nepoužívajú.

Tieto vozidlá podstatne deformujú časový priebeh sínusoidy prúdu, ktorý odoberajú za jazdy výkonom z TV. Časový priebeh tohto prúdu obsahuje mimo základnej zložky 50 Hz i viacero vyšších harmonických zložiek. Štatisticky sa zistilo, že napr. 3. harmonická (150 Hz) má relatívne obsah 25 až 30% zložky základnej harmonickej 50 Hz. Podobne pre 5. harmonickú (250 Hz) platí hodnota 10 až 20%, pre 7. harmonickú (350 Hz) potom 5 až 10%, atď.

Uvedené frekvenčné zložky v prúde odoberanom hnacím vozidlom s diódovým meničom spôsobujú na impedanciu TV harmonické zložky trakčného napätia, ktorého sínusoida je týmito zložkami značne deformovaná. Funkcia FKZ sa vo vzťahu k deformácii napätia na TV neuplatňuje, pretože jej schopnosť obmedzovať 3. a 5. harmonickú sa prejaví až na strane 110 kV.

V súvislosti s tým však nemožno všeobecne stanoviť fázový posun jednotlivých harmonických zložiek prúdu odoberaného hnacím vozidlom voči harmonickým zložkám v trakčnom napätí rovnakých frekvencií.

V prípade, že aj sínusoida napájacieho napätia je deformovaná harmonickými, vytvára celkový výkon nielen základná harmonická 50 Hz, ale aj ostatné harmonické zložky prúdu a napätia. Platí tu zákon, že celkový činný výkon je daný súčtom činných výkonov jednotlivých harmonických zložiek. Tento činný výkon však môžu vytvárať len harmonické zložky napätia a harmonické zložky prúdu toho istého poriadku.

Elektromer však nie je možné pripojiť priamo do výkonových obvodov hnacieho vozidla. Jeho napäťový vstup zvyčajne leží v medziach do 200 V, prúdový vstup je možné upraviť vhodným prevodníkom na napätie najviac v desiatkach až stovkách mV. Je teda zrejmé, že medzi vysokonapäťové obvody hnacieho vozidla a elektromer je nutné vložiť vhodné prevodníky. Tieto prevodníky musia spĺňať požiadavky na minimalizáciu chyby prevodu a chyby uhla, aby nebola narušená presnosť príslušného elektromeru daná jeho triedou.

Pod pojmom chyby prevodu máme na mysli pomer hodnoty meranej veličiny k hodnote tejto veličiny privádzanej ku vstupným svorkám elektromera. Chyba uhla je potom definovaná ako fázová odchýlka meranej veličiny voči hodnote tejto veličiny na vstupe elektromera. Oboje tieto chyby vo svojich dôsledkoch ovplyvňujú chybu merania odoberanej elektrickej energie nezávisle na triedy presnosti vlastného elektromera a pri nevhodnej voľbe či konštrukcii prevodníka ju zväčšujú nezávisle a bez ohľadu na triedu presnosti vlastného elektromera.

Chyba prevodu aj chyba uhla oboch prevodníkov je závislá nielen na ich type, ale v každom prípade na frekvenčnom spektrálnom zložení meranej veličiny (prúdu či napätia), pretože prevodník musí prevádzať merané veličiny (prúd i napätie) vzhľadom k vyššie

uvedenej definícii celkového odoberaného výkonu vo frekvenčnom pásme aspoň do 1000 Hz (20. harmonická).

Veľkosť oboch citovaných chýb prevodu i uhla má osobitný význam pri použití prevodníka napätia a prúdu pri meraní odobratej elektrickej energie. Na rozdiel od jednoduchého merania odoberaného výkonu, ktoré má charakter jednorazového odpočtu nameraných hodnôt napätia a prúdu, sa chyby pri meraní odobratej elektrickej energie integráciou nasčítajú v celom časovom intervale odpočtu a ich hodnota potom nepriaznivo ovplyvňuje presnosť i najlepšieho elektromera s vysokou triedou vlastnej presnosti.

Prevodník pre prispôsobenie meraného prúdu úrovne prúdového vstupu elektromera je možné vytvoriť použitím prístrojového transformátora prúdu napríklad prievlakového typu s menovitým primárnym prúdom napr. 200 A. Prevodník sa umiestni do vývodu vozňového transformátora na strane jeho pripojenia ku kostre vozidla. Technické údaje o vlastnostiach prístrojových transformátorov prúdu sa zvyčajne týkajú iba chýb prevodu i uhla pre základný kmitočet 50 Hz. Analogické údaje pre požadovaný rozsah frekvenčného pásma však výrobca normálne neudáva.

Z teoretického rozboru vlastností prístrojového transformátora prúdu vyplýva, že jeho chyba prevodu aj chyba uhla by mala byť obvykle vyhovujúca. Podmienkou je, že jadro prístrojového transformátora prúdu nesmie byť presýtené. Tejto podmienke možno vyhovieť správnou voľbou menovitého prevodu prístrojového transformátora prúdu a dodržaním najvyššej prípustnej hodnoty vstupnej impedancie prúdového vstupu elektromera.

Prevodník pre prispôsobenie meraného napätia úrovne napät'ového vstupu elektromera musí previesť menovité napätie trolejového vedenia 25 kV na úroveň napät'ového vstupu elektromera a môže byť zvolený buď ako prístrojový indukčný transformátor napätia, alebo ako prístrojový kapacitný transformátor napätia, či ako elektronický typ pracujúci na inom princípe.

Zložka spotreby podľa bodu b)

Táto zložka sa týka odberu činnnej energie pevnými predkurovacími zariadeniami. Je riešiteľná elektromorovými súpravami na vstupe do rozvádzača pevných predkurovacích zariadení, nech sú napájané priamo z TV, alebo z miestnej siete. Tu vzniká otázka priradenia odpovedajúcej spotreby jednotlivým užívateľom - dopravcom.

Zložka spotreby podľa bodu c)

Táto zložka sa týka spotreby ostatných zariadení je riešiteľná použitím individuálnych elektromerových súprav doplnených prípadne diaľkovým prenosom dát ako pre účely fakturácie, tak aj pre prípadne následné vyhodnocovanie spotreby, vrátane ovplyvňovania spôsobu jazdy zo strany prepravcov.

Zložka spotreby podľa bodu d)

Táto zložka je daná súčtom celkových činných strát energie vznikajúcich v trakčnej napájacej sústave a je dnes najdiskutovanejšou zložkou týkajúcou sa vzťahu vlastníka železničnej dopravnej cesty a dopravcov.

Je nesporné, že elektrickú energiu pre trakciu možno považovať za energiu pre tento účel špeciálne prispôbenú.

Pre sústavu 3 kV DC sa jedná o energiu premiestnenú z trojfázovej sústavy 22 kV 50 Hz usmernením na napätie 3 kV DC. Táto konverzia je zaťažená energetickými stratami a preto finančné náklady na tieto energetické straty je dodávateľ elektrickej energie oprávnený požadovať od odberateľa tejto energie.

Podobne je dodávateľ elektrickej trakčnej energie oprávnený delegovať na užívateľa tejto energie aj straty vznikajúce v rozvode usmerneného napätia 3 kV DC od meniarne po vozidlový zberač.

U sústavy 3 kV DC je podstatné, či transformátory usmerňovače meniarne sú napájané vlastným transformátorom 110/22 kV, či priamo z napätia 22 kV zo siete dodávateľa elektrickej energie. V oboch prípadoch sa jedná o straty magnetizačné (prakticky nezávislé na trakčnom zaťažení) a ďalej o straty vo vinutí (závislé na trakčnom zaťažení).

Ďalšie straty vznikajú prevádzkou trakčných usmerňovačov. Tu je výhodou dôsledné používanie kvalitných výkonových diód, ktorých činné straty už nevyžadujú externú energiu pre ich chladenie a ktorých elektrické vlastnosti obmedzili počet diód zapojených v sérii. V každom prípade táto zložka strát je úmerná štvorcu zaťažovacieho prúdu. Podobné sú závislé aj straty v reaktore, slúžiace k obmedzeniu počiatočného nárastu skratového prúdu.

Tiež činný odpor trakčného obvodu (trolejové vedenie, spätné vedenie) vedie ku vzniku strát energie. Zatiaľ čo doposiaľ uvedené stratové zložky je možné do istej miery určiť výpočtom, tieto straty však závisia na okamžitej polohe hnacieho vozidla. Vďaka dvojstrannému napájaniu trakčného vedenia má okamžitá poloha hnacieho vozidla priamy vplyv na rozdelené trakčné záťaže medzi susedné trakčné meniarne aj na časový priebeh odoberaného prúdu.

Podstatnou výhodou dôsledne používaného dvanásťpulzného usmernenia nemá vlastník napájacej sústavy problémy so splnením požiadaviek na kvalitný účinník trakčného odberu, ani na minimálnu deformáciu sínusoidy napätia napájacej siete, či na symetrické zaťaženie tejto siete, ani na splnenie požiadavky na impedanciu napájacej sústavy voči signálu HDO.

Trakčné napätie 3 kV DC sa používa s výhodou napr. pre napájanie statických meničov ako zdrojov pre ohrev výmen na zhlaví železničných staníc či ako zdroje pre staničné i traťové zabezpečovacie zariadenia. Spotreba energie v oboch týchto prípadoch je ľahko merateľná a evidovateľná.

Napätie 22 kV vzaté z prípojnic trakčných meniarň sa v poslednej dobe zavádza aj pre napájanie traťových rozvodov (zabezpečovacie zariadenie, staničné budovy) ako náhrada

zastaralých rozvodov 6 kV alebo napájanie z miestnej siete. Aj táto spotreba je ľahko merateľná a evidovateľná.

Pre sústavu 25 kV, 50 Hz sa opäť raz o elektrickú energiu špeciálne prispôsobenú pre trakčné účely, medzi iným nielen pre jej netypickú povahu danú jednofázovým zaťažením napájacej siete 110 kV, ale predovšetkým nutnosťou úpravy prúdového spektra prúdu odoberaného diódovými hnacími vozidlami pomocou FKZ tak, aby boli splnené požiadavky dodávateľa elektrickej energie zo siete 110 kV. Aj také úpravy vykazujú nezanedbateľné straty, ktoré dodávateľ trakčnej energie je oprávnený delegovať na užívateľa tejto energie.

Podobne je dodávateľ elektrickej trakčnej energie oprávnený delegovať na užívateľa tejto energie aj straty vznikajúce v rozvode napätie 25 kV, 50 Hz, aj keď tieto straty sú u AC sústavy podstatne menšie ako u sústavy 3 kV DC.

U sústavy 25 kV, 50 Hz sa elektrická energia získava výhradne z hladiny 110 kV. Dôvodom je ako požiadavka na skratový výkon napájacej siete, tak aj na prípustnú hodnotu napät'ovej asymetrie spôsobované medzifázovým pripojením trakčných transformátorov 110/27 kV. Ich straty sa opäť delia na magnetizačné (na záťaži prakticky nezáložiacie) a na straty vo vinutí (závislé na štvorci zaťažovacieho prúdu).

7. Metodika stanovenia strát elektriny

Stanovenie presnej hodnoty strát je prakticky nemožné. Dokonca i výpočet týchto strát metodikou používanou v Českej republike je veľmi zložitý, pretože to predpokladá zhromaždiť veľké množstvo údajov o rozvodných zariadeniach ŽSR, ktoré nie sú pre tieto účely evidované vhodným spôsobom a ich získanie by bolo veľmi komplikované.

Preto sme problém stanovenia strát rozložili na dva elementárne problémy:

- a) stanovenie strát v rozvodoch na príslušnej napät'ovej hladine a pri konkrétnej premene napätia,
- b) súčtovanie strát stanovených v bode a).

V ďalšom budeme straty vzťahovať k množstvu elektriny na výstupe sledovaného energetického zariadenia.

8. Definícia miesta odberu

Z pohľadu stanovenia strát elektriny je potrebné rozlišovať dva základné spôsoby pripojenia odberateľa k energetickému zariadeniu ŽSR:

- a) odberateľ je pripojený na rozvod elektriny na určitej napät'ovej hladine,
- b) odberateľ je pripojený bezprostredne za príslušný transformátor ŽSR.

Uvedené dva prípady sa z pohľadu strát od seba odlišujú skutočnosťou, že v prípade a) sa do celkových strát započítajú aj straty v rozvode na napät'ovej hladine, na ktorú je odberateľ pripojený, zatiaľ čo v prípade b) sa tieto straty pokladajú za nulové. Do kategórie a) patria netrakční odberatelia napojení na sústavu 0,4 kV. Do kategórie b) patria odberatelia trakčnej elektriny a napájanie traťových zabezpečovacích zariadení z trakčných napájacích staníc.

9. Stanovenie strát v rozvodoch na príslušnej napät'ovej hladine a pri konkrétnej premene napätia

Dodávku elektriny v rozvodoch ŽSR z hľadiska strát rozložíme na elementárne prípady, v ktorých stanovíme priemerné hodnoty strát. Týmito elementárnymi prípadmi sú:

- straty pri transformácii 110/25 kV,
- straty pri transformácii 110/22 kV,
- straty pri transformácii 22/6 kV,
- straty pri transformácii 22/3 kV,
- straty pri transformácii 22/0,4 kV,
- straty pri transformácii 6/0,4 kV,
- straty v rozvodoch sústavy 6 kV,
- straty v rozvodoch sústavy 0,4 kV.
- straty v trakčnom vedení sústavy 25 kV,
- straty v trakčnom vedení sústavy 3 kV,
- straty v trakčnom vedení sústavy 1,5 kV,
- straty v trakčnom vedení sústavy 0,6 kV.

Straty v elementárnych prípadoch budeme označovať ako elementárne straty.

9.1 Straty pri transformácii

Straty pri transformácii sú stanovené vyhláškou ÚRSO č. 225/2011 Z. z.. nasledovne:

- 2 % z činnej spotreby u transformátorov vvn,
- 4 % z činnej spotreby u transformátorov vn.

9.2 Straty pri napájaní zabezpečovacích zariadení

Sústava 6 kV, AC, sa používa na napájanie traťových zabezpečovacích zariadení. Z hľadiska energetického napájania existujú dva typy rozvodných sústav pre napájanie traťových zabezpečovacích zariadení (ZZ):

- s frekvenciou 50 Hz,
- s frekvenciou 75 Hz.

Zabezpečovacie zariadenia sú napájané buď z trakčných napájacích staníc alebo z iných netrakčných odberov. Pre napájanie ZZ z iných netrakčných odberov možno použiť rovnaký prístup, ako pre napájanie iných bežných netrakčných odberov.

Pri napájaní ZZ sústavou 6 kV, ktorá je napájaná z trakčných napájacích staníc, sa používajú transformácie 22/6 kV, 0,4/6 kV, 6/0,4 kV. Transformáciu 0,4/6 kV a 6/0,4 kV pokladáme z hľadiska strát za rovnocennú. Na výrobu napätia s frekvenciou 75 Hz sú používané buď rotačné alebo statické meniče. Rotačné meniče pozostávajú z dvoch mechanicky prepojených asynchrónnych motorov s rôznym počtom pólových dvojíc.

Z hľadiska ich funkcie na trati sa zabezpečovacie zariadenia delia na traťové a staničné.

V rámci ŽSR sú konečným odberateľom elektriny správy telekomunikačnej a zabezpečovacej techniky. Ich dodávateľom sú správy energetiky a elektrotechniky. Táto správa sa nezaobrá bilanciou strát v rozvode elektriny pre zabezpečovacie zariadenia (napr. straty v rozvode 6 kV) ale ZZ sú chápané ako jeden odber - odberateľom je ŽSR. Sledovať budeme straty, ktoré vznikajú v sústavách, na ktoré je napojený rozvod pre ZZ ako celok.

Rozvod sústavy 6 kV, ktorý slúži na napájanie traťových ZZ, je napájaný z trakčných napájacích staníc, a to buď transformáciou nadol zo sústavy 22 kV alebo transformáciou nahor zo sústavy 0,4 kV. Keďže tieto transformácie sú v spoločnej transformovni s trakčnými transformátormi, straty v rozvode, na ktorý je pripojený odber pre ZZ, budeme uvažovať nulové (zanedbateľné).

Ak je rozvod 6 kV napájaný vlastným transformátorom z rozvodne 22 kV, pričom hladina 22 kV je nákupnou hladinou ŽSR (napr. trakčná meniareň je napojená na 22 kV linku), potom straty sú nulové. Ak v tomto prípade bude meranie na sekundárnej strane transformátora, k nameraným hodnotám spotreby sa pripočítajú straty vo výške 4% (tieto straty nie sú stratami v nadradenej sústave, ktoré sledujeme v tejto správe, ale stratami plynúcimi z umiestnenia meradla).

9.2 Straty v rozvodoch sústavy 0,4 kV

Straty v rozvodoch sú straty, ktoré vznikajú prechodom prúdu elektrickou inštaláciou na jednej napäťovej hladine. Elektrická inštalácia budov je tvorená vedeniami z káblov alebo samostatných vodičov. Pri stanovení strát v rozvodoch budeme vychádzať z úbytku napätia v týchto rozvodoch.

Z netrakových odberných miest, kde sa rozvody 0,4 kV používajú, sú napájané rôzne elektrické zariadenia, napr. osvetlenie, výpočtová a kancelárska technika, ventilátory, čerpadlá, klimatizácia, el. vykurovanie, domáce spotrebiče, ATÚ, žeriavy, stojany pre nabíjanie batérií vozňov, kotolne a výmenníkové stanice, zváracie agregáty, pieskovacie zariadenia, obrábacie stroje, portálové žeriavy, zdvíhacie zariadenia a pod. Väčšina elektrických inštalácií budov bola vybudovaná pred prijatím nových noriem o dimenzovaní a istení vedení (súbor noriem STN 33 2000). V čase ich projektovania, pre rôzne typy zariadení predpisovali predmetové normy rôzne dovolené úbytky napätia. Keďže v rozvodoch sa nachádzajú rozmanité spotrebiče, pri stanovení strát budeme vychádzať zo všeobecného doporučenia podľa dnes už neplatnej STN 34 1020, podľa ktorej sa vodiče a káble jednotlivých častí elektrického rozvodu dimenzujú tak, aby pri predpokladanom zaťažení v mieste spotrebiča nebol dovolený úbytok napätia väčší ako 5%.

Súčasne pri dimenzovaní vedení platí všeobecná zásada, že tieto sa z hľadiska prúdového zaťaženia (a teda z hľadiska odporu) dimenzujú s ohľadom na predpokladané prúdové zaťaženie. Teda možno povedať, že ak sa rozvody vzdávajú od napájacieho bodu, ich merná rezistencia sa bude zvyšovať s poklesom predpokladanej záťaže. Preto budú merné straty na jednotku dĺžky vedenia rozvodu konštantné. Pritom musí byť dodržaná požiadavka predpísaného poklesu napätia v každom mieste rozvodu.

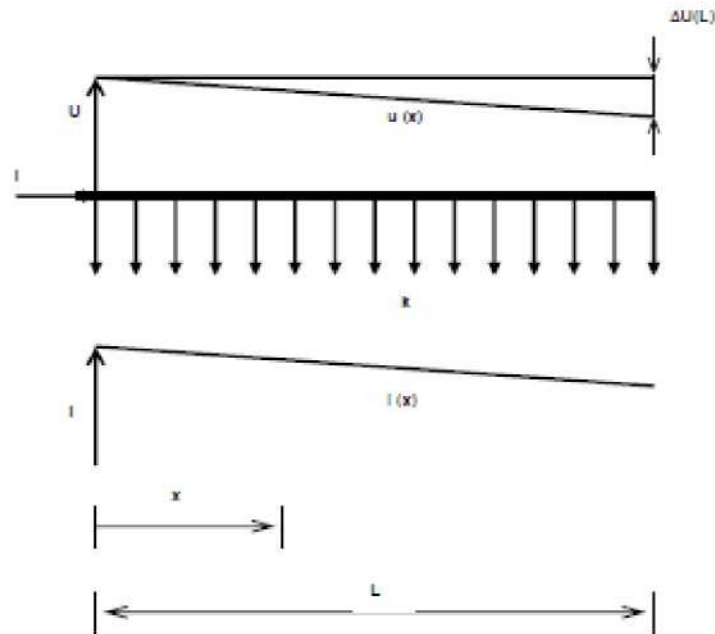
Na základe týchto úvah nahradíme skutočný, rozvetvujúci sa rozvod jedným homogénnym vedením, pričom je známa prepísaná hodnota úbytku napätia na konci tohto vedenia $Au(L)$. Úbytok napätia na reaktancii rozvodu zanedbáme, uvažovať budeme len činnú zložku jeho impedancie.

Rozvod dĺžky L je rovnomerne zaťažený merným prúdovým zaťažením k, pre ktoré platí:

$$k = - \quad [A/m; A, m]$$

Celkový prúd vstupujúci do rozvodu je I, teda vo vzdialenosti x bude rozvod zaťažený prúdom i(x), pre ktorý platí.

$$i(x) = I - \int_0^x k \cdot dx \quad [A; A, A/m, m]$$



Obr.7 K vysvetleniu odberu prúdu z rozvodu elektriny.

teda:

$$i(x) = I - k \cdot x \quad [A; A, A/m, m]$$

Prechodom prúdu cez rozvod vzniká na činnom odpore úbytok napätia Δu , pre ktorý platí:

$$M = r \cdot \int_0^L i(x) \cdot dz \quad [V; Q/m, A, m]$$

Kde r je merná rezistivita.

Po úprave predchádzajúcich vzťahov dostaneme:

$$f'_{1,} = r \cdot \ddot{A}_{\overline{n}|x} \quad [V; Q/m, A, m]$$

$$[V; Q/m, A, m]$$

Úbytok na konci rozvodu bude: $Au(L?)$

$$\text{-----} \wedge r I L$$

A pre priebeh napätia pozdĺž rozvodu bude

$$f'_{1,} = r \cdot \ddot{A}_{\overline{n}|x} \quad [V; V, Q/m, A, m]$$

$$Au(x) = U - r \cdot x$$

$$dS = r \cdot i^2(x) \quad [W; Q/m, m, A]$$

Teda:

$$[W; Q/m, A, m]$$

$$S = r \cdot i^2 \cdot dx$$

Dosadením a úpravou budú straty v celom rozvode:

$$S = \frac{1}{2} r \cdot i^2 \cdot L^2 \quad [W; Q/m, m, A]$$

Celkový úbytok napätia vzhľadom na menovité napätie, teda napätie na vstupe do rozvodu je vyjadrený vzťahom:

$$p = \frac{S}{U^2} \cdot 100\% \quad [%; V, V, %]$$

$$L = \frac{1}{r} \cdot \frac{P \cdot U}{100} \quad [m%; V, Q/m, A]$$

A napokon straty v rozvode:

$$S = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{100} \cdot p \cdot U \cdot l \quad [W; %, V, A]$$

teda:

$$[W; %, W]$$

$$S = \frac{1}{2} \cdot \frac{p}{100} \cdot P$$

kde P je činný výkon vstupujúci do rozvodu. Percentuálne straty v rozvode vzťahnuté k fiktívnemu činnému výkonu na výstupe rozvodu potom budú:

$$s = \frac{W_{tr} + W_{edc}}{P} \cdot 100\% \quad [%; W, W]$$

a úpravou:

$$s = \frac{W_{tr}}{P} + \frac{W_{edc}}{P} \cdot 100\% \quad [%; %, %]$$

Ak bude $p=5\%$, potom straty budú 3,44%.

9.3 Straty v trakčnom vedení sústavy 25 kV, 50 Hz

Stanovenie strát v trakčnom vedení je komplikovaný problém, podobne ako v prípade netrakčných rozvodov. Postup pri výpočte strát bol popísaný v predchádzajúcich kapitolách.

Z výsledkov postupov uvedených v predchádzajúcich kapitolách je možné stanoviť percentuálne straty v trakčnom a spätnom vedení, vzťahnuté k spotrebovanej energii (spotreba na rušni) takto:

$$s_{TV} = \frac{W_{tr} + W_{edc}}{W_{cel}} \cdot 100\% \quad [%; MWh, MWh]$$

kde W_{TV} sú činné straty v trakčnom vedení, A_p je činná trakčná spotreba nameraná na napájacej stanici a W_{cel} sú celkové činné straty pri distribúcii (straty transformáciou + straty v trakčnom vedení). Hodnoty týchto strát sú uvedené v tabuľke č.7.

Tabuľka č. 7 Percentuálne straty v trakčnom vedení

Sústava	s [%]
25 kV, 50 Hz	2,26
3 kV, js	10,18
1,5 kV, js	3,24
0,6 kV, js.	10,20

10. Transformácia strát

Doteraz uvažované straty sme vzťahovali na množstvo energie na výstupe sledovanej sústavy energetických rozvodných zariadení. Tieto straty je možné vzťahnúť aj na množstvo energie na vstupe sústavy energetických rozvodných zariadení. Takto vzťahované percentuálne straty budeme označovať s' . Straty vzťahované na výstup zo sústavy budú označené s . Platí:

$$j = \frac{s}{s'} \quad [1; \text{MWh}, \text{MWh}]$$

$$s' = \frac{s}{A_{\text{pin}}} \quad [1; \text{MWh}, \text{MWh}]$$

kde A_{pout} je energia zo sústavy vystupujúca a A_{pin} je energia do sústavy vstupujúca.

Použitím týchto vzťahov bude:

$$r = \frac{A_{\text{pout}}}{A_{\text{pin}} + s} \quad [1; \text{MWh}, \text{MWh}]$$

$$j = \frac{s}{s'} \quad [1; \text{MWh}, \text{MWh}]$$

úpravou:

$$s' = \frac{s}{1-j} \quad [1; 1, 1]$$

11. Hodnoty strát elektriny v elektroenergetických zariadeniach ŽSR

Pre stanovenie strát elektriny na jednotlivých napäťových hladinách boli v prvom kroku stanovené elementárne straty, ktorých hodnoty sú v tabuľke č.8.

Tabuľka č. 8 Prehľad elementárnych strát

Druh elementárnych strát	Hodnota strát [%]
straty pri transformácii 110/25 kV	2
straty pri transformácii 110/22 kV	2
straty pri transformácii 22/6 kV	4
straty pri transformácii 22/3 kV	4
straty pri transformácii 22/1,5 kV	4
straty pri transformácii 22/0,6 kV	4
straty pri transformácii 22/0,4 kV	4
straty pri transformácii 0,4/6 kV	4
straty v rozvodoch sústavy 0,4 kV	3,44
straty v trakčnom vedení sústavy 25 kV	2,26
straty v trakčnom vedení sústavy 3 kV	10,18
straty v trakčnom vedení sústavy 1,5 kV	3,24
straty v trakčnom vedení sústavy 0,6 kV	10,20

Na základe vyššie uvedených skutočností, charakteru odberateľov a charakteru spotreby, ktorá bola analyzovaná podľa údajov predložených zadávateľom sa výsledná hodnota strát na jednotlivých napäťových úrovniach stanovila výpočtom. Pri výpočte boli zohľadnené osobitosti trakčnej sústavy a hodnoty transformátorov a distribučných sústav stanovených vo vyhláske Úradu pre reguláciu sieťových odvetví č. 225/2011 Z. z. Na základe týchto údajov boli „namodelované“ pre jednotlivé napäťové hladiny výsledné hodnoty strát. Tieto straty je potrebné v budúcnosti optimalizovať po zavedení určených meradiel a analýze skutočne nameraných dát o spotrebe tak, aby sa vylúčili neistoty popísané v predchádzajúcich kapitolách.

Straty pre účely cenových konaní stanovené podľa vyhl. URSO č. 225/2011 Z. z.

Tabuľka č. 9

Napäťová úroveň	Napätie (kV)	Straty (%)	Pozn.
vv	110	0,878	
vn	25	4,38	
	22	0,369	
	3	15,872	
	1,5	8,932	
nn	0,4	15,944	

Poznámka: Pre hladinu nn 0,6 kV (trakčný odber) je hodnota strát 15,89 %

12. Záver

V súčasnom období je v podmienkach ŽSR podľa údajov zadávateľa meraných len cca 5,6 % z celkového objemu elektriny nakúpenej ŽSR. Objektívne vzhľadom na charakter prevádzky celej sústavy ŽSR a na smernice EÚ označovanej ako tretí liberalizačný energetický balíček (hlavne smernica ES č. 72/2009) je potrebné vykonať opatrenia na zabezpečenie súladu stavu s vývojom v EÚ a s legislatívou SR. Z tohto dôvodu navrhujeme realizovať nasledovné opatrenia:

1. Novelizovať platnú legislatívu pre účely cenového konania tak, aby pri stanovení poplatkov za sieťové služby boli používané objektívne hodnoty strát (návrh je v prílohe č. 1).
2. Inštalovať a využívať pre potreby správneho bilancovania údaje určených meradiel na všetkých odberných miestach.
 1. Optimalizovať zmluvné vzťahy s dodávateľmi a odberateľmi.
 2. Odčleniť distribučnú sústavu ŽSR od ostatnej infraštruktúry ŽSR, pričom je potrebné stanoviť aktuálnu hodnotu regulačnej bázy aktív (majetku vyčleneného pre účely distribúcie) z dôvodu stanovenia spravodlivej ceny za distribúciu a eliminácie krížových dotácií v rámci ŽSR.
3. Iniciovat' zmenu primárnej legislatívy a pripraviť podmienky pre vznik tzv. virtuálneho odberateľa - virtuálne odberné miesto z dôvodu optimalizácie nákladov na rezervovanú kapacitu, nakoľko elektroenergetická sústava ŽSR je rozložená v rámci celej SR.

13. Prílohy

Príloha č. 1 Návrh novely vyhlášky ÚRSO č. 225/2011 Z. z.

Príloha č. 2 Nákup elektriny za rok 2011 v kWh

Príloha č. 3 Predaj elektriny za rok 2011 v kWh

Príloha č. 1

(Návrh)

VYHLÁŠKA

Úradu pre reguláciu sieťových odvetví

Z

ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška Úradu pre reguláciu sieťových odvetví

č. 225/2011 Z. z., ktorou sa ustanovuje cenová regulácia v elektroenergetike
v znení vyhlášky č. 438/2011 Z. z.

1. § 31 sa dopĺňa odsekom 6, ktorý znie:

„(6) Hodnota percenta strát pri distribúcii elektriny na príslušnej napäťovej úrovni $PPSC_{HN}$ sa pre miestnu distribučnú sústavu, ktorá je rozlohou porovnateľná s regionálnou distribučnou sústavou, určí individuálne.“.

Táto vyhláška nadobúda účinnosť 1. júla 2012.

Odôvodnenie

Ustanovenie určuje spôsob stanovenia percenta strát pri distribúcii elektriny na príslušnej napäťovej úrovni $PPSC_{HN}$ pre miestnu distribučnú sústavu, ktorá je rozlohou porovnateľná s regionálnou distribučnou sústavou. Takouto sústavou vzhľadom na rozlohu je jednoznačne sústava ŽSR, ktorá sa rozprestiera na celom území SR. Charakter prevádzkovania, spotreby a využívania služieb sústavy spôsobuje jednoznačne vyššie straty v sústave ako v regionálnej sústave. Z tohto dôvodu je potrebné určiť individuálne pri cenovom konaní percento strát a to na základe relevantného podkladu, ktorým sa tieto skutočnosti jednoznačne preukážu.