

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky



Využitie obnoviteľných zdrojov energie a ich aplikácií v rámci projektu VUKONZE

Odborná publikácia riešiteľov aktivity 2.3. projektu VUKONZE

Dr. h. c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD.
prof. Ing. Roman Cimbala, PhD.
doc. Ing. Ľubomír Beňa, PhD.
doc. Ing. Alexander Mészáros, PhD.
Ing. Ján Tkáč, CSc.
Ing. Marek Hvizdoš, PhD.
Ing. Stanislav Ilenin, PhD.
Ing. Dušan Medveď, PhD.
Ing. Martin Kanálik, PhD.



PODPORUJEME VÝSKUMNÉ AKTIVITY NA SLOVENSKU
PROJEKT JE SPOLUFINANCOVANÝ ZO ZDROJOV EÚ



Využitie obnoviteľných zdrojov energie a ich aplikácií v rámci projektu VUKONZE

Copyright © Košice 2014, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská Republika.

ISBN 978-80-553-1642-0.

Všetky práva vyhradené. Vyrobené na Slovensku.

Náklad: 200 ks

Táto publikácia môže byť ďalej reprodukována pre výučbové a nekomerčné účely. Za obsah jednotlivých príspevkov zodpovedajú autori.

Citácia na túto publikáciu:

Využitie obnoviteľných zdrojov energie a ich aplikácií v rámci projektu VUKONZE. Technická univerzita v Košiciach, 2014. – 308 s.— ISBN 978-80-553-1642-0.

Využitie obnoviteľných zdrojov energie a ich aplikácií v rámci projektu VUKONZE – Základné informácie

Editor:

- Dr. h. c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD., Technická univerzita v Košiciach

Autori jednotlivých kapitol:

- Dr. h. c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD., TU v Košiciach (s. 182 – 218)
- prof. Ing. Roman Cimbala, PhD., TU v Košiciach (s. 219 – 256)
- doc. Ing. Ľubomír Beňa, PhD., TU v Košiciach (s. 32 – 73)
- doc. Ing. Alexander Mészáros, PhD., TU v Košiciach (s. 106 – 149)
- Ing. Ján Tkáč, CSc., TU v Košiciach (s. 1 – 31)
- Ing. Marek Hvizdoš, PhD., TU v Košiciach (s. 74 – 105)
- Ing. Stanislav Ilenin, PhD., TU v Košiciach (s. 150 – 181)
- Ing. Dušan Medved', PhD., TU v Košiciach (s. 276 – 307)
- Ing. Martin Kanálik, PhD., TU v Košiciach (s. 257 – 275)

Recenzenti:

- Ing. Jaroslav Džmura, PhD.
- Ing. Jozef Balogh, PhD.
- Ing. Jaroslav Petráš, PhD.

Technická podpora:

- Dagmar Kramolišová, TU v Košiciach
- Ing. Dušan Medved', PhD., TU v Košiciach

Obsah

Ján Tkáč

Možnosti využívania obnoviteľných zdrojov energie 1

Ľubomír Beňa

Analýza elektrických a svetelnotechnických parametrov osvetľovacej sústavy 32

Marek Hvizdoš

Chránenie obnoviteľných zdrojov energie pomocou inteligentných elektronických zariadení 74

Alexander Mészáros

Trvalo udržateľná elektroenergetika 106

Stanislav Ilenin

Využitie slnečnej energie pre fotovoltiku 150

Michal Kolcun

Výrobné elektrickej energie 182

Roman Cimbala

Využitie počítačov v automatizácii elektroenergetiky 219

Martin Kanálik

Model obnoviteľných zdrojov energie aktivity 2.3 projektu VUKONZE realizovaný v prostredí MATLAB/Simulink 257

Dušan Medved'

Modelovanie v prostredí EMTP – ATP 276

Možnosti využívania obnoviteľných zdrojov energie

Ing. Ján Tkáč, CSc.

Obsah

Úvod	3
1 Slnko ako základný zdroj energie.....	4
1.1 Charakteristika Slnka ako zdroja energie	4
1.2 Premeny slnečného žiarenia v atmosfére Zeme	5
1.2.1 Určenie polohy Slnka.....	6
1.2.2 Druhy slnečného žiarenia.....	9
1.2.3 Množstvo slnečného žiarenia dopadajúceho na všeobecne orientovanú plochu	11
1.3 Spôsoby konverzie slnečnej energie.....	13
1.3.1 Fotoelektrická konverzia.....	14
1.3.1.1 Druhy fotoelektrických článkov	14
1.3.1.2 Základné parametre fotoelektrických článkov	16
1.3.1.3 Konštrukcia fotoelektrických panelov	17
2 Polohovacie systémy v solárnej technike.....	18
2.1 Spôsoby sledovania polohy slnka.....	19
2.2 Druhy polohovacích systémov	19
2.2.1 Polohovacie zariadenia s jednou osou natáčania	20
2.2.2 Polohovacie zariadenia s dvoma osami polohovania.....	20
3 Projekt VUKONZE.....	22
3.1 Polohovacie zariadenie	23
3.2 Hybridný solárno-veterný zdroj	24
3.3 Meranie intenzity slnečného žiarenia	25
3.4 Meteorologická stanica.....	26
3.5 Meracia ústredňa	26
4 Význam využívania OZE.....	29
5 Zoznam použitej literatúry.....	30

Úvod

Slnko predstavuje pre ľudstvo základný zdroj energie potrebnej pre život na Zemi. Takmer všetka energia, ktorú človek svojimi schopnosťami dokáže využívať pre svoju potrebu, pochádza zo Slnka. Nehospodárnym plytvaním energiami ľudstvo minulo takmer všetky zásoby fosílnych palív, ktoré nám ponúka naša Zem.

Jednou z možností na redukcii tvorby škodlivín, ktoré vznikajú hlavne pri výrobe energie spaľovaním fosílnych palív, je hromadné zapájanie obnoviteľných zdrojov energie. Bráni však tomu vysoká cena vstupných nákladov na výstavbu veterných parkov, fotoelektrických polí, solárnych elektrární a ostatných alternatívnych zdrojov energie. Využívanie solárnej energie má veľký potenciál pre ďalší rozvoj energetiky. Solárna energia je najstarším primárnym zdrojom energie. Je to energia čistá, obnoviteľná, široko dostupná vo všetkých častiach sveta a je zadarmo. Zásadnou nevýhodou solárnej energie je jej premenlivosť, nízka účinnosť konverzných zariadení a vysoké investičné náklady.

Premenlivý charakter solárnej energie je možné eliminovať akumuláciou do potenciálnej energie vody, kinetickej energie rotujúcich zotrvačiek, chemickej energie a vodíka. Zvýšenie účinnosti transformácie solárnej energie je možné realizovať vývojom nových materiálov s vyšším stupňom absorpcie, koncentrovaním slnečnej energie alebo sledovaním Slnka počas jeho zdanlivého pohybu po oblohe. Aby sme mohli realizovať ostatné dva spôsoby zvyšovania účinnosti premeny solárnej energie je potrebné polohovacie zariadenie - tracker.

1 Slnko ako základný zdroj energie

Energia Slnka je najstaršou, najrozšírenejšou najnevyhnutnejšou energiou, ktorú človek využíva pre svoj život na Zemi. V priebehu posledného storočia sa však ľudstvo orientovalo len na neobnoviteľné fosílné zdroje, ktoré sú už v súčasnosti vyčerpané a je nevyhnutné vrátiť sa znova k slnečnej energii. Energia Slnka má oproti ostatným konvenčne používaným zdrojom viacero výhod:

- Vyhovuje z kvalitatívneho aj kvantitatívneho hľadiska
- všeobecná dostupnosť po celom povrchu planéty
- Jej využívaním sa neporušuje termodynamická rovnováha planéty
- Umožňuje zabezpečenie trvalo udržateľného života

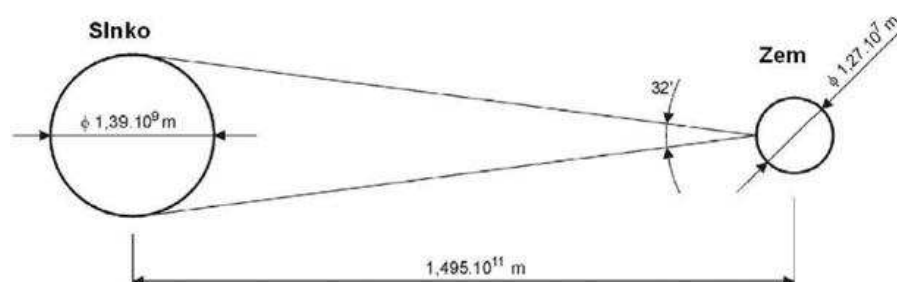
Má však aj svoje vlastnosti, označované ako nevýhody ako napr.:

- Pravidelná zmena intenzity v rámci dňa, mesiaca a roka-predikovateľná
- Nepredikovateľná zmena intenzity-podľa počasia
- Chýbajúce slnečné žiarenie počas noci

Uvádzané nevýhody sú však už technicky vyriešené.

1.1 Charakteristika Slnka ako zdroja energie

Slnko je základným zdrojom energie, ktorý je aj podmienkou pre život na Zemi. Pre jeho aktívne využívanie je potrebné dokonale poznať zákonitosti týkajúce sa energetického toku slnečného žiarenia na povrch Zeme. Slnko tvorí až 99,78% hmotnosti celej slnečnej sústavy, pozostáva z 70% vodíka, 28% hélia, 2% ostatných prvkov. Má priemer $1,392 \cdot 10^9$ m, hmotnosť $1,987 \cdot 10^{30}$ kg a strednú hustotu $1,41 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Pri teplote 10^7 K a tlaku $1,7 \cdot 10^{15}$ Pa prebieha v jeho jadre termonukleárna reakcia, pri ktorej sa vodík transformuje na hélium a uvoľňuje sa obrovské množstvo energie. V dôsledku silnej gravitácie postupujúce žiarenie od stredu mení svoje spektrálne zloženie a teplotu. Preto sa povrch Slnka javí ako ideálny žiarivý s efektívnou teplotou 5762 K. Celkový žiarivý výkon Slnka je $3,85 \cdot 10^{26}$ W a intenzita žiarivého toku na povrchu je $5,961 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Vlnová dĺžka vyžarovaného žiarenia sa pohybuje v rozmedzí 10^{-1} nm až 1 m. V oblasti vlnových dĺžok 470 nm má toto žiarenie maximálnu intenzitu. Iba časť tohto žiarenia (asi $1,73 \cdot 10^{17}$ W) dopadá na vonkajšiu časť zemskej atmosféry [2]. Slnečná konštanta G_{sc} je tok slnečnej energie prechádzajúci plochou 1 m^2 , kolmou na smer lúčov, za 1 s v strednej vzdialenosti Zeme od Slnka. Jej hodnota je $1,36 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ [3].



Obr. 1 Vzájomná poloha Zeme a Slnka [7]

Napriek tomu, že tomuto žiarivému toku hovoríme konštanta, v skutočnosti sa mierne kolíše v dôsledku pohybu Zeme po eliptickej dráhe okolo Slnka. Zem je najbližšie k Slnku 3. januára (cca 147.10^6 km) perihélium a najďalej 4. júla (cca 152.10^6 km) afélium. Skutočnú hodnotu solárnej konštanty G_{on} v závislosti od zvoleného dňa počas roka určíme podľa vzťahu:

$$G_{on} = G_{sc} \left(\frac{r_0}{r_{od}} \right)^2 \left(\frac{r_0}{r_{od}} \right)^2 \text{ [W/m]} \quad (1)$$

r_0 - polomer priemernej kruhovej dráhy Zeme okolo Slnka (149.10^6 km)

r_{od} - priemerná vzdialenosť Zeme od Slnka počas určitého dňa v roku, ktorá je určená v astronomických tabuľkách a almanachoch.

Pre praktické výpočty Kittler Mikler uvádza viacero aproximácií rovnice napríklad podľa Aydinliho:

$$G_{on} = G_{sc} [1 + 0,0334 \cos(N_d J - 3,5^\circ) + 0,00721 \cos(2N_d J - 6,9^\circ) - 0,000023 \cos(3N_d J - 10,15^\circ)] \text{ [W/m]} \quad (2)$$

N_d - základne delenie jedného okruhu na dni 360/366 v nepriestupnom roku

J - poradie dňa v roku.

Značným zjednodušením je aproximácia, ktorú uvádza Matušek[4]:

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360J}{365} \right) \text{ [W/m]} \quad (3)$$

1.2 Premeny slnečného žiarenia v atmosfére Zeme

Množstvo žiarivej energie Slnka dopadajúcej na hranice zemskej atmosféry má relatívne konštantnú hodnotu. Prechodom cez jednotlivé vrstvy zemskej atmosféry dochádza k vzájomnej interakcii, časť žiarenia sa odrazí späť do medzihviezdneho priestoru, časť je absorbovaná atmosférou a zvyšok dopadá na povrch Zeme, ako priame žiarenie. Po dopade sa toto žiarenie transformuje na

- tepelnú energiu – zohrievanie vody oceánov a morí, zemského povrchu, značne redukuje;
- potenciálnu a kinetickú - energia morských a vzdušných prúdov, vyparovanie vody;
- chemickú energiu – procesy fotosyntézy a tvorba biomasy.

V konečnej fáze sa všetky formy žiarenia prúdiaceho zo Slnka menia na tepelnú energiu, ktorá sa vo forme infračerveného žiarenia vyžiarí do medzihviezdneho priestoru. Medzi prijímaným zväčša viditeľným žiarením Slnka a vyžiarovým infračerveným žiarením Zeme je zachovávaná takmer termodynamická rovnováha. Asi 1 promile zo slnečného žiarenia dopadajúceho na povrch Zeme sa mení v biosfére. V biomase prebieha mnoho chemických reakcií, zabezpečujúcich využívanie a akumuláciu slnečnej energie a tak ovplyvňujú možnosť života na Zemi [2]. Slnečná energia predstavuje základ všetkých obnoviteľných zdrojov energie okrem geotermálnej.

Celková intenzita dopadajúceho slnečného žiarenia všeobecnú rovinu umiestnenú na povrchu Zeme závisí od týchto faktorov:

- geografická lokalita,
- atmosférické, klimatické a poveternostné podmienky,

- lokálny čas,
- poloha skúmanej roviny.

Rozhodujúcu úlohu zohráva uhol, pod ktorým slnečné žiarenie dopadá na nami zvolenú rovinu [5]. Pre stanovenie uhla dopadu slnečných lúčov, musíme určiť polohu Slnka.

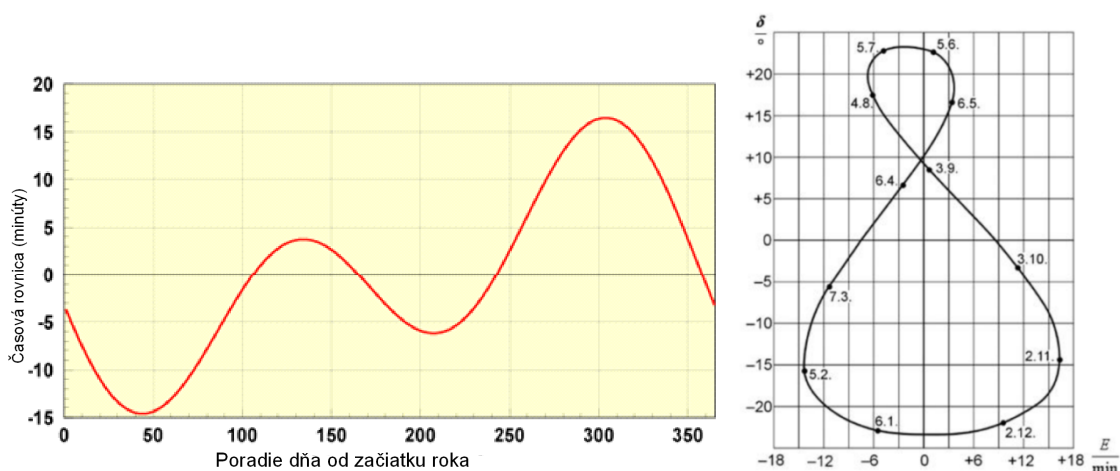
1.2.1 Určenie polohy Slnka

Jednou z charakteristických vlastností slnečnej energie je jej cyklická zmena v rámci dňa mesiaca roka, ktorá je daná pohybom Zeme okolo Slnka a jej rotáciou.

Základný pohyb Zeme je jej rotácia okolo vlastnej osi, ktorej dôsledkom je zmena intenzity žiarenia v priebehu dňa. Pohyb Zeme okolo Slnka po eliptickej dráhe spôsobuje, že os rotácie Zeme voči rovine obiehania mení svoju polohu v dôsledku čoho dochádza k zmene a intenzity slnečného žiarenia v rámci roka. Preto je z hľadiska využívania slnečnej energie dôležité určenie okamžitej polohy Zeme voči Slnku. Na tento účel je publikovaných mnoho algoritmov, líšiacich sa od seba zložitou výpočtu a takisto presnosťou [2]. Vstupnými údajmi pre výpočet polohy Slnka sú:

- zemepisnú šírku – φ [°]
- zemepisnú dĺžku – λ_Z
- dátum prepočítaný na poradie dňa v roku – J
- pásmový čas - HČ

Takmer všetky teoretické výpočty a úvahy v heliocentrike používajú pravý slnečný čas. **Pravý miestny slnečný čas H** je definovaný ako kulminácia Slnka presne na poludnie 12.h, pričom na severnej pologuli svieti Slnko počas celého roka priamo od juhu a na južnej od severu. Treba si uvedomiť, že pravý slnečný čas nie je totožný miestnym **pásmovým časom HČ** a počas roka nadobúda rozdiely spôsobené nerovnomerným pohybom Zeme okolo Slnka a polohou v danom časovom pásme. Nulový rozdiel nadobúda štyrikrát do roka: 16.apríla, 14.júna, 1.septembra a 25.decembra. Hlavné minimum nastáva 12.februára (-14 min 16 s), hlavné maximum 3.novembra (16 min 26s). Hodnotu tohto rozdielu spoločne s deklináciou Slnka pre každý deň v roku môžeme vyjadriť pomocou uzavretej krivky, ktorá sa volá analema [6].



Obr. 2 Priebeh časovej rovnice η_0 , analema[6]

Časová rovnica η vyjadruje rozdiel medzi pravým slnečným časom a pásmovým časom.

Pre aproximáciu časovej rovnice bolo popísaných viacero vzťahov, napr. podľa Dogniauxa [5]

$$\eta = 0,0072 \cos N_d'' J - 0,0528 \cos 2N_d'' J - 0,0012 \cos 3N_d'' J - \\ - 0,1229 \sin N_d'' J - 0,1565 \sin 2N_d'' J - 0,0041 \sin 3N_d'' J \quad [^\circ] \quad (4)$$

N_d'' – ročná konštanta - základne delenie jedného okruhu na dni 360/366 pri priestupnom roku.

Pre výpočet časovej rovnice sa celosvetovo zaužíval zjednodušený vzťah 0:

$$\eta = 9,87 \sin 2N_d(J - 81) - 1,5 \sin N_d(J - 81) - 7,53 \cos N_d(J - 81) [^\circ] \quad (5)$$

Pomocou miestneho pásmového času $H\check{C}$, časovej rovnice η a zemepisnej dĺžky λ_Z určíme **miestny slnečný čas H**

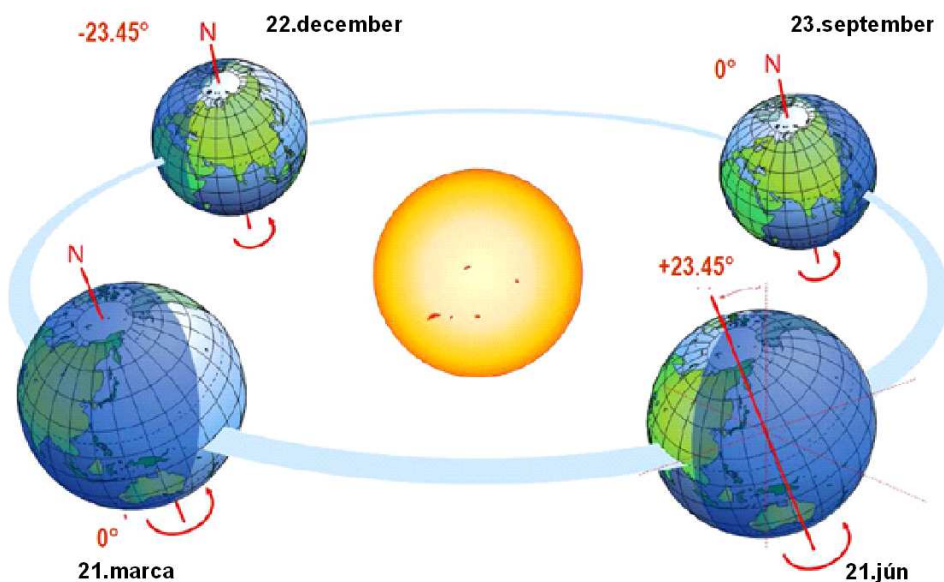
$$H = H\check{C} + \eta + \frac{1}{15}(\lambda_Z - \lambda_{\check{C}Z}) \quad [\text{hod}] \quad (6)$$

$\lambda_{\check{C}Z}$ – zemepisná dĺžka časovej zóny (pre SEČ 15°)

Miestny slnečný čas H prepočítame na hodinový uhol. Tento prepočet môžeme urobiť dvoma spôsobmi:

- Určenie **hodinového uhla t** od poludňajšej kulminácie Slnka ($H = 12$ h, $t = 0^\circ$). ak $H < 12$ h $t = 15(12 - H)$
ak $H > 12$ h $t = 15(H - 12)$
- Alebo určenie **hodinového uhla τ** , ktorý sa počíta od polnoci, t.j. od severu smerom na východ ($H = 12$ h, $\tau = 180^\circ$).
 $\tau = 15 H$

δ deklinácia je uhol, ktorý zvierajú spojnice stredu zeme a slnka s rovinou zemského rovníka, zemepisná šírka miesta, kde daný deň o dvanásť . hodín miestneho slnečného času je Slnko kolmo nad obzorom [4].



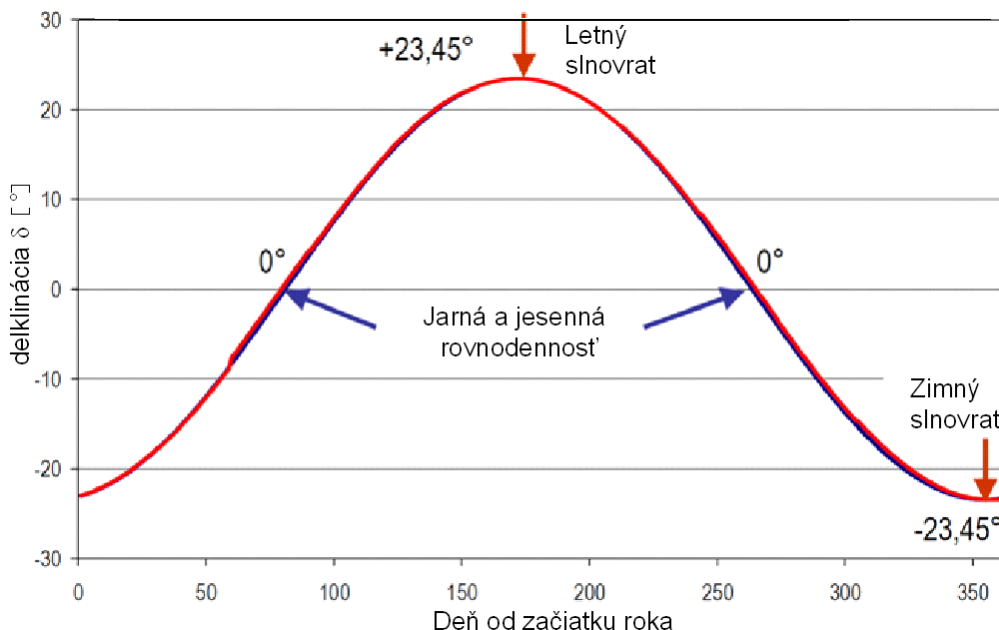
Obr. 3 Deklinácia Zeme v závislosti od poradia dňa od začiatku roka [7]

Pre matematické určenie priebehu deklinácie δ boli vyjadrené viaceré aproximácie. Jednu z prvých vyjadril Dogniaux [5]:

$$\delta = 0,33281 - 22,984 \cos N_d'' J - 0,3499 \cos 2N_d'' J - 0,1398 \cos 3N_d'' J + 3,7872 \sin N_d'' J + 0,03205 \sin 2N_d'' J + 0,07187 \sin 3N_d'' J \quad [^\circ] \quad (7)$$

Pre zjednodušenie výpočtov pre malé mikropočítače s obmedzenými pamäťovými a výpočtovými možnosťami, bol zavedený sínusový vzťah 0.

$$\delta = 23,45^\circ \sin[N_d(J - 81)] \quad [^\circ] \quad (8)$$



Obr. 4 Pribeh deklinácie počas roka

Vzájomná poloha Zeme a Slnka je určená výškou Slnka nad obzorom a orientáciou slnečného žiarenia voči svetovým stranám

Výška Slnka nad obzorom (elevácia) h_0 – je uhol, ktorý zvierajú spojnice plochy a Slnka s vodorovnou rovinou [4]. Jej hodnota sa určí podľa nasledujúceho vzťahu:

$$h_0 = \sin^{-1}[\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t] \quad [^\circ] \quad (9)$$

θ_z zenitový uhol – uhol ktorý zvierajú spojnice plochy a Slnka s vertikálou [4].

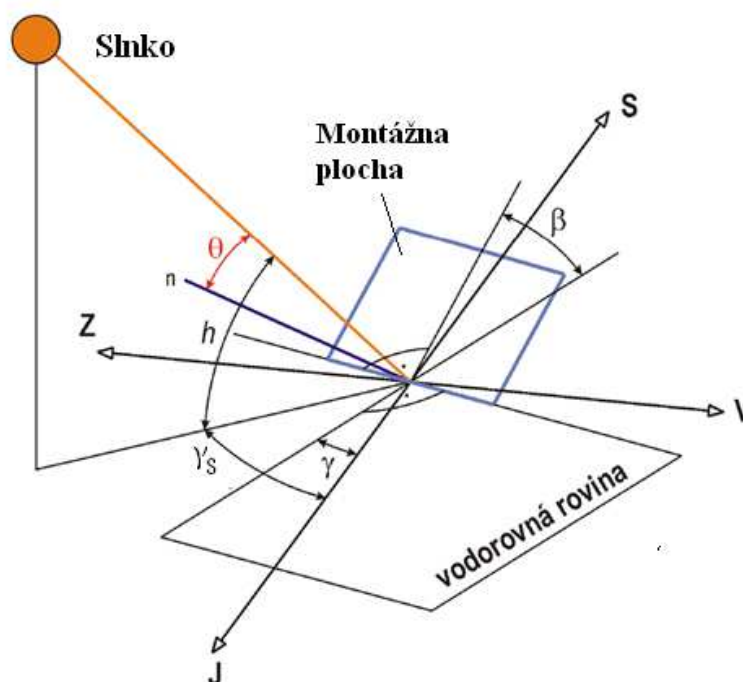
$$\theta_z = 90^\circ - h_0 \quad [^\circ] \quad (10)$$

γ_s azimut Slnka – je uhol ktorý zvierá priemet spojnice plochy a Slnka zo severným smerom (východ 90° , juh 180° , západ 270°), [4].

$$\gamma_s = \cos^{-1} \left[\frac{\sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos t}{\cos h_0} \right] \quad [^\circ] \quad (11)$$

Tento výpočet azimutu platí pre 12 h. V opačnom prípade je výsledný azimut rovný 0 :

$$\gamma_s = 180^\circ - \gamma_s \quad [^\circ] \quad (12)$$



Obr. 5 Orientácia solárneho zariadenia voči Slnku [7]

1.2.2 Druhy slnečného žiarenia

Celkové dopadajúce slnečné žiarenie na povrch Zeme sa vyskytuje v troch formách [28]:

- priame slnečné žiarenie G_b , ktoré po prechode zemskou atmosférou nezmenilo svoj smer,
- difúzne slnečné žiarenie G_d , ktoré pri prechode atmosférou interakciou s jej vrstvami, molekulami obsiahnutých materiálov a ich častíc zmenilo svoj smer, pôsobí zo všetkých strán oblohy,
- odrazené slnečné žiarenie G_r , pôsobiace od terénu, budov.

Súčet týchto troch zložiek žiarenia je celkové slnečné žiarenie G [2].

Teoreticky môžeme stanoviť veľkosť intenzity dopadajúceho priameho slnečného žiarenia na plochu, kolmú k smeru dopadu G_{bn} [7].

$$G_{bn} = G_{on} \cdot \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right) \text{ [W/m]} \quad (13)$$

Z - súčiniteľ znečistenia atmosféry (bezrozmerné číslo), vyjadruje mieru zoslabenia žiarivého toku pri prechode cez hmotnú atmosféru.

ε - činiteľ závislý od výšky Slnka nad obzorom a od nadmorskej výšky (bezrozmerné číslo)

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \left[\sin h + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5} \right]}{2,0015 \cdot (1 - L_v \cdot 10^{-4})} \text{ [-]} \quad (14)$$

L_v - nadmorská výška v m.

h - uhol ktorý zvierá spojnice plochy so Slnkom s vodorovnou plochou

$$Z = \frac{\ln G_{on} - \ln G_{bn}}{\ln G_{on} - \ln G_{b0}} \text{ [-]} \quad (15)$$

G_{b0} - priame slnečné žiarenie pri prechode úplne čistým vzduchom ($Z=1$, nehmotná atmosféra) $W.m^{-1}$.

Súčiniteľ znečistenia Z udáva koľkokrát musí byť atmosféra hmotnejšia, aby mala rovnakú priepustnosť pre slnečné žiarenie ako znečistená atmosféra. Priemerné hodnoty súčiniteľa znečistenia Z pre vybrané oblasti počas jednotlivých mesiacov v roka znázorňuje nasledujúca tabuľka [4].

Intenzitu priameho slnečného žiarenia dopadajúceho na vodorovnú plochu G_b určíme podľa vzťahu:

$$G_b = G_{bn} \sin h \quad [W/m] \quad (16)$$

Pre intenzitu difúzneho slnečného žiarenia dopadajúceho na vodorovnú G_d rovinu platí:

$$G_d = 0,33(G_{on} - G_{bn}) \sin h \quad [W/m] \quad (17)$$

Zjednodušene môžeme povedať, že 1/3 slnečného žiarenia, ktoré sa v atmosfére rozptýli, dopadne na vodorovnú rovinu ako všesmerové difúzne žiarenie.

Pre určenie veľkosti intenzity slnečného žiarenia musíme okrem G_{bn} určiť, pod akým dopadá toto žiarenie na nami zvolenú plochu.

$$\theta = \cos^{-1}[\sin h \cos \beta + \cos h \sin \beta \cos (\gamma_s - \gamma)] \quad [^\circ] \quad (18)$$

θ – uhol dopadu slnečného žiarenia - uhol ktorý zvierajú spojnice plochy a Slnka s normálou plochy

β – sklon plochy - uhol medzi vodorovnou rovinou a rovinou plochy

γ – azimut plochy - uhol medzi premetom normály a lokálnym poludníkom

Intenzita priameho slnečného žiarenia ktoré dopadá na všeobecnú rovinu G_{bT} pod uhlom θ vyjadríme podľa vzťahu:

$$G_{bT} = G_{bn} \cos \theta = G_b \frac{\cos \theta}{\sin h} \quad [W/m] \quad (19)$$

G_{dT} difúzna slnečná radiácia dopadajúca na zvolenú plochu

$$G_{dT} = \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) G_d \quad [W/m] \quad (20)$$

G_{rT} odrazená slnečná radiácia dopadajúca na zvolenú plochu

$$G_{rT} = \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) (G_b + G_d) \quad [W/m] \quad (21)$$

ρ_g odrazivosť terénu (albedo) je pomer medzi odrazenou a dopadajúcou hustotou slnečného žiarenia. Pre bežné výpočty sa uvažuje hodnota $\rho_g=0,2$. V tabuľke 2 sú vyjadrené presnejšie hodnoty ρ_g pre vybrané druhy zemského povrchu.

Tab. 1 Hodnota odrazivosti pre rôzne druhy terénu [4].

Druh zemského povrchu	ρ_g
Bežná vegetácia	0,10 až 0,15
Sneh	0,90
Súš	0,35 až 0,45
More	0,05 až 0,10

Celkovú intenzitu slnečného žiarenia dopadajúca na všeobecne orientovanú plochu G_T určíme ako súčet priamej, difúznej a odrazenej zložky.

$$G_T = G_{bT} + G_{dT} + G_{rT} \quad [\text{W/m}^2] \quad (22)$$

1.2.3 Množstvo slnečného žiarenia dopadajúceho na všeobecne orientovanú plochu

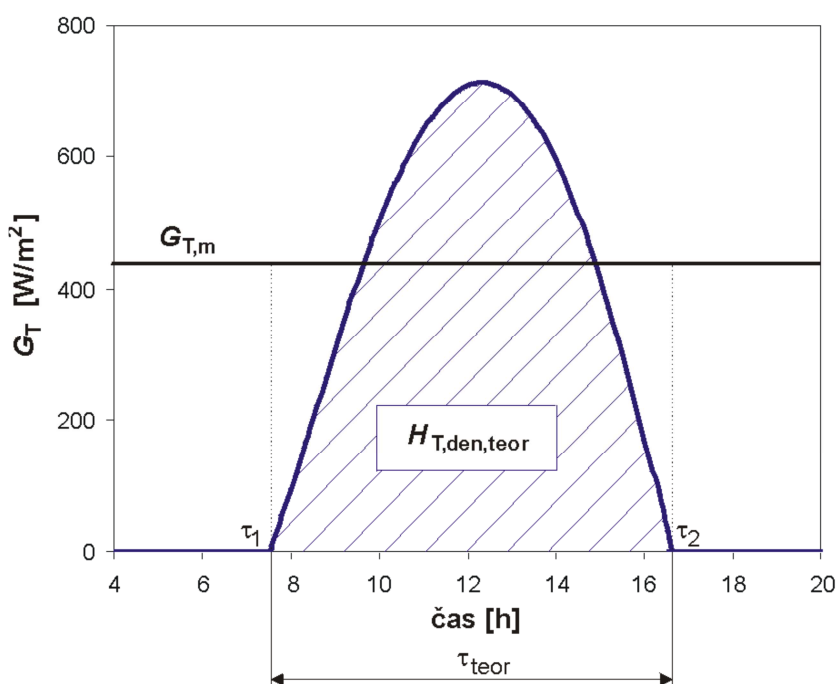
Teoretické množstvo dennej dávky celkového slnečného žiarenia $H_{T,\text{deň,teor}}$ sa stanoví integráciou teoreticky stanoveného celkového slnečného ožiarenia plochy G_T od východu po západ teda teoretická doba slnečného svitu τ_{teor} [7].

$$H_{T,\text{deň,teor}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} G_T d\tau \quad [\text{W hod}]$$

(23) Tento vzťah platí iba vtedy, ak na oslnenú plochu dopadá priame slnečné žiarenie po celú teoretickú možnú dobu v jasných slnečných dňoch.

V priebehu dňa sa strieda obdobie s jasnou a zamračenou oblohou, kedy dopadá len difúzne žiarenie. Teoretická denná dávka difúzneho žiarenia sa stanoví integráciou podobne ako celková denná dávka žiarenia.

$$H_{T,\text{deň,dif}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} G_{dT} d\tau \quad [\text{W hod}] \quad (24)$$



Obr. 6 Teoretická denná dávka slnečného ožiarenia od východu Slnka po jeho západ [7].

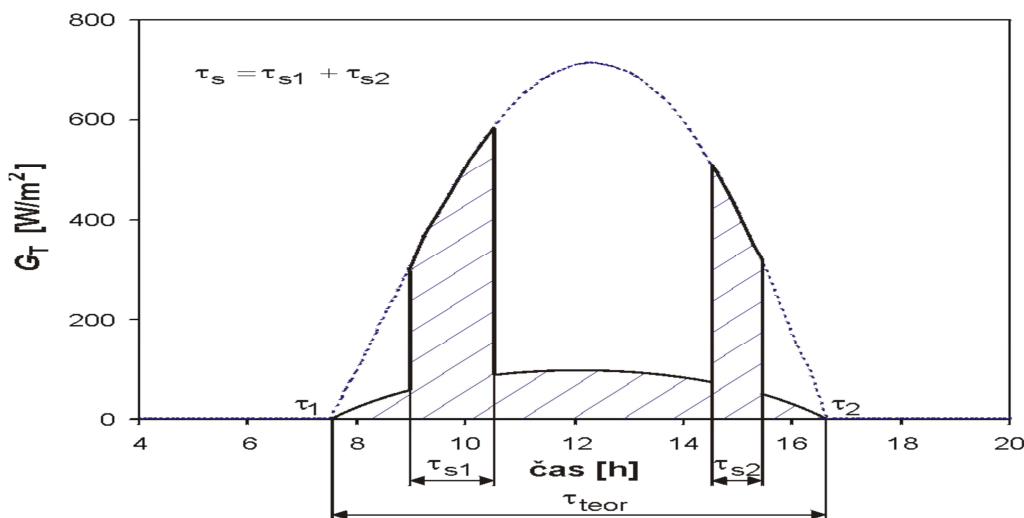
Z teoretickej dávky slnečného žiarenia je možné vypočítať strednú dennú hodnotu slnečného ožiarenia $G_{T,m}$ danej plochy, vydelením teoretickou dobou slnečného svitu τ_{teor} podľa rovnice

$$G_{T,m} = \frac{1}{\tau_{\text{teor}}} \int_{\tau_1}^{\tau_2} G_T d\tau = \frac{H_{T,\text{deň,teor}}}{\tau_{\text{teor}}} \quad [\text{W hod}] \quad (25)$$

Stredná hodnota slnečného žiarenia $G_{T,m}$ je dôležitou veličinou pre výpočet účinnosti solárnych zariadení, pri navrhovaní ich plochy a pri bilancovaní zisku solárnych sústav. Pre výpočet slnečného ožiarenia v reálnych dňoch je nutné poznať skutočnú dobu

slnečného svitu τ_{skut} , ktorá je definovaná ako doba, kedy je k dispozícii priame slnečné žiarenie s hodnotou vyššou ako 120 Wm^{-2} . Zo skutočnej doby slnečného svitu môžeme vyjadriť tzv. pomernú dobu slnečného svitu ako:

$$\tau_r = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}} [\text{hod}] \quad (26)$$

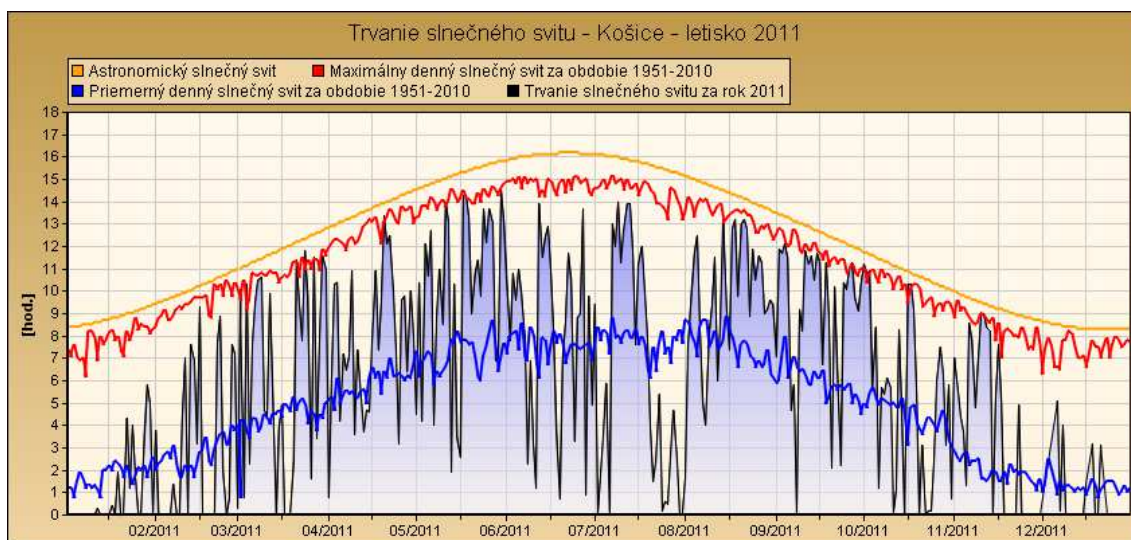


Obr. 7 Príklad priebehu skutočnej dennej dávky slnečného ožiarenia [7]

Stanovenie skutočnej dávky slnečného ožiarenia, dopadajúcej na všeobecnú plochu stanovíme podľa vzťahu:

$$H_{T,deň} = \tau_r H_{T,deň,teor} + (1 - \tau_r) H_{T,deň,dif} [\text{W hod}] \quad (27)$$

Priemerné ročné sumy globálneho žiarenia na Slovensku sú najvyššie v nížinách, 1200 až 1300 kWh.m^{-2} , v najvyšších polohách východnej časti Tatier je to 1100 až 1200 kWh.m^{-2} , v stredných horských polohách a na krajnom severozápade Slovenska $1050\text{--}1100 \text{ kWh.m}^{-2}$, čo je ovplyvnené hlavne zväčšenou oblačnosťou. V kotlinách je globálne žiarenie ovplyvňované inverziami a nízkou oblačnosťou, hodnoty sa pohybujú v intervale 1100 až 1200 kWh.m^{-2} .

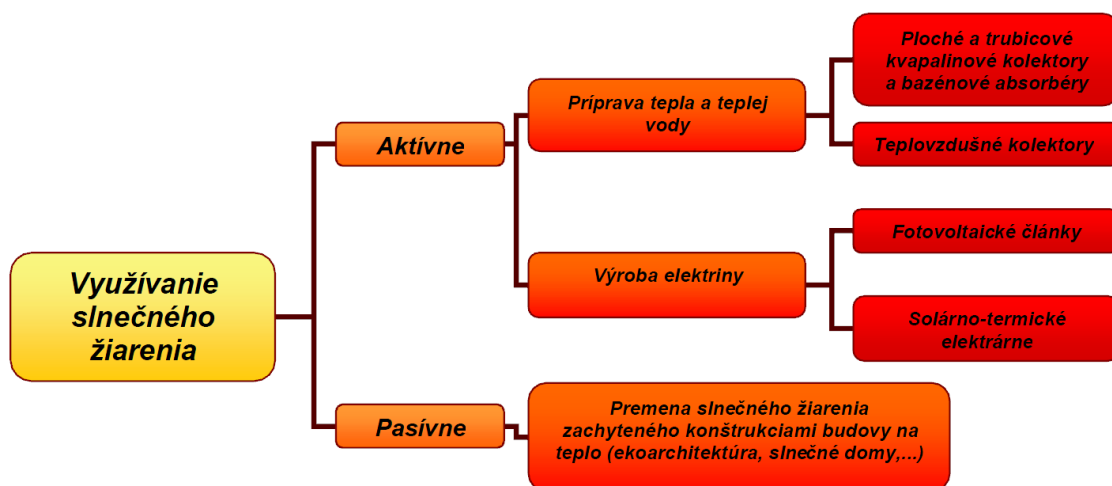


Obr. 8 Trvanie slnečného svitu počas celého roka 2011. Údaje sú z metrologickej stanice Košice - letisko[8]

V priemere najdlhšia ročná doba slnečného svitu je v oblasti juhovýchodnej polovice Podunajskej nížiny s 2 000-2 200 hodinami slnečného svitu za rok (maximálne astronomicky možné trvanie slnečného svitu pre túto oblasť je 4 447 hodín za rok). Aj pre vysokohorské polohy Vysokých Tatier majú priemerné hodnoty slnečného svitu za rok až 1800 hodín, čo súvisí s voľným obzorom a jednak s malou oblačnosťou v týchto nadmorských výškach v zime. V horských dolinách a kotlinách severného Slovenska a na krajnom severozápade Slovenska všeobecne klesá doba trvania slnečného svitu v dôsledku zatienenia a väčšej oblačnosti až na 1 400 - 1 500 hodín za rok (napr. Trstená - Ústie nad Priehradou 1052 hodín). Oblačnosť je na Slovensku veľmi premenlivá, určuje ráz počasia a je veľmi citlivá na orograficky členitý reliéf. Najmenšia oblačnosť pripadá na Slovensku v nižších polohách na koniec leta a začiatok jesene, najväčšia naopak na november a december. Vo vysokých horských polohách pripadá najmenšia oblačnosť na zimné obdobie, naopak najväčšia je zaznamenávaná v lete, predovšetkým v júni [8].

1.3 Spôsoby konverzie slnečnej energie

Slnečná energia poskytuje človeku nevyčerpatelné množstvo energie. Túto energiu vo svojom poznaní vieme priamo konvertovať na elektrickú, tepelnú. Na tento účel sa používajú solárne systémy. Základné rozdelenie týchto systémov je na aktívne a pasívne.



Obr. 9 Spôsoby využívania slnečného žiarenia [9]

Pasívne sú také pri ktorých dochádza k premene solárnej energie na teplo pomocou vhodného architektonického riešenia budov. Takzvaná solárna architektúra môže v budovách prispieť až 15%-tími k úsporám energie, ktorú je potrebné vynaložiť na vykurovanie [9].

Aktívne využívanie slnečného žiarenia sa od pasívneho líši tým, že k využívaniu slnečného žiarenia nedochádza priamo, ale prostredníctvom fotoelektrických článkov premieňajúcich slnečné žiarenie na elektrickú energiu, alebo pomocou slnečných kolektorov, či bazénových absorbérov, ktoré pohlcujú slnečné žiarenie a premieňajú ho na teplo. Kým pri priamej premene na tepelnú energiu sa dosahuje značná účinnosť (až 85%), fotoelektrická premena v reálnych podmienkach dosahuje len 15% -nú účinnosť.

1.3.1 Fotoelektrická konverzia

K priamej premene energie elektromagnetického žiarenia na elektrickú energiu dochádza vo fotoelektrických (PV) článkoch. Najčastejšie sa na túto transformáciu používajú polovodičové články na báze kryštallického kremíka. Podľa posledných údajov má kremík 26-28%-né zastúpenie v zemskej kôre.

Fotoelektrický článok je veľkoplošná polovodičová dióda, ktorej PN priechod je orientovaný kolmo k čelnej ploche medzi prednú a zadnú stranu. Ak na jeho povrch nedopadá žiadne svetlo chová sa ako polovodičová dióda. Systém je v stave dynamickej rovnováhy, nie však statickej, to znamená, že v celom objeme polovodiča pri teplote

$T > 0$ K neustále dochádza ku generovaniu elektrónov a dier. Cez prechod tečú elektrické prúdy oboma smermi. Niektoré elektróny v polovodiči typu N môžu mať vyššiu energiu než aká zodpovedá potenciálovej bariére difúzneho napätia U_D . Tieto elektróny môžu prechádzať cez prechod PN do polovodiča typu P, kde rekombinujú s voľnými dierami. Tento prúd sa nazýva rekombinačný. Súčasne v polovodiči typu P dochádza ku generovaniu párov voľných elektrónov a dier, voľné elektróny sú v elektrickom poli prechodu urýchľované do polovodiča typu N. Tento prúd sa nazýva termálny alebo difúzny. Bez priloženého vonkajšieho napätia sú prúdy v oboch smeroch vyrovnané a navonok sa neprejavujú. Hladina Fermiho energie musí byť v rovnovážnom stave, vyrovnaná v celom kryštáli, preto dochádza k ohýbaniu pásu v mieste prechodu.

Pri dopade fotónov s energiou väčšou ako je šírka zakázaného pásma na fotoelektrický článok, sú generované páry elektrón-diera. Dopadajúce fotóny porušia rovnováhu, respektíve stanovia inú rovnováhu. Polovodič typu P sa nabíja kladne a polovodič typu N sa nabíja záporne. Potenciálová bariéra U_d sa zmenší, Fermiho hladina v oblasti typu P a v oblasti typu N sa rozdelí a rozdiel medzi nimi odpovedá fotoelektrickému napätiu U_p . Toto napätie môže nadobúdať hodnotu pri kremíkových PV článkoch približne $U_p \approx 0,6$ V. Ďalšie zvyšovanie intenzity osvetlenia PV článku napätie naprázdno už nezvýši, lebo je kompenzované opačným napätím priestorového náboja na PN priechode. Ak zapojíme osvetlený PV článok do elektrického obvodu, dôjde k zníženiu fotoelektrického napätia a tým k zmene zakrivenia pásu, vedúceho k opätovnému zvýšeniu potenciálovej bariéry $U_D - U_p$. Tým sa zníži rekombinačný prúd a prevládne termálny prúd v dôsledku oddeľovania generovaných elektrónov a dier v elektrickom poli E medzi viazaným priestorovým nábojom. Súčet oboch prúdov už nebude nulový a výsledný prúd bude dodávaný do elektrického obvodu fotoelektrickým článkom. Keďže šírka zakázaného pásma kryštallického kremíka je $\Delta E_G \approx 1,1$ eV, sú PV články na báze kremíka citlivé na fotóny viditeľného a blízkeho infračerveného žiarenia s vlnovou dĺžkou $\lambda \leq 1100$ nm [10].

1.3.1.1 Druhy fotoelektrických článkov

Väčšina vyrábaných a inštalovaných článkov, na priamu premenu slnečného žiarenia na elektrickú energiu používa fotoelektrický článok, vyrobený na báze kremíka. Kremík sa vyznačuje viacerými výhodami: je v dostatočnom množstve zastúpený v zemskej kôre, je relatívne lacný a ľahko dostupný, nie je jedovatý a zo všetkých polovodičových materiálov je najviac preskúmaný. Fotoelektrické články, založené na inej báze môžeme rozdeliť na lacnejšie (PV články pracujúce na báze organických polymérnych vrstiev alebo nanovláken) a pracujúce s oveľa nižšou účinnosťou alebo drahšie (PV články pracujúce na báze GaAs), ktoré pracujú s vyššou účinnosťou [11].

Prvá generácia

- Články z monokryštalického kremíka

Tieto články sa vyrábajú ťahaním monokryštálu z taveniny. Na konci procesu sa získa monokryštalický kremíkový valec – ingot o priemere 125 – 300 mm. Valec sa oreže na tvar hranolu, následne pomocou drôtovej pílky sa nareže na plátky – wafers (o hrúbke 200-360 μm). Zarovnávajú sa na rovnakú hrúbku, vyleštia sa, aby sa odstránili nepravidelnosti a nečistoty. Dopovaním prímеси fosforu sa vytvorí vodivosť typu N. V laboratórnych podmienkach články z monokryštalického kremíka dosahujú účinnosť až 24%. Účinnosť sériovo - vyrábaných článkov je typických 14% a v súčasnosti aj 15%. Kvôli energetickej a technickej náročnosti výroby sa intenzívne hľadajú cesty na zníženie výrobných nákladov.

- Články z polykryštalického kremíka

V súčasnej dobe sú to najbežnejšie typy článkov. Rozdiel oproti výrobe monokryštalického kremíka je, že roztavený kremík sa vylieva do foriem, následný technologický postup je ako pri výrobe monokryštalického kremíka. V laboratórnych podmienkach sa dosahuje 18%- účinnosť týchto článkov a v podmienkach hromadnej výroby – 14%-ná účinnosť. Výhodou oproti monokryštálu je lacnejšia vstupná surovina, možnosť výroby väčších rozmerov článkov s obdĺžnikovým alebo štvorcovým tvarom. Ich nevýhodou sú horšie elektrické vlastnosti (nižší prúd a účinnosť) [12].

- Gálium Arzenid (GaAs)

Je to druhý najčastejší materiál, používaný na výrobu solárnych článkov. Články vyrobené na báze GaAs napriek vyššej účinnosti (nad 20 %) než bežné kremíkové články, nedosiahol širšie uplatnenie v praxi kvôli vyšším výrobným nákladom. Vyššia účinnosť a odolnosť voči kozmickému žiareniu predurčila tieto články na použitie v kozmických technológiách. Použitie koncentrátorov výrazne zefektívňuje používanie GaAs článkov, znižuje sa pomer spotreby materiálu ku jednotke vyrobeného výkonu. Články, na báze GaAs pri vysokých stupňoch koncentrácie slnečného žiarenia, nestrácajú svoju účinnosť na rozdiel od kremíkových, ktoré sú pri takých koncentráciách nevyhovujúce [13].

Druhá generácia

Je charakterizovaná znižovaním hrúbky kremíka, za účelom zlacnenia výroby. Zníženie ceny však viedlo k poklesu účinnosti premeny oproti prvej generácii.

- Amorfný kremík (a-Si:H)

Pri výrobe týchto článkov sa spotrebuje malé množstvo materiálu. Proces výroby je založený na rozklade vhodných zlúčenín kremíka (silan, dychlór-silan) vo vodíkovej atmosfére. Týmto spôsobom sa dajú vytvoriť veľmi tenké vrstvy kremíka na vhodnej podložke (sklo, nerez, plast), čím je možné vytvoriť ohybné fotovoltaické články a moduly, ktoré sa dajú používať ako fólia na strechy, vrchná časť oblečenia, atď. Vážnym nedostatkom je len 7% účinnosť a nestabilita výkonu, ktorý sa po čase ustáli na 80% pôvodnej hodnoty. Predpokladá sa, že tenkovrstvové články z amorfného kremíka majú pred sebou možnosti ďalšieho vývoja, smerom k zvýšeniu účinnosti a zníženiu ceny výrobných nákladov [12].

- **Kadmium Telurid (CdTe)**

Je to tenkovrstvový film polykryštalického materiálu CdTe nanášaného elektrodepozíciou, sprejovaním a vysokorýchlostným naparovaním. Skrýva v sebe možnosť lacnej technológie, malé laboratórne vzorky dosahovali účinnosť - 16% a komerčné moduly s plochou 720 cm² majú účinnosť 8,4%.

- **CopperIndium Diselenide (CuInSe₂, alebo CIS)**

Materiál na výrobu týchto článkov je z tenkovrstvového filmu z polykryštalického materiálu, na ktorom sa v laboratórnych podmienkach dosahovala účinnosť 17,7 % [12].

- **Organické solárne články**

Tieto články sú perspektívne z hľadiska ceny a možnosti hromadnej výroby. Maximálna účinnosť, ktorá bola dosiahnutá v laboratórnych podmienkach je 8%. Malá účinnosť je teoreticky vysvetliteľná. Dosiahnutie vyššej účinnosti bude s využívaním komplikovaných štruktúr, pracujúcich na princípe tretej generácie pravdepodobne možné. Problémy organických solárnych článkov sú v pomerne rýchlej degradácii, pokles účinnosti po 1000 hodinách prevádzky je v súčasnej dobe približne 10%.

- **Fotovoltaické články DSSC (Dye Sensitized Solar Cells)**

Články sa podobajú elektrochemickému článkom. Elektrický prúd nie je však dodávaný na základe chemickej reakcie, ale v dôsledku excitácie molekúl špeciálneho farbiva. Pri prevádzke DSSC článkov nedochádza k chemickej reakcii, ale k zmene zloženia materiálu elektród. Štandardné napätie tohto článku naprázdno je 0,7 V. Najvyššia dosiahnutá účinnosť sa pohybuje na hranici 12%. Pokles účinnosti o 10-15% nastáva po 4 rokoch prevádzky [13].

Tretia generácia

Cesta ku tretej generácii vedie cez základný výskum. Medzi perspektívne systémy patrí napríklad kremíková štruktúra NANOWIRE. Využíva nové materiály so schopnosťou absorpcie v širšom rozmedzí spektra. Do skupiny článkov tretej generácie zaraďujeme dvojvrstvové články (tandemové) a viacvrstvové články. Každý článok absorbuje určitú časť spektra a preto sa výrazne zvyšuje energetická účinnosť premeny dopadajúceho žiarenia. Výsledné napätie viacvrstvového článku je dané súčtom napätí jednotlivých článkov. Takisto ako v prípade sériového zapojenia jednotlivých článkov, aj u viacvrstvových článkov základnou podmienkou pre správne fungovanie je, aby každý z článkov generoval rovnaký prúd. V opačnom prípade, najhorší z článkov limituje dosiahnutú účinnosť celého článku. V laboratórnych podmienkach boli dosiahnuté účinnosti, prevyšujúce hodnotu 40%. Výhodou týchto článkov je vysoká efektivita, potenciál znižovania ceny vstupného materiálu v budúcnosti a predovšetkým potreba malého množstva materiálu. Veľkou nevýhodou týchto článkov je ich vysoká cena, potreba polohovacieho systému s veľkou presnosťou určenia polohy slnka, potreba odvodu veľkého množstva tepla a vysoký stupeň koncentrácie slnečného žiarenia. [13].

1.3.1.2 Základné parametre fotoelektrických článkov

Výkon solárneho článku pri osvetlení môže byť úplne popísaný prúdovo-napäťovou závislosťou. Ak budeme uvažovať o typicky prúdovo napäťových krivkách PN priechodu bez osvetlenia a s osvetlením, môžeme definovať tri parametre, ktoré

kompletne popisujú jeho elektrické chovanie. Prvým parametrom je prúd nakrátko I_{SC} , ktorý sa získava pri napätí $U=0$. Je to maximálny prúd, ktorý môže solárny článok dodávať pri danej intenzite osvetlenia. Druhým parametrom je napätie naprázdno U_{OC} , ktorý sa získa pri $I=0$. Je to maximálne napätie na článku, ktoré môže dosiahnuť, keď na článok nie je pripojený žiadny spotrebič. Výkon solárneho článku je daný súčinom prúdu a napätia. Pre každý článok existuje pracovný bod, v ktorom je výkon najvyšší. Tento bod sa označuje ako bod maximálneho výkonu MPP, pri napätí U_{mp} a prúde I_{mp} . Ďalším parametrom solárneho článku je činiteľ plnenia **FF**:

$$FF = \frac{U_{mp} I_{mp}}{U_{OC} I_{SC}} \quad [-] \quad (28)$$

Účinnosť premeny slnečného žiarenia na elektrický prúd η je definovaná $=U_{mp} \cdot I_{mp} / G_{in}$, za štandardných testovacích podmienok, t.j. pri teplote 25°C a intenzite žiarenia

$$G_{IM} = 1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

$$\eta = \frac{U_{mp} I_{mp}}{G_{IM}} \quad [\%] \quad (29)$$

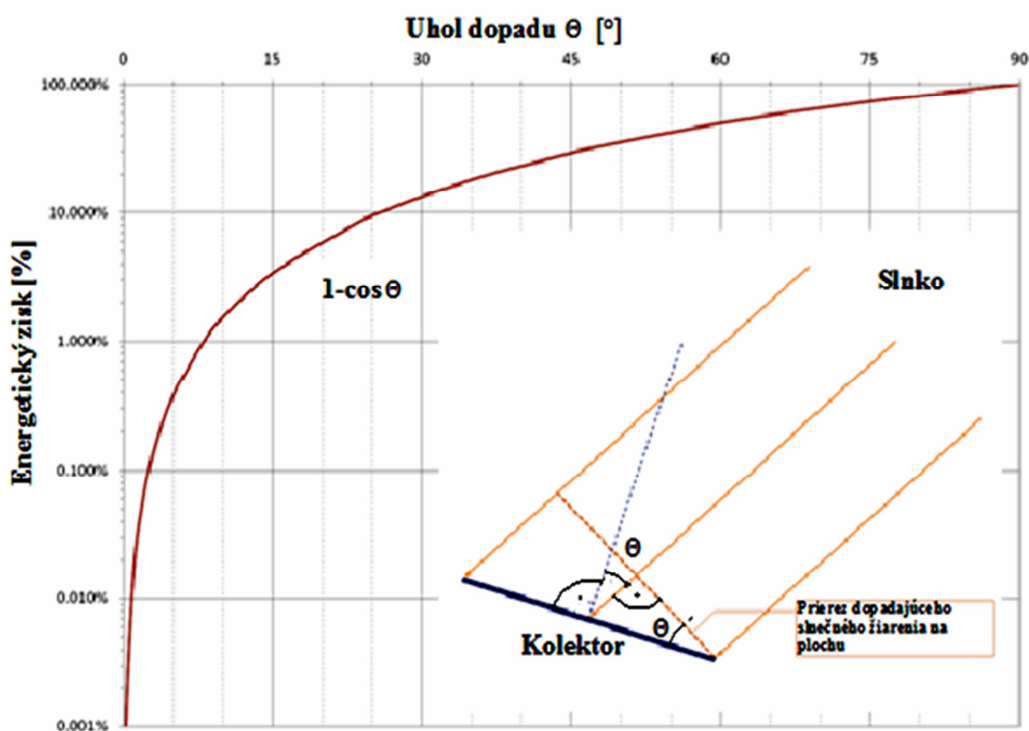
Ďalšími parametrami sú sériový odpor R_s a paralelný odpor R_p . V-A charakteristika je výrazne závislá na intenzite dopadajúceho žiarenia a na teplote. Teplota má značný vplyv na veľkosť napätia na prázdno U_{OC} . V dôsledku rýchleho rastu intrinsickej koncentrácie nosičov s teplotou dochádza k poklesu napätia U_{OC} . Veľkosť poklesu závisí od materiálu článku. Pre PV články s kryštalického kremíka je pokles U_{OC} rádovo $0,4\% / \text{K}$. Zároveň s poklesom U_{OC} klesá aj napätie v bode maximálneho výkonu U_{mp} . Na veľkosť prúdu v bode maximálneho výkonu I_{mp} má teplota malý vplyv, prúd nakrátko I_{SC} rastúcou teplotou sa mierne zvyšuje. V dôsledku toho účinnosť PV článkov s rastúcou teplotou klesá. Pokles účinnosti pre články z kryštalického kremíka je zhruba $0,5\% / \text{K}$ [13].

1.3.1.3 Konštrukcia fotoelektrických panelov

Pri výrobe fotoelektrických panelov sa jednotlivé články spájajú v sériovo–paralelnú kombináciu, aby pri definovanom osvetlení poskytovali žiadaný jednosmerný prúd a napätie. Najbežnejšie vyhotovenie panela je zobrazené na nasledujúcom obrázku. Na prednej strane panelu je kalené sklo, ktoré chráni články pred poveternostnými vplyvmi a zároveň dovoľuje prechod slnečnému žiareniu k článkom. Na sklo sa pokladá EVA (etylvinylacetát) fólia, na ktorú sa ukladajú pospájané PV články. Prepojené články sa znovu prekrývajú EVA fóliou, po ktorej nasleduje laminátová kompozícia. Nasleduje odsatie vzduchu medzi vrstvami a zohriatie na teplotu tavenia EVO fólie, ktorá zaleje PV články medzi krycím sklom a zadnou laminátovou stenou. Nakoniec sa panely vsádzajú a zatmeľujú do hliníkových rámov. Montujú sa prípojné kontakty a nasleduje proces testovania. [14]

2 Polohovacie systémy v solárnej technike

Hoci pevne nastavené solárne panely dokážu absorbovať značný podiel dostupnej slnečnej energie počas dňa, nedokážu však dostatočne využiť ponúkanú energiu slnečného žiarenia v skorých ranných a neskorých večerných hodinách. Na obr.11 sú graficky znázornené percentuálne straty dopadajúceho priameho žiarenia na rovinu, v závislosti od uhla dopadu.



Obr. 10 Závislosť energetického zisku od uhla dopadu slnečného žiarenia [17].

Pri konverzii slnečného žiarenia maximálna účinnosť premeny nastáva vtedy, ak smer dopadajúceho žiarenia na konverzné zariadenie je kolmý. Každý odklon od tohto smeru znamená zníženie efektivity transformácie energie. Zariadenia slúžiace na orientovanie konverzného zariadenia kolmo (alebo čo najviac sa približujúce kolmosti) nazývame polohovacie zariadenia, alebo tracker. Hlavné výhody polohovacích systémov v solárnej technike spočívajú v týchto bodoch:

- účinnosť konverzie sa zvyšuje o 30-40% pri dvojsoch polohovacích zariadeniach,
- menšia náročnosť na záber pôdy v porovnaní s klasickým systémom o rovnakom výkone,
- skrátenie doby návratnosti investície.

K veľkému urýchleniu rozvoja polohovacích technológií dochádza zavádzaním koncentrovaných solárnych zariadení, kde sledovanie Slnka je nevyhnutnou súčasťou týchto systémov.

2.1 Spôsoby sledovania polohy slnka

Pre sledovanie polohy Slnka sa používa viacero spôsobov. Najdôležitejšou požiadavkou je, aby uhol dopadu slnečných lúčov na absorpčnú plochu bol cca. 90° . Rozlišujeme tieto spôsoby polohovania [17]:

- a) **aktívne** – pre svoju činnosť potrebujú vonkajší zdroj energie. Sú to najpresnejšie systémy pre sledovanie polohy Slnka; preto sú vhodné hlavne pre koncentrovanú solárnu techniku;
- b) **pasívne** – využívajú k natáčaniu tepelnú rozťažnosť materiálov. Tieto systémy sú veľmi spoľahlivé a nie sú náročné na údržbu. Nedostatkom je ich nepresnosť polohovania pri zmenách teploty vonkajšieho vzduchu a pri striedaní jasnej a zamračenej oblohy;
- c) **chronologické** – solárne zariadenie sa v stanovených časových intervaloch natáča tak, aby uhlová rýchlosť otáčania bola $360^\circ/24\text{h}$. Otáčanie sa môže uskutočňovať aj kontinuálne servopohonom so zmenou $15^\circ/\text{h}$. Po dosiahnutí krajnej polohy (západná orientácia), musí časové zariadenie zabezpečiť vydanie impulzu pre spätný návrat do východiskovej polohy (orientácia na východ). Tento spôsob polohovania neberie do úvahy nerovnomernosť otáčania Zeme počas roka;
- d) **približné – sezónne polohovanie** – zmena výšky Slnka nad obzorom sa v priebehu roka niekoľkokrát nastaví (spravidla ručne) [21]. Tieto systémy majú najmenší nárast efektívnosti oproti predošlým trom spôsobom.

2.2 Druhy polohovacích systémov

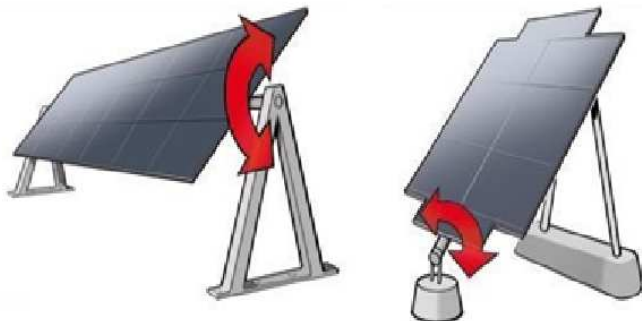
Jedným zo základných členení polohovacích systémov je:

- a) podľa konfigurácie zberného kolektora:
 - pevný kolektor, pohybujúce sa zrkadlo t.j. heliostat,
 - pohybujúci sa kolektor.
- b) podľa počtu osí natáčania:
 - jednosé polohovacie zariadenia,
 - dvojosé polohovacie zariadenia.

Z mechanického hľadiska sú dvojosé polohovacie zariadenia zložitejšie ako jednosé. Pre polohovanie systémov s vyšším stupňom koncentrácie a v solárnych vežiach, kde sú veľké vzdialenosti medzi zrkadlami a centrálnym absorbérom, je použitie dvojosých polohovacích zariadení nevyhnutnosťou.

2.2.1 Polohovacie zariadenia s jednou osou natáčania

Tieto polohovacie zariadenia majú jednu pohybujúcu sa os, okolo ktorej prebieha sledovanie polohy Slnka. Táto os môže byť orientovaná vodorovne, zvisle alebo polárne.



Obr. 11 Jednoosé polohovacie zariadenie s vodorovnou osou a), s polárnou osou b) [18].

Jednoosé polohovacie zariadenia s vodorovnou osou (obr. 13a)) majú nižší výškový profil a preto poskytujú možnosť použitia väčšej montážnej plochy pre kolektory. Orientácia osi natáčania môže byť rovnobežná s poludníkom (severojižná orientácia) alebo kolmo na poludník (východno-západná orientácia).

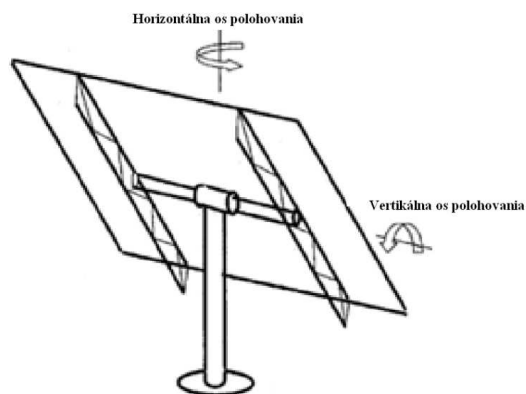
Na solárne zariadenie, z východno-západne orientovanou osou v skorých ranných a neskorých večerných hodinách, dopadá slnečné žiarenie pod veľkým uhlom. To spôsobuje, že pri koncentrovaných solárnych aplikáciách odrazený lúč prekonáva veľkú vzdialenosť a smeruje mimo ohnisko (odraz je rozptýlený). Tento istý problém nastáva u solárnych zariadení so severojižnou orientáciou osi v zimnom období, kedy je Slnko nízko nad obzorom [19].

Jednoosé polohovacie zariadenia s polárnou osou (obr. 13 b)) zachytávajú viac slnečnej energie, lebo maximálny uhol dopadu priameho žiarenia na plochu kolektora je 23° . Majú vyšší výškový profil, preto je veľkosť montážnej plochy pre kolektory obmedzená. Sú viac exponované pôsobeniu vetra. Často sa tieto trackery dopĺňajú možnosťou meniť uhol, ktorý zvierá os rotácie s vodorovnou osou [19].

2.2.2 Polohovacie zariadenia s dvoma osami polohovania

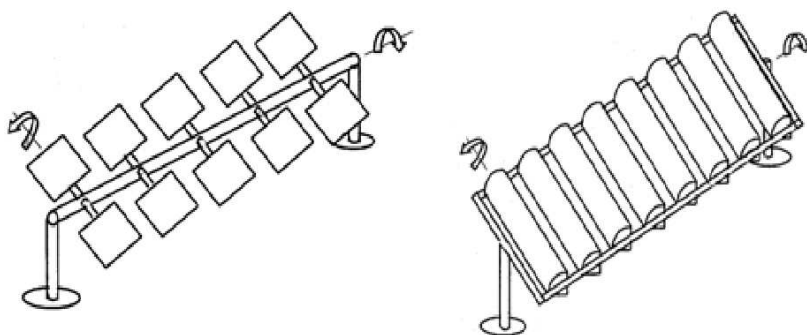
Oproti jednoosým polohovacím zariadeniam sú konštrukčne zložitejšie, poskytujú však väčšiu efektivitu ako jednoosé trackery. Tento spôsob orientácie polohovacích zariadení má najväčšiu presnosť, preto sa používa hlavne pre polohovanie koncentrovaných fotoelektrických článkov, solárnych elektrární s parabolickými korytami, parabolickými taniernami a v solárnych vežiach pre polohovanie zrkadiel. Požiadavky na presnosť polohovania závisia od stupňa koncentrácie slnečného žiarenia.

Dvojosé polohovacie zariadenia sú realizované podľa obr. 12. Polohovací systém je ukotvený na podstavci, cez ktorý prechádza horizontálna os natáčania (azimut). V hornej časti je umiestnená vertikálna os natáčania (elevácia). Výhodou tohto typu je vysoká presnosť a jednoduchá inštalácia. Nevýhodou tohto druhu trackerov je veľké namáhanie prevodoviek a podstavca pod vplyvom vetra [19]. V prípade vysokej rýchlosti vetra sa polohovaná plošina zaparkuje v horizontálnej polohe.



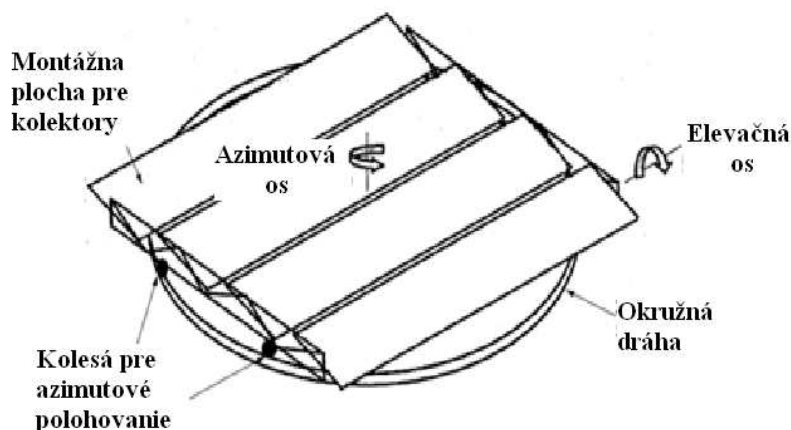
Obr. 12 Polohovacie zariadenie s dvoma osami natáčania [19].

Druh „roll-tilt“ (obr.13) - v tomto type polohovacieho zariadenia je negatívny vplyv vetra značne znížený, na druhej strane nastáva potreba viac pohybujúcich sa častí, ložiskových uložení a konštrukčných väzieb na získanie požadovanej tuhosti konštrukcie v osiach natáčania. Najčastejšie sa pozdĺžna os umiestňuje so severojužnou orientáciou, čo minimalizuje vzájomné tienenie panelov umiestnených na pozdĺžnej osi [19].



Obr. 13 Polohovacie zariadenie s dvoma osami polohovania - podstavcový druh [19].

Otočný stôl (obr.14) – tento druh trackera má najnižší výškový profil, najvyššiu odolnosť voči vetru, avšak môže polohovať skôr menšie absorpčné jednotky. Tento spôsob polohovacích zariadení predstavuje najzložitejšiu inštaláciu.



Obr. 14 Polohovacie zariadenie s dvoma osami natáčania - podstavcový druh [19]

3 Projekt VUKONZE

Projekt VUKONZE bol navrhnutý na demonštráciu činnosti a možností spolupráce rôznych zariadení využívajúcich OZE zvlášť so zameraním na využívanie slnečnej a veternej energie v ostrovných systémoch off-grid. Umožňuje porovnávanie zisku rôznych najčastejšie používaných druhov solárnych panelov s pevnou montážou a s polohovaním za Slnkom.

Systém pozostáva z nasledujúcich blokov:

Solárne zdroje so stabilne upevnenými solárnymi panelmi:

Blok solárnych panelov monokryštalických 500W

Blok solárnych panelov polykryštalických 500W

Blok solárnych panelov amorfných 500W

Solárne zdroje so solárnymi panelmi natáčanými za Slnkom:

Blok solárnych panelov monokryštalických 500W

Blok solárnych panelov polykryštalických 500W

Blok solárnych panelov amorfných 500W

Elektrické zapojenie všetkých blokov je identické a obsahuje:

Regulátor nabíjania MPPT TRISTAR

Akumulátor energie – 24V, 125Ah

Striedač 24V/230V

Zátťaž LED osvetlenie areálu

Celkový pohľad na vonkajšie meracie stanovište OZE je na obr.15



Obr. 15 Vonkajšie meracie stanovište OZE

Monitorovacia kamera

Vonkajšie stanovište je monitorované pomocou kamery čo umožňuje vizuálne sledovanie stavu na meracom stanovišti.

3.1 Polohovacie zariadenie

Konštrukčne riešenie polohovacieho zariadenia pre projekt VUKONZE je na obr 16. Polohovacie zariadenie je určené na polohovanie rôznych solárnych fotoelektrických a fototermálnych zariadení.



Obr. 16 Polohovacie zariadenie FEiNA

Jedná sa o polohovacie zariadenie s nasledovnými parametrami:

Druh polohovania	–	dvojosé
Veľkosť polohovanej plochy	-	max 9m ²
Rozsah polohovania horizontál-	-	180°
Rozsah polohovania vertikál	-	70°
Napájacie napätie	-	12V
Spotreba elektriny	-	3Wh/deň
Interval polohovania	-	1-90 min.programovateľný
Zvýšenie zisku energie	-	50% leto, 20% zima
Odolnosť voči vetru	-	140km/hod
Meranie rýchlosti vetra	-	elektromechanické s nastavením hranice
Prevody	-	závitkové
Nastavovanie polohy	-	GPS, presný čas, povel

Elektrické zapojenie všetkých blokov je identické a obsahuje:

Regulátor nabíjania MPPT TRISTAR

Striedač 24V/230V

Akumulátor energie – 24V, 125Ah

Zát'az LED osvetlenie areálu



Obr. 17 Vnútorné zariadenia jednotlivých blokov v strojovni

3.2 Hybridný solárno-veterný zdroj

Technické parametre hybridného solárno-veterného zdroja

Solárny panel	50W
Vertikálna veterná turbína	200W
Regulátor nabíjania	60A
Akumulátor 24V	90Ah
Zát'az LED svietidlo	25W



Obr. 18 Hybridná slnečno-veterná elektráreň

3.3 Meranie intenzity slnečného žiarenia

Meranie intenzity slnečného žiarenia je realizované pomocou pyranometrov CMP6 zabezpečujúcich meranie:

globálneho žiarenia

difúzneho žiarenia

žiarenia dopadajúceho na plošinu trackera



Obr. 19 Pyranometer Kipp&Zonen CMP6

Meranie je zabezpečované inštaláciou troch pyranometrov na samostatnom statíve spolu s meteorologickou stanicou a bezpečnostným anemometrom pre trackery obr.20.



Obr. 20 Pyranometre ,meteorologická stanica, anemometer(vľavo)

3.4 Meteorologická stanica

Statická meteorologická stanica WXT 520 obr.21 zabezpečuje profesionálne meranie teploty, tlaku, vlhkosti, zrážok, rýchlosti vetra, smeru vetra, nárazovitosti vetra, záznam max a min. hodnôt a celý rad ďalších špeciálnych meteorologických veličín



Obr. 21 Meteorologická stanica WXT 520

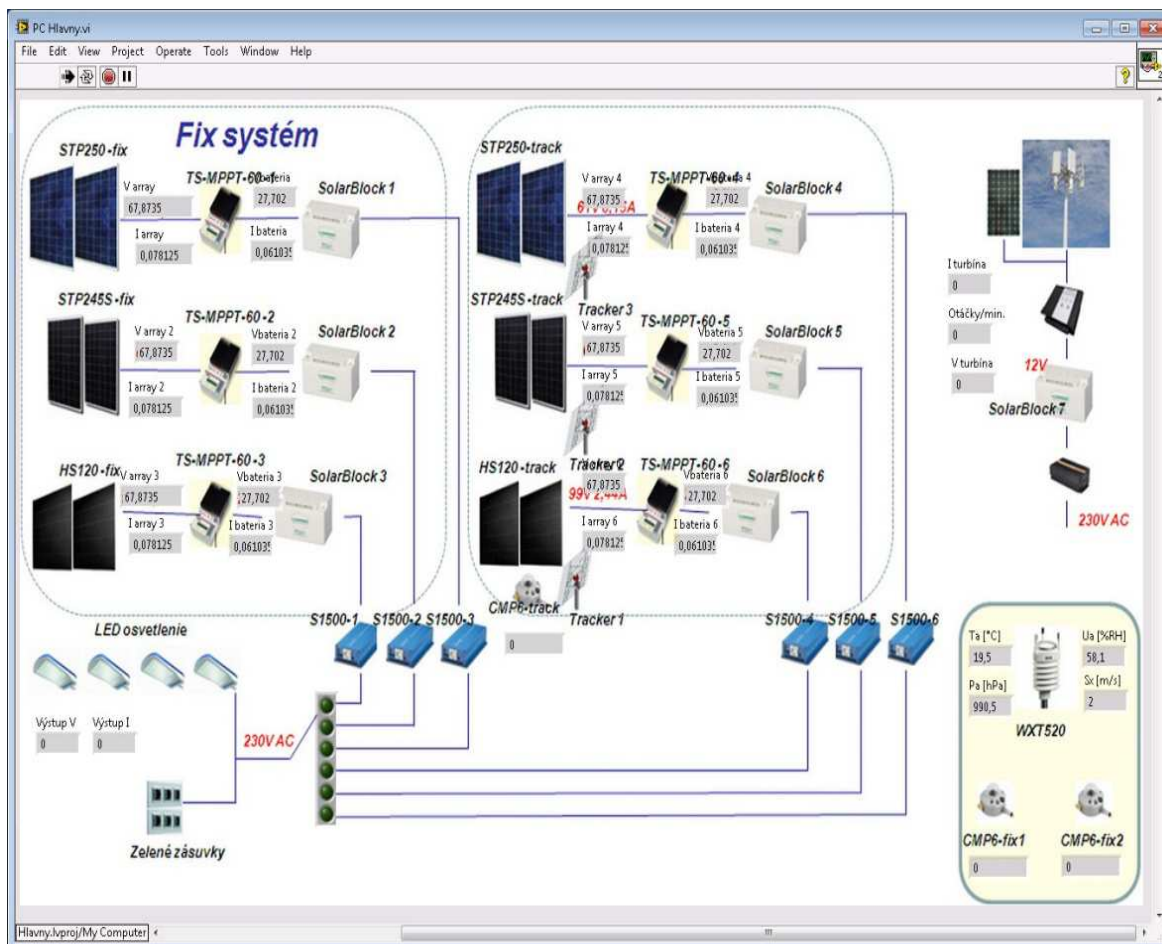
3.5 Meracia ústredňa

Vyhodnocovanie meraných prevádzkových parametrov všetkých zariadení zabezpečuje meracia ústredňa na platforme C- RIO a C-DAQ s využitím grafického programovania v SW LAB VIEW.

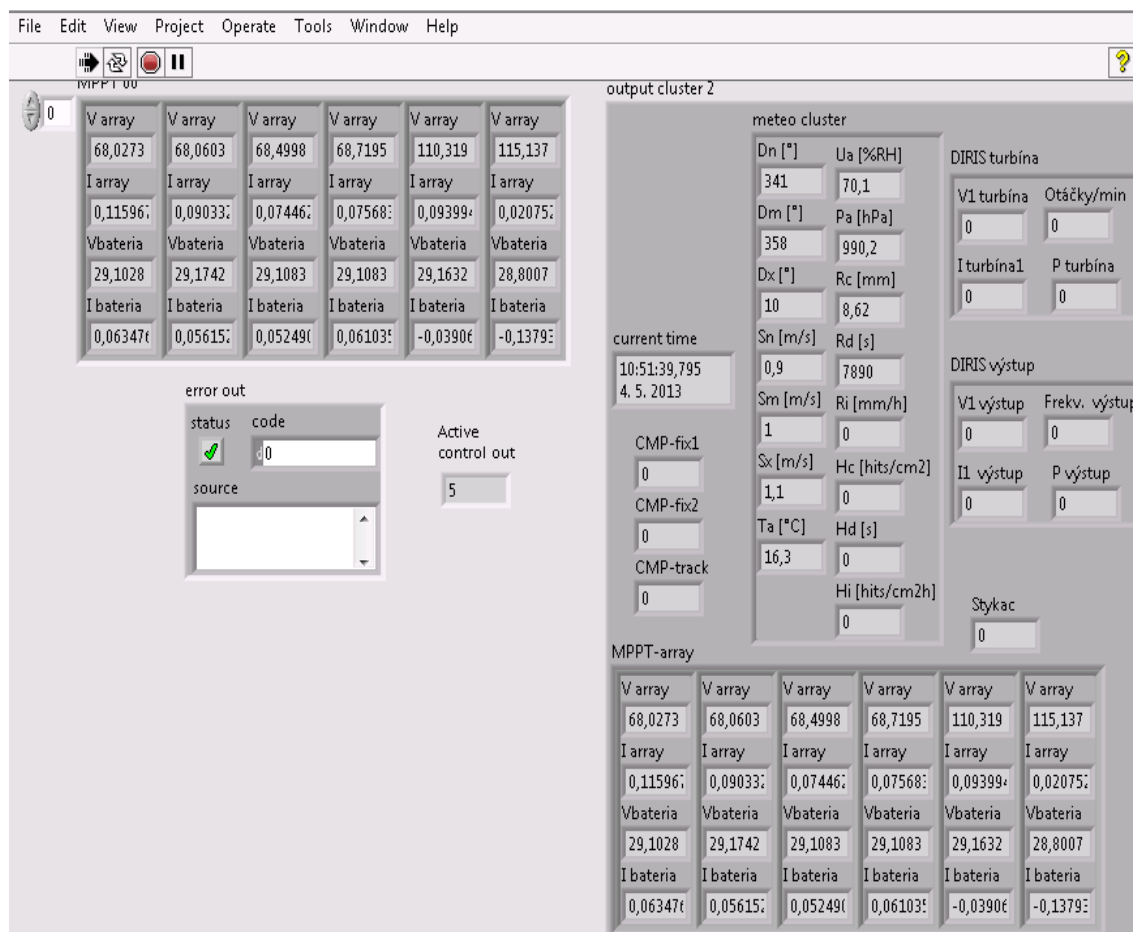


Obr. 22 Meracia ústredňa

Namerané údaje sa ukladajú pomocou SW do databázy a okamžité hodnoty vybraných meraných parametrov sa zobrazujú na front paneli pomocou SCADA. Databáza obsahuje údaje o veľkosti prúdov a napätí namerané na jednotlivých blokoch solárnych panelov a veternej elektrárni. Zobrazenie front panelu je na obr.23 a forma záznamu nameraných údajov je na obr.24

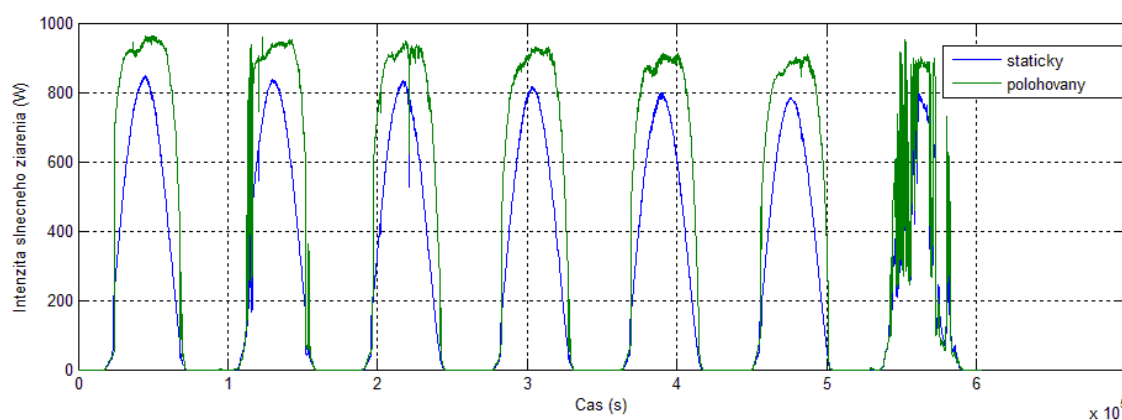


Obr. 23 Front panel



Obr. 24 Spôsob zápisu dát

Z nameraných údajov je možné zostrojiť rôzne závislosti, ktoré nám poskytnú výpovedeschopné údaje o činnosti zariadení na meracom stanovišti. Na obr.25 je napr. zostrojená závislosť intenzity slnečného žiarenia na vodorovnú rovinu a rovinu polohovanú smerom k Slnku. Z porovnania vyplýva, že za Slnkom polohované solárne zariadenie má výrazne vyšší príjem slnečnej energie v dôsledku udržania vždy čo najväčšej plochy otočenej kolmo k Slnku.



Obr. 25 Pribeh intenzity slnečného žiarenia na horizontálnu rovinu a natáčajú kolmo k Slnku

4 Význam využívania OZE

V súčasnosti sa ľudstvo zameriava na využívanie obnoviteľných zdrojov energie, ktoré neznečisťujú životné prostredie. Takýmito zdrojmi energie sú slnko, vietor, voda, ktoré sa nachádzajú všade okolo nás. Obnoviteľné zdroje energie a výroba elektrickej energie pomocou nich je výhodná najmä kvôli tomu, že nenarušujú termodynamickú stabilitu planéty a znižujú produkciu emisií. Ich výhodou je možnosť výroby elektriny distribuovaným spôsobom na ktoromkoľvek mieste na planéte aj bez spolupráce so vzdialenou elektrickou sieťou, alebo pracujúce do autonómnej siete.

Využitelnosť vetra siaha do dávnej minulosti, kedy ho ľudia začali využívať za pomoci veterných mlynov, využíval sa aj v námorníctve na pohon lodí a pod. V dnešnej dobe je vietor využívaný najmä na výrobu elektrickej energie a veterné elektrárne majú inštalované výkony až na úrovni MW. Ich výhodou je, že vyrábajú elektrickú energiu získanú zo zdroja, ktorý je zdarma a priamo v mieste spotreby, čím sa dosahuje vysoká efektívnosť využívania. Avšak nielen čo najväčšia veľkosť zdroja je cieľom inštalácií, ale optimálna veľkosť vzhľadom na miestnu spotrebu, bez nákladnej distribúcie. Veľmi dobre sa veterné elektrárne dopĺňajú s fotovoltickými zdrojmi, čím sa v spolupráci s akumuláciou vyrobenej elektriny dosahuje viacvalentnosť systému. Vietor je možné využívať aj v nočných hodinách a aj v zimnom období kedy je slnečnej energie menej. Malé viacvalentné distribuované zdroje sú schopné zabezpečiť väčšinu potrebnej elektriny a tepla. Vertikálne rotory sa v súčasnosti často používajú na zabezpečenie elektriny v autonómnych systémoch v spolupráci s fotovoltickými panelmi čím sa dosahuje lepšia stabilita a spoľahlivosť dodávaného výkonu. Vertikálne rotory odporového typu Savonius majú oproti rotorom aerodynamickým pri malých výkonoch veľa výhod. Hlavná z nich je vysoký záberový moment aj pri malých rýchlostiach vetra. Rozbiehajú sa už pri rýchlostiach vetra pod 1m/s pri ktorých aerodynamické rotory stoja. Dobre reagujú na zmeny rýchlosti vetra. Tieto zdroje sú schopné celoročne zabezpečovať osvetlenie v nočných hodinách a chod nízkospotrebových spotrebičov.

Objavuje sa trend, aby aj malospotrebiteľia boli motivovaní vyrábať si energiu pre vlastné použitie sami ako aj v spolupráci so sieťou vo funkcii akumulátora pomocou zdrojov ktorých výkon je do niekoľkých kW.

5 Zoznam použitej literatúry

- [1] HLAD, Oldřich – PAVLOUSEK, Jaroslav: Přehled astronomie. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. 427 s. ISBN 80-03-00160-9.
- [2] KOLCUN, M. a kol.: Elektrárne. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2006. 453 s. ISBN 80-8073-704-5.
- [3] WIKIPÉDIA. Slobodná encyklopédia [online]. Dostupné na internete: http://sk.wikipedia.org/wiki/Slnec%C4%8Dn%C3%A1_kon%C5%A1anta/
- [4] MATUŠEK, T. : Alternatívni zdroje energie [online] Dostupné na internete: http://www.fsid.cvut.cz/~matustom/AZE_texty.pdf
- [5] KITTLER, Richard – MIKLER, Jozef: Základy využívania slnečného žiarenia. Bratislava: VEDA, 1986. 150 s. 71-013-86
- [6] ENCYKLOPEDIA FYZIKY [online].. Dostupné na internete: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/941-stredni-slunecni-cas>
PVEDUCATION,ORG [online]. Dostupné na internete: <http://pveducation.org/pvcdrom>
- [7] Sluneční energie [online]. Dostupné na internete: http://www.fsid.cvut.cz/~matustom/P1-slunecni_energie.pdf
- [8] KLIMATICKÉ POMERY SLOVENSKEJ REPUBLIKY [online]. Dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/sk/?page=1064&highlight=Priemern%C3%A9+ro%C4%8Dn%C3%A9+sumy+glob%C3%A1lného+%C5%BEiarenia+>
- [9] ILIAŠ, Igor: Možnosti využívania slnečnej energie. Bratislava: Energy centrum, 2006. 71s. ISBN 80-969466-0-9.
- [10] LIBRA, Martin – POULEK, Vladislav: Fotovoltaická transformace energie. [online]. [cit 2012-03-31]. Dostupné na internete: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40431.pdf>
- [11] BENDA, Vitězeslav a kol.: Fotovoltaické systémy. [online]. Dostupné na internete: http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_04_1104.pdf
- [12] BAŽINKA, Radim: Solární články, panely a fotovoltaické systémy. [online]. [cit 2012-04-01]. Dostupné na internete: http://www.mpo-efekt.cz/dokument/98_8050.pdf
- [13] BOUŠEK, Jaroslav: Solární fotovoltaika. [online]. Dostupné na internete: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/VIT/images/pdf/aktuality/bousek-fotovoltaika.pdf>
- [14] LIBRA, Martin – POULEK, Vladislav: Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. [online]. [cit 2012-04-02]. Dostupné na internete: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40646.pdf>
- [15] MOLNÁROVÁ, Marianna: Využitelné zdroje energie a dekontaminácia prostredia. Bratislava: PF UK Bratislava, 2011. 107 s. ISBN 978-80-223-3111-1

- [16] HULICIUS, Eduard: Fotovoltaika. [online]. Dostupné na internete: <http://ebookbrowse.com/gdoc.php?id=57692495&url=e8e7c3b083c4cd0d0f097289c107669d>
- [17] WIKIPÉDIA. Slobodná encyklopédia [online]. Dostupné na internete: http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker
- [18] SWITCH Ontario Sustainable Energy Digest. [online]. Dostupné na internete: <http://switchkingston.ca/wiki/doku.php?id=tracker>
- [19] LUQUE, Antonio – HEGEDUS, Steven: Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. West Sussex: Wiley, 2003. 1138 s. ISBN 0-471-49196-9
- [20] LIBRA, Martin – POULEK, Vladislav: A very simple solar tracker for space and terrestrial applications. [online]. Dostupné na internete: <http://144.206.159.178/ft/957/9664/186261.pdf>
- [21] MEDVEĎ, Dušan: Možnosti zvyšovania účinnosti fotovoltaických panelov. [online]. Dostupné na internete: <http://jeen.fei.tuke.sk/index.php/jeen/article/view/199>
- [22] Kok-Keong Chong a kol.: Integration of an On-Axis General Sun-Tracking Formula in the Algorithm of an Open-Loop Sun-Tracking System. [online]. <http://www.mdpi.com/search/?q=kok&view=default&sortBy=relevance&pageCount=10&pageNo=2>
- [23] GOMEZ, D – PINA, L. – MARTINS, J.: Comparison between astronomical and light sensor feedback sun-tracking algorithms. [online]. [citované. 2012-04-07]. Dostupné na internete: <http://concentrating-pv.org/pdf/papers/V-22-Gomez.pdf>
- [24] RUBIO, F.R. a kol.: Application of new control strategy for sun tracking. [online]. Dostupné na internete: http://www.esi2.us.es/~rubio/ECM_07_Solar.pdf
- [25] SHINGLETON, J.: One-Axis Trackers – Improved Reliability, Durability, Performance, and Cost Reduction. [online]. Dostupné na internete: <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/42769.pdf>
- [26] OXER, J. – BLEMININGS, H.: Practical Arduino. New York: Apress, 2009. 423 s. ISBN 978-1-4302-2477-8
- [27] GLCD Version 3 (Beta) Jun 9 2010. [online]. Dostupné na internete: http://www.arduino.cc/playground/uploads/Code/GLCD_Documentation.pdf
- [28] BLANCO-MURIEL, M. a kol.: Computing the solar vector. [online]. Dostupné na internete: http://www.assembla.com/spaces/sun_follower/documents/d0PIA0oe0r347_eJe5avMc
- [29] REDA, I. – ANDREAS, A.: Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications. [online]. Dostupné na internete: <http://oretano.iele-ab.uclm.es/~carrion/Bibliografia/Solar%20Position%20Algorithm%20for%20Solar%20Radiation%20Applications.pdf>

Analýza elektrických a svetelnotechnických parametrov osvetľovacej sústavy

doc. Ing. Ľubomír Beňa, PhD.

Obsah

1	Analýza elektrických a svetelnotechnických parametrov osvetľovacej sústavy	35
1.1	Regulácia osvetlenia ako spôsob znižovania energetickej náročnosti osvetľovacích sústav	35
1.1.1	Úvod.....	35
1.1.2	Súčasný stav a trendy vo vývoji svetelných zdrojov a svetidiel.....	36
1.1.3	Regulácia osvetlenia	37
1.1.4	Literatúra ku kapitole 1.1	41
1.2	Posúdenie možností nasadenia regulácie osvetlenia vo vnútornom priestore	41
1.2.1	Úvod.....	41
1.2.2	Technicko-ekonomická analýza regulácie osvetlenia.....	42
1.2.3	Literatúra ku kapitole 1.2	46
1.3	Energetická náročnosť predradníkov žiarivkových svetelných zdrojov	46
1.3.1	Úvod.....	46
1.3.2	Definícia a rozdelenie predradníkov	46
1.3.3	Klasifikácia predradníkov pre žiarivkové svetelné zdroje.....	47
1.3.4	Literatúra ku kapitole 1.3	49
1.4	Meranie svetelnotechnických a elektrických parametrov lineárnej žiarivky pri použití rôznych typov predradníkov	50
1.4.1	Úvod.....	50
1.4.2	Porovnanie prevádzky lineárnej žiarivky s rôznymi zapalovacími zariadeniami	50
1.4.3	Literatúra ku kapitole 1.4.....	55
1.5	Meranie svetelného toku a účinnosti premeny elektrickej energie svetelných zdrojov.....	55
1.5.1	Úvod.....	55
1.5.2	Princíp merania svetelného toku pomocou guľového integrátora	55
1.5.3	Výsledky merania	57
1.5.4	Literatúra ku kapitole 1.5.....	62
1.6	Meranie kvality elektriny pri záťaži tvorenej svetelnými zdrojmi	63
1.6.1	Úvod.....	63
1.6.2	Výsledky meraní rušivých vplyvov odberu na elektrickú sieť	63
1.6.3	Literatúra ku kapitole 1.6.....	65

1.7	Meranie spektrálneho zloženia umelých svetelných zdrojov	66
1.7.1	Úvod.....	66
1.7.2	Výsledky merania spektrálnych charakteristík a ďalších svetelnotechnických parametrov svetelných zdrojov	67
1.7.3	Literatúra.....	69
1.8	Spektrálne zloženie slnečného žiarenia	70
1.8.1	Úvod.....	70
1.8.2	Spektrálne zloženie slnečného žiarenia	70
1.8.3	Literatúra ku kapitole 1.8.....	73

1 Analýza elektrických a svetelnotechnických parametrov osvetľovacej sústavy

Svetelné zdroje (vrátane ich príslušenstva), ktorých vlastnosti sú analyzované v tejto kapitole, tvoria časť elektrickej záťaže v lokálnom laboratóriu VUKONZE na Katedre elektroenergetiky FEI TU v Košiciach. Je tu uvedený popis meraní základných elektrických a svetelnotechnických parametrov svetelných zdrojov a analýza získaných výsledkov v základnom prevádzkovom stave ako aj pri regulácii osvetlenia. Medzi sledované parametre patria: elektrický príkon, svetelný tok, teplota chromatickosti, index farebného podania a spektrálne charakteristiky. Analyzovaná je tiež kvalita elektrickej energie pri záťaži predstavujúcej jednotlivé svetelné zdroje. Okrem toho je opísaný vplyv regulácie osvetlenia ako aj použitie jednotlivých typov predradníkov na energetickú náročnosť osvetľovacích sústav.

Merania boli realizované predovšetkým využitím prístrojového vybavenia zaobstaraného v rámci projektu, t.j.:

- sieťový analyzátor kvality elektriny BK-ELCOM typu ENA 330,
- spektorrádiometer OL 770 od firmy Optronic Laboratories, Inc.,
- svetelné zdroje:
 - o lineárna žiarivka Radium Spectralux L 36/840,
 - o halogénová žiarovka MR 16 12V 50W,
 - o lineárna žiarivka Osram L 58/840,
 - o vysokotlaká sodíková výbojka Osram NAV T 70W,
 - o metalhalogenidová výbojka Osram HCI T 100W,
 - o kompaktná žiarivka Osram DIE 18W/840.

Okrem toho boli využité ďalšie prístroje, ktoré sú súčasťou existujúcej infraštruktúry riešiteľského pracoviska: regulovateľný napäťový zdroj Elektro-Automatik EA-4000B, digitálny luxmeter PU 550, guľový integrátor, chromameter CL-200, Multimeter Fluke 179, svetelné zdroje: klasická žiarovka Osram, 40 W, halogénová žiarovka Osram 40 W, kompaktná žiarivka Osram 8 W, LED svetelný zdroj COB 5 W.

1.1 Regulácia osvetlenia ako spôsob znižovania energetickej náročnosti osvetľovacích sústav

1.1.1 Úvod

Umelé osvetlenie sa stalo neoddeliteľnou súčasťou každodenného života. Z energetickeho hľadiska sa osvetľovacie sústavy podieľajú významnou mierou na celkovej spotrebe elektrickej energie, ktorá v súčasnosti predstavuje 19 % celosvetovej spotreby. Podľa odhadov Medzinárodnej energetickej agentúry je možné v osvetlení dosiahnuť zníženie spotreby elektrickej energie až o 6 %, čo predstavuje približne 16 miliárd ton emisií CO₂ [1]. Pri návrhu a prevádzkovaní osvetľovacích sústav preto musíme vychádzať zo zásad maximálnej hospodárnosti. Pri návrhu osvetľovacích sústav je potrebné použiť svietidlá s vysokou účinnosťou, svetelné zdroje s vysokým merným výkonom a životnosťou. Správny návrh osvetlenia má v prvom rade zabezpečiť podmienky na vykonávanie požadovaných zrakových úloh a zabezpečenie zrakovej pohody, zároveň má byť realizovaný s čo najväčšou účinnosťou. Náklady na

prevádzku umožňuje vo veľkej miere znížiť zavádzanie tzv. inteligentných riadiacich prvkov.

Problematika energetických úspor osvetľovacích sústav sa stále viac rozvíja, je predmetom mnohých viac či menej úspešných riešení. Súčasný stav osvetľovacích sústav, či sa jedná o osvetlenie vnútorné alebo vonkajšie, je v mnohých prípadoch alarmujúci. Tento fakt je pozostatkom minulej éry, doby lacnej energie. Priestor na rekonštrukciu osvetlenia je všade tam, kde toto osvetlenie je v prevádzke už dlhšiu dobu a pri jeho návrhu neboli využívané súčasne dostupné poznatky a technológie. Vhodný návrh osvetľovacej sústavy prispieva k značnej úspore elektrickej energie, k predĺženiu intervalov údržby, zníženiu výpadkov osvetlenia a z toho vyplývajúcu úsporu finančných prostriedkov.

1.1.2 Súčasný stav a trendy vo vývoji svetelných zdrojov a svietidiel

Svietidlá sú elektrické zariadenia zložené zo základných prvkov osvetľovacej sústavy. Sú zložené zo svetelnočinných, konštrukčných a elektrických častí. Svetelnočinné časti slúžia k zmene rozloženia a rozptylu svetelného toku, k zábraniu oslnenia, prípadne k zmene spektrálneho rozloženia svetla. Konštrukčné časti slúžia k upevneniu svetelných zdrojov, upevneniu svetelnočinných častí, k inštalácii elektrických častí, krytiu svetelných zdrojov, svetelnočinných a elektrických častí pred vniknutím cudzích predmetov a vody a k ochrane pred zásahom elektrickým prúdom. Svetidlá musia spĺňať podmienky jednoduchšej montáže, jednoduchšej údržby, dlhej životnosti a funkčnej spoľahlivosti [5], [6], [7], [9].

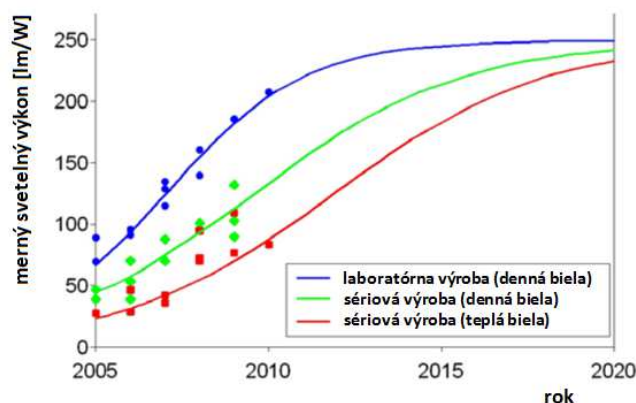
Zásadný vplyv na svetelný výkon, ale aj spotrebu osvetľovacej sústavy, majú použité svetelné zdroje. Svetelné zdroje môžeme rozdeliť na teplotné, výbojové, indukčné a svetelné diódy (LED).

Teplotné svetelné zdroje pracujú na princípe premeny elektrickej energie na svetelnú, a to nahriatím telies (u žiarovky je to wolfrámové vlákno), ktoré potom emitujú viditeľné žiarenie. Sú spravidla napájané priamo sieťovým napätím 230 V, 50 Hz, prípadne väčšina halogénových zdrojov je napájaná prostredníctvom transformátorov 230 V / 12 V, 50 Hz. Kvôli ich nízkemu mernému výkonu ich považujeme za energeticky náročné.

Výbojové svetelné zdroje (lineárne žiarivky, kompaktné žiarivky, nízko a vysokotlakové výbojky) pracujú na princípe premeny elektrickej energie na kinetickú energiu pohybujúcich sa elektrónov, pritom dochádza k zrážkam s molekulami plynnej náplne a výsledkom je emitovanie optického žiarenia [2]. V otázke napájania sú o niečo zložitejšie. Pre zapálenie výboja je potrebné zapal'ovacie zariadenie, ktoré zabezpečuje funkciu predžhavenia elektród, vytvorenie potrebného zápalného napätia a samotného zápalného impulzu. V závislosti od typu výbojového svetelného zdroja sa využívajú konkrétne zapal'ovacie zariadenia.

Pri svetelných zdrojoch je podstatným parametrom veľkosť svetelného toku vzťahnutá na jednotkový príkon, teda merný svetelný výkon η (lm/W). U obyčajných žiaroviek táto hodnota predstavuje niečo cez 15 lm/W, u halogénových žiaroviek 30 lm/W, u žiariviek 100 lm/W. V prípade vysokotlakých ortuťových výbojok je to 60 lm/W, vysokotlakových halogenidových výbojok 110 lm/W, vysokotlakových sodíkových výbojok 150 lm/W, nízkotlakových sodíkových výbojok 200 lm/W. Nové svetelné zdroje, zvlášť svetelné diódy, vďaka svojim technickým parametrom v budúcnosti majú tendenciu ovplyvniť nielen prevádzkové náklady a energetickú náročnosť ale aj ich životnosť a spoľahlivosť. Na Obr. 1 Predpokladaný vývoj merného svetelného výkonu (lm/W) svetelných diód (350mA) [3] je uvedený predpokladaný

vývoj merného svetelného výkonu svetelných diód (350 mA) pre denný a teplo biely farebný tón vyžarovaného svetla uverejnený na začiatku roka 2010 [3].



Obr. 1 Predpokladaný vývoj merného svetelného výkonu (lm/W) svetelných diód (350mA) [3]

Ukazuje sa, že ani všeobecný index podania farieb R_a nemusí mať výraznejší vplyv na merný svetelný výkon. V Tab. 1 sú uvedené teoretické maximálne a prakticky dosiahnuteľné hodnoty merných výkonov pre svetelné diódy vyžarujúce biele svetlo, vytvárané miešaním troch základných farebných zložiek (RGB).

Tab. 1 Hodnoty teoreticky maximálnych a prakticky dosiahnuteľných merných výkonov svetelných diód v závislosti na náhradnej teplote chromatickosti a všeobecnom indexe podania farieb [3].

T_c (K)	Teoretická maximálna hodnota η (lm/W)			Prakticky dosiahnuteľná hodnota η (lm/W)		
	R_a			R_a		
	70	80	90	70	80	90
2 700	433	424	416	290	284	279
4 100	408	399	390	261	267	261
6 500	366	358	349	245	240	234

Prakticky dosiahnuteľná hodnota merného výkonu, súvisiaca s účinnosťou premeny elektrickej energie na svetelnú, odpovedá 67 % jeho teoretického maxima [3]. Údaje v Tab. 1 ukazujú, že pri teplotách chromatickosti T_c vyžarovaného svetla v rozsahu od 2 700 K do 6 500 K sa hodnoty prakticky dosiahnuteľných merných výkonov nelíšia o viac než 15 %.

Pri zmenách indexu podania farieb v rozsahu od 70 do 90 sa hodnoty prakticky dosiahnuteľných merných výkonov nelíšia o viac ako 5 %. Ak sa získa biele svetlo svetelných diód transformáciou žiarenia z oblasti kratších vlnových dĺžok do oblasti dlhších vlnových dĺžok s využitím luminofóru, je predpokladaná hodnota dosiahnuteľného merného výkonu okolo 250 lm/W [3].

1.1.3 Regulácia osvetlenia

Medzi hlavné dôvody regulácie a riadenia osvetlenia patrí dosiahnutie požadovaného osvetlenia s ohľadom na vykonávanú činnosť, prispôbenie osvetlenia požiadavkám užívateľov, dosiahnutie požadovaného osvetlenia v závislosti na úrovni denného svetla a zníženie prevádzkových nákladov na osvetlenie. Výsledkom riadenia osvetlenia je zlepšenie kvality osvetlenia, spríjemnenie pobytu a práce, zníženie príkonu svietidiel a strát na napájacom vedení.

Dávnejšie boli svetelné zdroje regulované z dôvodu prispôbenia intenzity osvetlenia určitej situácii. V posledných desaťročiach však osvetľovacie zariadenia

regulujú intenzitu osvetlenia prevažne z ekonomického hľadiska. S vývojom elektronických technológií sa postupne ustupuje od klasického spôsobu ovládania osvetľovacích sústav len zmenou napájacieho napätia a pristupuje sa k riadeniu osvetlenia pomocou rôznych radiacích systémov. Tieto systémy poskytujú možnosť riadiť a ovládať osvetľovaciu sústavu z hľadiska maximálneho využitia denného svetla a prítomnosti osôb.

V súčasnosti existujú systémy, ktoré sa zaoberajú nielen riadením osvetlenia, ale tiež ovládaním všetkých technológií v budovách, ako je vykurovanie, klimatizácia, bezpečnostné systémy a požiarne signalizácia. Aj keď ekonomické a energetické úspory sú hlavným kritériom pre voľbu týchto systémov, dosahuje sa pomocou nich taktiež zvýšenie komfortu osvetľovania a prevádzkovej bezpečnosti.

Najdôležitejšie požiadavky pre riadenie umelého osvetlenia:

- komfort riadenia – spočíva v poskytnutí pohodlného ovládania danej osvetľovacej sústavy. Komfort spojený s kvalitou riadenia osvetľovacej sústavy sa dosahuje použitím rôznych senzorov a diaľkových ovládaní.
- úspora elektrickej energie – radiacie systémy dosahujú vysoké úspory pri optimálnom návrhu osvetľovacej sústavy v spojení s využitím dostupného denného svetla, s časovými spínačmi a s použitím svetelných a pohybových senzorov.
- flexibilita – prispôsobivosť radiaceho systému je dôležitou vlastnosťou radiacích prvkov zabezpečujúcich variabilitu použitia.
- presnosť a funkčnosť systému – je daná kvalitou použitých radiacích prvkov.
- ekonomické náklady – sú jedným z rozhodujúcich kritérií pri výbere radiaceho systému a súvisí s predchádzajúcimi kritériami.

Pri stmievaní sa vo všeobecnosti znižuje merný výkon svetelných zdrojov. Tento fakt je nutné zdôrazniť, pretože napríklad pri prevádzke osvetľovacej sústavy na 50 % svetelného toku nie je elektrický príkon 50 %, ale je vyšší. V Tab. 2 je uvedený orientačný rozsah možností regulácie svetelného toku vybraných svetelných zdrojov [9].

Tab. 2 Rozsah regulácie vybraných svetelných zdrojov [9]

svetelný zdroj	rozsah regulácie (%)	poznámka
klasické žiarovky	0 až 100	znižovanie T_c
halogénové žiarovky	0 až 100	
žiarivky s konvenčným predradníkom + regulačný prvok	40 až 100	
žiarivky so stmievateľným elektronickým predradníkom	1 až 100	
kompaktné žiarivky so stmievateľným elektronickým predradníkom	3 až 100	
svetelné diódy (LED)	0 až 100	
halogenidové výbojky s regulačným prvkom	50 až 100	nedefinované zmeny farby svetla – neodporúča sa stmievať
vysokotlakové sodíkové výbojky	40 až 100	

V závislosti od druhu svetelného zdroja poznáme niekoľko spôsobov ovládania a regulovania osvetľovacích sústav. Teplotné svetelné zdroje sa regulujú iným spôsobom ako výbojové svetelné zdroje.

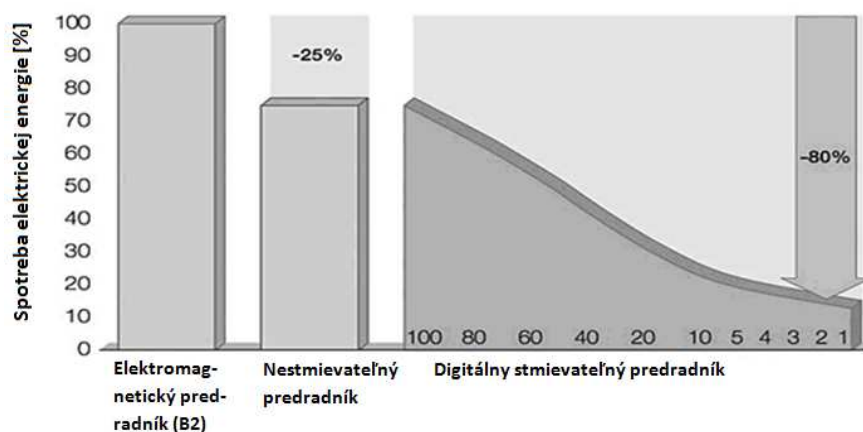
Teplotné svetelné zdroje sú napájané priamo zo sieťového napätia, prípadne prostredníctvom toroidných alebo elektronických transformátorov. Ovládajú sa konvenčnými elektroinštalačnými spínacími prístrojmi, prípadne v moderných inštaláciách pomocou spínacích relé v rozvádzači v spolupráci s vratnými tlačidlami s radením 1/0. Regulujú sa pomocou fázových regulátorov (stmievačov). V stmievačoch sa využíva jednoduchý princíp fázového riadenia jas. Efektívna hodnota prúdu dodávaného do záťaže sa mení tým spôsobom, že polovodičový ventil (triak alebo výkonový tranzistor) je otvorený iba po určitú časť každej polovlny sínusového priebehu. Tento dej sa opakuje stokrát za sekundu, takže je pre ľudské oko nepostrehnuteľný a zmena uhla otvorenia je vnímaná ako zmena jas svietidla. Existujú rotačné stmievače, kde jas zodpovedá uhlu natočenia ovládacieho prvku (potenciometra) alebo tiež krátkocestné (tlačidlové) stmievače, kde sa jas riadi elektronicky v závislosti od dĺžky stlačenia ovládacieho prvku.

V prípade požiadavky stmievania 12 V svetelných zdrojov je potrebné zvoliť regulátor vhodný aj pre stmievanie svetelných zdrojov napájaných transformátorom. V súčasnej dobe sa pre napájanie 12 V halogénových žiaroviek využíva takmer výhradne elektronický transformátor. Pri snahe stmievať takto napájané žiarovky sa v praxi vyskytli problémy s blikaním a rôznymi ďalšími poruchami funkčnosti spôsobené nekompatibilitou polovodičových súčiastok fázového regulátora a samotného elektronického transformátora. Túto situáciu v súčasnej dobe riešia stmievateľné elektronické transformátory.

U výbojových svetelných zdrojov je regulácia svetelného toku náročnejšia. Žiarivky napojené na elektronické predradníky je možné regulovať:

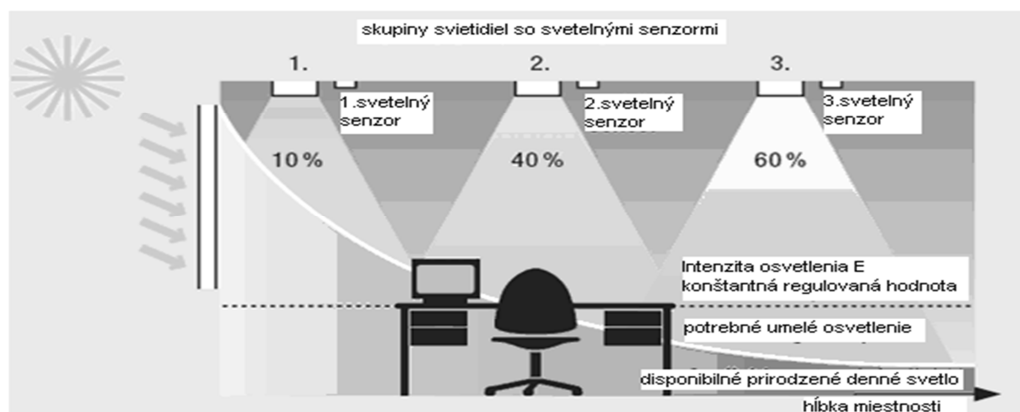
- stupňovite – vhodným zapojením (k tomu je potrebný vhodný napájací transformátor),
- plynule v danom rozsahu – použitím vhodného moderného analógovo stmievateľného predradníka,
- kontinuálne plynulo – použitím moderného digitálneho predradníka.

Ako je znázornené na Obr. 2, použitím vhodného regulovania svetelného toku je možné u výbojových svetelných zdrojov dosahovať značné úspory v spotrebe energie [4], [5].



Obr. 2 Dosahované úspory použitím elektronických predradníkov [4]

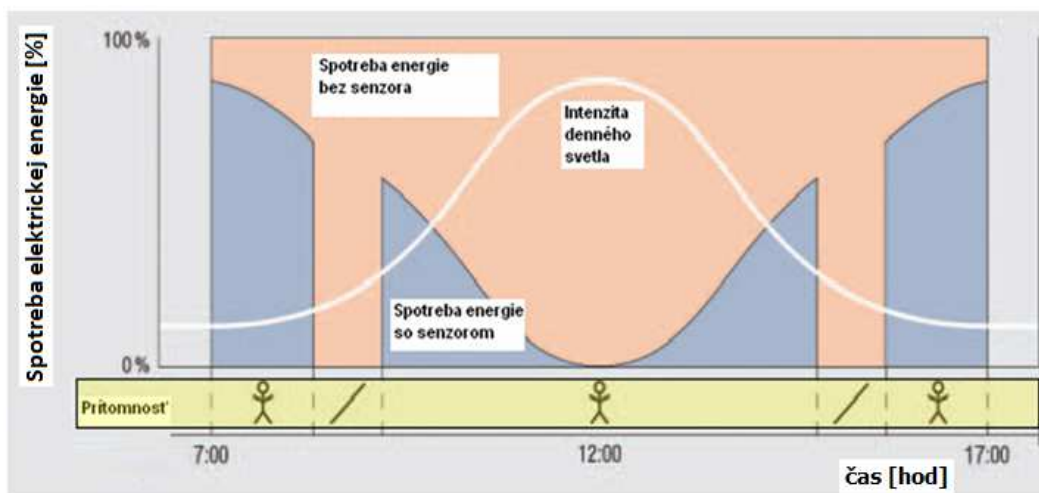
Vďaka moderným prístrojom v oblasti riadenia a regulácie osvetlenia je v súčasnej dobe možné umelé osvetlenie regulovať v závislosti od požadovanej hladiny osvetlenia (Obr. 3).



Obr. 3 Zónová regulácia osvetlenia v závislosti na dennom osvetlení [5]

Nastavenú hladinu osvetlenia môžeme dosiahnuť ako umelým, tak aj denným osvetlením. To nám umožňuje skrátiť prevádzkový čas využitia umelého osvetlenia počas dňa a tiež znížiť svetelný výkon a v závislosti od toho aj odoberaný výkon. Na zníženie svetelného toku je možné použiť skokovú alebo plynulú reguláciu v závislosti od náročnosti použitej osvetľovacej sústavy.

Už spomenuté moderné senzory v oblasti svetelnej techniky nám okrem možnosti sledovania nastavenej hladiny osvetlenosti umožňujú aj spínanie sústavy v závislosti od pohybu a prítomnosti osôb v osvetľovanom priestore (Obr. 4).



Obr. 4 Porovnanie spotreby energie neregulovanej a regulovanej osvetľovacej sústavy [5]

Vysokotlakové výbojky (majú uplatnenie hlavne vo verejnom osvetlení) vo všeobecnosti je možné stmievať reguláciou napájacieho napätia (napr. prostredníctvom ERVO rozvádzačov) alebo modernými regulovateľnými predradníkmi (napr. predradník ECOLUM – so stupňovitou reguláciou svetelného toku) [10], [11], [12].

Osvetľovacie sústavy plnia svoju hlavnú funkciu iba určitý čas počas dňa. Po skončení tejto doby je vhodné sústavu vypnúť prípadne prepnúť do iného režimu, scény. To sa dá dosiahnuť manuálnym ovládaním alebo použitím časových ovládacích prvkov. Tie môžu ovládať sústavu jednoduchým zapínaním a vypínaním, alebo môžu byť integrované do riadiaceho systému, ktorý potom môže ovládať prednastavené svetelné scény [5], [8].

1.1.4 Literatúra ku kapitole 1.1

- [1] Krivošík, J.: O mezinárodní konferenci EEBW 2008. Časopis Světlo, 01/2009. ISSN 1212-0812
- [2] Plch, Jiří: Světelná technika v praxi. Praha: IN-EL s.r.o., 1999. 207 s. ISBN 80-86230-09-0
- [3] Habel, J., Žák, P.: Budoucnost veřejného osvětlení. In: IIIrd Conference of the Visegrad Countries on Lighting. LUMEN V4. Czech Republic, Brno, 23 – 25 June 2010, 288 p.
- [4] Digitally dimmable ballasts for fluorescent lamps. IN. CATALOGUE 2008/2009. TRIDONIC.ATCO, s.67
- [5] Árvay, P.: Regulácia osvetlenia vnútorných priestorov. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2010, 73 s.
- [6] Novotný, J.: Světelné charakteristiky svítidel. Časopis Světlo, 04/2007. ISSN 1212-0812
- [7] Mácha, M.: Inteligentné systémy pre osvetlenie a návrh svietidiel. Časopis Světlo, 05/2009. ISSN 1212-0812
- [8] Dolejš, O.: Ovládání a řízení osvětlení firmy WAGO. Časopis Světlo, 05/2007. ISSN 1212-0812
- [9] Sokanský, K. a kolektiv: Dominantní vlivy ovlivňující spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav. Ostrava 2007
- [10] Janočko, Š.: Energetické úspory pri regulácii osvetlenia. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2009, 109 s.
- [11] VEREJNÉ OSVETLENIE – Predradník ECOLUM. Dostupné na internete: <http://www.dnacap.sk/verejne_osvetlenie.html>.
- [12] Regulátor osvetľovacích sústav ERVO. Dostupné na internete: <http://www.intra-co.eu/regulacia/pdf_dokumenty/ervo_sk.pdf>.

1.2 Posúdenie možností nasadenia regulácie osvetlenia vo vnútornom priestore

1.2.1 Úvod

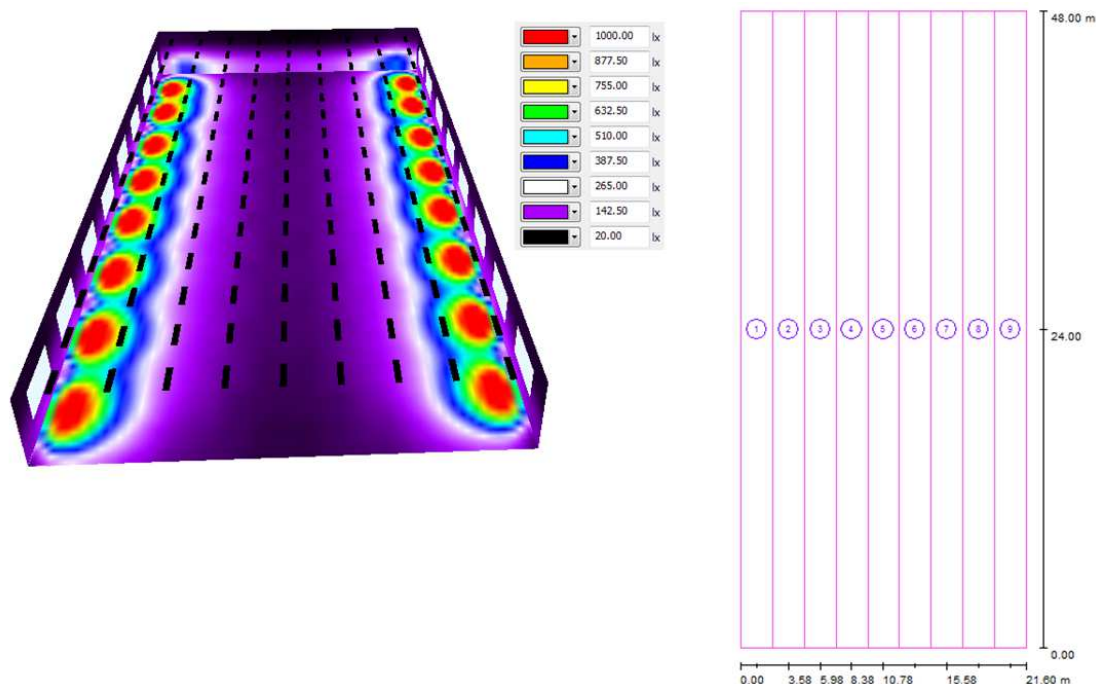
Nasledovná podkapitola sa zaoberá možnosťami zníženia energetickej náročnosti osvetlenia vnútorného priestoru. Výsledky analýzy znižovania spotreby elektrickej energie sú založené na základe merania súčasného stavu osvetlenia, posúdenia možnosti nasadenia regulácie umelého osvetlenia v závislosti na intenzite denného svetla a tiež použitia nových svietidiel.

Pracovná činnosť vykonávaná v posudzovanom priestore vyžaduje zabezpečenie strednej udržiavanej osvetlenosti na úrovni 750 lx. Rozmery miestnosti sú nasledovné: šírka: 48,0 m; dĺžka: 21,6 m; výška: 3,6 m, výška pracovnej roviny: 0,8 m. Umelé osvetlenie je zabezpečené 15x9=135 ks rovnomerne rozmiestnenými svietidlami so svetelnými zdrojmi 2 x TL-D 58 W. Príkon svietidla je 111 W. Celkový príkon osvetľovacej sústavy je teda 14,99 kW. Meraním bolo zistené, že na väčšine pracovných miest bola táto hodnota dodržaná, avšak na spodnej hranici, t.j. 750 lx. Z uvedeného vyplýva, že svetelnotechnické parametre osvetľovacej sústavy sú v súčasnosti na hranici predpísaných hodnôt, ďalším používaním osvetlenia vplyvom poklesu svetelného toku žiaroviek intenzita osvetlenia klesne pod predpísanú hodnotu. Vzhľadom na to, že čisto denné osvetlenie nezabezpečí požadovanú hodnotu intenzity osvetlenia vo všetkých pracovných miestach, je počas dňa v prevádzke aj umelé osvetlenie. Keďže umelé

osvetlenie je prevádzkované počas celého dňa na plnej intenzite, v súčinnosti s denným svetlom hodnoty intenzity osvetlenia na pracovných rovinách presahujú normatívne požiadavky. To vytvára priestor pre využitie stmievania umelého osvetlenia, čím sa dosiahne zníženie jeho energetickej náročnosti.

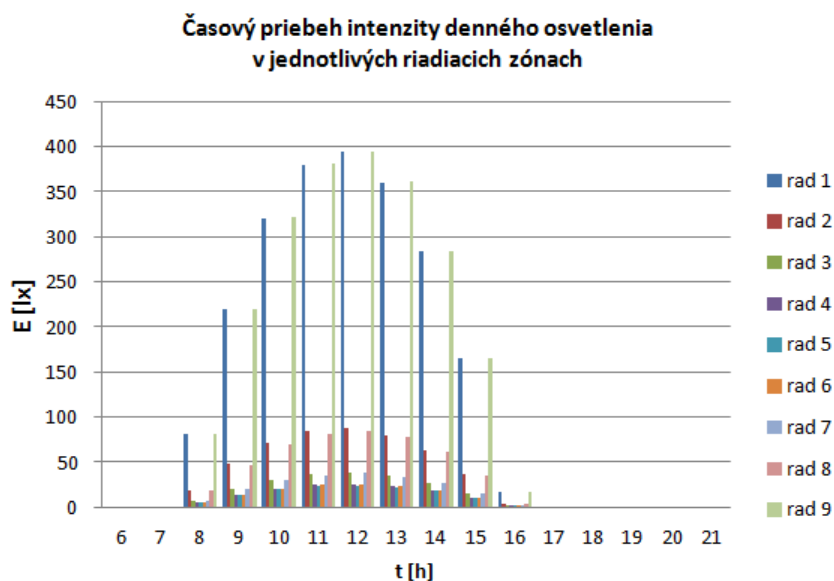
1.2.2 Technicko-ekonomická analýza regulácie osvetlenia

Vzhľadom na rovnomerné rozmiestnenie okenných otvorov (po šírke miestnosti), reguláciu umelého osvetlenia je vhodné realizovať po skupinách, t.j. jednotlivých radoch svietidiel. To znamená, v našom prípade to bude 9 radiacích skupín svietidiel. Na Obr. 5 je uvedená vizualizácia denného osvetlenia miestnosti pre 15. jún o 12.00 pri rovnomerne zatiahnutej oblohe s vyznačením radiacích zón.

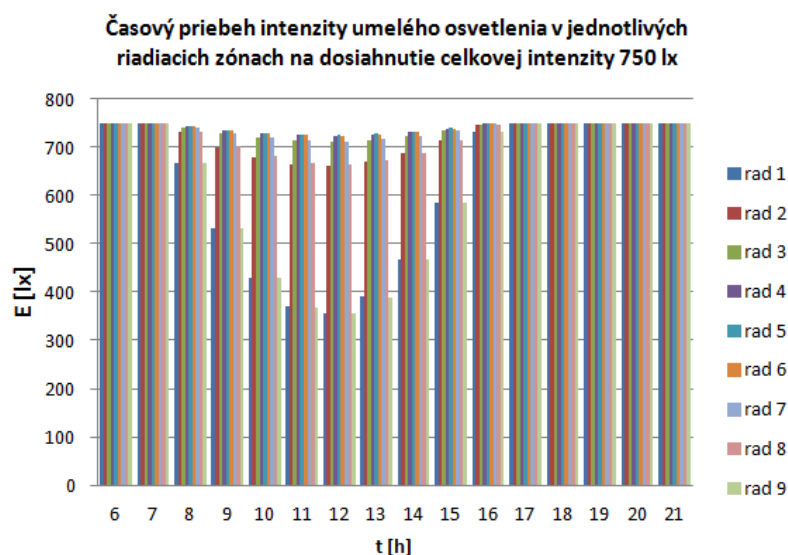


Obr. 5 Vizualizácia denného osvetlenia miestnosti

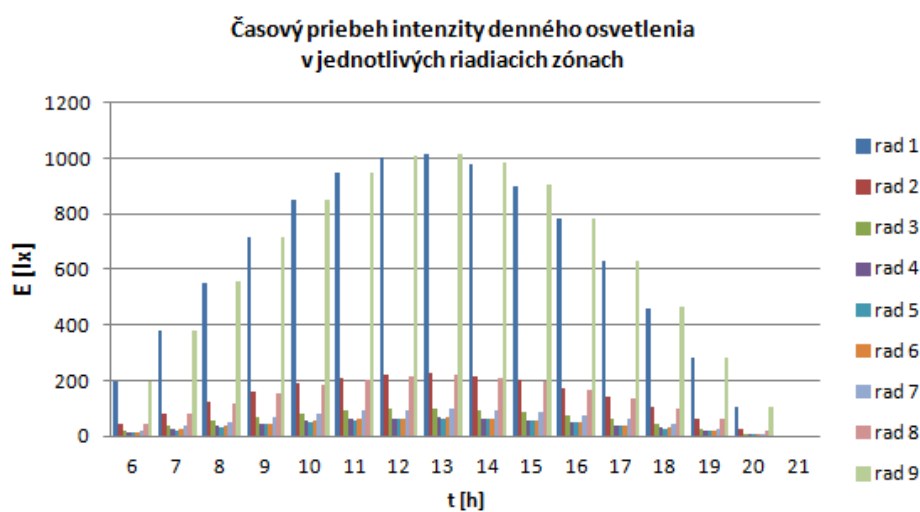
Grafické závislosti na Obr. 6 až Obr. 9 znázorňujú priebehy intenzity denného osvetlenia v jednotlivých radiacích zónach miestnosti v závislosti na čase pre vybrané mesiace v roku (v 15. dni mesiaca) a priebehy intenzity umelého osvetlenia v miestnosti v závislosti na čase pre dané mesiace (v 15. dni mesiaca) tak, aby bola dosiahnutá celková intenzita od denného a umelého osvetlenia 750 lx.



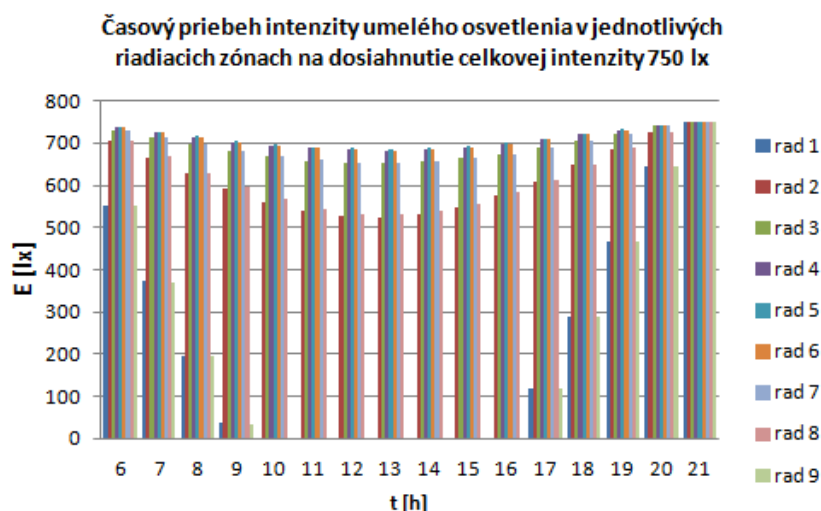
Obr. 6 Časový priebeh intenzity denného osvetlenia pre január



Obr. 7 Časový priebeh intenzity umelého osvetlenia pre január



Obr. 8 Časový priebeh intenzity denného osvetlenia pre júl



Obr. 9 Časový priebeh intenzity umelého osvetlenia pre júl

Ďalej sa predpokladá, že intenzita osvetlenia 750 lx bude dosiahnutá pri plnom príkone svetidla na konci životnosti svetelných zdrojov, čo zodpovedá súčasnému stavu. Znižovaním svetelného toku svetidla (priamo úmerne k intenzite) sa tiež zníži príkon svetidla. V Tab. 3 je vyčíslená spotreba elektrickej energie umelého osvetlenia bez regulácie osvetlenia a po zavedení regulácie v závislosti od intenzity denného svetla a dosiahnuté úspory energie po zavedení regulácie. Uvažovaný prevádzkový čas je od 6:00 do 22:00 hod.

V ďalších analýzach sa bude uvažovať taktiež s výmenou svetelných zdrojov za použitia regulácie na konštantnú osvetlenosť podľa Obr. 10, kde je uvedená závislosť udržiavacieho činiteľa a príkonu na dosiahnutie konštantnej osvetlenosti v závislosti od času používania osvetľovacej sústavy.

Predpoklady výpočtov s uvažovaním závislostí na Obr. 10 sú nasledovné:

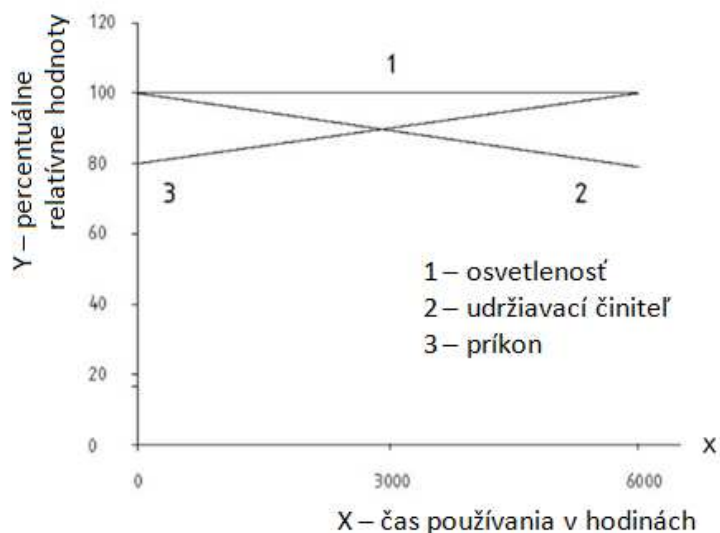
- výmena svetelných zdrojov každých 5 rokov,
- starnutie svetelného zdroja a pokles svetelného toku na konci životnosti na hodnotu 0,92.

Vysvetlenie k Tab. 4 a Tab. 5:

- spotreba bez regulácie S1 (kWh) – mesačná spotreba elektrickej energie pri súčasnom stave,
- spotreba s reguláciou S2 (kWh) – odhadovaná mesačná spotreba elektrickej energie pri využití regulačného systému,
- spotreba s reguláciou s uvažovaním starnutia svetelných zdrojov S3 (kWh) - odhadovaná mesačná spotreba elektrickej energie pri využití regulačného systému a uvažovaním činiteľa starnutia svetelných zdrojov 0,92 (t.j. nárast spotreby z pôvodných 92 % na 100 % v období 5 rokov), t.j. na osvetlenie by sa použili jestvujúce svetidlá,
- dosiahnuté úspory reguláciou U1 (kWh) – odhadovaná mesačná úspora energie s uvažovaním regulácie a starnutia svetelných zdrojov,
- úspory dosiahnuté reguláciou U2 (%) – podiel dosiahnutých úspor dosiahnutých reguláciou voči stavu bez regulácie.

Tab. 3 Spotreba elektrickej energie osvetlenia a úspory dosiahnuté reguláciou

mesiac	spotreba bez regulácie (kWh)	spotreba s reguláciou (kWh)	úspory reguláciou (kWh)	úspory reguláciou (%)
január	5035,0	4848,6	186,3	3,7
február	5035,0	4722,5	312,4	6,2
marec	5274,7	4727,7	547,0	10,4
apríl	4555,4	3891,3	664,1	14,6
máj	5035,0	4170,8	864,1	17,2
jún	5035,0	4109,3	925,7	18,4
júl	5035,0	4132,7	902,2	17,9
august	5274,7	4440,2	834,6	15,8
september	4795,2	4198,2	597,0	12,4
október	5514,5	5083,3	431,2	7,8
november	5035,0	4808,5	226,4	4,5
december	4315,7	4178,0	137,7	3,2
celkovo za rok	59940,0	53311,2	6628,8	11,1

**Obr. 10 Časový priebeh osvetlenosti priestoru, udržiavacieho činiteľa a príkonu svietidla [1]****Tab. 4 Spotreba elektrickej energie osvetlenia a úspory dosiahnuté reguláciou pre prvý rok prevádzky osvetlenia**

mesiac	S1 (kWh)	S2 (kWh)	S3 (kWh)	U1 (kWh)	U2 (%)
január	5035	4848,6	4467,2	567,8	11,28
február	5035	4722,5	4357,3	677,7	13,46
marec	5274,7	4727,7	4368,4	906,3	17,18
apríl	4555,4	3891,3	3600,7	954,7	20,96
máj	5035	4170,8	3864,9	1170,1	23,24
jún	5035	4109,3	3813,4	1221,6	24,26
júl	5035	4132,7	3840,7	1194,3	23,72
august	5274,7	4440,2	4132,3	1142,4	21,66
september	4795,2	4198,2	3912,7	882,5	18,40
október	5514,5	5083,3	4744,4	770,1	13,96
november	5035	4808,5	4494,3	540,7	10,74
december	4315,7	4178	3910,6	405,1	9,39
celkovo za rok	59940,2	53311,2	49506,9	10433,1	17,35

Uvedeným spôsobom je možné vypočítať spotrebu elektrickej energie aj pre ďalšie obdobia. V Tab. 5 je to prepočítané pre piaty rok.

Tab. 5 Spotreba elektrickej energie osvetlenia a úspory dosiahnuté reguláciou pre piaty rok prevádzky osvetlenia

mesiac	S1 (kWh)	S2 (kWh)	S3 (kWh)	U1 (kWh)	U2 (%)
január	5035	4848,6	4777,5	257,5	5,11
február	5035	4722,5	4659,5	375,5	7,46
marec	5274,7	4727,7	4671,0	603,7	11,45
apríl	4555,4	3891,3	3849,8	705,6	15,49
máj	5035	4170,8	4131,9	903,1	17,94
jún	5035	4109,3	4076,4	958,6	19,04
júl	5035	4132,7	4105,1	929,9	18,47
august	5274,7	4440,2	4416,5	858,2	16,27
september	4795,2	4198,2	4181,4	613,8	12,80
október	5514,5	5083,3	5069,7	444,8	8,07
november	5035	4808,5	4802,1	232,9	4,63
december	4315,7	4178	4178,0	137,7	3,19
celkovo za rok	59940,2	53311,2	52918,9	7021,2	11,66

Z uvedených výsledkov je možné vypočítať, že úspora elektrickej energie za obdobie 5 rokov vplyvom regulácie intenzity osvetlenia (taktiež pri výmene svetelných zdrojov) pri cene 0,12 € / kWh by bola 7 596 €.

1.2.3 Literatúra ku kapitole 1.2

- [1] STN EN 15193:2008: Energetická hospodárnosť budov, Energetické požiadavky na osvetlenie
- [2] STN EN 12464-1:2012: Svetlo a osvetlenie, Osvetlenie pracovísk, Časť 1: Vnútorne pracoviská

1.3 Energetická náročnosť predradníkov žiarivkových svetelných zdrojov

1.3.1 Úvod

Žiarivkové osvetlenie sa v súčasnosti používa prakticky v celej výrobnej a komunálnej sfére a vo veľkej miere aj v domácnostiach. Znížiť systémový príkon žiarivkového osvetlenia na minimum a v konečnom dôsledku dosiahnuť úspory elektrickej energie je cieľom smernice EÚ č. 2000/55/EC o požiadavkách na energetickú účinnosť predradníkov pre žiarivky.

1.3.2 Definícia a rozdelenie predradníkov

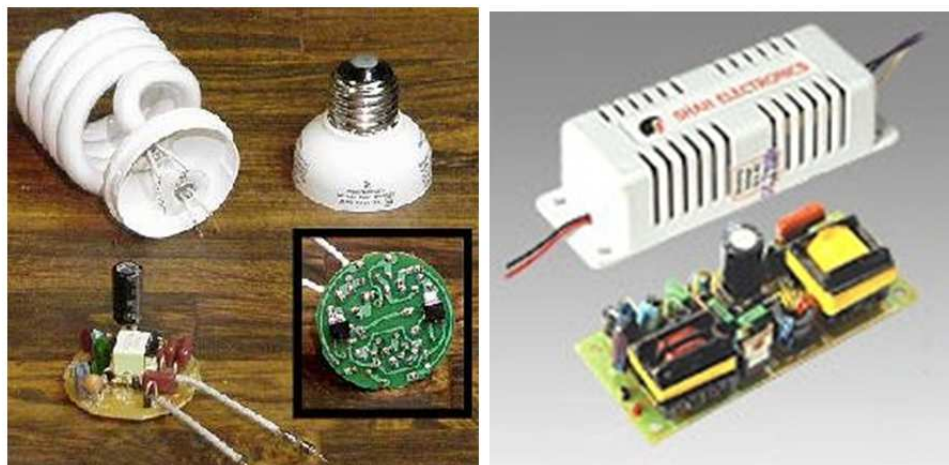
Predradníkom sa na účely posudzovania energetickej účinnosti rozumie zariadenie zaradené medzi napájaciu sústavu a jeden, resp. viac výbojkových zdrojov, ktoré indukčnosťou, kapacitou alebo ich kombináciou okrem iného zabezpečuje obmedzenie prúdu výbojového zdroja na požadovanú hodnotu. Predradník sa môže skladať z jednej alebo viacerých oddelených častí, môže obsahovať aj prostriedky na transformáciu napätia a príslušenstvo, ktoré pomáha získať zapalovacie napätie a predhrievací prúd, znižujú stroboskopický efekt, upravujú účinník alebo potláčajú rádiové rušenie.

Druhy predradníkov podľa ich umiestnenia rozlišujeme nasledovne:

- samostatný predradník - predradník, ktorý sa môže namontovať oddelene od svietidla bez prídavného krytu. Môže sa skladať zo vstavaného predradníka vo

vhodnom kryte, ktorý zabezpečuje potrebnú ochranu podľa príslušného označenia.

- vstavaný predradník - predradník určený iba k zabudovaniu do svietidla, krytu apod.
- integrovaný predradník - predradník, ktorý tvorí nedeliteľnú časť svetelného zdroja [1].



Obr. 11 Elektronické predradníky. a) Integrovaný predradník v kompaktnej žiarivke [5], b) samostatný predradník s otvoreným krytom [6]

Výhody elektronického predradníka:

- okamžitý štart bez blikania,
- stabilný výboj,
- úplné potlačenie stroboskopického javu (30 - 40 kHz),
- zvýšenie merného výkonu (rádovo o 10 %),
- časté spínanie neskracuje životnosť svetelného zdroja,
- menšie rozmery, menšia hmotnosť,
- možnosť stmievania (špeciálny predradník),
- menšie energetické straty, malá vlastná spotreba.

Elektronické predradníky tiež predhrievajú vlákna elektród, čím umožňujú ľahšiu emisiu nosičov nábojov. Takáto prevádzka je šetrnejšia a predlžuje životnosť žiarivky. Dnes sú pre nové typy žiarievok T5 (s priemerom trubice 16 mm) k dispozícii inteligentné elektronické predradníky, ktoré dokážu automaticky rozpoznať typ pripojenej žiarivky a nastaviť pre ňu optimálne parametre.

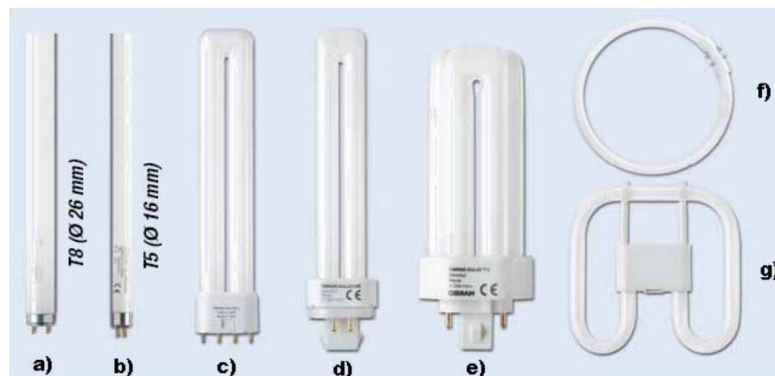
1.3.3 Klasifikácia predradníkov pre žiarivkové svetelné zdroje

Pre výpočet najväčšieho príkonu obvodu predradníka svetelného zdroja pre konkrétny typ predradníka musí byť predradník najskôr zatriedený podľa Tab. 6 [2], [3].

Tab. 6 Kategórie predradníkov pre žiarivkové svetelné zdroje [2]

Kategória predradníka	Svetelný zdroj, pre ktorý je predradník určený
1	lineárna žiarivka, kruhová žiarivka
2	kompaktná žiarivka 2-trubicová
3	kompaktná žiarivka 4-trubicová, plochá
4	kompaktná žiarivka 4-trubicová
5	kompaktná žiarivka 6-trubicová
6	kompaktná žiarivka DD

Prehľad druhov žiaroviek je na Obr. 12 [1].



Obr. 12 Základné druhy žiaroviek, a) lineárna žiarivka T8 (kategória 1), b) lineárna žiarivka T5, c) kompaktná žiarivka dvojtrubicová (kategória 2), d) kompaktná žiarivka štvortrubicová (kategória 4), e) kompaktná žiarivka šesťtrubicová (kategória 5), f) kompaktná žiarivka kruhová, g) kompaktná žiarivka DD (kategória 6) [1]

Okrem klasifikačnej schémy sa určuje kategória predradníka na základe druhu svetelného zdroja (žiarivky) a k vyjadreniu stupňa energetickej účinnosti predradníka sa používa aj označenie (resp. kategorizácia) predradníkov na základe indexu energetickej účinnosti EEI (angl. Energy Efficiency Index). Systém klasifikácie predradníkov na základe indexu energetickej účinnosti má 7 tried uvedených v Tab. 7. [8]

Tab. 7 Príklad indexu energetickej účinnosti predradníkov pre 36 W lineárne žiarivky [8]

EEI	Popis	Príkon obvodu predradníka svetelného zdroja (W)
A1	Stmievateľný elektronický predradník (pri 100 % - 25 %)	≤ 19
A2	Nízkostratový elektronický predradník	≤ 36
A3	Elektronický predradník	≤ 38
B1	Nízkostratový klasický predradník s veľmi nízkymi stratami	≤ 41
B2	Nízkostratový klasický predradník	≤ 43
C	Klasický predradník so stredne vysokými stratami	≤ 45
D	Klasický predradník s veľmi vysokými stratami	> 45

Na Obr. 13 je uvedený príklad označenia indexu energetickej triedy EEI na predradníkoch. Na rozdiel od značky zhody CE, označenie energetickej triedy EEI nie je povinné, avšak prakticky všetci významnejší výrobcovia predradníkov tento systém uznávajú a predradníky označujú.



Obr. 13 Základné druhy predradníkov pre žiarivky s označením indexu energetickej triedy EEI, a) klasický predradník (EEI: B až D) [7], b) elektronický predradník (EEI: A1 až A3) [4]

Nízkostratové klasické predradníky energetických tried B1 a B2 majú v porovnaní s klasickými predradníkmi tried C a D hrubšie medené vodiče (vodiče s väčším

prierezom) a železné jadro s menším rozptylom. Toto konštrukčné zdokonalenie umožnilo znížiť vnútorné straty, a tak zvýšiť účinnosť predradníka.

Elektronické predradníky energetických tried A1, A2 a A3 predstavujú značný potenciál úspor energie, príkon obvodu predradníka svetelného zdroja pri 50 Hz môže byť dokonca menší ako menovitý príkon svetelného zdroja. To sa dosahuje vďaka vyššej účinnosti žiaroviek pri vysokej frekvencii (> 20 kHz), príkon žiaroviek klesne približne o 10 % a súčasne sa znížia aj straty v predradníku.

Stmievateľné elektronické predradníky sa klasifikujú do triedy EEI = A1 v prípade, že splňujú tieto podmienky:

- pri 100 % svetelného toku predradník splní aspoň požiadavky na energetickú triedu A3,
- pri 25 % svetelného toku sa celkový príkon rovná alebo je menší ako 50 % príkonu pri plnom svetelnom toku 100 %,
- predradník musí byť schopný znížiť svetelný tok na úroveň 10 % alebo menej maximálneho svetelného toku.

Index energetickej triedy EEI sa vzťahuje len na elektrický príkon obvodu predradníka a svetelného zdroja (meraný pri 25 °C), nevzťahuje sa na celé svietidlo, ktoré môže byť vybavené aj ďalšími elektrickými súčiastkami. EEI taktiež nie je možné zamieňať s účinnosťou svietidla, pri ktorej sa zohľadňujú aj optické vlastnosti (krivky svietivosti, jasy, clonenie) v závislosti od cieľa použitia.

Je potrebné upozorniť na skutočnosť, že klasické predradníky sú obvykle určené samostatne pre každý svetelný zdroj. Vynímkou sú len žiarivky s príkonom 18 W, ktoré sa v dvojici dajú prevádzkovať s jedným predradníkom pre žiarivku 36 W. Na rozdiel od uvedeného, podobné technické obmedzenia sa na elektronické predradníky nevzťahujú, čo vyplýva z ich princípu a konštrukcie. Existujú predradníky pre jeden, dva a viac svetelných zdrojov, pričom tieto predradníky majú pre každý svetelný zdroj samostatné svorky.

1.3.4 Literatúra ku kapitole 1.3

- [1] Sokanský, K., Novák, T., Gašparovský, D., Šnobl, J., Diviš, D.: Úspory energie v osvetľovanií při hodnocení energetické náročnosti budov. VŠB TU Ostrava 2009.
- [2] Smernica Európskeho Parlamentu a Rady 2000/55/ES z 18. septembra 2000 o požiadavkách na energetickú účinnosť predradníkov pre žiarivkové osvetlenie. Dostupné na internete: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:12:02:32000L0055:SK:PDF>
- [3] Energy efficiency: energy efficiency requirements for ballasts for fluorescent lighting. Dostupné na internete: http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/127032_en.htm
- [4] Elektronický predradník triedy A2. Dostupné na internete: http://www.elbea.sk/pictures/prilohy/1358_BL-EVG.pdf
- [5] Dimmable Energy Saving Lightbulbs. Dostupné na internete: <http://www.reuk.co.uk/Dimmable-Energy-Saving-Lightbulbs.htm>
- [6] Electronic Ballast. Dostupné na internete: http://www.maharashtradiirectory.com/catalogue/Electronic_Ballast.htm
- [7] B2 T8 ballast. Dostupné na internete: http://www.ecplaza.net/product/197555_1646365/b2_t8_ballast.html

- [8] Guide for the application of Directive 2000/55/EC on energy efficiency requirements for ballasts for fluorescent lighting
http://www.celma.org/archives/temp/CELMA_Ballast_Guide.pdf

1.4 Meranie svetelnotechnických a elektrických parametrov lineárnej žiarivky pri použití rôznych typov predradníkov

1.4.1 Úvod

Svetelné zdroje v interiéroch, okrem teplotných, potrebujú pre svoju činnosť predradné prístroje. U výbojových svetelných zdrojov (napr. lineárne a kompaktné žiarivky) je predradník nevyhnutnou súčasťou. Počas dlhej doby existencie výbojových zdrojov sa najčastejšie používali indukčné predradníky, aj keď ich rozmery, hmotnosť a veľkosť energetických strát pri napájaní zo siete s frekvenciou 50 Hz prinášali množstvo problémov. S rozvojom elektroniky sa objavili vhodné meniče frekvencie, ktoré sa stali základom elektronických predradníkov pracujúcich s vysokou frekvenciou. V nasledovných podkapitolách je uvedený postup a výsledky meraní prevádzkových parametrov žiarivkového osvetlenia použitím rôznych typov predradníkov.

1.4.2 Porovnanie prevádzky lineárnej žiarivky s rôznymi zapalovacími zariadeniami

Pre porovnanie jednotlivých spôsobov prevádzky lineárnych žiariviek boli vykonané merania štandardnej MASTER TL-D 18W / 840 trojpásmovej lineárnej žiarivky (ďalej len 18W trubica) v zapojení s:

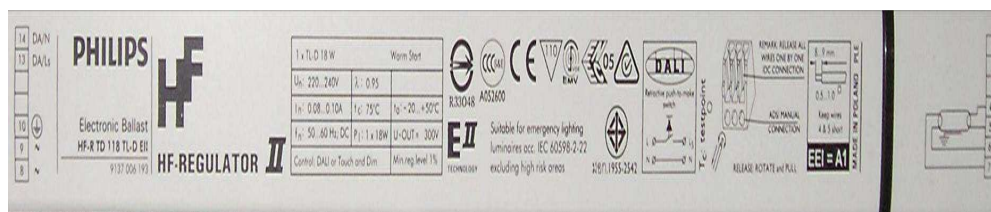
- s elektromagnetickým predradníkom bez kompenzácie (použitá tlmivka značky PHILIPS – BTA 118 kategórie EEI=C) – Obr. 14,
- s elektronickým predradníkom bez stmievania (použitý predradník značky ELT – BE 136-2 kategórie EEI=A3) – Obr. 15,
- s digitálnym stmievateľným DALI predradníkom (použitý predradník značky PHILIPS – HF-R TD 118 kategórie EEI=A1) – Obr. 16.



Obr. 14 Tlmivka PHILIPS – BTA 118 kategórie EEI=C



Obr. 15 Predradník ELT – BE 136-2 kategórie EEI=A3



Obr. 16 Predradník PHILIPS – HF-R TD 118 kategórie EEI=A1

Elektrické vlastnosti jednotlivých elektrických obvodov boli merané pomocou meracieho prístroja 434 FLUKE – POWER QUALITY ANALYZER (v.č. DM9060002). Boli merané nasledovné parametre:

- okamžité napätie U [V],
- okamžitý príkon P [W],
- okamžitý zdanlivý výkon S [VA],
- okamžitý jalový výkon Q [VAr],
- power factor,
- $\cos \varphi$,
- charakter záťaže.

Každé zo zapojení trubice boli vždy samostatne pripojené na meracie okruhy analyzátoru kvality elektrickej energie. Na prístroji bolo nastavené meranie jednofázového uzemneného obvodu. Na primárnej strane predradníkov boli pripevnené prúdové a napäťové okruhy a kontakty meracieho prístroja. Samotný predradník bol potom uvedený do prevádzky na sieťovom napätí 230V 50Hz. Pri elektromagnetickom obvode s tlmičkou BTA 118 bol zopnutý obvod a po ustálení (cca 5 min.) boli odmerané spomínané parametre. Rovnako sa postupovalo aj pri elektronickom predradníku BE 136-2. Tieto zariadenia majú len dva režimy prevádzky – zapnutý (100 %) / vypnutý (0 %). Naproti tomu predradník HF-R TD 118 je digitálny DALI plynulo regulovateľný predradník. V spolupráci s ovládaním cez pripojený počítač bol tento predradník uvedený do prevádzky na plnú 100 % intenzitu. Postupne sa potom intenzita znižovala stále o 10 % nižšie až po hodnotu 10 %. Následne sa zmenšil krok znižovania na 2 % a týmto krokom sa pri meraní intenzita postupne znižovala až do stavu 0 %. Namerané a vypočítané výsledky sú uvedené v Tab. 8 a porovnané s Tab. 9.

Tab. 8 Namerané a prepočítané hodnoty pre porovnanie prevádzky 18W trubice s rôznymi predradníkmi

Meracie prístroje: 434 FLUKE (v.č.DM9060002) POWER QUALITY ANALYZER EXTECH EasyViewTM 33 (v.č.060901984) LIGHT METER		BTA118 tlmička typu "C"		BE elektronický predradník typu "A3"		HFR stmievateľný predradník typu "A1"															
Regulačný stupeň		0%	100%	0%	100%	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	8%	6%	4%	2%	1%	0%
intenzita svetla	E (lx)	0,0	1315,0	0,0	1527,0	1223,0	1191,0	1059,0	911,0	771,0	644,5	504,0	386,7	263,3	126,0	92,2	63,1	35,4	20,3	12,4	0,0
prepočítaný relatívny svetelný tok	Φ_{rel} (%)	0%	108%	0%	125%	100%	97%	87%	74%	63%	53%	41%	32%	22%	10%	8%	5%	3%	2%	1%	0%
namerané napätie	U (V)	223,6	223,6	223,8	223,8	223,4	223,8	223,5	223,8	223,6	223,7	223,5	223,4	222,2	221,8	222,0	223,2	223,5	223,7	223,4	223,8
nameraný príkon	P_i (W)	0,0	28,4	0,0	16,9	14,9	14,6	12,9	11,2	9,7	8,5	7,3	6,1	4,9	3,5	3,2	3,2	3,1	3,0	3,2	0,4
prepočítaný relatívny príkon	P_{rel} (%)	0%	191%	0%	113%	100%	98%	87%	75%	65%	57%	49%	41%	33%	24%	22%	21%	21%	20%	22%	3%
nameraný výkon	S (VA)	0,0	73,3	0,0	20,1	16,8	16,6	15,0	13,3	11,9	10,8	9,7	8,6	7,4	6,3	6,0	6,0	6,0	6,0	6,1	3,0
nameraný jal.výkon	Q (Var)	0,0	67,6	0,0	10,9	8,1	8,1	7,7	7,3	6,9	6,7	6,4	6,0	5,6	5,2	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2	3,0
vypočítaný prúd	I (A)	0,00	0,33	0,00	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01
charakter záťaže	(R,L,C)	L	L	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
power factor	PF		0,39		0,81	0,87	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77	0,73									
účinník	$\cos \varphi$		0,39		0,84	0,88	0,88	0,86	0,84	0,81	0,79	0,75	0,71	0,66	0,56	0,54	0,52	0,51	0,51	0,53	0,14

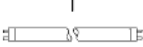
Prepočítaný relatívny príkon

$$P_{\text{rel}} = \frac{P_i}{P_{\text{HF-R}}} \cdot 100 \text{ [%; W, W]}$$

P_i - nameraný príkon

$P_{\text{HF-R}}$ - príkon pri regulačnom stupni 100 % predradníka PHILIPS – HF-R TD 118

Tab. 9 EEI klasifikácia predradníkov podľa EU smernice 2000/55/EC [2]

Typ svetelného zdroja	Popis svetelného zdroja	Príkon svetelného zdroja		triedy EEI						
		50 Hz	vysoko-frekvenčný	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
	FD-15-E-G13-26/450	15W	13.5W	9W	16W	18W	21W	23W	25W	> 25W
	FD-18-E-G13-26/600	18W	16W	10,5W	19W	21W	24W	26W	28W	> 28W
	FD-30-E-G13-26/895	30W	24W	16,5W	31W	33W	36W	38W	40W	> 40W
	FD-36-E-G13-26/1200	36W	32W	19W	36W	38W	41W	43W	45W	> 45W
	FD-38-E-G13-26/1047	38W	32W	20W	38W	40W	43W	45W	47W	> 47W
	FD-58-E-G13-26/1500	58W	50W	29,5W	55W	59W	64W	67W	70W	> 70W
	FD-70-E-G13-26/1800	70W	60W	36W	68W	72W	77W	80W	83W	> 83W

EU 2000/55/EC kategória 1

U tlmičky BTA 118 bol nameraný príkon 28,4 W, čo o 0,4 W presahuje údaj uvedený v Tab. 9. Pravdepodobne to však bolo spôsobené rušením a kolísaním napájacej siete. V podstate môžeme konštatovať, že tlmička vyhovuje uvedenej kategórii C. U elektronického predradníka BE 136-2 bola nameraná hodnota príkonu 16,9 W, čo je približne o 4 W menej ako je uvedené v Tab. 9, takže vyhovuje svojej kategórii A3 dokonca by vyhovoval aj kategórii A2. Pri stmievateľnom predradníku HF-R TD 118 bol nameraný maximálny príkon 14,9 W. V Tab. 9 pre kategóriu A1 je uvedená hodnota 10,5 W, čo zodpovedá približne príkonu pri regulácii na 65 %.

Počas merania sa odčítaval aj účinník a power factor. Elektrický obvod s tlmičkou BTA 118 bez kompenzácie vykazoval výrazné jalové straty. Power factor sa pohyboval okolo hodnoty 0,39. Použitie veľkého množstva svietidiel s takýmito predradníkmi by viedlo k narušeniu kvality dodávky elektrickej energie. Preto je bezpodmienečne nutné takéto zariadenia kompenzovať. Aj keď výrobcovia uvádzajú pri elektronických predradníkoch účinník vyšší ako 0,9, namerané hodnoty sa od uvedených líšili. A síce pri predradníku BE 136-2 bol nameraný účinník 0,84 a power factor 0,81. Pri predradníku HF-R TD 118 bol nameraný účinník 0,88 a power factor 0,87. Zároveň vidno (Obr. 18), že postupným stmievaním sa hodnota účinníka a power factoru ďalej zhoršuje. Pri regulačnom stupni 30 % merací prístroj prestal vykazovať hodnoty účinníka a power factoru. Preto bola hodnota účinníku prepočítaná podľa nameraného príkonu a zdánlivého výkonu.

Ďalej sa pomocou luxmetra v jednotlivých zapojeniach merala osvetlenosť (60 cm pod stredom rozsvietennej trubice). Toto meranie prebiehalo v nočných hodinách, keď mohli byť vylúčené iné svetelné zdroje, ktoré by skresľovali výsledok merania. Odmerala sa samostatne osvetlenosť pri prevádzke trubice s tlmičkou BTA 118, potom s elektronickým predradníkom BE 136-2 a nakoniec s regulovateľným predradníkom HF-R TD 118. Podobne ako pri meraní príkonu aj pri tomto meraní sa postupne znižovala intenzita zo 100 % až na konečných 0 %. Z nameraných hodnôt sa potom prepočítal relatívny svetelný tok Φ_{rel} [%].

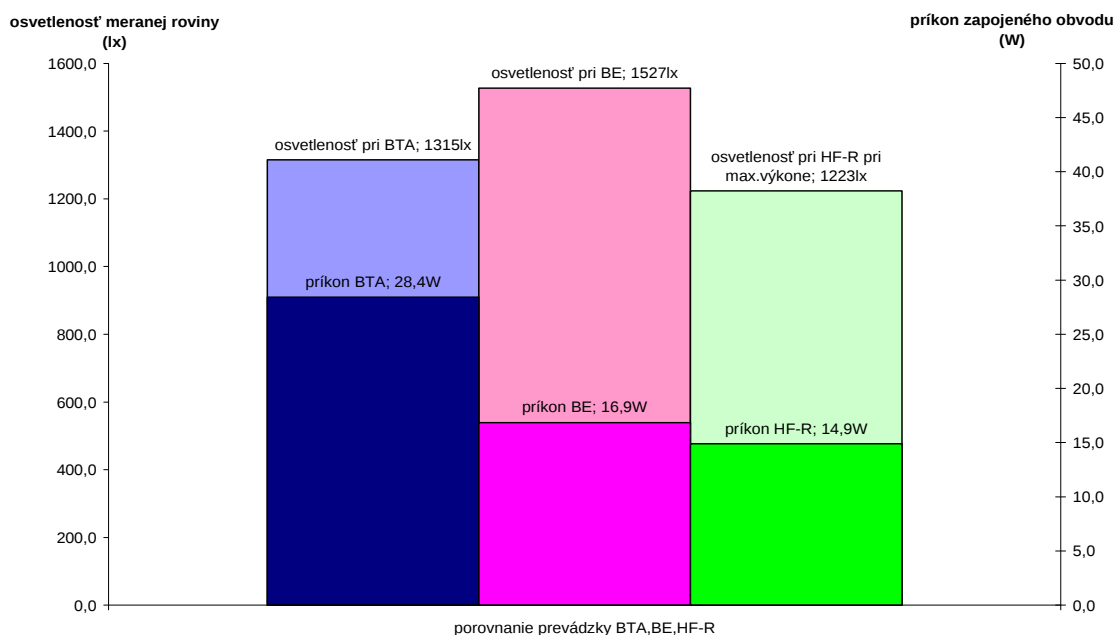
Prepočítaný relatívny svetelný tok

$$\phi_{\text{rel}} = \frac{E_i}{E_{\text{HF-R}}} \cdot 100 \text{ [%; lx, lx]}$$

E_i - nameraná intenzita osvetlenia

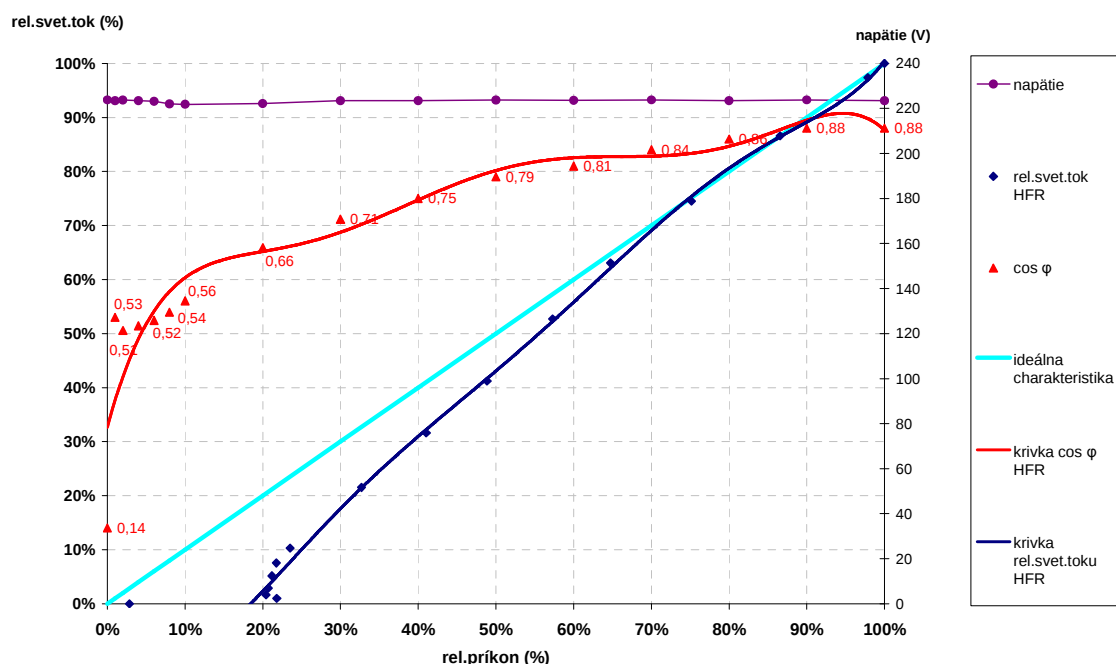
$E_{\text{HF-R}}$ - intenzita osvetlenia pri regulačnom stupni 100 % predradníka PHILIPS – HF-R TD 118

Namerané a prepočítané hodnoty sú uvedené v Tab. 8, na Obr. 17 a Obr. 18.



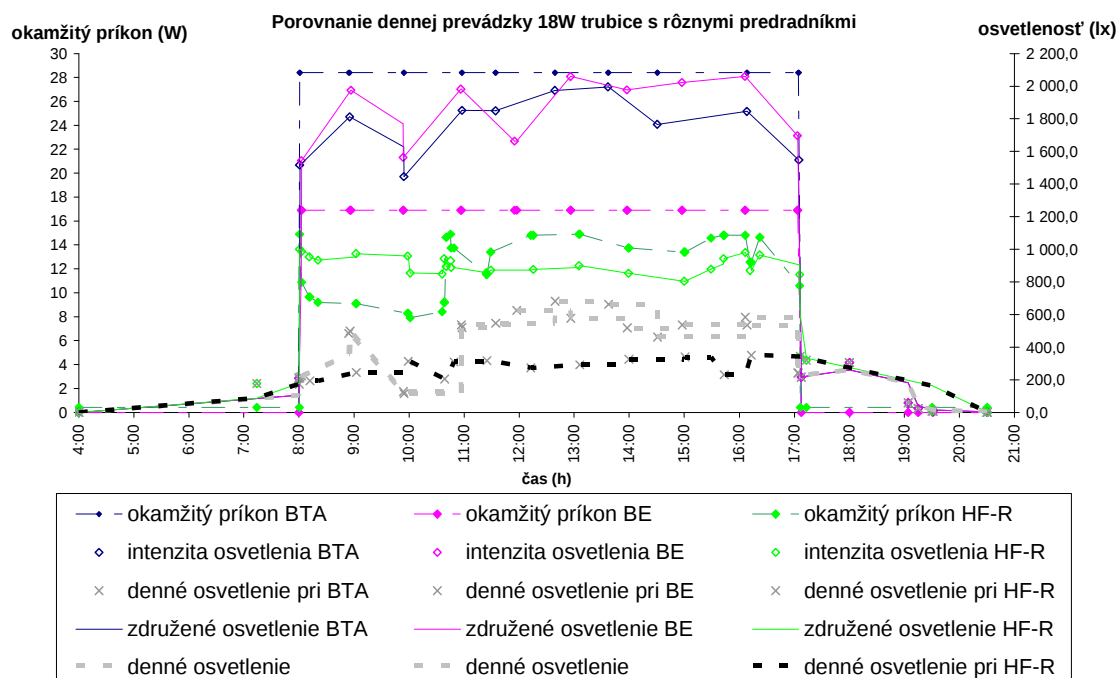
Obr. 17 Porovnanie príkonu a osvetlenosti pri prevádzke 18W trubice v rôznych zapojeniach

Na základe uvedeného môžeme konštatovať, že napriek najvyššej spotrebe (28,4 W) u tlmivky BTA 118 táto nezabezpečuje najvyššiu osvetlenosť (1315 lx). Tiež je zrejmé, že najlepší pomer svetelný výkon a príkon dosiahlo zapojenie s elektronickým predradníkom BE 136-2, kde síce pri vyššej spotrebe (16,9 W) bola nameraná najvyššia osvetlenosť porovnáwanej roviny (1527 lx). Digitálny regulovateľný predradník HF-R TD 118 mal síce najnižšiu spotrebu energie (14,9 W), ale aj najnižšiu hladinu osvetlenosti (1223 lx).



Obr. 18 Závislosť svetelného toku a účinníku od príkonu v závislosti na regulácii predradníka HF-R TD 118 a napájacieho napätia.

Rovnako môžeme konštatovať, že pri stmievaní sa na začiatku charakteristika závislosti svetelného výkonu k príkonu javí ako ideálna, čím viac sa znižuje regulačný stupeň tým viac sa však uvedená charakteristika vzdďľuje od ideálnej charakteristiky v neprospech efektívnosti zariadenia. Z uvedeného vyplýva, že najvyššia efektívnosť sa dosiahne pri správnom dimenzovaní osvetľovacej sústavy, kde bude prevádzka regulovaná prevažne v rozsahu 65 % až 100 %. V prípade regulácie prevádzky v inom rozsahu bude účinnosť regulácie klesať.



Obr. 19 Porovnanie dennej prevádzky 18W trubice s rôznymi predradníkmi v závislosti od denného osvetlenia

Na záver sa porovnala osvetlenosť pracovnej roviny (60 cm pod stredom rozsvietennej trubice) počas jedného dňa samostatne pri jednotlivých zapojeniach. Pri meraní zapojenia s tlmičkou BTA 118 a elektronickým predradníkom BE 136-2 sa merala osvetlenosť v priebehu dňa v priemere v hodinových intervaloch. Bola odmeraná hodnota združeného osvetlenia, následne na chvíľu bol svetelný zdroj vypnutý a zmerala sa hodnota denného osvetlenia v rovnakom bode. Ak by hodnota denného osvetlenia na sledovanej rovine presiahla hodnotu 750 lx, zariadenie by sa vyplo, kým sa zase denná osvetlenosť nezníži pod uvedenú hodnotu. V tom čase by bol simulovaný stav, že je dostatok denného osvetlenia na pracovnej rovine a nie je potrebné umelé osvetlenie. Podobne sa postupovalo aj pri meraní zapojenia s predradníkom HF-R TD 118. Tu sa však využil princíp stmievania na konštantnú hodnotu osvetlenia použitím multisenzoru. Pomocou softwarového vybavenia Digidim Toolbox bola nastavená konštantná hladina na úroveň prevádzky trubice s maximálnou intenzitou bez vplyvu iného svetelného zdroja. Následne potom počas druhého dňa bola kontrolovaná úroveň osvetlenosti na pracovnej rovine (spomínaných 60 cm pod stredom rozsvietennej trubice). Pomocou PC a softwarového vybavenia bola tiež sledovaná úroveň stmievania trubice v percentách. Pri zmene svetelného a samozrejme aj energetického výkonu svietidla bola odmeraná osvetlenosť združeného osvetlenia a podobne ako v predchádzajúcich dvoch prípadoch s krátkym prerušením prevádzky aj hodnota denného osvetlenia. Po prerušení prevádzky a odmeraní dennej osvetlenosti sa trubica zapla späť na poslednú úroveň pred vypnutím. Namerané výsledky sú zapísané v Tab. 8 a graficky na Obr. 19. V tomto konkrétnom prípade bola dosiahnutá úspora cca 41 % pri použití elektronického predradníka BE 136-2 a úspora až 54 % pri použití predradníka HF-R TD 118 stmievaným v závislosti od denného svetla [1].

1.4.3 Literatúra ku kapitole 1.4

- [1] Árvay, P.: Regulácia osvetlenia vnútorných priestorov. Diplomová práca. Košice: FEI TU v Košiciach, 2010
- [2] Energy efficiency: energy efficiency requirements for ballasts for fluorescent lighting. Dostupné na internete: http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/127032_en.htm

1.5 Meranie svetelného toku a účinnosti premeny elektrickej energie svetelných zdrojov

1.5.1 Úvod

Svetelný výkon umelých zdrojov svetla je možné hodnotiť na základe svetelného toku, ktorý zdroj vyžaruje do okolitého priestoru. Je to jeden zo štítkových údajov svetelných zdrojov, ktorý je spravidla daný pri menovitom napájacom napätí. V súčasnosti sa stalo stmievanie svetelných zdrojov jedným z prostriedkov na zníženie energetickej náročnosti osvetlenia. Jednotlivým stupňom stmievania zodpovedá príslušný svetelný tok, pričom napäťové závislosti nie sú v súčasnosti bežným katalógovým údajom. Spôsobom merania týchto charakteristík sa zaoberajú nasledovné podkapitoly.

1.5.2 Princíp merania svetelného toku pomocou guľového integrátora

Svetelný tok Φ , ktorého jednotkou je lumen [lm], predstavuje žiarivý tok Φ_e , ktorý je vyžiarený do viditeľnej oblasti elektromagnetického žiarenia. Vyjadruje množstvo svetla vyžiareného svetelným zdrojom do všetkých smerov. Zo svetelného toku ako základnej veličiny sa odvodzajú všetky ostatné fotometrické veličiny. Pre konkrétny typ

svetelného zdroja je tento údaj uvedený v katalógu. Svetelný tok pri známom spektrálnom zložení žiarivého toku môžeme vyjadriť podľa vzťahu [1], [2]:

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} \Phi_e(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1)$$

kde:

Φ_e – žiarivý tok [W],

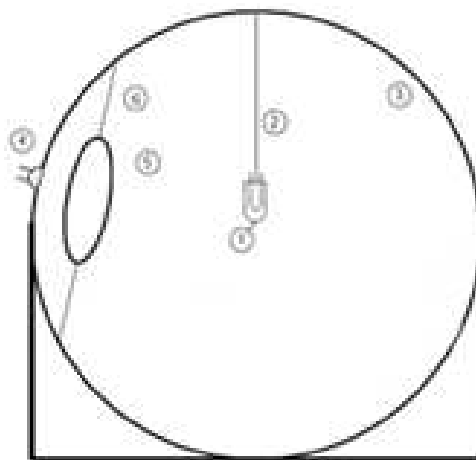
K_m – maximálna svetelná účinnosť [$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$],

$V(\lambda)$ – účinnosť monochromatického žiarenia [-].

Svetelný výkon zdrojov a svietidiel je možné hodnotiť podľa svetelného toku, ktorý sa vyžaruje do okolitého priestoru. Svetelný tok tak predstavuje svetelný výkon, ktorý sa priamo uplatňuje pri vytváraní osvetlenia a tým aj jas osvetľovaných plôch. Hlavným cieľom meraní svetelného toku je skúmanie účinnosti premeny elektrickej energie na energiu svetelnú. Pri meraní svetelného toku nás nebude zaujímať jeho priestorové rozloženie, ale iba jeho množstvo. Ak chceme toto množstvo súhrne určiť, musíme prakticky merať svetelný výkon (svietivosť) vo všetkých smeroch vyžarovania, ktoré reprezentujú uhly γ a ϑ . Svietivosť v elementárnom priestorovom uhle $d\omega$ následne vytvára elementárny svetelný tok. Suma všetkých elementov svetelného toku vyžarovaných cez všetky smery (t.j. uhly γ a ϑ) nám udáva súhrny svetelný tok Φ . Matematicky ide o integrál z fotometrickej plochy svietivosti cez priestorový uhol celého priestoru, kde:

$$\Phi = \oint_{4\pi} I(\gamma, \vartheta) d\omega \quad (2)$$

Meranie fotometrickej plochy svietivosti je pomerne zdĺhavá záležitosť a integrácia fotometrickej plochy sa dá jednoducho obísť použitím špeciálnej meracej aparatury, tzv. guľového integrátora (Obr. 20), ktorého hlavné časti sú: svetelný zdroj – 1, záves svetelného zdroja – 2, vnútorná rozptylná stena – 3, fotočlánok – 4, clonka – 5, záves clonky – 6.



Obr. 20 Guľový integrátor [2]

Principiálne nám toto zariadenie vykonáva integráciu svetelného toku za pomoci mnohonásobných rozptylových odrazov, ktorých výsledkom je vytvorenie

rovnomerného rozloženia osvetlenosti vnútri steny guľového integrátora bez ohľadu na priestorové rozloženia svetelného toku zdroja svetla. Tento predpoklad je však splniteľný iba vtedy, ak vnútorné steny guľového integrátora majú dostatočnú odraznosť.

S dostatočnou presnosťou je potom možné povedať, že intenzita osvetlenia v ktoromkoľvek bode na vnútornom povrchu guľového integrátora je rovnaká a je priamo úmerná celkovému svetelnému toku svetelného zariadenia [1].

Pri meraní napäťovej závislosti svetelného toku umelých zdrojov svetla boli použité nasledovné prístroje (Obr. 21):

- regulovateľný napäťový zdroj EA-4000B,
- analyzátor kvality elektriny ENA 330, vrátane počítača,
- digitálny luxmeter PU 550,
- guľový integrátor.



Obr. 21 Meranie svetelného toku v guľovom integrátore

Regulovateľným zdrojom bola nastavovaná požadovaná hodnota napätia, elektrické veličiny (prúd, napätie, výkon) boli merané pomocou analyzátoru siete. Hodnota intenzity osvetlenia svetelného zdroja v guľovom integrátore bola meraná digitálnym luxmetrom.

1.5.3 Výsledky merania

Meranie svetelného toku a merného výkonu (t.j. účinnosti premeny elektrickej energie na svetelnú) bolo realizované na svetelných zdrojoch, bežne používaných v osvetľovacích sústavách vonkajších aj vnútorných priestorov, t.j.:

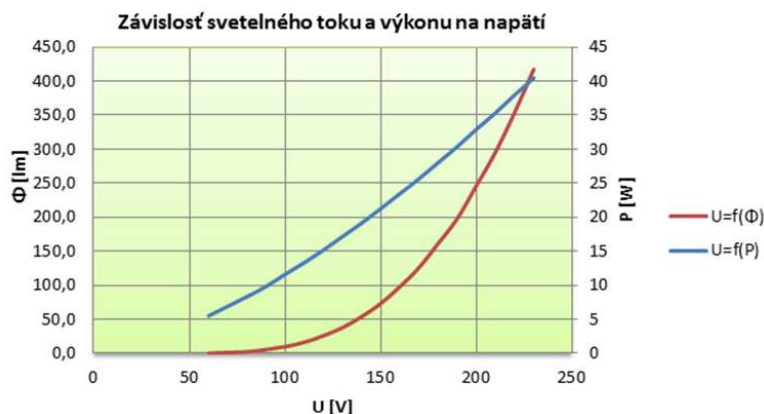
- klasická žiarovka Osram, 40 W,
- halogénová žiarovka Osram, 40 W,
- kompaktná žiarivka Osram, 8 W,
- LED svetelný zdroj, COB 5 W,
- vysokotlaká sodíková výbojka Osram NAV T 70W,
- lineárna žiarivka Radium Spectralux L 36/840,
- halogénová žiarovka MR 16 12V 50W,
- lineárna žiarivka Osram L 58/840,
- halogenidová výbojka Osram HCI T 100W/942 NDL,
- kompaktná žiarivka Osram DIE 18W/840.

Základné prevádzkové parametre týchto zdrojov (dané výrobcom a tiež údaje získané meraním) pri ich menovitom napätí sú zhrnuté v Tab. 10. Rozdiely nameraných oproti štítkovým údajom zodpovedajú hlavne miere presnosti meracích prístrojov (hlavne luxmetra) a tiež odchýlkou skutočných parametrov svetelných zdrojov oproti ich štítkovým údajom. Pozn. Vzhľadom na rozmery lineárnych žiariviek, meranie svetelného toku nie je možné realizovať pomocou uvedeného guľového integrátora, uvažovalo sa s katalógovým údajom.

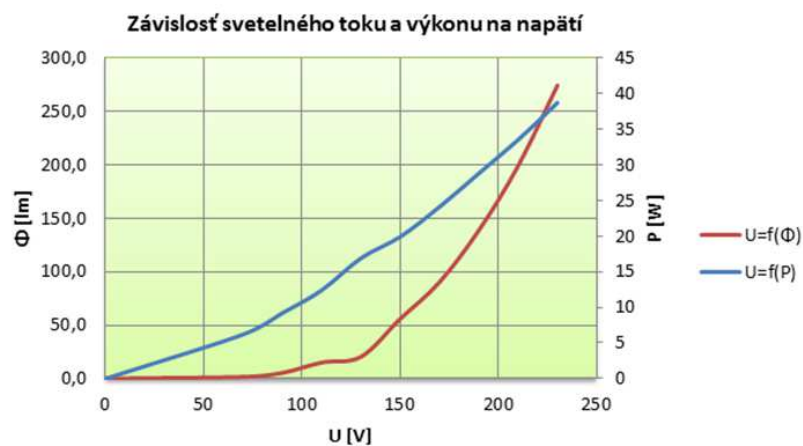
Tab. 10 Zhrnutie parametrov P, Φ, η meraných svetelných zdrojov

svetelný zdroj	štítkové údaje			parametre namerané pri $U_n=230V$		
	P [W]	Φ [lm]	η [lm/W]	P [W]	Φ [lm]	η [lm/W]
klasická žiarovka, Osram, 40 W	40	415	10,4	40,5	417,2	10,3
halogénová žiarovka, Osram, 40 W	40	300	7,5	38,7	274,2	7,1
kompaktná žiarivka, Osram, 8 W	8	400	50,0	8,3	458,1	55,1
LED svetelný zdroj, COB, 5 W	5	405	81	5,8	321,5	55,4
vysokotlaká sodíková výbojka Osram NAV T 70W	70	6600	94,29	83,6	5784,9	69,2
lineárna žiarivka Radium Spectralux L 36/840	36	3350	93,06	42	3350	79,76
halogénová žiarovka MR 16 12V 50W	50	920	18,4	48,18	857	17,79
lineárna žiarivka Osram L 58/840	58	5200	89,66	56	5200	92,86
halogenidová výbojka Osram HCI T 100W/942 NDL	100	10500	105	115,1	9354	81,27
kompaktná žiarivka Osram DIE 18W/840	18	1200	66,67	19,1	1285	67,28

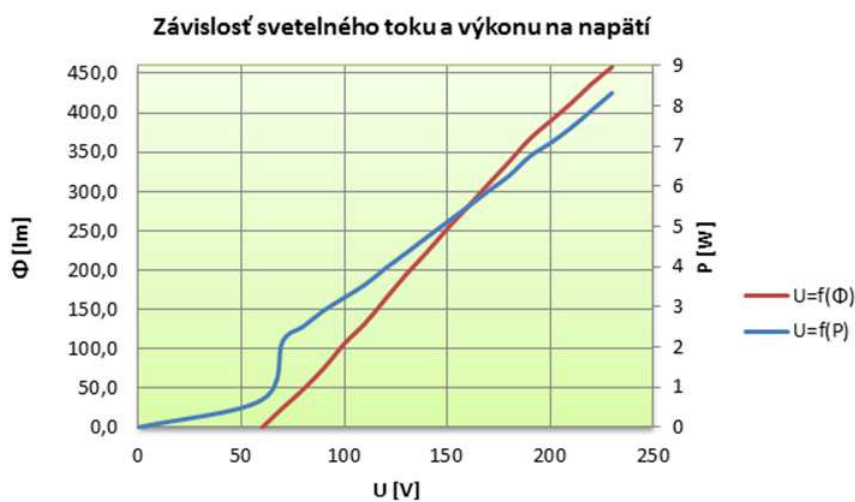
Pri svetelných zdrojoch, ktorých svetelný tok bolo možné regulovať zmenou napájacieho napätia boli namerané tzv. napäťové charakteristiky svetelného toku a merného výkonu. To znamená, pri jednotlivých úrovniach napájacieho napätia bola okrem svetelného toku odčítaná tiež hodnota elektrického príkonu svetelného zdroja P [W]. Na základe sledovaných údajov bolo teda možné vyčísliť merný výkon svetelných zdrojov η [lm/W]. Je to parameter charakterizujúci účinnosť premeny elektrickej energie na svetlo. Výsledky meraní, t.j. závislosti svetelného toku a výkonu (resp. príkonu) v závislosti od veľkosti napájacieho napätia pre jednotlivé svetelné zdroje sú uvedené na nasledovných grafických závislostiach.



Obr. 22 Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí klasickej žiarovky Osram 40W



Obr. 23 Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí halogénovej žiarovky Osram 40 W



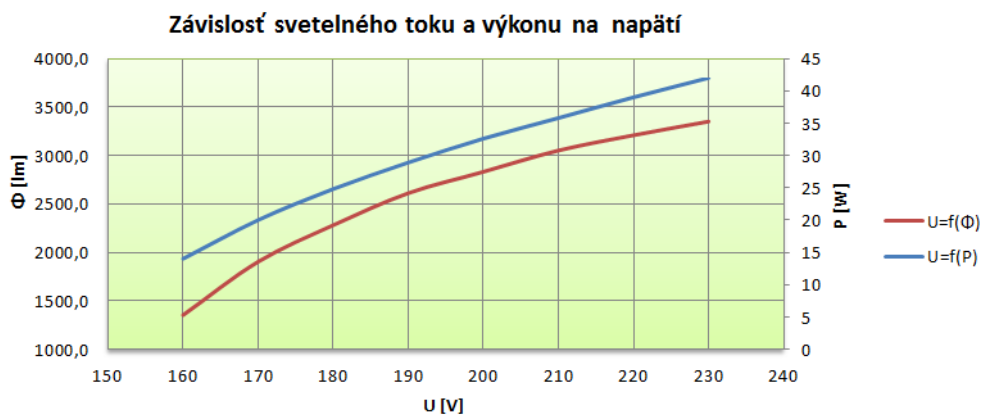
Obr. 24 Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí kompaktnej žiarivky Osram 8W



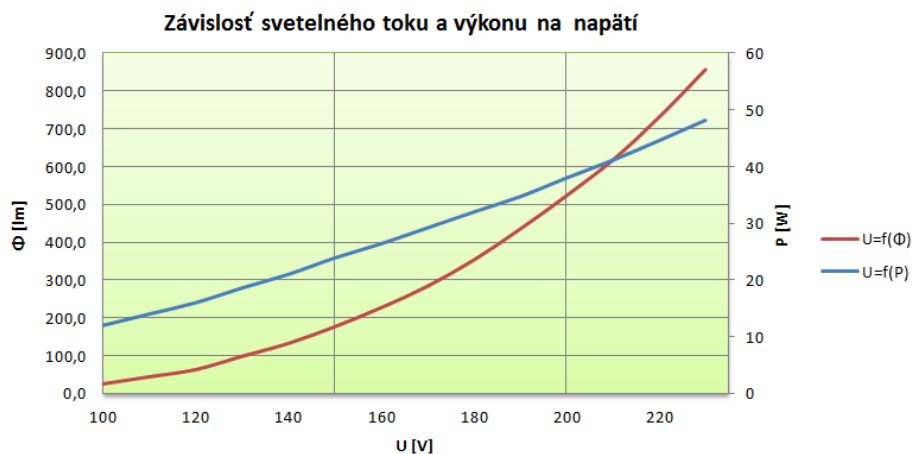
Obr. 25 Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí svetelného zdroja LED COB 5W



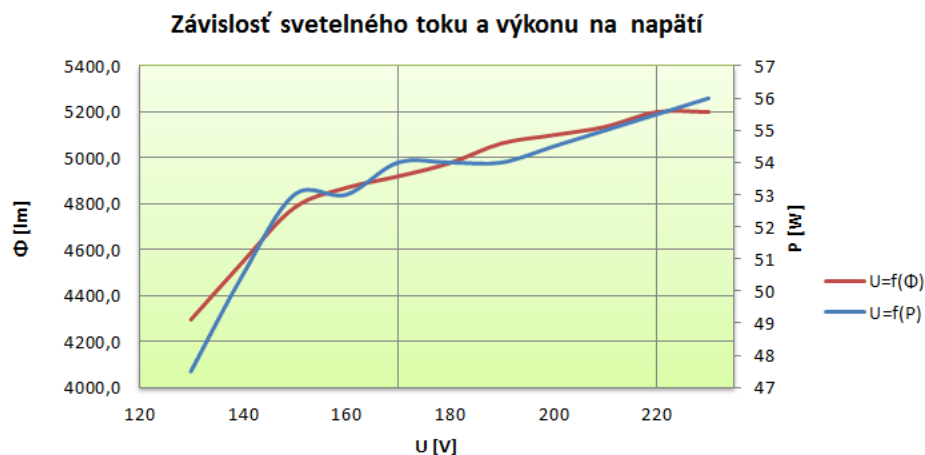
Obr. 26 Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí vysokotlakové sodíkovej výbojky Osram NAV T 70W



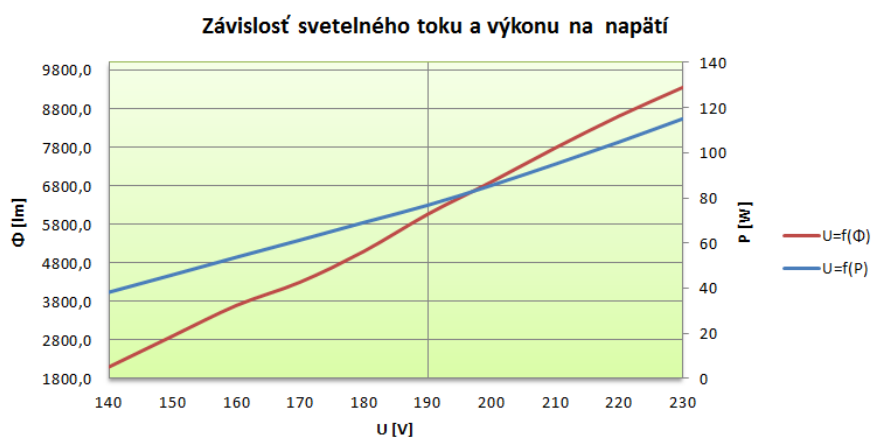
Obr. 27 Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí lineárnej žiarivky Radium Spectralux L 36/840



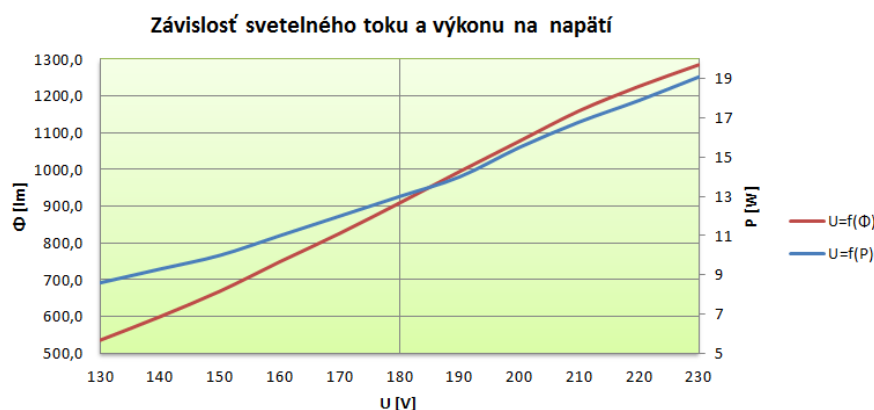
Obr. 28 Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí halogénovej žiarovky MR 16 12V 50W



Obr. 29 Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí lineárnej žiarivky Osram L 58/840



Obr. 30 Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí halogenidovej výbojky Osram HCI T 100W/942 NDL



Obr. 31 Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí kompaktné žiarivky Osram DIE 18W/840

Uvedené závislosti nám poskytujú informáciu o základných parametroch osvetľovacej sústavy v prípade zmeny napätia, t.j. napríklad v priebehu regulácie intenzity osvetlenia. Pri stmievaní osvetlenia je potrebné vedieť jednak veľkosť príkonu osvetlenia pri danom stupni stmievania (z hľadiska vyčíslenia úspor pri nasadení regulačných prvkov) a tiež veľkosť intenzity osvetlenia (z hľadiska posúdenia dosiahnutia požadovaných svetelnotechnických parametrov).

1.5.4 Literatúra ku kapitole 1.5

- [1] SOKANSKÝ, K. a kol.: Světelná technika. EUROPRINT, a.s.. Praha 2011. 256 s. ISBN 978-80-01-04941-9
- [2] Měření světelného toku neznámého zdroje, jeho napěťové závislosti a světelné účinnosti svítidla [cit. 2013-4-20]. Dostupné na internete: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/light-laboratory/files/sylabus/05_Mereni_svetelneho_toku_neznameho_zdroje_jeho_na_petove_zavislosti_a_svetelne_ucinnosti_svitidla.pdf>
- [3] Katalógový list k svetelnému zdroju MR 16 12V 50W
<http://www.fastenal.com/web/products/details/0724613?isPunchout=false>
- [4] Katalógový list k svetelnému zdroju Osram HCI T 100W/942 NDL
<http://www.osram.cz/media/resource/HIRES/384254/dokonal-alternativa-pro-maximln-sporu-a-vynikajc-podn-barev.pdf>

1.6 Meranie kvality elektriny pri záťaži tvorenej svetelnými zdrojmi

1.6.1 Úvod

Rozvoj polovodičovej techniky viedol k zvýšeniu počtu nelineárnych záťaží v sieti, ktoré negatívne ovplyvňujú jej parametre. Takéto zariadenia ako výkonová elektronika na reguláciu pohonov, usmerňovače, elektronické predradníky a napájacie zdroje, sú spolu s ďalšími nelineárnymi spotrebičmi zdrojom vyšších harmonických frekvencií, ktoré prispievajú k zvýšenému zaťaženiu prvkov rozvodnej sústavy [1], [2].

Týmto problémom sa nevyhla ani osvetľovacia technika, a to použitím elektronických predradných prvkov svetelných zdrojov, výbojových svetelných zdrojov a v poslednom období prudký nárast svetelných zdrojov na báze LED.

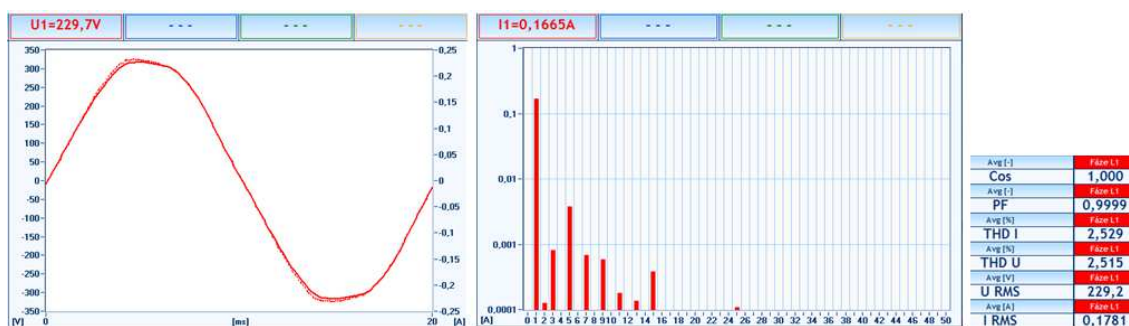
1.6.2 Výsledky meraní rušivých vplyvov odberu na elektrickú sieť

Meranie bolo realizované sieťovým analyzátorom BK-ELCOM typu ENA 330, jednotlivé svetelné zdroje boli napájané sieťovým sínusovým napätím 230 V, pričom boli vyhodnotené:

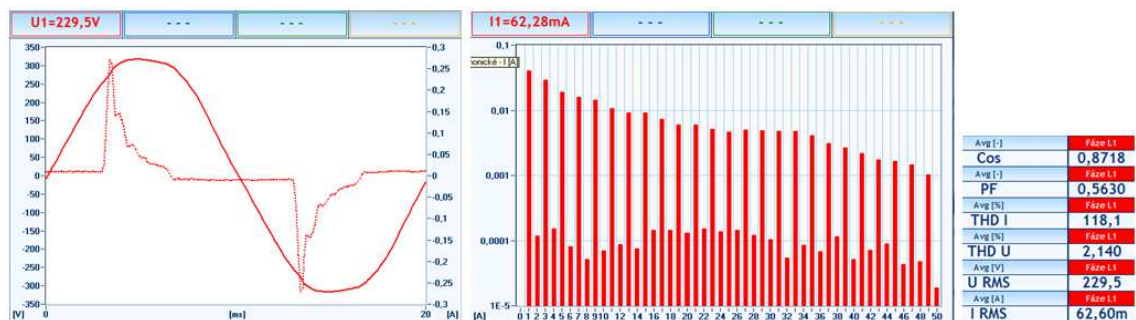
- priebehy odoberaného prúdu pri napájaní sieťovým napätím,
- frekvenčné spektrum odoberaného prúdu,
- činiteľ harmonického skreslenia prúdu THD_I ,
- účinník $\cos \varphi$ a skutočný účinník PF.



Obr. 32 Výsledky merania kvality elektriny pri záťaži: klasická žiarovka Osram, 40 W



Obr. 33 Výsledky merania kvality elektriny pri záťaži: halogénová žiarovka Osram, 40 W



Obr. 34 Výsledky merania kvality elektriny pri záťaži: kompaktná žiarivka Osram, 8 W



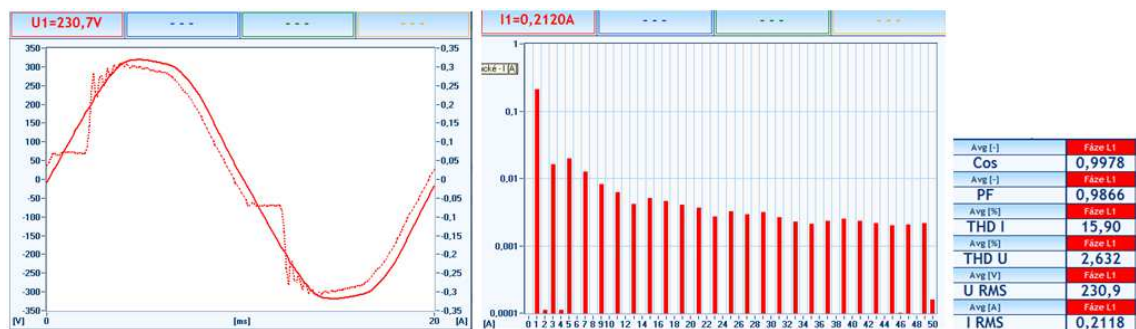
Obr. 35 Výsledky merania kvality elektriny pri záťaži: LED svetelný zdroj, COB 5 W



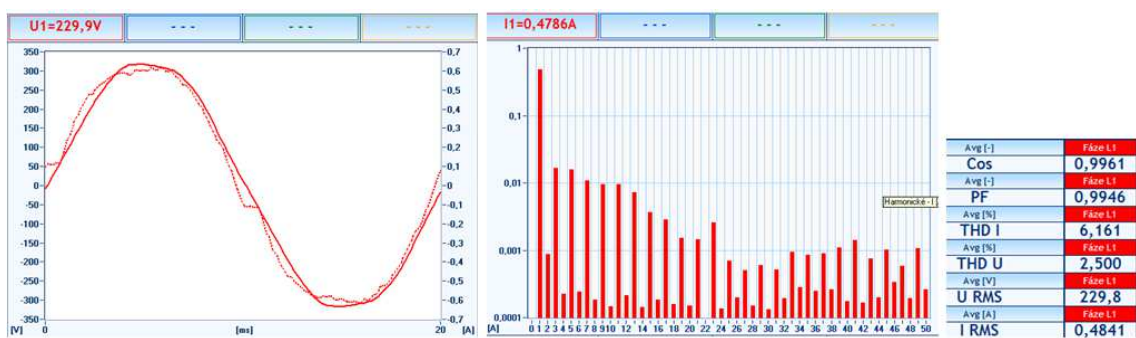
Obr. 36 Výsledky merania kvality elektriny pri záťaži: vysokotlaká sodíková výbojka Osram NAV T 70W



Obr. 37 Výsledky merania kvality elektriny pri záťaži: lineárna žiarivka Radium Spectralux L 36/840



Obr. 38 Výsledky merania kvality elektriny pri záťaži: halogénová žiarovka MR 16 12V 50W



Obr. 38 Výsledky merania kvality elektriny pri záťaži: lineárna žiarivka Osram L 58/840



Obr. 39 Výsledky merania kvality elektriny pri záťaži: halogenidová výbojka Osram HCI T 100W/942 NDL



Obr. 40 Výsledky merania kvality elektriny pri záťaži: kompaktná žiarivka Osram DIE 18W/840

1.6.3 Literatúra ku kapitole 1.6

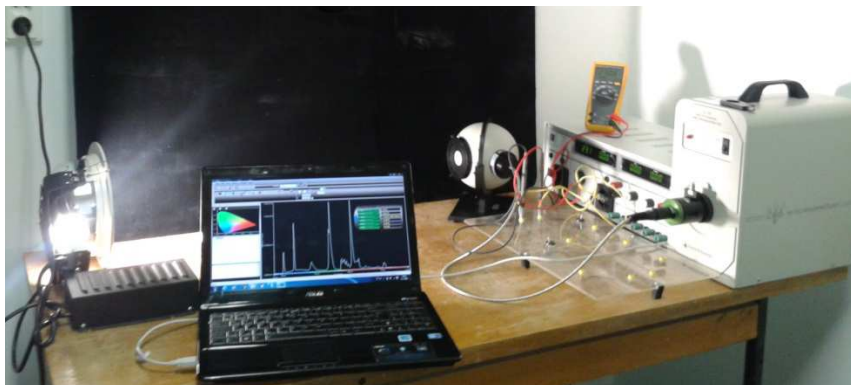
- [1] Szathmáry, P.: Kvalita elektrickej energie. Banská Bystrica: PRO, 2003. 122 s. ISBN 80-89057-04-7

- [2] Machálek, V., Janiga, P.: Možné spôsoby znižovania vplyvu zhoršenej kvality elektrickej energie v sieťach verejného osvetlenia. Študentská vedecká a odborná činnosť, STU Bratislava.
<http://www.nuc.elf.stuba.sk/svoc10/cd/PRISPEVKY/08EST/SVOCmichalek.pdf>

1.7 Meranie spektrálneho zloženia umelých svetelných zdrojov

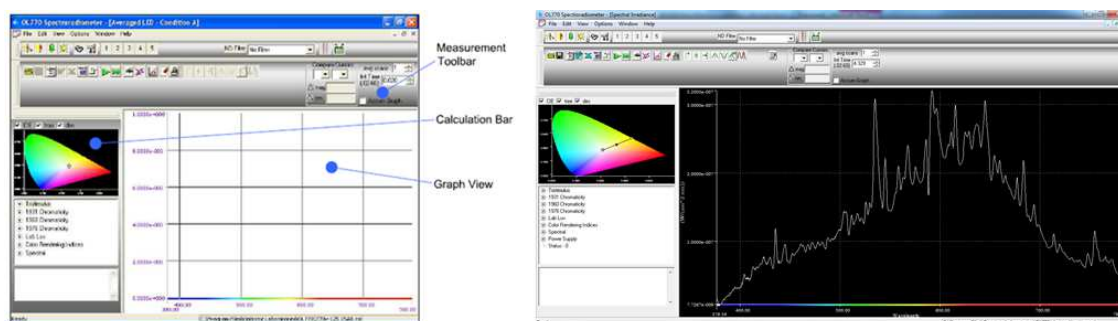
1.7.1 Úvod

Svetlo je možné definovať ako elektromagnetické žiarenie v obmedzenom intervale vlnových dĺžok, ktoré je schopné prostredníctvom zrkovitého orgánu vyvolať zrkovú vnem. Spektrum zdroja svetla je rozloženie intenzity svetla medzi jednotlivé vlnové dĺžky. Meranie spektrálnych charakteristík jednotlivých svetelných zdrojov bolo realizované pomocou spektorradiometra OL 770 od firmy Optronic Laboratories, Inc. (Obr. 41).



Obr. 41 Meracia aparátúra pre meranie spektrálnych charakteristík svetelných zdrojov

Na vyhodnotenie týchto charakteristík bol použitý aplikačný softvér (Obr. 42), dodávaný k spektorradiometru [3].



Obr. 42 Vizualizácia aplikačného softvéru k spektorradiometru OL 770

Využitím tohto aplikačného softvéru je možné pre jednotlivé svetelné zdroje vyhodnotiť ďalšie svetelnotechnické parametre, ako sú teplota chromatickosti, index farebného podania a farebné súradnice svetla. Uvedené parametre je možné znázorniť pomocou funkcie „Value Monitor“.

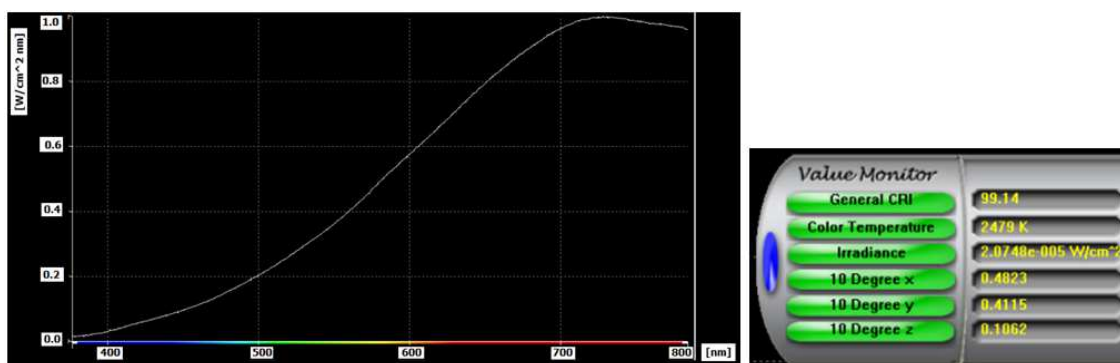
Teplotou chromatickosti (resp. náhradnou teplotou chromatickosti) sa popisujú farebné vlastnosti svetla. V prípade teplotných svetelných zdrojov odpovedá teplote vlákna, u výbojových svetelných zdrojov, resp. LED sa používa pojem náhradná teplota chromatickosti, ktorá odpovedá ekvivalentnému teplotnému zdroju s podobným spektrálnym zložením, aké má daný výbojový svetelný zdroj.

Index podania farieb určuje, do akej miery je človek schopný pri danom spektre žiarenia daného svetelného zdroja verne vnímať farby. Jeho hodnota sa pohybuje v rozmedzí od 0 (najhoršie podanie farieb) do 100 (najlepšie podanie farieb).

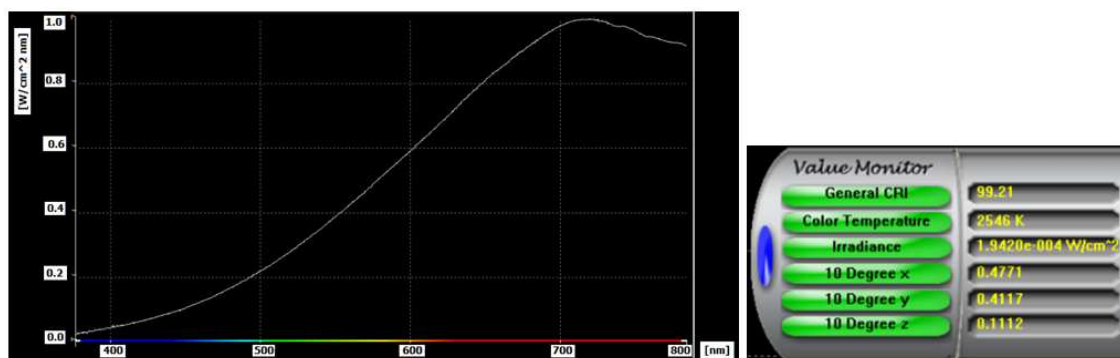
Trichromatické súradnice (x , y , z) určujú, aký podiel má každá trichromatická zložka pre vytvorenie určitej farby. Súčet všetkých troch súradníc je rovný jednej [1], [2].

1.7.2 Výsledky merania spektrálnych charakteristík a ďalších svetelnotechnických parametrov svetelných zdrojov

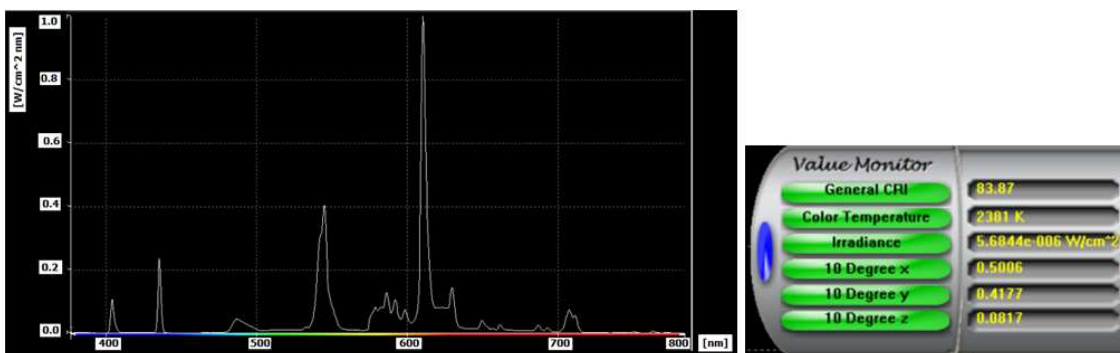
Táto podkapitola obsahuje výsledky merania spektrálnych charakteristík vybraných svetelných zdrojov a ďalších odvodených parametrov, ako sú teplota chromatickosti, index farebného podania, trichromatické súradnice.



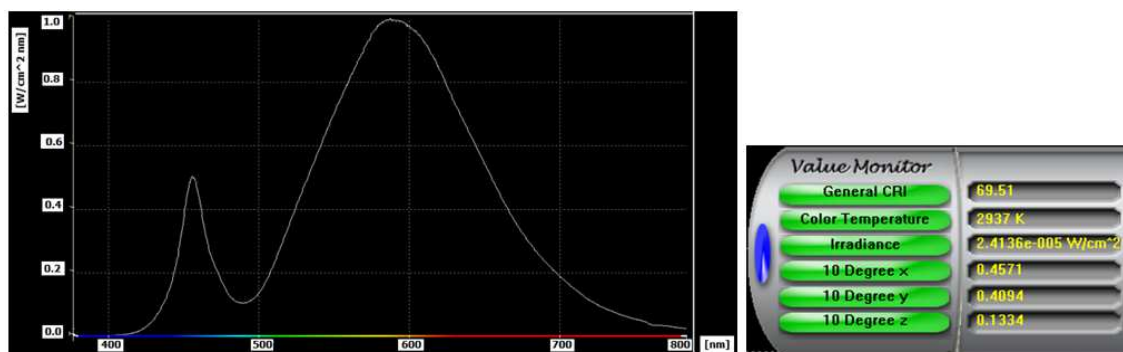
Obr. 43 Spektrálna charakteristika a svetelnotechnické parametre svetelného zdroja: klasická žiarovka Osram 40 W



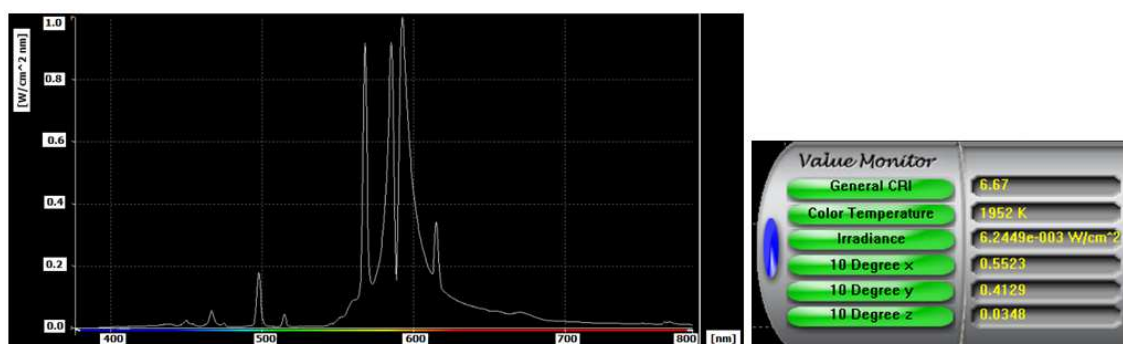
Obr. 44 Spektrálna charakteristika s svetelnotechnické parametre svetelného zdroja: halogénová žiarovka Osram 40 W



Obr. 45 Spektrálna charakteristika a svetelnotechnické parametre svetelného zdroja: kompaktná žiarivka Osram 8 W



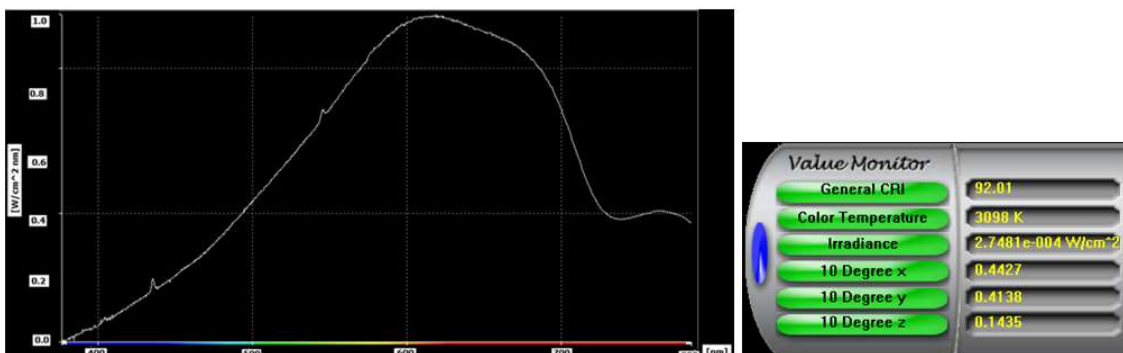
Obr. 46 Spektrálna charakteristika a svetelnotechnické parametre svetelného zdroja: LED COB 5 W



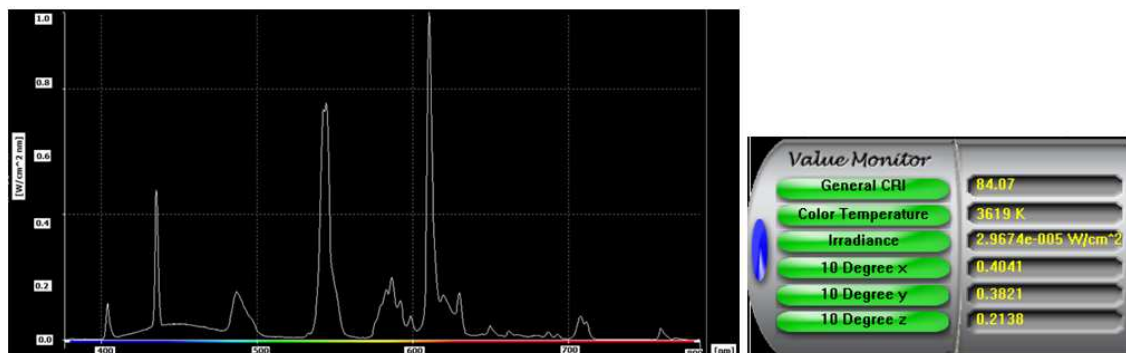
Obr. 47 Spektrálna charakteristika a svetelnotechnické parametre svetelného zdroja: vysokotlaková sodíková výbojka Osram NAV T 70W



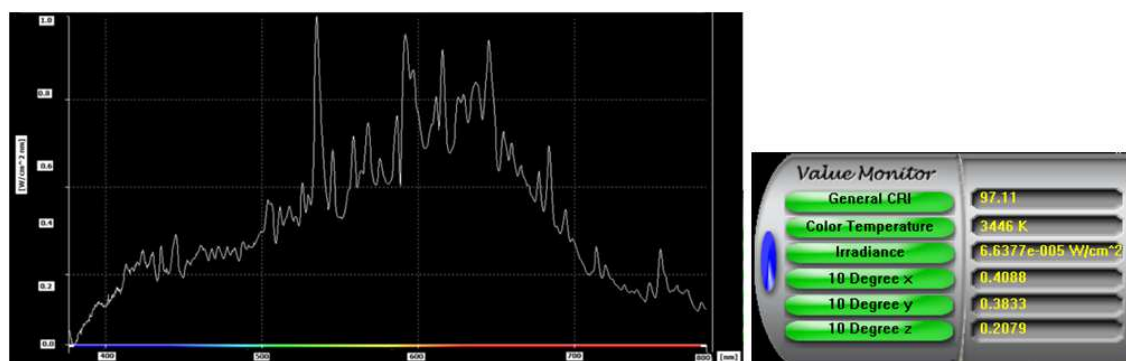
Obr. 48 Spektrálna charakteristika a svetelnotechnické parametre svetelného zdroja: lineárna žiarivka Radium Spectralux L 36/840



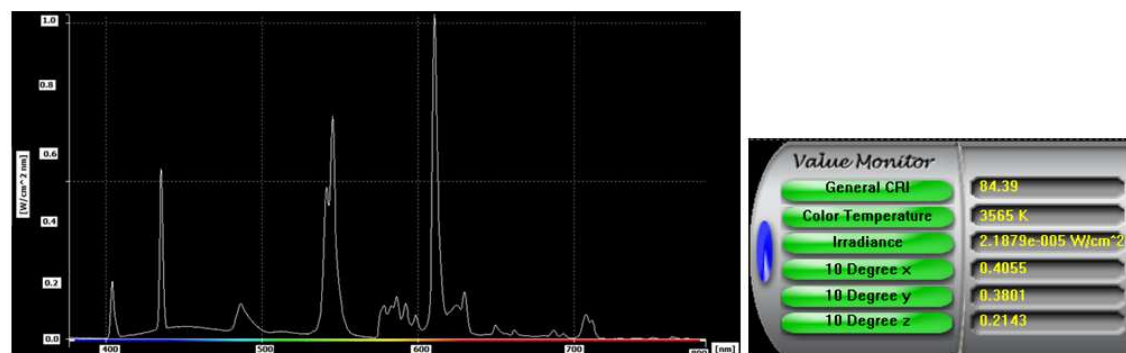
Obr. 49 Spektrálna charakteristika a svetelnotechnické parametre svetelného zdroja: halogénová žiarovka MR 16 12V 50W



Obr. 50 Spektrálna charakteristika a svetelnotechnické parametre svetelného zdroja: lineárna žiarivka Osram L 58/840



Obr. 51 Spektrálna charakteristika a svetelnotechnické parametre svetelného zdroja: halogenidová výbojka Osram HCI T 100W/942 NDL



Obr. 52 Spektrálna charakteristika a svetelnotechnické parametre svetelného zdroja: kompaktná žiarivka Osram DIE 18W/840

Je možné konštatovať, že namerané údaje odpovedajú očakávaným výsledkom (katalógovým údajom svetelných zdrojov).

1.7.3 Literatúra

- [1] Sokanský, K. a kol.: Světelná technika. EUROPRINT, a.s.. Praha 2011. 256 s. ISBN 978-80-01-04941-9
- [2] Habel, J.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995, ISBN 800-901985-0-3

[3] Spectroradiometer OL Series 770, Manual No. 000252, October 2008

1.8 Spektrálne zloženie slnečného žiarenia

1.8.1 Úvod

Základným svetelným zdrojom pre našu planétu je Slnko, ktorého žiarenie zabezpečuje správnu funkciu našej biosféry a je teda základnou podmienkou života na Zemi. Slnko vyžaruje svoju energiu v širokom rozsahu vlnových dĺžok, ktoré významným spôsobom ovplyvňujú našu biosféru. V súčasnosti sa mimoriadne rozširuje jej využívanie na energetické účely, pričom veľmi významný vplyv na energetický zisk má aj spektrálne zloženie dopadajúceho slnečného žiarenia. Pod vplyvom meniacich sa atmosférických a meteorologických podmienok dochádza k ovplyvňovaniu spektrálneho zloženia dopadajúceho svetla.

Slnečná energia má však pri energetickom využívaní svoje nedostatky vyplývajúce z relatívneho pohybu Zeme okolo Slnka. Poskytovaná energia je často premenlivá nie len čo sa týka intenzity ale aj spektrálneho zloženia. Na túto premenlivosť vplyva viacero faktorov, ako sú ročné obdobia a poveternostné podmienky. To sa zabezpečuje dlhodobým sledovaním intenzity slnečného žiarenia a meteorologických parametrov v mieste jej využívania. Sleduje sa aj intenzita priameho, difúzneho, odrazeného žiarenia a dĺžka slnečného svitu. Medzi tieto merania sa v súčasnosti postupne zaradzuje aj sledovanie spektrálneho zloženia slnečného žiarenia nielen na zemskom povrchu, ale aj v kozmickom priestore. Ukazuje sa, že význam týchto meraní presahuje oblasť využívania na energetické účely a je základom pre zabezpečenie trvalej udržateľnosti života na Zemi.

1.8.2 Spektrálne zloženie slnečného žiarenia

Slnko nie je len základným svetelným zdrojom, ale svojou energiou zabezpečuje aj všetky procesy na Zemi. Slnečné žiarenie, ktoré po prechode cez atmosféru dopadá na zemský povrch, má spektrálny rozsah od $\lambda = 280$ nm do $\lambda = 3000$ nm. Žiarenia kratšej a dlhšej vlnovej dĺžky sa v atmosfére v dôsledku filtračnej schopnosti jednotlivých vrstiev atmosféry a ich zloženia do značnej miery, alebo aj úplne eliminujú a v našom životnom prostredí sa môžu vyskytovať len od umelých zdrojov. Oblasť spektra s dĺžkou vlny od 100 do 380 nm obsahuje ultrafialové žiarenie. V rozsahu vlnových dĺžok od 380 do 780 nm sa nachádza viditeľné žiarenie. Žiarenie s vlnovou dĺžkou od 780 až do 1 nm je infračervené žiarenie.

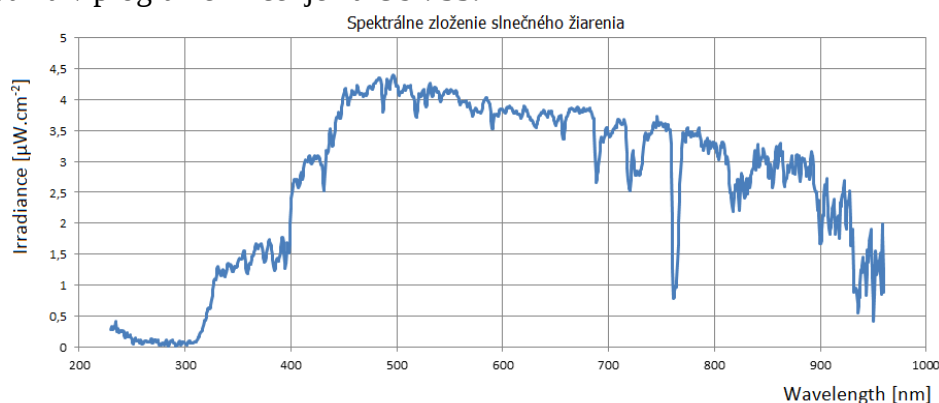
Najväčší vplyv na pohltenie slnečného žiarenia v oblasti ultrafialového žiarenia má ozón. Narušená ozónová vrstva spôsobila aj prenikanie tzv. tvrdého ultrafialového žiarenia, ktoré má pomerne negatívne účinky na biologické systémy. Zloženie dopadajúceho viditeľného a infračerveného žiarenia významne ovplyvňuje obsah vody v rôznych skupenstvách ako aj obsah CO_2 . Uvedené skutočnosti je možné verifikovať porovnaním svetelného spektra na hranici atmosféry Zeme a pri hladine mora, ktoré je znázornené na Obr. 54. Viditeľné svetlo je žiarenie s vlnou dĺžkou 380 až 780 nm, t.j. s frekvenciou od $790 \cdot 10^{12}$ až $385 \cdot 10^{12}$ Hz. Za biele svetlo je považované žiarenie povrchu slnka s teplotou chromatičnosti 5400 K.

Svetlo prichádzajúce z oblohy sa rozdeľuje podľa smeru na priame, difúzne a odrazené. Priame žiarenie si cestou od Slnka zachovalo svoj smer a po celej svojej dráhe nebolo výrazne ovplyvnené. Difúzne žiarenie bolo po svojej dráhe ovplyvnené interakciou s atmosférou Zeme, pri ktorej došlo k zmene uhla dopadu na zemský povrch. Odrazené žiarenie je tiež druhom difúzneho žiarenia. Líši sa spôsobom ovplyvnenia uhla dopadu, odrazom od okolitého prostredia a budov. Celkové žiarenie,

ktoré je súčtom jednotlivých zložiek nazývame globálnym žiarením. Globálne žiarenie je ovplyvňované podielom jednotlivých zložiek, ktorých veľkosť je ťažko predikovateľná, nakoľko sú ovplyvňované vonkajšími meteorologickými parametrami, stavom atmosféry a jej zamračením ako aj polohou Slnka.

Stupeň zamračenia oblohy sa udáva v desatinách pokrytia oblohovej hemisféry oblakmi, stupnicou oblačnosti v rozsahu od 0 do 10. Pri svetelnotechnickom hodnotení rozlišujeme jasnú oblohu (oblačnosť od 0 do 2) a celkom zamračenú oblohu (oblačnosť 10).

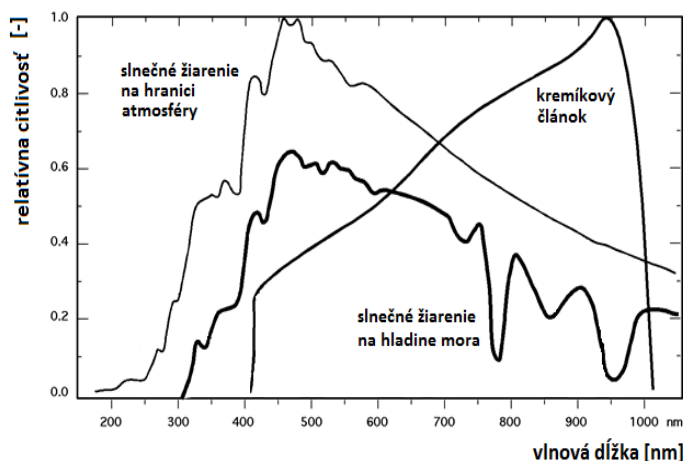
Podobným spôsobom ako boli merané spektrálne charakteristiky svetelných zdrojov, bolo realizované meranie svetelného spektra slnečného žiarenia v podmienkach Košíc pri rovnomernej zatiahnutej oblohe. Výstup z merania s možnosťou ďalšieho spracovania v programe Excel je na Obr. 53.



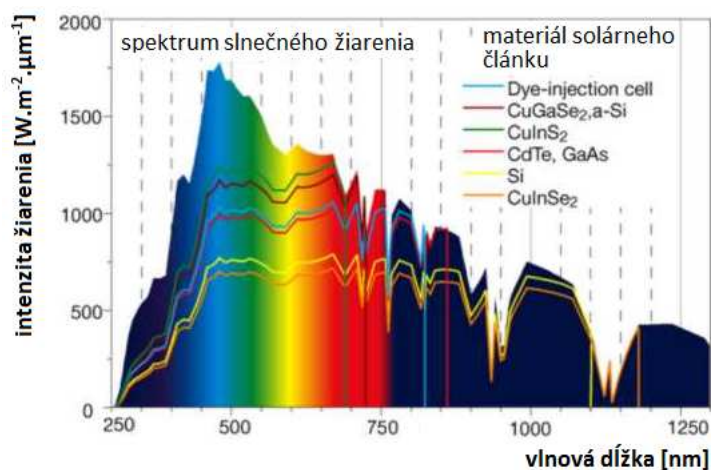
Obr. 53 Výsledok merania spektrálneho zloženia slnečného žiarenia

Ak porovnáme spektrálne zloženie slnečného žiarenia so spektrálnou citlivosťou fotovoltického článku na báze kremíka, zistíme, že tieto nie sú v optimálnej zhode. Sú vzájomne posunuté, čo neumožňuje dokonalé využívanie všetkej dopadajúcej slnečnej energie. Na Obr. 54 a Obr. 55 možno registrovať, že kremíkové fotovoltické články majú najvyššiu citlivosť v oblasti 650 – 1000 nm, pričom dopadajúce slnečné žiarenie má maximum v oblasti 400-600 nm.

Z tohto dôvodu sú vyvíjané nové fotovoltické články (FV), ktorých konštrukcia a materiálové zloženie je lepšie prispôbené svetelnému spektru slnečného žiarenia. Porovnanie spektrálnych charakteristík je na Obr. 55. Takéto články lepšie reagujú aj na kratšie vlnové dĺžky, prípadne aj na UV žiarenie. Tieto technológie sú však zatiaľ v štádiu výskumu a vyrábajú sa zatiaľ iba v malých sériách. V súčasnosti sú zaujímavé FV články na báze amorfného kremíka, ktorých spektrálna citlivosť je lepšie prispôbená slnečnému žiareniu. Napriek tomu, že tieto články majú oproti ostatným nižšiu účinnosť z hľadiska celoročného energetického zisku sa blížila k FV článkom na báze mono a polykryštalického kremíka. Najlepšie technické parametre však dosahujú články na báze CIGS materiálov, ktoré sú výnimočné viacerými technickými parametrami ako aj svojou hrúbkou.



Obr. 54 Porovnanie spektra slnečného žiarenia a relatívnej citlivosti Si FV článku [1]



Obr. 55 Spektrálne charakteristiky FV článkov rôznej konštrukcie [2]

Predpokladá sa, že zabezpečením optimálnej spektrálnej citlivosti FV článkov, prispôbenej k dopadajúcemu slnečnému žiareniu bude možné v budúcnosti dosiahnuť zvýšenie účinnosti až do 50 %. V súčasnosti sa však sériovo vyrábané články blížia len k hranici 25 %.

Realizácia experimentov v oblasti používaných svetelných zdrojov v porovnaní so Slnkom so zameraním na meranie ich spektrálneho zloženia priniesla veľmi zaujímavé výsledky a celý rad námetov pre ďalšie zdokonaľovanie meracej aparatury a manažmentu meraní. Doposiaľ boli experimentálne overené iba možnosti merania iradiancie. Realizované merania potvrdili, že používané svetelné zdroje sa líšia spektrálnym zložením, farebným podaním a teplotou chromatičnosti. Táto problematika je veľmi závažná nakoľko zloženie svetla má významný vplyv na človeka či už z psychologického hľadiska, alebo energetickej efektívnosti. Pri meraniach spektier slnečného žiarenia za rôznych meteorologických podmienok sa ukázalo, že spektrum dopadajúceho slnečného žiarenia je veľmi premenlivé. Tieto zmeny môžu mať významný vplyv aj na energetický zisk fotoelektrických článkov. Na tento účel bude potrebné vypracovať metodiku a zdokonaľiť meraciu aparaturu tak, aby umožňovala získavanie objektívnych výsledkov a ich výpovedeschopné vyhodnotenie v rámci dlhodobých meraní.

1.8.3 Literatúra ku kapitole 1.8

- [1] Honsberg, CH., BowdenMemo, S.: PV education. 2012 [cit. 2012-10-25]. Dostupné na internete: <<http://www.pveducation.org/pvcdrom>>
- [2] The power of the sun. 2012 [cit. 2012-10-25]. Dostupné na internete: <<http://science.sbccc.edu/physics/solar/sciencesegment/>>

Chránenie obnoviteľných zdrojov energie pomocou inteligentných elektronických zariadení

Ing. Marek Hvizdoš, PhD.

Obsah

1 Úvod.....	77
2 Inteligentné elektronické zariadenia typu RELION.....	78
2.1 Fyzické vybavenie RE_615.....	78
2.1.1 Skrine IED a ich montáž	79
2.1.2 Výsuvný blok	79
2.1.3 LED indikátory	79
2.1.4 Displej	80
2.1.5 Klávesnica.....	82
2.1.6 Zadný panel.....	83
2.2 Vlastnosti inteligentných elektronických zariadení RE_615	85
2.2.1 IED REF615.....	85
2.2.2 IED RED615	86
2.3 Ochranné funkcie IED RE_615.....	86
2.3.1 Trojfázová prúdová ochrana	86
2.3.2 Ochrana proti zemnej poruche	90
2.3.3 Diferenciálna ochrana	91
2.3.4 Ochrana pri nerovnomernom zaťažení	92
2.3.5 Napäťová ochrana	92
2.3.6 Frekvenčná ochrana	93
3 Testovanie inteligentných elektronických zariadení.....	94
3.1 Primárne skúšky ochrán	94
3.1.1 Prístroje určené na primárne skúšanie ochrán	94
3.2 Sekundárne skúšky ochrán	95
3.2.1 Prístroje určené na sekundárne skúšanie ochrán.....	95
3.2.2 OMICRON CMC 156.....	95
3.2.3 Vyššie rady a hardvérové rozšírenia prístrojov CMC.....	97
3.2.4 Softvér Test Universe	100
3.3 Skúšanie ochranných funkcií IED série 615	101
3.3.1 Testovanie nadprúdových funkcií REF615	101
3.3.2 Testovanie napäťovej funkcie REF615.....	103
3.3.3 Vyhodnotenie testovania REF615	104

4	Zoznam použitej literatúry.....	105
----------	--	------------

1 Úvod

Táto časť publikácie sa zaoberá inteligentnými elektronickými zariadeniami a ich testovaním. K týmto zariadeniam patria digitálne ochranné terminály REF615 a RED615, ktoré sú určené na chránenie, meranie, monitorovanie a riadenie.

Ochranné terminály je možné využiť aj pri chránení obnoviteľných zdrojov energie, resp. ako sieťové ochrany pre pripojenie týchto zdrojov do elektrizačnej sústavy. Ich činnosť sa overuje pomocou špeciálnych testovacích zariadení. V tomto prípade je ako testovacie zariadenie používané skúšobné zariadenie CMC156, ktoré slúži na sekundárne skúšky elektrických ochrán a ochranných terminálov.

2 Inteligentné elektronické zariadenia typu RELION

Spoločnosťou ABB boli vyvinuté inteligentné elektronické zariadenia (IED – Intelligent Electronic Device) na chránenie, ovládanie, meranie a monitorovanie zariadení, slúžiacich na prenos elektrickej energie. K týmto zariadeniam patria aj ochranné terminály produktovej série RELION (RE_), ktoré sú navrhnuté tak, aby vyhovovali aktuálnym komunikačným štandardom IEC 61850. Tieto štandardy zabezpečujú vzájomnú komunikačnú schopnosť zariadení v rámci elektrických staníc. Produktový rad 615 tak podporuje viacero komunikačných protokolov vrátane protokolu IEC 61850 s prenosom GOOSE správ, protokol IEC 60870-5-103, Modbus a DNP 3.0.

Digitálne ochrany, resp. ochranné terminály pracujú na princípe mikropočítačov. Použitím mikropočítačov sa zvýšila spoľahlivosť ochrán, ale zdokonalili sa aj funkcie pre užívateľa, ako presnosť, selektivita a komfort obsluhy.

Všetky ochranné zariadenia označované sériou 615 sú vyrobené vo výsuvnom konštrukčnom vyhotovení s kompaktnými rozmermi s možnosťou množstva dostupných montážnych metód. Každý typ ochranného terminálu môže byť obohatený o doplnkové vybavenie toho ktorého typu zariadenia. Toto doplnenie môže byť ako softvérové tak aj hardvérové. K doplnkovým vybaveniam patrí napríklad funkcia opätovného zapínania alebo vybavenie prídavnými vstupmi či výstupmi.

2.1 Fyzické vybavenie RE_615

Inteligentné elektronické zariadenie je zostavené z dvoch základných častí, a to zásuvného bloku a skrine.

Pohľad na IED série 615 (ako napr. REF615, resp. RED615) je na Obr. 1.



Obr. 1 Pohľad na IED série 615

2.1.1 Skrine IED a ich montáž

Je niekoľko možností ako je možné namontovať dané IED:

- Zapustená montáž
- Polozapustená montáž
- Polozapustená montáž pod 25° uhlom
- Montáž do rámu
- Montáž na panel
- Montáž do 19'' prístrojovej vane
- Montáž do 19'' rámu so skúšobnou zásuvkou RTXP 18

Skrine IED sú vybavené ochrannou funkciou, ktorá meria sekundárne prúdy prístrojových transformátorov prúdu (PTP). Z bezpečnostných dôvodov je vybavená kontaktmi pre skratovanie sekundárnych obvodov PTP. Tieto kontakty sa automaticky zopnú, ak je zásuvný blok IED vysunutý zo skrine. Skriňa IED okrem toho používa mechanický kódovací systém, ktorý bráni zasunutiu bloku IED, ktorý meria prúdy do skrine IED merajúcej napätie a naopak. To znamená, že skrine IED sú týmto systémom priradené určitému typu zásuvného bloku IED.

2.1.2 Výsuvný blok

Všetky typy výsuvných blokov majú predný panel pozostávajúci z týchto častí:

- Displej
- Tlačidlá
- LED indikátory
- Komunikačné porty

Zmenou typu ochranného terminálu sa mení aj funkcia alarmových LED diód, ktoré sa nachádzajú vedľa displeja. Taktiež displej sa pri niektorých typoch môže meniť. Niektoré typy IED série 615 môžu byť vo vyhotovení s malým ale aj s veľkým displejom.

2.1.3 LED indikátory

Ochranné terminály RE_615 sú vybavené dvomi druhmi LED svietidiel a to LED indikátormi stavu ochranného zariadenia a stavu ochranných funkcií. LED diódy, ktoré indikujú stav IED, sú umiestnené nad displejom a sú pomenované:

- Ready (v prevádzke)
- Start (popud)
- Trip (vypnutie)

Ak LED signalizácia Ready nesvieti, znamená to, že IED je odpojené od pomocného napájania, a naopak, svietiaci dióda znamená normálnu prevádzku. Blikajúca dióda Ready znamená vnútornú poruchu alebo to, že IED je momentálne v režime skúšky. Dióda Ready svieti alebo bliká na zeleno.

LED dióda Start svieti alebo bliká oranžovou farbou. Ak začne svietiť oranžová LED dióda Start, znamená to, že bol aktivovaný popud ochrannej funkcie a na displeji sa zobrazí správa o danej funkcii. Ak ochrana zaznamená viac porúch naraz, na displeji bude zobrazená posledná zaznamenaná porucha. Blikanie tejto diódy znamená, že ochranná funkcia je blokována. Nečinnosť diódy znamená normálnu prevádzku.

Dióda Trip svieti červenou farbou a jej nečinnosť znamená normálny prevádzkový stav. Pri rozsvietení červenej LED diódy vieme, že ochrana dala pokyn na vypnutie poruchy. Signalizácia vypnutia pracuje v prídržnom režime, takže pre znovuzopnutie kontaktov musíme reštartovať funkciu Trip pomocou tlačidla Clear.

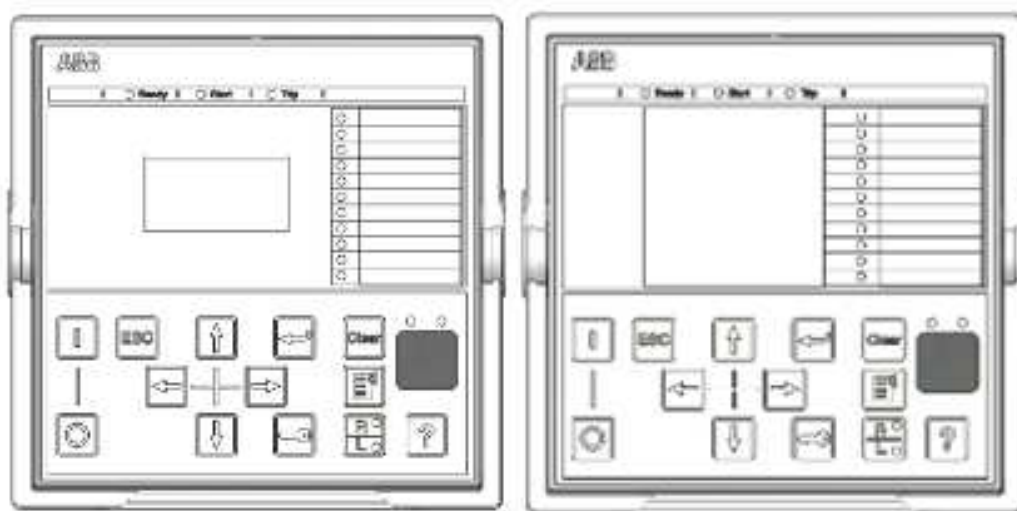
Ďalšie LED indikátory sa nachádzajú vedľa displeja. Sú to takzvané výstražné alebo alarmové LED diódy, ktorých je jedenásť a dajú sa programovať. Každá výstražná LED reaguje na nejaký popud.

2.1.4 Displej

Súčasťou miestneho komunikačného rozhrania je grafický displej, ktorý podporuje dva rozmery zobrazených znakov. Rozmer znakov závisí na zvolenom jazyku. Počet znakov a riadkov, ktoré je možné na displeji zobraziť, je závislý od rozmerov použitého znaku. Taktiež je možné vybrať si medzi dvoma druhmi displejov, a to medzi malým štvorriadkovým šesťnásťznakovým displejom (6x12 pixelov) a veľkým osemriadkovým šesťnásťznakovým (13x14 pixelov).

Veľký displej je vhodné používať v inštaláciách, kde je užívateľské rozhranie na čelnom paneli inteligentného elektronického zariadenia používané často. Malý displej je určený pre diaľkovo ovládané rozvody, v ktorých je miestne užívateľské rozhranie na čelnom paneli IED používané len príležitostne.

Konštrukčné vyhotovenia IED s malým a veľkým displejom sú na Obr. 2.

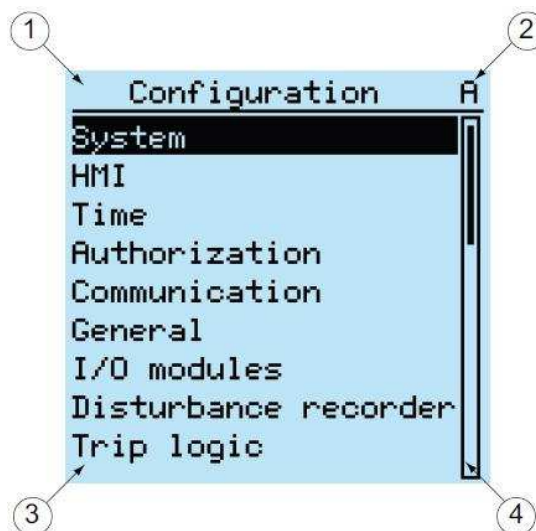


Obr. 2 Malý a veľký displej IED

Oba typy LCD displejov ponúkajú plnú funkčnosť užívateľského rozhrania na čelnom paneli vrátane pohybu v menu a zobrazenia v menu. Veľký displej ponúka zvýšený komfort rozhrania na čelnom paneli, bez potreby rolovania v menu a s väčším prehľadom v zobrazených informáciách. Väčší displej okrem iného disponuje užívateľsky konfigurovateľnou jednopólovou schémou s indikáciami polohy príslušných prvkov primárneho zariadenia.

Okrem štandardnej jednopólovej schémy sú podľa zvolených štandardných konfigurácií na displeji zobrazené i príslušne merané hodnoty. Zobrazenie jednopólovej schémy je prístupné i prostredníctvom užívateľského rozhrania, ktoré pracuje na báze internetového prehliadača. Štandardnú jednopólovú schému je možné upraviť podľa požiadaviek užívateľa pomocou editora grafického displeja v nástroji PCM 600.

Na Obr. 3 je možnosť vidieť rozloženie displeja inteligentného elektronického zariadenia.



Obr. 3 Popis displeja IED

Displej môžeme rozdeliť do štyroch častí:

1. Časť so záhlavím
2. Časť s ikonou
3. Časť menu
4. Rolovacia lišta

Na hornom okraji displeja, v časti so záhlavím, je zobrazená aktuálna pozícia v menu. V pravom hornom rohu, v časti s ikonou, môže byť zobrazená aktuálna akcia (činnosť) alebo aktuálna použitá užívateľská úroveň.

Aktuálna činnosť (akcia) môže byť označená nasledujúcimi znakmi:

- U – Aktualizácia typu písma / programového vybavenia
- S – Ukladanie zmenených údajov (parametrov)
- ! – Výstraha

Aktuálna užívateľská úroveň môže byť zobrazená nasledujúcimi znakmi:

- V – Užívateľ (Viewer)
- O – Operátor
- E – Inžinier / technik
- A – Administrátor (správca)

Z uvedeného vyplýva, že môžeme pracovať na štyroch užívateľských úrovniach pričom každá úroveň má povolené zmeny len v určitých oblastiach. Je teda možné pracovať ako užívateľ s oprávnením na čítanie, s prístupom obmedzeným len na čítanie dát bez ďalších právomocí. Ďalšou možnosťou je operátor, ktorý môže navoliť režim miestneho alebo vzdialeného komunikovania s ochranným terminálom (tlačidlá R a L v

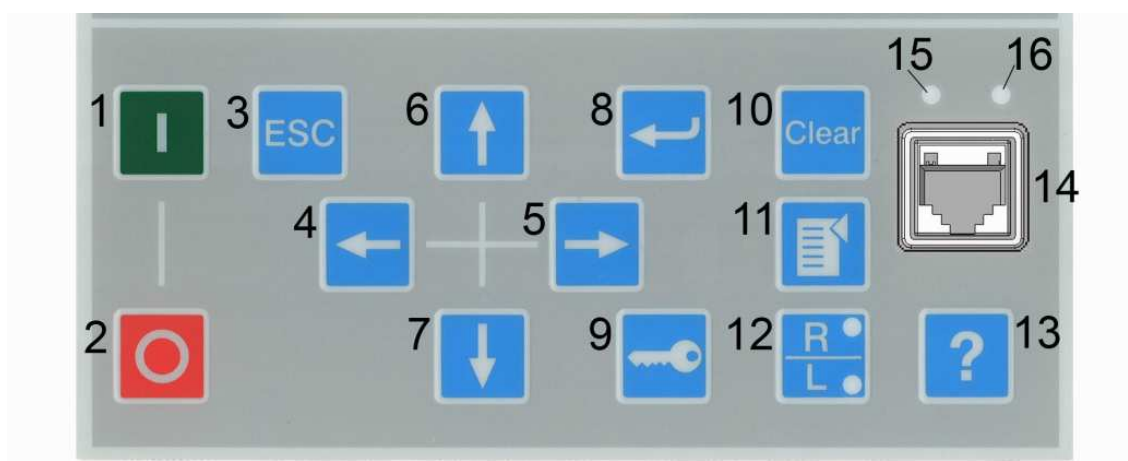
prednej časti terminálu, sú ovládateľné len miestne), zmenu skupiny nastavenia, ovládanie a resetovanie výstražných a signalizačných LED diód a textových indikácií. Ďalej sa dá pracovať aj ako inžinier / technik, ktorý môže meniť nastavenia, vymazanie zoznamu zmenových stavov, vymazanie záznamu porúch, zmenu systémového nastavenia, ako je napríklad zmena IP adresy, rýchlosti sériového prenosu dát alebo nastavenia poruchového zapisovača. Poslednou možnosťou je pracovať ako administrátor, ktorý môže meniť všetko doposiaľ menované a okrem toho navyše môže meniť heslo a aktiváciu štandardného vybavenia z výroby.

Tretia časť displeja, teda časť menu, zobrazuje aktuálne možnosti výberu a pohybu v menu.

2.1.5 Klávesnica

Je to rozhranie miestneho ovládania obsahujúce tlačidlá, ktoré sú určené pre navigáciu v rôznych zobrazeniach v rôznych menu. Týmito tlačidlami môžeme aktivovať povely pre vypnutie alebo zapnutie jedného objektu v primárnom obvode, ako napríklad vypínače, stýkače alebo odpojovače. Tlačidlá sú taktiež použité pre potvrdenie výstrah, resetovanie indikácií, vyvolávanie pomôcok a pre prepínanie medzi režimami miestneho a diaľkového ovládania.

Na Obr. 4 je možné vidieť klávesnicu ochranného terminálu RED615.



Obr. 4 Klávesnica

Význam jednotlivých tlačidiel je:

1. Tlačidlo pre zapnutie objektu
2. Tlačidlo pre vypnutie objektu
3. Tlačidlo pre výstup z položky
4. Doľava
5. Doprava
6. Hore
7. Dole
8. Enter
9. Tlačidlo pre prihlásenie / odhlásenie
10. Vymazanie
11. Tlačidlo menu

12. Tlačidlo pre prepnutie miestneho / vzdialeného ovládania
13. Pomoc
14. Komunikačný port
15. LED pripojenia komunikačnej linky
16. LED funkcie komunikácie

Pomocou šípok smerom hore a dole vyberáme tú funkciu, ktorú si chceme vybrať (pohybujeme sa hore-dole v menu). Pomocou šípok doľava a doprava potvrdzujeme voľbu, respektíve sa vraciame cestou späť. V podmenu pri otázkach odpovede potvrdzujeme tlačidlom Enter. Tlačidlom Clear sa dostávame do priestoru, kde vieme vynulovať stav LED diód, správy o poruchách.

Pomocou tlačidla, na ktorom je zobrazený list (tlačidlo menu), je možné sa dostať odkiaľkoľvek urýchlene do hlavného menu alebo na merané veličiny. Tlačidlo s otáznikom je pomocné tlačidlo, ktoré po stlačení vyhodí pomôcky. Je veľkou pomocou najmä pri skratkách v menu, kedy vypíše, čo znamená daná skratka.

Jednotka miestneho rozhrania obsahuje tlačidlo L / R pre miestne / vzdialené ovládanie inteligentného elektronického zariadenia. Ak je inteligentné elektronické zariadenie v režime miestneho ovládania, je možné inteligentné elektronické zariadenie ovládať len užívateľským rozhraním na čelnom paneli. Pokiaľ je v diaľkovom režime ovládania inteligentného elektronického zariadenia, potom sú aktivované povely vysielané z miesta diaľkového ovládania. Inteligentné elektronické zariadenie podporuje diaľkovú voľbu režimu miestneho / diaľkového ovládania, realizovaného prostredníctvom binárneho vstupu. Táto možnosť voľby režimu ovládania napríklad umožňuje, aby bol v rozvodni inštalovaný externý prepínač, ktorým je zaistené, že počas údržbových prác sú všetky inteligentné elektronické zariadenia v režime miestneho ovládania a vypínače nie je možné ovládať diaľkovo z riadiaceho centra siete.

Pomocou tlačidla, na ktorom je zobrazený kľúč (teda tlačidlo pre prihlásenie respektíve odhlásenie), sa odhlasuje jeden užívateľ a môže sa prihlásiť iný.

V oblasti klávesnice sa taktiež nachádza komunikačný port RJ-45, pomocou ktorého môžeme komunikovať vzdialene s IED. Nad týmto komunikačným portom sú umiestnené dve diódy. LED dióda na ľavej strane svieti na zeleno a poukazuje na to, že na komunikačný port RJ-45 je pripojený komunikačný kábel. LED dióda na pravej strane bliká žltou farbou. Pokiaľ dióda bliká, znamená to, že IED komunikuje s pripojeným zariadením.

2.1.6 Zadný panel

Na zadnom paneli IED RED615 sa nachádzajú svorkovnice a komunikačné porty. Zadný panel je rozdelený na niekoľko častí podľa svorkovníc či komunikačných portov. Každá svorkovnica má svoj účel a slúži na niečo iné. V základe môžeme svorkovnice rozdeliť na analógové vstupy a binárne vstupy / výstupy.

Na Obr. 5 je možné vidieť, že zadný panel IED RED615 obsahuje päť komunikačných portov a jednu komunikačnú svorkovnicu.

- X16/LD – Optický komunikačný port LC
- X1/LAN – Metalický komunikačný port
- X2/LAN – Metalický komunikačný port
- X12 – RX a TX; Optický komunikačný port ST



Obr. 5 Zadný panel

Komunikačná svorkovnica slúži na metalické pripojenie k ochrannému terminálu.

Tab. 1 Zapojenie komunikačnej svorkovnice

PIN	2-káblová komunikácia		4-káblová komunikácia	
9	COM1	A/+	COM2	Rx/+
8		B/-		Rx/-
7	COM2	A/+		Tx/+
6		B/-		Tx/-
5	AGND (izolovaná od zeme)			
4	IRIG-B +			
3	IRIG-B -			
2	GNDC (uzemnenie cez kapacitu)			
1	GND			

Taktiež na zadnom paneli IED sa nachádzajú komunikačné LED diódy. Každá z LED diód je určená pre jeden komunikačný port a jej činnosť poukazuje na pripojenie k danému portu a komunikáciu cez príslušný port.

Na zadnom paneli IED RED615 sa nachádzajú LED diódy s týmito označeniami:

- X16 – pracuje pre konektor X16/LD
- X1 – pracuje pre port X1/LAN
- X2 – pracuje pre port X2/LAN
- RX – pracuje pre svorkovnicu X5, funkcie diódy poukazuje na príjem dát COM1 2-káblková komunikácia a COM2 4-káblková komunikácia
- TX – pracuje pre svorkovnicu X5, funkcie diódy poukazuje na odosielanie dát COM1 2-káblková komunikácia a COM2 4-káblková komunikácia
- RX – pracuje pre svorkovnicu X5 a komunikačný port X12, funkcie diódy poukazuje na príjem dát COM2 2-káblková komunikácia a COM2 4-káblková komunikácia
- TX – pracuje pre svorkovnicu X5 a komunikačný port X12, funkcie diódy poukazuje na odosielanie dát COM2 2-káblková komunikácia a COM2 4-káblková komunikácia
- I-B – pracuje pre port X5, IRIG-B

Každá svorkovnica má svoje označenie. Svorkovnice na binárne vstupy a výstupy sú s označením X100 a X110. Prvé dve svorky na svorkovnici X100 sú určené na napájanie IED. Svorkovnica pre analógové vstupy má označenie X120.

2.2 Vlastnosti inteligentných elektronických zariadení RE_615

Inteligentné elektronické zariadenia RE_615 sú vybavené ochrannými, ovládacími, monitorovacími a meracími funkciami. Pre tieto funkcie môže IED chrániť, ovládať a merať elektrické stroje i elektrické vedenia.

2.2.1 IED REF615

Tieto IED sú k dispozícii v ôsmich alternatívnych konfiguráciách. Štandardnú konfiguráciu je možné upraviť prostredníctvom grafickej signálovej matice alebo doplnkovou grafickou aplikačnou funkciou nástroja PCM 600 (Protection and Control Manager).

Štandardná konfigurácia A a B pre nadprúdové nesmerové a zemné smerové chránenie je určená predovšetkým pre aplikácie káblového vývodu a vývodu vzdušného vedenia v izolovaných a kompenzovaných distribučných sieťach.

Štandardná konfigurácia C a D pre nadprúdové nesmerové a zemné nesmerové chránenie je určená predovšetkým pre aplikácie káblového vývodu a vývodu vzdušného vedenia v účinne alebo odporovo uzemnených distribučných sieťach.

Štandardná konfigurácia E pre nadprúdové nesmerové a zemné smerové chránenie s meraním fázového napätia, je určená predovšetkým pre aplikácie káblového vývodu a vývodu vzdušného vedenia v izolovaných a kompenzovaných distribučných sieťach.

Štandardná konfigurácia F pre nadprúdové smerové a zemné smerové chránenie s meraním fázového napätia s podpäťovou i nadpäťovou ochranou je určená predovšetkým pre funkčné komplexné chránenie a ovládanie asynchrónnych motorov, ktoré sú ovládané vypínačmi. Túto štandardnú konfiguráciu je s drobnými úpravami možné aplikovať pre chránenie a ovládanie motorov ovládaných stýkačmi.

Štandardná konfigurácia G pre nadprúdové smerové a zemné smerové chránenie s meraním fázového napätia s podpäťovou i nadpäťovou ochranou a so vstupmi pre

meranie signálov z meracích prúdových a napäťových senzorov, je určená predovšetkým pre aplikácie káblového vývodu a vývodu vzdušného vedenia v účinne alebo odporovo uzemnených distribučných sieťach.

Štandardná konfigurácia H pre nadprúdové nesmerové a zemné nesmerové chránenie s meraním fázového napätia i frekvencie a s napäťovými i frekvenčnými ochranami, je určená predovšetkým pre aplikácie káblového vývodu a vývodu vzdušného vedenia v účinne alebo odporovo uzemnených distribučných sieťach.

2.2.2 IED RED615

Ochranný terminál RED615 je k dispozícii v troch štandardných konfiguráciách.

Základnou konfiguráciou je štandardná konfigurácia A, ktorá je určená predovšetkým pre prúdové diferenciálne chránenie v aplikáciách kábových vývodov v distribučných sieťach. Od tejto konfigurácie sa odvíjajú ďalšie dve, pričom každá má iné ochranné funkcie navyše.

Štandardná konfigurácia B je určená predovšetkým pre prúdové diferenciálne chránenie, vrátane funkcie smerovej zemnej ochrany a funkcie automatického opätovného zapnutia, v aplikáciách kábového vývodu v distribučných sieťach.

Štandardná konfigurácia C je predovšetkým určená pre prúdové diferenciálne chránenie, vrátane funkcie nesmerovej zemnej ochrany a funkcie automatického opätovného zapnutia, v aplikáciách kábového vývodu v distribučných sieťach.

2.3 Ochranné funkcie IED RE_615

Najdôležitejšie funkcie inteligentných zariadení RE_615 sú ich ochranné funkcie. Tieto funkcie môžeme rozdeliť na niekoľko hlavných, a to:

- Trojfázová prúdová ochrana
- Ochrana proti zemnej poruche
- Diferenciálna ochrana
- Ochrana pri nerovnomernom zaťažení
- Napäťová ochrana
- Frekvenčná ochrana
- Záblesková ochrana
- Ochrana rozbehu motorov
- Viacúčelová ochranná funkcia

2.3.1 Trojfázová prúdová ochrana

Medzi prúdové ochrany patria:

- Trojfázová nesmerová nadprúdová ochrana PH_PTOC
- Trojfázová smerová nadprúdová ochrana DPH_PDOC
- Trojfázová tepelná ochrana pre vývody, káble a distribučné transformátory T1PTTR
- Trojfázová tepelná ochrana pre výkonové transformátory T2PTTR
- Ochrana pri prúdovom preťažení motora JAMPTOC
- Ochrana straty zaťaženia LOFLPTUC

- Ochrana proti tepelnému preťaženiu pre motory MPTTR

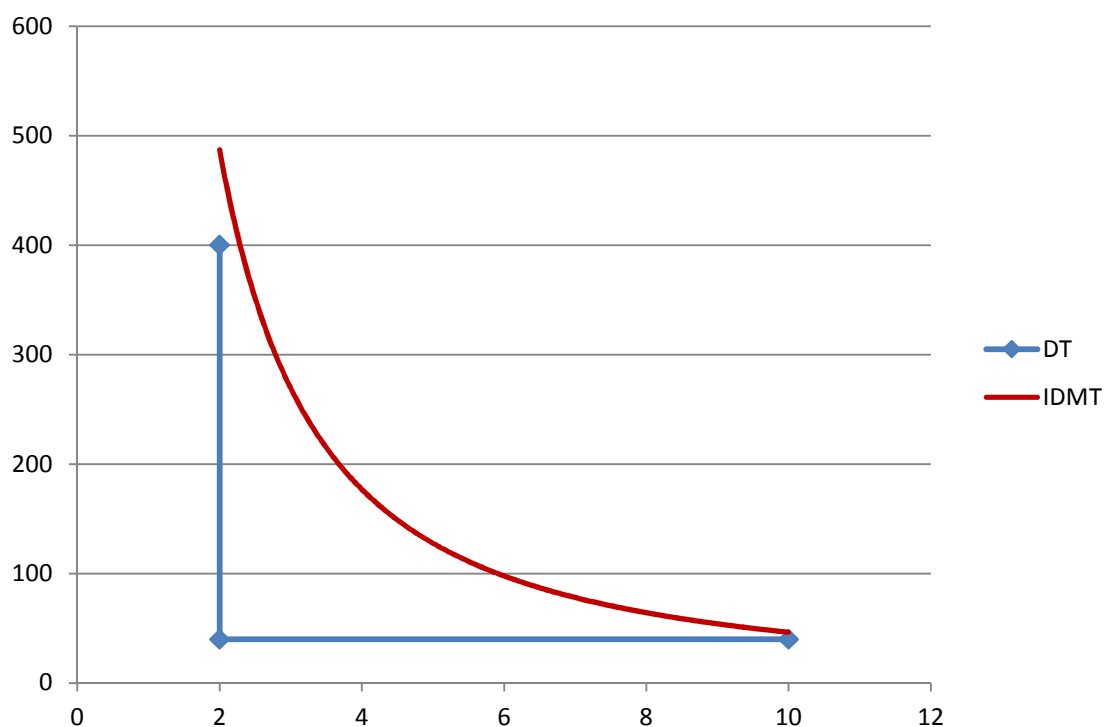
2.3.1.1 Trojfázová nesmerová nadprúdová ochrana

Trojfázová nadprúdová ochrana PHxPTOC sa používa ako jednofázová, dvojfázová alebo trojfázová nesmerová nadprúdová a skratová ochrana pre prípojnice. Táto ochrana je odstupňovaná tromi ochrannými funkciami, a to:

- PHLPTOC – trojfázová nadprúdová nesmerovaná ochrana, stupeň s nižším nastavením
- PHHPTOC – trojfázová nadprúdová nesmerovaná ochrana, stupeň s vyšším nastavením
- PHIPTOC – trojfázová nadprúdová nesmerovaná ochrana, okamžitý stupeň

Funkcia sa spustí, keď prúd prekročí nastavenú hodnotu prúdu. Vypínací čas charakteristiky pre nízky stupeň PHLPTOC aj vysoký stupeň PHHPTOC volíme. Pri týchto dvoch funkciách môžeme vybrať časovo nezávislú charakteristiku (DT) alebo časovo závislú charakteristiku (IDMT). Okamžitý stupeň PHIPTOC vždy pracuje s DT charakteristikou.

Porovnanie tvarov nezávislej (DT) a závislej (IDMT) charakteristiky je na Obr. 6.



Obr. 6 Vypínacie charakteristiky DT a IDMT

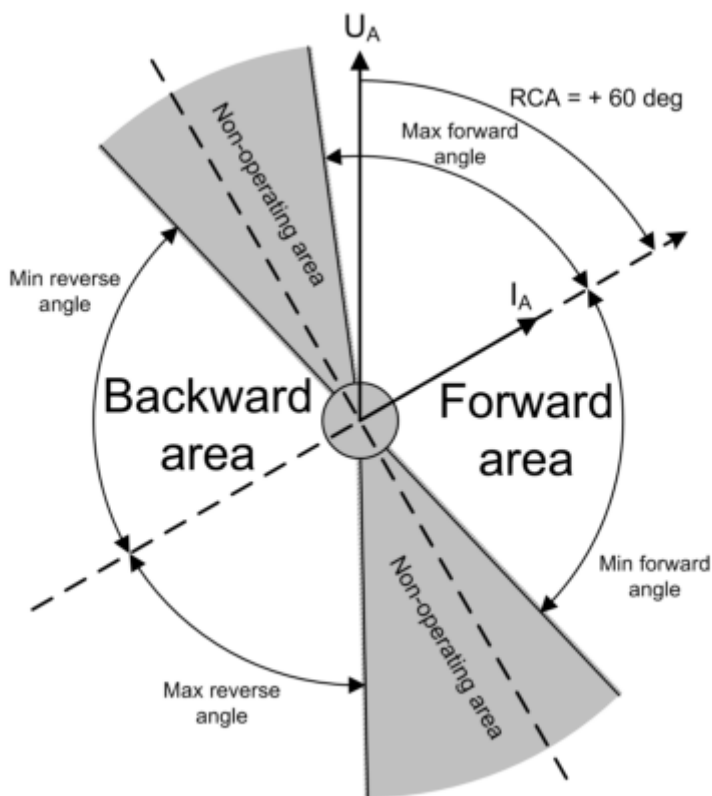
2.3.1.2 Trojfázová smerová nadprúdová ochrana

Trojfázová nadprúdová ochrana DPHxPDOC sa používa ako jednofázová, dvojfázová alebo trojfázová smerová nadprúdová a skratová ochrana pre prípojnice. Táto ochrana je odstupňovaná dvoma ochrannými funkciami, a to:

- DPHLPDOC – trojfázová smerová nadprúdová ochrana, stupeň s nižším nastavením
- DPHHPDOC – trojfázová smerová nadprúdová ochrana, stupeň s vyšším nastavením

Smerový výpočet, ktorý je súčasťou tejto funkcie, porovnáva aktuálny fázor prúdu s polarizačným fázorom. Túto ochranu môžeme používať aj ako nesmerovú, a to tak že si možnostiach nastavenia tejto ochrannej funkcie vyberieme nesmerovanú ochranu. V prípade smerovej funkcie vyberáme smer vpred alebo spätný.

Pri smerovej ochrane sa pre túto funkciu zadáva takzvaný charakteristický uhol nastavenia siete. Hodnota tohto uhla sa volí tak, aby všetky chyby v chránenej oblasti boli označené v operačnej zóne ochrany teda v zóne pôsobenia ochrany. Chyby mimo ochrannú oblasť sa zobrazia v normálnej prevádzkovej oblasti teda nebudú označené ako poruchové stavy. Hodnota charakteristického uhla závisí na konfigurácii siete (Obr. 7).



Obr. 7 Konfigurácia operačných zón pri smerovaní ochrany

2.3.1.3 Trojfázová tepelná ochrana pre vývody, káble a distribučné transformátory

Zvyšovanie využívania elektrických systémov na ich maximálnu možnú hladinu vyvolalo potrebu vytvoriť tepelnú ochrannú funkciu. V niektorých prípadoch použitia ochranných funkcií nie je zisťované preťaženie vplyvom teploty. Pre bezpečnú prevádzku a zvýšenie výkonov k limitným hodnotám systému sa preto používa ochranná funkcia T1PTTR.

Pri ohrození systému tepelným preťažením, alarm včas upozorní dispečerov, aby odľahčili systém pred tým, ako dôjde k poruche. Systém včasného varovania je založený na trojfázovom meraní prúdu, funkciou pomocou tepelného modelu prvého rádu s tepelnou stratou a s nastaviteľnou časovou konštantou.

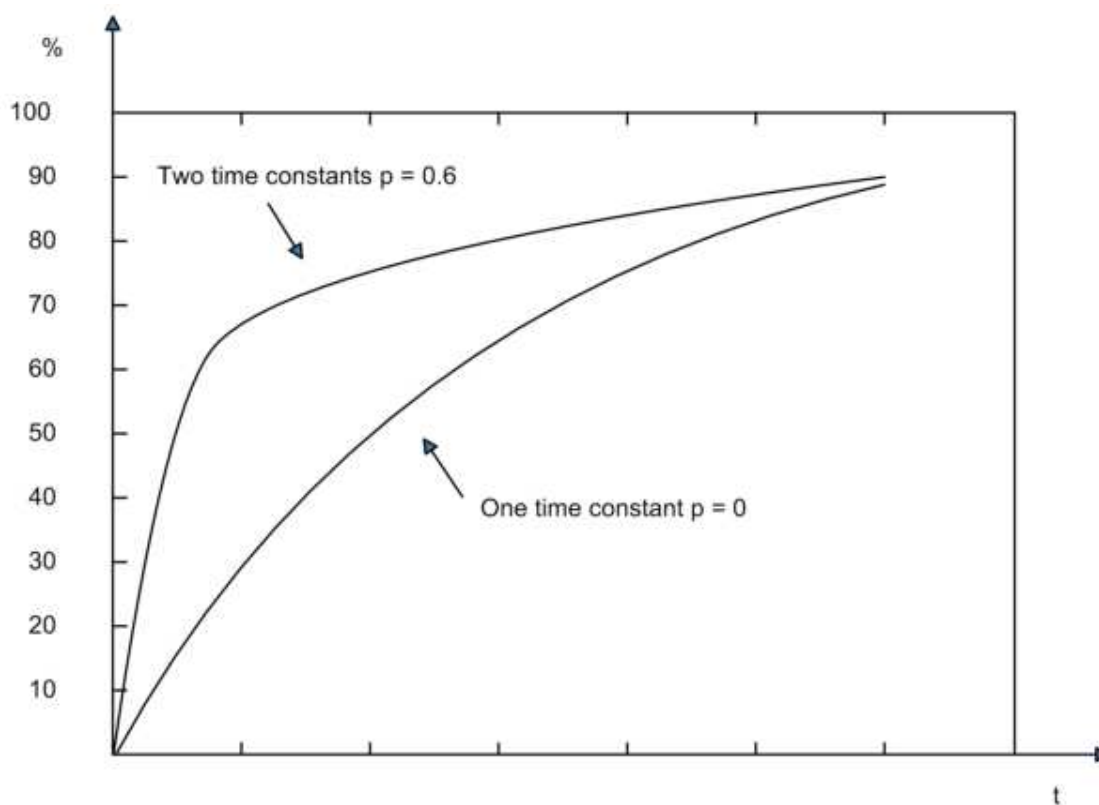
2.3.1.4 Trojfázová tepelná ochrana pre výkonové transformátory

Trojfázová ochrana proti tepelnému preťaženiu s dvoma časovými konštantami funkcie ochrany T2PTTR chráni transformátor predovšetkým pred krátkodobým tepelným preťažením.

Pred dlhodobým tepelným preťažením sa výkonové transformátory chránia ochranami, ktoré sú ich priamou súčasťou. Tieto ochrany sledujú teplotu chladiaceho oleja transformátora a podľa tejto teploty vyhodnocujú stav.

Poruchový signál vyslaný funkciou chránenia pred tepelným preťažením má časovú rezervu na to, aby umožnil operátorom transformátora znížiť zaťaženie transformátora, alebo odpojiť daný transformátor, aby na ňom nevznikla porucha.

Systém včasného varovania je založený na meraní trojfázového prúdu pomocou tepelného modelu s dvomi časovými konštantami (Obr. 8).



Obr. 8 Časové konštanty tepelného modelu

2.3.1.5 Ochrana zaťaženia motora v prevádzke

Ochrana zaťaženia motora sa používa pri odstavenom motore alebo pri bežnej prevádzke. Táto funkcia je však blokována pri rozbehu motora. Po prekročení počiatkovej fázy rozbehu ochranná funkcia začne sledovať veľkosť fázorov prúdov.

Funkcia sa spustí, keď prúd prekročí havarijnú hodnotu momentu motora. Operačná charakteristika je časovo nezávislá.

2.3.2 Ochrana proti zemnej poruche

Rovnako ako prúdové ochrany aj ochrany proti zemným poruchám majú niekoľko ochranných funkcií. Ochranné zariadenia typového vyhotovenia RE_615 sú vybavené týmito funkciami na ochranu proti zemným poruchám:

- Nesmerovaná zemná ochrana, EF_PTOC
- Smerová ochrana proti zemným poruchám, DEF_PDEF
- Prechodná / prerušovaná zemná ochrana, INTRPTEF
- Zemná ochrana pracujúca na admitančnej báze, EFPADM
- Zemná ochrana pracujúca na harmonickej báze, HAEFPTOC
- Výkonová zemná ochrana, WPWDE

2.3.2.1 Nesmerovaná zemná ochrana

Nesmerovaná ochrana pred zemnou poruchou sa používa pri chránení vývodov a prípojnic. Ochranná funkcia je odstupňovaná tromi funkciami, a to:

- EFLPTOC – Nesmerovaná zemná ochrana, stupeň s nižším nastavením
- EFHPTOC – Nesmerovaná zemná ochrana, stupeň s vyšším nastavením
- EFIPTOC – Nesmerovaná zemná ochrana, okamžitý stupeň

Ochranná funkcia začne reagovať keď zvyškový prúd presiahne nastavenú hodnotu. Vypínací čas charakteristiky pre nízke stupeň PHLPTOC aj vysoký stupeň PHHPTOC volíme. Pri týchto dvoch funkciách môžeme vybrať časovo nezávislú charakteristiku (DT) alebo časovo závislú charakteristiku (IDMT). Okamžitý stupeň PHIPTOC vždy pracuje s DT charakteristikou.

2.3.2.2 Smerová zemná ochrana

Rovnako ako nesmerová zemná ochrana aj táto ochrana sa používa pri prípojniciach a vývodoch. Táto ochrana pozostáva z dvoch ochranných funkcií, a to:

- DEFLPDEF – Smerovaná zemná ochrana, stupeň s nižším nastavením
- DEFHPDEF – Smerovaná zemná ochrana, stupeň s vyšším nastavením

Táto ochranná funkcia začne reagovať vtedy, ak prevádzková veličina (prúd) a polarizačná hodnota (napätie) prekročia stanovené hodnoty a uhol medzi nimi je v nastavenej pracovnej oblasti

2.3.2.3 Zemná ochrana pracujúca na admitančnom princípe

Ochranná funkcia EFPADM poskytuje selektívnu ochrannú funkcie pri zemných poruchách pre siete uzemnené, izolované aj kompenzované. Túto ochranu je možné použiť pre vzdušné vedenia rovnako ako aj pre podzemné káblové vedenia. Táto ochranná funkcia môže byť použitá ako alternatívne riešenie pri tradičných zemných ochránach na princípe zvyškových prúdov. Hlavnými výhodami EFPADM sú:

- Univerzálne použitie
- Dobrá citlivosť

- Jednoduché principiálne nastavenia

Táto ochranná funkcia je založená na princípe vyhodnocovania neutrálnej admitancie siete Y_0 , pričom sa zohľadňujú nulové zložky prúdu I_0 a napätia U_0 . Táto admitancia je počítaná teda nasledovne:

$$Y_0 = \frac{I_0}{-U_0} \quad (1)$$

Meraná admitancia je porovnávaná s hranicami admitančných charakteristík v admitančnej rovine. Zemné poruchy mimo chránenú oblasť a v chránenej oblasti teda možné zobrazovať v admitančnej rovine

Nastavenia ochrannej funkcie s admitančným princípom umožňujú rozličnú škálu operačných charakteristík. Podľa konfigurácie siete a potreby chránenia je možnosť nastaviť ochrannú funkciu na smerovú ochrannú funkciu alebo nesmerovú a taktiež vybrať zónu chránenia.

2.3.3 Diferenciálna ochrana

K princípu fungovania rozdielovej (diferenciálnej) ochrany patrí výpočet rozdielového prúdu chráneného pásma. Na vstupe aj na výstupe ochranného pásma sa merajú vtekajúce a vychádzajúce prúdy. Pomocou komunikačného kanálu pre výmenu dát sa prúdy, namerané na vstupe a výstupe, spočítajú. Pri normálnej prevádzke by sa rozdielový prúd mal rovnať takmer nule. Diferenciálna ochrana je fázovo oddelená a rozdielové prúdy sa na oboch koncoch počítajú samostatne.

Nastavenie diferenciálnej ochrannej funkcie na IED je možné priamo na ochrannom termináli alebo vzdialene. Priamo na termináli sa to dá cestou:

Hlavné menu → nastavenia (*settings*) → nastavenia (*settings*) → diferenciálna ochrana (*differential prot*)

Touto cestou sa dostaneme k dvom funkciám, a to:

- BSTGGIO1 – prenos binárneho signálu
- LNPLDF1 – diferenciálna ochrana vedenia s príslušným meraním, stabilizovaný a okamžitý stupeň

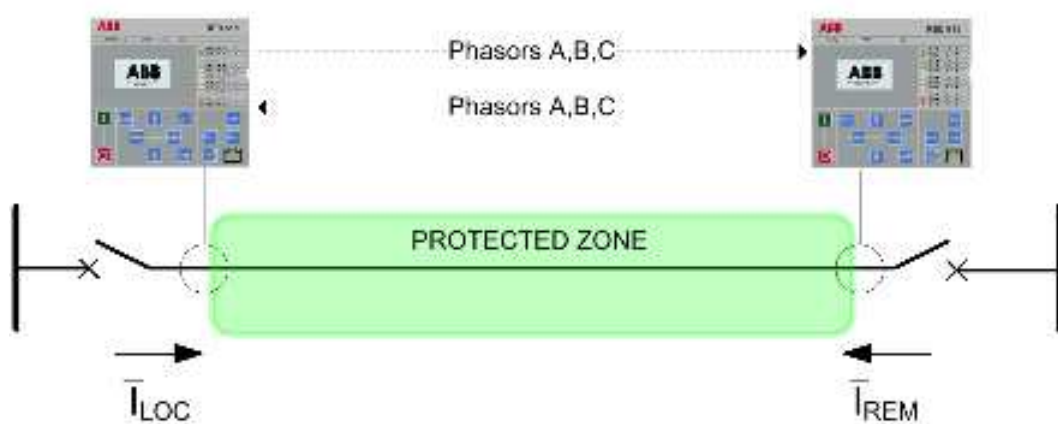
Pre diferenciálnu funkciu je potrebné nastaviť diferenciálne ochranné nastavenia. Tieto nastavenia diferenciálnej ochrany nastavujeme podľa chráneného objektu. V prípade IED RED615 chráneným objektom je krátke vedenie alebo kábel distribučného vedenia s dvoma koncami.

Pre skúšanie diferenciálnej ochrannej funkcie je potrebné zostrojiť diferenciálnu charakteristiku. Pre zostrojenie diferenciálnej charakteristiky je potrebné vedieť rozdielový prúd I_{Dif} a záťažný prúd I_{Bias} . Tieto prúdy je možné vypočítať ako:

$$I_{Dif} = \left| \bar{I}_{LOC} + \bar{I}_{REM} \right| \quad (2)$$

$$I_{Bias} = \frac{\left| \bar{I}_{LOC} - \bar{I}_{REM} \right|}{2} \quad (3)$$

Zapojenie ochrán pri diferenciálnom chránení je na Obr. 9. Chránená oblasť (*Protected zone*) je určená umiestnením prístrojových transformátorov prúdu, ktoré sledujú príslušné prúdové fázory.



Obr. 9 Diferenciálne chránenie

2.3.4 Ochrana pri nerovnomernom zaťažení

Táto ochrana pozostáva zo štyroch ochranných funkcií, a to:

- Nadprúdová ochrana spätnej zložky NSPTOC
- Ochrana pri fázovej nevyváženosti PDNSPTOC
- Ochrana proti zámene fáz PREVPTOC
- Nadprúdová ochrana spätnej zložky pre motory MNSPTOC

Nadprúdová ochrana spätnej zložky NSPTOC slúži k zvýšeniu citlivosti zisťovania porúch na jednej fáze alebo medzi viacerými fázami. Taktiež zisťuje nerovnomernosť zaťaženia fáz, ktoré nastane napríklad v dôsledku prerušenia jedného z vodičov alebo nesymetrického napätia.

Ochrana pri fázovej nevyváženosti PDNSPTOC zasahuje pri situáciách poškodených vodičov, kedy dochádza k fázovej nerovnomernosti. Táto nerovnomernosť sa zisťuje porovnávaním prúdov (I_2/I_1). Pri prekročení nastavenej hodnoty nerovnomernosti ochranná funkcia začne reagovať.

Ochrana proti zámene fáz zisťuje správnosť poradia fáz. Táto ochrana funguje za pomoci trojfázového motora tak, že ochranná funkcia sleduje spätnú zložku prúdu I_2 z motora.

2.3.5 Napät'ová ochrana

Napät'ovú ochranu zastupuje päť ochranných funkcií, a to:

- Trojfázová nadpät'ová ochrana PHPTOV
- Trojfázová podpät'ová ochrana PHPTUV
- Nadpät'ová ochrana na báze merania U_0 ROVPTOV
- Nadpät'ová ochrana spätnej zložky NSPTOV
- Podpät'ová ochrana súslednej zložky PSPTUV

Trojfázová nadpät'ová ochrana PHPTOV sa používa najmä vo výkonových častiach sústavy ako napríklad generátory, transformátory, motory a vedenia vysokých výkonov. Používa sa tam, kde by prepätie mohlo poškodiť izoláciu a spôsobiť stratu elektrickej pevnosti.

Trojfázová podpäťová ochrana PHPTUV slúži na odpojenie napríklad elektromotorov od siete v prípade, že hrozí poškodenie tohto elektromotora pôsobením nízkej hodnoty napätia.

Nadpäťová ochrana na báze merania U_0 ROVPTOV sa používa v distribučných sieťach kde hodnota nadpätia môže dosiahnuť neakceptovateľné hodnoty. Ochranná funkcia meria napätie U_0 . Ak táto hodnota prekročí nastavený limit, ochrana začne pôsobiť.

Nadpäťová ochrana spätnej zložky NSPTOV sa používa pre ochranu strojov. Pre svoju funkciu sleduje spätnú zložku napätia.

Podpäťová ochrana súslednej zložky PSPTUV využíva pre svoju funkciu meranie súslednej zložky napätia. Táto ochranná funkcia má využitie pri chránení malých elektrární.

2.3.6 Frekvenčná ochrana

Frekvenčná ochrana FRPFRQ sa používa na ochranu sieťových komponentov proti abnormálnej frekvencii. Ochrana reaguje rovnako na zvýšenú aj na zníženú frekvenciu.

3 Testovanie inteligentných elektronických zariadení

Na overenie činnosti elektrických ochrán sa v dnešnej dobe využívajú moderné testovacie zariadenia s množstvom funkcií, ktoré výrobcovia ponúkajú na trhu vo veľkom množstve. Tieto prístroje sa vyhotovujú ako kompaktné a flexibilné zariadenia spolupracujúce s počítačom, ktoré poskytujú pracovníkom jednoduchú a komfortnú manipuláciu. Vzhľadom na ich cenu si ich v súčasnosti zadávajú len väčšie podniky, ktoré sa zoberajú problematikou elektrických ochrán.

3.1 Primárne skúšky ochrán

Tento typ skúšky sa týka celého obvodu PTP (primárneho a sekundárneho vinutia), vypínacieho obvodu a všetkých pripojených vedení. Nie je potrebné rušiť vedenia ani prepínať PTP a ochranné obvody. Nevýhodou týchto testov je, že sú náročné na čas, organizovanie a financie.

Stále viac sa spolieha na to, že všetky káble a inštalačné schémy sú správne zapojené a sekundárne testovanie bolo vykonané úspešne. Za týchto okolností primárne testovanie môžeme vynechať. Avšak chyby vedení medzi PTN / PTP a ochranou alebo nesprávne polarizácie PTN a PTP sa neobjavia skôr, pokiaľ nedôjde k nesprávnemu vypnutiu v prevádzke alebo vážnejšej chybe a následovne popudu na vypnutie. Toto riziko je oveľa menšie pri použití digitálnych ochrán, pretože obsahujú meranie napätia / prúdu na displeji zariadenia, ktorý je súčasťou ochranného terminálu a dovoľuje kontrolovať hodnoty vstupov do ochrany. Primárne testovanie je však jediný spôsob ako preukázať správnu inštaláciu a funkciu celého systému chránenia.

Ako už bolo uvedené, primárne testovanie sa vykonáva vždy po sekundárnom testovaní s cieľom overiť, či problémy sú obmedzené len na PTN a PTP, ich zapojenie a súvisiace vedenia. Všetky ostatné zariadenia v systéme ochrany by mali mať preukázané vyhovujúce skúšky zo sekundárneho testovania.

3.1.1 Prístroje určené na primárne skúšanie ochrán

Alternátor je najvhodnejší zdroj pre poskytovanie vysokého prúdu, potrebného pre primárne testovanie. Bohužiaľ je k dispozícii len zriedka, pretože sú potrebné rôzne druhy zberníc a vybavení. Preto sa primárne testovanie obvykle vykonáva pomocou prenosných injekčných transformátorov. Tieto transformátory sú napájané miestnou sieťou. Obsahujú niekoľko vinutí s nízkym napätím, ale vysokým prúdom. Tie môžu byť zapojené do série alebo paralelne, podľa potreby a odporu vinutia. Pri moderných testovacích zariadeniach riadených počítačom obsahujúcich výkonové zosilňovače môžeme získať prúd od 200 A do 800 A podľa výkonnosti daného modelu.

V súčasnosti sa môžeme na trhu stretnúť s týmito prístrojmi LET-400-RD od EuroSMC, SCI 360 od Leconi Technology, COMPACTEST GCT od Next Gen Equipment a mnohými ďalšími. Keďže sa táto publikácia venuje hlavne opisu prístroja CMC 156 pre sekundárne skúšky, tak pre krátky opis primárneho testovacieho prístroja bolo vybrané zariadenie od rovnakej firmy – OMIRCRON CPC 100 (ďalej len CPC 100), ktorý sa bežne využíva v Slovenských firmách a patrí medzi najmodernejšie zariadenia svojho druhu (napr. využívaný firmou VSE pri primárnych skúškach).

3.2 Sekundárne skúšky ochrán

Sekundárne skúšky sa vždy majú vykonať pred primárnymi skúškami ochrán, kvôli tomu, aby sa minimalizovalo riziko pri prvom testovaní. Primárna strana zariadenia je odpojená, takže nemôže dôjsť k poškodeniu alebo k ohrozeniu zdravia. Cieľom sekundárneho testovania je preukázať správnu činnosť systému ochrany. Typ ochrany na testovanie určuje použitie typu zariadení na sekundárne skúšky. Rozsah skúšok do značnej miery určuje klient. Ochrana môže byť testovaná od jednoduchých kontrol až po komplexné overenie celej ochrany vrátane overenia charakteristík, popudu na vypnutie výkonového vypínača, reakcie na prechodné deje, harmonické a ďalšie kontroly podľa požiadavky zákazníka.

3.2.1 Prístroje určené na sekundárne skúšanie ochrán

V súčasnosti sa na sekundárne skúšky elektrických ochrán využívajú moderné testovacie súbory (sety), ktoré sú počítačovo riadené. Tieto sety zahŕňajú PC (s vhodným softvérom) a výkonový zdroj, ktorý spracováva signály na nízkej úrovni a prevádza ich na požadované napäťové a prúdové výstupy, ktoré sú merané s veľkou presnosťou.

Príslušný softvér umožňuje jednoducho a prehľadne nastaviť amplitúdy, fázové uhly, frekvenciu a ďalšie parametre výstupných signálov. Tieto výstupné signály sú vhodné pre napájanie napäťových a prúdových vstupov ochrán (vstupy, na ktoré sú za normálnej prevádzky pripojené vedenia z PTP a PTN).

V porovnaní s tradičnými testovacími zariadeniami sú moderne sety presnejšie a bezpečnejšie. Poskytujú možnosť pripojenia popudového a vypínacieho signálu z ochrany na digitálny vstup zariadenia, ktorý sa vyhodnocuje programovo v PC. Parametre prevádzky ochrany sa automaticky monitorujú a zaznamenávajú. Tieto sety môžu obsahovať nespočetné množstvo vybavenia a rôznych rozšírení, ktoré uľahčia testovanie modernej digitálnej ochrany. Softvér moderných testovacích setov je schopný otestovať širokú škálu ochrán s možnosťou automatického vyhodnotenia a uloženia vykonaného merania vo vhodnom formáte pre tlač. Užívateľsky prístupné prostredie a jednoduchosť vyhotovenia samostatných prístrojov umožňuje pracovníkom pracovať efektívnejšie, čo vedie k zníženiu času potrebného na testovanie.

V súčasnosti sa môžeme na trhu stretnúť s týmito testovacími prístrojmi SCITS100, SITS-120 a FREJA 300 od Meggeru, K3030i od KINGSINE, RT100 od Delight Supply, SCI350, PTE-50-CE, MENTOR-12 a mnohými ďalšími. Medzi takéto zariadenia patrí aj CMC 156 od firmy OMICRON, ktoré je bližšie opísané v nasledujúcej kapitole.

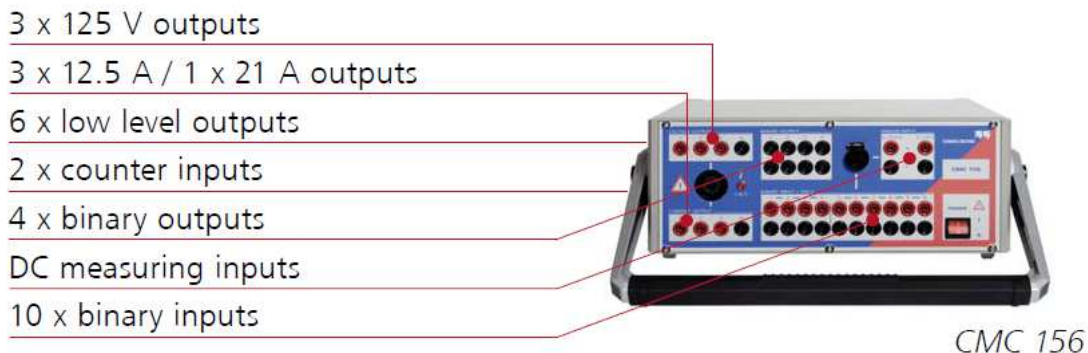
3.2.2 OMICRON CMC 156

OMICRON CMC 156 (ďalej len CMC 156) je unikátne testovacie zariadenie ochrán (viď Obr. 10), ktoré má vynikajúce vlastnosti a absolútnu kvalitu svojich skúšobných súprav. Oproti starším testovacím zariadeniam má lepšiu flexibilitu, presnosť, spoľahlivosť a prenosnosť. Elektronický dizajn vnútorných zesilovačov a použitý spínaný zdroj napájania zabezpečujú minimálnu hmotnosť a objem zariadenia.

CMC 156 je skúšobné zariadenie ovládané cez PC, ktoré je určené pre skúšanie:

- ochrán,
- prevodníkov,

- elektromerov.



Obr. 10 Skúšobné zariadenie CMC 156

Skúšobné zariadenie CMC 156 je ovládané osobným počítačom. Na PC je spustený program Test Universe, ktorý komunikuje s CMC 156 cez dodávaný spojovací kábel. Po nastavení komunikácie sa môže pripojiť CMC 156 k meranému objektu (ochrane). Využitie vyššie zvýraznených komponentov je nevyhnutnou podmienkou správnej činnosti CMC 156. Prepojenie testovacieho zariadenia a skúšobného PC je zobrazené na Obr. 11.



Obr. 11 CMC 156 prepojený s PC cez špeciálny kábel

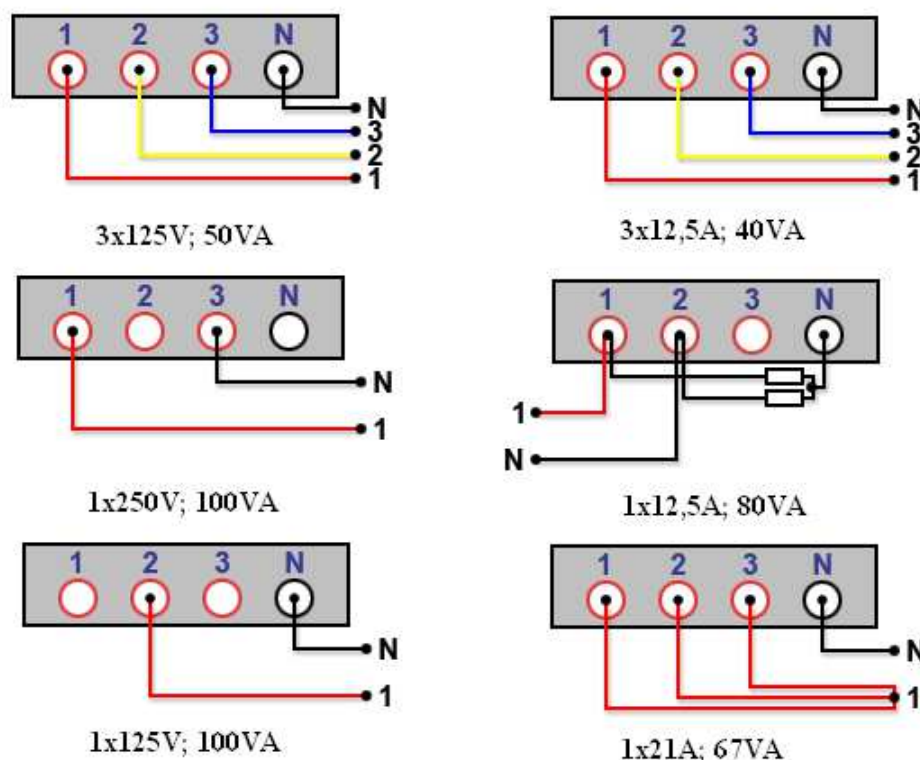
Skúšobný softvér pracujúci na PC:

- riadi skúšobné signály
- spracováva namerané údaje
- generuje dátové vstupy

CMC 156:

- vytvára skúšobné signály (prúdy, napätia, binárne signály)
- meria odozvu (analogovú a binárnu) zo skúšaného objektu
- dodáva jednosmerný prúd do skúšaného objektu

Žiadaný prúdový a napäťový rozsah výstupov CMC 156 je potrebné nastaviť najprv pomocou softvéru, kde každá zmena rozsahu hraničných hodnôt výstupov si vyžaduje aj zmenu ich zapojenia podľa špecifikácie znázornenej v hardvérovej konfigurácii (napäťové a prúdové výstupy alebo každé osobitne podľa potreby, viď Obr. 12). Táto zmena sa zadáva v každom skúšobnom module zvlášť pred nastavením parametrov skúšaného objektu.



Obr. 12 Príklady zapojenia napäťových a prúdových analógových výstupov CMC 156

CMC 156 obsahuje ochranu prúdových a napäťových výstupov, ktorá pôsobí pri:

- rozpojení obvodu,
- preťaženie obvodu,
- skratovanie obvodu.

3.2.3 Vyššie rady a hardvérové rozšírenia prístrojov CMC

Firma OMICRON ponúka v dnešnej dobe širokú škálu testovacích zariadení (ako pre primárne tak aj pre sekundárne skúšky ochrán), prídavných zosilňovačov a rôzneho prídavného príslušenstva k meracím zariadeniam. V nasledujúcich podkapitolách sú opísané niektoré z takýchto zariadení, z ktorých sa dá vyskladať požadovaná skúšobná súprava, alebo nájsť taký rad testovacieho prístroja (CMC 256, CMC 356 atď.), ktorý spĺňa všetky požiadavky skúšajúceho technika (resp. zahŕňa všetky potrebné testy pre daný typ IED).

3.2.3.1 CMC 256 plus

Veľmi presný testovací prístroj pre testovanie všetkých typov ochrán (Obr. 13). Táto jednotka je nielen výborným skúšobným zariadením pre ochrany všetkého druhu ale aj univerzálnym kalibrátorom. Jeho vysoká presnosť umožňuje kalibráciu širokej škály meracích prístrojov, vrátane elektromerov (triedy 0,2), elektrických zariadení na meranie kvality a fázorových meracích jednotiek (PMU). Na rozdiel od CMC 156 obsahuje navyše ešte jednu prúdovú trojicu a možnosť prepojenia s PC pomocou LAN kábla.



Obr. 13 Skúšobné zariadenie CMC 256 plus

3.2.3.2 CMC 353

Kompaktné a univerzálne trojfázové testovacie zariadenie ochrán (Obr. 14). Vďaka kompaktnému dizajnu a nízkej hmotnosti (12,9 kg) poskytuje perfektnú kombináciu presnosti a výkonu. Je to ideálna testovacie zariadenie pre trojfázové ochrany a pre systém SCADA pri jeho uvedení do prevádzky. CMC 353 pokrýva širokú škálu problémov v ochrannej technike – od testovania elektromechanických ochrán až po testovanie s najnovšími IEC 61850 IED.



Obr. 14 Skúšobné zariadenie CMC 353

3.2.3.3 CMC 356

CMC 356 (viď Obr. 15) je univerzálne riešenie pre testovanie všetkých generácií a typov ochrán a pre ich uvedenie do prevádzky. Obsahuje výkonný zdroj prúdu s veľkým dynamickým rozsahom. Je schopný testovať ochrany s vysokou energetickou

náročnosťou. CMC 356 je prístroj s vysokou všestrannosťou a vysokým výkonom. Technici najviac ocenia jeho schopnosť testovať transformátory prúdu pomocou primárnej injektovania vysokých prúdov. Obsahuje tiež integrovanú sieť pre testovanie IED s IEC 61850.



Obr. 15 Skúšobné zariadenie CMC 356

3.2.3.4 CMC 850

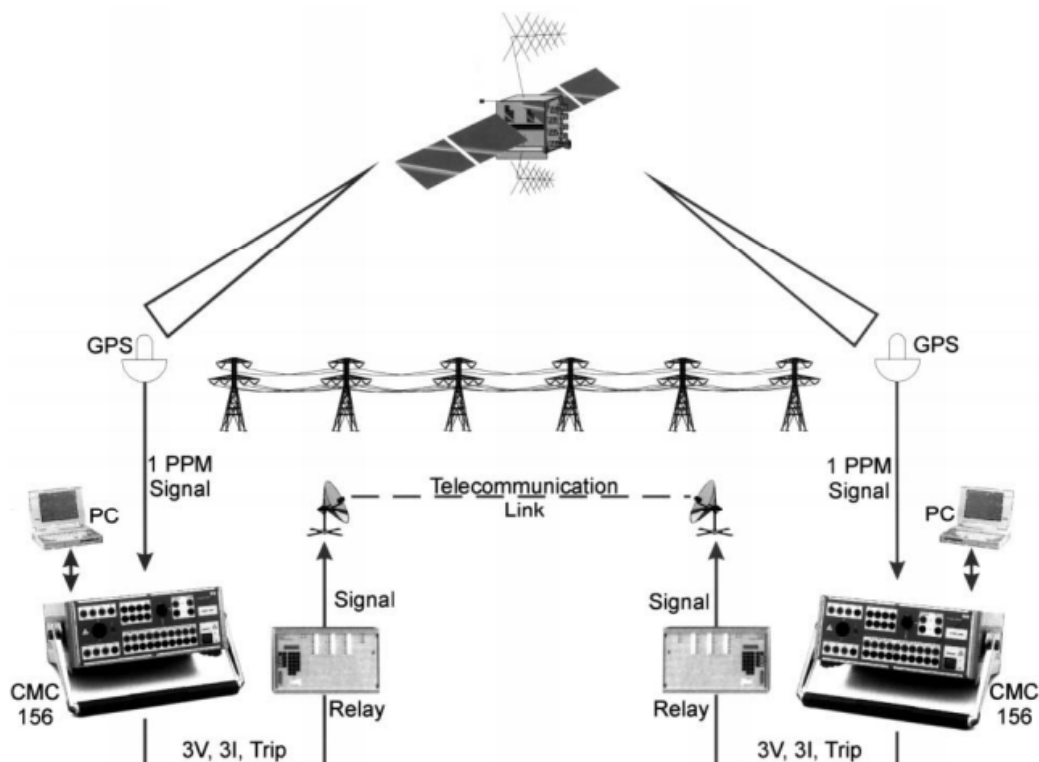
CMC 850 (Obr. 16) je prvá testovacia jednotka venovaná výlučne testovaniu IEC 61850. Zameriava sa na metódy komunikácie v reálnom čase (GOOSE) a vzorkovaním hodnôt rozhrania s prístrojmi v rámci testu. Rovnako ako všetky ostatné CMC testovacie sety aj CMC 850 je riadený softvérom Test Universe. Ponúka tiež niekoľko vstavaných funkcií, ktoré sú prístupné pomocou webového rozhrania (štandardný webový prehliadač).



Obr. 16 Skúšobné zariadenie CMC 850

3.2.3.5 CMGPS modul

Pri vykonávaní testov end-to-end (Obr. 17) pre ochranné systémy, je potrebné spustiť niekoľko testovacích zariadení naraz. CMGPS prijíma signály z globálneho lokalizačného systému (GPS – Global Positioning System) a poskytuje výstup v čase určenom používateľom. Tento časový výstup sa použije ako spúšťací vstup pre spustenie testovacieho setu CMC. Synchronizačný impulz môže byť nakonfigurovaný podľa požiadaviek danej aplikácie. Tento softvér je integrovaný do testovacích modulov.



Obr. 17 Synchronizácia dvoch prístrojov CMC 156 cez CMGPS modul

3.2.4 Softvér Test Universe

Test Universe poskytuje plný rozsah funkcií pre definovanie a vykonanie komplexných skúšok akejkoľvek ochrany podľa smerníc výrobcu alebo skutočného nastavenia a použitia ochrany. Tento program disponuje širokou škálou testovacích modulov (viď Obr. 18), ktoré môžu fungovať buď samostatne, alebo môžu byť vložené do testovacích plánov pre plne automatizované testovanie. Testovacie moduly boli vytvorené pre automatizáciu skúšok, poskytujú automatické vyhodnotenie a vygenerovanie skúšobného protokolu.

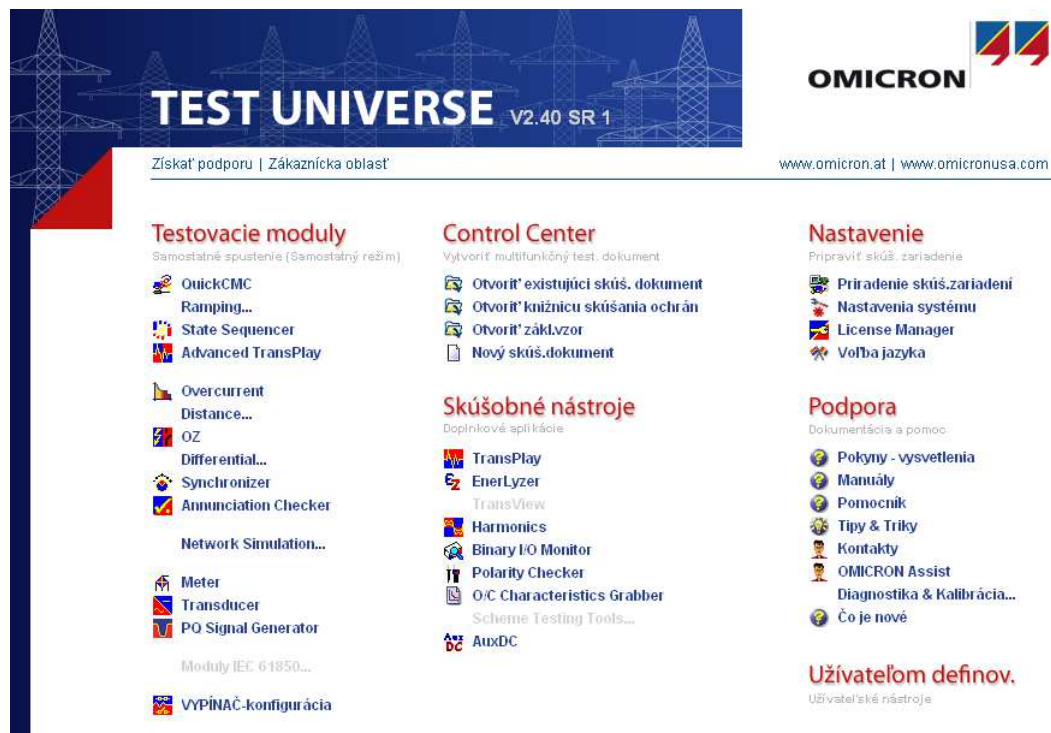
Pred každým testovaním je potrebné, vo všetkých moduloch, najprv nastaviť parametre skúšaného objektu (Test object parameters) a nakonfigurovať hardvér (Hardware configuration) prístroja CMC 156. Tieto nastavenia sú pre každý modul rovnaké. Okrem týchto nastavení sú aj ďalšie špecifické nastavenia, ktoré sú už u každého modulu individuálne.

Pod pojmom nastavenie parametrov skúšaného objektu sa rozumie:

- Nastavenie parametrov testovaného zariadenia (U_{PRI} , U_{SEK} , I_{PRI} , I_{SEK} , f_n)
- Popis zariadenia (názov, výrobca, typ, sériové číslo atď.)
- Doplňujúce údaje (názov rozvodne, kde je zariadenie umiestnené atď.)

Pod pojmom konfigurácia hardvéru (CMC 156) sa rozumie:

- Spôsob zapojenia analógových výstupov CMC
- Nastavenie pripojenia skúšobných súprav
- Aktivovanie a konfigurovanie ostatných vstupov a výstupov CMC



Obr. 18 Základné prostredie programu Test Universe

3.3 Skúšanie ochranných funkcií IED série 615

Po nastavení jednotlivých ochranných funkcií je potrebné činnosť IED (ochrany) overiť pomocou testovacích skúšok. Ak ochrana testu vyhoví, je možné konštatovať, že pracuje správne a je ju možné používať v praxi, resp. v laboratórnych podmienkach.

Inteligentné elektronické zariadenie REF615 bolo testované pomocou skúšobného zariadenia CMC156 od firmy OMICRON. Výsledkom sú protokoly (reporty) z obslužného programu TEST UNIVERSE.

3.3.1 Testovanie nadprúdových funkcií REF615

Testované ochranné nadprúdové funkcie sú:

- Ochranná funkcia PHIPTOC1
- Ochranná funkcia DPHHPDOC1
- Ochranná funkcia DPHLPDOC1
- Ochranná funkcia DPHLPDOC2

3.3.1.1 Parametrizácia REF615

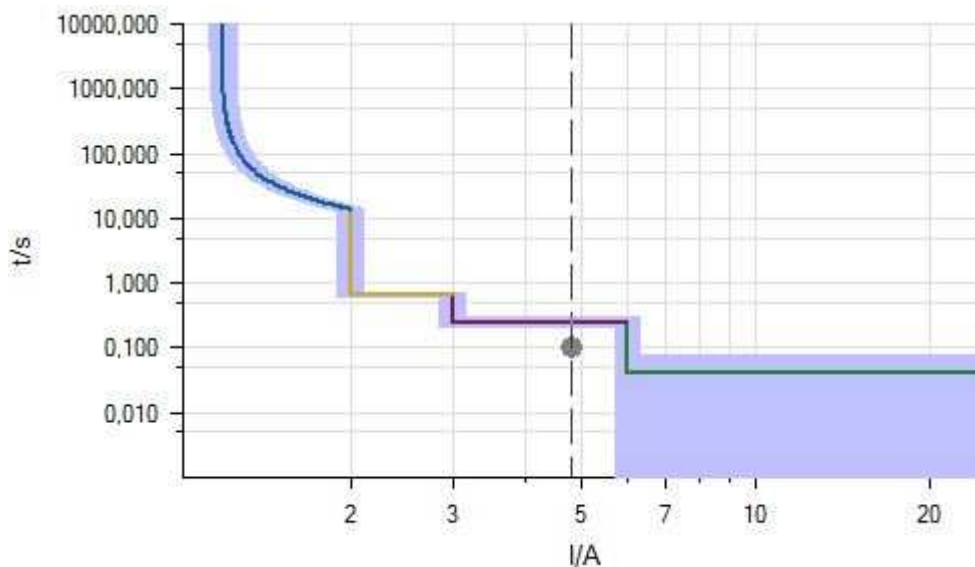
Parametre nadprúdových funkcií sú nastavené podľa nasledujúcej tabuľky.

Tab. 2 Nastavené parametre nadprúdových funkcií

Ochranné funkcie	Parametre	Nastavená hodnota
PHIPTOC1	Operation	ON
	Num. Of start phases	1 out of 3
	Start value	6xIn
	Operate delay time	40ms
DPHHPDOC1	Operation	ON
	Start value	3xIn
	Operate delay time	250ms
	Directional mode	non directional
	Num. Of start phases	1 out of 3
	Operating curve type	IEC Def. Time
DPHLPDOC1	Operation	ON
	Start value	2xIn
	Operate delay time	650ms
	Directional mode	non directional
	Num. Of start phases	1 out of 3
	Operating curve type	IEC Def. Time
DPHLPDOC2	Operation	ON
	Start value	1,2xIn
	Time multiplier	1
	Directional mode	non directional
	Num. Of start phases	1 out of 3
	Operating curve type	IEC Norm. Inv.

3.3.1.2 Grafické vyhodnotenie testovania

Grafické znázornenie výstupov z testovania nadprúdových ochranných funkcií REF615 je na Obr. 19. Použitý bol modul *Overcurrent* softvéru Test Universe.



Obr. 19 Grafické znázornenie výstupov z nadprúdového testovania REF615

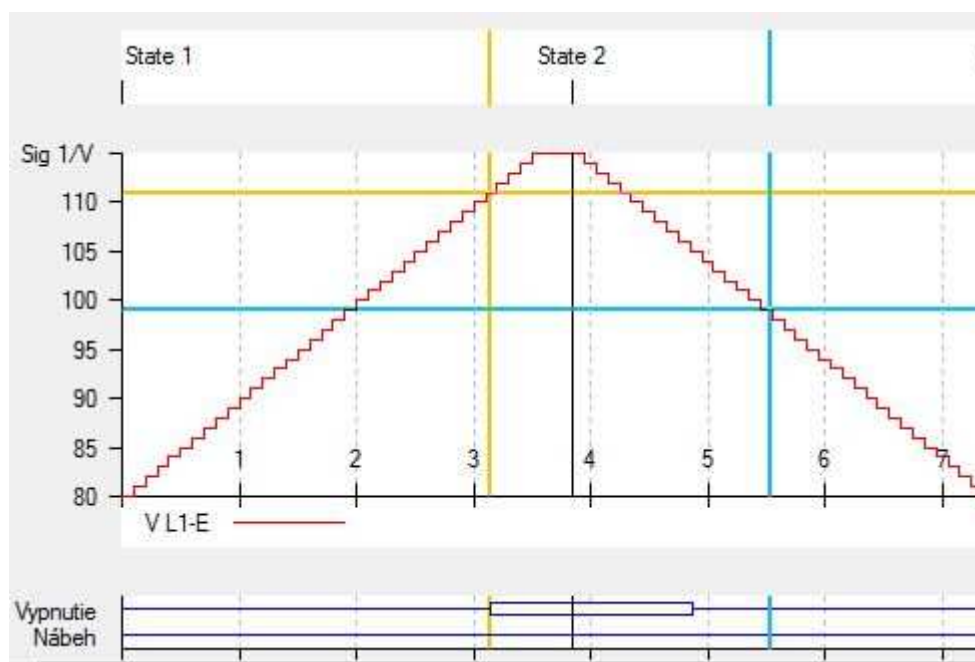
3.3.2 Testovanie napät'ovej funkcie REF615

Testovanou napät'ovou funkciou je nadpät'ová ochranná funkcia je PHPTOV. Jej nastavenie je realizované podľa nasledujúcej tabuľky.

Tab. 3 Nastavené parametre nadpät'ovej funkcie PHPTOV

Ochranné funkcie	Parametre	Nastavená hodnota
PHPTOV	Start value	1.1x UN
	Time multiplier	0,7
	Operate delay time	40 ms
	Num. Of start phases	3 out of 3

Grafické znázornenie výstupov z testovania nadpät'ovej ochrannej funkcie PHPTOV je na Obr. 20. Použitý bol modul *Ramping* softvéru Test Universe.



Obr. 20 Grafické znázornenie výstupov z napäťového testovania REF615

3.3.3 Vyhodnotenie testovania REF615

Táto ochrana ponúka možnosť nastavenia nadprúdovej ochrannej funkcie zloženej maximálne zo štyroch charakteristík, ktoré môžu byť časovo závislé alebo časovo nezávislé podľa príslušného vypínacieho stupňa. Ochrana spoľahlivo pôsobí a vypína všetky skúšobné signály v nastavenej prúdovej (± 50 mA) aj časovej (± 40 ms) tolerancii.

Na IED REF615 je možné nastaviť aj viacero napäťových ochranných funkcií. Pri overovaní nadpät'ovej ochrannej funkcie PHPTOV ochrana spoľahlivo pôsobila a vypínala všetky skúšobné signály v nastavenej tolerancii.

Z uvedených výsledkov testovania tohto IED je zrejmé, že daný terminál je možné priamo použiť v prevádzke, napr. ako sieťovú ochranu pre malý energetický zdroj.

4 Zoznam použitej literatúry

- [1] 615 series Technical Manual. ABB, Vaasa, 2012.
- [2] Hvizdoš, M. – Kmec, M.: Skúšanie digitálnych ochrán pomocou testovacieho zariadenia CMC. TU Košice, 2013, ISBN 978-80-553-1507-2.

Trvalo udržateľná elektroenergetika

doc. Ing. Alexander Mészáros, PhD.

Trvalo udržateľná elektroenergetika

1 Úvod

Rozvoj ľudstva úzko súvisí s jeho schopnosťou získavať energiu. Moderný ekonomický a politický systém vzniká iba v tých spoločnostiach, ktoré dokázali radikálne zmeniť spôsob, ktorým získavajú energiu nutnú ku svojej reprodukcii. Tieto spoločnosti prešli od výlučného zberu energie z povrchu Zeme, či už v podobe rastlinnej, alebo živočíšnej, k dobývaniu energie z jej hĺbky. Prešli od závislosti na slnečnej energii k závislosti na energii skladovanej v zemi. Tento prechod umožnil prechod spoločnosti zo stavu takmer permanentnej hospodárskej stagnácie k prudkému rastu. Na rozdiel od slnečnej energie, dopad ktorej na Zem je konštantný, čo určovalo pevné limity hospodárenia všetkým tradičným spoločnostiam, s prechodom k rozvoju priemyselnej výroby začala byť ekonomika napájaná zo zdrojov u ktorých výdatnosť toku energie môže dávkovať samotný človek. Tento rys modernej doby prebudil nádej neobmedzeného permanentného rastu. Druhá stránka tohto procesu je menej radostná a spočíva v tom, že človek je schopný prekročiť rozumnú mieru čerpania svojich zásob, a navyše, čerpanie a spotrebúvanie týchto zásob môže prudko meniť podmienky pre život na Zemi.

Elektroenergetika má dnes závažné účinky na okolité životné prostredie, ktoré sa prejavujú na jednej strane hlavne v blízkosti výrobných zdrojov a ovplyvňujú tak priľahlé ekosystémy, na druhej strane však často prerastajú až do regionálnych, prípadne globálnych rozmerov.

V záujme zabezpečenia trvalo udržateľného rozvoja by sa energia mala využívať spôsobom, ktorý rešpektuje potrebnú kvalitu ovzdušia, ľudské zdravie a životné prostredie ako celok. Spôsobom, ktorý je v súlade so základnými princípmi a cieľmi trvalo udržateľného rozvoja. Ukázalo sa, že prechod z neudržateľného rozvoja na udržateľný rozvoj je oveľa náročnejší, ako sa pôvodne predpokladalo. Preto tento proces treba nielen programovo zabezpečiť, ale aj cieľavedome a koncepcne riadiť, monitorovať a hodnotiť na základe vybraných indikátorov.

V tejto súvislosti možno pozitívne hodnotiť zámery a ciele Európskej únie, ktorá sa stala svetovým lídrom v oblasti trvalo udržateľného rozvoja. Svojou politikou, programom i nástrojmi (legislatíva, záväzné indikátory) vytvára priaznivé podmienky na realizáciu udržateľného rozvoja aj v oblasti elektroenergetiky.

2 Základné princípy trvalej udržateľnosti

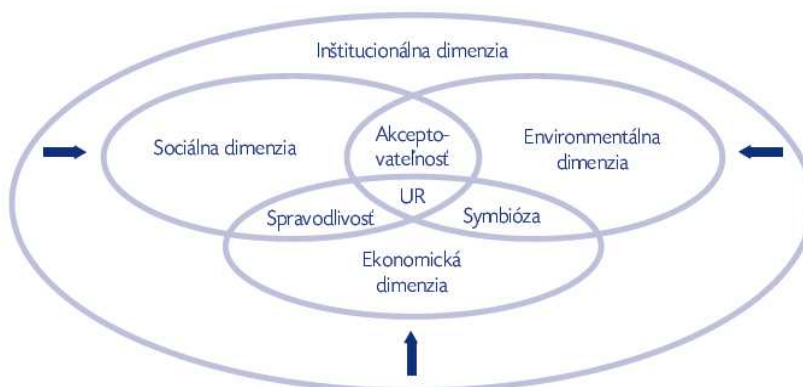
Pojem trvalo udržateľný rozvoj sa začal používať začiatkom 70. rokov minulého storočia, ale zásadná podpora udržateľného rozvoja v celosvetovom meradle bola deklarovaná na druhej konferencii OSN o životnom prostredí a rozvoji (UNCED) v roku 1992 v Rio de Janeiro, ktorá si vyslúžila prívlastok Summit Zeme. Na tejto konferencii boli prijaté 4 zásadné dokumenty: AGENDA 21 (Agenda pre 21. storočie), Deklarácia z Ria (o životnom prostredí a rozvoji), Dohovor o biologickej rôznorodosti (diverzite) a Rámcový dohovor o klimatických zmenách.

Najznámejšou a najrozšírenejšou definíciou trvalo udržateľného rozvoja je definícia vyslovená v správe komisie OSN vedenej Gro Harlem Brundtlandovou „Naša spoločná budúcnosť“ (Our Common Future) z r. 1987: *je to rozvoj, ktorý umožňuje uspokojovanie potrieb súčasných generácií tak, aby neboli ohrozené nároky budúcich*

generácií a iných spoločností na uspokojovanie ich potrieb, a bez toho, aby sa ďalej ničila príroda.

V podobnom zmysle vymedzuje pojem „trvalo udržateľný rozvoj“ v Slovenskej republike právne aj § 6 zákona č. 17/1992 Zb. o životnom prostredí: *ide o taký rozvoj, ktorý súčasným i budúcim generáciám zachováva možnosť uspokojovať ich základné životné potreby a pritom neznižuje rozmanitosť prírody a zachováva prirodzené funkcie ekosystémov.*

Udržateľný rozvoj sa zakladá na štyroch základných dimenziách, ako navzájom závislých a podporujúcich sa pilierov (obr.1).



Obr. 1 Základné piliere trvalo udržateľného rozvoja

Z obr. 1 vyplývajú tiež tri základné atribúty udržateľného rozvoja:

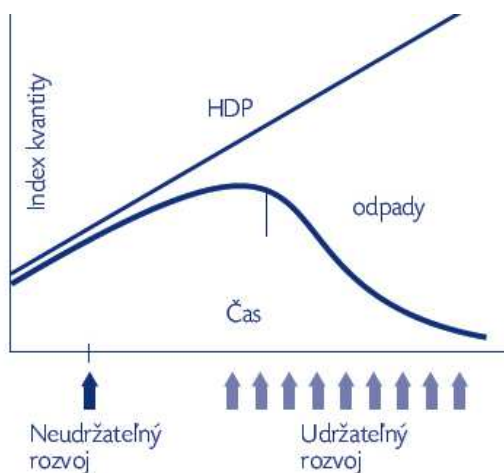
- sociálna spravodlivosť pri využívaní a rozdeľovaní prírodných zdrojov,
- environmentálne akceptovateľný rozvoj ekonomiky (symbióza),
- nárok na adekvátnu kvalitu životného prostredia a kvalitu života (akceptovateľnosť).

Po podpise dokumentu Agendy 21 postupne všetky signatárske krajiny rozpracovali „Národné programy udržateľného rozvoja“. Princípy, ciele a opatrenia trvalo udržateľného rozvoja v nadväznosti na Riodeklaráciu a Agendu 21 premietla Slovenská republika do Národnej stratégie trvalo udržateľného rozvoja SR, ktorú prijala vláda SR v roku 2001 a NR SR v roku 2002. NSTUR SR definuje *trvalo udržateľný rozvoj ako cielený, dlhodobý (priebežný), komplexný a synergický proces ovplyvňujúci všetky oblasti života (duchovná, sociálna, ekonomická, environmentálna a inštitucionálna), odohrávajúci sa na viacerých úrovniach (miestna, regionálna, národná, medzinárodná) a smerujúci prostredníctvom uplatňovania praktických nástrojov a inštitúcií k takému modelu fungovania spoločnosti, ktorý kvalitne uspokojuje materiálne, duchovné a sociálne potreby a záujmy ľudí, pričom rešpektuje hodnoty prírody a neprekračuje medze únosnej zaťažiteľnosti (kapacity) prírody, resp. krajiny a jej zdrojov.*

Udržateľné využívanie prírodných zdrojov vychádza zo zásady, aby stupeň využívania ich obnoviteľných zložiek bol v rovnováhe s ich tvorbou. Spotreba neobnoviteľných zdrojov by nemala prekročiť stupeň možnosti ich postupnej náhrady obnoviteľnými zdrojmi v rámci udržateľného rozvoja. Pre zabezpečenie stability ekosystémov je dôležitou úlohou zachovanie biodiverzity.

V súvislosti so stúpajúcim tlakom ľudskej spoločnosti na životné prostredie sa dostáva do popredia otázka rozdvojenia kriviek záťaže životného prostredia a ekonomického výkonu, tzv. decoupling, čiže po slovensky oddelenie. Cieľom decouplingu je, aby záťaž životného prostredia klesala a ekonomická výkonnosť rástla.

Hlavný ukazovateľ prechodu z neudržateľného na udržateľný rozvoj znázorňuje obr. 2. Ekonomický rast je spravidla meraný nárastom hrubého domáceho produktu (HDP), resp. jeho mernou hodnotou na jedného obyvateľa.



Obr. 2 Prechod z neudržateľného rozvoja na udržateľný

Správa komisie Naša spoločná budúcnosť opisuje potrebu novej hospodárskej éry, ktorá je reakciou na neudržateľnosť existujúceho stavu, prejavujúceho sa hlavne v plytvaní vyčerpatelnými zásobami surovín a vo využívaní zdrojov nad rámec ich regeneračnej schopnosti. Čo sa týka trvalej udržateľnosti dodávok energie, uvádzajú sa argumenty, že využívanie obmedzených zdrojov je v rozpore s koncepciou trvalo udržateľného rozvoja, takže je potrebné podstatne znížiť spotrebu energie a prechádzať najmä k obnoviteľným zdrojom energie.

Agenda 21 a Deklarácia z Ria o životnom prostredí a rozvoji, ako i Rámcový dohovor OSN o zmene klímy a Dohovory o biologickej rôznorodosti, boli medzníkom v histórii prechodu od neudržateľného rozvoja na udržateľný rozvoj. Závery konferencie OSN (UNCED) v Rio de Janeiro prijaté na najvyššej úrovni sa pokladajú za najvýznamnejšie v celej histórii ľudstva. Jednoznačne v nich zaznelo varovanie, aby si ľudská civilizácia uvedomila, že nie je možný trvalý ekonomický rozvoj za podmienok vyčerpania prírodných zdrojov.

Na dosiahnutie trvalo udržateľného rozvoja je potrebné čiastočne zmeniť technológie, postupy a návyky tak na strane výroby, ako aj na strane spotreby. Z hľadiska trvalo udržateľného rozvoja je v dlhodobej perspektíve nevyhnutný postupný prechod od existujúceho systému využívajúceho najmä neobnoviteľné zdroje energie, k udržateľnému systému využívajúceho prevažne obnoviteľné zdroje energie. Tento prechod znázorňuje obr. 3.

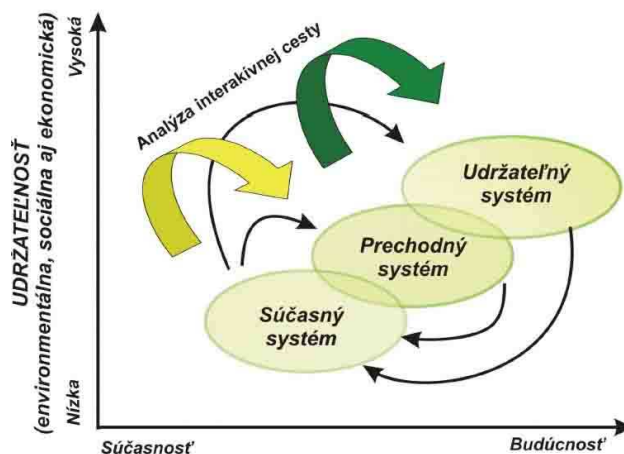
Možno poznamenať, že pri diskusiách o trvalej udržateľnosti vznikli dve krajné chápania:

- **Koncepcia tzv. slabej udržateľnosti** – *weak sustainability* – predpokladá možnú zameniteľnosť (substitúciu) prírodných zdrojov a materiálnych i nemateriálnych

hodnôt vytvorených človekom. Napr. vyčerpanie nejakého neobnoviteľného prírodného zdroja možno nahradiť novými vedomosťami, alebo technológiami.

- **Koncepcia tzv. silnej udržateľnosti** – *strong sustainability* – odmieta možnosť vyššie opísanej substitúcie, neverí v existencii ekvivalentnej antropogénnej náhrady prírodných zdrojov.

Na odstránenie tohto rozporu v r. 1998 sa dohodlo, že substitúcie sú prípustné, ale iba do určitej medze, kým v dôsledku takejto substitúcie nepoklesnú zásoby prírodných zdrojov pod vopred stanovenú kritickú hodnotu.



Obr. 3 Prechod súčasného systému na udržateľný systém

Koncepcia udržateľného rozvoja je nová globálna rozvojová paradigma ľudskej spoločnosti pre 21. storočie. Jej cieľom je prostredníctvom nového prístupu založiť životný štýl, ktorý rešpektuje únosnosť kapacity prírodného prostredia. Priebežne s vývojom koncepcie trvalo udržateľného rozvoja sa rozvíja aj jej teoreticko-metodologický základ. Jednými z jeho najdôležitejších súčastí sú princípy a kritériá, umožňujúce hodnotenie konkrétnych činností, rozvojových programov a koncepčných dokumentov vo vzťahu k trvalej udržateľnosti.

Hodnotenie jednotlivých stratégií, koncepcií, programov, a aktivít vo vzťahu k trvalej udržateľnosti rozvoja možno realizovať na základe týchto 16 princípov (na riadenie činnosti ľudí) a 40 kritérií (na posudzovanie uplatnenia princípov).

2.1 Indikátory trvalo udržateľného rozvoja

Pre potreby vyhodnocovania trvalej udržateľnosti rozvoja, Komisia pre trvalo udržateľný rozvoj OSN schválila na svojom zasadnutí dňa 18. apríla 1996 v New Yorku ukazovatele trvalo udržateľného rozvoja. Pre SR bolo z celého súboru 132 ukazovateľov relevantných 125 ukazovateľov (38 sociálnych, 23 ekonomických, 49 environmentálnych a 15 inštitucionálnych).

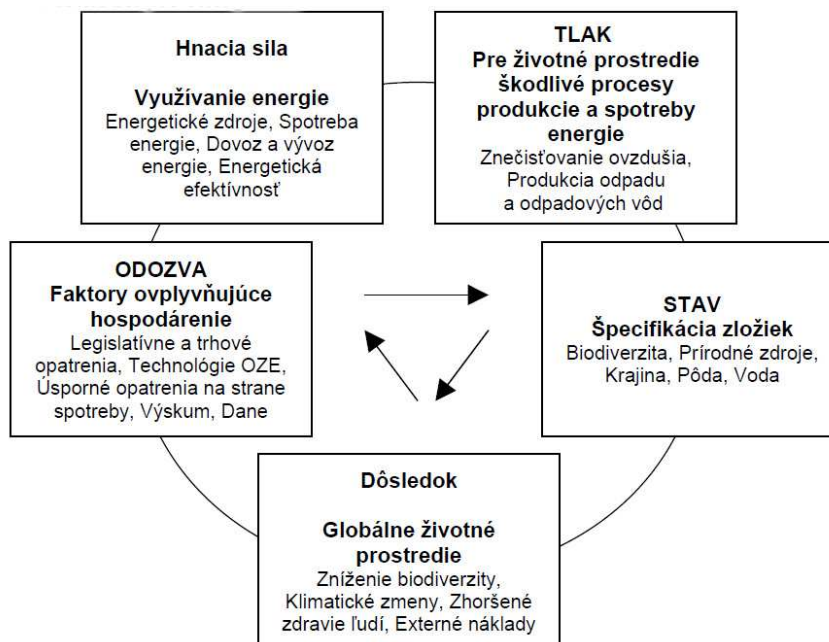
Takýto súbor indikátorov trvalo udržateľného rozvoja bol schválený uznesením vlády SR č. 655/1997 zo 16. septembra 1997 o uplatňovaní Agendy 21 a vyhodnocovaní ukazovateľov trvalo udržateľného rozvoja v Slovenskej republike.

Takmer každá zo zásad trvalo udržateľného rozvoja uvedená v deklarácii z Ria je určitým spôsobom previazaná na energetiku, nakoľko táto zasahuje a vplýva na takmer každú oblasť ľudskej činnosti.

Na summite Európskej Rady v Cardiffe bola zahájená integrácia environmentálnej politiky do sektorových politík. Predstavuje celoeurópsky proces, pri ktorom sú zámery a ciele environmentálnej politiky premietnuté do sektorových politík, s cieľom zabezpečenia trvalo udržateľného rozvoja. Primárnym cieľom tohto procesu je zabezpečiť prechod od tradičného spôsobu politickej praxe, kedy environmentálne opatrenia boli realizované len ako odozva na škody spôsobené aktivitami ekonomických sektorov v životnom prostredí („end-of-pipe“), k politikám so zabudovanými preventívnymi opatreniami, minimalizujúcimi negatívne dôsledky na maximálne možnú mieru.

Efektívnym nástrojom hodnotenia integrácie environmentálnych aspektov do energetickej politiky sú sady indikátorov životného prostredia. Hodnotenie vplyvu sektoru energetiky na životné prostredie vychádza z rešpektovania procesu tvorby a vyhodnocovania indikátorov a spracovávaní sektorových hodnotiacich správ na úrovni Európskej únie, zastrešovaného aktivitami Európskej Environmentálnej Agentúry (EEA), Organizáciou pre ekonomickú spoluprácu a rozvoj (OECD) a Štatistickým úradom Európskeho spoločenstva (EUROSTAT).

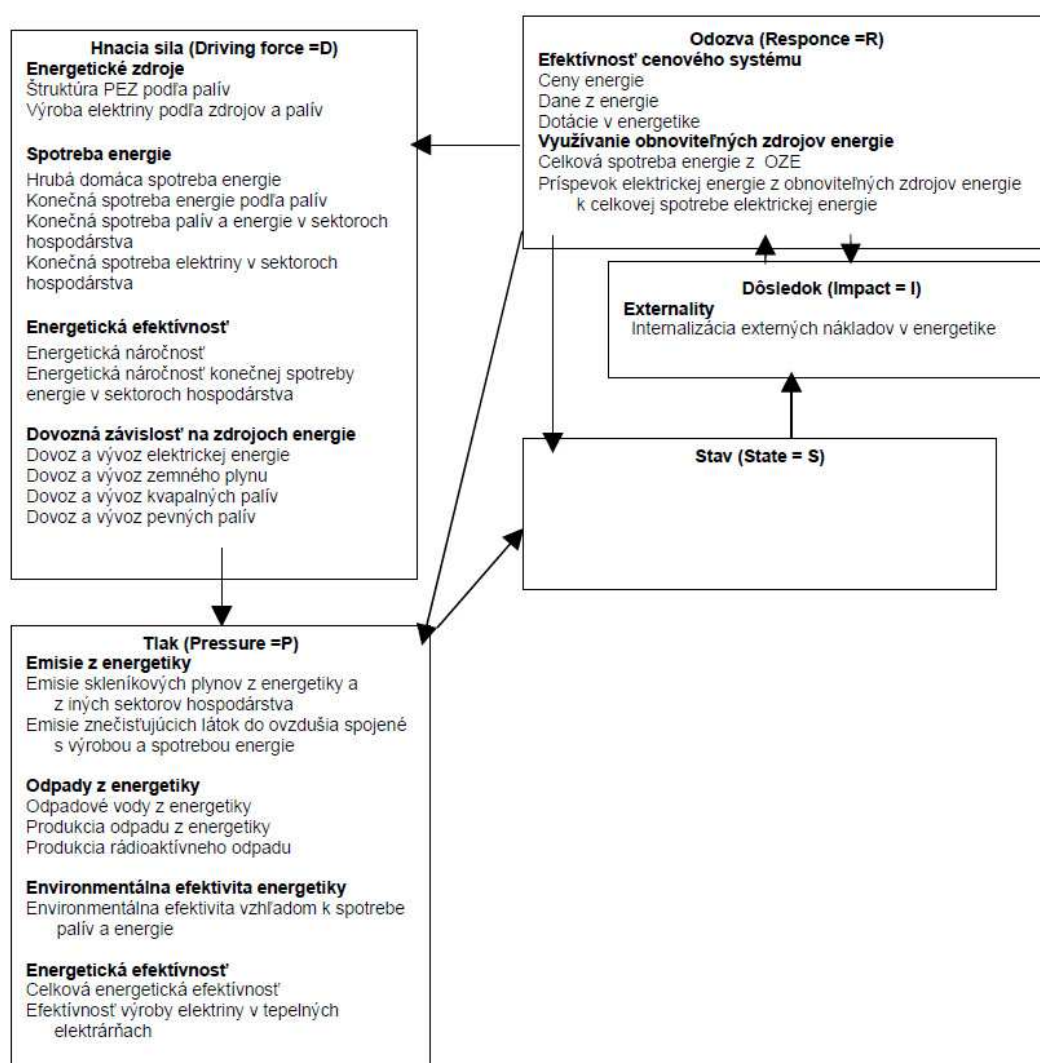
Po zhodnutí možnosti vyhodnocovania sady indikátorov v podmienkach Slovenska, bol vytvorený súbor agregovaných a individuálnych energo-environmentálnych indikátorov pre SR podľa D-P-S-I-R modelu. Je to kauzálny reťazec predstavujúci základný metodologický nástroj integrovaného posudzovania životného prostredia (Integrated Environment Assessment - IEA) používaného pri posudzovaní stavu životného prostredia, jeho príčin, ako aj predpokladaných tendencií jeho vývoja do budúcnosti.



Obr. 4 DPSIR model pre energetiku

V rámci jednotlivých článkov DPSIR reťazca sa nachádzajú agregované a individuálne indikátory charakterizujúce:

- **hnacie sily** ("driving forces" - **D**), t.j. spúšťacie mechanizmy procesov v spoločnosti (socio-ekonomické činnosti), ktoré vyvolávajú
- **tlak** ("pressure" - **P**) na životné prostredie, ktorý je bezprostrednou príčinou zmien v
- **stave životného prostredia** ("state" - **S**), čo zvyčajne spôsobuje negatívny
- **dôsledok** ("impact" - **I**) na zdravie človeka alebo biodiverzitu a na funkcie ekosystémov, čo logicky vedie k formulovaniu opatrení a nástrojov v spoločnosti zameraných na eliminovanie, resp. nápravu škôd v životnom prostredí v poslednom článku tohto kauzálného reťazca - ktorým je
- **odozva** ("response" - **R**).



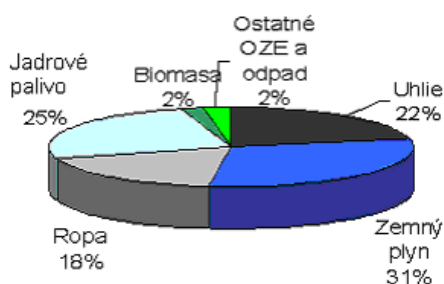
Obr. 5 Kauzálny reťazec energo-environmentálnych indikátorov v SR podľa DPSIR modelu
v sektore energetiky

Súbor environmentálnych indikátorov usporiadaných v zmysle D-P-S-I-R modelu poskytuje teoretickú základňu pre vypracovanie tzv. indikátorovej sektorovej správy, ktorej prioritným cieľom je poznať príčinnú - následnú vzťahy medzi činnosťou človeka (energetikou) a stavom životného prostredia pomocou D-P-S-I-R reťazca a tak

poskytnúť inovatívny pohľad na stav a vývoj životného prostredia prostredníctvom integrovaného hodnotenia.

2.2 Bilancia energetických zdrojov v SR

Z hľadiska prírodných podmienok a súčasných technologických možností krajiny je SR chudobná na primárne palivovo-energetické zdroje. Takmer 90 % primárnych energetických zdrojov (vrátane jadrového paliva) sa dováža. Domáce zdroje fosílnych palív tvoria hnedé uhlie a lignit. Podobná situácia je aj v oblasti kvapalných (vlastné zdroje 2 %) a plyných zdrojov (vlastné zdroje 3 %) energie. Z obnoviteľných zdrojov energie sa najviac na primárnej produkcii podieľajú vodná energia a biomasa.

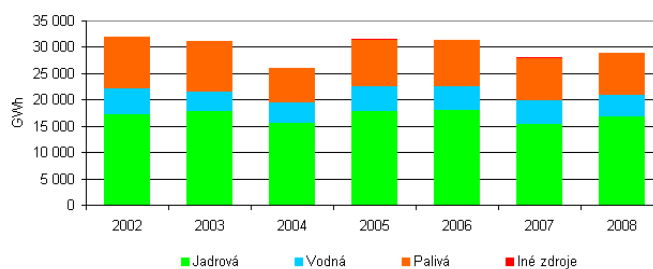


Obr. 6 Súčasný energetický mix v národnom hospodárstve SR

Pre štruktúru použitých primárnych energetických zdrojov v SR je v uplynulom 20 ročnom období charakteristické zníženie spotreby tuhých, kvapalných a plyných palív, naopak spotreba obnoviteľných zdrojov energie stúpla. Spotreba tuhých palív postupne klesla v tomto období o 40 %. U kvapalných palív predstavoval pokles spotreby za stanovené obdobie takmer 70% a spotreba plyných palív klesla s miernymi výkyvmi o takmer 60 %. Naopak o viac ako 70 % sa zvýšila spotreba obnoviteľných zdrojov energie na úkor spotreby ostatných palív. Mimoriadne významnú úlohu v štruktúre primárnych energetických zdrojov v SR zohráva využívanie jadrového paliva.

Súčasný energetický mix SR je založený najmä na plyne a jadrovom palive, uhlí, ktoré nasleduje ropa, a obnoviteľné zdroje energie (obr.6).

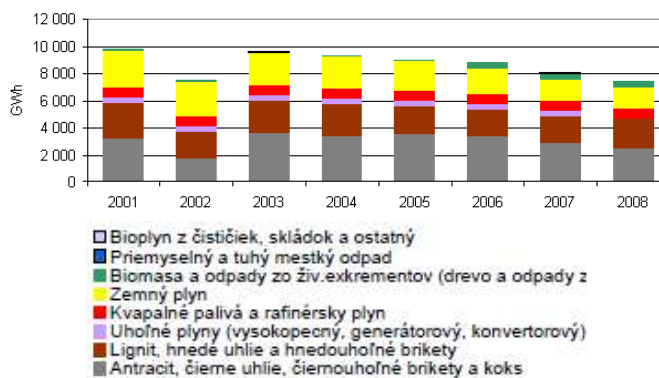
Celková výroba elektriny na Slovensku dosiahla v roku 2009 26074 GWh, z toho 57,7 % sa na výrobe podieľali jadrové elektrárne, 28 % tepelné elektrárne a 14,6 % bolo vyrobených vo vodných elektrárnach a zvyšných 0,3 % predstavujú iné zdroje (obr. 7).



Obr. 7 Výroba elektriny v SR podľa zdrojov

Obdobie medzi rokmi 2006-2010 prinieslo výrazné zmeny do štruktúry elektroenergetiky SR. Z dôsledku splnenia záväzkov SR vyplývajúcich z prístupových rokovaní s EÚ došlo k vyradeniu veľkých elektrárenských kapacít. Slovensko sa stalo v oblasti elektriny z exportnej importnou krajinou, čo nie je dlhodobu udržateľné.

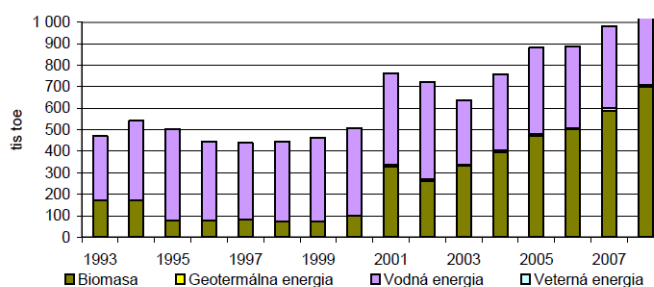
Na výrobu elektriny sa v SR z fosílnych palív najviac využíva čierne uhlie (teplárne), hnedé uhlie (elektrárne, teplárne) a zemný plyn (teplárne). Obnoviteľné palivá ako biomasa, odpad a bioplyn sa na výrobe elektriny podieľajú len minimálne (obr. 8).



Obr. 8 Výroba elektriny v SR podľa použitých palív

Indikátor **Výroba elektriny podľa zdrojov a palív** (obr. 5, 7, 8) – analyzuje podiel palív na produkcii elektriny a skúma, či je možný prechod na menej znečisťujúce palivá vychádzajúc v ústrety energetickým potrebám SR. Cieľom transformácie zdrojovej základne je zabezpečiť taký objem výroby elektriny, ktorý pokryje dopyt na ekonomicky efektívnom princípe. Realizovať tento hlavný cieľ energetickej politiky je možné zvýšením výkonu existujúcich a výstavbou nových výrobných zariadení.

Primárna produkcia obnoviteľných zdrojov energie (obr. 5, 9) – obnoviteľné zdroje energie znamenajú podľa Smernice EK 2001/77, obnoviteľné nefosílné zdroje energie (veternú, solárnu, geotermálnu energiu, energiu vln a príboja, vodnú energiu, energiu z biomasy, zo skládkových plynov, z plynov z čistiarní odpadových vôd a z bioplynov). Podľa zákona č. 656/2004 o energetike sa obnoviteľným zdrojom energie rozumie taký zdroj, ktorého energetický potenciál sa trvalo obnovuje prírodnými procesmi alebo činnosťou ľudí. Cieľom prechodu k trvalej udržateľnosti je zvyšovať podiel obnoviteľných zdrojov energie na výrobe elektriny i tepla tak, aby bolo možné vytvoriť primerané doplnkové zdroje potrebné na krytie domáceho dopytu.



Obr. 9 Primárna produkcia obnoviteľných zdrojov energie v SR

Internalizácia externých nákladov v energetike (obr. 5) – externé náklady (externality) sú také vonkajšie náklady palivového cyklu, dopadajúce na spoločnosť a životné prostredie, ktoré nie sú účtované výrobcom a neplatia ich ani spotrebitelia energie, čiže nie sú zahrnuté v trhovej cene. Tieto náklady zahŕňajú škody na životnom prostredí, ako napr. sú vplyvy znečistenia vzduchu na zdravie, úrodu, lesy, globálne otepľovanie, choroby z povolania a úrazy.

Podľa projektu ExternE výrobná cena elektrickej energie v EÚ (približne 0,03-0,06 €/kWh), by pri uvažovaní externých nákladov v prípade uhlia vzrástla o 0,03-0,22; v prípade ropy o 0,04-0,16; v prípade plynu o 0,01-0,06 €/kWh. Odhady externých nákladov v prípade jadrovej energie a obnoviteľných zdrojov energie sa pohybujú pod hranicou 0,01 €/kWh (s výnimkou niektorých spôsobov spaľovanej biomasy), pričom najlepšie na tom je energia vetra.

Ceny energií v súčasnej dobe nie sú úplným odrazom spoločenských nákladov, pretože nezohľadňujú vplyvy výroby a spotreby energie na ľudské zdravie a na životné prostredie. Hodnotenie vonkajších nákladov je iniciované a podporované Európskou komisiou, predstavuje dobrú základňu pre rozhodovanie o environmentálnych dopadoch rôznych scenárov rozvoja elektroenergetiky. Započítavanie škôd spôsobených na životnom prostredí do cien energie je aj prostriedkom priameho ekonomického zvýhodnenia environmentálne málo škodlivých či priaznivých výrob, ktoré v súčasnej situácii nie sú konkurencieschopné.

2.3 Ekologická stopa

Je ukazovateľ, ktorý vyjadruje, že pri danom stupni technického a technologického rozvoja, koľko pôdy a vody potrebuje ľudská spoločnosť, určitá krajina alebo človek na svoju existenciu, vrátane plochy na uloženie vyprodukovaného odpadu. Je to nástroj, ktorý zoskupuje ľudský tlak na biosféru do jediného čísla a výsledok vo forme plochy je jasný, čitateľný, a preto ľahko pochopiteľný aj pre laika. Spravidla sa vyjadruje v hektároch biologicky produktívnej plochy Zeme na osobu (jeden hektár biologicky produktívnej plochy Zeme = gha – globálny hektár) Kalkulácia ekologickej stopy je založená na dvoch jednoduchých faktoch:

- 1) možno kvantitatívne stanoviť väčšinu zdrojov, ktoré spotrebujeme a odpadov, ktoré produkujeme,
- 2) väčšina týchto zdrojov a odpadov môže byť konvertovaná na odpovedajúcu plochu ekologicky produktívnej zeme (t.j. plochy ornej pôdy, lesov, pastvín, morí a pod., všeobecne ekosystémovej plochy nutnej k zabezpečeniu životodarných systémov).

Ekologická stopa definovanej populácie je teda celková plocha ekologicky produktívnej zeme a vodnej plochy, využívaná výhradne pre zaistenie zdrojov a asimiláciu odpadov produkovaných danou populáciou, pri používaní bežných technológií. Pre analýzu ekologickej stopy 52 krajín autori rozdelili prírodnú plochu Zeme na šesť základných kategórií:

- energetická zem – zem, resp. plocha lesa schopného absorbovať CO₂ uvoľnený najmä pri spaľovaní fosílnych palív,
- orná pôda – v súčasnosti máme k dispozícii asi 0,25 ha na osobu,
- pastviny – v súčasnosti máme k dispozícii 0,6 ha na osobu,
- lesy – slúžiace na dodávku drevných produktov tvoria 0,6 ha na osobu,

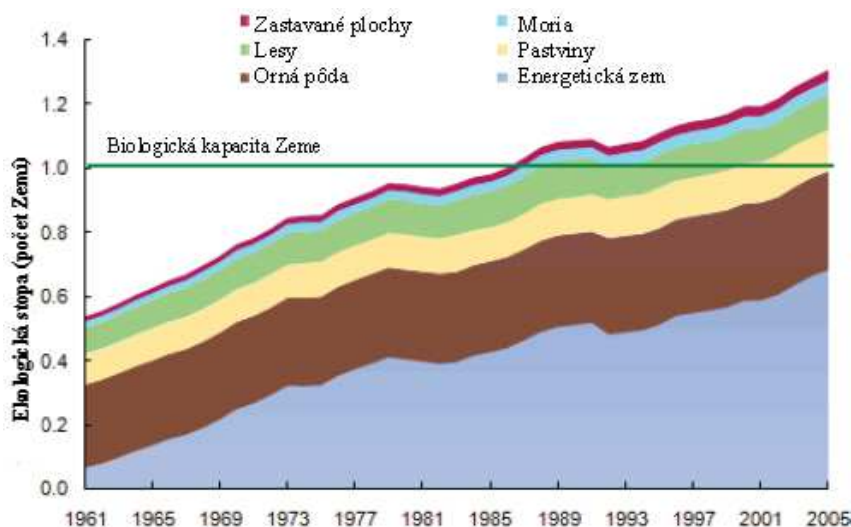
- zastavané plochy – 0,03 ha na osobu,
- moria – z rozlohy morí pripadá na jedného človeka 6 ha. Ale len približne 0,6 ha z týchto šiestich hektárov poskytuje 95% ekologickej produktivity mora.

Ak sa spočíta 0,25 ha ornej pôdy na osobu; 0,6 ha pastvín; 0,6 ha lesov a 0,03 ha zastavanej plochy, vychádza, že Zem poskytuje 1,5 ha ekologicky produktívnej plochy na osobu. Keď sa k tomuto číslu prirátá 0,6 ha morí, výsledok je 2,1 ha na osobu.

Tab. 1 Výpočet podielu plochy Zeme na osobu

Plocha zemského povrchu	51 mld ha
Nedostupná plocha (oceán, púšte, skaly, ľad)	37,4 mld ha
Produktívna plocha (dostupná plocha)	13,6 gha
Obyvateľov Zeme	6,5 mld
Podiel plochy Zeme na osobu	$13,6 / 6,5 = 2,1$ gha
Priemerná ekostopa jedného človeka na Zemi	2,7 gha
Rozdiel	$2,1 - 2,7 = -0,6$ gha

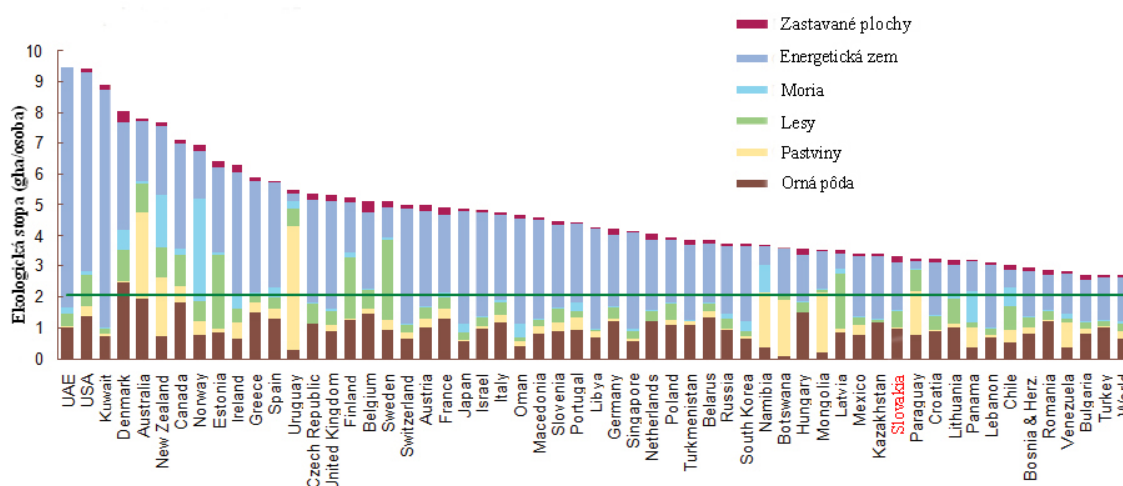
Nie všetka táto plocha je ale k výhradnej dispozícii ľudí. Musí sa brať do úvahy, že na tejto ploche žije 30 miliónov druhov rastlín a živočíchov, s ktorými zdieľame túto planétu. Podľa výpočtov minimálne 12% tejto plochy nesmie byť využívaných a má byť chránených z dôvodu zachovania biodiverzity. Ak sa odráta z výsledných 2,1 ha spomínaných 12%, vychádza, že ľudstvo má k dispozícii 1,76 ha biologicky produktívnej zeme na obyvateľa. Priemerná ekologická stopa jedného človeka má však v súčasnosti hodnotu 2,7 gha. To znamená, že biologická kapacita Zeme je prekročená o 30 % a pre zabezpečenie aktuálnej spotreby ľudstvo využíva plochu zodpovedajúcu nie 1 ale 1,3 planétam Zem. V roku 1961 boli prvýkrát k dispozícii údaje o ekologickej stope. Biologickú kapacitu Zeme ľudstvo prekročilo v roku 1986, čo znázorňuje aj obr. 10.



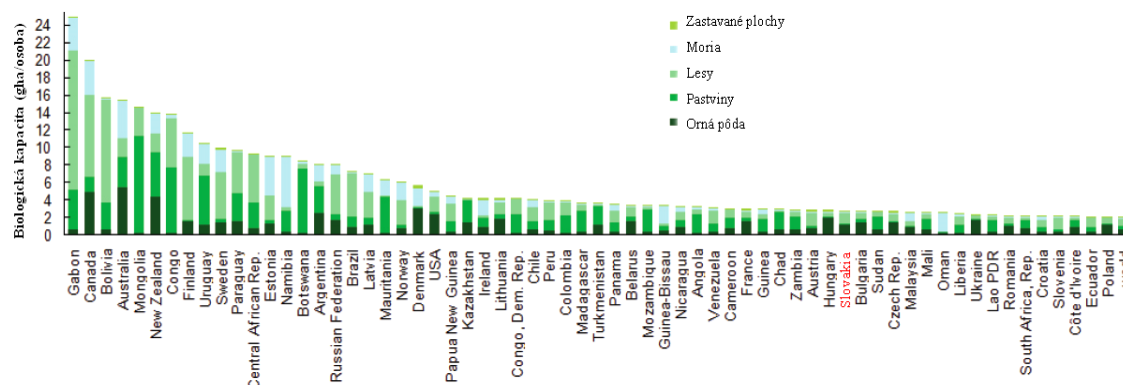
Obr. 10 Ekologická stopa ľudstva podľa jednotlivých základných kategórií

Samozrejme, s rastom obyvateľov sa aj množstvo ekologicky produktívnej zeme pripadajúce na jedného obyvateľa znižuje. Bola napríklad preukázaná pozitívna súvislosť medzi veľkosťou príjmu a ekologickou stopou. Štáty s vyšším hrubým domácim produktom (HDP) na osobu majú spravidla vyššiu ekologickú stopu. S vyššou hustotou obyvateľstva sa ekologická stopa na obyvateľa znižuje, napríklad je menšia spotreba energie na vykurovanie viacpodlažných domov spojených do blokov ako na vykurovanie rozptýlených rodinných víl. Všeobecne platí, že vyššia životná úroveň je spojená s vyššou ekologickou stopou, tento vzťah však nie je nemenný: efektívnejšie krajiny dosahujú vysokú životnú úroveň (merané podľa HDI – indexu ľudského rozvoja) s relatívne nízkou ekologickou stopou (merané podľa ekologickej stopy na osobu).

Vyspelé krajiny majú najväčšiu ekologickú stopu a najchudobnejšie najmenšiu. Najväčší ekologický deficit (porovnanie ekologickej stopy s dostupnou ekologicky produktívnou plochou – biologickou kapacitou) majú vysoko rozvinuté krajiny s limitovanou vlastnou ekologickou kapacitou, či nepriaznivou geografickou polohou. Obr. 11 zobrazuje priemernú ekologickú stopu na obyvateľa v roku 2005 pre všetky krajiny s počtom obyvateľov viac ako 1 milión. Na obr. 12 je priemerná biologická kapacita na obyvateľa jednotlivých krajín nad 1 milión obyvateľov.



Obr. 11 Ekologická stopa jednotlivých štátov sveta



Obr. 12 Biologická kapacita jednotlivých štátov sveta

Keby každý človek na svete žil ako priemerný obyvateľ USA, ľudstvo by potrebovalo až 4,5 Zemí. Naopak, keby každý žil ako priemerný Nepáľčan, stačilo by iba 0,4 planéty Zem. Ekologická stopa Slovenska na jedného obyvateľa má v súčasnosti hodnotu 3,3 gha a biologická kapacita predstavuje 2,8 gha na obyvateľa. Keby každý človek na Zemi žil ako Slováč, pre udržanie tohto spôsobu života by bola potrebná nie jedna, ale presne 1,6 planét Zeme.

Jedným z výrazných črt súčasnej spoločnosti je jej schopnosť pomocou technológií a obchodu svoju lokálnu nosnú kapacitu zvyšovať. Je známou skutočnosťou, že rad vyspelých štátov sveta spotrebúva viac prírodných zdrojov, ako má vnútri hraníc svojej krajiny a svoj prírodný deficit dopĺňa dovozom prírodných statkov z iných miest sveta. Ich ekologická stopa leží mimo ich štátu. Prekračujú svoje vlastné kapacity a čerpajú zo zásob iných krajín.

Európska únia patrí medzi „ekologických dlžníkov“, s celkovou ekologickou stopou presahujúcou jej biologickú kapacitu. Tým sa rozumie, že tento región sa „opiera“ okrem svojej vlastnej, o biologickú kapacitu iných oblastí sveta, pre poskytovanie zdrojov a asimiláciu odpadov.

V Európe žije približne 7% svetového obyvateľstva, ale generuje až 17% ekologickej stopy ľudstva. Dnes je ekologická stopa EÚ 2,2 krát väčšia ako jej vlastná biologická kapacita. Ekologická stopa EÚ vzrástla takmer o 70% od roku 1961. Európania vyžadujú 4,9 gha na osobu na uspokojenie svojho spôsobu života, avšak Európa môže dodávať len 2,2 globálneho hektára na osobu.

Záverom je možné poznamenať, že voči koncepcii ekologickej stopy boli vznesené niektoré výhrady zo strany odborníkov. Ekologická stopa, ako statický ukazovateľ udržateľného rozvoja, ktorý meria aktuálne nároky na prírodu, dáva možnosť jednak merať cestu smerom k udržateľnosti a takisto umožňuje pozrieť sa na aktivity ľudí inými očami. Čo sa na prvý pohľad môže zdať ako ekonomicky výhodné, nemusí byť vždy výhodné z dlhodobého hľadiska i z pohľadu životného prostredia a často môže mať negatívne dôsledky. Aj keď ekologická stopa nemeria našu spotrebu úplne presne, sila tejto koncepcie nie je v presnosti merania, ale v poukázaní na fakt, že naša spoločnosť so súčasným spôsobom života vysoko prekračuje prírodné limity a je potrebné vyvinúť politiku, ktorá by týmto trendom dokázala účinne zabrániť.

3 Environmentálne vhodné výrobné technológie elektriny

Súčasná ekonomika sa čoraz viac orientuje na využívanie moderných technológií, ktoré sa vyznačujú zvyšovaním efektivity výroby a minimalizáciou spotreby energie. Nastávajúce zmeny v energetike sa preto zameriavajú hlavne na: zníženie energetickej náročnosti a zvýšenie efektívnosti, čo vedie k úsporám energie; náhradu tradičných zdrojov, čiže na zvýšenie podielu využívania obnoviteľných zdrojov energie a postupné znižovanie podielu neobnoviteľných zdrojov energie; modernizáciu technológií, čo následne vedie k zníženiu environmentálneho zaťaženia prostredia.

Na základe návrhov vychádzajúcich z energetickej politiky pre EÚ bol v oblasti klímy a energetiky schválený balíček 20/20/20 do r. 2020:

- **znížiť emisie skleníkových plynov o 20 %**, v porovnaní s rokom 1990,
- **dosiahnuť 20 % podiel energie z obnoviteľných zdrojov na spotrebe EÚ** a dosiahnuť 10 % podiel biopalív v doprave,
- **znížiť spotrebu energie o 20 %**.

V súčasnosti jadrová energia prispieva k výrobe elektriny v EÚ asi jednou tretinou. Jadrová energia má svoje opodstatnenie pri riešení a uspokojovaní rastúcich globálnych energetických potrieb, pretože jej využívanie môže pomôcť uspokojiť zvyšujúci sa dopyt po energiách, ako aj zvýšiť bezpečnosť dodávok energií a znížiť uhlíkové emisie. V rámci EÚ je možnosť využívania jadrovej energie ponechaná na rozhodnutie každého členského štátu. Zvyšovanie energetickej účinnosti a používanie nízkouhlíkových technológií, tak ako to ponúkajú jadrová energia a obnoviteľné zdroje energie, sú cestou k dosiahnutiu stanovených cieľov v rámci energetickej politiky EÚ.

V slovenských podmienkach sú najdôležitejšími prostriedkami na znižovanie emisií a zabezpečenie trvalo udržateľného zásobovania energiou energetická efektívnosť, jadrová energetika, obnoviteľné zdroje, nové technológie a medzinárodná spolupráca.

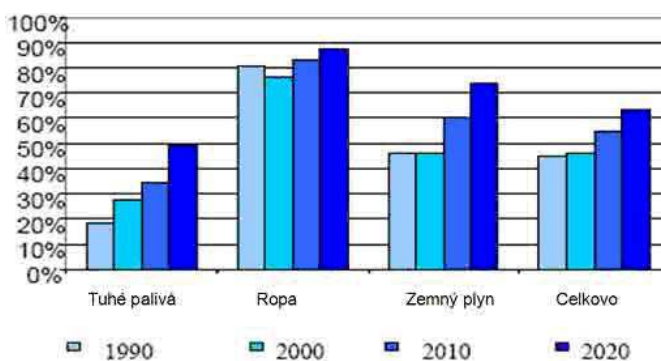
3.1 Hlavné ciele EÚ v energetike do 2020

Významným nástrojom energetickej politiky EÚ je proces liberalizácie a otváranie trhu s energiami, ktorý začal v roku 1999. Riešenie energetickej bezpečnosti sa hľadá najmä v liberalizácii trhov s energiou, v diverzifikácii a v efektívnom využívaní zdrojov, v postupoch, ktoré znásobia konkurenciu na trhoch s energetickými zdrojmi a prispievajú k bezpečnosti dodávok a trvalej udržateľnosti.

Energetická bezpečnosť sa vo všeobecnosti vníma ako spoľahlivá dodávka energie, zabezpečenie prístupu k energetickým zdrojom a palivám v požadovanom množstve a kvalite za primerané ceny.

Vnútrotný energetický trh zvyšuje vzájomnú závislosť členských štátov od dodávky elektriny ako i zemného plynu. Aj pri splnení cieľov energetickej účinnosti a obnoviteľných zdrojov energie budú ropa a zemný plyn i naďalej predstavovať viac ako polovicu energetických potrieb EÚ, s vysokou závislosťou od dovozu. Výroba elektriny bude výrazne závislá od zemného plynu. EÚ si uvedomuje rastúcu závislosť od dovozu fosílnych palív, preto vo zvýšenej miere podporuje využívanie domácich a obnoviteľných zdrojov energie, čo má priaznivý vplyv na zvyšovanie energetickej bezpečnosti.

Odhaduje sa, že ak by neboli prijaté žiadne opatrenia, energetická závislosť EÚ na tretích krajinách by narástla z takmer 50% v roku 2000 na približne 70% v roku 2030. Do EÚ bude dovážaných 66% spotrebovávaného uhlia, 90% spotreby ropy. Z Ruska bude pravdepodobne pochádzať až 60% dovážaného plynu, pričom celková závislosť EÚ na jeho dovoze dosiahne 80%. Na obr. 13 je znázornená závislosť EÚ podľa druhov energie do roku 2020.



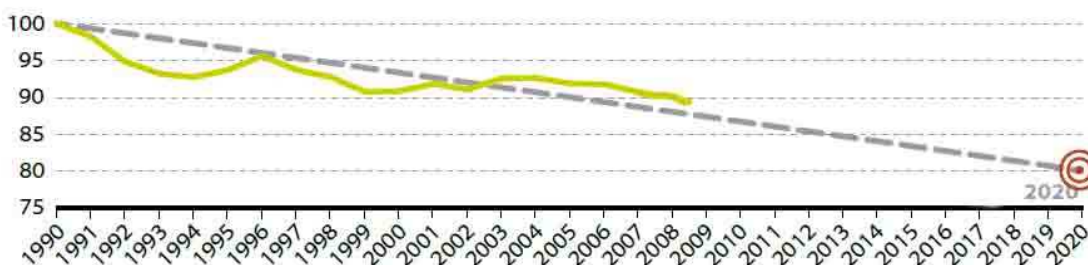
Obr. 13 Energetická závislosť EÚ podľa druhov energie do roku 2020

Jediným štátom G8, ktorý bude asi aj v budúcnosti exportérom energetických zdrojov, je len Rusko. Z hľadiska energetickej bezpečnosti musí mať EÚ teda záujem, aby Rusko bolo spoľahlivým partnerom a aby bolo minimalizované riziko ohrozenia dodávok energetických zdrojov do EÚ. Predpokladá sa, že v EÚ by sa do roku 2030 do energetiky malo investovať viac než 1000 mld. EUR pre zníženie závislosti od dovozu uhl'ovodíkov a zabezpečenie dostupnosti energie.

Na základe návrhov vychádzajúcich z energetickej politiky pre EÚ bol v oblasti klímy a energetiky schválený už spomenutý balíček 20/20/20 do roku 2020:

- **znížiť emisie skleníkových plynov o 20 %**, v porovnaní s rokom 1990. Toto zníženie môže dosiahnuť 30 % v prípade, že dôjde k medzinárodnej dohode týkajúcej sa emisii skleníkových plynov po roku 2020.

V EÚ-27 boli emisie v roku 2007 o 12,5% nižšie, než je ich úroveň základného roka, ale hlavná časť tohto zníženia sa uskutočnila pred rokom 2000.



Obr. 14 Emisie skleníkových plynov, EÚ-27 (Index základného roka 1990=100)

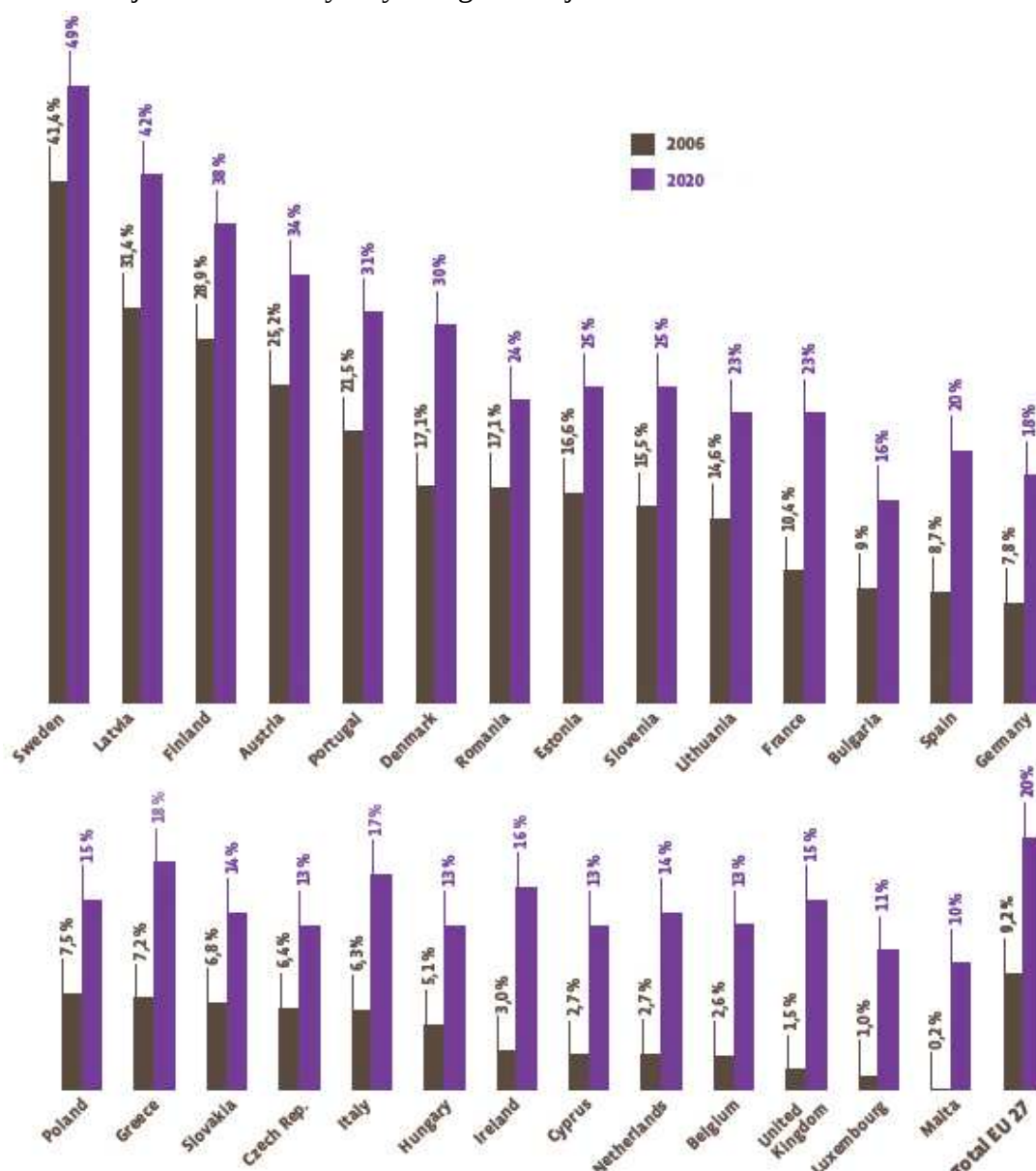
- **dosiahnuť 20 % podiel energie z obnoviteľných zdrojov na spotrebe EÚ** a dosiahnuť 10 % podiel biopalív v doprave.

Využívanie OZE ako domácich energetických zdrojov zvyšuje bezpečnosť a diverzifikáciu dodávok energie a súčasne znižuje závislosť ekonomiky od nestabilných cien ropy a zemného plynu, v neposlednom rade je ich využívanie v súlade s princípmi trvalo udržateľného rozvoja. Medzi ustanovenia, ktoré podporujú výrobu elektriny z OZE, patria najmä:

- a) prednostný výkup elektriny z OZE,
- b) uľahčenie prístupu do sústavy,
- c) zabezpečenie distribúcie elektriny,
- d) transparentné a nediskriminačné podmienky pripojenia,
- e) zabezpečenie spoľahlivosti záruk o pôvode,
- f) informovanie o podiele elektriny z OZE,
- g) oslobodenie od spotrebnej dane z elektriny.

Závery Európskej rady v tejto citlivej otázke boli zmenené v tom zmysle, že záväzný ukazovateľ 20 % podielu energie z obnoviteľných zdrojov je záväzným cieľom pre EÚ ako celok a pri rozdeľovaní záťaže medzi jednotlivé krajiny sa budú zohľadňovať národné špecifiká, východiskové pozície jednotlivých členských štátov,

súčasná úroveň podielu obnoviteľných zdrojov energií na domácom trhu a v podstatnej miere existujúca štruktúra výroby energie v krajine.



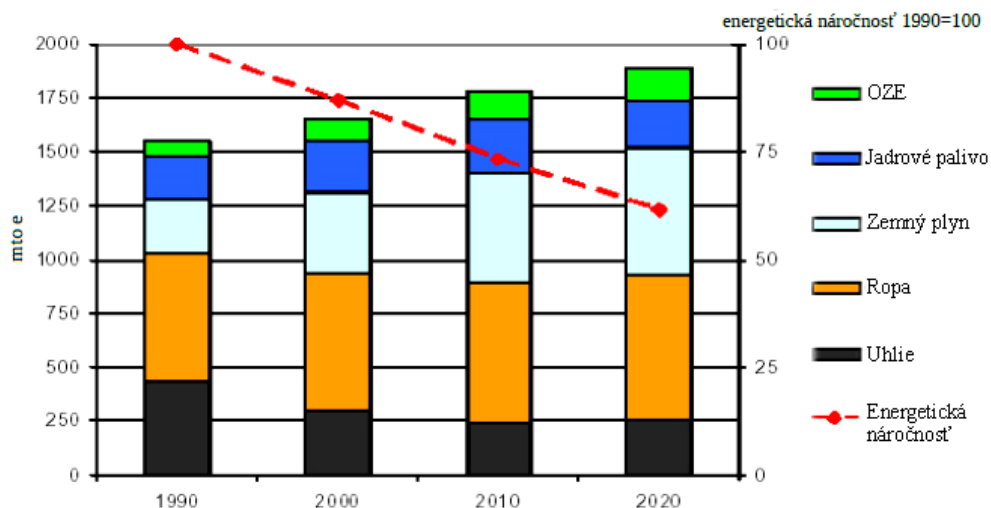
Obr. 15 Národné ciele pre podiel energie z OZE na hrubej energetickej spotrebe do r. 2020

- **znížiť spotrebu energie o 20 %.**

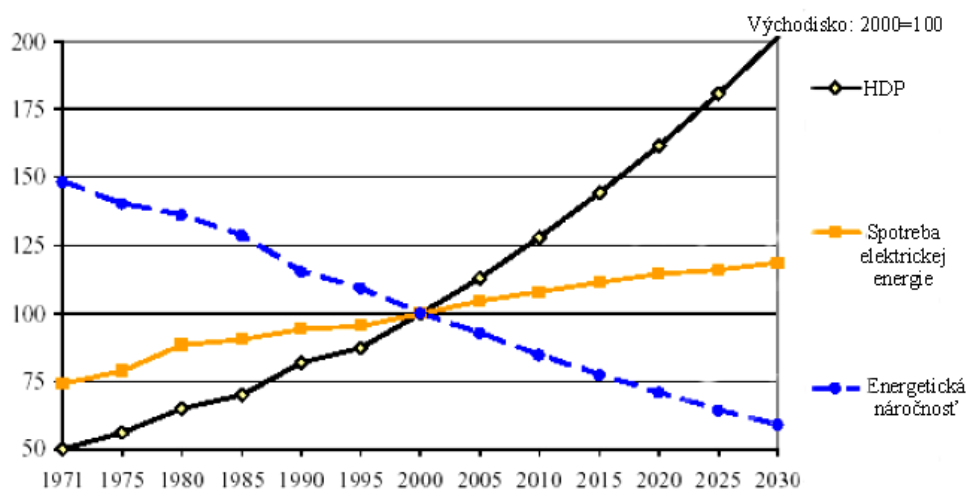
S dnešným stavom vyspelých technológií je určite možné dosiahnuť úsporu vo výške 20% spotreby energie v členských štátoch EÚ. Celková spotreba v súčasnosti dosahuje okolo 1750 Mtoe. Odhady ukazujú, že ak budú terajšie trendy pokračovať, hrubá spotreba energie by mohla vzrásť do roku 2020 o 10%, čo by znamenalo spotrebu 1900Mtoe. Rast spotreby elektriny by tiež dosiahol 1,5% za rok. Cieľom je však dostať sa na úroveň spotreby v roku 1990, t.j. 1520 Mtoe. Celkovú spotrebu energie podľa palív a energetickej náročnosti v EÚ znázorňuje obr.16.

Od začiatku sedemdesiatych rokov sa HDP zdvojnásobil s priemerným ročným tempom rastu 2,4%. Energetická náročnosť, pomer HDP k spotrebe energie poklesla o jednu tretinu. Priemerný pokles energetickej náročnosti je 1,6% za rok. Dlhodobý vývoj

HDP, spotreby energie a energetickej náročnosti v EÚ zobrazuje obr.17. Je potrebné zvážiť využívanie všetkých energetických možností s vysokou energetickou efektívnosťou, ktoré spĺňajú kritériá definovanej energetickej politiky a podporujú trvalo udržateľný rozvoj. Energetická efektívnosť v podstate závisí od použitých technológií. Zlepšenie energetickej efektívnosti teda znamená pri využívaní najlepších technológií spotrebúvať menej, a to či pri konečnej spotrebe, alebo vo fáze výroby energie.



Obr. 16 Celková spotreba energie podľa palív a energetickej náročnosti

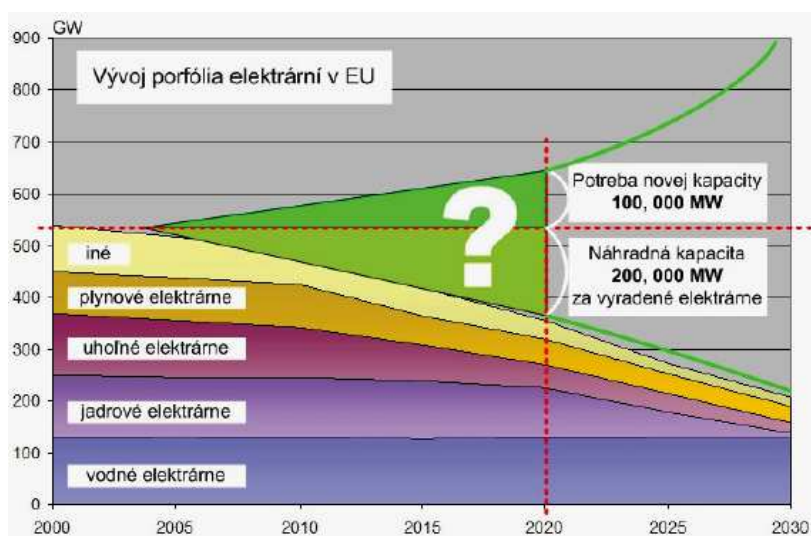


Obr. 17 Dlhodobý vývoj HDP, spotreby energie a energetickej náročnosti

Napríklad uhlie a lignit sa v súčasnosti využívajú na výrobu asi jednej tretiny elektrickej energie v EÚ. Klimatické zmeny však znamenajú, že táto situácia je udržateľná len vtedy, keď ju bude na úrovni EÚ dopĺňať obchodovanie s odlučovaním uhlíka a čisté technológie na báze uhlia.

V súčasnosti jadrová energia prispieva k výrobe elektrickej energie v EÚ asi jednou tretinou. Jadrová energia má svoje opodstatnené miesto pri riešení a uspokojovaní rastúcich globálnych energetických potrieb. Využívanie jadrovej energie môže pomôcť uspokojiť zvyšujúci sa dopyt po energiách, ako aj zvýšiť bezpečnosť dodávok energií a znížiť uhlíkové emisie.

V rámci EÚ je možnosť využívania jadrovej energie ponechaná na rozhodnutie každého členského štátu. Zvyšovanie energetickej účinnosti a používanie nízkouhlíkových technológií, tak ako to ponúkajú jadrová energia a OZE, sú cestou k dosiahnutiu stanovených cieľov v rámci energetickej politiky EÚ. Obr. 18 znázorňuje vývoj elektrární a potrebu novej kapacity v EÚ, ktorá je a bude spôsobená postupným vyradovaním existujúcich nemoderných, neefektívnych a životnému prostrediu škodiacich zdrojov.



Obr. 18 Zabezpečenie dodávky energie a medzinárodnej spolupráce

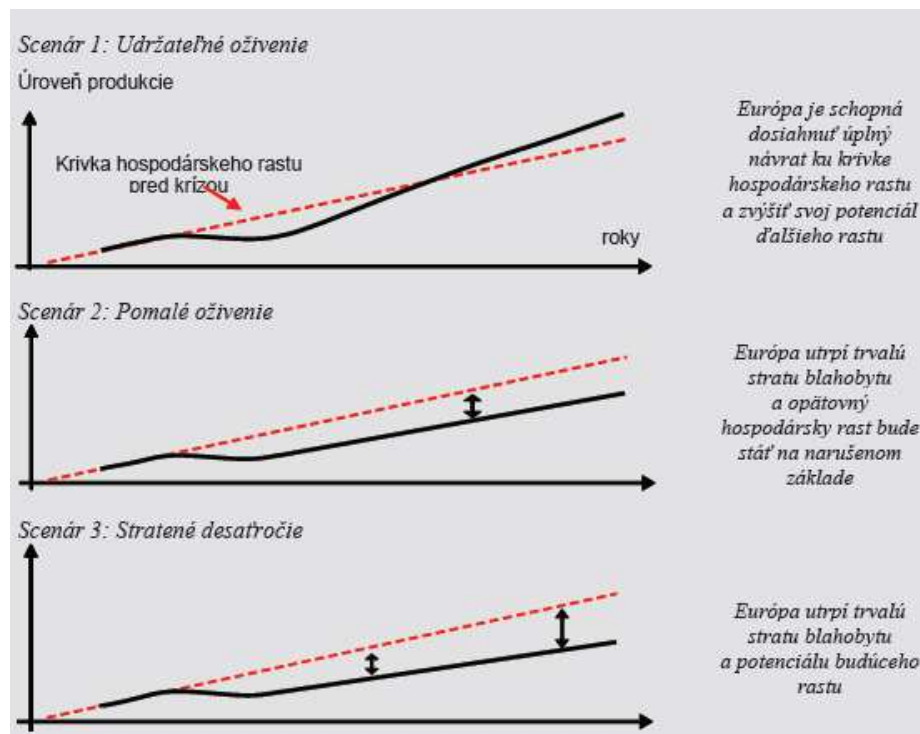
EÚ kladie dôraz na energetickú efektívnosť a úspory energie, ktoré by mali ročne predstavovať 4 202 TJ. S úsporami energie úzko súvisí obchod s emisiami, ktorý má vyústiť do znižovania emisií skleníkových plynov s cieľom zmeniť štruktúru výroby a následne aj spotrebu energie. *Obchodovanie s emisiami* je jedným z kľúčových nástrojov, ktorými sa EÚ snaží dosiahnuť zníženie emisií skleníkových plynov, ku ktorému sa zaviazala podľa Kjótskeho protokolu.

Začiatkom marca 2010 predstavila Európska komisia nový hospodársky plán, formálneho nástupcu tzv. Lisabonskej stratégie, ktorý by sa členské štáty EÚ mali snažiť implementovať v rámci národných hospodárstiev - EURÓPA 2020.

Európa stojí pred jasnou, hoci náročnou voľbou. Buď bude čeliť bezprostrednej výzve, pokiaľ ide o obnovu hospodárstva, ako aj dlhodobým výzvam – globalizácii, tlaku v oblasti zdrojov, starnutiu obyvateľstva – s cieľom vykompenzovať straty, spôsobené krízou, opätovne získať konkurencieschopnosť, zlepšiť produktivitu a vykročiť vpred na ceste za prosperitou („udržateľné oživenie“).

Alebo bude pokračovať v pomalom tempe presadzovania prevažne nekoordinovaných reforiem, pričom sa riskuje trvalý pokles prosperity, stagnujúca miera rastu („pomalé oživenie“), ktoré pravdepodobne povedie k vysokým mieram nezamestnanosti, sociálnym ťažkostiam a relatívnemu úpadku na svetovej scéne

(„stratené desaťročie“). Obr. 19 znázorňuje tri možné scenáre vývoja Európy do roku 2020.



Obr. 19 Tri scenáre vývoja Európy do roku 2020

3.2 Zachytávanie a skladovanie oxidu uhličitého

Fosílna palivá budú hrať aj naďalej veľký význam pri zásobovaní energiou v nasledujúcich 30 až 50 rokoch bez ohľadu na rozvoj obnoviteľných zdrojov energie. V súčasnosti je predpoklad, že v roku 2050 fosílna palivá budú mať stále veľký podiel na výrobe energie a to vo výške najmenej 50%.

Približné, súčasne známe rezervy fosílnych palív:

- ropa – 50 rokov,
- zemný plyn – 70 rokov,
- uhlie – 300 rokov.

Potrebné zníženie emisií skleníkových plynov môže byť dosiahnuté:

- zvýšením energetickej účinnosti a redukcie dopytu po energii,
- využívaním obnoviteľných zdrojov energie,
- zachytávaním a skladovaním oxidu uhličitého, ktorý je v súčasnosti vypúšťaný do ovzdušia.

Aj keby bolo v súčasnosti dosiahnuteľné zvýšenie energetickej účinnosti a využívania obnoviteľných zdrojov, stále by to nepostačilo pre požadované zníženie emisií skleníkových plynov v atmosfére.

Pre zníženie emisií a tým vyriešenie tohto problému sa preto naskytuje doplnenie aj tretieho faktoru. Je ním technológia CCS, ktorá umožňuje zachytávanie, prepravu a následné uskladnenie problematického CO₂ pod zemský povrch.

Celý technologický reťazec CCS sa skladá z troch samostatných častí:

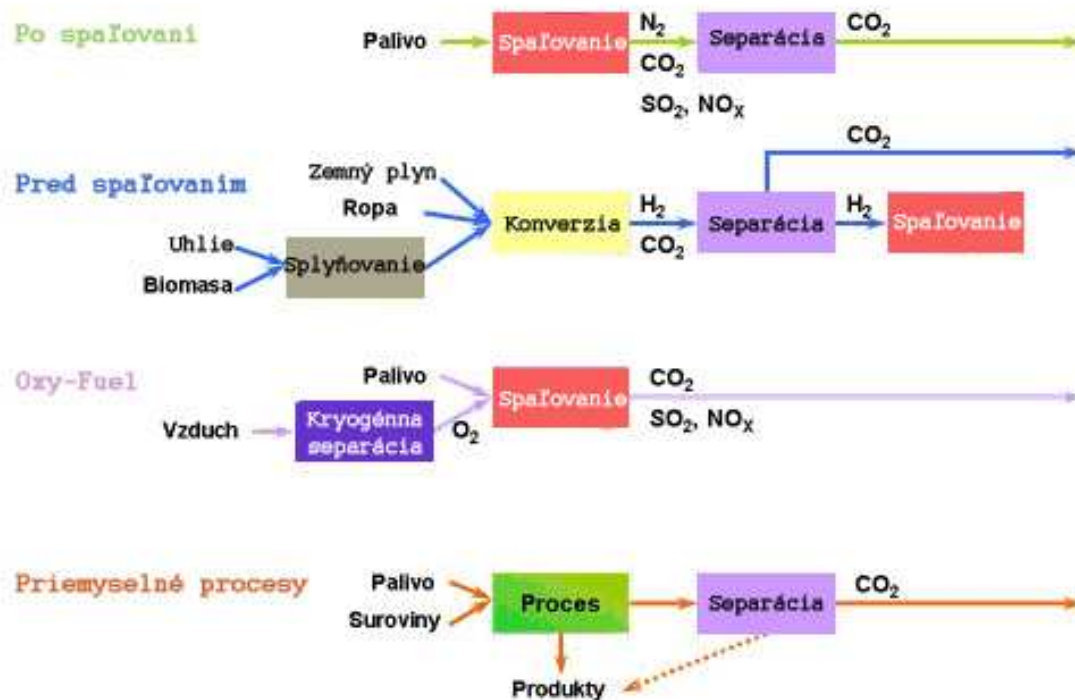
- separácia,
- transport,
- ukladanie.

Napriek tomu že jednotlivé prvky reťazca sú v súčasnosti využívané, celý reťazec v rozsahu ako je predpokladané pre nasadenie v energetike, doposiaľ realizovaný a dlhodobo odskúšaný nie je. Predpokladá sa, že používanie technológie CCS by mohlo byť nákladovo efektívne pre veľké bodové zdroje emisií z ročnou produkciou okolo jedného milióna ton CO₂ alebo viac.

K zachytávaniu CO₂ zo spaľovacích procesov sú navrhované tri základné technologické postupy:

1. *spaľovanie so vzduchom a separácia CO₂ zo spalín* (post combustion),
2. *spaľovanie s kyslíkom a separácia CO₂ zo spalín* (oxy-fuel),
3. *splyňovanie paliva a separácia CO₂ z takto vyrobeného plynu* (IGCC).

Mimo to je možné separovať CO₂ aj z procesných plynov, z výroby cementu, vápna a z výpalu kremíka, poprípade iných priemyselných a chemických výrob, kde sú uvoľňované významné objemy CO₂.



Obr. 20 Metódy zachytávania CO₂

Pri spaľovaní so vzduchom technologické zariadenie CCS zachytáva CO_2 po spálení paliva v kotli. Je to prvá generácia technológie CCS a jej nevýhodou je, že CO_2 má v spalínach nízku koncentráciu (cca. 15 %). Vyžaduje najmenšie zásahy do stojacích zariadení. Je potrebné zaradiť jednotku pre separáciu za jednotku odsírenia spalín. Procesom čistenia spalín a následnej separácie CO_2 však prechádzajú veľké objemy plynu. Technologické zariadenia preto musia byť väčšie ako v ostatných variantoch.

Spaľovanie s kyslíkom predstavuje druhú generáciu technológie CCS. V tomto prípade známym pod pojmom oxy-fuel technológia, kde nie je práškové uhlie spaľované v kotli elektrárne s normálnym vzduchom, ale so zmesou čistého kyslíku a recyklovaných spalín. Takto sa do kotla vracia zhruba 75 % CO_2 vznikajúceho pri horení paliva. Spaliny z kotla sú následne spracované rovnakým spôsobom ako v tepelnej elektrárni, t.j. prechádza elektrostatickým odlučovaním popolčeka, odsírovacou jednotkou, atď. Po odsírení spalín sa pracuje s plynom s veľkou koncentráciou CO_2 (až 98 %) a vodnou parou. Plyn následne vstupuje do chladiča, kde dochádza ku kondenzácii vody a takto je následne transportovaný kompresorom do spracovacej jednotky. Výhodou je nižší objem plynu a vyššia koncentrácia CO_2 v spalínach (až 98 %) ako pri spaľovaní so vzduchom. Separčné zariadenia by mohli byť menšie ako v predchádzajúcom variante. Je dostupná širšia škála metód pre vlastnú separáciu. Okrem jednotky pre kryogénnu separáciu kyslíka zo vzduchu by však bolo potrebné urobiť zásah aj do technológie spaľovacieho procesu. Uvažuje sa aj s ukladaním neprečistených spalín, t.j. vrátane oxidu síry a dusíka.

Pre splyňovanie paliva sa zaviedlo označenie IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle). Keď odmyslíme ostatné emisie, sú hlavnými spáliteľnými produktmi splyňovania fosílnych palív oxid uhoľnatý a vodík (CO a H_2). V ďalšom technologickom kroku by bol oxid uhoľnatý pretransformovaný na vodík za vzniku oxidu uhličitého. Separácia CO_2 z takto vyrobeného plynu môže byť nákladovo výhodnejšia ako predchádzajúce postupy. Ostatné emisie by boli eliminované už pri splyňovaní paliva. Investične je tento variant vhodný pre nové zdroje. Zaradenie do existujúcich technológií je problematická.

Pre separáciu CO_2 zo spalín sú komerčne využívané reverzné chemické reakcie s alkalickými roztokmi. Proces prebieha pri rôznych teplotách. Pre nižšie teploty je CO_2 viazaný do roztoku a pri vyšších teplotách je z roztoku uvoľňovaný. Najčastejšie sú využívané aminy (monoetanolamin, KS-1). Pretože tieto roztoky reagujú s oxidom síry je vyžadované dôsledné odsírenie pre separáciu CO_2 . Proces vyžaduje tepelnú energiu na regeneráciu roztoku a elektrickú energiu na pohon čerpadiel a ventilátorov. O túto potrebu sa znižuje elektrická účinnosť premeny paliva na elektrinu. V súčasnosti sú vyvíjané a skúšané nové komponenty s cieľom znížiť energetickú náročnosť regenerácie.

Nákladovo efektívne sa dá separovať iba časť CO_2 obsiahnutého v spalínach. Predpokladaná účinnosť separácie je okolo 85 %. Emisie CO_2 u potenciálnej elektrárne využívanej technológiu CCS by preto bolo na úrovni 220 až 250 g/kWh. Pri vyššej investícii do separačného zariadenia sa dá dosiahnuť účinnosť separácie až 95 % (pri použití oxy-fuel procesu až 98 %), avšak pri ďalšom znížení energetickej účinnosti elektrárne. Účinnosť výroby elektrickej energie poklesne o 8-13 %. Zníženie účinnosti v elektrárnach ktoré využívajú ako palivo plyn je nižšie ako v elektrárnach spaľujúce uhlie.

Pokiaľ sa úložiská vyseparovaného CO_2 nebudú nachádzať v blízkosti elektrární je možné ho k požadovaným ložiskám transportovať. Preprava veľkých objemov CO_2 zhromaždeným technológiou CCS je možné iba v hustom alebo kvapalnom stave,

pretože v plynnej forme by boli objemy príliš veľké. Potrebná energia na prevedenie CO₂ do požadovaného stavu je cca. 0,12 kWh/kg CO₂ pod atmosférickým tlakom do 110 bar.

Preprava je možná buď potrubím (v hustom stave na 100 bar) alebo lodnou dopravou (v kvapalnom stave). Železničná a cestná infraštruktúra by nepostačovala na prepravu objemov CO₂ a tiež by bola nevyhovujúca kvôli ďalšiemu environmentálnemu zaťaženiu vypúšťaním značného množstva skleníkových plynov. Nebezpečenstvo prepravy je pomerne nízka, pretože CO₂ nie je výbušný, horľavý a ani jedovatý plyn. Predpokladaná cena transportu jeden tony CO₂ potrubím na 100 km je 1 až 4 eur.

Po vyseparovaní môže byť CO₂ buď uskladnený, alebo opätovne využitý ako napr. surovina pri výrobe nealkoholických nápojov alebo v skleníkoch na podporu rastu rastlín. Tento trh pre opätovné využitie je však niekoľkonásobne menší, ako súčasná produkcia a preto je potrebné drvivú väčšinu zachyteného CO₂ uložiť do geologických formácií pod zemským povrchom alebo vo veľkých hĺbkach v oceáne. Ukladanie v oceáne by však mohlo viesť k rastu pH morskej vody s následným rozpustením vápenatých škŕupín morských živočíchov.

Pre ukladanie CO₂ sú potenciálne vhodné nasledujúce geologické zoskupenia:

1. hlboké jazerá sladkej alebo slanej vody,
2. neťažiteľné uhoľné sloje,
3. vyťažené ložiská ropy a zemného plynu,
4. produkčné ložiská ropy a zemného plynu.

Hlboké slané akvifery sú geologické formácie, prevažne s pieskovcovou štruktúrou, obsahujúce slanú vodu. Tieto akvifery ponúkajú najväčší potenciál z hľadiska objemu, ktorý by bolo možné k ukladaniu CO₂ využiť. Vyskytujú sa vo väčšine krajín sveta. Vďaka svojej rozlohe sú situované aj v blízkosti zdrojov emisií CO₂. Prvým komerčným využitím tohto typu na je nórskeho projektu Sleipner, kde je ročne do akviferu pod Severným morom ukladané približne 1 mil. ton CO₂. Toto je dôkazom, že tento plyn môže byť efektívne ukladaný aj vo veľkých množstvách.

Hlavný problém tohto riešenia (podobne ako v ostatných prípadoch) je, že uložený CO₂ znemožní budúce iné využitie týchto zariadení.

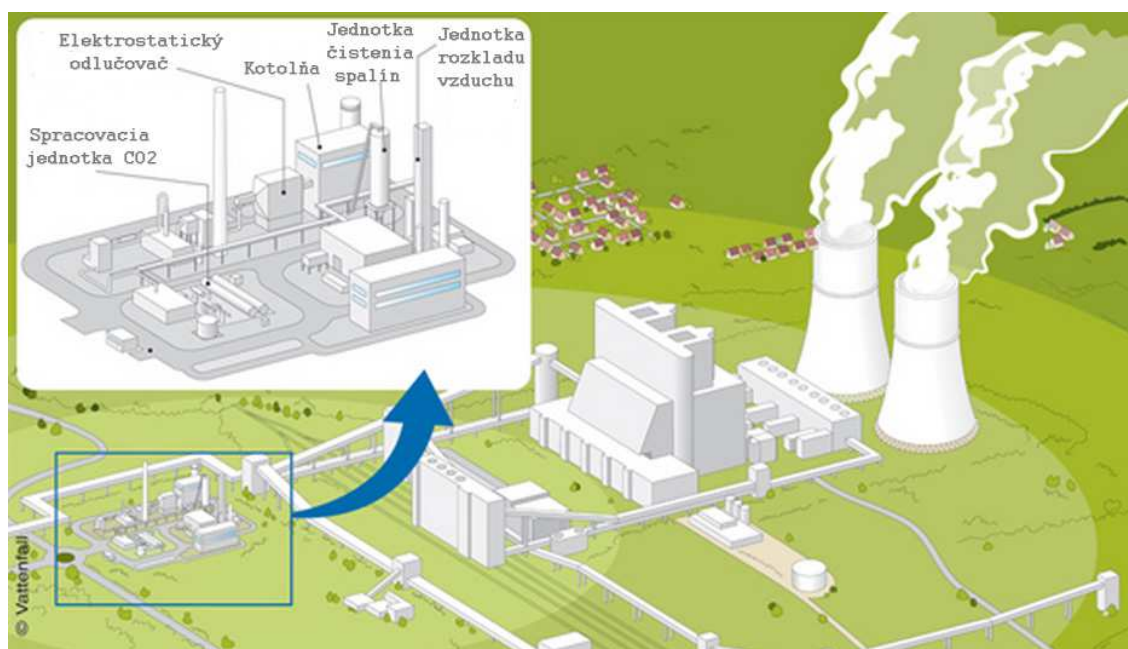
Niekedy v hlbinných uhoľných slojoch nemožno ťažiť, pretože sú príliš tenké alebo príliš hlboko uložené, čo ich ekonomický význam znižuje. Obvykle tiež ale obsahujú určité množstvo metánu, ktoré pri ukladaní CO₂ v uhoľných slojoch sa dá získať ako vedľajší produkt. To znamená, že uhoľný sloj sa vďaka uloženiu karbónu dioxidu stáva producentom metánu, ktorý môže byť ekonomicky využiteľný. Uhoľné sloje zadržovali metán po desiatky miliónov rokov a je veľmi pravdepodobné, že budú podobne viazať CO₂ minimálne desiatky tisíc rokov. Takáto technológia skladovania je testovaná v projekte EU - RECOPOL v Poľsku, ktorý zahŕňa aj terénny experiment.

Ložiská ropy a zemného plynu sú všeobecne dobre preskúmané a sú považované za bezpečné úložiská, pretože tieto štruktúry zadržovali po milióny rokov ropu, zemný plyn a často aj CO₂. Komerčný záujem prejavujú najmä ropné a plynárenské ťažobné spoločnosti hľadajúce budúce uplatnenie ako pre technológiu vŕtania ktorými disponujú, tak aj pre vyťažené ložiská surovín. Ďalším potenciálnym prínosom pri prípadnom budúcom ukladaní CO₂ by bola možnosť zvýšiť vyťažiteľnosť ložísk. Tento proces nazývaný druhotnou metódou intenzifikácie ťažby ropy (EOR – Enhanced Oil Recovery) a EGR (Enhanced Gas Recovery) je s využitím CO₂ realizovaný už niekoľko desaťročí v USA, hoci pôvodný účel nie je skladovanie tohto plynu, ale intenzifikácia

produkcie ťažby. Podobne v Kanade sa už niekoľko rokov využíva zatlačanie tzv. kyslých plynov (odpadový produkt vznikajúci pri čistení zemného plynu, obsahujúci hlavne CO_2 a H_2S) do ropných a plynových štruktúr, a hlbokých slaných akviferov.

Technológia na zachytávanie a uskladňovanie CO_2 je už momentálne v malom meradle testovaná v niekoľkých elektrárnach. Pre jej účinné uplatnenie sa však vyžaduje zaradenie tejto technológie v oveľa väčšej globálnej miere. Podľa Medzinárodnej energetickej agentúry (IEA) by malo do prevádzky vstúpiť 100 veľkých projektov do roku 2020 a 3400 veľkých projektov do roku 2050.

Existujúci pilotný projekt spoločnosťou Vattenfall v nemeckom meste Schwarze Pumpe bol do plnej prevádzky zavedený 9. septembra 2008. Ako separačné zariadenie bola použitá 30 MW oxy-fuel technológia s investíciou 50 miliónov eur. Tento pilotný projekt bol postavený v blízkosti existujúcej 1 600 MW tepelnej elektrárne na hnedé uhlie. Najdôležitejším výsledkom prvého roku prevádzky je odskúšaná oxy-fuel technológia, ktorá vykazuje čistenie emisií CO_2 vyše 90 %. Výsledky transportu a ukladania CO_2 však ešte nie sú v plnej miere odskúšané.



Obr. 21 Pilotný projekt CCS technológie spoločnosťou Vattenfall vo Schwarze Pumpe

Aj keď vo Schwarze Pumpe nie sú odskúšané aj ďalšie časti technológie CCS, vo svete je už niekoľko projektov zaoberajúcich sa práve transportom a ukladaním CO_2 , a to hlavne od ropných a plynárenských spoločností. Firma Statoil prevádzkuje plynové polia v lokalite Sleipner v severnom mori. Od roku 1996 v solných formáciách nachádzajúcich sa 1 km pod morským dnom uloží približne 1 t/r CO_2 . Existujú aj ďalšie projekty ako vyčerpané ropné polia vo Weynbur v Kanade, kde sa uloží 2,7 t/r CO_2 privádzané 330 km plynovodom zo Severnej Dakoty.

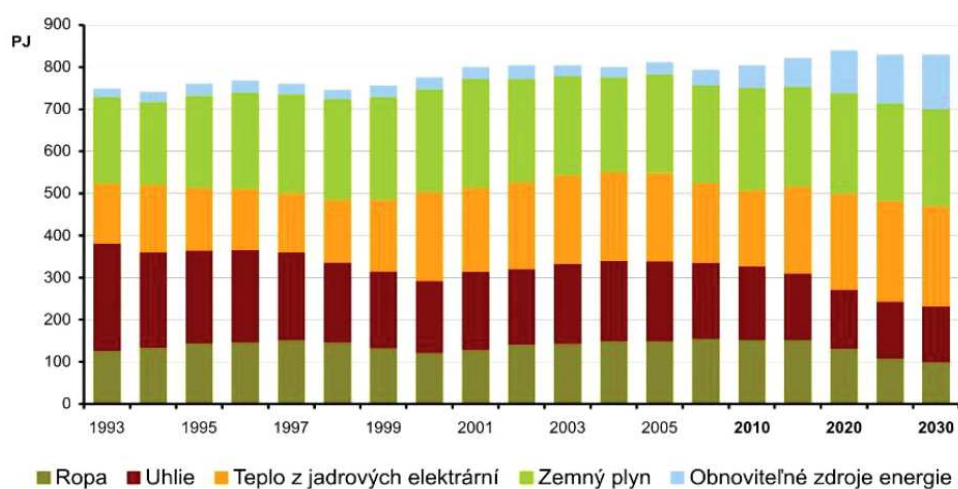
3.3 Implementácia dokumentov EÚ v podmienkach SR

Slovenská republika takmer 90% primárnej produkcie elektriny a tepla zabezpečuje nákupom zdrojov mimo teritória vnútorného trhu EÚ. Jediným

významnejším domácim energetickým zdrojom je hnedé uhlie, nakoľko vlastná ťažba zemného plynu a ropy je nevýznamná.

Stratégia energetickej bezpečnosti SR s výhľadom do roku 2030 má zabezpečiť sebestačnosť vo výrobe elektriny, optimálnu cenovú politiku, proexportnú schopnosť SR a posilnenie pozície tranzitnej krajiny na trhu s elektrinou, plynom a ropou a spoľahlivé zásobovanie tepelnou energiou a inými energonosičmi.

Na základe analýz možno predpokladať v dlhodobom výhľade (do roku 2030), že primárnu úlohu pri uspokojovaní spotreby zohrá vyššie využitie jadrového paliva, zemného plynu a OZE. Tento vývoj vychádza z predpokladu, že dôsledkom prísnených emisných limitov bude klesať spotreba uhlia. Predpokladaný vývoj spotreby primárnych energetických zdrojov v SR do roku 2030 znázorňuje obr. 22.



Obr. 22 Vývoj spotreby primárnych energetických zdrojov v SR do roku 2030

Na budúci rozvoj elektrizačnej sústavy a bezpečnosť zásobovania elektrinou budú vplývať najmä požiadavky na dodávky elektriny, dostupnosť palív a ich cenový vývoj, predpokladaný vývoj cien na trhu s elektrinou, vyradovanie výrobných a rozvodných zariadení z prevádzky, vývoj nových technológií, ich technicko-ekonomické parametre, vplyv vývoja v okolitých krajinách a pod.

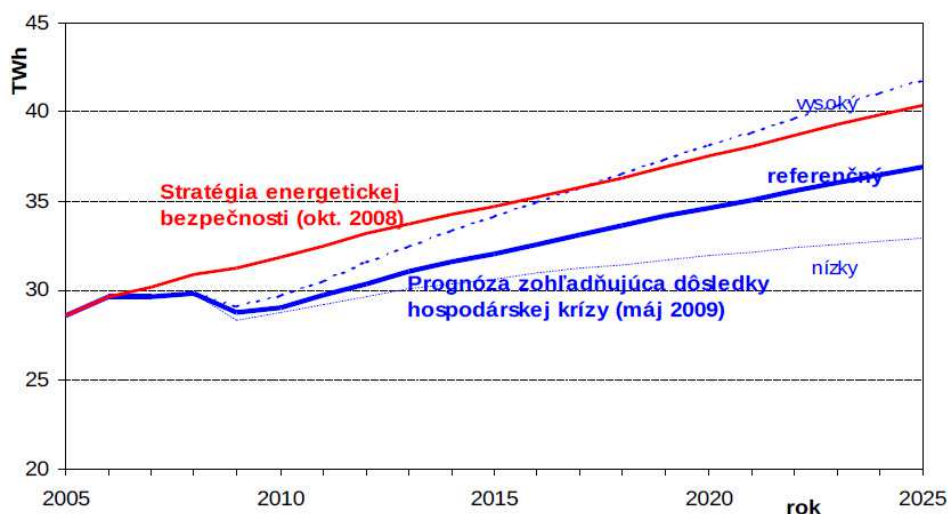
Strategickým cieľom Slovenskej republiky je položiť základy na dosiahnutie porovnateľnej úrovne obyvateľstva s vyspelými krajinami Európy. Dosiahnutie tohto cieľa podmieňuje zabezpečenie dostatočného množstva elektriny na pokrytie všetkých potrieb spojených s rastom životnej úrovne.

Predpovedanie budúcnosti má v sebe značnú mieru neurčitosti, preto sú prognózované tri scenáre možného vývoja, pričom rozptyl v cieľovom roku by nemal byť väčší ako 30 %. (obr. 23). Vo všetkých scenároch rozvoja sa predpokladá rast ekonomiky so znižujúcou sa energetickou náročnosťou, čo je v súlade s prioritami energetickej politiky SR a EÚ. V tab. 2 je prognóza vývoja celkovej spotreby elektriny v SR.

Tab. 2 Prognóza vývoja celkovej spotreby elektriny na Slovensku

Scenár	Jednotka	2015	2020	2025
Referenčný	TWh	32	34,6	36,9
Nízky	TWh	30,7	32	33
Vysoký	TWh	34,2	38,2	41,8

Priemerný ročný rast spotreby elektriny sa očakáva v rozmedzí 0,6 až 2,0 % v období do roku 2025. V referenčnom scenári s priemerným ročným rastom 1,3 % to v porovnaní s rokom 2008 predstavuje nárast o 7,1 TWh. Na obr. 30 je znázornený vývoj celkovej spotreby elektriny v rokoch 2010 až 2025.

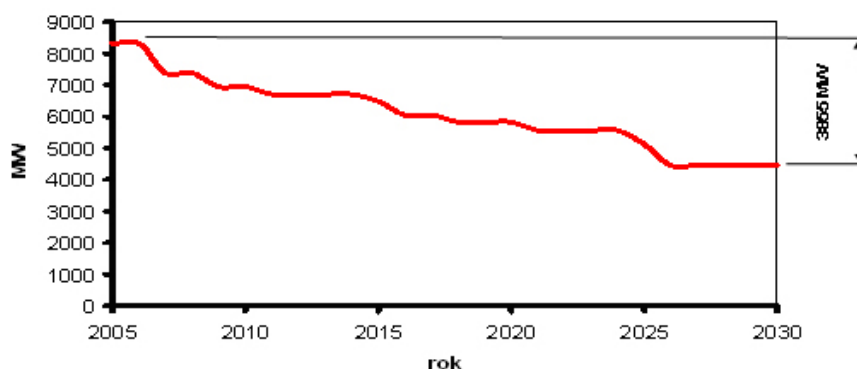


Obr. 23 Prognóza vývoja spotreby elektriny v SR do r. 2025 Vyrad'ovanie kapacít z bilancie elektrizačnej sústavy SR

Z bilancie Slovenska bolo koncom roku 2006 vyradených z prevádzky 880 MW inštalovaného výkonu (1. blok EBO V1 a štyri bloky v EVO). Značný vplyv na výrobu elektriny SR malo odstavenie 2. bloku EBO V1 ku 31.12.2008. Znamenalo to ďalšie zníženie inštalovaného výkonu sústavy o 440 MW a výroby o cca 2900 až 3000 GWh. Trend vyrad'ovania výrobných kapacít bude z dôvodov životnosti výrobných zariadení a modernizácie pokračovať aj v ďalšom období (pozri tab. 3 a obr. 24).

Tab. 3 Vyrad'ovanie inštalovaných výrobných kapacít z bilancie ES SR

Rok		2015	2020	2025	2030
JE	MW	880	880	1760	1760
TE	MW	1177	1607	1875	2095
celkom	MW	2057	2487	3635	3855



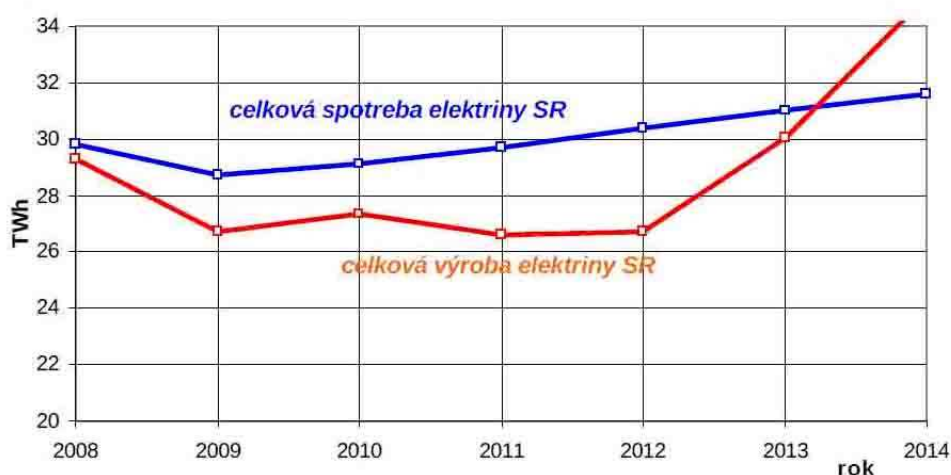
Obr. 24 Priebeh vyrad'ovania inštalovaných výrobných kapacít z bilancie ES SR

Zabezpečenie spotreby Slovenska si vyžiada po r. 2010 cca 6 až 12 % elektriny z dovozu. Rozsah potrebného dovozu silovej elektriny je v tab. 4.

Tab. 4 Saldo vývoja spotreby a výroby elektriny v SR do roku 2014

		2010	2011	2012	2013	2014
spotreba	TWh	29,1	29,7	30,4	31	31,6
výroba	TWh	27,3	26,6	26,7	30	35
saldo	TWh	1,8	3,1	3,7	1	-3,4

Uvedené údaje zohľadňujú rast spotreby elektriny a potrebu nahradenia výkonu a výroby z odstavených výrobných zariadení z pohľadu prevádzkovej bezpečnosti sústavy. Rozhodujúca váha zabezpečenia chýbajúcej elektriny do roku 2013 bude na jej obstaraní z dovozu. Strategickým cieľom bolo dosiahnuť vyrovnanú bilanciu spotreby a výroby elektriny okolo roku 2013, Slovensko by sa malo znova stať exportérom elektrickej energie (obr. 25). Teraz už možno dodať, že strategický cieľ nebol splnený, vzhľadom na sklz pri dostavbe 3. a 4. bloku JE Mochovce.



Obr. 25 Bilancia vývoja celkovej výroby a spotreby elektriny SR za roky 2008-2014

Pre budúcnosť sa predpokladá, že vyrovnanú bilanciu spotreby a výroby elektriny bude možné dosiahnuť pri existencii nasledovných elektrárenských výkonov – tab. 5.

Tab. 5 Kumulatívne prírastky výkonov pre zabezpečenie referenčnej spotreby elektriny do roku 2025

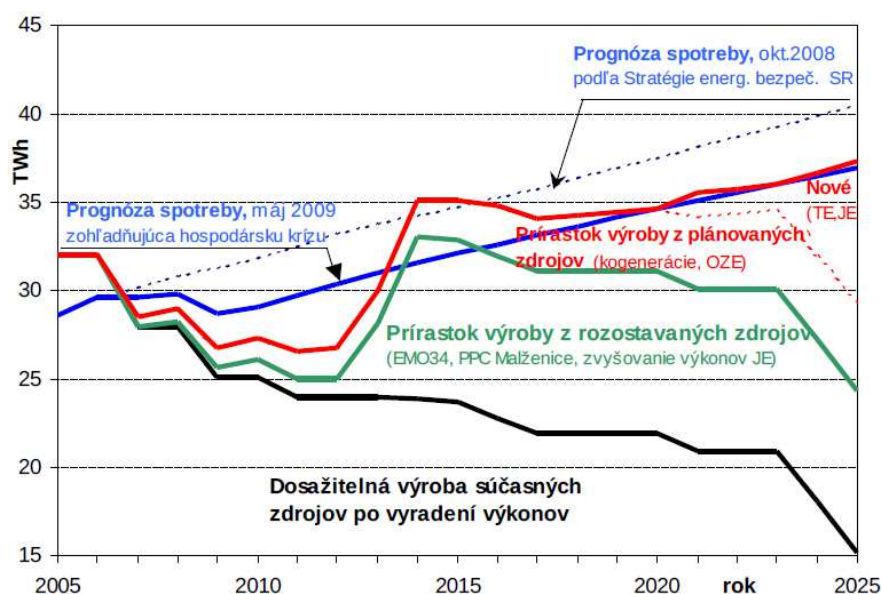
rok		2015	2020	2025
jadrové elektrárne	MW	1180	1180	2320
tepelné elektrárne a kogenerácia	MW	440	450	780
obnoviteľné zdroje	MW	700	1000	1400
spolu	MW	2320	2630	4500

V súčasnosti najreálnejšími veľkými elektrárenskými kapacitami z hľadiska rozostavanosti stavieb sú PPC Malženice a dostavba MO3,4 (Elektráreň Mochovce). Po

uvedení týchto zdrojov do prevádzky sa dosiahne mierne prebytková bilancia elektriny SR. Predpokladá sa, že pre dosiahnutie vyrovnanej spotreby a výroby pri referenčnom scenári prognózovanej spotreby a naplnení programu rozvoja kogeneračných a obnoviteľných zdrojov, do roku 2020 nebude potrebná okrem rozostavaných výkonov (JE Mochovce a PPC Malženice) výstavba ďalších systémových zdrojov. Na obr. 26 je znázornená prognóza vývoja spotreby elektriny a jej krytia v rokoch 2010 až 2025.

Výstavba veľkých vodných elektrární sa v súčasnosti nepredpokladá v dôsledku vysokej ekonomickej náročnosti a určitých regionálnych obmedzení. Dlhodobo boli študijne a projekčne pripravované veľké vodné elektrárne ako Sereď 52 MW a energetické využitie Váhu v úseku medzi VD Žilina a VD Lipovec 18 MW. Významným impulzom pre ich realizáciu by bolo poskytnutie minimálne rovnakých ekonomických podmienok, ako pre malé vodné elektrárne, lebo svojou výrobou môžu výraznejšie prispieť k ekologizácii výroby elektriny a energetickej bezpečnosti.

Predpokladá sa, že vysoký nárast využívania veterných a solárnych zdrojov pre výrobu elektriny prinesie problémy s riadením elektrizačnej sústavy vzhľadom na to, že ich disponibilita sa nedá predvídať a spôsobuje veľké kolísanie výkonu. K riešeniu tohto problému by mohla čiastočne prispieť nová prečerpávací vodná elektráreň Ipeľ 600 MW, ktorá by podľa zámerov mala byť schopná akumulovať energiu z nárazovej výroby a poskytnúť ju v čase špičkovej záťaže ES. Vybudovanie tejto elektrárne však bude závisieť od mnohých faktorov, a aj pri krajnom optimizme jej prínosy nemožno očakávať skôr ako o 10 - 15 rokov.



Obr. 26 Prognóza krytia spotreby elektriny do roku 2025

Pre pokrytie požiadaviek na zásobovanie SR elektrinou, na zabezpečenie cieľov stratégie energetickej bezpečnosti a tým aj trvalo udržateľného rozvoja, boli ministerstvom hospodárstva SR stanovené nasledovné priority:

- pokračovať vo využívaní jadrovej energetiky v rámci energetického mixu,
- dobudovať 3 a 4 blok JE Mochovce,
- vybudovať nový zdroj JE v Jaslovských Bohuniciach,
- posúdiť vybudovanie novej JE v regióne východného Slovenska (napr. Kecerovce),
- posúdiť reálnosť ťažby uránu na Slovensku,

- efektívne využívať domáce energetické zdroje,
- rekonštrukcia TE Nováky,
- dostavba PPC Malženice,
- vytvoriť podmienky pre optimálnu ťažbu uhlia,
- prehodnotiť nové technológie využitia uhlia (splyňovanie uhlia a ukladanie CO₂),
- zvýšiť využívanie obnoviteľných zdrojov energie, **v rámci výroby elektriny sa zamerať predovšetkým na využitie vodnej energie, biomasy (vrátane bioplynu) a geotermálnej energie**; podporovať výskum a nové technológie využitia slnečnej energie,
- zvýšiť účinnosť kombinovanej výroby elektriny a tepla a podporovať vysokoúčinnú kombinovanú výrobu,
- posilňovať vnútroštátnu prenosovú sústavu, budovať nové prenosové kapacity elektriny so susednými štátmi a zvyšovať spoluprácu prevádzkovateľov prenosových sústav,
- s cieľom regulácie elektrizačnej sústavy vybudovať prečerpávajúcu vodnú elektrárňu (Ipeľ) a rekonštrukciou alebo výstavbou nového zdroja zabezpečiť zdroj na báze čierneho uhlia (východné Slovensko),
- usmerniť prejavovaný záujem investorov o výstavbu nových zdrojov tak, aby boli tieto k dispozícii v potrebnom období, a aby s ohľadom na vhodné palivo a lokalitu prispeli k stabilite energetickej sústavy.

Zvyšovanie podielu OZE na výrobe elektriny a tepla s cieľom vytvoriť primerané doplnkové zdroje potrebné na krytie domáceho dopytu, je jednou zo základných priorít zabezpečenia trvalo udržateľného rozvoja SR. Ich využívanie založené na vyspelých a environmentálne šetrných technológiách, výrazne prispieva k zníženiu emisií skleníkových plynov a škodlivín.

Energetické zdroje na báze obnoviteľných energií (okrem veľkých vodných elektrární) hrajú zatiaľ v energetickej bilancii Slovenska zanedbateľnú rolu. Svetový trend ale jednoznačne smeruje k intenzívnejšiemu využívaniu týchto čistých energií, preto ich vyššie využívanie je zakotvené medzi strategické ciele energetickej politiky u väčšiny štátov sveta, vrátane Slovenska.

Tab. 6 Stanovené ciele a množstvo energie z OZE vo vzťahu k spotrebe energie v r.

2020

(A) Podiel energie z obnoviteľných zdrojov na hrubej konečnej spotrebe energie v roku 2005 (S2005) (v %)	6,70%	
(B) Cieľová hodnota energie z obnoviteľných zdrojov na hrubej konečnej spotrebe energie v roku 2020 (S2020) (v %)	14,00%	
(C) Očakávaná celková spotreba energie v roku 2020	500 PJ	11,94 Mtoe
(D) Očakávané množstvo energie z obnoviteľných zdrojov zodpovedajúce cieľu na rok 2020 (vypočítané ako B x C)	70 PJ	1,67 Mtoe

Slovensko má na základe mechanizmu prerozdelenia cieľov, povinnosť zvýšiť využívanie obnoviteľných zdrojov energie v pomere ku hrubej konečnej energetickej spotrebe zo 6,7 % (t.j. 34,1 PJ) v roku 2005 na 14 % v roku 2020. Za predpokladu, že hrubá konečná energetická spotreba zostane v roku 2020 na rovnakej úrovni ako v súčasnosti, teda na úrovni cca 500 PJ, predstavuje 14 % využívanie OZE vo forme elektriny, tepla a biopalív, hodnotu 70 PJ. Z dôvodu transformácie na tieto jednotlivé formy energie je však potrebné využívať celkom 80 PJ OZE.

Na základe predchádzajúcich čiastkových cieľov pre teplo a elektrinu a zohľadnením záväzných cieľov pre biopalivá je možné do rokov 2020 a 2030 *pri konzervatívnom prístupe* dosiahnuť nasledujúce hodnoty využívania OZE – tab. 7. V roku 2020 sa predpokladá podiel OZE na celkovej spotrebe energie 12%. Najvýznamnejším OZE v nasledujúcich rokoch bude biomasa. Vzhľadom na jej technický potenciál sa predpokladá významné zvýšenie využívania biomasy (najmä na výrobu tepla) zo súčasného stavu 16 PJ na 66 PJ v roku 2020.

Tab. 7 Predpokladané využívanie obnoviteľných zdrojov energie v SR – konzervatívny prístup

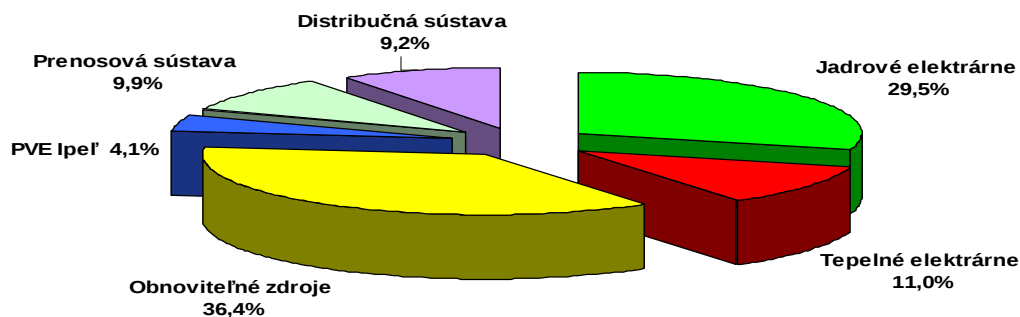
	2015 [TJ]	2020 [TJ]	2025 [TJ]	2030 [TJ]
Biomasa	48 000	66 000	85 000	120 000
Slnečná energia	1 000	6 000	14 000	20 000
Geotermálna energia	1 000	3 000	4 500	7 000
Vodná energia	20 000	22 000	23 000	24 000
Veterná energia	x	x	x	x
Energetické odpady	x	x	x	x
Spolu	73 000	100 000	130 000	175 000
Podiel OZE [%]	9,0	12,0	16,0	21,0

Optimistický scenár predpokladá vyššie využívanie biomasy, slnečnej energie a geotermálnej energie. Tento scenár predpokladá nárast cien ropy o 100 % do roku 2015 a úroveň ceny skleníkového plynu 25 EUR za tonu CO₂. Pri tomto náraste cien energie, OZE získajú konkurenčnú výhodu z dôvodu takmer nulových nákladov na svoje využívanie.

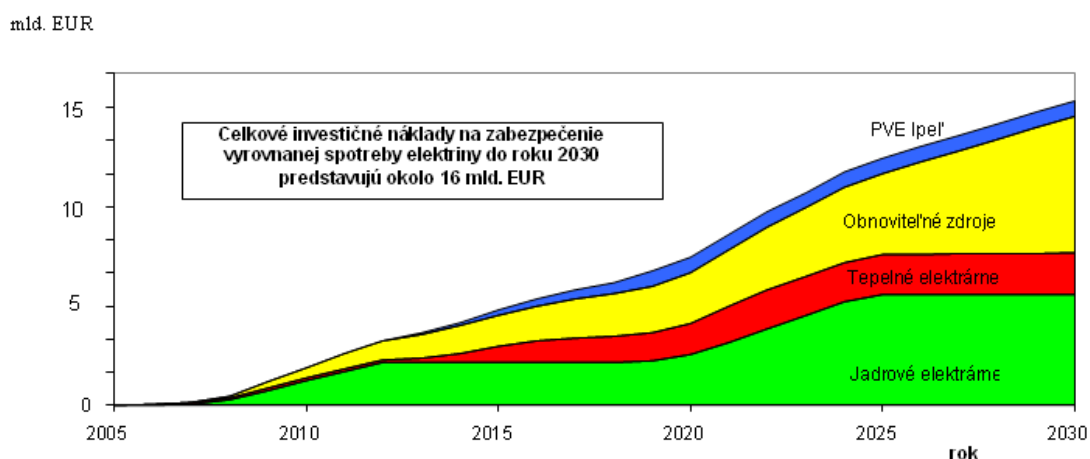
Tab. 8 Predpokladané využívanie obnoviteľných zdrojov energie v SR – optimistický prístup

	2015 [TJ]	2020 [TJ]	2025 [TJ]	2030 [TJ]
Biomasa	50 000	74 000	90 000	120 000
Slnečná energia	3 000	12 000	22 000	37 000
Geotermálna energia	2 000	7 000	10 000	14 000
Vodná energia	20 000	22 000	23 000	24 000
Veterná energia	x	x	x	x
Energetické odpady	x	x	x	x
Spolu	78 000	120 000	150 000	200 000
Podiel OZE [%]	9,5	14,0	18,0	24,0

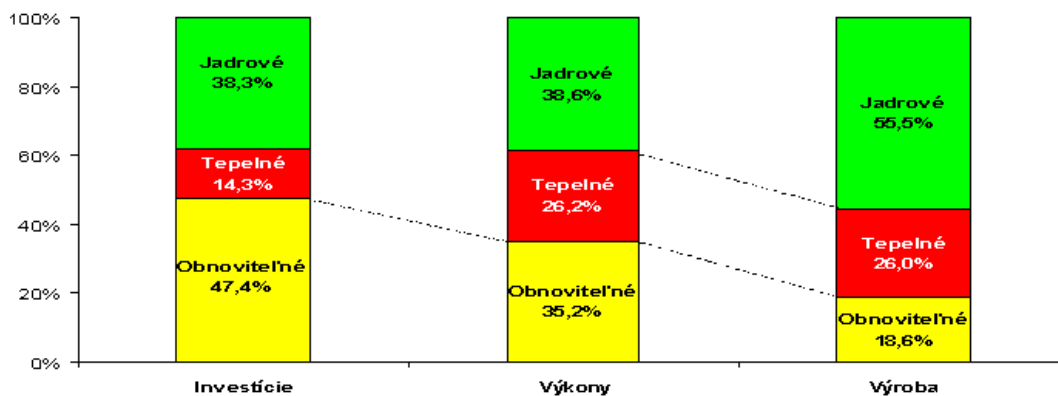
Aj pri nižšom náraste cien fosílnych palív z hľadiska energetickej bezpečnosti môžu OZE získať vyššiu podporu prostredníctvom výskumu technológií a pre rok 2020 je možné dosiahnuť 14%.



Obr. 27 Podiel investičných nárokov na rozvoj ES pri vyrovnanej bilancii spotreby a výroby elektriny do roku 2030



Obr. 28 Kumulatívne investičné nároky do zdrojov pri vyrovnanej bilancii spotreby a výroby elektriny



Obr. 29 Prognóza podielu prírastkov jednotlivých typov zdrojov do roku 2030

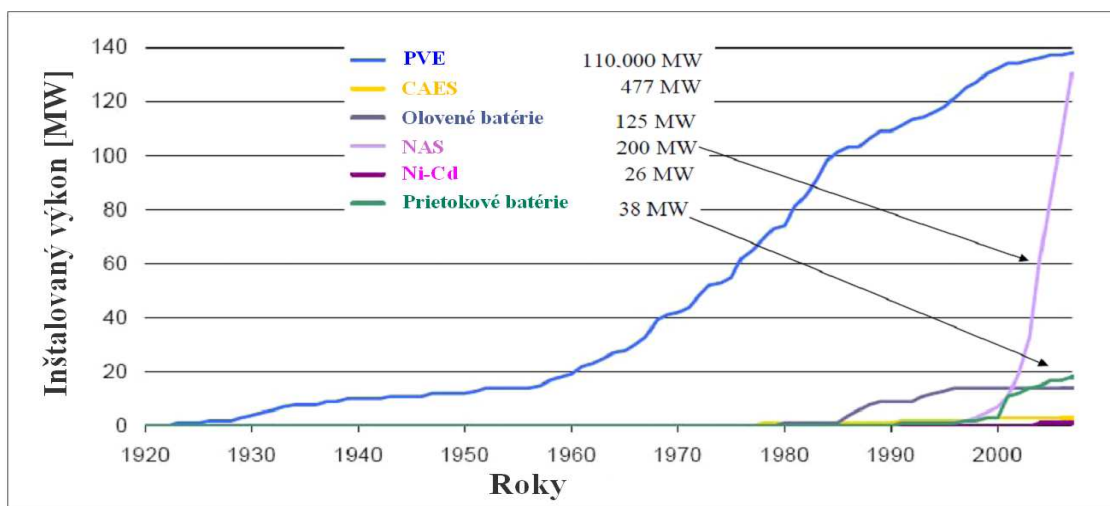
Investičná náročnosť obnoviteľných zdrojov na výrobu elektriny je vysoká. Predstavuje takmer polovicu všetkých investícií do nových prírastkov kapacít, pričom získané výkony dosahujú niečo nad jednu tretinu a výroba elektriny nedosiahne ani jednu pätinu z množstva, ktoré je potrebné zabezpečiť do roku 2030.

Rozvoj elektrizačnej sústavy Slovenska vrátane prenosovej a distribučnej sústavy si do roku 2030 vyžiada viac ako 20 mld. €.

4 Akumulácia elektrickej energie

Energiu treba akumulovať v zásade v dvoch prípadoch. Ak je k dispozícii zdroj energie, ktorý nemá dostatočný výkon na pokrývanie energetických nárokov určitého dynamického procesu rýchleho priebehu, treba najprv akumulátor pomaly nabiť, potom počas relatívne krátkeho času (počas vybíjania) bude schopný dodávať požadovaný výkon. Iným prípadom je, keď energia nie je k dispozícii v takom množstve, ako to vyžaduje odberateľ. V takomto prípade je výhodné v čase zníženého odberu ukladať nadbytočnú energiu do akumulátora, aby bola k dispozícii v čase keď spotreba je väčšia ako výroba.

Spoločiteľný a cenovo dostupný spôsob akumulácie elektrickej energie je základným predpokladom pre využitie obnoviteľných zdrojov energie, s cieľom ich integrácie do elektrizačnej sústavy a rozvojom budúceho decentralizovaného systému dodávok elektrickej energie. Akumulácia energie má kľúčovú úlohu v úsilí spojiť budúcnosť udržateľných dodávok energie s takým štandardom kvality poskytovaných technických služieb a produktov, ktorý sa vyžaduje a v súčasnosti je aj bežný pri využívaní klasických, vyčerpatelných zdrojov energie. Solárne a veterné zdroje energie budú pravdepodobne vyžadovať v budúcnosti akumuláciu na dni a týždne.



Obr. 30 Vývoj inštalovaného výkonu najvýznamnejších akumuláčnych technológií vo svete

Prioritnou úlohou výskumu v oblasti elektroenergetiky sa v súčasnosti stáva hľadanie čo najefektívnejších a najprogresívnejších metód akumulácie elektrickej energie.

Technológie akumulácie elektrickej energie možno rozdeliť do dvoch skupín:

- elektrochemické technológie,
- neelektrochemické technológie.

Obr. 30 znázorňuje podiel najvýznamnejších technológií na akumuláciu elektrickej energie od roku 1920 s výhľadom pre budúcnosť v celosvetovom meradle. Z grafu je zrejmé, že najväčší nárast inštalovaného výkonu po roku 2000 zaznamenali sodíkové a prietokové batérie. Možno očakávať, že tieto nové akumulčné technológie budú mať neustále sa zvyšujúci podiel na trhu.

4.1 Elektrochemické technológie akumulácie

Najbežnejšími príkladmi elektrochemických technológií skladovania elektrickej energie sú:

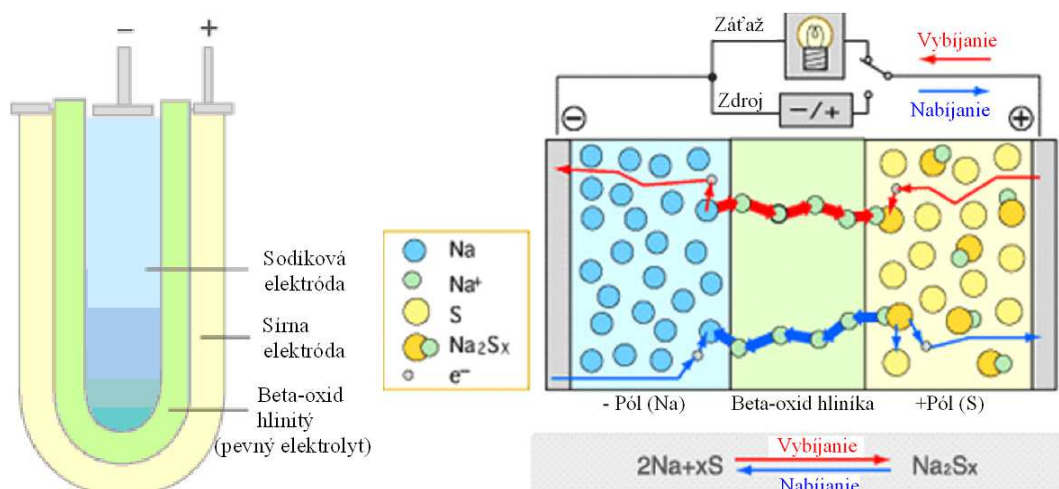
- olovené akumulátory,
- sodíkovo-sírové akumulátory (NaS),
- prietokové batérie - vanádové redoxné (VRB),
- prietokové batérie - zinkovo-brómové (ZnBr),
- niklovo-kadmiové akumulátory (NiCd),
- niklovo-metalhydridové akumulátory (NiMH),
- lítiové iónové akumulátory (Li-ion),
- vodíkové články.

Olovené akumulátory patria medzi cenovo najmenej náročné, sú najstaršou a najvyspelejšou technológiou akumulácie elektrickej energie. Medzi ich výhody patrí: viac ako storočná osvedčená technológia, ktorá je v súčasnosti najpoužívanejšou formou elektrochemickej akumulácie, sú pomerne lacné (600-1600 USD/kW). Nevýhody: nízke hodnoty mernej energie (kWh/kg) a merného výkonu (kW/kg), krátka životnosť (100-1000 cyklov), vysoké prevádzkové náklady, environmentálne riziká (obsahujú nebezpečné olovo a kyselinu sírovú), značné samovybíjanie (narastá s klesajúcou teplotou).

Princíp činnosti *sodíkovo-sírových akumulátorov (NaS)* je zrejmý z obr. 31. Medzi ich výhody patrí: vysoká energetická a výkonová hustota, relatívne vysoká účinnosť a dlhá životnosť; medzi nevýhody: pomerne vysoké výrobné náklady (ešte stále malý objem výroby), vysoká pracovná teplota (300 °C), obsahuje toxické komponenty.

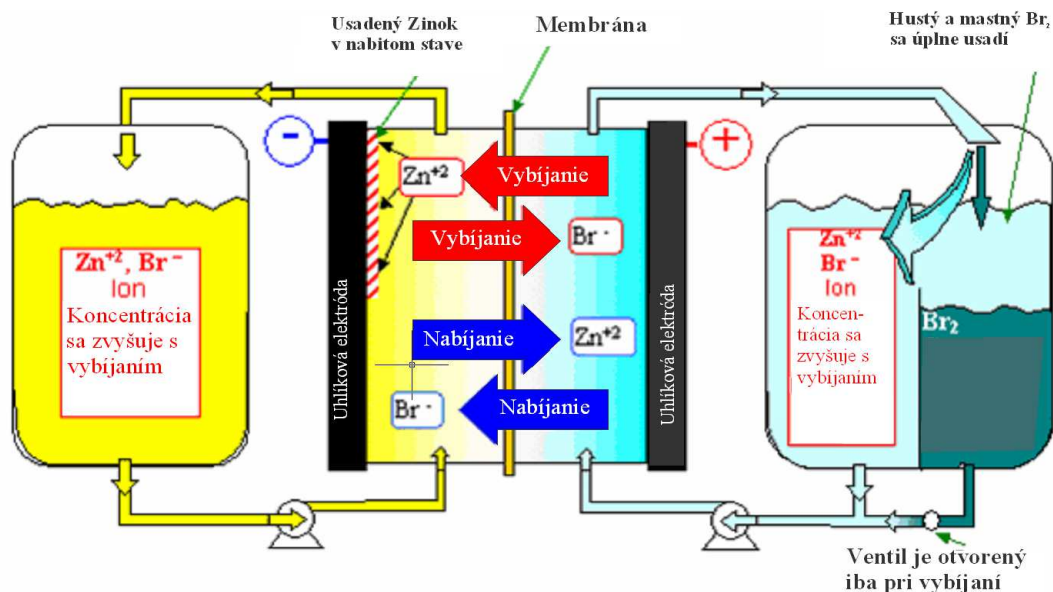
Prietokové batérie predstavujú systém, v ktorom sa elektrická energia akumuluje v roztoku dvoch separovaných elektrolytov uložených v nádržiach mimo článku. Tento spôsob prekonal obmedzenia štandardných elektrochemických akumulátorov, v ktorých elektrochemická reakcia vytvorí pevné zlúčeniny, ktoré sú uložené iba na elektródach. Práve to bolo limitujúcim faktorom štandardných batérií pri zväčšovaní objemu ich kapacity. Princíp akumulácie spočíva v inverznej elektrochemickej reakcii medzi dvoma elektrolytmi, ktoré sú od seba oddelené polymérovou membránou. Boli vyvinuté štyri hlavné typy elektrolytov, ako zlúčenina zinku a brómu (**ZnBr**), vodíka a brómu (**HBr**), vanádu a brómu (**VRB**) a polysulfidu brómu (**PSB**). Najväčší rozvoj zaznamenali VRB

batérie, kde ako základ elektrolytu slúži slabý roztok kyseliny sírovej. Testy potvrdili, že VRB batéria vydrží až 10 000 nabíjání bez zníženia účinnosti.



Obr. 31 Princíp činnosti jedného článku sodíkovo-sírovej batérie

Výhody VRB batérií možno zhrnúť nasledovne: veľkosť akumulovanej energie závisí od množstva elektrolytu, výkon článku závisí od jeho veľkosti, vysoká energetická a výkonová hustota, ľahká rozširiteľnosť; nevýhody: sú ešte len v ranej fáze vývoja, vysoké investičné náklady, obmedzené možnosti pre svoju veľkosť. ZnBr prietokové batérie majú podobné výhody i nevýhody ako VRB batérie, navyše obsahujú korozívne a toxické materiály, vyžadujúce špeciálne zaobchádzanie z hľadiska bezpečnosti.



Obr. 32 Princíp činnosti prietokovej batérie ZnBr

Niklovo-kadmiové (NiCd) akumulátory predstavujú tiež staršiu technológiu, sú pomerne robustné, ale majú vyššiu hustotu energie a vyššiu životnosť ako olovené. Sú však drahšie a obsahujú toxické kadmium.

Niklovo-metalhydridové (NiMH) akumulátory majú podobné vlastnosti ako NiCd, ale predstavujú novšiu technológiu, ich výhodou je tiež ľahká rozširiteľnosť a nižšia toxicita.

Aktívnym materiálom zápornej elektródy *lítiových iónových (Li-ion)* akumulátorov je oxid, obsahujúci tranzitný kov. Anóda je tvorená uhlíkovo-grafitovou vrstvou. Elektrolyt je tvorený soľami lítia rozpustenými v organických uhličitanoch. Separátor je tvorený veľmi tenkou vrstvou, obsahujúcou polymér, znemožňujúci prechod iónov. Napätie jedného článku dosahuje až 3,6 – 3,7 V. Ich výhodou je vysoká energetická a výkonová hustota i vyššia účinnosť, nevýhodou hlavne vysoké náklady kvôli obmedzenej dostupnosti kobaltu a tiež skutočnosť, že vyžadujú náročné riadenie nabíjania.

Akumulácia vodíka bola navrhnutá ako odpoveď na potrebu nových skladovacích kapacít energie. Vodík sa vyrába elektrolýzou vody, metóda je jednoduchá a odskúšaná. Energia vodíka môže byť využitá buď pomocou palivových článkov rekombináciou vodíka a kyslíka, alebo vodík môže byť používaný ako palivo v parnom kotle, či v spaľovacom motore.

Hlavným problémom vodíka je jeho skladovanie. Pri jeho uskladnení do vysokotlakovej nádoby je potrebné veľké množstvo energie na jeho kompresiu a veľký objem zásobníka. Tieto fakty významne znižujú efektívnosť procesu akumulácie a preto vodík je ekonomicky výhodný iba pre veľké množstvá akumulácie.

Chladením vodíka na veľmi nízke teploty sa dá znížiť objem skladovania, čo robí proces ešte viac neekonomickým. Boli vyvinuté uhlíkové nanotrúbice ako nové médium pre skladovanie vodíka, ide o mikroskopické rúrky z uhlíka veľkosti 2 nm, určené pre ukladanie vodíka do mikroskopických pórov na povrchu a vo vnútri štruktúry rúrky. Výskum tejto perspektívnej technológie je zameraný na zníženie nákladov na výrobu uhlíkových nanotrúbíc pre komerčné využitie.

Výhody technológie spočívajú vo vysokej energetickej hustote a spoľahlivosti, v ľahkej rozširiteľnosti, ako aj v tom, že neprodukuje žiadne škodlivé látky. Nevýhodami sú: nízka efektívnosť akumulácie, potreba objemných nádrží na skladovanie, či nutnú kompresiu, vysoké priestorové nároky na výrobu vodíka a vysoké náklady výroby (viac ako 400 \$/kW).

4.2 Neelektrochemické technológie akumulácie

Najbežnejšími príkladmi neelektrochemických technológií skladovania elektrickej energie sú:

- prečerpávacie vodné elektrárne (PVE),
- podzemné zásobníky stlačeného vzduchu (CAES),
- zotrvačníky,
- superkapacitor,
- supravodivé magnetické akumulátory (SMES).

Prepojená elektrizačná sústava sama o sebe predstavuje istý druh akumulátora, nakoľko stochastické zmeny zaťaženia jednotlivých zákazníkov neprebiehajú súčasne, môžu pôsobiť vzájomne proti sebe a takto sa môžu eliminovať.

Energia „ušetrená“ pri nízkom zaťažení jedným odberateľom, môže byť predaná blízkeho odberateľovi v čase vysokého zaťaženia. Týmto spôsobom možno odložiť, či časovo posunúť výstavbu alebo rekonštrukciu vedenia, či elektrickej siete.

Z klasických spôsobov akumulácie energie má relatívne najvyššiu účinnosť tepelná akumulácia – účinnosť prečerpávacích vodných elektrární je 0,50 až 0,85, účinnosť elektrární s akumuláciou stlačeného vzduchu je 0,39 až 0,52 a účinnosť elektrární s tepelnou akumuláciou dosahuje 0,60 až 0,88.

Teplo možno akumulovať v samotnom zdroji tepla (v akumuláčnej nádrži), v napájачoch a miestnych rozvodoch horúcej a teplej vody a u odberateľov tepla (v zásobníkoch teplej vody, vo vyrovnávacích akumulátoroch na konci parovodov, v murive a pod.)

Množstvo akumulovaného tepla závisí na akumuláčnom priestore (priemer a dĺžka rozvodu horúcej a teplej vody) a na zvýšení teploty vody v prívodnom a spätnom potrubí.

Určítym spôsobom ukladania energie je aj ukladanie fosílnych palív, ale aj takéto riešenie spôsobuje zvýšenie výrobných nákladov elektriny i skutočné straty: uhlie na skládke sa napr. postupne znehodnocuje oxidáciou.

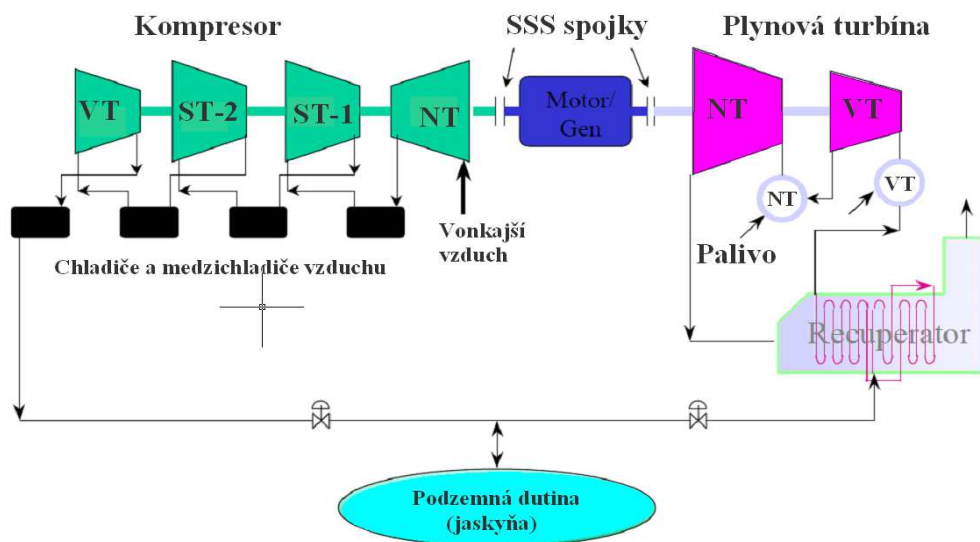
Na zmenu zaťaženia elektrizačnej sústavy reagujú najpružnejšie vodné elektrárne – vodné turbíny sa dajú spúšťať a odstaviť rýchlo, ich výkon je možné dobre regulovať. V tých krajinách, medzi ktoré patrí aj Slovensko, kde vodné elektrárne pokrývajú veľkú časť spotreby elektriny, je oveľa jednoduchšie a lacnejšie inštalovať a prevádzkovať slnečné a veterné elektrárne, pretože vodné elektrárne dokážu relatívne jednoducho kompenzovať ich rapsodické dodávky. Vodnú elektrárňu spravidla budujú spolu s vodnou nádržou, ktorá okrem požadovaného spádu a výkonu turbín zároveň umožní aj akumuláciu potenciálnej energie vody. Z hľadiska akumulácie sú vodných elektrární najvýhodnejšie už spomenuté *prečerpávacie vodné elektrárne*.

Sú významnými zdrojmi špičkového a regulačného výkonu. Môžu byť budované s denným alebo s týždenným cyklom prečerpávania. Pre veľký akumuláčny objem predstavujú aj významný zdroj dispečerskej zálohy. Účinnosť moderných PVE sa dosahuje až 85 %, medzi ich výhody patrí, že ide o osvedčenú technológiu, s vysokou kapacitou akumulácie až 1000 MW, s prakticky neobmedzenou dĺžkou skladovania energie a bez produkcie odpadu či toxických materiálov. Ich značnou nevýhodou sú geografické obmedzenia, záber veľkého územia, dlhý čas výstavby i vysoké investičné náklady.

V tých krajinách, v ktorých je malý hydroenergetický potenciál sú dve možnosti na riešenie problému: treba inštalovať také elektrárne, ktoré sa dajú rýchlo spúšťať i odstaviť, alebo treba použiť akumulátory energie. Využitie slnečnej i veternej energie sa takto výrazne zdražie, pretože do ceny vyrobenej elektriny treba započítať aj investičné a prevádzkové náklady týchto elektrární – obyčajne s plynovými turbínami, či dieselovými agregátmi. Účinnosť týchto dobre regulovateľných elektrární je samozrejme tiež najväčšia pri ich menovitej prevádzke, v prípade čiastočného zaťaženia výrazne klesá, čo spôsobuje zvýšenie ceny vyrobenej elektriny.

Výstavba *podzemných zásobníkov stlačeného vzduchu (CAES)*, (obr. 33) je úzko spätá s vhodnými geologickými podmienkami. Princíp uskladnenia elektrickej energie je v kompresii vzduchu do veľkokapacitných zásobníkov, ktoré sú tvorené

zakonzervovanou baňou alebo prírodnou jaskyňou. V čase prebytku elektrickej energie kompresor vtláča vzduch do zásobníkov, v čase požiadavky o dodanie špičkového výkonu stlačený vzduch expanduje v plynovej turbíne, kde sa energia expandovaného vzduchu spolu s prídavným plynom využíva na pohon generátora. Výhody: vysoká účinnosť, stabilný dodávaný výkon v každom počasí, nižšie emisie pri kombinovanom spaľovaní plynu, patrí medzi najlacnejšie možnosti akumulácie elektrickej energie, pomerne krátky čas výstavby (do 3 rokov), veľký výkon (do 300 MW), rýchly prechod z akumulátorovej do generátorovej prevádzky. Nevýhody: geografické obmedzenia, potreba paliva – zemného plynu a výstavba iba pre väčšie výkony.



Obr. 33 Schéma akumulácie elektriny pomocou CAES

Elektrická energia v *zotrvačníkoch* je akumulovaná vo forme kinetickej energie rotujúceho telesa okolo vlastnej osi. Prebytočná elektrická energia siete je dodávaná do motorgenerátora (MG) v motorovom režime, ktorý roztáča zotrvačník a zvyšuje jeho kinetickú energiu. Ak je potreba dodávať špičkovú energiu späť do siete, MG začne pracovať v generátorovom režime. Kinetická energia akumulovaná v rotujúcom zotrvačníku sa pretransformuje na elektrickú, ktorá sa dodáva do siete. Výhody: vysoká účinnosť až 90%, sú ideálne pre aplikácie, ktoré potrebujú časté a hĺbkové vybíjanie, krátky čas nabíjania a vybíjania, netoxické zloženie, veľký krátkodobý výkon, dlhá životnosť. Nevýhody: nízka hustota energie, veľké straty v pohotovostnom režime, vysoké počiatočné náklady, zvýšené nebezpečenstvo mechanických porúch.

Superkapacitor predstavuje elektrolytický kondenzátor vyrobený špeciálnou technológiou, ktorá umožňuje dosiahnutie obrovskej kapacity niekoľko stoviek až tisícok Faradov. Energia v superkapacitoroch je uložená v elektrostatickom poli rovnako, ako v klasických kondenzátoroch. Pri privedení vonkajšieho napätia dochádza k presunu kladných iónov v elektrolyte, smerom k zápornej elektróde a k presunu záporných iónov ku kladnej elektróde. Základom týchto kondenzátorov je aktívna vrstva uhlíka, nanosená na povrchu hliníkových elektród. Plocha pórovitého povrchu dosahuje hodnoty 2000 m² na jeden gram prášku uhlíka. Elektrolyty kondenzátora sú oddelené separátorom, vyrobeným z polypropylénovej fólie a sú obklopené elektrolytom, ktorý je tekutý alebo vo forme gélu. Prášok je buď uhlíkový aerogel alebo uhlíkový polymér. Materiálom budúcnosti budú uhlíkové trubice, ktoré podstatne zvýšia

povrch elektród. Značnou nevýhodou týchto kondenzátorov je možnosť prierazu, preto sú tieto kondenzátory určené na napätie, ktoré sa pohybuje v rozmedzí 2,3 – 2,7 V. Výhody: veľký krátkodobý výkon, dlhá životnosť a rýchle nabíjanie; nevýhody: nízka hustota energie, vysoká investičná náročnosť a nelineárna vybíjacia charakteristika.

V prípade **SMES** je elektrická energia akumulovaná v magnetickom obvode cievky. Cievka je vytvorená zo supravodivého materiálu. Prúdu, ktorý preteká cievkou nie je kladený žiadny ohmický odpor, preto energia je akumulovaná so vysokou účinnosťou. Prvé supravodivé materiály dosahovali jav supravodivosti pri veľmi nízkych teplotách radovo 4 K, čo je teplota kvapalného hélia. Náklady na výrobu skvapalneného hélia spôsobovali, že využitie supravodičov nenašlo širšie uplatnenie v praxi. Prelom v tejto oblasti nastal po objavení vysokoteplotných supravodičov, ktorých kritická teplota sa pohybuje okolo 90 K, čo je vyššia teplota ako je teplota tekutého dusíka (77 K). Výhody: široké možnosti aplikácie, vysoká energetická a výkonová hustota, ľahká rozširiteľnosť; nevýhody: ešte sú v rannej fáze vývoja, pomerne drahé, obmedzené možnosti kvôli ich veľkosti.

5 Simulácia regulácie tokov výkonov v SimPowerSystems

SimPowerSystems je moderný dizajnerský nástroj, ktorý umožňuje rýchlo a ľahko vytvárať modely simulujúce správanie elektrizačnej sústavy. SimPowerSystems využíva prostredie Simulink, ktoré umožňuje vytvárať modely jednoduchým postupom. Nakreslenie topológie obvodu je nielen rýchle, ale analýza obvodu môže obsahovať interakcie s mechanickými, tepelnými, riadiacimi a inými odbormi. Je to možné dosiahnuť pomocou rozsiahlych knižníc. Tieto knižnice obsahujú modely typických elektroenergetických zariadení ako sú transformátory, vedenia, motory a zariadenia výkonovej elektroniky a ďalšie.

Po liberalizácii je výber dodávateľa na samotnom spotrebiteľovi, ktorý si môže nakúpiť elektrinu v ktorejkoľvek európskej krajine. Takto sa očakáva vytvorenie konkurencie na trhu, čím sa cena elektriny spravidla tlačí nadol. Otvorenie trhu na druhej strane však znamená zvýšený cezhraničný prenos výkonu, čo následne preťažuje vedenia až na hranicu ich fyzikálnych možností.

Ďalšou, stále významnejšou príčinou, ktorá zvyšuje cezhraničný prenos je zvýšenie inštalovaných výkonov *nepredikovateľných obnoviteľných zdrojov energie*, ako aj ich nerovnomerné rozmiestnenie v jednotlivých krajinách Európy.

Rozdelenie tokov výkonov v jednotlivých častiach zložitej prepojenej sústavy závisí od ich impedancie ako aj od rozmiestnenia a veľkosti napájacích zdrojov a spotrebičov. V určitých prípadoch sa môže rozloženie toku výkonov, vyplývajúce z týchto podmienok byť nežiaduce, napr. preťažením niektorých vedení príslušnej sústavy, nevyhovujúcim pomerom reaktančného a činného výkonu a pod. Aby sa zabránilo týmto nebezpečným stavom a zabezpečilo požadované rozdelenie toku výkonov pre dané prevádzkové podmienky, treba zmeniť niektoré parametre uzavretého obvodu.

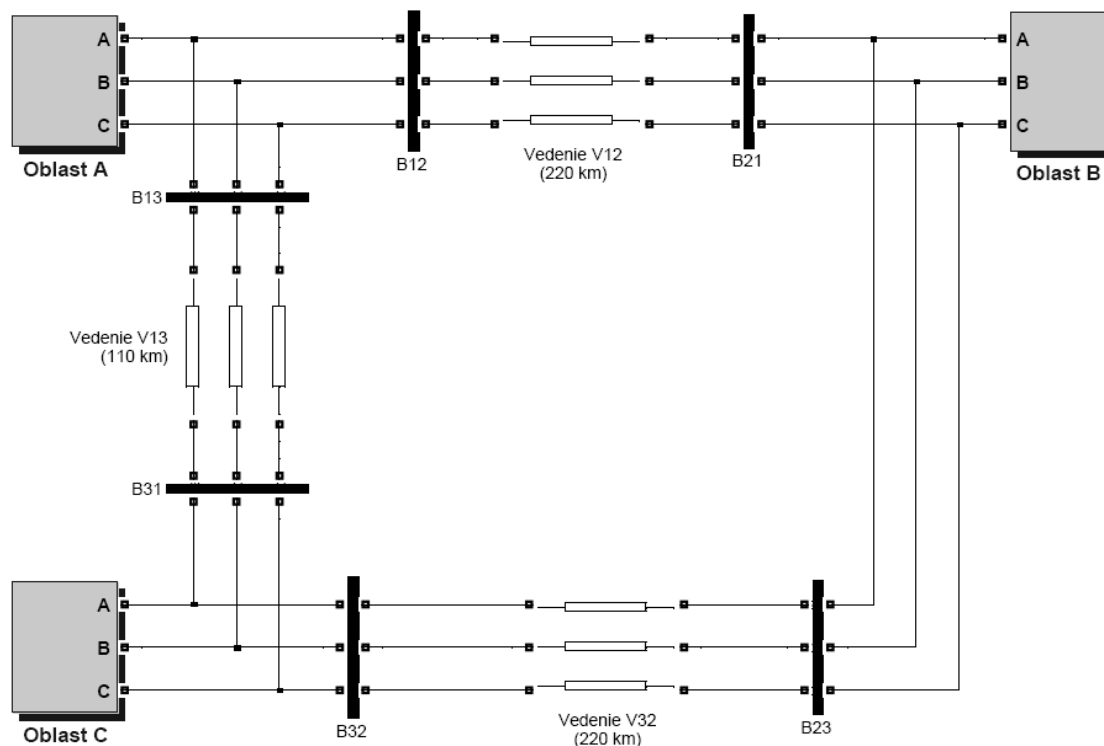
FACTS regulátory sú zariadenia na báze výkonovej elektroniky, ktoré zabezpečujú kontrolu jedného alebo viacerých parametrov prenosovej sústavy.

Hlavnou úlohou paralelných FACTS zariadení je zabezpečiť napäťovú podporu v elektrickej sieti. Môžu sa tiež použiť na zlepšenie statickej a dynamickej stability sústavy a na tlmenie oscilácií. Sériové FACTS sú bežne používané pre riadenie toku výkonu, tlmenie oscilácií a zlepšenie stability sústavy. Môžu sa tiež použiť aj na

zlepšenie stability napätia, aj keď na tento účel je efektívnejšie použiť paralelné FACTS.

PST je zariadenie slúžiace k riadeniu toku výkonu, zmierneniu účinkov preťaženia a minimalizácii strát energie v elektrizačných sústavách po celom svete. Existuje mnoho rôznych typov PST, ich princípom a činnosťou sa podrobnejšie zaoberá príslušná odborná literatúra.

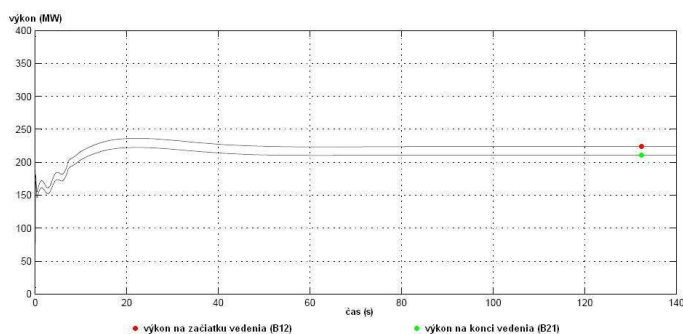
Na vysvetlenie účinkov PST transformátora na reguláciu toku činného výkonu je potrebné najprv analyzovať vybranú modelovú sústavu bez jeho použitia. Na analýzu boli použité tri sústavy prepojené prenosovými vedeniami podľa obr. 34.



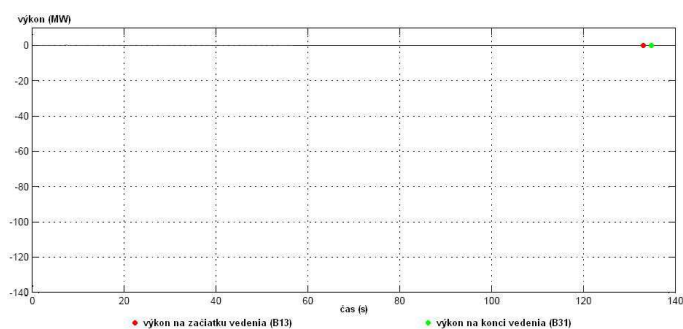
Obr. 34 Sústavy prepojené bez použitia PST

Oblasti A a C pracujú s prebytkom výkonu, zatiaľ čo oblasť B má deficit výkonu. Oblasť A a B dodávajú rovnaký výkon a pri zadaných parametroch vedením V13 nepotečie žiadny výkon. Na obr. 35. a), b), c) sú znázornené výkony prenášané medzi jednotlivými oblasťami.

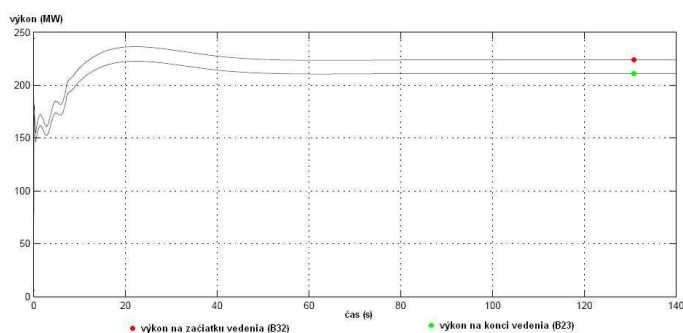
a)



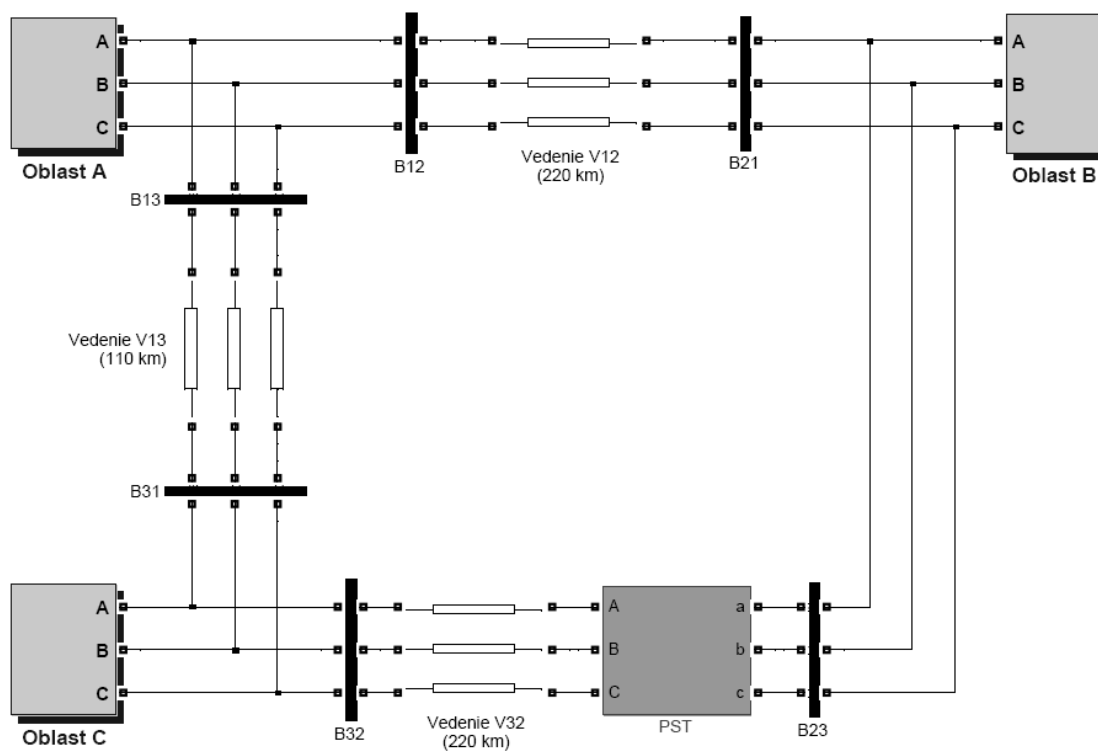
b)



c)



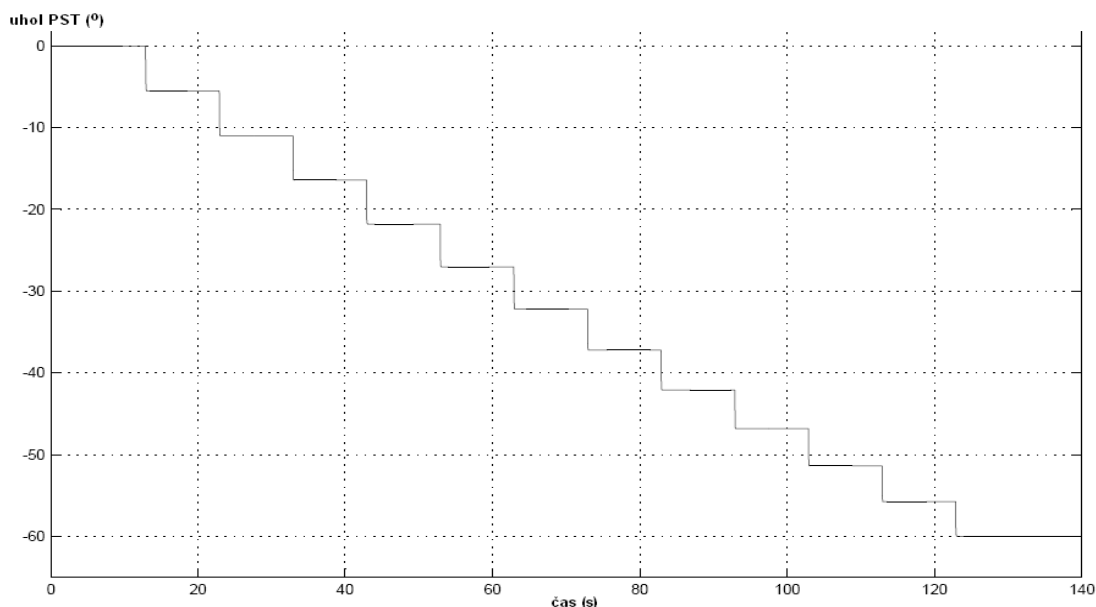
Obr. 35 Tok výkonu vedením V12 (a), V13 (b) a V32 (c)



Obr. 36 Sústavy prepojené s použitím PST

Bez použitia PST transformátora sa z oblasti A do oblasti B prenášal výkon 230MW so stratami 20MW na vedení V12. Z oblasti C do oblasti B sa prenášal rovnaký výkon 230MW so stratami 20MW na vedení V32.

Na účely ďalšej analýzy bol do vývodu vedenia V32 z oblasti B do oblasti C nasadený PST transformátor (obr. 36). Vzhľadom na predpokladané zaťaženie profilu bol vybraný PST transformátor o výkone 700MVA s 25 odbočkami, z ktorých jedna je v základnej nulovej polohe, 12 odbočiek je v kladnom smere a 12 v zápornom.

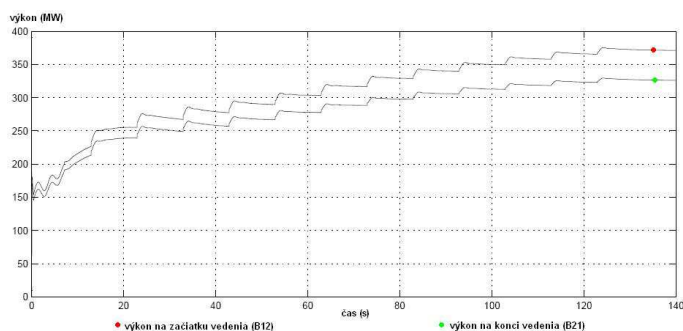


Obr. 37 Pribeh zmeny fázového uhla PST v závislosti od nastavenia odbočiek

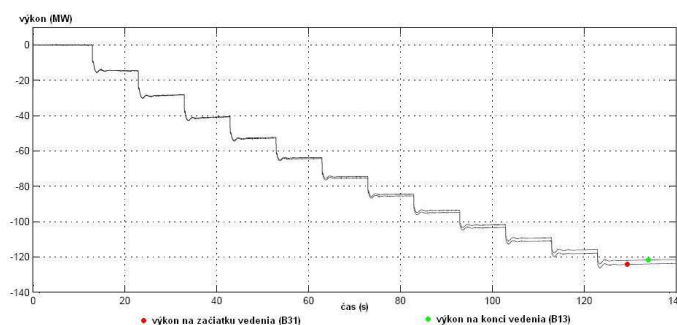
V modelovom príklade je využité prepínanie dvanástich odbočiek v kladnom smere v 10 sekundových intervaloch. Jeden posun odbočky znamená zmenu fázového uhla transformátora približne o $5,5^\circ$ (obr. 37).

Obr. 38. a), b), c) znázorňujú prenášané výkony s využitím PST a taktiež zmenu prenášaného výkonu v závislosti od zmeny fázového uhla transformátora. Na jednotlivých obrázkoch sú znázornené dve krivky, pričom jedna udáva činný výkon na začiatku a druhá na konci vedenia. Takto je možné z grafických priebehov odčítať straty spôsobené prevádzkou PST transformátora.

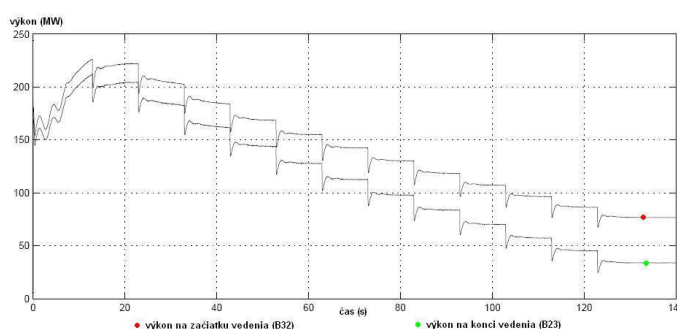
a)



b)



c)



Obr. 38 Tok výkonu vedením V12 (a), V13 (b) a V32 (c) po nasadení PST

Po nasadení PST transformátora sa prerozdelenili činné výkony na vedeniach takým spôsobom, že vedením V32 v bode B23 sa prenášal výkon 35MW. Straty na tomto vedení s využitím PST vzrástli na hodnotu 35MW. Zvýšenie strát v prevádzke s PST v porovnaní s prevádzkou bez PST činí 15MW na príslušnom vedení. Zaťaženie vedenia V12 sa samozrejme zvýšilo adekvátne, aby bol pokrytý odber v oblasti B, tok výkonu z oblasti C do oblasti B bol vlastne presmerovaný z vedenia V32 na V12 cez V31.

V prípade regulácie fázy s PST do záporného smeru by sa odľahčilo vedenie V12, a tok výkonu by sa presmeroval z oblasti A cez V13 na V32 do oblasti B.

Výroba elektrickej energie vo veterných a fotovoltaických elektrárnach je v dôsledku ich silnej závislosti na klimatických podmienkach na rozdiel od ostatných zdrojov len ťažko predvídateľná, napriek tomu, že kvalita predikčných modelov sa stále zlepšuje. Nekontrolovateľný tok výkonov z veterných či slnečných elektrární na Slovensku, alebo dokonca zo zahraničia, môže ohroziť prevádzkovú bezpečnosť a spoľahlivosť elektrizačnej prenosovej sústavy SR.

Cieľom modelovania bolo poukázať na možnosť presmerovania neočakávaných tokov výkonov hlavne z veterných a slnečných elektrární prostredníctvom PST. Odľahčením príslušného vedenia tak možno zabrániť jeho prípadnému preťaženiu a následnému vypínaniu, čo v krajnom prípade by mohlo viesť až k dominovému efektu a rozpadu sústavy s následkom veľkých hospodárskych škôd. Vďaka svojim vhodným

regulačným schopnostiam a cenovej dostupnosti sa ako perspektívne riešenie javí umiestnenie PST do najviac ohrozených vedení.

Záver

Ľudstvo je schopné rozvíjať sa trvalo udržateľným spôsobom, táto predstava ale zahŕňa aj určité obmedzenia. Nie sú to obmedzenia pripomínajúce zákazy, skôr vychádzajú zo súčasného stavu techniky, vzťahu ľudskej spoločnosti k prírodným zdrojom a ku schopnostiam prírody vysporiadať sa s vplyvmi ľudských zásahov.

Postupne si uvedomujeme, že doterajší neregulovaný hospodársky rast, založený na využívaní neobnoviteľných zdrojov energie, je dlhodobu neudržateľný a je v rozpore s trvalo udržateľným rozvojom. Na dosiahnutie trvalej udržateľnosti je v dlhodobej perspektíve nevyhnutný postupný prechod od súčasného systému k udržateľnému systému využívajúceho najmä obnoviteľné zdroje energie.

Dnešná nestabilita energetických zdrojov, ustavičný nárast globálneho dopytu po energiách, nadmerné využívanie obmedzených zdrojov a znečisťovanie životného prostredia, vedú k dôkladnému posudzovaniu a vyhodnocovaniu rizík pre energetiku a ľudstvo. To sa musí odrážať aj v aktivitách EÚ a jej snahe efektívne a účinne riešiť otázku jej budúcich energetických i environmentálnych potrieb a nárokov.

Povinnosťou každej členskej krajiny EÚ a teda aj SR, je prevziať energetickú legislatívu EÚ do svojej národnej legislatívy. V predloženom príspevku je uvedený samozrejme aj opis prognóz možných scenárov vývoja výroby a spotreby elektrickej energie v SR, ktoré bolo potrebné kvôli kríze korigovať. Sú zhrnuté taktiež ciele pre zachovanie spoľahlivosti energetického systému SR a ciele pre vyššie využívanie OZE s podporou týchto zdrojov. Pri dosahovaní strategických cieľov vytýčených EÚ sa pri rozdeľovaní záťaže medzi jednotlivé krajiny zohľadňujú národné špecifiká, východiskové pozície jednotlivých členských štátov, súčasná úroveň podielu OZE a energetický mix.

Spoľahlivý a cenovo dostupný spôsob akumulácie elektrickej energie je základným predpokladom pre využitie OZE, s cieľom integrácie do elektrizačnej sústavy a rozvojom budúceho decentralizovaného systému dodávok elektrickej energie. Akumulácia energie má kľúčovú úlohu v úsilí spojiť budúcnosť udržateľných dodávok energie s takým štandardom kvality poskytovaných technických služieb a produktov, ktorý sa vyžaduje a v súčasnosti je aj bežný pri využívaní klasických zdrojov energie.

Výber vhodnej technológie na akumuláciu elektrickej energie závisí od splnenia viacerých kritérií. Mnohé z technológií sú odskúšané a preverené časom, iné technológie sú vo fáze pilotných a demonštračných projektov. Niektoré z nich sa javia ako perspektívne a v najbližšom čase sa predpokladá ich široké použitie v praxi. Ako príklad sa môžu uviesť prietokové a NaS batérie. Akumulácia do zotrvačníkov, superkapacitorov a SMES sa považujú za perspektívne metódy v aplikáciách pre zlepšenie kvality siete. Li-ion batérie sú v širokej miere používané v prenosných aplikáciách a ich použitie na akumulovanie väčšieho množstva energie má značný potenciál. Vodík ako zdroj naakumulovanej elektrickej energie predstavuje jednu z obrovských výziev, ktorá by mohla byť v budúcnosti najrozšírenejšou akumulácnou technológiou.

V poslednej časti príspevku bolo s využitím modelovania v SimPowerSystems poukázané na možnosť presmerovania neočakávaných tokov výkonov hlavne z OZE

prostredníctvom PST. Odl'ahčením príslušného vedenia tak možno zabrániť jeho prípadnému preťaženiu a následnému vypínaniu, čo v krajnom prípade by mohlo viesť až k dominovému efektu a rozpadu sústavy s následkom veľkých hospodárskych škôd.

Zoznam použitej literatúry

- [1] M. Bělík a J. Škorpil, "Usage of photovoltaic systems issue," in *Proc. Distributed Power Generation Systems 2006*, pp.100-108, ISBN 80-7043-456-2.
- [2] M. Bělík, J. Škorpil a J. Mühlbacher, "Mathematical model 20 kWp photovoltaic system," in *Proc. Elektroenergetika 2007*, pp.197-199, ISBN 978-80-553-0400-7.
- [3] P. Birkner, "Sustainable development of electrical distribution networks," in *Proc. Elektroenergetika 2005*, pp. 23-30, ISBN 978-80-553-0399-4.
- [4] Birkner, P.: Reliability aspects of electrical networks operated in liberalized markets. str. 523-527. *Proc. Elektroenergetika 2007*. ISBN 978-80-553-0400-7.
- [5] Birkner, P.: Distribution grids of the future – the technological challenges we are going to face. str. 14-19. *Proc. Elektroenergetika 2009*. ISBN 978-80-553-0401-1.
- [6] V. Bürger et al., *Renewable electricity: Make the switch*, Öko-Institut, p. 32, Sept. 2008.
- [7] Kolektív, *Guide to Purchasing Green Power: Renewable Electricity, Renewable Energy Certificates, and On-Site Renewable Generation*, EPA, p. 50, March 2010, ISBN 1-56973-577-8.
- [8] R. Madlener a S. Stagl, *Methodological and ideological options: Sustainability-guided promotion of renewable electricity generation*, CEPE Zurich, p. 33, Nov. 2004.
- [9] Z. Martínek, "Effect regulation and automatization of system on reliability level of electric supply," in *Proc. Distributed Power Generation Systems 2004*, pp. 90-98, ISBN 80-7043-283-7.
- [10] J. Mühlbacher et al., "Impacts of renewable and alternative energy sources on operation and stability of electrical network," in *Proc. Distributed Power Generation Systems 2006*, pp. 3-8, ISBN 80-7043-456-2.
- [11] J. Szkutnik, "The direction of the energy activity in relation to the priorities of the European Commission," in *Proc. Elektroenergetika 2005*, pp. 51-66, ISBN 978-80-553-0399-4.
- [12] J. Škorpil, "Flicker appearance with the wind power plant utilization," in *Proc. Distributed Power Generation Systems 2004*, pp. 4-7, ISBN 80-7043-283-7.
- [13] L. Vízslay, "Trvalo udržateľná energetika: Diplomová práca," Košice, FEI TU v Košiciach, 2010, p. 93.
- [14] Dyckman, L. J. - Jones, J. R.: *Renewable energy: Wind Power's Contribution to Electric Power Generation and Impact on Farms and Rural Communities*. Gao, Sept. 2004.
- [15] Heřman, A., Mühlbacher, J.: New issues of the large scale distributed power generation. str. 81-84. *Proc. Elektroenergetika 2007*.
- [16] Kol.: *Small Wind Electric Systems*. March 2005.

- [17] Martínek, Z.- Královcová, V.: Nowadays situation in operational reliability of complex network in the EU. str. 35-38. Proc. Environmental Impacts of Power Industr 2008. ISBN 978-80-7043-681-3.
- [18] Pfluger, A.: Market Stimulation of Renewable Electricity in the EU. Brussels. ISBN 92-9079-588-3.
- [19] Johansson, N.: *Control of Dynamically Assisted Phase-shifting Transformers*. Stockholm: Royal Institute of Technology, 2008. ISBN 978-91-7178-879-5. 184 s.
- [20] *SimPowerSystems: for Use with Simulink*. User's Guide, Version 3. The MathWorks., Hydro-Québec: TransÉnergie Technologies, 2003. 620 s.
- [21] Domanico, F.: Liberalization of the European Electricity Industry: Internal market or National Champions? Dostupné na internete: <<http://89.206.150.89/documents/p001227.pdf>>
- [22] Polish CCS demonstration plant fully integrated into new unit 858 MW in Belchatow power plant (EBSA). Dostupné na internete: <<http://www.cslforum.org/publications/documents/Warsaw2010/Wroblewska-TG-CCSBelchatow-Warsaw2010.pdf>>.
- [23] Putting carbon back into the ground. Dostupné na internete: <http://www.ieaghg.org/docs/general_publications/putback.pdf>. ISBN 1-898373-28-0
- [24] Towards a public communication and engagement strategy for carbon dioxide capture and storage projects in Scotland. Dostupné na internete: <http://www.geos.ed.ac.uk/scs/SCCTS_WP4_Final_Report.pdf>.
- [25] The Schwarze Pumpe pilot plant. Dostupné na internete: <<http://www.vattenfall.com/en/ccs/pilot-plant.htm>>.
- [26] Key large scale CO2 capture and storage project.. Dostupné na internete: <http://www.co2captureproject.org/ccs_in_action.html>.
- [27] Denholm, P. et al: The Role of Energy Storage with Renewable Electricity Generation. NREL/TP-6A2-47187, January 2010.
- [28] Dickerman, L. et al.: Challenges of Electricity Storage Technologies. APS Physics, May 2007.
- [29] Isser, S.: Electricity storage white paper. Austin, January 2010.
- [30] Kaplan, S. M.: Electric Power Storage. CRS, 2009.
- [31] Peters, R. - O'Malley, L.: Storing Renewable Power. Pembina Institute, June 2008. ISBN 1-897390-15-7.
- [32] Polívka, J.-Vostracký Z.: Akumulace energie je strategickým úkolem pro výzkum. str. 184-190. Proc. Elektroenergetika 2009.
- [33] Hingorani, N. G., Gyugyi, L.: Understanding FACTS. New York: IEEE Press, 2000, 432 s.
- [34] Momoh, J.A.: Electric Power System Applications of Optimization. 1. vyd. New York: Marcel Dekker, 2001. ISBN 0-8247-9105-3. 478 s.
- [35] Mészáros, A.: Modelovanie riadenia toku výkonu s využitím PST transformátora. In: Elektroenergetika. Roč. 6, č. 1 (2013), s. 5-10. ISSN 1337-6756.

Využitie slnečnej energie pre fotovoltiku

Ing. Stanislav Ilenin, PhD.

Obsah

1	Využitie slnečnej energie pre fotovoltiku	152
1.1	Slnko a slnečné žiarenie	152
1.2	Fotovoltický článok	153
1.3	Fotovoltický systém.....	155
1.4	Fotovoltika v strešnej konštrukcii	158
1.5	Záver kapitoly 1.....	158
1.6	Literatúra ku kapitole 1	159
2	Materiály pre výrobu fotovoltických článkov	160
2.1	Monokryštalický kremík	160
2.2	Polykryštalický kremík.....	162
2.3	Hydrogenizovaný amorfný kremík.....	163
2.4	Arzenid gália	163
2.5	Telurid kademnatý.....	164
2.6	Sulfid kademnatý.....	164
2.7	Účinnosť fotovoltických článkov	164
2.8	Plánovanie fotovoltického systému	166
2.9	Záver kapitoly 2.....	167
2.10	Literatúra ku kapitole 2	167
3	Fotovoltické elektrárne	170
3.1	Materiály a technológie	170
3.2	Fotovoltické moduly.....	171
3.3	Striedače	174
3.3.1	Napäťové riadenie striedača.....	174
3.3.2	Prúdové riadenie striedača	176
3.4	Transformátory, kábeláž, elektromery	177
3.5	Podmienky pripojenia fotovoltických systémov do distribučnej sústavy	178
3.5.1	Zvýšenie napätia	178
3.6	Záver kapitoly 3.....	179
3.7	Literatúra ku kapitole 3	179

1 Využitie slnečnej energie pre fotovoltiku

1.1 Slnko a slnečné žiarenie

Slnko ako jedna z hviezd našej galaxie predstavuje vysoko stabilný a vysoko výkonný energetický zdroj, bez ktorého by sa život na Zemi nezaobišiel. Energia Slnka má pôvod v termo - jadrovej syntéze, do ktorej vstupujú vždy dve jadrá vodíka a ktorej výsledkom je jadro hélia. Reakcia prebieha pri teplotách až 14 miliónov °C, zatiaľ čo povrchová teplota Slnka dosahuje v priemere 6000 °C. Od vzniku Slnka uplynulo približne 5 miliárd rokov. Slnko má k dispozícii dostatok jadrového paliva v podobe vodíka, aby svietilo rovnomerne ešte ďalších päť miliárd rokov. Každú sekundu sa 4 000 ton z hmoty Slnka premení na energiu a letí do vesmíru. Táto hviezda našej planetárnej sústavy má priemer 1392000 km. Množstvo dopadajúcej slnečnej energie na Zem je takmer 14000 krát väčšie ako celá energia spotrebúvaná ľudstvom v súčasnosti.

Slnečné žiarenie je vlastne elektromagnetické a korpuskulárne žiarenie. Z tohto žiarenia približne 47 % pripadá na viditeľnú oblasť spektra s vlnovými dĺžkami od 380-400 do 750-800 nm. Približne 7 % žiarenia je pre ľudské oko neviditeľné ultrafialové žiarenie, vlnové dĺžky pod 380 nm. Zvyšná časť žiarenia približne 46 % pripadá na infračervené žiarenie s vlnovými dĺžkami nad 800 nm.

Pri kolmom dopade slnečných lúčov na zemskú atmosféru, dopadne na 1m² asi 1367,13 W energie. Časť tohto priameho slnečného žiarenia je pohltená a rozptýlená v zemskej atmosfére plynmi a aerosólmi a časť je odrazená späť do vesmíru, takže na zemský povrch sa nedostane jeho celá časť. Rozptýlené slnečné žiarenie a žiarenie odrazené od zemského povrchu sa označuje ako žiarenie difúzne. Súčet priameho a difúzneho žiarenia sa označuje ako globálne žiarenie. Výhodou slnečného žiarenia je jeho homogénnejšie rozloženie v porovnaní so svetovými zásobami konvenčných energetických palív, nevýhodou je mnohonásobne nižšia hustota slnečného žiarenia než v prípade fosílnych zdrojov. V Európe intenzita slnečného žiarenia dopadajúceho kolmo na zemský povrch kolíše od približne 400 - 600 kWh/m²/rok na severe Škandinávie a Ruskej federácie až po približne 2000 kWh/m²/rok v oblasti Stredozemného mora. Na Slovensku sa intenzita slnečného žiarenia dopadajúceho na horizontálny povrch pohybuje v rozpätí 1000 – 1205 kWh/m²/rok. Približne 800 kWh/m² je získaných v období od apríla do septembra. V letnom čase dopadne na Zem až 75 % z celoročného

globálneho žiarenia. V našich končinách je v priemere približne 1500 hodín slnečného žiarenia, na horách je to vyše 1300 hodín a na juhu Slovenska až niečo cez 1800 hodín.

Na zemskom povrchu registrujeme tri základné druhy slnečného žiarenia:

- priame slnečné žiarenie, ktoré dopadá priamo na fotovoltický článok a prešlo atmosférou Zeme bez výraznejších zmien,
- rozptýlené žiarenie čiže difúzne - spektrálne zloženie má iné ako priame svetlo rozptýl,
- žiarenie odrazené buď od zemského povrchu, alebo od iných objektov.

Všetky tieto zložky tvoria globálne slnečné žiarenie, ktorého intenzita sa u nás pohybuje medzi $0,1 - 1 \text{ kW/m}^2$, ktoré v rôznej miere je vnímané voľným okom a je možné ho využiť pomocou fotovoltických systémov.

Z celkového pohľadu predstavuje slnečná energia v rámci všetkých obnoviteľných zdrojov energie (OZE) na Slovensku najväčší potenciál 54038 TWh ročne. Technicky využiteľný potenciál slnečnej energie bol oficiálne stanovený Ministerstvom hospodárstva na 9450 GWh ročne, čo predstavuje po biomase druhý najväčší technický potenciál v rámci Slovenska. Technicky využiteľný potenciál, v súvislosti s výrobou elektrickej energie, bol stanovený na úrovni 1540 GWh ročne.

1.2 Fotovoltický článok

Fotovoltický jav objavil v roku 1839 Antoine-Cesár Becquerel (*1788 - +1878). Na rozhraní dvoch polovodičových materiálov, na ktoré dopadá slnečné žiarenie, dochádza k pohlcovaniu fotónov a uvoľňovaniu elektrónov, z čoho vzniká elektrické napätie. Proces energetickej premeny je priamy, bez medzistupňov a neuvolňujú sa pri ňom žiadne emisie skleníkových plynov alebo častíc.

Fotovoltický článok je vlastne veľkoplošná polovodičová dióda, vnútorný fotoelektrický jav, ktorá premieňa slnečnú energiu dopadajúcu vo forme žiarenia priamo na elektrickú. To znamená, že pracuje na fyzikálnom princípe toku elektrického prúdu medzi dvoma prepojenými polovodičmi s rozdielnymi elektrickými vlastnosťami, na ktoré dopadá svetelné žiarenie. Jedna vrstva kremíka (Si) sa vďaka prímеси atómov fosforu vyznačuje nadbytkom elektrónov záporných nábojov a označuje sa ako N - vrstva. Druhá vrstva kremíka je obohatená atómami bóru, čím v nej vzniká nedostatok elektrónov, označuje sa ako P - vrstva a má kladný náboj. Medzi oboma vrstvami vzniká P-N prechod, ktorý je pri dopade slnečného žiarenia aktivovaný a pripojenými

vodičmi tečie medzi oboma vrstvami elektrický prúd. P-N prechod je polovodič, pretože na rozdiel od striedavých elektrických zariadení prúd tečie len jedným smerom - od záporného pólu ku kladnému. Pri dopade slnečného žiarenia, alebo iného svetelného zdroja na polovodič, má napätie medzi oboma pólmi hodnotu približne 0,5 V. Pretekajúci prúd závisí od intenzity slnečného žiarenia, čiže množstva dopadajúcich fotónov a veľkosti článku, ktorých je v paneli umiestnených niekoľko. Napätie v nich býva zvyčajne 12 - 24 V.

Jednosmerný prúd, ktorého zdrojom je sústava fotovoltických článkov tvoriacich modul, využíva mnoho jednoduchých elektrických zariadení, ako sú napríklad prenosné elektrospotrebiče na batérie. V najjednoduchších solárnych aplikáciách je jednosmerný prúd vyrábaný fotovoltickými článkami využívaný elektrospotrebičmi priamo. V aplikáciách, kde je potrebný striedavý prúd, treba použiť menič, ktorý z jednosmerného vyrába striedavý prúd. Striedavý prúd je dodávaný verejnou elektrickou sieťou a využíva ho väčšina bežných elektrospotrebičov.

Nominálny výkon fotovoltických článkov je udávaný v jednotkách Watt peak (Wp), ktorý zodpovedá vyrobenému výkonu solárneho panela pri štandardizovanom výkonnostnom teste, teda energetickej hustote žiarenia 1 kW/m^2 , pri teplote $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a svetelnom spektre slnečného žiarenia po prechode bezoblačnou atmosférou Zeme.

Fotovoltické články sa vyrábajú s nominálnym výkonom 0,1 kWp, jeden takýto článok ročne vyrobí 100 kWh elektrickej energie a energetická návratnosť celého fotovoltického zariadenia je okolo 3 rokov, udávajú výrobcovia. Zároveň ponúkajú 25-ročnú výkonnostnú garanciu a po 25 rokoch bude mať článok 80 % výkon. Ich životnosť je dlhšia ako 30 rokov. Záručná lehota na články je päťročná.

Fotovoltické články tvoriace fotovoltické panely slúžia na výrobu elektriny v podobe jednosmerného prúdu. Hoci sa články navonok javia ako jednoduché zariadenia, skrývajú v sebe čisté polovodičové materiály podobné tým, ktoré sa používajú v mikroprocesoroch počítačov. Kým sa nevynašla technológia výroby superčistého kremíka, ktorý by sa uplatnil v počítačovej praxi a nahradil striebro či zlato, boli počítačové procesory drahé a pomalé, lebo surovina bola príliš drahá. A stačilo roztaviť obyčajný vyčistený piesok, ktorého je na planéte Zem neúrekom, a pritom jeho ťažba je finančne nenáročná. Dnešné fotovoltické články sa takmer výlučne vyrábajú z kremíka (Si) extrémne čistého, zbaveného akýchkoľvek prímiesí, preto je ich výroba finančne

náročná. Hoci je kremík najrozšírenejším prvkom na Zemi, jeho spracovanie do formy polovodiča je technologicky náročné.

Fotovoltické články z amorfného kremíka (Si) dosahujú stupeň účinnosti premeny slnečnej energie v laboratórnych podmienkach 10 %, v praxi len 4 - 8 %. Ich nevýhodou je nedostatočná dlhodobá stabilita, ktorá je podstatne menšia ako u iných článkov.

Monokryštalické Si články sú v súčasnosti najpoužívannejšie a najdôslednejšie prepracované, v laboratórnych podmienkach možno dosiahnuť až 20-percentnú účinnosť, v praxi je to 14 -16 %. Zvýšenie účinnosti sa dosahuje povrchovým štruktúrovaním a antireflexnou vrstvou na prednej strane článku.

Polykryštalické Si články - ide o články vyrobené z liateho Si. V porovnaní s monokryštalickým Si je ich účinnosť nižšia a dosahuje hodnôt 11 - 14,5 %. S dobou použitia rýchlejšie klesá aj ich účinnosť.

Fotovoltické články z arzenidu gália (GaAs) majú vynikajúcu odolnosť voči vysokoenergetickému žiareniu a využívajú sa predovšetkým pre napájanie vesmírnych staníc a satelitov, ich účinnosť je 34 %.

1.3 Fotovoltický systém

Podľa výkonu je možné fotovoltické systémy ako zdroje energie rozdeliť na:

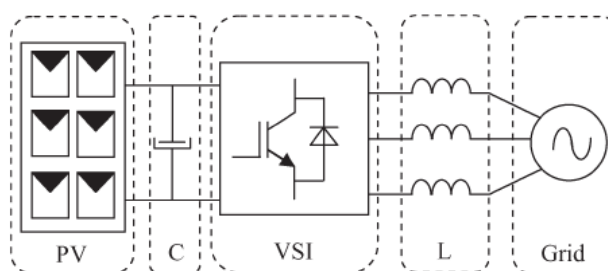
- autonómne systémy s výkonom do 2 kW - nabíjajú akumulátory,
- hybridné systémy s výkonom do 5 kW - nabíjajú akumulátory a ešte pomocné generátory,
- systémy napojené priamo na sieť s výkonom až niekoľko MW.

Autonómne pracujúce fotovoltické systémy sú závislé len od slnečných článkov. Tieto sú pripojené na batériu cez regulátor nabíjania, ktorý prerušuje okruh keď je batéria nabitá a vypína záťaž skôr, ako by sa batéria úplne vybila. Batérie musia byť dosť veľké, aby mohli skladovať energiu vyrobenú cez deň a využívať ju v noci alebo počas nepriaznivého počasia.

Hybridné fotovoltické systémy sú kombináciou slnečných článkov s dodatočným zdrojom elektrickej energie ako je napríklad dieselový generátor, veterný agregát alebo iný zdroj. Z hľadiska optimalizácie činnosti dvoch zdrojov, hybridné systémy si vyžadujú technicky náročnejšie regulačné zariadenia ako samostatne pracujúce systémy. Napríklad pri použití dieselového generátora sa vyžaduje, aby sa zapol pri nastavenej

úrovni vybitia batérie a opäť vypol, keď je batéria dostatočne nabitá. Pri použití hybridných systémov je možné využiť menšie fotovoltaické zariadenia a batérie ako v prípade podobných samostatne pracujúcich systémov. Z tohto dôvodu náklady na hybridný systém môžu byť nižšie ako na samostatne pracujúci systém.

Fotovoltaické systémy napojené priamo na sieť pracujú ako samostatné elektrárne, a tým sa dnes venuje pozornosť. Fotovoltaické systémy pripojené do elektrickej rozvodnej siete pracujúce ako samostatné elektrárne dodávajúce energiu do siete. Obsahujú súbor fotovoltaických modulov, menič napätia, zariadenie na meranie a sieťovú ochranu. Pripojenie do siete zvyčajne zabezpečujú dva elektromery, jeden meria slnečnú elektrinu dodávanú do siete a druhý elektrinu, ktorú domácnosť zo siete odoberá. Vyznačujú sa veľkou účinnosťou, pretože všetka vyrobená energia sa spotrebuje priamo na mieste, alebo sa dostáva do siete. Hlavným dôvodom inštalácie je zníženie kupovanej energie zo siete, prípadne finančný zisk z predaja prebytočnej energie. V praxi to funguje tak, že v prípade, ak solárny systém dodáva energiu do siete, merač spotreby elektriny sa točí naopak. Ak fotovoltaické články nestačia pokryť spotrebu, sieť nahrádza batériu a v prípade potreby slúži ako záložný zdroj. Najčastejšie sa používajú systémy s kapacitou 1 - 5 kWp na strechách rodinných domov. Z hľadiska investora je atraktívne budovať väčšie inštalácie na strechách polyfunkčných budov a slnečných elektrární mimo zastavaného územia s výkonom 1 - 5 MWp.



Obr. 1 Zapojenie fotovoltaického systému do siete

PV - fotovoltaický systém

C - kapacitný filter

VSI - menič

L - indukčný filter

GRID - striedavá sieť

Silné stránky a prínosy využívania fotovoltaických systémov:

- vysoká flexibilita, modularita a spoľahlivosť,

- všadeprítomný potenciál, mnohonásobne prevyšujúci potreby,
- veľmi nízke prevádzkové náklady,
- minimálny vplyv na životné prostredie,
- decentralizovaná výroba a dodávka elektrickej energie,
- možnosti integrácie do rekonštruovaných resp. novostavaných budov (sofistikované architektonické riešenia),
- zníženie závislosti od dovozu fosílnych palív a uránu,
- zníženie objemu emisií skleníkových plynov.

Slabé stránky využívania fotovoltických systémov:

- sezónna a denná variabilita klímy a fluktuácia počasia výrazne ovplyvňujú celkový výkon,
- nízka celoročná využiteľnosť FV systémov (capacity factor),
- vysoké investičné náklady (vyššia cena komponentov, najmä samotných solárnych článkov),
- dlhšia doba návratnosti investície,
- rozsah verejnej elektrickej siete výrazne limituje trhovú potenciál.

Veľkosť fotovoltického systému P_k je vyjadrená wattmi špičkového zaťaženia W_p a charakterizuje nominálny energetický výkon špecifickej plochy fotovoltických modulov (m^2) v štandardných testovacích podmienkach, t.j. pri príkone žiarenia 1000 W.m^{-2} , definovanom solárnom referenčnom spektre a povrchovej teplote $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Na dosiahnutie výkonu 1 W_p pri takýchto podmienkach je potrebný článok o veľkosti iba $10 \times 10 \text{ cm}$. Fotovoltický systém, ktorého články sú tvorené z kryštalického kremíka s výkonom 1 kW_p má celkovú plochu $7 - 8 \text{ m}^2$. Celková účinnosť systému (r_p), t.j. pomer medzi reálnym a nominálnym výkonom je zvyčajne okolo $0,75 - 0,80$. Nižší reálny výkon systému je daný poklesom výkonu modulov vplyvom vonkajšej teploty a stratami spôsobenými variabilitou slnečného žiarenia, kabelážou, meničom napätia atď. Množstvo elektriny E (kWh) vyrobenej fotovoltickým systémom s nominálnym výkonom P_k ($\text{W}_p/1000 \text{ W.m}^{-2}$) a celkovou účinnosťou r_p je možné odvodiť z globálneho slnečného žiarenia G (kWh/h.m^{-2}): $E = P_k.r_p.G$

1.4 Fotovoltika v strešnej konštrukcii

Na plochej streche je možné fotovoltaické moduly umiestniť do takmer vodorovnej roviny v úrovni strešnej konštrukcie s minimálnym sklonom 3° (fotovoltaické izolačné pásy alebo film - lepené moduly fixované rámami) či nad úrovňou strechy, keď sú panely upevnené na vlastnej konštrukcii, uchytenej v nosnej konštrukcii strechy, alebo naklonené plochy modulov (na vlastnej samostatnej konštrukcii z ocele alebo betónu) vo forme pevných či otočných systémov (so servomotorom).

Na šikmej streche (pultovej, sedlovej, inej...) môžu moduly v strešnej rovine fungovať ako plnohodnotná náhrada krytiny, pričom preberajú aj základné funkcie strechy (statickú i ochrannú). Fotovoltaické panely sa môžu ukladať aj priamo na krov strechy. Pri plechovej strešnej krytine sa používajú vstavané fotovoltaické panely a pri iných druhoch sa vyberú špeciálne, tzv. fotovoltaické škridle, šindle, rohože či pásové krytiny. Umiestnenie v úrovni strešnej roviny nachádza svoje uplatnenie pri väčšine dodatočných aplikácií - moduly sa dávajú na existujúcu krytinu, pričom fotovoltaické panely majú vlastnú konštrukciu.

Pri rôznych tvaroch striech a stropov zo skla sa používajú transparentné typy fotovoltaických panelov, ktoré samotné tvoria strešnú konštrukciu najrozličnejších geometrických tvarov. Prekrývajú sa tak vnútorné priestory, ako sú átriá a dvorany, zimné záhrady, pasáže a spojovacie komunikácie či strešné svetlíky.

Fotovoltaické moduly na šikmej streche môžu vytvoriť zaujímavú kombináciu so strešnými oknami, slnečnými kolektormi, príp. terasami, lodžiami, atď. V takomto prípade je dôležitá voľba vhodného modulu, ktorý by zjednotil všetky "do hry" vstupujúce komponenty tak, aby strešná plocha ako celok pôsobila harmonicky.

1.5 Záver kapitoly 1

Fotovoltika, ktorá využíva slnečné žiarenie, sa stala v celosvetovom meradle jedným z najrýchlejšie sa rozvíjajúcich smerov vzhľadom na ročný nárast inštalovaného výkonu, ktorý prevyšuje 30 %. Využívanie Slnka ako zdroja energie, má veľkú výhodu oproti fosílnym palivám preto, že je najekologickejší a nevyčerpatelným zdrojom.

1.6 Literatúra ku kapitole 1

- [1] Riad Kadri, Jean-Paul Gaubert, and Gerard Champenois: An Improved Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Grid-Connected Inverter Based on Voltage-Oriented Control, IEEE Transactions on industrial electronics, vol. 58, No. 1, ISSN : 0278-0046, January 2011, pp: 66 - 74, DOI: 10.1109/TIE.2010.2044733
- [2] Li Zhang, Kai Sun, Yan Xing, Lanlan Feng, and Hongjuan Ge, A Modular Grid-Connected Photovoltaic Generation System Based on DC Bus, IEEE transactions on power electronics, vol. 26, no. 2, february 2011, ISSN : 0885-8993, pp. 523 - 531, DOI: 10.1109/TPEL.2010.2064337
- [3] Kim, K.A.; Krein, P.T.: Photovoltaic converter module configurations for maximum power point operation. 2010 Power and Energy Conference at Illinois (PECI), 12-13 Feb. 2010, pp. 77 - 82, Location: Urbana-Champaign, IL, ISBN: 978-1-4244-5902-5. DOI: 10.1109/PECI.2010.5437152.
- [4] Contact Layers. Steirer, K.X. ; Widjonarko, N.E. ; Sigdel, A.K. ; Lloyd, M.T. ; Ginley, D.S. ; Olson, D.C. ; Berry, J.J. ; Optimization of Organic Photovoltaic Devices Using Tuned Mixed Metal Oxide, Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2010 35th IEEE, Issue Date: 20-25 June 2010, pp: 000102-000104, Honolulu, HI ISSN: 0160-8371, Print ISBN: 978-1-4244-5890-5, DOI: 10.1109/PVSC.2010.5614501

2 Materiály pre výrobu fotovoltických článkov

Najdlhšie používaný a tiež najrozšírenejší materiál na výrobu fotovoltických článkov je kremík. Na rozdiel od iných materiálov sa netreba obávať jeho vyčerpania pretože sa nachádza takmer všade. Je to štvrtá najpoužívanější surovina na svete. Na výrobu solárnych panelov sa však využíva približne iba 1 % z tohto množstva. Používa sa v niekoľkých podobách.

2.1 Monokryštalický kremík

Bol prvý materiál ktorý sa začal využívať v praxi. Jeho účinnosť premeny sa zo začiatku pohybovala okolo 6 %. Od roku 1954 do roku 1975 sa v tomto smere nedosiahlo takmer žiadneho pokroku, pretože výskum sa orientoval predovšetkým na vesmírne použitie. Od roku 1975 až do roku 1980 sa túto hodnotu podarilo posunúť len o pár percent a hodnota 17 % bola považovaná za neprekonateľnú. Celkový pokrok v týchto rokoch brzdil tiež fakt, že sa sústredilo skôr na znižovanie cien ako na zvyšovanie účinnosti. V osemdesiatych rokoch sa stav výrazne zmenil a výsledkom bola účinnosť 35,2 % dosiahnutá v roku 1992 Pekingskou akadémiou vied. Dnes sa v bežnej výrobe dosahuje účinnosť 13-17 %. Monokryštalický kremík je však stále príliš drahým materiálom a tak sa výskumníci orientujú na výrobu materiálu s nižšou čistotou. Dosiahla by sa tým menšia energetická náročnosť výroby a teda aj výrazné zníženie ceny. Monokryštal sa používa tam, kde nie je možné aby mali panely príliš veľké rozmery, v kozmických aplikáciách alebo aj v prípadoch kedy budúceho majiteľa neodrádza značne vyššia cena.

Solárne články sa vyrábajú z kremíkového kmeňového reziva. Zvyčajne používanou metódou na výrobu kmeňového reziva je Czochralskeho metóda. Pri tomto procese je do kremíkovej zliatiny vložený zárodočný kryštál veľmi čistého kremíka. Tento kryštál sa pritom otáča a vyťahuje podľa vopred presne definovaného programu. Teplota taveniny je tiež veľmi pozorne sledovaná a riadená. Celý proces sa uskutočňuje v nádobách z veľmi čistého kremeňa v inertnej atmosfére argónu. Na zárodočnom kryštáli sa potom vylučujú ďalšie vrstvy mimoriadne čistého kremíka, takže výsledný produkt môže mať až 400 mm v priemere a dĺžku do 2 m.

Vyrobený monokryštalický kremík s čistotou až 99 % je ešte ďalej čistený rafináciou pomocou metódy pohyblivej zóny. Tyč z nečistého kremíka prechádza žeravenou zónou niekoľkokrát v rovnakom smere. Táto procedúra „strháva“ nečistoty

smerom k jednému koncu každým prechodom. V istom bode je už kremík považovaný za čistý, a nečistý koniec je odstránený.

Z kmeňového reziva sa postupne režu kremíkové doštičky kotúčovou diamantovou pílou. Píla vytvára rezy v šírke doštičky, ktoré sú hrubé 5 mm. Do ukončenia výroby kruhovej doštičky sa stratí len okolo polovice kremíku z kmeňového reziva, v prípade že sa doštička ďalej reže na tvar pravouhlý alebo šesťuholníkový sú tieto straty vyššie. Tieto tvary sú niekedy využité v solárnych článkoch pretože spoločne k sebe dokonale priliehajú, a tak využívajú všetok dostupný priestor na povrchu solárneho článku. Doštičky sú potom leštené na odstránenie znakov po rezaní. Nedávno bolo objavené, že neleštené doštičky absorbujú svetlo oveľa efektívnejšie, z toho dôvodu sa niektorý výrobcovia rozhodli doštičky neleštiť.

Vlastnosti kremíkových doštičiek sa zlepšujú dopovaním kremíka borom a fosforom. Zvyčajný spôsob pridávania prímiesí do kremíkových doštičiek s bórom a fosforom je založený na vkladaní malých čiastočiek bóru počas Czochralského procesu. Doštičky sú zatavené tesne k sebe a umiestnené do pece, ktorá je rozohriata tesne pod bod tavenia kremíka (1410 °C) za prítomnosti fosforových plynov. Fosforové atómy sa preniknú do kremíka, ktorý je viac pórovitý pretože sa stáva tekutým. Teplota a čas procesu sú pozorne sledované aby sa zabezpečilo jednotné spojenie správnej hĺbky. Súčasnejší spôsob pridania prímiesí do kremíku je použiť malé urýchľovacie čiastočky na strieľanie fosforových iónov do prútu. Kontrolovaním rýchlosti iónov je možné sledovať ich hĺbku prenikania. Avšak tento nový proces nebol všeobecne akceptovaný komerčnými výrobcami.

Solárne články sa navzájom prepájajú pomocou elektrických kontaktov. Elektrické kontakty spájajú jednotlivé solárne články navzájom a napokon aj s obvodom prijímajúcim elektrický prúd. Kontakty musia byť veľmi tenké hlavne vpredu, aby neblokovali slnečné svetlo dopadajúce na článok. Používajú sa kovy ako paládium/striebro, nikel alebo meď, ktoré sú vákuovo odparované.

Keď sú kontakty na mieste, umiestnia sa tenké pásiky medzi články. Najbežnejšie používané pásiky sú vyrobené z pocínovanej medi.

Pretože čistý kremík je lesklý, môže odrážať až 35% slnečného svetla. Na zmenšenie hodnoty odrazeného slnečného žiarenia sa na kremíkové doštičky používa antireflexný náter. Najbežnejšie používané sú oxid titánu a oxid kremičitý. Materiál používaný na náter je buď ohrievaný až kým sa jeho molekuly neodparia smerom ku

kremíku kde kondenzujú, alebo materiál podstúpi metódu rozprašovania. V tomto procese vysoké napätie zráža molekuly materiálu a ukladá ich do kremíku na opačnej elektróde. Ďalšou metódou je prirodzená reakcia kremíka s kyslíkom alebo dusíkatými plynmi za vzniku oxidu kremičitého alebo nitridu kremičitého. Práve táto metóda je uprednostňovaná výrobcami fotovoltických článkov.

Dokončené solárne články sú potom zapuzdrené. Sú zaliate do kremíkového kaučuku alebo polyvinyl acetátu. Zapuzdrené solárne články sú umiestnené do hliníkového rámu ktorý má mylarový alebo tedlarový zadný kryt a sklenený alebo plastový predný kryt.



Obr. 2 Monokryštalický kremík - kmeňové rezivo

2.2 Polykryštalický kremík

Polykryštalický kremík je stále viac využívaný ako vstupný materiál vďaka svojej nižšej výrobnéj cene (odpadá proces ťaženia monokryštálu), i keď dosahovaná účinnosť je nižšia než je tomu v prípade monokryštalického kremíka. Laboratórne solárne články dosahujú účinnosť 18,5 %, ale v podmienkach hromadnej výroby nepresahujú 14%. Doštičky polokryštalického kremíka sú štvorcového tvaru a sú rezané z odlievaného kremíkového ingotu. V priebehu tuhnutia taveniny dochádza k tvorbe rôzne veľkých a orientovaných kryštálov. Polykryštalická štruktúra materiálu dodáva týmto článkom charakteristický vzhľad.

Odrodou polykryštalického kremíka je multikryštalický kremík. Je podstatne lacnejší ako monokryštalický a dosahuje v praxi celkom dobrej účinnosti od 12 do 14 %. Aby nevznikali straty pri prechode elektrónov rozhraním medzi kryštálmi

vznikajú snahy vyrábať multikryštalický kremík s čo najväčšími kryštálmi, účinnosť tohto materiálu je taktiež možné zvýšiť chemickou úpravou vodíkom.

2.3 Hydrogenizovaný amorfný kremík

Ide o materiál, ktorý nemá kryštalickú štruktúru ani príliš veľkú čistotu, je chemicky upravený vodíkom čo zlepšuje jeho vlastnosti. Tento druh kremíku sa využíva v tenkovrstvých solárnych článkoch, jeho výhodou je že je to lacný materiál a že sa ho výrobe môže použiť podstatne menšie množstvo, pretože značná časť energie slnečného žiarenia sa absorbuje už vo vrstve tenšej ako 1 μm . Hydrogenizovaný amorfný kremík sa tiež veľmi ľahko kombinuje z inými materiálmi ako napríklad uhlík, dusík, cín, germánium a tým sa vytvárajú zliatiny z rôznymi šírkami zakázaného pásma energií. Materiál sa zvykne nanášať na lacné podklady ako sklo, plast, oceľ. Jeho účinnosť je ale dosť nízka - v praxi okolo 4 - 8 %. To ho predurčuje na použitie v zariadeniach s malou spotrebou energie ako sú kalkulačky a hodinky. Je dobré si uvedomiť že práve pri takýchto zariadeniach by však použitie drahých materiálov predražilo výrobky natoľko že by sa ich výroba vôbec nevyplatila.

2.4 Arzenid gália

Arzenid gália (GaAs) obsadil druhé miesto vo využití pre výrobu fotovoltických článkov. Výskum a vývoj tohto materiálu prebiehajú už dlhé roky, znevýhodňuje ho však vyššia cena a aj niektoré ďalšie vlastnosti medzi ktorými dominuje predovšetkým značne väčšia krehkosť. V priemere dosahuje účinnosti okolo 18 %.

Arzenid gália má ale aj svoje nezanedbateľné prednosti. Za zvýšenej teploty (napr. 100 °C) vykazuje len veľmi malé zníženie účinnosti, na rozdiel od kremíka kde je pokles týchto hodnôt už pri takýchto relatívne nízkych teplotách veľmi výrazný. To znamená že jeho použitie bude veľmi výhodné pri vysokoefektívnych koncentračných článkoch. Pri takomto postupe bude potrebné oveľa menej drahého GaAs. Nie je totiž nutné inštalovať veľkoplošné solárne jednotky, ale len pomocou odrazu sústrediť viac slnečného žiarenia na menšiu plochu, pritom ani pri takto zvýšenej koncentrácii nestráca GaAs svoju účinnosť. Spomínaný kremík je pri takejto koncentrácii slnečného žiarenia celkom nevyhovujúci. Ďalšia výhoda vyplýva z väčšej hustoty GaAs, tá umožňuje výrobu oveľa tenších článkov (cca o 60 %) bez zníženia ich pohltivosti. Ďalší

vývoj v oblasti umožní pravdepodobne použitie tohto materiálu v kombinácii z hliníkom, takéto články sľubujú zvýšenie účinnosti nad 40.7%.

2.5 Telurid kademnatý

Telurid kademnatý (CdTe) sa pripravuje chemickou reakciou kadmia a telúru. Tieto články patria do skupiny tenkovrstvových solárnych článkov CdTe. Tento materiál je považovaný za veľmi nádejný, keďže však jeho výskum prebieha relatívne krátko, významné miesto v solárnej energetike zatiaľ neobsadil. Má veľkú šírku zakázaného pásma a taktiež veľmi dobrú schopnosť absorpcie. V zemskej kôre je však málo zastúpený a tak sa s ním dá počítať predovšetkým v spotrebnej elektronike, telekomunikačných a navigačných zariadeniach. Pri týchto je dôležitá ekonomická otázka a z tohto hľadiska je CdTe veľmi vhodným materiálom, vďaka svojim vynikajúcim absorpčným vlastnostiam je totiž možné CdTe používať vo veľmi tenkých vrstvách (1,2 až 1,5 μm).

2.6 Sulfid kademnatý

Sulfid kademnatý (CdS) sa v kombinácii s Cu_2S uplatnil predovšetkým v kozmických aplikáciách a to vďaka svojej nízkej hmotnosti. Účinnosti viac ako 10 % bola dosiahnutá pomerne jednoduchými a lacnými postupmi, napriek tomu sa však tento materiál nepovažuje za perspektívny, kvôli svojej nízkej stabilite. Nádejná sa však javí kombinácia s teluridom kademnatým. V USA už boli vyrobené takéto články s účinnosťou presahujúcou 10 %.

2.7 Účinnosť fotovoltických článkov

Účinnosť premeny (potenciálne dopadajúceho) svetla na fotovoltický článok na elektrickú energiu je najdôležitejším parametrom článku. Na celkovú účinnosť má vplyv niekoľko parametrov:

- čistota povrchu,
- odrazy na povrchu - závisia od uhla dopadu a reflektivity povrchu; uhol dopadu je možné korigovať natáčaním panelov, použitie natáčania však zvyšuje cenu, znižuje spoľahlivosť a je potrebné zvážiť, či energetický zisk vyrovná príkon natáčacej sústavy; reflektivita povrchu - kvôli veľkému rozdielu indexov lomu na rozhraní vzduch/polovodič je potrebné použiť prispôsobovaciu (antireflexnú) vrstvu (resp. sústavu vrstiev),

- úzka oblasť absorpcie - nosiče nábojov generované mimo oblasť priestorového náboja P-N prechodu nie sú separované, rekombinujú, a neprispievajú k výslednému prúdu; preto je dôležité, aby P-N prechod bol umiestnený čo najbližšie povrchu a aby bol čo najširší,
- absorpčné spektrum - u polovodičov je pomerne úzke, t. j. časť dopadajúcich fotónov prejde polovodičom a časť je absorbovaná avšak na generáciu elektrón - dierového páru sa využije len časť ich energie, zvyšok sa mení na teplo, ďalšia časť sa mení len na teplo; pre zvýšenie účinnosti sa používa sústava vrstiev rôznych kompozitných polovodičov (s rôznou šírkou zakázaného pásma a teda) s viacerými P-N prechodmi nad sebou,
- rekombinácia fotogenerovaných nosičov; pre zníženie je potrebné použiť čisté monokryštalické polovodiče,
- sériový odpor polovodiča a kontaktov, ktorý spôsobuje ohmické straty; odpor polovodiča - fotogenerované nosiče prechádzajú P a N vrstvou polovodiča ku kontaktom na povrchu, preto je dôležitá vysoká vodivosť najmä substrátu; odpor kontaktov - priehľadné horné kontakty (okrem vyššej ceny) majú významný sériový odpor (a aj nezanedbateľnú reflektivitu), preto sa aj napriek strate časti povrchu používajú nepriehľadné hrebeňovité kontakty.

K celkovej účinnosti celej fotovoltickej sústavy pristupujú ešte straty v prepojoch medzi článkami, účinnosť výkonovej elektroniky (meniča) prípadne účinnosť ukladania a znovuzískania energie v akumulátoroch.

Keďže osvetľovaná časť článku plní aj funkciu kontaktu a odvádza vyprodukovaný prúd, je dôležité aby kládla čo najmenší odpor a teda aby odvádzala získanú energiu s čo najmenšími stratami. Polovodičová vrstva sa opatruje kovovou mriežkou alebo vodivou priehľadnou elektródou ktoré od nej preberú vyrobený elektrický náboj a odnesú ho preč. Keďže celý tento proces sa odohráva vo svete veľmi malých rozmerov, výroba takýchto článkov vyžaduje veľkú presnosť a precíznosť.

Účinnosť fotovoltických článkov v závislosti na type substrátu:

- 4 - 8 % pri použití amorfného kremíku
- 10 - 18,5 % pri použití polykryštalického kremíku
- 13 - 17 % pri použití monokryštalického kremíku pre bežné nasadenie
- 34 % pri kvalitných monokryštalických článkov pre kozmické účely

V roku 2006 Národné laboratórium pre obnoviteľnú energiu predstavila články využívajúce trojnásobné prechody s efektívnosťou až 40,7%

2.8 Plánovanie fototického systému

Typický FV systém tvorí rad vzájomne prepojených prvkov. Jeho jadrom sú FV panely generujúce jednosmerný elektrický prúd. Sériovo - paralelne pospájané panely upevnené na podpornej konštrukcii tvoria FV pole. Prúd sa z panelov privádza do DC/AC striedačov, ktoré ho premieňajú na striedavý. Tento prúd sa cez rozvádzač systému rozvádza do elektrickej siete budovy. Súčasťou systému môžu byť aj akumulátory.

Pri plánovaní FV systému treba uviesť do súladu zamýšľané riešenie s miestnymi špecifickými podmienkami. K základným vstupným informáciám na návrh systému patrí:

- znalosť miestnych podmienok – množstvo dostupného slnečného žiarenia, odstupová vzdialenosť a výška susedných budov a ďalších potenciálnych zdrojov tienenia, sila vetra a množstvo snehových zrážok (dimenzovanie podpornej konštrukcie a kotevných prvkov),
- zamýšľaná forma inštalácie FV panelov – umiestnenie na budove (sklon a orientácia), geometria inštalácie, voľba podpornej konštrukcie a spôsobu kotvenia,
- charakteristiky jednotlivých prvkov systému – počet a typ FV panelov, elektrické pospájanie, nominálne výkonové parametre FV panelov a striedačov, životnosť,
- spôsob využitia produkovanej energie – priama spotreba, skladovanie pomocou akumulátorov, predaj do elektrickej siete alebo kombinácia týchto spôsobov.

Najdôležitejším vstupným údajom na predpoveď produkcie elektrickej energie je množstvo dostupného slnečného žiarenia.

Optimálna poloha na umiestnenie FV panelov v podmienkach SR/ČR – po započítaní optických strát a negatívneho vplyvu teploty – je pri sklone 36° s južnou orientáciou. Pri sklone 20 až 50° a orientácii JJV až JJZ je však celoročný pokles energetickej produkcie oproti optimu menší ako 5 %. Nominálna konverzná účinnosť v komerčne vyrábaných FV paneloch na báze kryštallického kremíka sa pohybuje v

rozpätí 12 až 17 %. Pre realistický odhad ročnej produkcie elektrickej energie však treba nominálnu účinnosť korigovať o prevádzkové straty FV systému, spravidla súčiniteľom 0,8.

2.9 Záver kapitoly 2

Výber vhodných materiálov a technológií má rozhodujúci vplyv na cenu. Články, u ktorých nie je cena prvoradá, sa pripravujú z čistých, často exotických, kompozitných polovodičov v mnohých náročných technologických krokoch. Fotovoltické články pre energetiku naopak využívajú tie najjednoduchšie technológie a využívajú takmer výhradne kremík. Keďže čistý monokryštalický kremík používaný v polovodičovej technológii je pomerne drahý, pre fotovoltické články sa často pristupuje k využitiu lacnejšími technológiami pripravovaného polykryštalického či dokonca amorfného kremíka aj napriek zníženej účinnosti a spoľahlivosti.

2.10 Literatúra ku kapitole 2

- [1] Graditi, G.; Colonnese, D.; Femia, N.: Efficiency and reliability comparison of DC-DC converters for single phase grid connected photovoltaic inverters. 2010 International Symposium on Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion (SPEEDAM), 14-16 June 2010, pp. 140 - 147, Location: Pisa, ISBN: 978-1-4244-4986-6, DOI: 10.1109/SPEEDAM.2010.5542235.
- [2] Masoum, M.A.S.; Mousavi Badejani, S.M.; Kalantar, M.: Optimal placement of hybrid PV-wind systems using genetic algorithm. 2010 Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 19-21 Jan. 2010, pp. 1 - 5, Location: Gaithersburg, MD, ISBN: 978-1-4244-6264-3, DOI: 10.1109/ISGT.2010.5434746.
- [3] Yanli Liu; Bingfeng Li; Dan Zhong: Research on domestic PV module structure based on fault detection. 2010 8th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), 7-9 July 2010, pp. 171 - 175, Location: Jinan, ISBN: 978-1-4244-6712-9, DOI: 10.1109/WCICA.2010.5553914.
- [4] Mayfield, R.: Photovoltaic Design and Installation For Dummies. For Dummies; 1 edition (September 7, 2010). 384 p, ISBN: 978-0-470-59893-1.
- [5] Ding, M.; Zhang, Y. Y.; Mao, M. Q.; Yang, W.; Liu, X. P.: Operation optimization for microgrids under centralized control. 2010 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 16-18 June 2010, pp. 984-987, Location: Hefei, China, ISBN: 978-1-4244-5669-7, DOI: 10.1109/PEDG.2010.5545793.
- [6] Brando, G.; Dannier, A.; Del Pizzo, A.; Rizzo, R.: A high performance control technique of power electronic transformers in medium voltage grid-connected PV plants. 2010 XIX International Conference on Electrical Machines (ICEM), 6-8

- Sept. 2010, pp. 1 - 6, Location: Rome, ISBN: 978-1-4244-4174-7, DOI: 10.1109/ICELMACH.2010.5607930.
- [7] Guo Peiyuan; Bao Man; Bi Song; Xu Guannan; Liu Xing: Research on Management Information System of Rural Photovoltaic Plant Equipment. 2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 28-31 March 2010, pp. 1 - 4, Location: Chengdu, ISBN: 978-1-4244-4812-8, DOI: 10.1109/APPEEC.2010.5448716.
- [8] Yu, E.T.: Engineering of plasmonic effects in photodetectors and high-efficiency photovoltaics. 2010 3rd International Nanoelectronics Conference (INEC), 3-8 Jan. 2010, pp. 42 - 43, Location: Hong Kong, ISBN: 978-1-4244-3543-2, DOI: 10.1109/INEC.2010.5424447.
- [9] Lad, R.; Wohlgemuth, J.; TamizhMani, G.: Outdoor energy ratings and spectral effects of photovoltaic modules. 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 20-25 June 2010, pp. 2827 - 2832, Location: Honolulu, HI, ISSN: 0160-8371, DOI: 10.1109/PVSC.2010.5616859.
- [10] El Chaar, L.; Lamont, L.A.; Elzein, N.: PV Technology - Industry update. 2010 IEEE Power and Energy Society General Meeting, 25-29 July 2010, pp. 1-6, Location: Minneapolis, MN, ISSN: 1944-9925, DOI: 10.1109/PES.2010.5589568.
- [11] Testa, A.; Scimone, T.; De Caro, S.: A solar AC module with active filter capabilities. 2010 International Symposium on Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion (SPEEDAM), Issue Date: 14-16 June 2010, pp. 616 - 621, Location: Pisa, ISBN: 978-1-4244-4986-6, DOI: 10.1109/SPEEDAM.2010.5542190.
- [12] Marco, T.G.; Cristina, V.; Paolo, A.; Luca, P.; Dario, G.A.; Massimo, P.: Design considerations about a photovoltaic power system to supply a mobile robot. 2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 4-7 July 2010, pp. 1829-1834, Location: Bari, ISBN: 978-1-4244-6390-9, DOI: 10.1109/ISIE.2010.5637724.
- [13] Coddington, Michael H.; Kroposki, Benjamin D.; Basso, Thomas S.: Evaluating future standards and codes with a focus on high penetration photovoltaic (HPPV) system deployment. 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 20-25 June 2010, pp. 544 - 549, Location: Honolulu, HI, USA, ISSN: 0160-8371, DOI: 10.1109/PVSC.2010.5616833.
- [14] Shimazaki, K.; Kobayashi, Y.; Takahashi, M.; Imaizumi, M.; Takamoto, T.; Ito, T.; Nozaki, Y.: Progress in development of ultra-lightweight solar panel using space solar sheet. 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 20-25 June 2010, pp. 725 - 730, Location: Honolulu, HI, ISSN: 0160-8371, DOI: 10.1109/PVSC.2010.5617083.
- [15] Schwarz, Harald; Shaoqing Ying: Urban photovoltaic potential. 2010 9th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC),

16-19 May 2010, pp. 26-28, Location: Prague, Czech Republic, ISBN: 978-1-4244-5370-2, DOI: 10.1109/EEEIC.2010.5490007.

3 Fotovoltické elektrárne

Pri fotoelektrickom jave pri dopade svetla (fotónov) na polovodičový materiál sa uvoľňujú voľné nosiče elektrického náboja, ktoré vytvárajú rozdielny potenciál. Po pripojení vonkajšieho obvodu preteká prúd, ktorý vykonáva prácu. Pri osvetlení polovodičového materiálu dochádza k absorpcii žiarenia, ktoré vedie ku generovaniu nadbytočných a nerovnovážnych nosičov náboja. Pri absorpcii fotónu sa uskutoční vnútorný prechod elektrónu medzi valenčným a vodivostným pásmom, vzniká pár elektrón - diera. Vďaka nerovnováhe koncentrácií elektrónov a dier na rozhraní P-N prechodu vzniká difúzne elektrické pole. Páry elektrón - diera sú týmto difúznym poľom separované a na elektródach diódy vzniká napätie, ktoré pretláča prúd do vonkajšej záťaže.

3.1 Materiály a technológie

Na výrobu fotovoltických článkov sa používajú rôzne materiály a technológie, najrozšírenejším a najdlhšie používaným je kremík. Používajú sa jeho rôzne modifikácie. Okrem používaných polovodičových materiálov sa fotovoltický jav skúma aj u oxidov kovov a organických materiáloch. Materiály fotovoltických článkov [1]:

- monokryštalický kremík,
- polykryštalický kremík,
- hydrogenizovaný kremík,
- arzenid gália,
- telurid kademnatý.

U všetkých týchto používaných materiálov je podstatný problém pomer ceny a výkonu. Z uvedeného dôvodu je snaha o zvyšovanie účinnosti článkov napríklad lepším využitím slnečného spektra pomocou viacerých polovodičových vrstiev nad sebou, ktoré sú citlivé na rôzne vlnové dĺžky a znižovaním strát, ktoré a rozlišujú na elektrické a optické. Optické straty sú spôsobené tým, že časť slnečného žiarenia sa po dopade na povrch polovodiča odráža späť do priestoru. Aby sa zamedzilo týmto stratám, povrch článkov sa upravuje nanášaním rôznych antireflexných vrstiev, alebo úpravou hladkého a lesklého povrchu tak, aby sa znížila jeho odrazivosť. Elektrické straty sú tvorené prechodom vyprodukovaného prúdu cez kontakty. Je dôležité aby tieto kontakty kládli

prúdu čo najmenší odpor, ale zároveň keďže sa nachádzajú v osvetľovanej časti článku, musia ho čo najmenej zatieňovať [1].

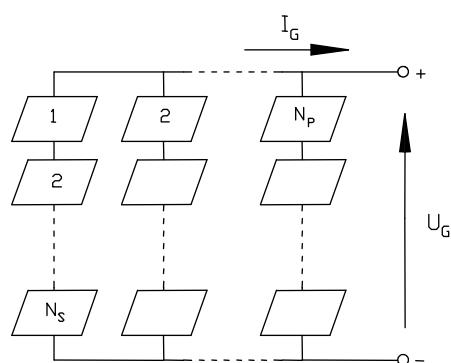
Napätie naprázdno jedného článku je len 0,35 až 0,7 V, ale prúd môže dosahovať aj niekoľko ampérov [1]. Pre praktické využitie je potrebné tieto články spájať do sériovo-paralelných kombinácií a tak vznikajú tzv. moduly alebo panely.

Fotovoltické články sa sériovo-paralelnou kombináciou spájajú do panelov, alebo tiež nazývaných modulov. Skupina týchto modulov sa nazýva string. Fotovoltické moduly vyrábajú jednosmerné napätie, ktoré je potrebné pomocou striedačov previesť na napätie striedavé o príslušnej amplitúde a frekvencií. Cez elektromer sa výkon vyvedie do elektrickej siete a to buď priamo, alebo pomocou transformátora.

3.2 Fotovoltické moduly

Fotovoltické články sa zostavujú do fotovoltických modulov, pretože samotné články majú malý výkon, kde spomínané napätie jedného článku je okolo 0,5 V a prúd závisí od veľkosti plochy. Spájanie článkov spôsobí to, že generované napätie a prúd sa násobí ich počtom. Pri konštrukcii FV modulu je dôležité aby [11]:

- pospájané články boli identické a pracovali pri rovnakých podmienkach, t.j. teplota, osvetlenie;
- úbytky napätia na vodivých spojeniach boli čo najmenšie.



Obr. 3 Sériovo – paralelné spájanie fotovoltických článkov do fotovoltického modulu [11]

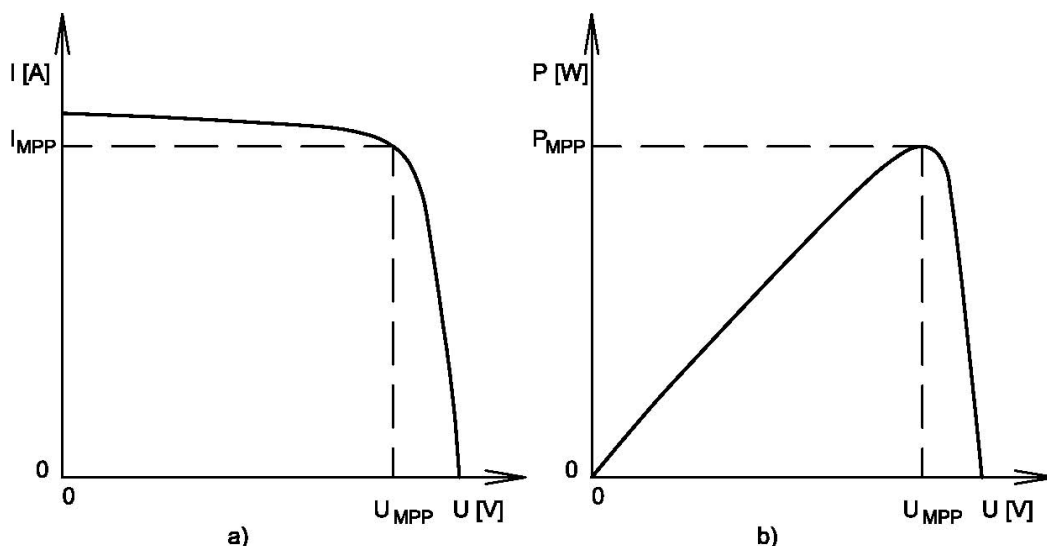
V prípade ak by fotovoltické články boli rozdielne, s rôznymi vnútornými odporami, tak pri sériovo-paralelnom spájaní článkov do modulov by celkový výkon modulu závisel od rozloženia daných fotovoltických článkov s rôznymi parametrami. Napríklad maximálna hodnota elektrického prúdu v sériovej vetve je obmedzená najvyšším vnútorným odporom fotovoltického článku zapojeného v sérii. Prúdy vo

vetvách nie sú rovnaké. Celkový prúd fotovoltického modulu je daný súčtom prúdov v jednotlivých vetvách.

Fotovoltické moduly sa delia z hľadiska materiálového zhotovenia v zásade na [12]:

- Monokryštalické moduly – ich účinnosť pre FVE je približne 14 – 18 %
- Polykryštalické články - ich účinnosť je pre FVE od 11 - 14 %
- Tenkovrstvové moduly vo viacerých variáciách výroby - ich účinnosť je od 5 do 11 %

Pre FV modul je možné zostrojiť V-A charakteristiku a výkonovú charakteristiku.

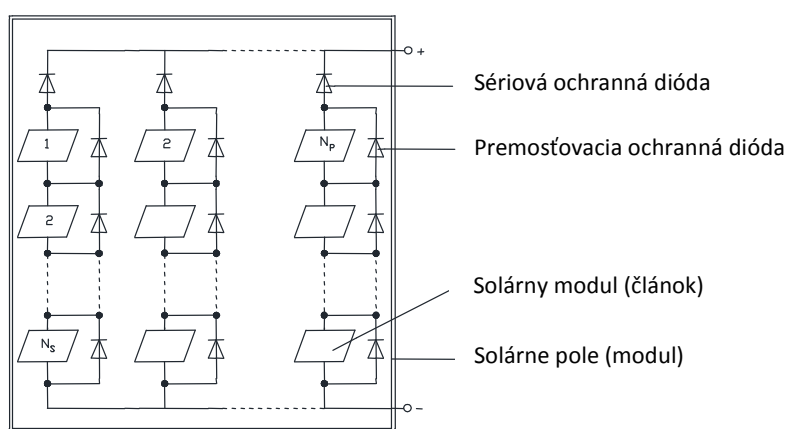


Obr. 4 a) V-A charakteristika FV modulu, b) výkonová krivka FV modulu

Z V-A charakteristiky FV modulu (Obr. 4a) vyplýva, že FV modul je zdrojom prúdu, ktorý sa úmerne mení v závislosti od intenzity dopadajúceho osvetlenia. Výkonová krivka (Obr. 4b) so zvyšovaním napätia úmerne narastá až do bodu MPP, ktorý sa nazýva bodom maximálneho výkonu. Tento bod je veľmi dôležitý, pretože vtedy FV článok dodáva pri danej intenzite osvetlenia maximálny výkon [12]. Zároveň pri tomto bode tečie FV modulom prúd maximálneho výkonového bodu. Po prekročení MPP výkon aj prúd náhle klesajú k nule. Vyhľadávanie tohto bodu pri rôznych vonkajších podmienkach zabezpečuje menič, pomocou svojho softvéru.

Ďalšou dôležitou vlastnosťou FV modulov je to, že napätie článkov sa výrazne mení v závislosti od vonkajšej teploty. Pri nízkej vonkajšej teplote je napätie podstatne vyššie ako pri teplote 25 °C, čo je menovitá hodnota teploty udávaná pre moduly výrobcom [12].

Počas prevádzky môže nastať situácia, že solárny modul je zatienený napr. budovou, stromom atď. V takom prípade sa modul začne správať ako spotrebič, prechodom prúdu sa zohrieva a môže dôjsť až k jeho zničeniu. Riešením tohto problému je použitie ochranných diód [11]:



Obr. 5 Zapojenie ochranných diód pri solárnych aplikáciách

V prípade sériového zapojenia modulov sa k nim paralelne zapoja premost'ovacie diódy, ktorých úlohou je v čase zatienenia viesť elektrický prúd, čím sa zmenší napätie sériového obvodu. V čase normálneho osvetlenia dióda nemá žiadnu funkciu ani žiadne negatívne vplyvy.

V prípade paralelne zapojených solárnych modulov sa z toho istého dôvodu používajú sériové diódy.

V praxi pri sériovo-paralelnom spájaní modulov sa používajú ako premost'ovacie tak aj sériové diódy.

Solárne články sú krehké a ich kontakty podliehajú chemickým vplyvom čoho dôsledkom je korózia, prípadne oxidácia. Solárne články sú umiestnené vo vonkajšom prostredí s minimálnou údržbou. Z tohto dôvodu solárne panely musia odolávať poveternostným vplyvom, ako je teplota, vlhkosť, prašnosť, žiarenie, po celú dobu svojej životnosti, ktorá podľa prognóz výrobcov je 20 až 30 rokov. Preto musí byť vhodne navrhnutá samotná konštrukcia panelov a výber materiálov.

3.3 Striedače

Striedač premieňa jednosmerný prúd vyrobený FVE na prúd striedavý o danej frekvencii. Musí dodávať čo najvyšší výkon. Z hľadiska optimálnej činnosti FVE je potrebné vybrať správny striedač. Najdôležitejšie faktory výberu striedača [12]:

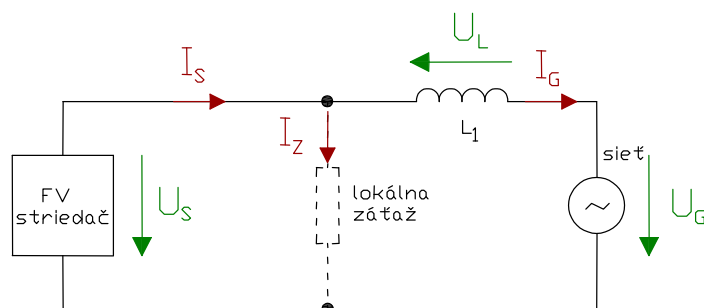
- výkon FVE,
- tvar pozemku,
- umiestnenie transformátora,
- typ FV článkov.

Z pohľadu výberu striedača pre FVE, je možné striedače rozdeliť na [12]:

- Decentralizované - používajú sa hlavne pre fotovoltickej elektrárne do výkonu 1MW. Jedná sa o väčší počet menších striedačov, ktoré sú pripájané k stringom. Počet stringov na jeden menič je menší a závisí od výkonu striedača, ako aj od jeho dovoleného napätia.
- Centralizované - sa používajú hlavne pre elektrárne s väčšími výkonmi ako 1MW. Jedná sa o centrálny striedač pre viac stringov o väčšom výkone, kde je predpoklad vyššej účinnosti. Nevýhodou je, že pri poruche striedača sa stráca celý výkon.

Fotovoltický striedač môže obsahovať buď napäťové alebo prúdové riadenie.

3.3.1 Napäťové riadenie striedača



Obr. 6 Náhradná schéma FV striedača s napäťovým riadením

Výstup z FV striedača sa správa ako napäťový zdroj a v dôsledku veľkej zmeny napätia podľa času musí mať pripojenú indukčnú záťaž. Táto tlmička oddeľujúca

napätie striedača od napätia siete je pre činnosť nevyhnutná. Napätie na tlmivke U_L je riadené tak, aby bol sieťový prúd I_G požadovanej hodnoty [13].

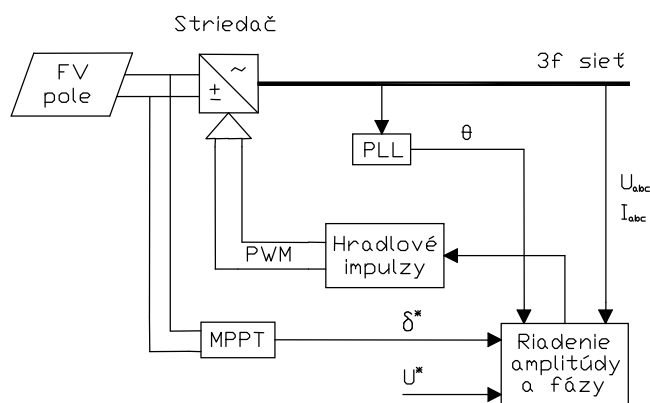
Striedač umožňuje tok činného a jalového výkonu oboma smermi, to znamená, že činný a jalový výkon je dodávaný do siete (záporne znamienko) alebo činný a jalový výkon dodáva sieť (kladné znamienko).

Zaťažový uhol δ je uhol medzi výstupným napätím striedača a napätím siete.

Činná zložka prúdu závisí priamo úmerne od napätia striedača U_S , sínusu zaťažovacieho uhla δ a nepriamo úmerne od reaktancií x_L . Pri konštantnej hodnote napätia U_S , činná zložka prúdu sa mení len v závislosti od zaťažovacieho uhla δ [13]:

- Pre kladný zaťažový uhol δ , je činná zložka prúdu záporná – činný výkon sa dodáva do siete.
- Pre záporný zaťažový uhol δ , je činná zložka prúdu kladná – činný výkon sa zo siete odoberá.

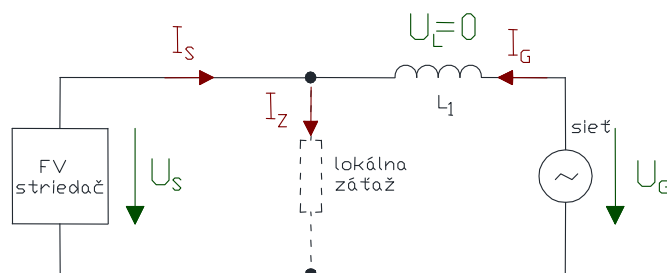
Jalová zložka sieťového prúdu závisí od veľkosti napätí U_S a U_G a mení sa s kosínusom zaťažového uhla δ [13]. Tok výkonu je riadený len pomocou zaťažového uhla δ , keďže napätie striedača U_S musí byť konštantné.



Obr. 7 Bloková schéma napät'ového riadenia striedača

Pre napät'ové riadenie je potrebné snímať hodnoty napätia, prúdu siete a pomocou synchronizačného bloku PLL aj referenčnú hodnotu fázy siete. Riadiacimi veličinami sú zaťažovací uhol δ , ktorý je daný blokom zabezpečenia maximálneho výkonu FVE MPPT a referenčné napätie U . Všetky tieto veličiny smerujú do bloku riadenia amplitúdy a fázy, kde sa pomocou nich nastaví činný výkon dodávaný do siete. Veľkosť napätia na svorkách striedača sa ovláda nezávisle ďalším súborom ovládacích prvkov cez hradlové impulzy [14].

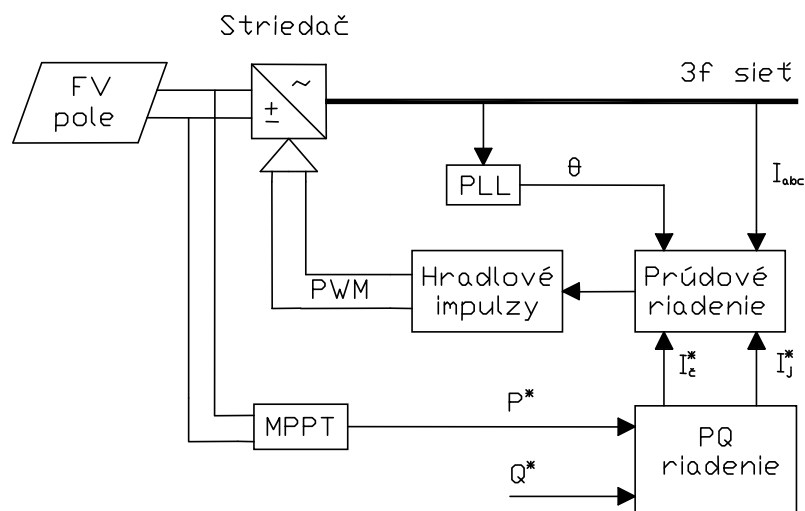
3.3.2 Prúdové riadenie striedača



Obr. 8 Náhradná schéma FV striedača s prúdovým riadením

Pri využití prúdového striedača tlmička L_1 nie je potrebná. Tento striedač pracuje ako zdroj prúdu, na svojom výstupe vytvára požadovanú hodnotu prúdu I_S v závislosti od referenčnej hodnoty zodpovedajúcej požadovanému výkonu [13]. Prúd striedača I_S je možné nezávisle meniť.

Rovnako ako pri napäťovom riadení sa sleduje hodnota fázy siete pomocou bloku PLL a prúd siete. Riadiacimi veličinami sú činný výkon P vystupujúci z bloku MPPT, ktorý zabezpečuje maximálny možný výkon FVE a jalový výkon Q , ktorý sa mení v závislosti od kompenzácie účinníka alebo regulácie sieťového napätia.



Obr. 9 Bloková schéma prúdového riadenia striedača

Prúdové riadenie striedača umožňuje nezávislé riadenie činného a jalového výkonu, preto výstupom z riadenia je činná zložka prúdu I_c a jalová zložka prúdu I_j . Blok prúdového riadenia zabezpečí požadované hodnoty týchto zložiek prúdov. Prúdové riadenie pomocou bloku hradlových impulzov riadi striedač [14].

Tab. 1 Porovnanie napäťového a prúdového riadenia FV striedača

	Napäťové riadenie	Prúdové riadenie
Cieľ riadenia	striedavé napätie	striedavý prúd
Skratový prúd	vysoký	nízky
Samostatná činnosť	možná	nemožná
Kompenzácia účinníka	nevhodné	vhodné
Stabilizácia napätia	možná	nemožná
Štart z tmy	možný	nemožný

3.4 Transformátory, kábeláž, elektromery

Výkonový transformátor nn/vn môže výrazne ovplyvniť účinnosť FVE. Napríklad pri výkone FVE 1MW a účinnosti transformátora 96% sa pri výrobe elektriny stratí 4 % výkonu čo predstavuje až 40 kW. Týmto je zdôvodnená snaha používať transformátory s čo najvyššou účinnosťou. Jedna sa o transformátory, ktoré majú jadra zo špeciálnych plechov (účinnosť 90 %) alebo jadra z amorfných kovov (účinnosť až 99,2 % [13].

Prierezy káblov sa navrhujú hlavne s ohľadom na úbytky napätí, ktoré sú 2 až 4 %. Optimálne je, keď káble od striedačov k transformátoru sú rovnako dlhé, čo v praxi je náročne splniť, keďže väčšinou transformátor sa nachádza pri okraji pozemku. Pre dosiahnutie čo najmenších úbytkov napätia, káble zo striedačov nesmerujú priamo k transformátoru ale do zlučovacích skriniek, kde sa zlúčia káble z viacerých striedačov. Počet zlúčení je daný výkonom striedačov [12].

Vo všeobecnosti platí, že dodávka elektriny z každého zdroja je meraná 4 kvadrantovým elektromerom, pričom pre polopriame a nepriame meranie sa volia elektronické elektromery, doplnené o koncentrátor dát kvôli pripojeniu do systému automatického zberu dát [5]. O umiestnení a spôsobe zapojenia meracieho zariadenia rozhoduje prevádzkovateľ distribučnej sústavy, pričom prihliada sa na požiadavku prevádzkovateľa zdroja na spôsob prevádzky [5]:

- celá výroba elektrickej energie sa dodáva do distribučnej sústavy,
- len prebytok elektrickej energie sa dodáva do distribučnej sústavy.

V súčasnosti sa uprednostňuje výstavba fotovoltických elektrární na strešných konštrukciách budov.

3.5 Podmienky pripojenia fotovoltických systémov do distribučnej sústavy

Elektrická energia ako komodita musí mať zachované určité parametre, ktoré charakterizujú jej kvalitu. Tieto parametre musia byť dodržané v definovaných hraničných hodnotách. Ich dodržanie podmieňuje spôsob a miesto pripojenia fotovoltického zdroja do distribučnej sústavy, z hľadiska hodnotenia spätných vplyvov na sústavu.

Aby sa zabránilo zavlečeniu spätného napätia do siete prevádzkovateľa distribučnej sústavy, je potrebné vykonať určité technické opatrenia, vďaka ktorým pripojenie zdroja do distribučnej sústavy je možné iba vtedy, keď sú všetky fázy siete pod napätím. Pripojenie môže byť realizované buď spínačom, ktorý spája celé zariadenie odberateľa s distribučnou sústavou, alebo spínačom, ktorý spája generátor, prípadne viacero paralelne pracujúcich generátorov so zostávajúcim zariadením odberateľa. Pokiaľ nie je na každej fáze napätie minimálne nad rozbehovú hodnotu podpäťovej ochrany, tak zapnutie väzobného spínača musí byť blokované. K ochrane zdroja sa odporúča časové oneskorenie medzi obnoveným napätím v distribučnej sústave a pripojením zdroja vo vhodnom rozsahu.

Po vypnutí ochranou smie byť zdroj zapnutý až po odstránení poruchy, ktorá viedla k vypnutiu. Opätovné zapnutie je potrebné dohodnúť s príslušným pracoviskom prevádzkovateľa distribučnej sústavy, ak nie je dohodnuté inak. U striedačových zariadení je potrebné pomocou riadených tyristorov zabezpečiť, aby striedač pred pripojením bol zo strany distribučnej sústavy bez napätia.

3.5.1 Zvýšenie napätia

Zvýšenie napätia, ktoré je vyvolané prevádzkou pripojených zdrojov nesmie ani v tom najnepriaznivejšom prípade v mieste pripojenia prekročiť 2% v porovnaní s hodnotou napätia, keď zdroje nie sú pripojené. Platí to pre zdroje s pripojením do VN a VVN sústav:

$$\Delta u_{vn} \leq 2 \% \quad (1)$$

Pre zdroje pripojené v sieti NN, zvýšenie napätia nesmie prekročiť 3%:

$$\Delta u_{nn} \leq 3 \% \quad (2)$$

Ak je v sieti NN alebo VN len jedno miesto pripojenia, možno tieto podmienky (1), (2) posúdiť jednoducho na základe pomeru minimálneho skratového výkonu v mieste pripojenia a súčtom maximálnych zdanlivých výkonov všetkých pripojených alebo plánovaných zdrojov. Takto definovaný skratový pomer výkonov je:

$$k_{k1} = \frac{S_{kv}}{\sum S_{Amax}} \quad [-, VA, VA] \quad (3)$$

Ak má sieť NN a VN silne induktívny charakter, potom je posúdenie pomocou koeficientu k_{k1} veľmi konzervatívne, t. j. prípustná výška dodávaného výkonu bude obmedzená viac, ako je to nutné z hľadiska kritéria zvýšenia napätia. V takom prípade je potrebné urobiť výpočet, v ktorom sa bude brať do úvahy komplexná impedancia siete s jej fázovým uhlom, ktorý poskytne oveľa presnejší výsledok.

3.6 Záver kapitoly 3

Fotovoltaika, ktorá využíva slnečné žiarenie, sa stala v celosvetovom meradle jedným z najrýchlejšie sa rozvíjajúcich smerov vzhľadom na ročný nárast inštalovaného výkonu. Výroba elektrickej energie z fotovoltaických elektrární ročne vzrastá až o 30 %. Využívanie Slnka ako zdroja energie, má veľkú výhodu oproti fosílnym palivám pretože je najekologickejším a nevyčerpatelným zdrojom.

3.7 Literatúra ku kapitole 3

- [1] Kolcun, M. – CHladný, V. – Mešter, M. – Cimbala, R. – Tkáč, J. – Hvizdoš, M. – Rusnák, J.: Elektrárne. Košice: TU – FEI, 2004, 453s. ISBN 80-8073-704-5.
- [2] Kim, K.A.; Krein, P.T.: Photovoltaic converter module configurations for maximum power point operation. 2010 Power and Energy Conference at Illinois (PECI), 12-13 Feb. 2010, pp. 77 - 82, Location: Urbana-Champaign, IL, ISBN: 978-1-4244-5902-5. DOI: 10.1109/PECI.2010.5437152.
- [3] Contact Layers. Steirer, K.X. ; Widjonarko, N.E. ; Sigdel, A.K. ; Lloyd, M.T. ; Ginley, D.S. ; Olson, D.C. ; Berry, J.J. ; Optimization of Organic Photovoltaic Devices Using Tuned Mixed Metal Oxide, Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2010 35th IEEE, Issue Date: 20-25 June 2010, pp: 000102-000104, Honolulu, HI ISSN: 0160-8371, Print ISBN: 978-1-4244-5890-5, DOI: 10.1109/PVSC.2010.5614501

- [4] Zákon č. 309/2009 o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov.
- [5] Východoslovenská distribučná, a.s.: Technické podmienky prevádzkovateľa distribučnej sústavy. November 2010. [online]. Dostupné na internete: <http://www.vsds.sk/wps/PA_1_EMLKAB1A00E440ISIH6LI70040/content/vsd.G0000/doc/20101008-technicke-podmienky-pds.pdf>
- [6] Voľné prístupné na internete. [cit. 2012-1-20] <www.sepsas.sk>
- [7] Janíček, F. a kol.: Model trhu s elektrinou: Technické aspekty výroby, prenosu a distribúcie elektriny v Slovenskej republike. STU Bratislava, 2009, s. 114-117, ISBN 978-80-89402-11-3.
- [8] Szathmáry, P. – Kolcun, M.: Predikcia denných diagramov zaťaženia v ES s využitím umelých neurónových sietí. Edícia vedeckých spisov, FEI TU Košice, 2001, s. 25. ISBN 80-88964-80-6.
- [9] Líška, M. – Koval', P. – Janiga, P. – Eleschova, Žaneta – Janíček, F.: Prevádzka NOZE v rámci bilančnej skupiny prevádzkovateľa distribučnej sústavy. In: ELEKTROENERGETIKA. Roč. 17, 2011, č. 2, s. 1-5.
- [10] Ministerstvo hospodárstva a výstavby SR: Národný akčný plán pre energiu z obnoviteľných zdrojov. 2010, 74s.
- [11] Dušička, P. – Hutňan, M. – Jelemnický, Ľ. – Packa, Juraj – Šály, V. – Šulek, P.: Obnoviteľné zdroje energie: Biomasa – slnko – voda, Renesans, s.r.o, Pezinok, 2011, 304s. ISBN 978-80-89402-37-3.
- [12] VONSCH: Návod na inštaláciu a údržbu meničov Fotocontrol 3F 400/12. [cit. 2012-2-12] Dostupné na internete: <www.vonsch.sk>
- [13] Pástor, M. – Dudrík, J.: Kaskádový fotovoltický striedač pre distribuovaný zdroj elektrickej energie, článok, ELEKTROENERGETIKA, Vol.4, No.4, 2011, ISSN 1337-6756.
- [14] Pástor, M.: Striedač pre fotovoltické systémy. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2010. 133 s.
- [15] S. H. KO – S. R. LEE – H. DEHBONE – CH. NAYAR: A Comparative Study of the Voltage Controlled and Current Controlled Voltage Source Inverter for the Distributed Generation System, [online]. [cit. 2012-2-17]. Dostupné na internete: <<http://itee.uq.edu.au/~aupec/aupec05/AUPEC2005/Volume1/S073>>
- [16] Y. XUE – K. C. DIVIA – G. GRIEPENTROG – M. LIVIU – S. SURESH – M. MANJREKAR: Towards Next Generation Photovoltaic Inverters, článok, 2011 IEEE
- [17] Liang, Zhigang; Guo, Rong; Wang, Gangyao; Huang, Alex: A new wide input range high efficiency photovoltaic inverter. 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 12-16 Sept. 2010, pp. 2937 - 2943, Location:

- Atlanta, GA, USA, ISBN: 978-1-4244-5286-6, DOI: 10.1109/ECCE.2010.5618217.
- [18] Morello, R.; Carbone, R.; De Capua, C.; Meduri, A.: Energy accounting in presence of unbalances: The case study of a Photovoltaic plant. 2010 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 3-6 May 2010, pp. 1145 - 1149, Location: Austin, TX, ISSN: 1091-5281, DOI: 10.1109/IMTC.2010.5488135.
- [19] Koller, L.; Novak, B.; Tevan, G.: Heating Effects of Short-Circuit Current Impulses on Contacts and Conductors—Part I. IEEE Transactions on Power Delivery, Jan. 2008, Volume: 23, Issue: 1, pp. 221-227, ISSN: 0885-8977, DOI: 10.1109/TPWRD.2007.905806.
- [20] Koller, L.; Novak, B.; Tevan, G.: Heating Effects of Short-Circuit Current Impulses on Contacts and Conductors—Part II. IEEE Transactions on Power Delivery, Jan. 2008, Volume: 23, Issue: 1, pp. 228-232, ISSN: 0885-8977, DOI: 10.1109/TPWRD.2007.905807.
- [21] Patcharaprakiti, N.; Kirtikara, K.; Chenvidhya, D.; Monyakul, V.; Muenpinij, B.: Modeling of Single Phase Inverter of Photovoltaic System Using System Identification. 2010 Second International Conference on Computer and Network Technology (ICCNT), 23-25 April 2010, pp. 462 - 466, Location: Bangkok, ISBN: 978-0-7695-4042-9, DOI: 10.1109/ICCNT.2010.120.
- [22] Bannert, P.; Potůček, J.: Natáčecí fotovoltický systém. [online] Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola Varnsdorf. 2009. [citované 14.3.2011] Dostupné na < http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/487/FVS_013_cviceni/013_nataceci_fvs.pdf >

Výrobne elektrickej energie

Dr.h.c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD.

1 Výrobné elektrickej energie

Elektráreň – je priemyselné zariadenie na výrobu elektrickej energie, ktoré premieňa iné druhy energie (najčastejšie tepelnú, jadrovú, energiu vody, energiu vetra atď.) na elektrickú energiu.

Elektrárne delíme na:

- **tepelné elektrárne** (TE), na báze fosílnych palív (kondenzačné, teplárne),
- **jadrové elektrárne** (JE) na báze energie štiepenia jadier ťažkých prvkov,
- **vodné elektrárne** (VE), prietokové, priehradové (akumulačné, prečerpávacie) a MVE,
- **paroplynové elektrárne** (PPC),
- **kogeneračné zdroje**, využívajú chemickú energiu plyného alebo kvapalného paliva a zabezpečujú výrobu elektrickej energie a tepla v jednom technologickom zariadení,
- **elektrárne využívajúce OZE** (zdroje obnoviteľnej energie): slnečná energia (fototermálna premena, fotoelektrická premena), veterná energia, termojadrová syntéza, MHD premena, elektrochemické palivové články, termoelektrické zdroje (Seebeckov, Peltierov a Thomsonov jav), geotermálna energia, prílivové, biomasa.

Čo je potrebné na výrobu 1kWh

- 0,32 kg čierneho uhlia,
- 1,3 kg hnedého uhlia,
- 0,27 m³ zemného plynu,
- 0,22 kg vykurovacieho oleja,
- 1,5 až 3,5 kg odpadkov,
- 0,022 g prírodného uránu,
- 43,2 m³ vody pri spáde 10 m,
- 12 m² fotovoltických článkov pri 1 h intenzívneho oslnenia.

Ročná spotreba paliva v elektrárni s výkonom 1000 MW:

- hnedouhoľná elektráreň 4 mil. ton
- čiernouhoľná elektráreň 2 mil. ton
- jadrová elektráreň 35 ton
- plynová elektráreň 3 miliardy m³
- vykurovací olej 4 mil. barelov (1 barel = 0,159 m³)

2 Vodné elektrárne

Podľa využitia energie vodného toku rozoznávame:

- a) riečne elektrárne: Voda je privádzaná do turbíny neopúšťa koryto rieky, elektrárňu je umiestnená na rieke.
- b) derivačné elektrárne: Voda opúšťa pôvodné koryto rieky a k turbíne je privádzaná buď otvoreným kanálom, štôľňou, potrubím alebo šachtou. [1]

Podľa veľkosti spádu rozoznávame :

- a) Nízkotlakové elektrárne: Využívajú spád menší ako 20 m. Tieto elektrárne sú postavené väčšinou na hatiach (zdržiach). V elektrárňach sú inštalované najčastejšie Kaplanove turbíny.
- b) Stredotlakové elektrárne: Využívajú spád v rozmedzí 20 až 100 m. V elektrárňach sú inštalované väčšinou Francisove turbíny, menej Kaplanove turbíny.
- c) Vysokotlakové elektrárne: Využívajú spád v rozmedzí 100 až 200 m. Tieto elektrárne sú osadené buď niektorým typom Francisovej turbíny alebo Peltonovou turbínou. [1]

Podľa spôsobu prevádzky akumulácie energie:

- a) Prietochné vodné elektrárne: Sú charakteristické tým, že nemajú žiaden akumulačný priestor. Výkon elektrárne je závislý na okamžitom prietoku v rieke. Tieto sú budované na veľkých riekach s rovnomerným prietokom počas celého roka. Tento druh VE pracuje väčšinou do základnej časti denného diagramu zaťaženia.
- b) Akumulačné elektrárne s prirodzenou akumuláciou vody: Sú charakteristické tým, že majú k dispozícii zásobu vody v akumulačnej nádrži. Voda do nádrže priteká prirodzeným spôsobom. Sú budované pri priehradách na riekach. Spád u týchto elektrární býva stredný až vysoký. Pracujú ako špičkové alebo pološpičkové vodné elektrárne.
- c) Akumulačné elektrárne s umelou akumuláciou vody: prečerpávacie vodné elektrárne (PVE). PVE v čase zníženého zaťaženia elektrizačnej sústavy umelo akumulujú energiu vo forme vody a to prečerpávaním vody z dolnej nádrže do hornej akumulačnej nádrže. Zásoby vodnej energie v hornej nádrži sú využívané na výrobu elektriny počas energetickej špičky. [1]

Podľa inštalovaného výkonu:

- a) domáce elektrárne s inštalovaným výkonom do 35 kW,
- b) mikroelektrárne s inštalovaným výkonom od 35 kW do 100 kW,
- c) minielektrárne s inštalovaným výkonom od 100 kW do 1 000 kW,
- d) priemyselné elektrárne s inštalovaným výkonom od 1 MW do 10 MW,
- e) veľké vodné elektrárne s inštalovaným výkonom nad 10MW. [1]

Podľa režimu odtoku rieky:

- a) Vysokohorský typ riek: Najvyššie prietoky tento typ riek dosahuje v Máji až Júli, keď sa na horách topí sneh, najnižšie v Januári alebo Februári, keď sú zrážky vo forme snehu a ľadu. Tento typ riek predstavuje u nás Dunaj,

ktorý zásobujú vodou prítoku z Álp. Takýmto typom sú aj tatranské prítoky rieky Poprad.

- b) *Stredohorský typ*: Najvyššie prietoky dosahuje tento typ riek v Apríli, kedy sa topí väčšina snehu na povodí, najnižšie v zime. U nás je to napríklad Váh, Hron a ich prítoky.
- c) *Vrchovinno-nížinný typ*: Najvyššie prietoky sú na tomto type riek v Marci, najnižšie v Septembri. Tento typ riek nedosahuje v zime najnižšie hodnoty, pretože sa na svahoch sneh nedrží vo významnom množstve, a takmer hneď ako sneh napadne sa roztopí. Výstavba MVE je najvhodnejšia na tomto type toku, pretože sa jeho prietok cez ročné obdobia mení v najnižšej miere je najrovnomernejší. Rieky na Slovensku ako Dudváh, Nitra, Žitava, Ipel'. [2]

2.1 Vodné turbíny

Najdôležitejšou časťou motorom každej elektrárne je vodná turbína. Výber konkrétneho druhu turbíny do MVE závisí od konkrétnych podmienok. Dnes sa používajú štyri základné druhy vodných turbín - Bánkiho, Peltonova, Francisova a Kaplanova, prípadne ich inovované a vylepšené konštrukčné riešenia (špirálovité a kašnové riešenia, priamoprúdové). Slúžia na pohon generátorov vo vodných elektrárnach.

2.2 Rozdelenie vodných turbín

Vodné turbíny delíme podľa:

a) prenosu energie na obežné koleso:

- rovnotlakové turbíny: v nich sa celá energia vody mení už v rozvádzacích kanáloch na energiu kinetickú (najmä Peltonove a Bánkiho turbíny)
- pretlakové turbíny: v nich sa v kanáloch rozvádzacieho kola mení len časť polohovej energie vody na kinetickú energiu, pričom ostávajúca časť polohovej energie sa premieňa na energiu kinetickú až pri prechode vody obežným kolesom (najmä Kaplanova, Francisova, vrtuľová turbína a iné.),

b) smeru prúdenia vody cez obežné koleso vzhľadom na hriadeľ:

- radiálne odstredivé (centrifugálne) s vnútorným vtokom vody: voda preteká medzi lopatkami obežného kola smerom od hriadeľa (napr. Furnieronova turbína)
- radiálne dostredivé s vonkajším vtokom vody: voda preteká medzi lopatkami obežného kola smerom k hriadeľu (napr. historická Francisova turbína)
- axiálne: voda preteká lopatkami obežného kola zhruba v rovnakej vzdialenosti od jeho osi (napr. turbína Kaplanova, vrtuľová)
- radiálne axiálne: voda preteká obežným kolesom radiálne (kolmo na os) a ďalej mení smer na približne rovnobežný s osou (napr. moderná Francisova turbína)
- diagonálne: voda preteká obežným kolesom šikmo k hriadeľu (napr. Deriazova turbína)
- so šikmým prietokom: voda vteká na lopatky obežného kola z bočnej strany a vystupuje rovnobežne s osou

- tangenciálne: voda prúdi na lopatky obežného kolesa v smere dotýčnice ku kružnici so stredom na osi rotácie kolesa (napr. turbína Peltonova)
- s dvojnásobným prietokom: voda vstupuje dostredivo a vystupuje odstredivo (napr. Bánkiho turbína).

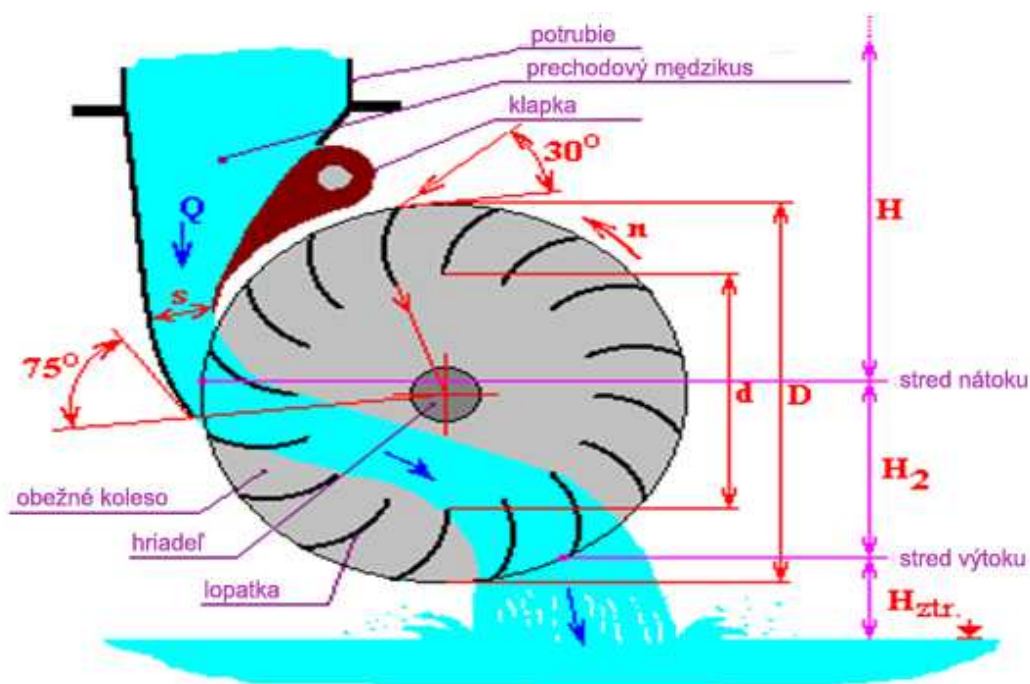
c) podľa polohy hriadeľa:

- vertikálne (prevažná väčšina všetkých typov turbín okrem priamoprúdových)
- horizontálne (najmä väčšie turbíny priamoprúdové)
- šikmé (menšie turbíny priamoprúdové).

Turbíny vrtuľová a Kaplanova sa najviac hodia pre inštaláciu u MVE. Sú to najrýchlejšie a rozmerovo najmenšie turbíny, ktoré majú dobrú účinnosť. Využiť energiu vody aj v lokalitách s mimoriadne nízkymi užitočnými spádmi, menšími ako 0,5 m umožňujú vodné kolesá. Ako takmer nezastupiteľný typ vodného stroja sú vhodné pre spády do 1,5 m. [1]

2.2.1 Bánkiho turbína

Hoci konštrukciu turbíny, ktorá sa dnes označuje ako Bánkiho ako prvý navrhol a patentoval v roku 1903 austrálsky inžinier A.G.M. Mitchelom, dostala názov po maďarskom profesorovi Donatovi Bánkimu, ktorý ju vyvinul nezávisle na Mitchellovi na univerzite v Budapešti v roku 1918. Okolo roku 1920 bol tento typ turbíny rozšírený po celej Európe. Hlavnou črtou tejto turbíny je, že voda dopadá na lopatky dvakrát pri vstupe aj pri výstupe. Pri prvom prietoku lopatkami sa turbíne odovzdáva asi 79% z celkového výkonu. Vplyvom súbehu medzi rýchlosťou vody a otáčaním kola nemieri vytekajúci prúd na hriadeľ turbíny, ale minie ju voľným zavzdušeným priestorom. Potom vstúpi do lopatiek na opačnej strane lopatkového venca. Voda je opäť prinútená zmeniť smer a odovzdáva lopatkám ďalší diel svojej energie, odpovedajúci 21% z celkového výkonu turbíny. Bánkiho turbíny sú rovnakotlaké turbíny a uplatňujú už pri spádoch vody nižších ako 2 metre alebo dosahujúcich výšku až 100 metrov. Môžu využívať veľkú rôznorodosť prietokov, a to pri konštantnom priemere turbíny tým, že sa mení veľkosť vstupu vody a šírka obežného kola (rotora). Pomer šírky a priemeru rotora sa pohybuje od 0,2 do 4,5. Dôležitou črtou Bánkiho turbíny je, že účinnostná krivka je relatívne plochá, čo znamená, že aj pri zníženom prietoku je účinnosť ešte stále relatívne vysoká. Toto je niekedy dôležitejšie ako vyššia účinnosť iných turbín v optimálnom bode účinnostnej krivky. Vzhľadom na nízku cenu a jednoduchú obsluhu sa tieto turbíny veľmi dobre uplatňujú v malých vodných elektrárnach. (Obr. 1) [3]



Obr. 1 Bánkiho turbína[4]

2.2.2 Francisova turbína

V roku 1826 Benoit Fourneyron vyvinul vysoko efektívnu vodnú turbínu s účinnosťou až 80%. Voda v nej bola smerovaná tangenciálne turbínou a tým ju roztáčala. Jean Victor Poncelet vyvinul v roku 1820 turbínu na podobnom princípe. S. B. Howd získal v USA v roku 1838 patent pre ďalšiu turbínu tohto typu. V roku 1848 James B. Francis vylepšil tieto predchádzajúce turbíny a podarilo sa mu dosiahnuť účinnosť celkovo až 90%. Pomocou vedeckých postupov a sady testov a meraní vytvoril maximálne efektívnu turbínu. Jeho príspevím sa metódy výpočtu a merania stali súčasťou teórie turbín. Pomocou jeho analytických metód je teraz možné úspešne navrhnuť maximálne efektívnu turbínu, ktorá bude presne odpovedať konkrétnym požiadavkám inštalácie. Francisova turbína je turbínou pretlakovou, tzn., že pracovná kvapalina mení tlak v priebehu svojej cesty obežným kolesom a pritom odovzdáva svoju energiu. Pre udržanie smeru toku vody sú nutné rozvádzače lopatky. Rotor turbíny sa nachádza medzi vysokotlakovým príivodom a nízkotlakovou savkou väčšinou v päte priehrady. Vstupné potrubie sa postupne zužuje. Pomocou rozvádzacích lopatiek, ktoré sú automaticky natáčané regulátorom lopatiek, je voda smerovaná na rotor. Keď voda prechádza rotorom, jej rotačná rýchlosť sa zmenšuje a zároveň odovzdáva energiu rotoru. Tento efekt spolu s pôsobením samotného vysokého tlaku vody prispieva k efektívnosti turbíny. Výstup z turbíny, savka, je tvarovaná tak, aby bola rýchlosť vystupujúcej vody čo najnižšia. Je vhodná pre malé, stredné i vysoké spády a patrí medzi najrozšírenejšie turbíny. Najčastejšie sa Francisove turbíny využívajú pre stredne veľké a veľké prietoky a spády. Francisova turbína má dve základné varianty podľa uloženia hriadeľa a to buď vertikálnu alebo horizontálnu. [5]

2.2.2.1 Francisova vertikálna turbína

Vertikálna Francisova turbína bola veľmi rozšíreným vodným motorom v minulosti. Osadzovala sa väčšinou na vodné diela haťové alebo vodné diela derivačné s otvoreným privádzačom v nížinách na väčších riekach. Používala sa najčastejšie ako hlavný mechanický pohon mestských elektrární a priemyselných závodov. Pokiaľ sa

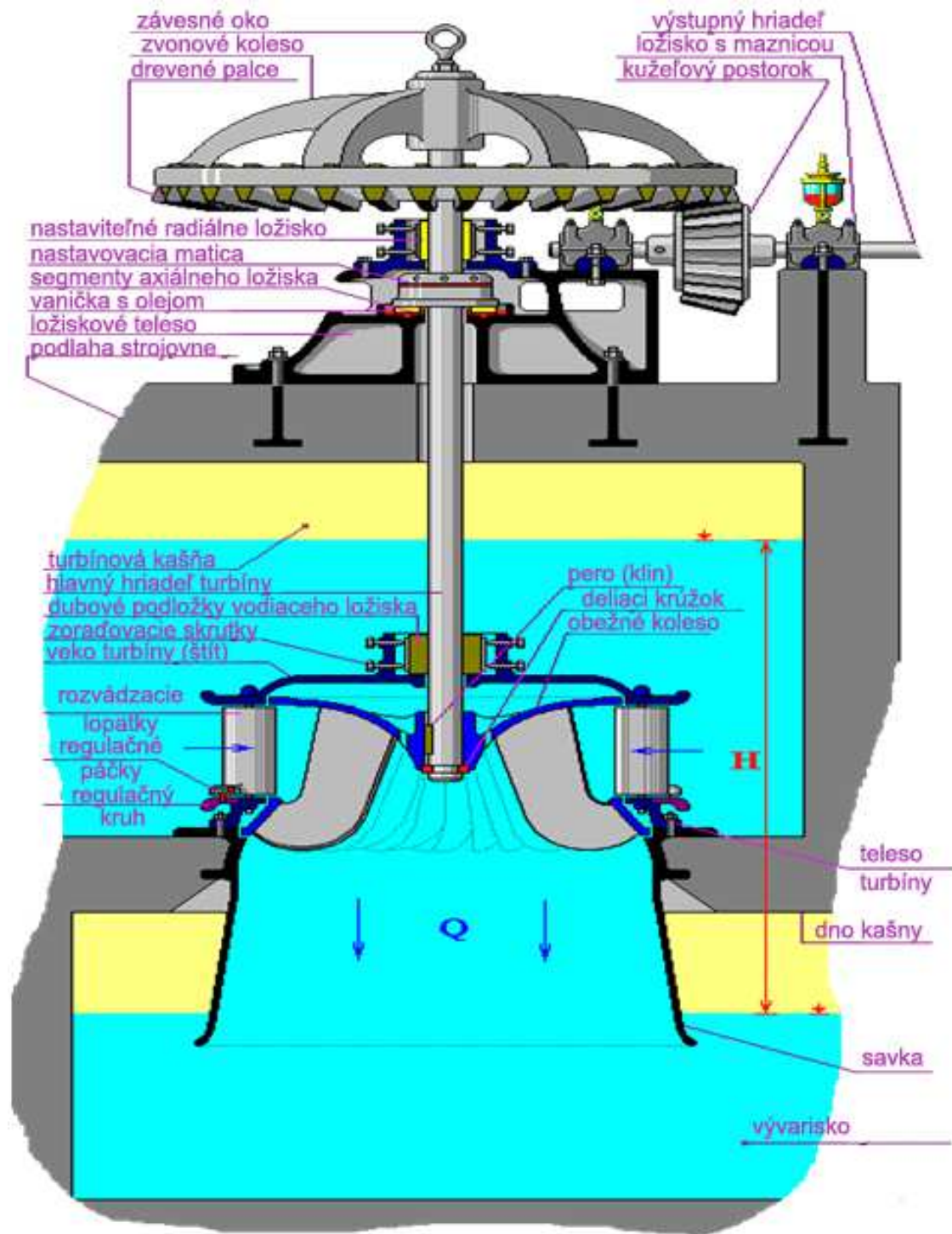
tieto stroje do dnešných dní zachovali, sú po rekonštrukcii väčšinou prevádzkované ako MVE s výkonom rádovo v desiatkach až stovkách kW.

Princíp činnosti:

Vlastná turbína je umiestnená na dne turbínovej kašny naplnenej vodou. Jej hriadel vedie zvisle nahor do strojovne. Voda preteká z kašny do regulovateľných rozvádzačích lopatiek po celom obvode turbíny. Pri prietoku rozvádzačimi lopatkami získava rýchlosť a smer potrebný pre vstup do obežného kola. V zakrivených medzilopátkových kanáloch obežného kolesa voda mení smer a rýchlosť, a tým odovzdáva svoju energiu. Po výtoku z obežného kolesa sa voda odvádza do odpadového kanála. Pretože je turbína z dôvodu jednoduchej údržby a opráv nad spodnou hladinou, je voda odvádzaná savkou. Ak turbína nepracuje pri menovitom prietoku, dochádza za obežným kolesom k rotácii vodného stĺpca v savke, preto má kruhový, prípadne mierne oválny prierez. Voda pri prechode kužeľovito sa rozširujúcou savkou znižuje rýchlosť, čo spolu s hmotnosťou celého vodného stĺpca v nej vytvára podtlak prenášajúci sa na odtokovú stranu obežného kolesa. Vďaka saciemu efektu využíva turbína celý spád H , hoci je obežné koleso nad hladinou vývaru.

Aplikácia:

Toto technické usporiadanie sa používa pri spádoch od 1,5 m do cca 4–5 m, pri stredných a veľkých prietokoch $0,6\text{--}8\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. V porovnaní s horizontálnou turbínou má samotná vertikálna turbína vďaka priamej savke vyššiu účinnosť. Na menších spádoch za ozubeným prevodom nasleduje ešte druhý prevod remeňový. Pri moderných rekonštrukciách sa niekedy používa iba remeňový prevod na vertikálne postavený pomalobežný generátor. Veľké turbíny majú mnohopólové generátory priamo na osi. Menšie a staršie turbíny sú konštruované s obežným kolesom tzv. normálobežným, ale väčšina strojov má obežné koleso rýchlobežné. (Obr. 2) [5]



Obr. 2 Francisova vertikálna turbína[6]

2.2.2.2 Francisova horizontálna turbína

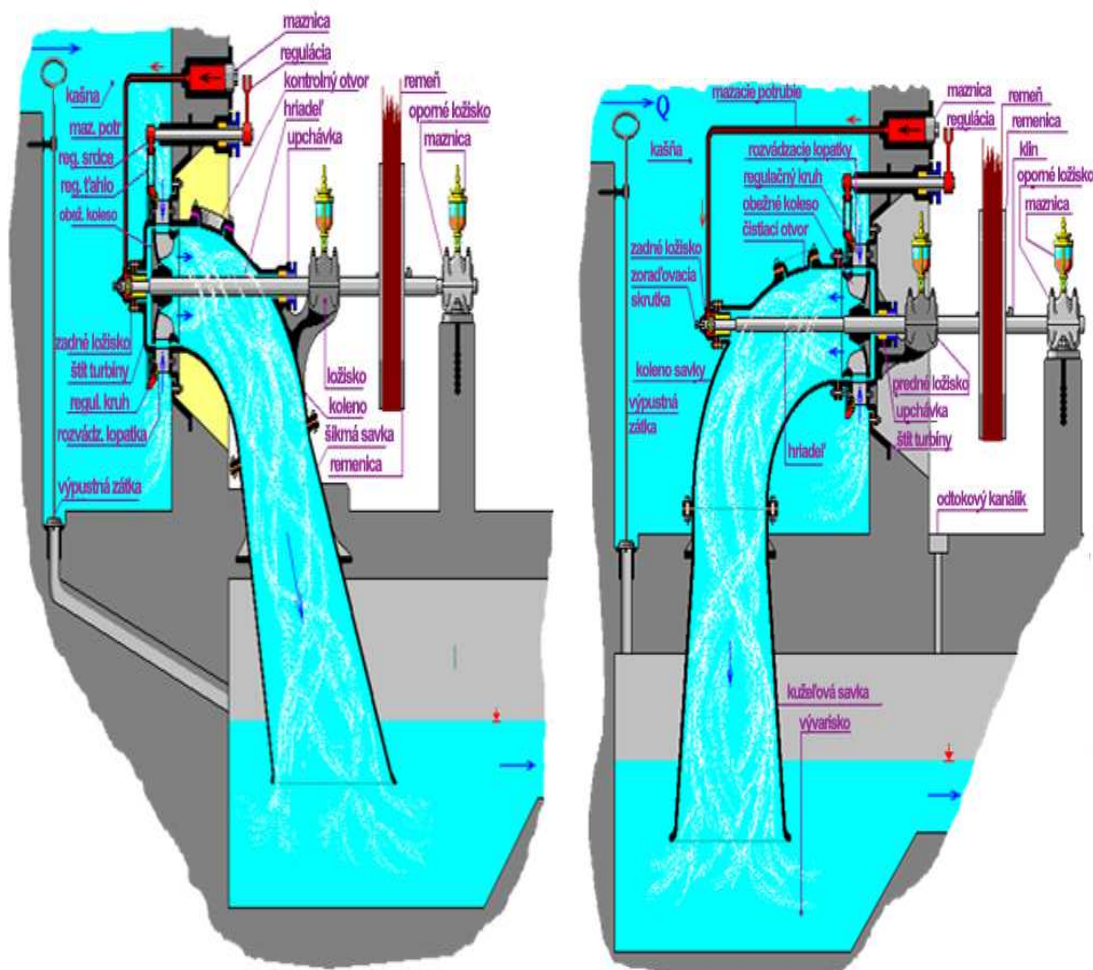
Horizontálna Francisova turbína patrila k najrozšírenejším vodným turbínám v minulosti. Osadzovala sa väčšinou na vodné diela derivačné s otvoreným privádzačom alebo tlakovým privádzačom, avšak s otvorenou kašnou. Používali sa najčastejšie ako hlavný alebo doplnkový priamy mechanický pohon mlynov, píl a drobných živností. Mnoho týchto strojov sa do dneška zachovalo. Niektoré z nich sú prevádzkované ako MVE.

Princíp činnosti:

Vlastná turbína je umiestnená v stene turbínovej kašny naplnenej vodou. Jej os je dostatočne vysoko nad spodnou vodou, aby nehrozilo zaplavenie stroja. Voda vteká z kašny do regulovateľných rozvádzačích lopatiek po celom obvode turbíny. Pri prietoku rozvádzačimi lopatkami získava rýchlosť a smer potrebný pre vstup do obežného kolesa. V obežnom kolese voda odovzdáva svoju energiu a po výtoku z obežného kolesa sa odvádza do odpadového kanálu. Pretože je turbína v stene kašny a vysoko nad spodnou hladinou, rieši sa to pomocou kolenovej savky. Kolenová savka kruhového prierezu je pre toto horizontálne usporiadanie typická. Ak nepracuje turbína pri menovitom prietoku, dochádza za obežným kolesom k rotácii vodného stĺpca. Pretože nemá dochádzať k veľkým stratám, nesmie pôsobiť savka tomuto prúdeniu odpor. Preto má jej koleno veľký polomer ohybu, aby si v ňom mohol stĺpec nerušene rotovať. Toto koleno môže byť vedené vo vnútri kašny, vtedy hovoríme o savke mokrej alebo strojovňou, tak hovoríme o savke suchej.

Aplikácia:

Toto technické usporiadanie sa používa pri spádoch 2–8 m pri malých a stredných prietokoch $0,1\text{--}2\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. V porovnaní s vertikálnou turbínou má turbína horizontálna o niekoľko percent nižšiu účinnosť. To je však vyvážené radom iných výhod. Medzi hlavné z nich patrí vodorovný hriadeľ, vychádzajúci z turbíny priamo do priestoru strojovne. Tým sa výrazne zjednodušia prevody. Často stačí len s remeňový prevod, a tak sa celková bilancia účinnosti vyrovnáva. Väčšinou sú tieto turbíny tzv. normálobežné, iba väčšie turbíny na malé spády, prípadne turbíny priamo spojené s generátorom môžu byť rýchlobežnejšie. (Obr. 3) [6]



Obr. 3 Francisova turbína so suchou savkou a mokrou savkou [6]

2.2.3 Peltonova turbína

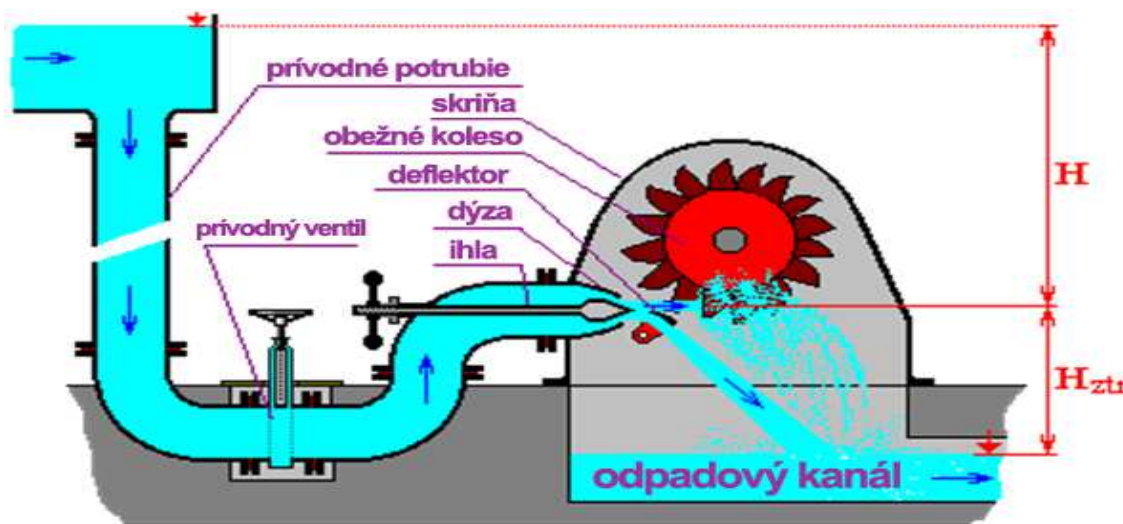
Najčastejšie používaným typom rovnotlakej turbíny, uplatňujúcim sa i pri realizácii MVE, je Peltonova turbína. Jej prednosťou je relatívna jednoduchosť hydraulického a konštrukčného riešenia a použiteľnosť pre okrajové hodnoty prietokov i merné energie. Turbína bola skonštruovaná v. r. 1880 Lesterom Allenom Peltonom synom amerického farmára z Ohia, ktorý riešil pohon strojov na ťažbu zlata v Camptonville v Nevade.

Princíp činnosti:

Peltonova turbína je tangenciálnou rovnotlakovou turbínou. Voda prúdi kolmo na obvod rotoru pomocou trysk. Rozvádzačom je dýza na prívodnom potrubí, z ktorej voda vystupuje kruhovým paprskom a dopadá na lopatky lyžičkového tvaru. Každá z lopatiek sa postaví proti smeru toku vody, a tak otočí jej smer. Výsledkom vzniknutých síl je pohyb rotoru turbíny. Peltonova turbína je najefektívnejšia v prípade vysokého tlaku prívodnej vody. Pretože voda je len ťažko stlačiteľná, takmer všetka jej energia je odovzdaná turbíne. Preto stačí iba jedno obežné koleso k prevedeniu energie vody na energiu rotoru. Prietok vody, a tým aj výkon turbíny, sa reguluje zmenou výtokového prierezu dýzy zasúvaním regulačnej ihly. K posuvu ihly sa väčšinou používa servomotor. Rýchly zásah regulácie zníženie výkonu sa prevádza odklonením vodného paprsku.

Aplikácia:

Účinnosť týchto turbín je okolo 90 %. Pretože sa Peltonove turbíny sa používajú pre vysoké spády až 1 km, kde výtoková rýchlosť vody je až 500 km/h, preto musia byť tieto turbíny vybavené zariadením, tzv. odchyľovačom vodného paprsku, ktoré v prípade potreby odchýli vodný paprsok mimo lopatky turbíny. Prívod vody nie je možné naraz uzavrieť, pretože silný dynamický náraz by mal za následok roztrhnutie potrubia. Sú vyrábané vo všetkých možných veľkostiach. Pre použitie v energetike sa využíva vertikálne uloženie a výkon až 200 MW. Najmenšie turbíny sú veľké niekoľko desiatok centimetrov a používajú sa pre malé vodné elektrárne s veľkým spádom a relatívne menším prietokom. Rozsah použitia je 15–1800 m. [7]



Obr. 4 Peltonova turbína [8]

2.2.4 Kaplanova turbína

Túto turbínu vynášiel profesor brnenskej techniky Viktor Kaplan. Kaplan ako prvý zbral pri teoretickom návrhu turbíny do úvahy viskozitu vody. V rokoch 1910–1912 preto navrhol na základe svojich úvah nový tvar obežného kola. Prvý prototyp Kaplanovej turbíny bol vyrobený brnenskou firmou Ignác Storek v roku 1919. Po skúškach sa ukázalo, že turbína dosahuje vynikajúcu mechanickú účinnosť až 86 %. Ďalší prototyp bol úspešne vyskúšaný v podebradskej elektrárni. Neskôr, keď sa Kaplanovým žiakom podarilo vyriešiť i problémy s kavitáciou, stala sa táto turbína najvýznamnejším typom turbíny používaným vo veľkých vodných elektrárnach po celom svete. Začiatkom jej úspechu bola úspešná montáž vtedy najväčšej turbíny sveta v švédskom Jlla Edet v roku 1925.

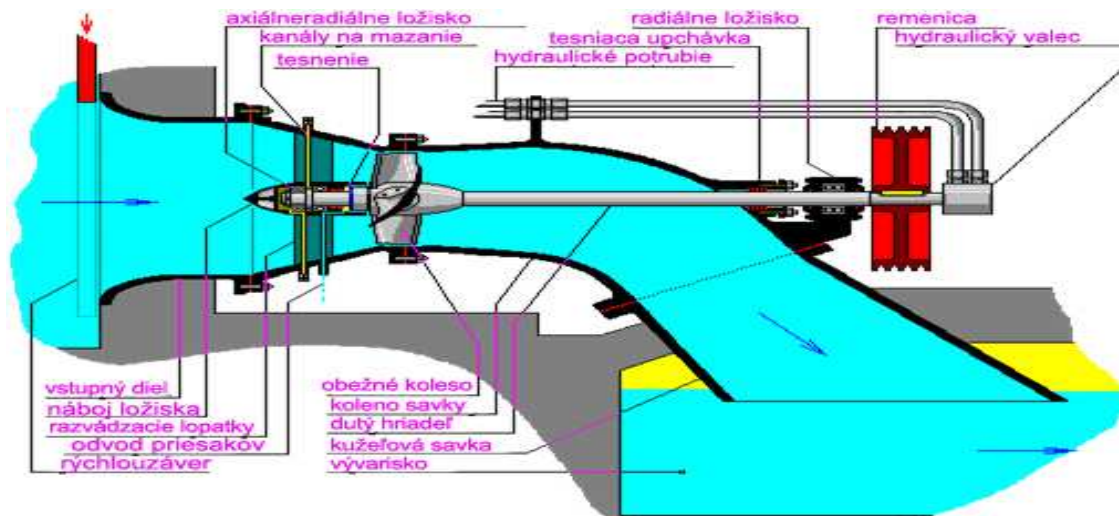
Princíp činnosti:

Kaplanova turbína je pretlaková axiálna turbína s veľmi dobrou možnosťou regulácie. To sa využíva najmä v miestach, kde nie je možné zaistiť stály prietok, alebo spád. Od svojho predchodcu, Francisovej turbíny, sa líši predovšetkým menším počtom lopatiek, tvarom obežného kola a najmä možnosťou regulácie náklonu lopatiek u obežného i rozvádzacieho kolesa.

Aplikácia:

Kaplanova turbína má vyššiu účinnosť ako Francisova turbína, je ale výrazne zložitejšia a drahšia. Používa sa pre spády od 2 do 70,5 m a prietoky 0,15 až niekoľko desiatok m³/s. Najväčšiu hĺtnosť na svete majú Kaplanove turbíny na vodnej elektrárni Gabčíkovo na Dunaji, a to až 636 m³·s⁻¹, pri spáde 12,9–24,2 m. Všeobecne sa dá povedať, že sa používa hlavne na malých spádoch pri veľkých prietokoch, ktoré nie sú konštantné. Na malých spádoch sa však u týchto turbín často stretávame s kavitáciou, čo

môže viesť k poškodeniu turbíny a tak k celkovej neekonomickosti diela. V závislosti na rozdieli hladín môže byť inštalovaná buď so zvislou alebo s vodorovnou osou otáčania. [9]



Obr. 5 Kaplanova turbína typu Semi-Kaplan [10]

2.3 Prečerpávacie vodné elektrárne

Elektrizačná sústava každého štátu musí v každom okamihu vyrobiť presne toľko elektrickej energie ako je v danom momente spotrebovávané. Spotreba elektrickej energie pritom ako behom dňa, tak i v dlhších obdobiach kolíše. Elektrickú energiu síce nie je možné v čistom stave skladovať, situáciu však účinne pomáhajú riešiť prečerpávacie vodné elektrárne. [9]

Prečerpávací vodní elektrárň, skratene PVE, predstavuje typ vodnej elektrárne, ktorá si energiu v podobe naakumulovanej vody dokáže sama uložiť. Prečerpávací vodná elektrárň je v princípe sústava dvoch výškovo rozdielne položených vodných nádrží spojených tlakovým potrubím, na ktorom je v jeho dolnej časti umiestnená turbína s elektrickým generátorom. Umelú akumuláciu vody robí v dobe, keď je elektrickej energie prebytok, teda v dobe mimo energetickú špičku (napr. v noci). Akumulovaná energia v podobe nazhromaždenej potenciálnej energie vody sa potom v dobe špičky využíva k výrobe elektrickej energie. Prečerpávacie vodné elektrárne sú zatiaľ jedným z mála nástrojov ako uchovať väčšie množstvo prebytočnej elektrickej energie na dlhšiu dobu. Stali sa technicky schodným prostriedkom, ako znížiť straty z nevyužitej nočnej energie a ako predísť problémom s výkyvmi v spotrebe elektrickej energie resp. v jej odbere z elektrizačnej sústavy. [9]

Napriek tomu že tieto elektrárne boli stavané už pred stavbami jadrových elektrární, ich význam narástol po ich stavbách. A to z dôvodu, že jadrová elektrárň nie je vhodná na pokrývanie okamžitých výkyvov v dopyte po elektrickej energii. Z tohto dôvodu sa musí vyrábať práve už zmienená lacná „nevyužitá“ energia, ktorú prečerpávacie vodné elektrárne akumulujú v podobe potenciálnej energie vody do svojich horných nádrží na dobu energetické špičky. [9]

Veľkou prednosťou prečerpávacích vodných elektrární je schopnosť prifázovania do elektrizačnej siete s plným výkonom v niekoľkých minútach, či dokonca do minúty.

Táto schopnosť je vlastná všetkým vodným elektrárňam, preto pracujú v pološpičkovej alebo špičkovej prevádzke. [9]

Hlavné časti PVE

Časti PVE sú horná nádrž, dolná nádrž, medzi nimi vedie tlakovými ocelovými privádzačmi a strojovňou. V tlakových privádzačoch sú vybudované vyrovnávacie komory, ktoré majú tlmiť hydraulické rázy vznikajúce pri manipulácii s vodným stĺpcom. [9]

2.3.1 Nádrže PVE

U nádrží záleží na tom, či sa jedná o prečerpávaciu vodnú elektráreň s čisto umelou akumuláciou vody alebo so zmiešanou akumuláciou vody. Keď má elektráreň čisto umelú akumuláciu vody, tak je horná nádrž umelo vytvorená bez prirodzeného prítoku vody (napr. PVE Čierny Váh). Tieto elektrárne majú uzavretý kolobeh vody. Voda sa teda do hornej nádrže čerpá iba zo spodnej nádrže, ta má byť vždy postavená na mieste s aspoň minimálnym prítokom. Straty vody v dôsledku odparovania či priesaku sa nahrádzajú prirodzeným prítokom do spodnej nádrže. Horná umelá nádrž má väčšinou nepravidelný tvar prispôbený terénu. K vytvoreniu umelej hrádze sa väčšinou používajú sypané hrádze, výnimočne i betónové obvodové priehrady. Pretože je dno a svahy horní nádrže nutné utesniť, používa sa na tesnenie aj asfaltový betón, betón či plastové fólie. Pod tesnením sa stavia dôkladná drenáž. A to z dôvodu, že voda, ktorá sa môže dostať pod tesnenie, by pri jeho poškodení mohla pri rýchlom poklese hladiny behom turbínového prevozu poškodiť tesnenie pretlakom. Bezpečnostný nehradený prieliv slúži ako ochrana proti preliatiu obvodovej hrádze. Horná nádrž sa výškovo umiestňuje tak, aby bol objem ich hrádzí zodpovedajúci objemu výkopu a výlomu pre sypanie dolnej nádrže. Také riešenie stavby je ekonomicky najvýhodnejšie. PVE s čisto umelou akumuláciou vody pracujú s veľkým spádom a teda je pri ich stavbe využitá morfológia terénu (dolná nádrž je umiestnená v údolí, horná nádrž postavená na kopci)

PVE so zmiešanou akumuláciou (zmiešanou primárnou a sekundárnou akumuláciou) vody je postavená tak, že horná nádrž je tvorená priehradnou hrádzou v koryte rieky. Ide teda o priehradu. Horná nádrž má teda prirodzený prítok vody (primárnu prirodzenou akumuláciu). Dolná nádrž býva súčasne vyrovnávacou nádržou, je v nej malá prietokná elektráreň (napr. PVE Dalešice v ČR). Ďalšia možnosť technického riešenia PVE so zmiešaným prítokom je tá, keď horná nádrž a spodná nádrž sa nachádzajú každá v inej rieke a inom povodí (napr. PVE Dobšiná). [9]

2.3.2 Strojovňa PVE

Strojovňa PVE býva postavená pod zemou v klimatizovanej kaverne alebo je postavená nad zemou. V nej sa nachádzajú technologické zariadenia PVE a to napr. generátor, turbína, motor, čerpadlo.

Z hľadiska strojového usporiadania technologických častí sa PVE konštruujú ako:

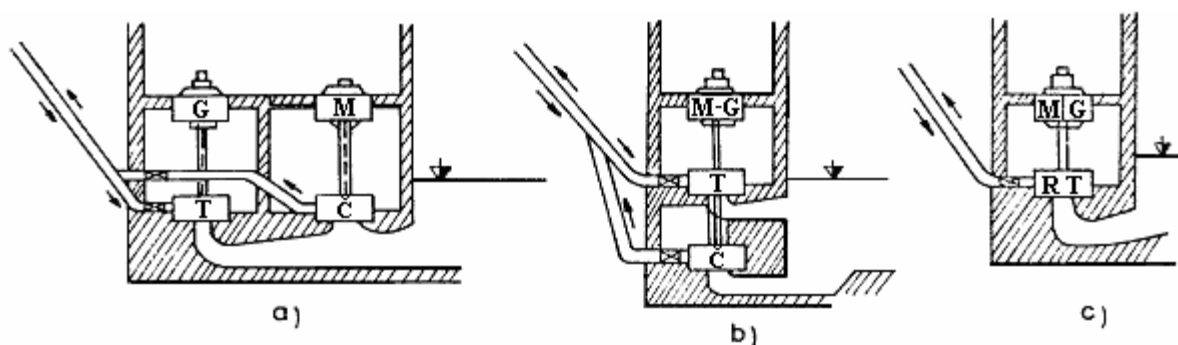
a) Štvorstrojové usporiadanie, ktoré je tvorené agregátmi turbína – generátor a motor –

čerpadlo Takéto riešenie je historicky najstaršie.

b) Trojstrojové usporiadanie, najčastejšie s vertikálnym uložením je tvorené motor –

generátorom, turbínou a čerpadlom Turbína býva spojená s motor –generátorom pevnou spojkou a s akumulárnym čerpadlom výsuvnou zubovou spojkou. Takto je riešená napr. PVE Čierny Váh.

c) **Dvojstrojové usporiadanie** je tvorené motor – generátorom a reverzibilnou turbínou. Reverzibilná turbína pri točení do jedného smeru pracuje ako turbína, pri točení do druhého smeru pracuje ako čerpadlo. Takto je riešený napr. PVE Ružín a s frekvenčným rozbehom PVE Liptovská Mara. [9]



Obr. 12 Kaplanova turbína typu Semi-Kaplan [10]

2.4 PVE na Slovensku

2.1.1 Čierny Váh

Čierny Váh je údolná vodná nádrž na Liptove, bola vybudovaná na strednom toku rovnomennej zdrojnice Váhu v 2. polovici 20. storočia. Je súčasťou systému priehrad Vážskej kaskády. Nádrž má objem 3,7 mil. m³ vody a prečerpávací vodná elektrárň je najväčšou elektrárnou tohto druhu na Slovensku. Elektrárň bola uvedená do prevádzky v roku 1981 a má nainštalovaný výkon 735 MW. Priemerná ročná produkcia elektrickej energie je 370,8 GWh.

Vodné dielo pozostáva z dvoch nádrží, horná nádrž bola vybudovaná na krasovej plošine Vyšné Sokoly v nadmorskej výške 1 160 m n. m., dolná nádrž je klasická údolná nádrž v nadmorskej výške 733 m n. m. Voda sa prečerpáva z dolnej nádrže do hornej a podzemnými prívodmi prechádza cez turbíny. Zo siedmych turbín je jedna typu Kaplan, ostatné typu Francis. Prietok - $6 \times 30 \text{ m}^3 \text{s}^{-1} + 1 \times 8 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$. [9]



Obr. 13 Letecký pohľad na PVE Čierny Váh [13]

2.1.2 Liptovská Mara

Liptovská Mara je vodné dielo na strednom Liptove na Slovensku, pri Liptovskom Mikuláši. Je súčasťou systému priehrad Vážskej kaskády.

Dielo bolo vybudované v rokoch 1969-1975. Pri výstavbe bolo zaplavených 13 obcí, z toho 12 úplne (Čemice, Demčín, Liptovská Mara, (Stará)Liptovská Sielnica, Nižné

Dechtáre, Paludza, Parížovce, Ráztoky, Sestrč, Sokolče, Vrbie, Vyšné Dechtáre), Liptovský Trnovec čiastočne. Spolu bolo presídlených 940 rodín, čo predstavovalo viac ako 4 tisíc obyvateľov.

Technické parametre:

Vodné dielo vybudovala spoločnosť Váhostav, n. p. v rokoch 1965 až 1975. Celkovým objemom 36 mil. m³ (320,5 mil. m³ úžitkového, 14,5 mil. m³ ochranného) je najväčšou vodnou nádržou na Slovensku. Pri vzdutí na kótu 566 m n. m. zaplavuje územie s plochou takmer 27 km². Vodné dielo pozostáva zo 43,5 m vysokej (konštrukčná výška 52 m) zemnej priehrady s hlinitým tesnením a vodnej elektrárne so 4 turbínami (2 Kaplanove, 2 reverzibilné) s inštalovaným výkonom 198 MW.

Pri výstavbe sa premiestnilo 11 mil. m³ zeminy, okolo 300 tis. m³ kameňa a viac ako 400 tis. m³ betónu a železobetónu. Teleso zemnej priehrady je v korune dlhé 1350 m. Vodná elektráreň stojí pri vzdušnej päte priehrady (voda je privádzaná oceľovým potrubím s priemerom 670 cm) ako 45 m vysoký objekt (pôdorys 43*130 m).

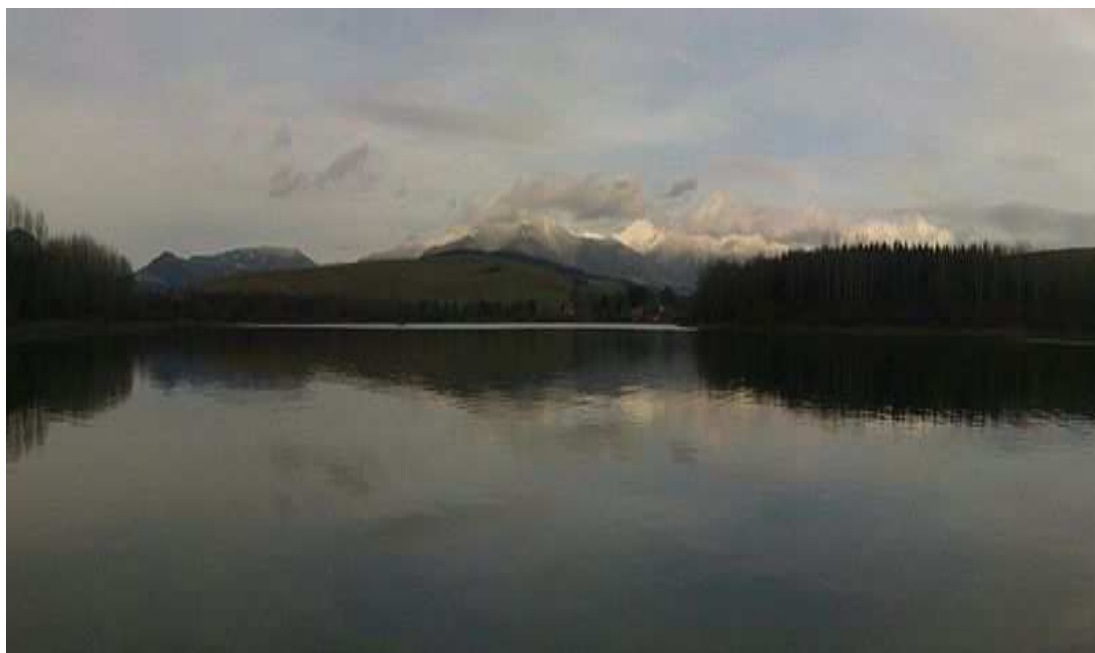
Využitie:

Hlavným účelom priehrady je protipovodňová ochrana, ale slúži aj na výrobu elektrickej energie, keďže pod hrádzou sa nachádzajú 4 turbíny s výkonom

198 MW. Rekreačná funkcia je v súčasnosti relatívne poddimenzovaná (rekreačné stredisko pri Liptovskom Trnenci v spojení s neďalekým Aquaparkom Tatralandia). Zo strediska v Liptovskom Trnenci je možné sa vydať na vyhliadkovú plavbu po Mare.

Polostrov Ratkovie s príslušnými vodami je chráneným územím.

Nad priehradným múrom Liptovskej Mary, 2 km južne od obce Bobrovník, na východnom úpätí vrchu Úložisko (741,7 m n. m.) sa nachádza archeologická lokalita Havránok - keltské opevnenie osady Kotínov s druidskou svätyňou z 1. storočia pred Kr. Je tu vybudované aj múzeum v prírode. [3]



Obr. 14 Liptovská Mara [3]

2.1.3 Dobšiná

Jednouúčelová - energetická sústava s prečerpávacou vodnou elektrárnou využíva skoro 300 metrový výškový rozdiel medzi údolím rieky Hnilca - kde je vybudovaná horná akumulčná nádrž a údolím Vlčej doliny (prítoku Dobšinského potoka v povodí rieky Slaná). Tu sa nachádza dolná nádrž s podpriehradovou špičkovou elektrárnou, s vysokotlakovou časťou umožňujúcou aj spätné prečerpávanie spracovaných prietokov a nízkotlakovou časťou, ktorej vyrovnávacia nádrž je vybudovaná na Dobšinskom potoku. Sústava je vybudovaná v oblasti s priaznivým ročným úhrnom zrážok (1043 mm), pričom na Hnilci je pri ploche povodia 84,5 km² priemerný prietok 1,58 m³.s⁻¹, vo Vlčej doline je plocha povodia 3,0 km² priemerný prietok 0,3 m³.s⁻¹ a na Dobšinskom potoku je plocha povodia 57,3 km² a priemerný prietok 1,0 m³.s⁻¹.

Hlavnými objektmi sústavy sú priehrada a akumulčná nádrž Palcmanská Maša na Hnilci, odberný objekt a tlakový privádzač, dolná nádrž vytvorená priehradou vo Vlčej doline, vysokotlaková a nízkotlaková špičková vodná elektráreň a vyrovnávacia nádrž na Dobšinskom potoku, ktorej priehrada má svetové prvenstvo v použití tesnenia z fólie PVC. Prevažná časť objektov sústavy bola vybudovaná v r. 1948 - 1956, s výnimkou priehrady vyrovnávacej nádrže Dobšiná, ktorá bola vybudovaná v r. 1957 - 1960.

Priehrada a nádrž Palcmanská Maša

Priehrada Palcmanská Maša je betónová, gravitačná, max. výšky 31 m, s dĺžkou v korunke 209 m. Hradený korunový priepad šírky 15 m, umiestnený v strednej časti priehrady, je hradený klapkou výšky 2,0 m a má kapacitu 85 m³.s-1. Nádrž má pri kóte max. hornej hladiny 786,5 m n.m. plochu 0,85 km², dĺžku vzdutia 3,9 km a celkový objem 11,05 mil.m³. Dve dnové výpuste DN 1200 mm majú kapacitu ďalších 33 m³.s-1.

Priehrada a dolná nádrž vo Vlčej doline

Priehrada vo Vlčej doline je tiež betónová gravitačná, výšky 25 m a dĺžky v korunke 137 m. Dolná nádrž má max. hladinu na kóte 512 m n.m. a jej objem je 0,17 mil. m³.

Tlakový privádzač a špičková elektrárň Vlčia dolina Privádzač sa skladá zo štôlne priemeru 2,2 m, dĺžky 1336 m, vyrovnávacej komory a ocelové tlakové potrubie priemeru 1,8 a 1,6 m, dĺžky 318 + 401 = 719 m, ktoré prekonáva výšku 244 m. Kapacita privádzača je 9 m³.s-1. Povrch potrubia je izolovaný a je umiestnené v záreze. Vodná elektrárň je umiestnená pod betónovou gravitačnou priehradou vo Vlčej doline. V strojovni sú dva vysokotlaké agregáty s Francisovými turbínami, ktorých výtok je smerovaný do dolnej nádrže a jeden nízkotlaký agregát, ktorý spracováva prietoky vypúšťané do Vlčej doliny. Francisove turbíny pracujú s hĺtnosťou 2 x 4,5 m³.s-1, pri spáde 243 až 277 m a inštalovaný výkon generátora je 21,6 MW. Na jednej osi s Francisovou turbínou je motor-generátor a dvojstupňové čerpadlo, ktorým sa voda z dolnej nádrže Vlčia dolina môže vyčerpať späť do hornej nádrže Palcmanská Maša. Kaplanova turbína nízkotlakového agregátu má hĺtnosť 6 m³.s-1 a pracuje pri spáde 13,5 až 23,5 m, generátor má inštalovaný výkon 1,15 MW. Priemerná ročná výroba celej VE je 50 GWh, z toho 23 GWh z prečerpávaných prietokov.

Vyrovnávacia nádrž na Dobšinskom potoku Výstavba vodného diela sa uskutočnila za účelom denného vyrovnania prietokov Dobšinského potoka vyvolaných špičkováním vodnej elektrárne vo Vlčej doline (prevádzkou nízkotlakovej turbíny). Vyrovnávaciu nádrž s celkovým objemom 0,23 mil. m³ vytvára nízka zemná sypaná priehrada, situovaná 900 m vyššie ústia potoka do rieky Slaná. Dĺžka vzdutia nádrže je 0,6 km pri zatopenej ploche 0,087 km². Maximálna výška vzdutia (s hladinou na kóte 434,0 m n.m. je 7,55 m, z toho 3,35 m pripadá na zásobný priestor. Zemné teleso priehrady má v strede údolia zabudovaný priehradný funkčný výpustný blok, ktorý rozdeľuje priehradu na pravú a ľavú časť. Výška priehrady nad dnom toku je 7,5 m, resp 9,5 m nad základovou škárou.

Priečny profil tejto heterogénnej zemnej priehrady je riešený alternatívne, naľavo a napravo od výpustného - gravitačného bloku. Priehrada má jednotný sklon návodného 1:2,5 a 1:2 vzdušného svahu. Nasypaná je zo zahlinených štrkopieskov a založená na kvartérnych náplavách (náplavové hliny a zahlinené štrkopiesky). Kvartérne podložie priehrady je utesnené predloženým tesniacim kobercom, resp. štetovnicovou stenou. Tesnenie na oboch stranách je navrhnuté ako plášťové. Tesniaci plášť na ľavej strane priehrady je vybudovaný zo stabilizovanej zeminy s premenlivou hrúbkou 0,5 pri korunke a 0,75 pri päte svahu. Stabilizovanú zeminu tvorí umelý tesniaci materiál pozostávajúci zo 78 % štrkopiesku a 22 % masy z odpadu azbestového lomu v Dobšinej. Do takto zloženej zmesi sa pridávalo 10% cementu. Tento tesniaci materiál sa zhutňoval na objemovú tiaž 21 kN.m-3 a z neho sa vybuďoval aj tesniaci koberec.

Tesniaci plášť je na pravej strane trojvrstvový a skladá sa z dvoch vrstiev (dolnej a hornej), vlnovitých prefabrikátov 1,0 x 3,0 m. Medzi dolný a horný prefabrikát je

uložená (na pieskovanú lepenku) tesniaca fólia PVC. Fólia značky Isofol BB má hrúbku 0,9 mm a na mieste sa spojila do súvislej plochy zvaraním pri napojení tesnenia na betónový objekt sa okraje fólie zabetónovali do betónového prahu. Styková škára je navyše utesnená asfaltovým tmelom. Toto tesnenie je čs. patent podaný výskumným ústavom inžinierskych stavieb (Ing. L. Hobst) Bratislava a predstavuje prvé použitie tesniacej fólie nielen na Slovensku, ale aj v celosvetovej priehradárskej praxi ako tesniaceho prvku sypaných priehrad.

Výpustný - gravitačný blok má priepad 4,7 x 2,5 hradený klapkou s kapacitou 41,0 m³.s-1. Spodný výpust tvoria 2 potrubia o priemere 1000 mm s kapacitou 8,0 m³.s-1. Spoločný vývar má dĺžku 19,0 m. [3]



Obr. 15 PVE Dobšiná [15]

2.1.4 PVE Ružín

Vodné dielo Ružín je sústavou vodných diel (VD) Ružín I. a Ružín II., vybudovaných na rieke Hornád, nad mestom Košice. Hlavným účelom sústavy vodných diel je zabezpečiť vodu pre priemysel v oblasti Košíc, nadlepšovanie prietokov, s cieľom zlepšiť čistotu vody v toku, výroba elektrickej energie a čiastočná protipovodňová ochrana územia pod priehradou. Nádrž je využívaná aj na rekreačné účely. Sústavu tvoria dva stupne: stupeň Ružín I v rkm 78,35, ktorý vytvára akumuláciu nádrž a stupeň Ružín II v rkm 68,24 vytvárajúci vyrovnávaciu nádrž, ktorá umožňuje aj spätné prečerpanie spracovaných prietokov. Vzhľadom na energetické využívanie oboch nádrží v podpriehradovou špičkovou a prečerpávacou vodnou elektrárnou Ružín I, sa vlastné nadlepšovanie do toku realizuje priebežnou prevádzkou vodnej elektrárne Ružín II. Sústava vodných diel Ružín I a II bola vybudovaná v r. 1963 - 1970, pričom jej energetická časť bola uvedená do plnej prevádzky až v roku 1973.

VD Ružín I pozostáva z týchto hlavných objektov: akumulácie nádrže, kamenitej priehrady so združeným funkčným objektom a podpriehradovou VE s privádzačmi. Priehrada VD Ružín I je najvyššou priehradou na Slovensku. Nádrž s maximálnou hladinou 327,0 m n.m. má vzdutie dlhé cca 15,0 km, zasahujúce aj do pravostranného prítoku Hornádu - Hnilca, pri maximálnej hĺbke v priehradnom profile 54,0 m. Z uvedenej výšky pripadá 28,6 m na zásobný a 1,0 m na retenčný ovládaný priestor. Nádrž má nízky regulačný účinok, lebo jej zásobný objem predstavuje len 8,9 % objemu odtoku v priemernom roku. Preto výrazne prevláda ročný cyklus regulovania.

Priehrada akumulácie nádrže je rockfillová, výšky 64,0 m nad základom, s korunou dĺžky 330 m a so zalomeným hlineným tesnením. Je vybudovaná v morfológicky výhodnom, nesymetrickom profile tvaru "V" (L/H = 5,5). Z toho dôvodu

bola v štádiu projektovania študovaná tiež klenbová priehrada. Jej realizáciu však ovplyvnili geologické pomery. Aj keď skalný podklad tvoria granodiority, tieto sú začne porušené, s polohami mylonitov. Skalný povrch je zvetraný do veľkých hĺbok. Pokryvné útvary v údolnej nive tvoria aluviálne náplavy Hornádu, s polohami hĺn a hlinitých pieskov. Na svahoch bolo treba odstraňovať hlinito-kamenité až kamenité sute mocnosti 3 až 7,0 m. Priehrada má pomerne štíhly profil, so sklonmi 1:1,4 až 1,5 - tak návodného, ako aj vzdušného svahu. Na návodnom svahu je do profilu zasunutá horná ohrádzka. Na vzdušnej strane dolnej časti je vybudovaná priťažovacia lavica v sklone 1:1,5. Tesnenie priehrady je vybudované z miestnych - náplavových hĺn ako tenké tesnenie, namáhané hydraulickým gradientom $i = 4$ až 5.

V hornej časti (v 2/3 výšky) je tesnenie stredové a v dolnej časti prechádza do sklonu 1:1,5. Tesnenie chráni dvojstupňový filter. Za ním je uložený jemnozrnnejší rockfill. Kameň do návodnej i vzdušnej časti sa ukladal vo vrstvách 1 až 2 m. Tesnenie je do podložia zaviazané injekčnou štôľňou. Z nej je realizovaná jednoradová injekčná clona. Kolmo na pozdĺžnu os priehrady je umiestnená odpadná štôľňa od združeného funkčného bloku. V ňom je situovaný hradený šachtový priepad v hornej časti a v dolnej vtoky do spodného výpustu a do privádzača k VE. Odpadová štôľňa združeného bloku bola vyhlíbená v hlbokom záreze do ľavého svahu údolia. Zárez bol využívaný aj počas výstavby pre obvedenie prietokov, zatiaľ čo stavenisko bolo chránené ohrádzkami. Hradený šachtový priepad má 3 polia hradené segmentmi: 12 x 4,36 m. Celková kapacita priepadu 700 m³.s-1 je väčšia ako 100-ročný prietok. Na vtokový objekt nadväzuje 130 m dlhý odvádzáč - odpadový tunel. Tvoria ho dve rúry umiestnené nad sebou, resp. vedľa seba. Odvádzáč zaúst'uje cez rozrážáč do vývaru s parabolickou plochou. Vodná elektráreň - Ružín I je situovaná ako podpriehradová, pri úpäť ľavého svahu, vo vzdialenosti cca 100 m od jeho vzdušnej päty. V nej sú inštalované dve reverzibilné Francisove turbíny, ktoré majú spoločný ocelový - tlakový privádzač o priemere 6300 mm. Turbíny s hltnosťou 2 x 67,5 m³.s-1 pracujú v rozmedzí spádov 30 až 52,7 m. Pri čerpadlovej prevádzke je hltnosť agregátov 2 x 43,6 m³.s-1. Inštalovaný výkon VE je 60 MW a ročná výroba energie 136,0 GWh.

Vodné dielo Ružín II má betónovú gravitačnú priehradu výšky 27 m, s dĺžkou koruny 140 m, ktorá (pri maximálnej hladine 279,0 m n.m.) vytvára vyrovnávaciu nádrž s celkovým objemom 3,7 mil. m³ a pracovným objemom 2,5 mil.m³. Tri dnové výpuste 5x2,6 m, hradené segmentmi, umožňujú prepúšťanie normálnych prietokov aj pri minimálnej hladine v nádrži. Spolu s troma nehradenými priepadmi majú celkovú kapacitu 752 m³.s-1. Pribežne pracujúca vodná elektráreň má jednu priamoprietočnú horizontálnu turbínu s obtekaným generátorom, s kapacitou 16 m³.s-1, pracujúcou v spádovom rozmedzí 7,5 až 13,6 m. Inštalovaný výkon tejto VE je 1,9 MW a jej priemerná ročná výroba je 8,6 GWh. [3]



Obr. 16 PVE Ružín [16]

3 Fotovoltické elektrárne

História

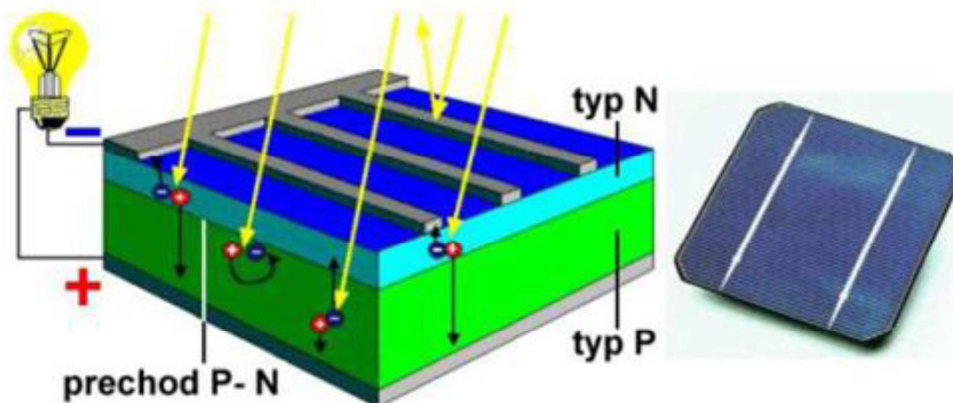
Fotoelektrický jav prvý krát zaznamenal francúzsky fyzik Edmund Becquerel v roku 1839, ktorý zistil, že niektoré materiály produkujú malé množstvo elektrického prúdu ak sú vystavené svetlu. V roku 1905 Albert Einstein popisoval charakter svetla a fotoelektrický efekt, na ktorom je fotovoltická technológia založená, za čo neskôr získal Nobelovu cenu za fyziku. Prvý fotovoltický modul bol postavený spoločnosťou Bell Laboratories v roku 1954. Bol označovaný ako solárna batéria a šlo viac menej len o zaujímavosť, keďže výroba bola príliš drahá pre bežné použitie.

V roku 1960 začal kozmický priemysel prvý krát používať technológie na výrobu energie na palube kozmickej lode. Prostredníctvom vesmírnych programov technológia napredovala, získavala na spoľahlivosti a náklady začali klesať. Počas energetickej krízy v roku 1970, získala fotovoltická technológia uznanie ako zdroj energie pre nevesmírne aplikácie.

Skutočný rozvoj technológii premieňajúcich solárne žiarenie na elektrinu súvisel s rozvojom kozmonautiky. Fotovoltické články zaisťujú napájanie v satelitných a špionážnych družiciach, Hubelovho teleskopu, či napríklad vozidiel, ktoré boli odoslané na Mars za cieľom výskumu. S malými fotovoltickými článkami sa môžeme bežne stretávať v kalkulačkách, svietidlách, hračkách a taktiež už v nabíjačkách na mobilné telefóny alebo v nabíjačkách bateriek. Z hľadiska vývojových trendov sa význam fotovoltiky ako energetickeho zdroja stále zvyšuje. Inštalovaný výkon fotovoltických systémov vo svete už presiahol úroveň 20 GWp, kde v Európe presiahol inštalovaný výkon 15 GWp.

Princíp

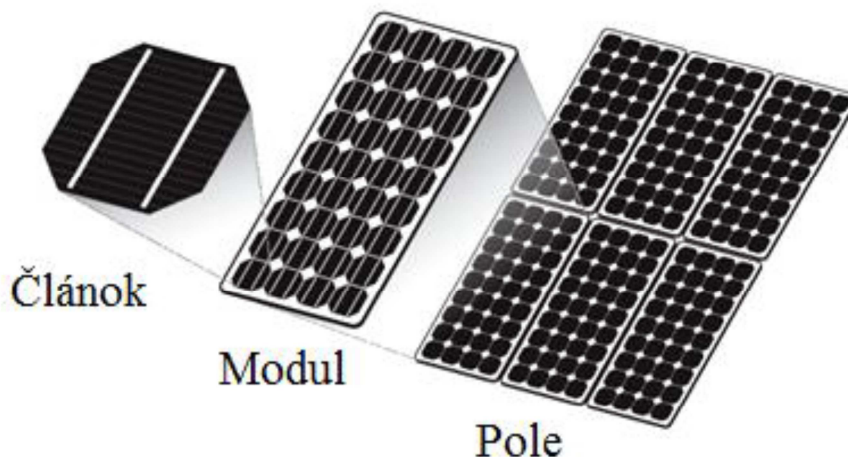
Fotovoltický článok je v podstate polovodičová dióda. Jeho základom je tenká kremíková dosička s vodivosťou typu P. Na nej sa pri výrobe vytvorí tenká kremíková dosička s vodivosťou typu N, obe vrstvy sú oddelené tzv. prechodom PN. Osvetlením článku vznikne polovodiči vnútorný fotoelektrický jav a v polovodičoch sa z kryštálovej mriežky začnú uvoľňovať záporné elektróny. Na prechode PN sa vytvorí elektrické napätie, ktoré dosahuje u kremíkových článkov veľkosť približne 0,5V. Energia dopadajúceho svetla sa v článku mení na elektrickú energiu. Ak pripojíme k článku pomocou vodičov spotrebič, začnú sa kladné a záporné náboje vyrovnávať a obvodom začne prechádzať elektrický prúd. Ak je potrebné väčšie napätie alebo prúd, zapájajú sa jednotlivé články do série, či paralelne a zostavujú sa z nich fotovoltické panely.



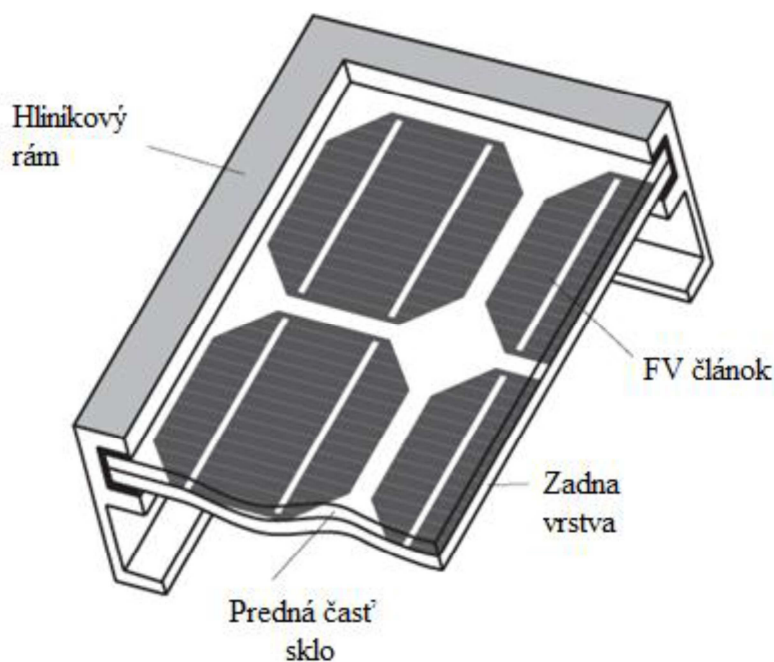
Obr. 12 Princíp Fotovoltického článku

Fotovoltický panel (Modul)

Fotovoltické panely sú základom celej FVE. Sú tvorené radami navzájom elektricky prepojených fotovoltických článkov, uzavretých niekoľkými ochrannými vrstvami. Z hornej strany sú články chránené špeciálnym sklom a všetko je vložené do hliníkového rámu.



Obr. 13 Rozdiel medzi článkom, modulom a poľom vo fotonvltike



Obr. 14 Rez rámu v ktorom je uložený FV panel

Fotovoltické striedače (Meniče, Invertory)

Fotovoltický striedač, menič alebo invertor slúži na premenu jednosmerného prúdu generovaného FV generátorom za pomoci slnečného žiarenia na striedavý prúd (napätie). Má za úlohu preniesť celý výkon generovaný FV generátorom a zabezpečiť požadovanú kvalitu výstupnej elektrickej energie. Parametre, ktoré má mať prúd po premene určuje typ aplikácie na ktorú tento prúd chceme použiť. Ak sa snažíme vyrobenú elektrinu spotrebovať, alebo priamo poslať do verejnej distribučnej siete je menič „dirigent“, ktorý produkuje striedavý elektrický prúd zodpovedajúci kvalite, ktorá je predpísaná. V istých

prípadoch sa mení aj na poslušného podriadeného, ktorý reaguje na zmeny v sieti. Sú to najmä prípady kedy potrebujeme odpojiť dodávku od siete.

Veľkosť systému napovie aký menič bude potrebný. Pri malých systémoch do 5kWp nám bude stačiť 1-fázový menič s výstupom 230V AC. Väčšie systémy môžu mať dvoj a trojfázové meniče, ktoré nám poskytnú 400V AC. Meniče sa delia čo sa týka typu pripojenia na grid-on (pripojené ku sieti) a grid-off (samostatné resp. ostrovné meniče). Ďalšie delenie spočíva v samotnej technológii meničov, kde môžu byť meniče s transformátorom, bez transformátora, alebo môžu mať rôzne koncepcie prevádzky napr. MIX KONCEPT pri meničoch od výrobcu Fronius. Dôležitou vlastnosťou podobne ako pri paneloch je účinnosť premeny vstupného jednosmerného prúdu na striedavý. Tá sa odvíja od schopnosti sledovať zmeny na vstupe, kde nám fotovoltické panely dynamicky „dodávajú“ elektrický prúd. Túto dynamiku menič sleduje a snaží sa zoptimalizovať pracovný bod tzv. MPP (Maximum power point). Pokiaľ sa mu to darí je výsledkom efektívne zužitkovaná elektrina zo solárnych panelov, ktorú môžeme využiť v štandardnej elektrickej sieti (230 VAC, 400 VAC).

Dodávka meniča by nemala končiť iba jeho inštaláciou. Je veľmi dôležité ako rýchlo vám vie dodávateľ poskytnúť servis. Najmä v letných mesiacoch by výpadok na dlhšie obdobie ako týždeň mohol znamenať ukrátenie majiteľa elektrárne o pomerne značnú časť výnosov. Rýchly servis je otázkou mierneho zvýšenia investície do monitoringu systému. Vďaka nemu môžeme okrem sledovania výnosov cez internet dostať aj informáciu o výpadku, ktorý si vyžaduje servisný zásah a takto skrátiť obdobie nefunkčnosti

Inventory bez transformátorov tzv. TL (z anglického transformer less):

Ich výhodou sú menšie straty v systéme, ale použitie je možné až vtedy, ak sa moduly neuzemňujú;

Inventory s transformátorom:

Tieto inventory s transformátorom je možné použiť pre všetky typy modulov;

Inventory delené podľa počtu fáz:

Môžu byť jednofázové, dvojfázové alebo trojfázové – záleží od veľkosti výkonu FV systému;

Inventory delené podľa spôsobu inštalácie:

- centrálna - pre väčšie výkony,
- decentralná - pre menšie výkony, ale nie je problém použiť aj pre väčšie výkony;

Inventory delené podľa počtu sledovačov MPP:

Viac sledovačov MPP umožňuje lepšie reagovať na nehomogenitu solárneho poľa a zároveň spružňuje návrh riešenia.

Inventory delené podľa výkonu:

Od 1kW – 1600 kW

Inventory delené podľa maximálneho DC napätia:

Môžu byť 400 V alebo 1000 V DC. Ak by sa prekročilo maximálne DC napätie, tak padá záruka na inverter.

Inventory delené podľa transformácie prúdu (napätia):

□ AC/DC - známe pod názvami sieťové zdroje, usmerňovače, rektifikátory, ktoré zo vstupného striedavého napätia dodávajú na výstupe napätie jednosmerné;

□ DC/AC - známe pod názvami striedače, inventory, ktoré zo vstupného jednosmerného napätia dodávajú na výstupe striedavé napätie;

□ DC/DC – známe ako jednosmerné meniče, ktoré z jednosmerného napätia na vstupe dodávajú na výstupe opäť jednosmerné napätie, ale o inej menovitej veľkosti;

Súčasnosť vo svete a na Slovensku

Na Slovensku sú v súčasnosti pripojené slnečné elektrárne s celkovým inštalovaným výkonom viac ako 480 megawattov (MW). Viac ako 50 % týchto slnečných elektrární je umiestnených na území, kde pôsobí Stredoslovenská energetika, a.s. (SSE). Podľa ministra hospodárstva Juraja Miškova už bol najvyšší čas na ukončenie solárneho boomu na Slovensku. “Pre dosiahnutie 24-percentného cieľa vo výrobe elektriny z obnoviteľných zdrojov sa počítalo s celkovým inštalovaným výkonom zo solárnej energie 300 megawattov v roku 2020. Bez zásahu ministerstva hospodárstva by pokračoval enormný nárast výkonov vo fotovoltike až na 700 megawattov.

Napriek tomu, že sú podmienky slnečného svitu na území Slovenskej republiky lepšie než v Česku, alebo Nemecku, je zatiaľ Slovensko vo výstavbe fotovoltických elektrární relatívne pozadu. Je to dané tým, že legislatíva na podporu obnoviteľných zdrojov energie bola na Slovensku prijatá nedávno. Od 1. 9. 2009 vstúpil do platnosti zákon č. 309/2009 Zb. z o podpore obnoviteľných zdrojov energie (OZE), ktorý stanovuje povinnosť distribútora pripojiť zdroj do siete a garantuje výkupnú cenu vyprodukovanej elektriny po dobu 15-tich rokov od uvedenia elektrárne do prevádzky. Cena je určovaná Úradom pre reguláciu sieťových odvetví (URSO) a pre rok 2012 je platná Vyhláška URSO č. 225/2011 Z. z., ktorou sa ustanovuje cenová regulácia v elektroenergetike.

Tab. 2 Zoznam pripojených fotovoltických zdrojov na vymedzenom území spoločnosti Východoslovenská distribučná, a.s. ku dňu 30.06.2011

	Počet	MW
Zdroje pripojené priamo do distribučnej sústavy	301	127,954
Zdroje pracujúce v ostrovej prevádzke	1	0,009
Zdroje pripojené do miestnej distribučnej sústavy	7	5,941
Spolu	308	133,904



Obr. 15 Mapa FV elektrární nad 100 kW na Slovensku

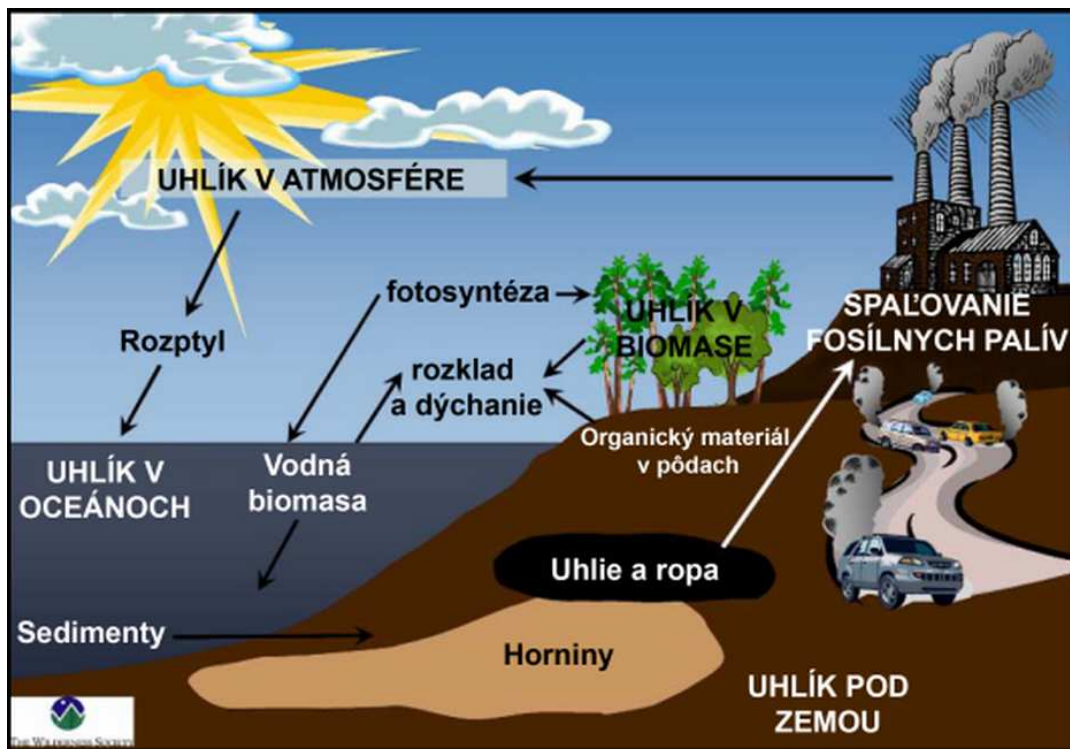
4 Biomasa

Biomasa je biologicky rozložiteľná zložka hmoty alebo zvyšok rastlinných a živočíšnych látok z poľnohospodárstva, lesníctva alebo biologicky rozložiteľná zložka priemyselného a komunálneho odpadu

Biomasa v podobe rastlín je chemicky zakonzervovaná slnečná energia. Rastliny na svoj rast využívajú oxid uhličitý z atmosféry a vodu zo zeme, ktoré vďaka fotosyntéze pretvárajú na uhľovodíky – stavebné články biomasy. Slnečná energia, ktorá je hybnou silou fotosyntézy je v skutočnosti uskladnená v chemických väzbách tohto organického materiálu. Pri spaľovaní biomasy opätovne získavame energiu uskladnenú v chemických väzbách. Kyslík zo vzduchu sa spája s uhlíkom v rastline, pričom vzniká oxid uhličitý a voda. Tento proces je cyklicky uzatvorený, pretože vznikajúci oxid uhličitý je vstupnou látkou pre novú biomasu.

Poľnohospodársku biomasu podľa v súčasnosti dostupných zdrojov možno rozdeliť do troch základných skupín:

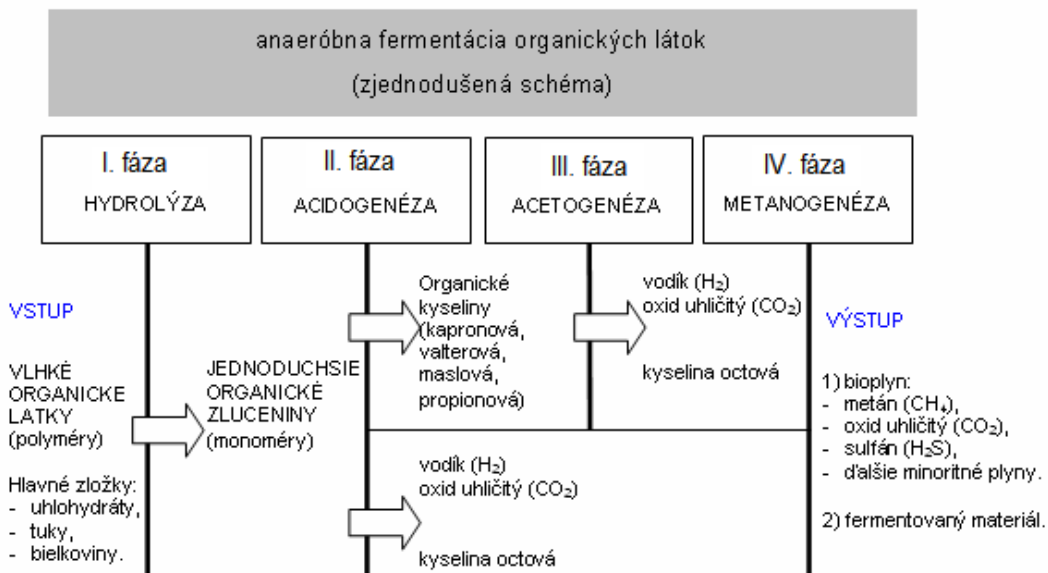
- biomasa vhodná na výrobu tepla spaľovaním:
 - slama – obilná, repková, kukuričná, slnečnicová
 - drevený odpad z: vinohradov, sádov, nálet z trvalých trávnych porastov
- biomasa vhodná na výrobu bioplynu
 - z exkrementov hospodárskych zvierat
 - zo zelenej hmoty a siláže
 - odpad z potravinárskych prevádzok
- biomasa vhodná na výrobu tekutých biopalív
 - na výrobu MERO (metylester repkového oleja)
 - na výrobu bioetanolu (kukurica, obilie, cukrová repa)



Obr. 16 Kolobeh uhlíka v prírode

Čo je bioplyn a ako sa získava

- Vzniká biologickým rozkladom organických látok vo viacstupňovom procese rozkladu (4 fázy)
- Zloženie bioplynu: metán CH_4 (60%) a oxid uhličitý CO_2 (37%)



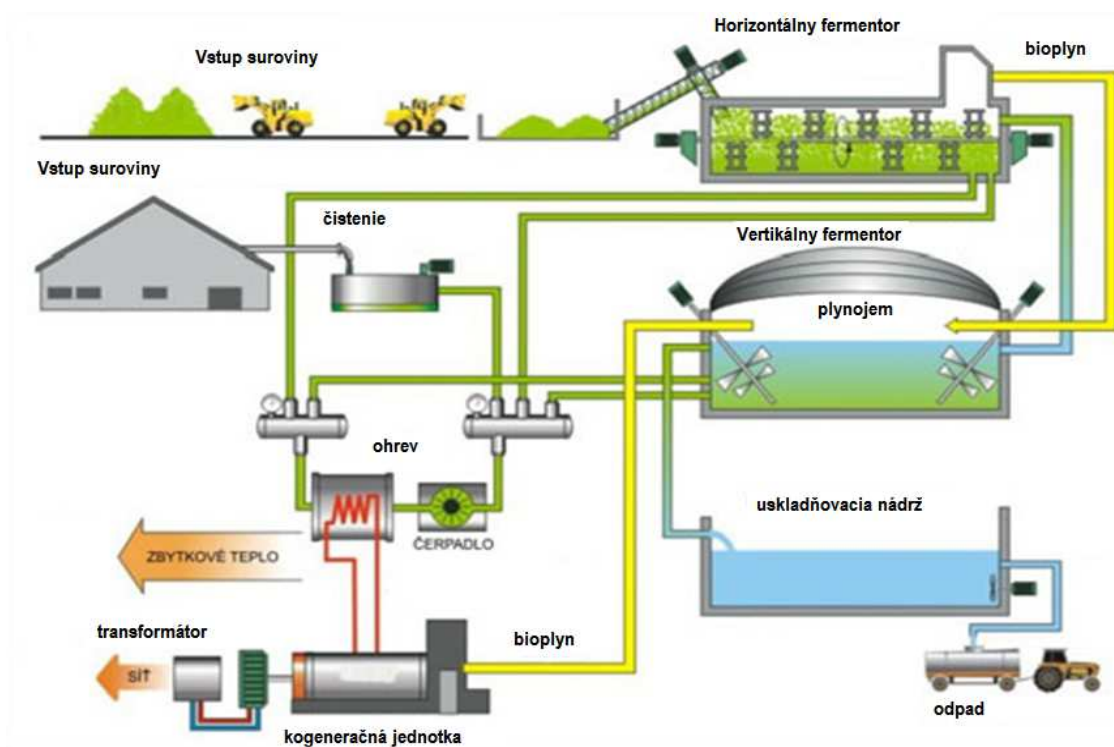
Obr. 17 Získavanie bioplynu

Získaný bioplyn je potrebné vyčistiť na čistotu zemného plynu a zbaviť ho nežiaducich prvkov:

- tuhé častice
- voda- spôsobuje koróziu
- amoniak- nežiaduci pre uskladnenie v nádržiach
- síra- spôsobuje koróziu, pri spaľovaní vzniká SO_x , znižuje životnosť zariadení

Tab. 3 Porovnanie vlastností bioplynu voči iným plynom

Vlastnosť	jednotka	Bioplyn	Zemný plyn	Propán	Metán	Vodík
Výhrevnosť	MJ.m^{-3}	21,1	34,25	88,54	33,8	10,74
Zapaľovacia teplota	$^{\circ}\text{C}$	650-700	650-700	500	595	530
Hustota v pomere k hustote vzduchu	kg.m^{-3}	1,2	0,7	2,01	0,75	0,09
Rozsah zápalnej koncentrácie plynu vo vzduchu	%	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80



Obr. 18 Čistenie bioplynu

5 Veterné elektrárne

Vietor je forma energie, ktorá sa vytvára pri nerovnomernom ohrievaní povrchu Zeme slnečným žiarením, pri ktorom vzniká vertikálne prúdenie vzduchu. Z energie, ktorú Slnko vyžaruje k Zemi sa premieňa na veternú energiu približne 1 až 2 %, čo je takmer 100-krát viac ako energia, ktorú spotrebujú všetky rastliny na Zemi

Rýchlosť vetra vyjadrujeme v metroch za sekundu (m/s) alebo v kilometroch za hodinu (km/h). Podľa prejavov vetra v prírode je zostavená 12 – stupňová Beaufortova stupnica.

Beaufortova stupnica sily vetra určuje rýchlosť vetra platnú pre štandardnú výšku 10 metrov nad zemou vo voľnom teréne. Berie sa pritom do úvahy 10 minútový rýchlostný priemer. Rýchlosť vetra v prízemných vrstvách atmosféry sa znižuje s klesajúcou výškou v dôsledku trenia o zemský povrch až po určitú hladinu, kde dosahuje nulovú hodnotu. Výška tejto hladiny sa pokladá za parameter drsnosti terénu. Beaufortov stupeň sa používal kedysi aj ako jednotka rýchlosti vetra, najmä u námorníctva.

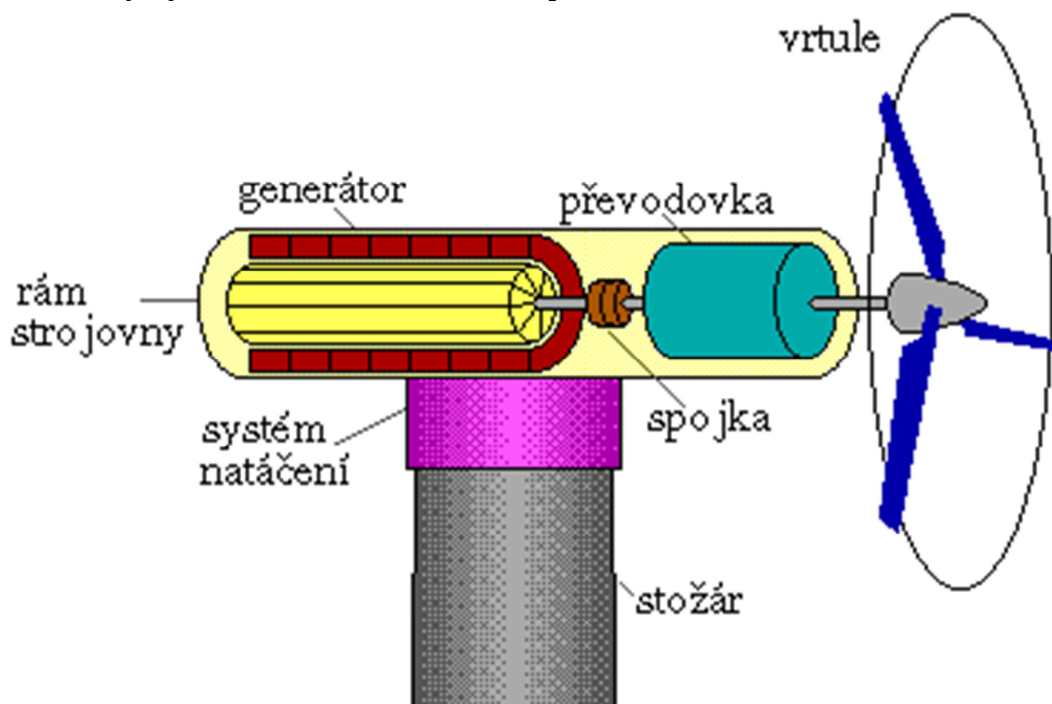
Tab. 4 Beaufortova stupnica rýchlosti vetra

Beaufortov Stupeň (ball)	Označenie vetra	Rýchlosť vetra	Účinky vetra
0	Bezvetrie	0,0 - 0,2 m/s 1km/h	Dym vystupuje priamo hore.
1	Vánok	0,3 - 1,5 m/s 1 - 5 km/h	Smer vetra možno rozoznať podľa pohybu dymu, vietor však neúčinkuje na veternú koruhvu.
2	Slabý vietor	1,6 - 3,3 m/s 6 - 11 km/h	Vietor cítiť na tvári. Listy stromov šelestia.
3	Mierny vietor	3,4 - 5,4m/s 12 - 19 km/h	Listy stromov a vetvičky sú v trvalom pohybe. Vietor napína zástavky.
4	Dost' čerstvý vietor	5,5 - 7,9 m/s 20 - 28 km/h	Vietor zdvíha prach a kúsky papierov. Pohybuje menšími vetvami.
5	Čerstvý vietor	8,0 - 10,7 m/s 29 - 38 km/h	Listnaté kry sa začínajú hýbať. Na stojatých vodách sa tvoria menšie vlnky so spenenými hrebeňmi.

6	Silný vietor	10,8 - 13,8 m/s 39 - 49 km/h	Vietor pohybuje hrubšími vetvami. Telegrafné drôty svišťa, používanie dáždnikov je obtiažne.
7	Prudký vietor	13,9 - 17,1 m/s 50 - 61 km/h	Vietor pohybuje celými stromami. Chôdza proti vetru je obtiažne.
8	Búrlivý vietor	17,2 - 20,7 m/s 62 - 74 km/h	Vietor odlamuje vetvy. Chôdza proti vetru je normálne nemožná.
9	Vichrica	20,8 - 24,4 m/s 75 - 88 km/h	Vietor spôsobuje menšie škody na stavbách. Strháva komíny a škridlice zo striech domov.
10	Silná vichrica	24,5 - 28,4 m/s 89 - 102 km/h	Vyvracia stromy a spôsobuje značné škody na domoch.
11	Mohutná vichrica	28,5 - 32,6 m/s 103 - 117 km/h	Spôsobuje rozsiahle škody a spustošenie krajiny.
12	Orkán	nad 32,6 m/s nad 117 km/h	Ničivé účinky. V našich šírkach sa vyskytuje pri mimoriadne hlbokých tlakových nížach, v južných šírkach, pri tropických tlakových nížach – t.j. v hurikánoch a tajfúnoch.

Začiatok rozvoja veternej energetiky vo svete nastal v 16. storočí a to hlavne stavbou veterných mlynov slúžiacich po mnohé stáročia na mletie obilia, čerpanie vody do zavlažovacích systémov a pod. Neskôr sa začala výroba malých veterných turbín, ktoré sa využívali ako zdroj energie hlavne pre domácnosti. Dôležitým krokom vo využívaní veternej energie bol začiatok budovania takzvaných veterných parkov.

Základnou myšlienkou veterných parkov je maximálne využiť ich danú polohu. Preto je na jednom mieste účelovo vybudovaných niekoľko turbín. V zásade môžeme veterné farmy rozdeliť do dvoch kategórií. Prvou je kategória On-Shore, teda farmy budované na pevnine. Druhou je kategória Off-Shore, teda farmy budované na morskej hladine, zvyčajne do vzdialenosti 40 km od pobrežia.

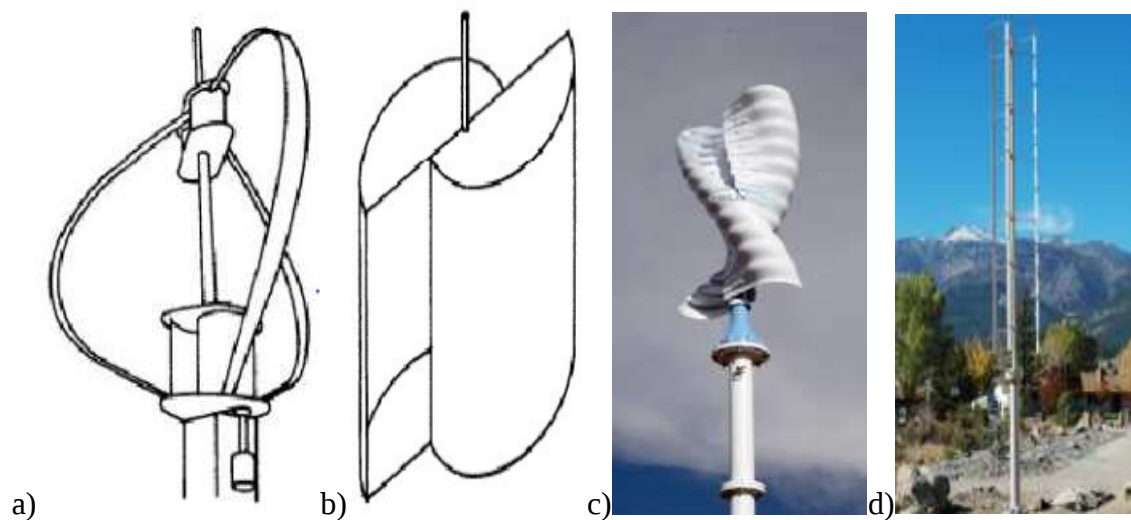


Obr. 20 Princíp činnosti veternej elektrárne

Veterné turbíny sa delia na:

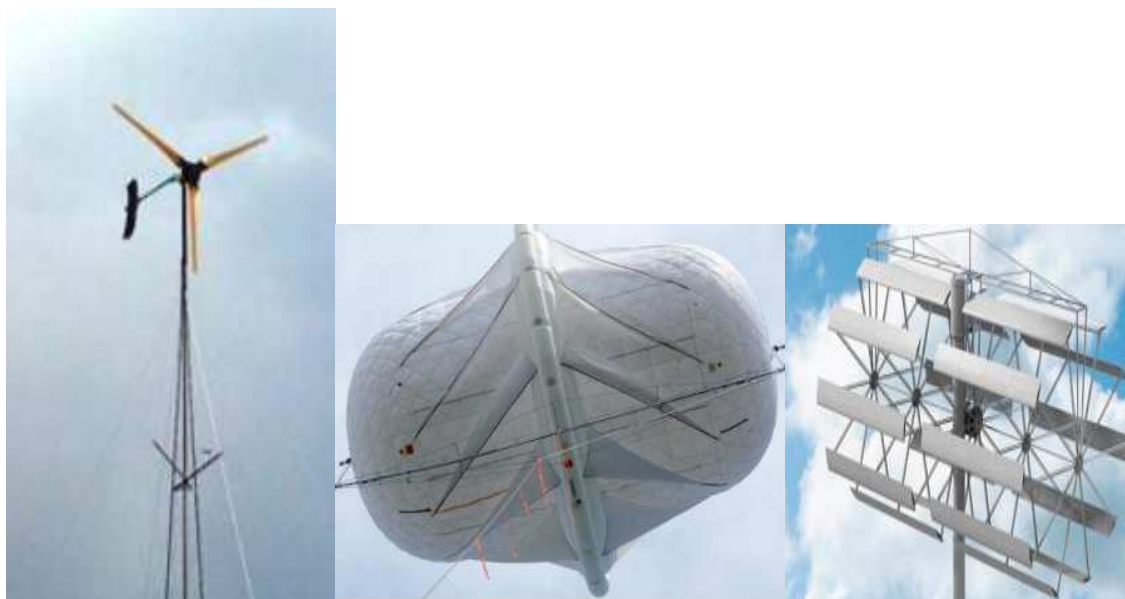
- Turbíny s horizontálnou osou
- Turbíny s vertikálnou osou

Turbíny s horizontálnou osou



Obr. 21 a) Darrieova b) savoniova c) helix d) windspire

Turbíny s vertikálnou osou



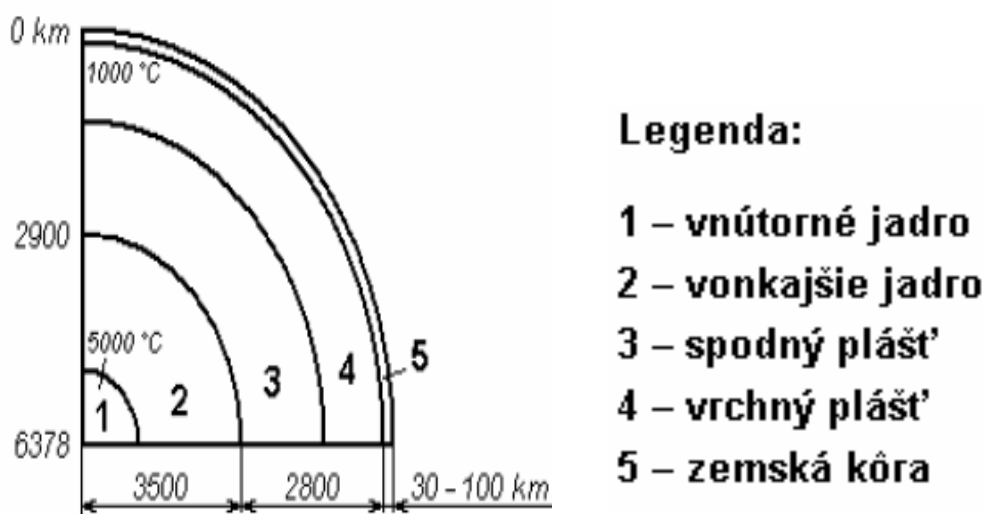
Obr. 22 Malá veterná elektrárň s ukotvením, Mars, Aerocam

6 Geotermálne elektrárne

Využitie geotermálnych zdrojov siaha ďaleko do minulosti. Existujú archeologické záznamy o tom, že americkí indiáni už pred viac ako 10 tisíc rokmi osídľovali územia v blízkosti geotermálnych zdrojov. Geotermálne zdroje, napr. horúce pramene, boli vyhľadávané aj starými Rimanmi, Turkami alebo Maormi na Novom Zélande

Geotermálna energia nie je v pravom slova zmysle obnoviteľným zdrojom energie, nakoľko má pôvod v horúcom jadre Zeme, z ktorého uniká teplo cez vulkanické pukliny v horninách. Vzhľadom na obrovské, takmer nevyčerpatelne zásoby tejto energie, však býva medzi tieto zdroje zaradované.

Podstatou geotermálnej energie je prirodzené teplo Zeme. Ide o teplo naakumulované z čias vzniku slnecnej sústavy, ako aj o teplo uvoľňujúce sa počas rádioaktívneho rozpadu materiálu vo vnútri planéty a pri pohybe litosférických platní, ktorý je sprevádzaný vulkanickou činnosťou a zemetraseniami.



Obr. 23 Vnútoraná stavba Zeme

Rozdelenie zdrojov geotermálnej energie:

- **energiu Zeme**, ktorá sa chápe ako tepelná energia v zóne pri jej povrchu bez anomálneho zvýšenia teploty pri geologických procesoch,
- **energiu magmy**, ktorá predstavuje koncentráciu tepla v zóne pri povrchu Zeme vzájomne nesúvisiacich regiónov, vzniknutú pri jednom alebo viacerých geologických procesoch,
- **geotlakovú energiu**, t.j. koncentráciu tepla v sedimentárnych panvách vzájomne nesúvisiacich regiónov, vzniknutú pri jednom alebo viacerých geologických procesoch,
- **energiu tepla suchých hornín**, ktorá je viazaná na väčšie hĺbky spojené so zvýšením teploty pri geologických procesoch,
- **hydrogeotermálnu energiu**, ktorú tvorí prírodná horúca voda a para.

Podľa nositeľov tepelnej energie rozdeľujeme geotermálne zdroje na tri druhy:

- geotermálne zdroje horúcej vody,
- geotermálne zdroje suchej pary,
- geotermálne zdroje suchých horúcich geologických štruktúr.

Podľa teploty kvapaliny rozdeľujeme systémy na:

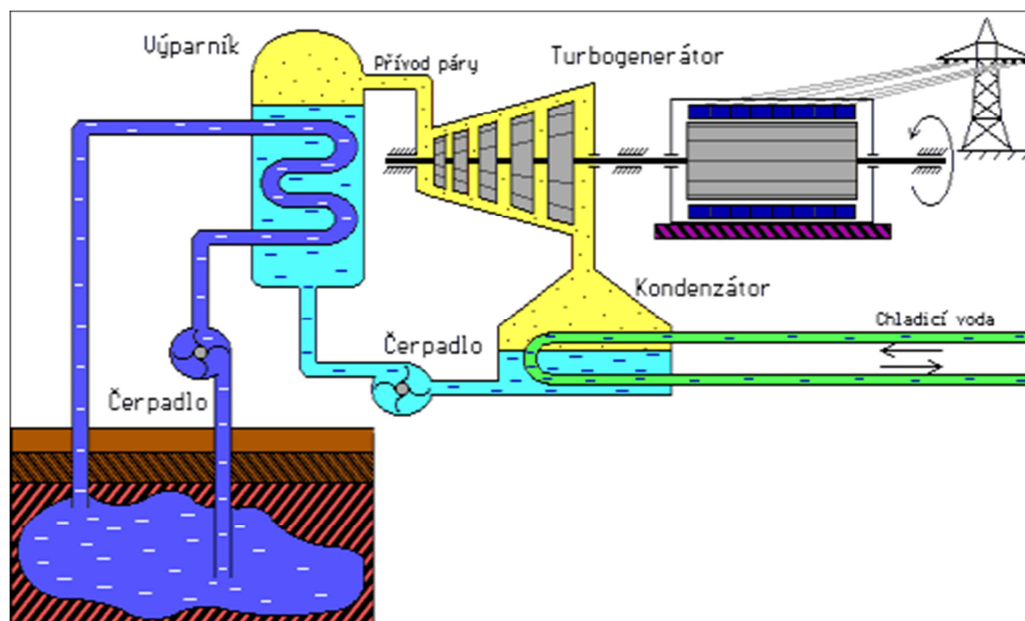
- nízкотеплотné (pod 90 °C),
- strednotеплотné (90 až 150 °C),
- vysokотеплотné (nad 150 °C).

Využívanie geotermálnej energie

Do šesťdesiatych rokov 20. storočia len dve krajiny na svete využívali geotermálnu energiu vo väčšej miere, a to Taliansko (na výrobu elektrickej energie) a Island (na vykurovanie budov). Prieskum a budovanie geotermálnych zdrojov sa uskutočňovalo skôr z hľadiska vedeckého bádania ako z ekonomických dôvodov. Veľká pozornosť sa sústredila predovšetkým na vysokотеплотné zdroje (horúca voda, para), vhodné aj na výrobu elektrickej energie.

Tab. 5 Potenciál svetových geotermálnych zdrojov

Rozsah teplôt [°C]	Bilančné zdroje [10^{21} J]	Tepelný potenciál [10^{21} J]	Elektroenergetický potenciál [10^{21} J]
100	36 000	2 600	0
100-150	3 800	270	0
150-250	1 100	68	17
250	73	3,5	0,9
Spolu	40 973	2941,5	17,9



Obr. 24 Schéma geotermálnej elektrárne s tepelným výmenníkom

V geotermálnych elektrárnach sa používajú nasledujúce typy turbín:

- parné, ktoré pracujú s parou zo separátora,

- parovákouvé, ktoré využívajú ako pracovné médium vodnú paru, pričom tlak je menší ako atmosférický a para sa vyrába vo výparníkoch z prehriatej vody,
- hydrodynamické, ktoré využívajú kinetickú energiu parovodnej zmesi vychádzajúcu zo zdroja,
- turbíny, ktoré pracujú s nízkovrúcimi látkami (freón, bután).
- V súčasnosti sú najväčšie skúsenosti s parnými turbínami. Maximálny jednotkový výkon turbín geotermálnych elektrární je 30 až 50 MW, pretože je závislý na maximálnom prietoku pracovného média (pary, vody) v určitej geotermálnej oblasti. Na Novom Zélande je to napr. 10 až 30 MW, v Taliansku 5 až 30 MW, na Islande 10 MW, v Japonsku 10 až 50 MW a v USA 15 až 55 MW.

Tab. 6 Využívanie geotermálnej energie na výrobu elektriny vo vybraných krajinách

	Krajina	Inštalovaný výkon [MW _e]	Výroba elektriny [GWh.r ⁻¹]	Využitie
1	USA	2 228	16 813	0,86
2	Filipíny	1 863	10 594	0,65
3	Mexiko	750	5 642	0,86
4	Taliansko	621	4 403	0,81
5	Indonézia	590	4 575	0,89
6	Japonsko	547	3 451	0,72
7	Nový Zéland	410	2 323	0,65
8	Island	170	1 138	0,76
9	Salvador	161	552	0,39
10	Kostarika	115	804	0,80
	Ostatné krajiny	249	1 591	0,73
	SVET	7 704	51 886	0,77

Tab. 7 Využívanie geotermálnej energie na výrobu tepla vybraných krajín

	Krajina	Inštalovaný výkon [MW _t]	Výroba tepla [GWh.r ⁻¹]	Využitie
1	USA	5 366	5 640	0,12
2	Čína	2 814	8 724	0,35
3	Island	1 469	5 603	0,44
4	Turecko	820	4 377	0,61
5	Taliansko	680	2 500	0,42
6	Švajčiarsko	547	663	0,14
7	Nemecko	397	436	0,13
8	Kanada	378	284	0,09
9	Švédsko	377	1 147	0,35

10	Maďarsko	328	1 400	0,49
	Ostatné krajiny	3 473	16 055	0,53
	SVET	16 649	46 829	0,32

Energia geotermálnych zdrojov je využívaná na priamu produkciu tepla rôznymi spôsobmi a na viaceré účely, ako ukazuje [20].

Tab. 8 Rozdelenie využitia geotermálnej energie na výrobu tepla vo svete

	% kapacity	% energie
Geotermálne tepelné čerpadlá	42,2	14,3
Vykurovanie objektov	30,6	36,8
Bazény	11,1	22,2
Skleníky	8,5	11,8
Aquakultúry	3,2	6,6
Priemysel	3,0	6,5
Roztápanie snehu / klimatizácia	0,7	0,6
Poľnohospodárske sušenie	0,4	0,6
Iné	0,3	0,6
Spolu	100	100

Pre vybudovanie geotermálnych energetických systémov sú vhodné orogénne zóny, ako je to napr. v Alpách a v Karpatoch. Perspektívnou oblasťou, kde sa očakáva väčší výskyt geotermálnych zdrojov, je aj orogénny pás postupujúci cez Slovensko, Maďarsko, Rumunsko, Bulharsko, Macedónsko, Juhosláviu, Chorvátsko až do Slovinska [22]. Tieto zdroje môžu byť v budúcnosti využívané najmä na vykurovanie budov a sídiel v zimnej prevádzke, na celoročnú prípravu teplej úžitkovej vody, na technológiu krytých a otvorených bazénových hospodárstiev, na priemyselné využitie, na chov rýb a pod.

Jedným zo spôsobov, ako využiť geotermálnu energiu, je aj výroba elektrickej energie. Záujem o produkciu elektriny pomocou geotermálnych elektrární sa zvyšuje podobne ako záujem o ďalšie alternatívne zdroje energie. Z elektroenergetického hľadiska je zároveň dôležité, že ide o zdroj stabilný, o čom svedčí 77 % využitie, čo je viac ako 6 000 h ročne.

Najviac geotermálnych elektrární sa nachádza v USA, Filipínach, Mexiku, Taliansku, Indonézii, Japonsku, Novom Zélande a Islande. Medzi najväčšie a najznámejšie patria Larderello v Taliansku s inštalovaným výkonom 487 MW na suchú paru, The Geysers v USA – 1 100 MW na suchú paru, Wairakei na Novom Zélande – 192 MW na vlhkú paru, Los Azurfres v Mexiku – 198 MW.

Medzi najväčšie a najpreskúmanejšie z hľadiska geotermálnej energie patrí oblasť The Geysers v Kalifornii. V tejto oblasti prevláda suchá para, ktorá sa priamo privádza do turbín na výrobu elektrickej energie. Prvé pokusy s vŕtaním sa uskutočnili v roku 1957 v blízkosti prirodzených únikov a siahali do hĺbky 120 až 300 m. Získavalo sa z nich 1,8 až 3,6 kg pary za hodinu. Táto oblasť je vlastne systém elektrární, z ktorých každá je zásobená z viacerých vrto. Jednotlivé vrty časom starnú a ich výkon klesá, preto sa hľbia ďalšie, aby sa zabezpečil prívod pary. Prvý blok elektrárne (12 MW) bol

v prevádzke v rokoch 1960 až 1992. Celkovo sa v tejto oblasti využíva viac ako 100 vrtov. Z jedného vrtu sa získa približne 8 MW elektrického výkonu a vŕta sa do hĺbky 2 100 až 2 500 m. Za rok sa vyvŕta 15 až 18 vrtov .

Zoznam použitej literatúry

- [1] KOLCUN, M. a kol.: Elektrárne. Košice : TU, 2006. 453 s. ISBN 80-8073-704-5
- [2] Malé vodné elektrárne [online] Maťuga Michal [cit 2010-12-15] Dostupné na internete: <<http://www.posterus.sk/?p=3649>>
- [3] Bánkiho turbína [online] Vodní-elektrárny.cz [cit 2011-04-25] Dostupné na internete:
<<http://www.vodni-elektrarny.cz/bankiho-turbina>>
- [4] Bánkiho turbína [online] mve.energetika.cz [cit 2011-04-25] Dostupné na internete:
<<http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/banki.htm>>
- [5] Francisova turbína [online] Vodní-elektrárny.cz [cit 2011-05-10] Dostupné na internete:
<<http://www.vodni-elektrarny.cz/francisova-turbina>>
- [6] Francisova turbína [online] mve.energetika.cz [cit 2011-05-15] Dostupné na internete:
<<http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/francis-vertik.htm>>
- [7] Peltonova turbína [online] Vodní-elektrárny.cz [cit 2011-05-18] Dostupné na internete:
<<http://www.vodni-elektrarny.cz/peltonova-turbina>>
- [8] Peltonova turbína [online] mve.energetika.cz [cit 2010-05-18] Dostupné na internete:
<<http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/pelton.htm>>
- [9] Kaplanova turbína [online] [Vodní-elektrárny.cz](http://vodni-elektrarny.cz) [cit 2011-05-18] Dostupné na internete:
<<http://www.vodni-elektrarny.cz/kaplanova-turbina>>
- [10] Kaplanova turbína [online] mve.energetika.cz [cit 2011-05-19] Dostupné na internete:
<<http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/kaplan-s.htm>>
- [11] Vodní elektrárny, geotermální energie [online] alternativni-zdroje.cz [cit 2012-12-17] Dostupné na internete: <<http://www.alternativni-zdroje.cz/vodni-geotermalni-energie.htm>>
- [12] Přecherčavací vodní elektrárna [online] cs.wikipedia.org [cit 2012-12-17] Dostupné na internete:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99e%C4%8Derp%C3%A1vac%C3%AD_vodn%C3%AD_elektr%C3%A1rna>
- [13] Čierny Váh [online] sk.wikipedia.org [cit 2012-05-05] Dostupné na internete:
<[http://sk.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cierny_V%C3%A1h_\(vodn%C3%A1_n%C3%A1dr%C5%BE\)](http://sk.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cierny_V%C3%A1h_(vodn%C3%A1_n%C3%A1dr%C5%BE))>
- [14] Liptovská Mara [online] sk.wikipedia.org [cit 2012-05-05] Dostupné na internete:
<[http://sk.wikipedia.org/wiki/Liptovsk%C3%A1_Mara_\(priehrada\)](http://sk.wikipedia.org/wiki/Liptovsk%C3%A1_Mara_(priehrada))>
- [15] Sústava vodných diel Dobšiná [online] skcold.sk [cit 2012-05-05] Dostupné na internete:
<http://www.skcold.sk/priehrady/najvyznamnejsie_priehrady_na_slovensku/vd_dobsina/>

- [16] Vodné dielo Ružín [online] skcold.sk [cit 2012-05-05] Dostupné na internete:
<http://www.skcold.sk/priehradynajvyznamnejsiepriehradyna slovensku/vd_ruzin/>

Využitie počítačov v automatizácii elektroenergetiky

prof. Ing. Roman Cimbala, PhD.

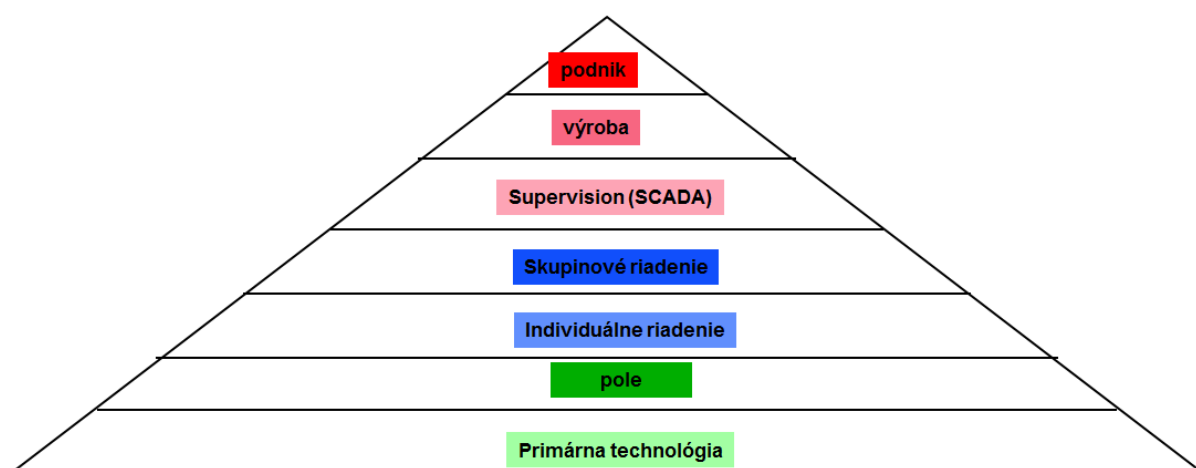
OBSAH

1	VYUŽITIE POČÍTAČOV V AUTOMATIZÁCII ELEKTROENERGETIKY	221
1.1	Architektúra riadených systémov elektroenergetiky	221
1.1.1	Úroveň poľa	222
1.1.2	Úroveň skupiny	222
1.1.3	Miestny human interface na úrovni skupiny	223
1.1.4	Supervízorská úroveň: Man-machine interface	224
1.1.5	Supervízorská úroveň: SCADA	225
1.2	Továrenský management	225
1.3	Inžinierske pracovisko	225
1.4	Klasifikácia hierarchie riadenia podľa ANSI/ISA 95 štandardu	226
1.5	Kvalita a kvantita dát v hierarchickej úrovni	228
1.6	Operačné a výrobné databázy	229
2	APLIKÁCIA VIRTUÁLNEHO INŽINIERSKEHO PROSTREDIA V ELEKTROENERGETIKE	231
2.1	Výber programovacieho prostredia	231
2.2	Požiadavky na nový programovací jazyk	232
2.3	Charakteristika Agilent VEE	232
2.4	Programové prostredie	233
2.5	Príklad 1. Generovanie náhodného čísla	234
2.6	Príklad 2. Vytvorenie slučky na generovanie desiatich náhodných čísel	236
2.7	Príklad 3. Simulácia, analýza a zobrazovanie dát	237
2.7.1	Generovanie dát z virtuálnych zdrojov	237
2.7.2	Zmiešanie dvoch signálov	237
2.7.3	Zobrazenie dát	238
2.7.4	Vykonanie rýchlej Fourierovej transformácie na pravouhlom signále - FFT	239
2.7.5	Uloženie analyzovaných údajov do súboru	240
2.8	Príklad 3: Transfer dát, užívateľský panel a funkcia pri prenose signálu s priemyselnou frekvenciou	241
2.8.1	Generovanie dát simulujúcich meranie	242
2.8.2	Pridanie ťahového a otočného potenciometra	242
2.8.3	Vytvorenie užívateľského objektu	244
2.8.4	Vytvorenie užívateľského panela	246
2.8.5	Riadenie toku programu	248
2.8.6	Definovanie globálnych premenných	249
2.8.7	Vytvorenie podprogramu – užívateľskej funkcie používajúcu globálnu premennú	250
2.8.8	Volanie užívateľskej funkcie z hlavného programu	253
2.8.9	Odladovanie programu	254
	INFORMAČNÉ ZDROJE – KNIHY, ČLÁNKY, PROJEKTY, VIRTUÁLNE A VZDIALENÉ LABORATÓRIA, HYPERNEWS.....	256

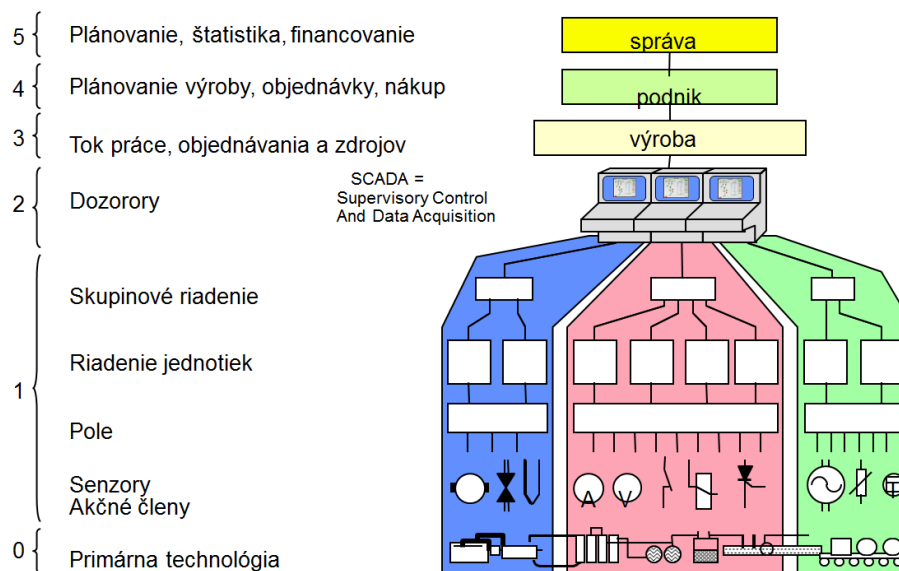
1 Využitie počítačov v automatizácii elektroenergetiky

1.1 Architektúra riadených systémov elektroenergetiky

Systémy pre automatizáciu sa vo veľkej miere používajú v elektroenergetike. Hoci aplikácie sa značne líšia, sú veľmi malé rozdiely v celkovej architektúre riadených systémov. Prečo sa riadiaci pre elektrárne nepredáva tiež pre automatizáciu pivovaru? Je to závislé na veľkom počte malých rozdielov (napr. ochrana pred výbuchmi), na regulácii, evidencii ingrediencií a prísad (slad) a tiež na tradícii a zákazníckych vzťahoch. Ale najväčší rozdiel je v množstve aplikovaných distribuovaných riadiacich systémov. Podľa [2] bude popísaná hierarchia riadiacich systémov používaných v priemysle so zameraním na elektroenergetiku.



Obr. 1.1 Základná architektúra riadených systémov



Obr. 1.2 Architektúra riadenia výrobného podniku

Jednotlivé stupne v hierarchickom usporiadaní riadenia organizácie majú svoje kompetencie, ktoré vyplývajú z úloh, ktoré musia v procese riadenia organizácie vykonávať:

- Správa: financie, ľudské zdroje, dokumentácia, dlhodobé plánovanie

- Podnik: určenie výrobných cieľov, plán podnikania a zdrojov, koordinácia rozdielnych výrobných lokalít, riadenie objednávok
- Výroba: riadenie výroby, zdrojov, workflow, kontrola kvality, výrobný rozvrh, údržba
- Dohľad: dohľad nad výrobou a miestom, optimalizácia výrobných operácií, vizualizácia plánov, archivácia procesných dát, logistické operácie, história (otvorená slučka)
- Skupina (Area):
 - o riadenie presne definovaných častí podniku (uzatvorená slučka okrem zásahu operátora)
 - o koordinácia individuálnych podskupín
 - o nastavenie set-bodov a parametrov
 - o príkazy niekoľkým zariadeniam (unitom) ako celku
- Bunka (Unit): riadenie (regulácia, monitorovanie a ochrana) časti skupiny (uzatvorená slučka okrem údržby)
 - o meranie: vzorkovanie, škálovanie, spracovanie, kalibrácia
 - o riadenie: regulácia, body nastavenia a parametrizácia
 - o príkazy: sekvenčné, ochranné a blokovacie
- Pole: získanie dát (Sensory & Akčné členy), prenos dát bez spracovania a vstavaných ochrán.

1.1.1 Úroveň poľa

Úroveň poľa je priame spojenie s výrobným zariadením. Pole je tvorené primárnou technológiou



Obr. 1.3 Úroveň poľa

1.1.2 Úroveň skupiny

Úroveň skupiny koordinuje aktivitu niekoľkých kontrolerov buniek. Riadenie skupiny je zvyčajne hierarchické a môže tiež byť peer-to-peer (od riadenej skupiny k riadenej skupine = distribuovaný riadiaci systém). "Distributed Control Systems" (DCS) obyčajne poukazuje na hardware a software infraštruktúru na výkon automatizácie procesov



Obr. 1.4 Úroveň skupiny

1.1.3 Miestny human interface na úrovni skupiny

Niekedy má úroveň skupiny svoj vlastný man-machine interface pre riadenie miestnych operácií (napr. príprava technologickej vody v elektrárňach).



Obr. 1.5 Príklad Man-Machine Interface na úrovni skupiny

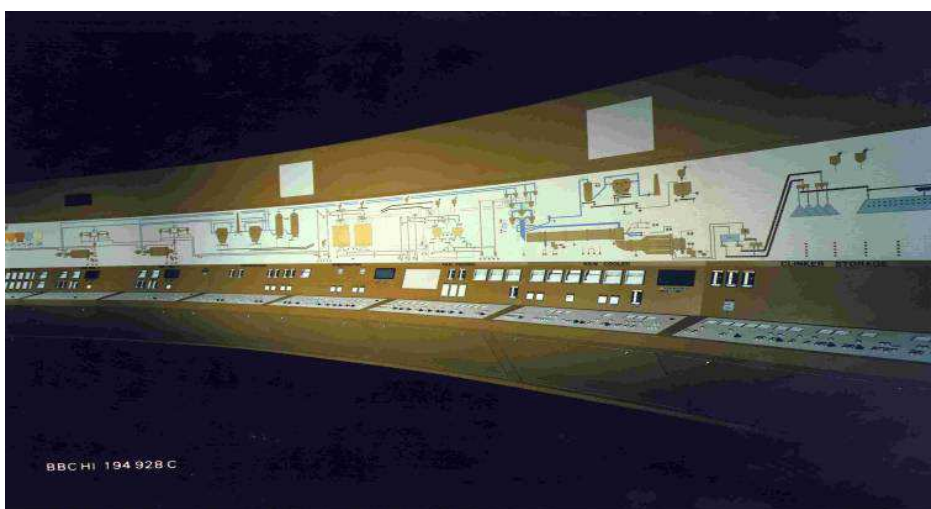
Často sa v elektroenergetike vyskytuje riadiaca konzola (bezpečnostný panel) pre riadenie ucelenej časti, napr. Pre riadenie jedného vývodu v rozvodni



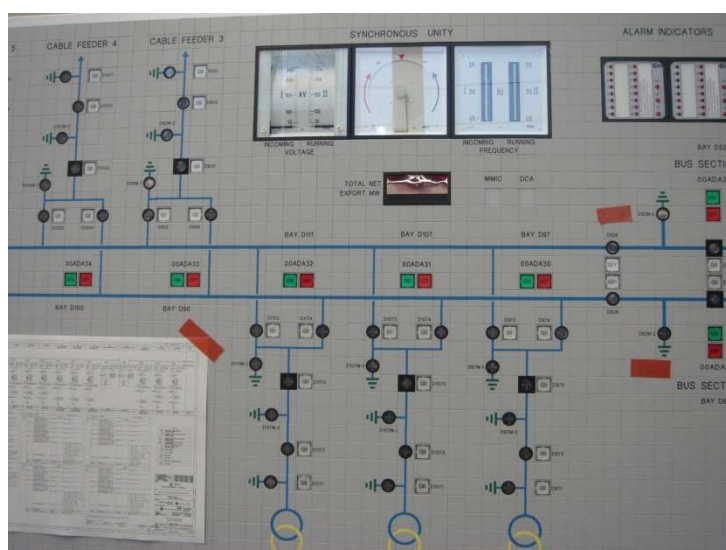
Obr. 1.6 Riadiaca konzola na úrovni skupiny

1.1.4 Supervízorská úroveň: Man-machine interface

Na úrovni supervízora je riadenie koncentrované do jednej lokality, zvyčajne riadiacej miestnosti, ktorá obsahuje dispečerský pult. Ten bol v minulosti fyzický, realizovaný reálnymi zobrazovacími a ovládacími prvkami. Vodiče všetkých prístrojov viedli priamo do riadiacej miestnosti



Obr. 1.7 Dispečerský pult v minulosti



Obr. 1.8 Riadiaci pult – Mozaika

Vyššia úroveň bola charakteristická tzv. Mozaikou. Stále sa používa a časť mozaiky je priamo spojená vedením s nižšou úrovňou

1.1.5 Supervízorská úroveň: SCADA

Supervízorská úroveň SCADA (SCADA = Supervisory Control and Data Acquisition) je charakteristická nasledovnými črtami:



Obr. 1.9 Riadiaci pult - Mozaika

- Zobrazenie aktuálneho stavu procesov (**vizualizácia**)
- Zobrazenie alarmov a udalostí (**alarm log, logbook**)
- Zobrazenie trendov (**historians**) a ich analyzovanie
- Zobrazenie denníkov, výkazov, zásob, expertné systémy (**dokumentácia**)
- Umožnenie komunikácie a synchronizácia dát s inými dispečingmi

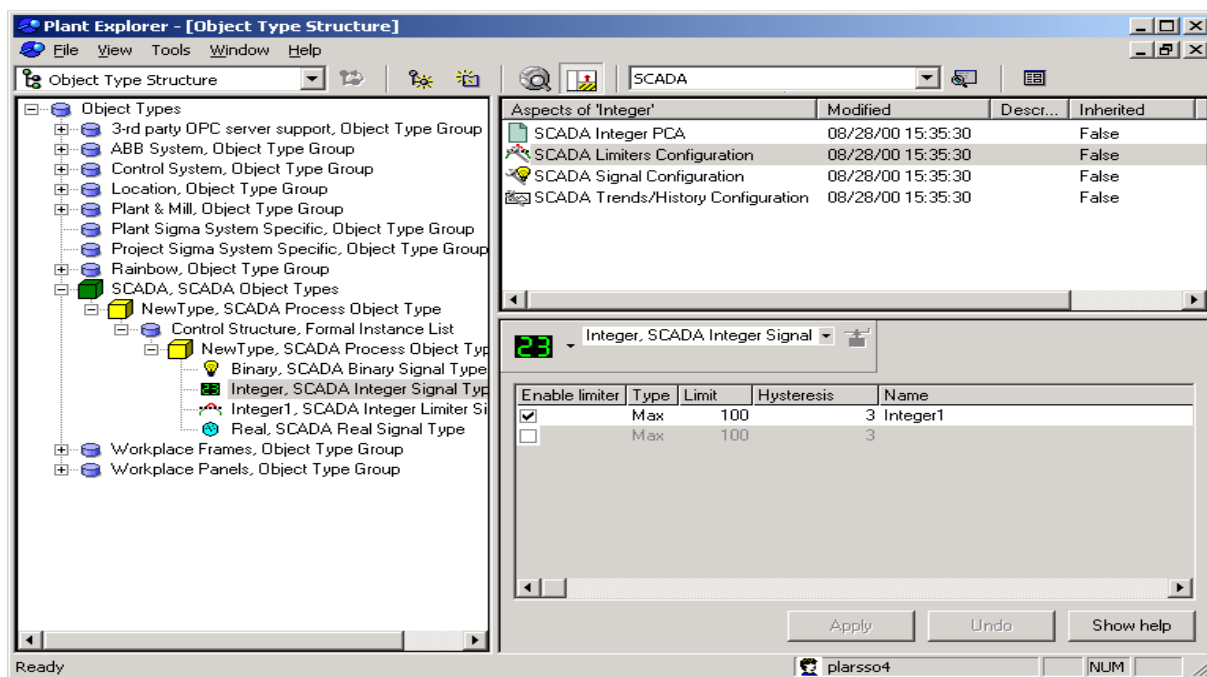
1.2 Továrenský management

Uloženie závodných výrobných dát pre ďalšie spracovanie bezpečným spôsobom (obsah aj forma) na umožnenie predpovedania dejov vo výrobe a vo výrobkoch sa označuje ako **Plant Information Management System (PIMS)**.

Ďalšou úlohou továrenského managementu je vykonávanie predpovedí na budúce správanie procesov a čiastočne pre údržbu zariadení, trendy KPI (key performance indicators), čo sa označuje ako **Asset Optimisation (AO)**

1.3 Inžinierske pracovisko

Inžinierske pracovisko spravuje riadiaci systém, nie továreň. Inžinier môže konfigurovať siete a zariadenia, spúšťať programy, priradovať autorizácie, riešiť poruchové stavy riadiaceho systému.

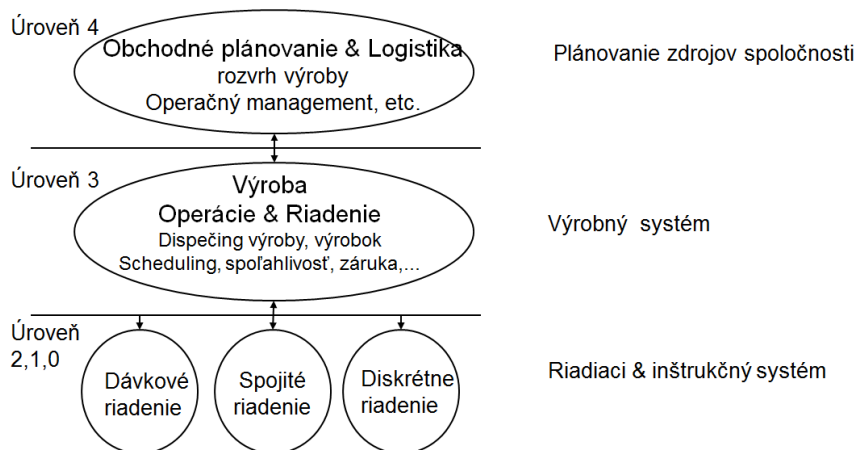


Obr. 1.10 Rozhranie pre inžinierske pracovisko

1.4 Klasifikácia hierarchie riadenia podľa ANSI/ISA 95 štandardu

Podľa štandardu ANSI/ISA 95 je možné klasifikovať jednotlivé sturne riadenia pre nasadenie prostriedkov automatizácie nasledovne:

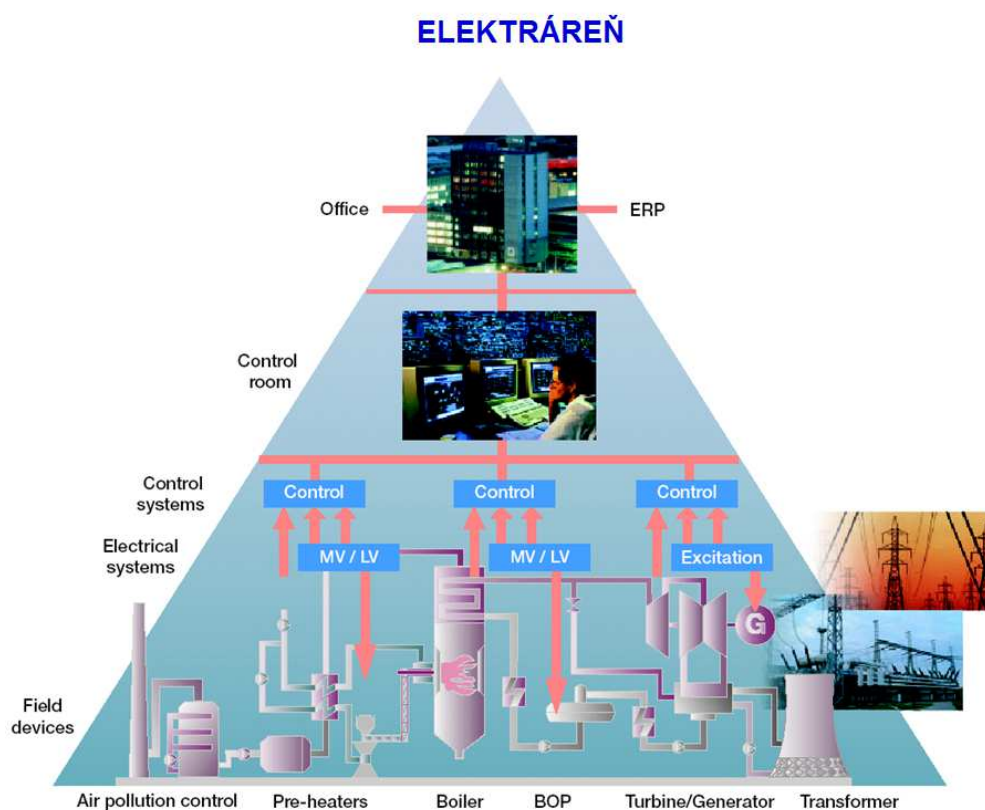
ANS/ISA štandard 95 definuje terminológiu a dobré postupy



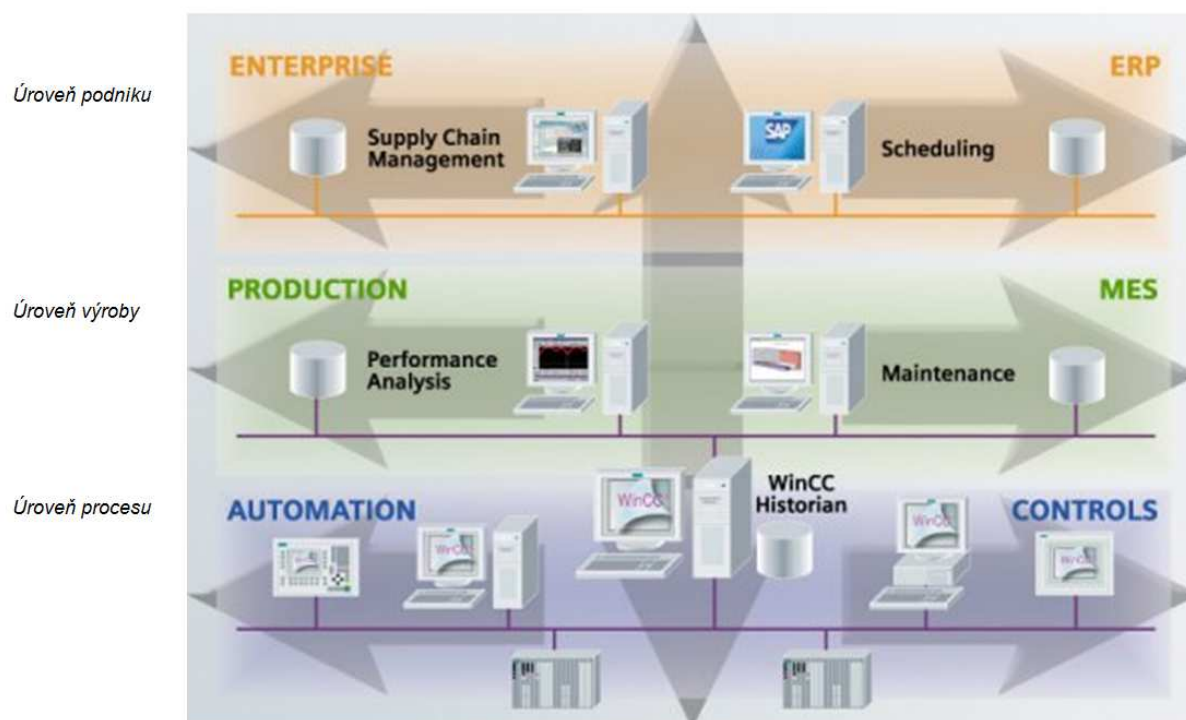
Source: ANSI/ISA-95.00.01-2000

Obr. 1.11 Klasifikácia úrovní riadenia podľa ANSI/ISA 95

Vo všeobecnosti je možné vyššie uvedené klasifikácie aplikovať na elektrárňu, ako komplexný výrobný celok.

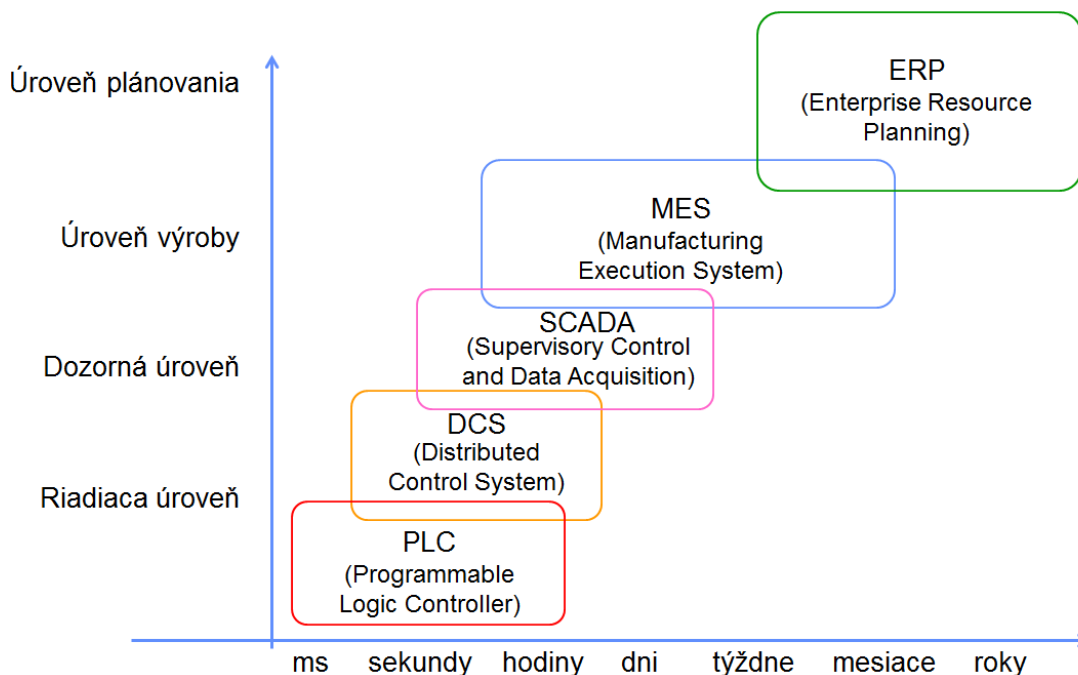


Obr. 1.12 Aplikácia štandardu ANSI/ISA 95 na elektrárňu



Obr. 1.13 Príklad všeobecného riadiaceho systému: Siemens WinCC (Generic)

Okrem hierarchickej úrovne, ktorá vyplýva z vykonávaných činností, je potrebné pri štruktúre organizácie rozlišovať aj objem dát, ktorý je medzi úrovňami distribuovaný a spracovaný a príslušný časový rámec, v ktorom sa to uskutočňuje. Najrýchlejšie sú generované a na rýchlosť odozvy náročné dáta, ktoré vznikajú priamo vo výrobnom procese na jeho technologickej úrovni. Riadenie vykonávajú samostatné automaty s príslušnou mierou autonómie. Odozva sa pohybuje v jednotkách milisekúnd. Na dozornej a supervízorskej úrovni je potrebná interakcia s človekom a preto je časový rámec od jednotiek sekúnd vyššie. Najvyššou úrovňou je úroveň plánovania a strategického rozhodovania.



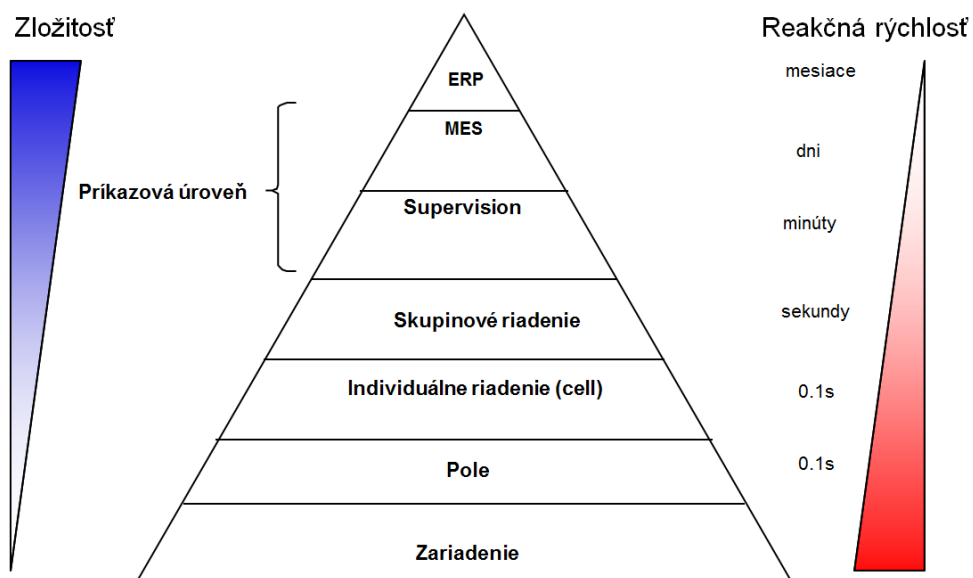
Obr. 1.14

Obr. 1.15 Časová odozva a hierarchická úroveň

1.5 Kvalita a kvantita dát v hierarchickej úrovni

V procese spracovania informácií a nasadzovania prostriedkov automatizácie rozlišujeme nasledovné úrovne:

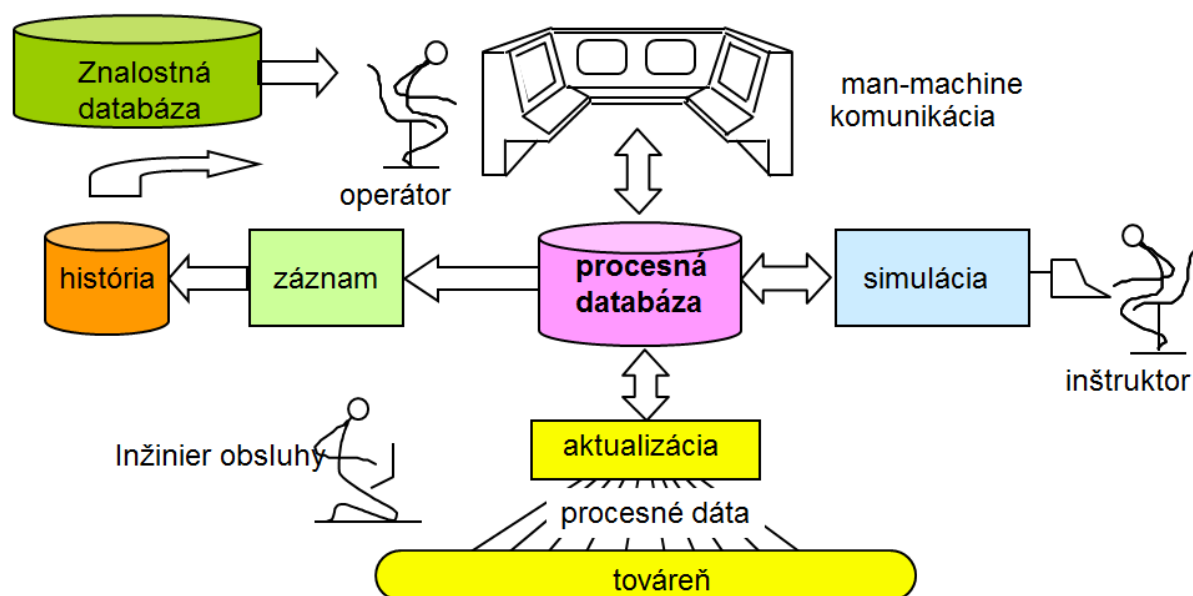
- Vysoká úroveň: dáta stúpajú na hierarchickej úrovni, dochádza k ich redukcii, na vyššej úrovni sú vytvárané „nové“ dáta (t.j. sumačné informácie), spracovanie a rozhodovanie sa stáva viac zložitý (vyžaduje sa použitie modelov), časovanie sa spomaľuje, história dát sa zaznamenáva.
- SCADA úroveň: prezentovanie komplexných dát ľudskému operátorovi, pomoc pri rozhodovaní (expertné systémy) a obsluhu, vyžadovanie znalostných databáz v súčinnosti s továrenskými databázami.
- Nižšia úroveň: (najbližšie k výrobe) je najviac závislá na časovej odozve, množstvo „surových“ dát je veľmi veľké, spracovanie je veľmi jednoduché (predtým bolo realizované v hardvérovej forme), tieto úrovne sú dnes pod počítačovým riadením okrem havarijných situácií, údržby a kontroly.



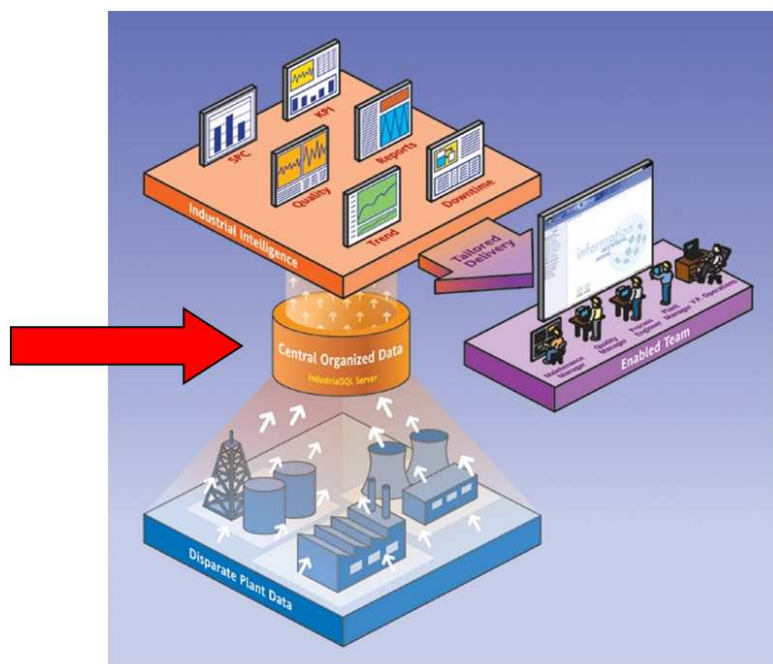
Obr. 1.16 Zložitosť a reakčná rýchlosť v závislosti na stupni riadenia

1.6 Operačné a výrobné databázy

Postoj ľudskej „vynaliezavosti“ narúša pevne definované hierarchické usporiadanie systému. Zvyčajne sa operátor zúčastňuje na supervízorskej úrovni, ale výnimočne chcú mať operátori a inžinieri prístup k dátam na najnižšej úrovni. Operátor vidí továreň cez rýchlu databázu, ktorá je aktualizovaná na pozadí. Táto databáza je kľúčovým prvkom pre zápis dát a simuláciu. Nazýva sa procesnou databázou.



Obr. 1.17 Prepojenie procesnej databázy v systéme riadenia



Obr. 1.18 Príklad procesnej databázy v systéme riadenia - Wonderware

Procesná databáza poukazuje na včítane najnovší známy stav závodu. Historická databáza zaznamenáva udalosti, ktoré sa stali v závode (a je preto podmnožinou „snímky„ z procesnej databázy).

2 Aplikácia virtuálneho inžinierskeho prostredia v elektroenergetike

V elektroenergetike sa vyskytuje množstvo programovým produktov, ktoré slúžia na riadenie zariadení, meracích prístrojov, na zber a analýzu dát. V tejto kapitole bude popísané využitie jedného vývojového prostredia, ktorého nasadenie umožňuje vytvárať jednoduché aj zložité radiacie štruktúry a vývoj programových produktov je značne intuitívne. Podľa literárnych prameňov [3], [4] a [5] bude poukázané na základné črty grafických vývojových prostredí a budú vytvorené jednoduché programy vo zvolenom prostredí.

2.1 Výber programovacieho prostredia

Americký inštitút pre výskum - The Usability Engineering Group of the American Institutes for Research (AIR) vykonal porovnávaciu štúdiu zameranú na vhodnosť troch programových prostredí používaných pre riadenie meraní a analýzu dát, konkrétne sa jednalo o National Instruments LabView, Hewlett-Packard's HP VEE – dnes Agilent VEE a Microsoft Visual C++ programovací jazyk [5]. Cieľom bolo zistiť náročnosť a rýchlosť riešenia jednoduchých úloh v spomínaných troch programovacích prostrediach. Bolo zadefinovaných 15 jednoduchých úloh, ktoré mali účastníci testu riešiť. Účastníci predtým nemali skúsenosti v práci s týmito programami, boli pre nich nové. Bol získaný počet účastníkov, ktorí úlohu úspešne vyriešili a priemerný čas potrebný na vyriešenie úlohy. Výsledky sú zobrazené na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.**

Number of completions and mean time to complete tasks using each software package.

Task:	HP VEE		MS C++		LabVIEW	
	# who completed (N=15)	mean task time (sec)	# who completed (N=11)	mean task time (sec)	# who completed (N=15)	mean task time (sec)
Init. funct. generator	14	306.67	4	444.82	5	453.6
Change wave shape	13	230.73	5	403.73	8	416.60
Set frequency	14	85.47	11	165.91	12	195.00
Set amplitude	15	114.20	10	156.09	15	100.73
Set trigger source	15	54.80	11	134.64	12	259.80
Init. wave. analyzer	15	116.20	1	504.82	10	320.33
Capture wave -array	5	386.00	2	465.55	7	463.53
Display wave -array	15	67.07	6	322.18	14	113.73
Display wave graph	13	167.73	N/A	N/A	13	144.60
Code user prompt	13	185.60	7	318.27	14	298.60
Program limit test	1	508.13	10	382.91	6	434.20
Timestamp to ASCII file	4	444.93	1	471.27	6	490.80
Write data to file	11	•	1	•	3	•
Write status to file	10	•	1	•	3	•
Mean	11.9 (75%)	222.29	5.38 (49%)	342.74	9.43 (62%)	307.63

Obr. 2.1 Porovnanie vývojových prostredí [5]

Hlavný výsledok štúdie získaný z priemerovania všetkých úloh poukázal na to, že programovanie s HP VEE bolo 27% rýchlejšie než programovanie tých istých úloh použitím LabVIEW a 35% rýchlejšie než programovanie s C++. Pri individuálnych úlohách bolo programovanie s HP VEE až 79% rýchlejšie než LabVIEW alebo C++. Vo väčšine prípadov väčší počet účastníkov testu bolo schopných vyriešiť úlohu použitím HP VEE než použitím LabVIEW alebo C++.

Tieto výsledky viedli autora tejto publikácie k tomu, aby sa zameral pri popise nasadzovania virtuálnych inžinierskych prostredí na produkt HP VEE, resp. jeho súčasnú verziu Agilent VEE 9.2.

2.2 Požiadavky na nový programovací jazyk

Medzi základné otázky väčšiny ľudí, ktorí sa majú naučiť nový programovací jazyk patria:

- Zjednoduší to mnou doteraz vykonávané programovanie?
- Aké je rozhranie pre prístroje?
- Ako sa získavajú a analyzujú dáta?
- Ako ľahko sa učí a používa?
- Ako „chytrý“ je jazyk? Má vstavané funkcionality, adresovanie prístrojov, deklaráciu premenných ...)?
- Umožňuje jednoduché aj zložité komplexné riešenia?
- Spolupracuje s inými programovými produktmi?
- Je dostatočne rýchly?
- Aká je jeho cena?
- Má dostatočnú podporu a aktualizáciu?

2.3 Charakteristika Agilent VEE

Agilent VEE je vizuálny programovací jazyk pre vývoj programov na riadenie prístrojov, zber a analýzu dát. Vytvára sa vizuálny program prepájaním vstavaných a užívateľsky definovaných funkčných objektov do blokovej schémy. Týmto spôsobom je možné:

- získavať dáta z prístrojov a počítačových plug-in modulov,
- riadiť stykové rozhrania a zariadenia (serial, HP-IB or GPIB, VXI),
- zobrazovať dáta prostredníctvom rôznych druhov grafov a zobrazovačov,
- volať a používať ActiveX Controls,
- komunikovať s inými programami pod operačným systémom Windows použitím ActiveX Automation,
- uložiť program v rôznych formátoch ako binary, ASCII, tabuľka,
- používať dátové typy ako strings, arrays, bytes, records, atď.,

- vypočítavať, analyzovať a simulovať dáta od jednoduchých až po FFT, fitovanie, integrovanie, atď.,
- vytváranie slučiek, rozhodovacích blokov a vetvení pomocou if/then/else, <, =, >, for, while, repeat until, atď.,
- riadenie a simulácia dát, meranie a výpočty výstupných premenných,
- vytváranie štruktúrovaných programov s viacerými stupňami hierarchie,
- užívateľské rozhrania,
- prístup cez World Wide Web.

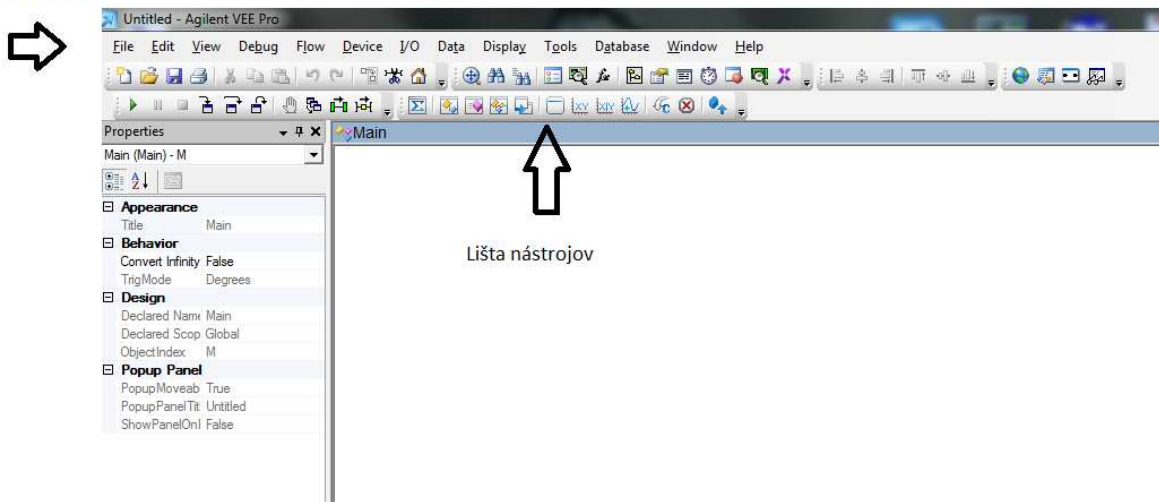
2.4 Programové prostredie

Na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.** je programové prostredie Agilent VEE. Jeho hlavnými časťami sú:

- ponuková lišta,
- lišta nástrojov,
- hlavný vývojový panel – okno,
- stavový riadok.

Ponuková lišta poskytuje menu, ktoré obsahuje programové objekty. Nástrojová lišta obsahuje skratkové tlačidlá pre prácu s programom a jeho funkciami (Run, Stop, Save, etc.).

Ponuková lišta



Obr. 2.2 Programové prostredie

Práca s objektom je realizovaná niekoľkými spôsobmi:

- výber objektu z menu kliknutím na položku ľavým tlačítkom myši.
- pohyb objektu vo vývojovom prostredí kliknutím na hlavičku objektu,
- zmena veľkosti objektu umiestnením kurzora na jeho pravý dolný roh a následná zmena veľkosti,

- spájanie terminálov objektov priblížením kurzora na výstupný pin, kliknutie ľavým tlačítkom myši, premiestnenie sa k vstupnému pinu a opätovné kliknutie myšou,
- zrušenie týchto spojení,
- možnosť výberu niekoľkých objektov súčasne podržaním klávesy Ctrl a klikaním myšou

Každý objekt je možné zobraziť dvoma spôsobmi:

- Ikona – kliknutie na pravý horný roh objektu,
- Otvorený pohľad – dvojklik na ikonu.

Vlastnosti objektu je možné meniť aj cez jeho menu dostupné kliknutím pravého tlačítka myšou na objekt. Je takto možné objekt klonovať, mazať, pridávať terminály, meniť jeho popis a pod.

2.5 Príklad 1. Generovanie náhodného čísla

Úlohou je vygenerovať desať náhodných čísel a zobraziť ich. Pri návrhu bude demonštrovaná práca s knižnicou matematických funkcií, návrh programovej slučky a zobrazovača čísiel .

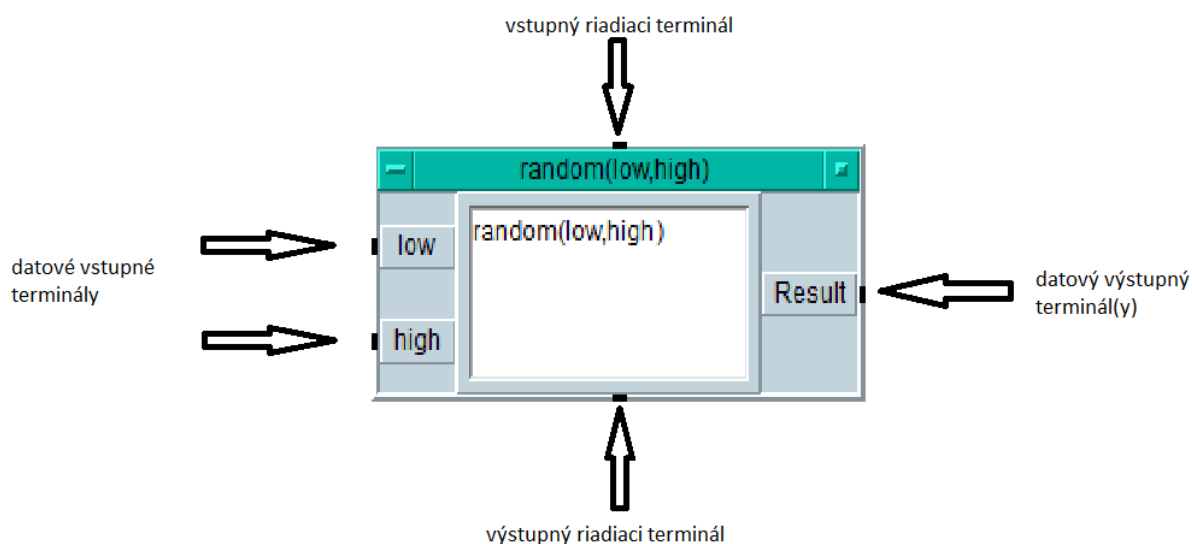
Postup je nasledovný:

1. Začnite nový program výberom File -> New.
2. Pre maximalizáciu pracovného priestoru vypnite Program Explorer - vyberte menu View a pri položke Program Explorer zrušte voľbu
3. Zvoľte Device -> Function & Object Browser (alebo kliknite na fx tlačidlo v lište nástrojov). Otvorí sa okno so zoznamom matematických objektov a užívateľských funkcií. Zvoľte:
 - a. Type -> Built-in Functions
 - b. Category -> Probability & Statistics
 - c. Member -> random
 - d. Create Formula
4. Myšou preneste zvolený objekt pre generovanie náhodného čísla (Random) do pracovného priestoru na zvolené miesto. Objekt generuje náhodné číslo v intervale <low;high>.
5. Na nastavenie dolného a horného limitu pre generátor vyberte Data -> Constant -> Real a umiestnite objekt Real naľavo od objektu Random. Kliknutím na vstupné okno prepíšete hodnotu 0 na hodnotu -10. Spojte výstupný terminál objektu real so vstupným terminálom low objektu Random. Aby si objekty mohli odovzdávať medzi sebou dáta, musia byť spojené. Vo všeobecnosti sú vľavo vstupné dátové terminály, vpravo výstupné dátové terminály, hore je vstupný riadiaci terminál, dole výstupný riadiaci terminál. Objekt začne pracovať, ak má k dispozícii všetky dátové vstupy. Potom skontroluje, či je obsadený riadiaci vstup. Ak áno, tak počká na privedenie signálu na riadiaci vstup. Ak riadiaci vstup nie je obsadený a vstupné dáta sú k dispozícii, objekt začne pracovať. Po ukončení svojej práce objekt odošle spracované údaje na dátový výstup, ak takýto má. Niektoré objekty, napr. zobrazovače len zobrazia privedené dáta a výstupné dátové terminály nemajú. Keď objekt ukončí svoju

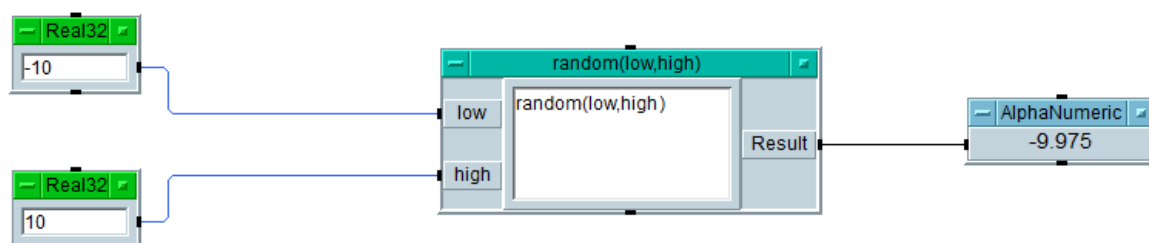
činnosť, na radiacom výstupe sa objaví signál informujúci o tejto skutočnosti. Terminály sú zobrazené na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.**

6. Opakujte postupnosť v kroku č.5 na zadanie hornej hranice pre generovanie náhodného čísla, teraz pre hodnotu 10 a spojte ju so vstupným dátovým terminálom high.
7. Na zobrazenie náhodného čísla zvolte Display -> Alphanumeric a umiestnite ju naľavo od objektu Random. Spojte dátový výstup objektu Random s dátovým vstupom objektu Alphanumeric.
8. Program spustíte voľbou Debug -> Run/Resume, alebo kliknutím na ikonu trojuholníka v lište nástrojov reprezentujúcu všeobecne zaužívanú ikonu pre spustenie/play.

Takto vytvorený program je zobrazený na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie..**



Obr. 2.3 Terminály objektu



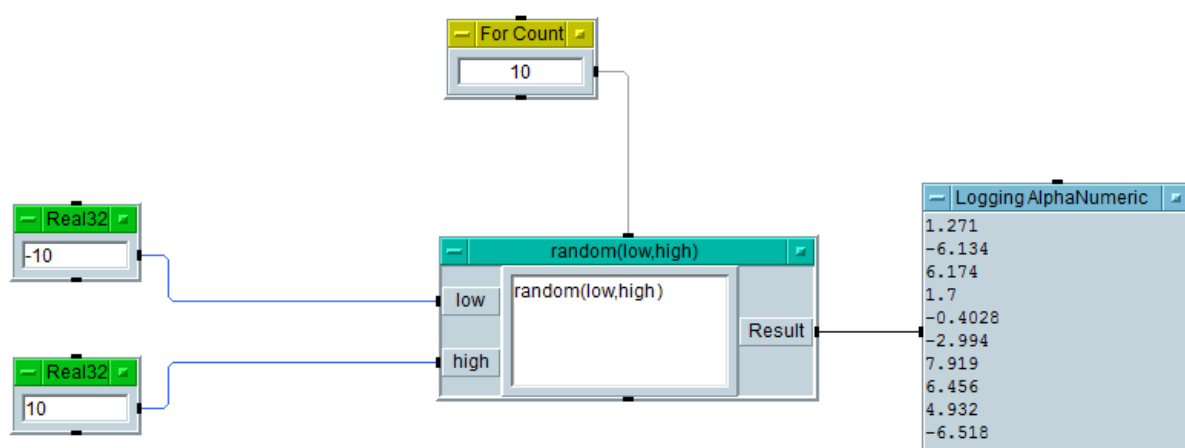
Obr. 2.4 Program pre generovanie náhodného čísla

2.6 Príklad 2. Vytvorenie slučky na generovanie desiatich náhodných čísel

Pre vytvorenie programu na generovanie desiatich náhodných čísel pomocou slučky použijeme program vytvorený v predchádzajúcej kapitole. Potom vykonáme nasledovné úpravy

1. minimalizujte objekt Random kliknutím na jeho pravý horný roh,
2. zmažte AlphaNumeric zobrazovač dvojklikom na ľavý horný roh, výberom možnosti pre nastavenie vlastnosti objektu a následne voľbou zmazania Cut,
3. pridajte nový objekt na zobrazenie - zvolte Display ~* Logging AlphaNumeric a umiestnite ho na pravú stranu od objektu Random. Spojte dátový výstup objektu Random s dátovým vstupom objektu Logging AlphaNumeric. Je potrebné si uvedomiť, že objekt AlphaNumeric zobrazuje len jeden aktuálny dátový vstup. Príchodom nového údaje sa predchádzajúci maže. Objekt Logging AlphaNumeric slúži ako logovací súbor za zobrazuje všetky prijaté data v takej postupnosti, v akej sa získali cez dátový vstup.
4. na vytvorenie slučky je potrebné zvoliť z menu Flow -* Repeat -* For Count. Základné nastavenie je 10. Uvedený objekt na dátový výstup odošle 10 čísel od 0 do 9. Spojte tento dátový výstup s riadiacim vstupom objektu Random. Napriek tomu, že sa zdanlivo jedná o konflikt dát a riadiacich signálov je potrebné si uvedomiť, že na riadiaci vstup je možné priviesť signál akéhokoľvek typu. Neskúma sa jeho hodnota ale len prítomnosť alebo absencia,
5. v tomto prípade nepovinným objektom je objekt Next, ktorý slúži na uzatvorenie slučky. Vyberte Flow -* Repeat -* Next a umiestnite ho pod objekt Random. Spojte výstupný riadiaci terminál objektu Random so vstupným riadiacim terminálom objektu Next,
6. spustíte program tlačítkom Run.

Takto vytvorený program je zobrazený na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie..**



Obr. 2.5 Program pre generovanie desiatich náhodných čísel

2.7 Príklad 3. Simulácia, analýza a zobrazovanie dát

Úlohou je demonštrovať simuláciu merania, používanie vzťahov, objektov pre analýzu dát (napr. Pre rýchlu Fourierovu transformáciu – FFT) a rôznych zobrazovačov. Tiež bude ukázané ako zapísať dáta do súboru.

2.7.1 Generovanie dát z virtuálnych zdrojov

1. Začnite nový program voľbou File - New,
2. Na simulovanie dát zvolte Device - Virtual Source - Function Generator a umiestnite ho v ľavej hornej časti pracovného priestoru
3. nastavte nasledovné hodnoty objektu Function Generator:
 - Function: "Square" (v roletovom menu)
 - Frequency: "100"
 - Amplitude: "1"
 - DcOffset: "0"
 - Phase: "Deg 0"
 - TimeSpan: "20m"
 - NumPoints: "100"
4. Zvolte druhý funkčný generátor a umiestnite ho pod prvý. Môžete postupovať analogicky ako v odseku c) alebo kliknutím na ľavý horný roh prvého generátora zvolte možnosť Clone na jeho vytvorenie identickej kópie,.
5. nastavte nasledovné hodnoty druhého objektu Function Generator:
 - Function: "Sine" (v roletovom menu)
 - Frequency: "100"
 - Amplitude: "1"
 - DcOffset: "0"
 - Phase: "Deg 0"
 - TimeSpan: "20m"
 - NumPoints: "100"
6. Premenujte oba objekty kliknutím na ľavý horný roh, zvolte možnosť Properties a zmeňte pole Title field na Pravouhlý a kliknite OK. Zmeňte meno druhého virtuálneho zdroja na Sinus.
7. minimalizujte oba funkčné generátory kliknutím na pravý horný roh.

2.7.2 Zmiešanie dvoch signálov

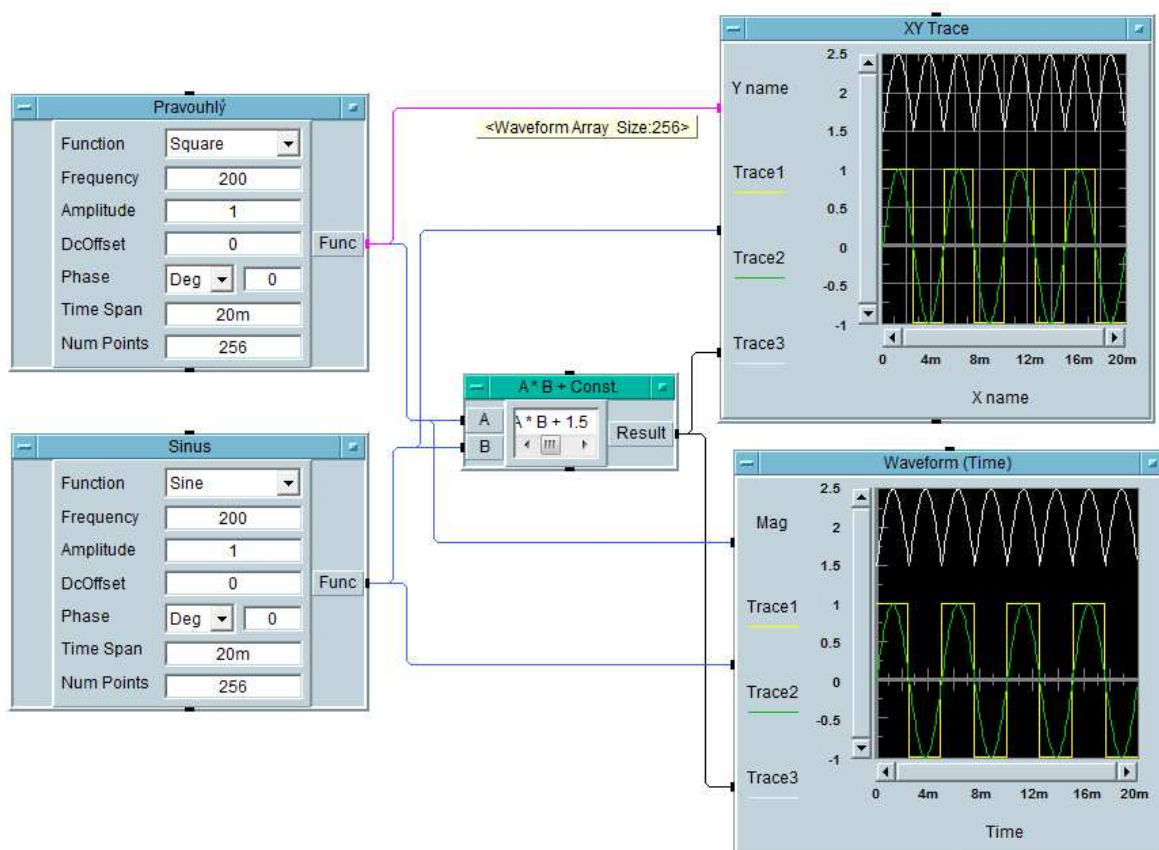
1. zvolte Device - Function & Object Browser - Type: Operators, Category: Arithmetic, Member:* (t.z. násobenie čísel), zvolte Create Formula (vytvorenie vzorca) a následne umiestnite objekt násobenia dvoch vstupov "A*B" napravo od virtuálnych generátorov,

2. kliknite do okienka objektu Formula a prepíšte vzťah na " $A*B+1.5$ ", týmto spôsobom môžete vytvoriť akýkoľvek definovateľný vzťah – vzorec alebo môžete použiť preddefinované vzťahy a vzorce z menu Device -> Function & Object Browser (alebo jednoduchým stlačením tlačítka fx), editovaním jednoduchého vzorca je možné vytvárať vzorce zložitejšie.
3. zmeňte meno vzorca pravým kliknutím na jeho telo a výberom Properties, zmeňte pole Title field na " $A*B+Const$ " a kliknite OK. Kliknite na pravý horný roh na minimalizovanie objektu.
4. spojte dátový výstupný terminál z objektu Pravouhlý so vstupným dátovým terminálom A objektu " $A*B+Const$ " a spojte dátový výstupný terminál z objektu Sinus so vstupným dátovým terminálom B objektu " $A*B+Const$ ", je potrebné poznamenať, že objekt " $A*B+Const$ " rozpozná, že vstupom do dátových terminálov je 100 hodnôt a dôjde k násobeniu príslušných dvojíc.

2.7.3 Zobrazenie dát

1. použite Display -> XYTrace na zobrazenie dát. Všimnite si, že zobrazovač má len jeden vstupný terminál a dokáže zobrazíť vstupný singál v 2D. Je to preto lebo tento vstupný signál v sebe nesie informáciu o počte vzoriek a dobe trvania signálu. Takto je možné vypočítať časovú os. Ak by sa informácia o čase a dĺžke signálu vo vstupných dátach nevyskytovala, na časovej osi by sa zobrazovali poradové čísla príslušných vzoriek. Druhým typom zobrazovača je Waveform(Time) dostupný cez Display - Waveform(Time), ktorý však striktne vyžaduje signál typu časovej vlny (amplitúdy, počet vzoriek a dĺžka trvania signálu).
2. pre zobrazenie všetkých troch priebehov – z generátora pravouhlého signálu, z generátora sínusového signálu a výsledného priebehu po ich násobení je potrebné pridať ďalšie dva vstupy pre objekt XYTrace. Kliknite na ľavý horný roh zobrazovača a zvolte AddTerminal - Data Input. Takto pridáte druhý vstupný terminál. Postup zopakujte pre pridanie tretieho vstupného terminálu,
3. prepojte dátové výstupy dvoch generátorov signálu a objektu násobenia s jednotlivými dátovými vstupmi zobrazovača XYTrace
4. kliknite na tlačítko Run.

Takto navrhnutý program je zobrazený na obr. 6.7

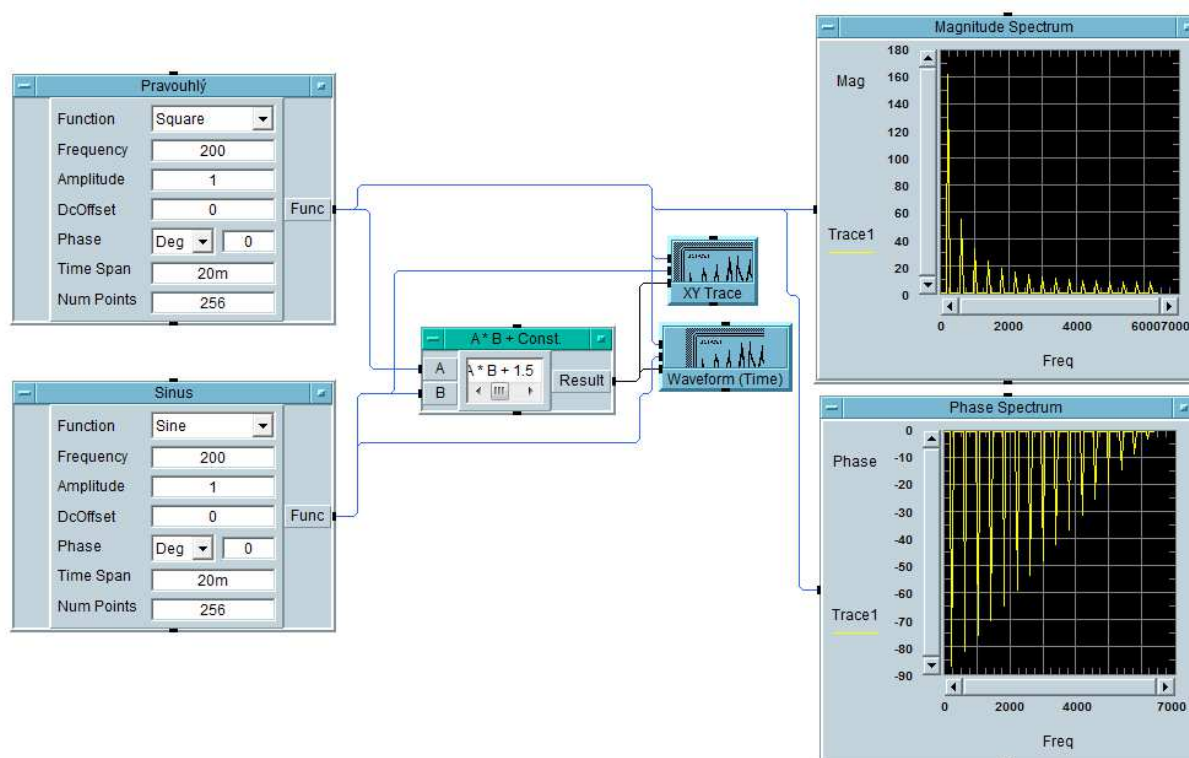


Obr. 2.6 Program pre generovanie a zobrazenie troch signálov

2.7.4 Vykonanie rýchlej Fourierovej transformácie na pravouhlom signále - FFT

1. zvolíte Display -> Spectrum(Freq) -> Magnitude Spectrum,
2. zvolíte Display -> Spectrum(Freq) -> Phase Spectrum,
3. dátový výstupný terminál objektu Pravouhlý s dátovým vstupným terminálom objektu Magnitude Spectrum a s dátovým vstupným terminálom objektu Phase Spectrum,
4. minimalizujte objekty XY Trace a Waveform (Time).
5. Spustite.

Takto navrhnutý program je zobrazený na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.**

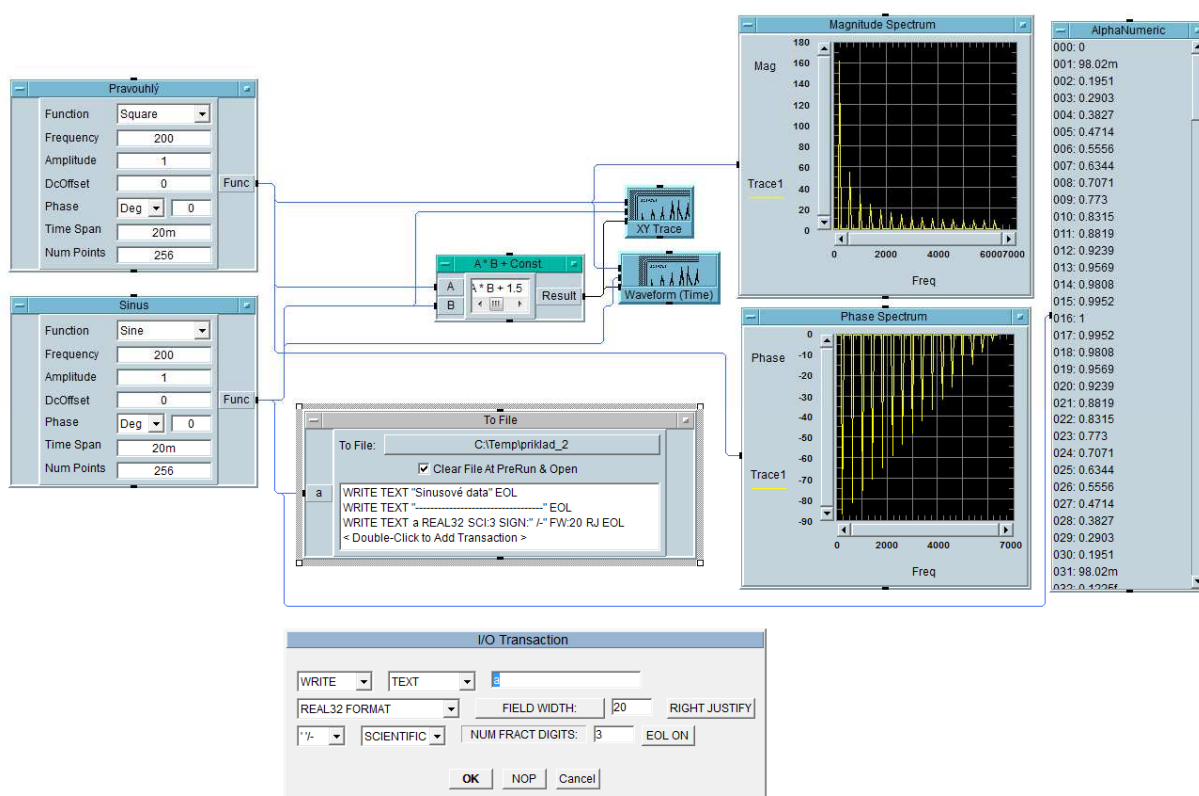


Obr. 2.7 Program pre vykonanie FFT pravouhlého signálu

2.7.5 Uloženie analyzovaných údajov do súboru

1. zvolíte z menu I/O -> To -> File objekt,
2. kliknete na tlačítko To file a zmeňte preddefinovaný súbor na zaznamenávanie dát z my File na iný, napr. c:\temp\priklad_2 a kliknete na OK,
3. kliknete na voľbu Clear File At PreRun & Open aby sa zabezpečilo, že pri každom spustení programu dôjde k prepisovaniu súboru novými údajmi. Ak táto voľba nebude zvolená, dôjde pri každom spustení programu ku pridávaniu dát ku už existujúcim
4. na zapísanie dát do súboru dvojklikom otvorte voľbu v prvom riadku <Double-Click to Add Transaction>, polia WRITE a TEXT nechajte bez zmeny a do dvojitéch úvodzoviek napíšte "Sinusové Data", zatvorte okno kliknutím na OK.
5. Dvojklikom otvorte spodný riadok a do poľa výstupu napíšte "-----", okno zatvorte kliknutím na OK.
6. Dvojklikom otvorte tretí riadok, nechajte preddefinované parametre a aj navrhovanú premennú a,
7. zvolíte REAL32 FORMAT namiesto DEFAULT FORMAT.
8. kliknutím na DEFAULT FIELD WIDTH zmeňte FIELD WIDTH z hodnoty 4 na hodnotu 20,
9. zmeňte formát znamienka z +/- na " /-.
10. zmeňte číselný formát zo STANDARD na SCIENTIFIC.
11. zmeňte počet desatinných miest NUM FRACT DIGITS zo 6 na 3,

12. kliknite na OK,
13. všimnite si, že program automaticky pridal vstupný dátový terminál a,
14. spojte výstupný dátový terminál objektu "A*B+Const" so vstupným terminálom a objektu To File,
15. na zobrazenie sínusových dát zvolte objekt Display - Alphanumeric a umiestnite ho napravo od objektov spektra z FFT,
16. spojte výstupný dátový terminál generátora sinusového signálu s dátovým vstupom objektu AlphaNumeric,
17. stlačte tlačítko Run na spustenie programu



Obr. 2.8 Program pre zápis dát do súboru

1. nastavením sa na pravý dolný roh objektu AlphaNumeric nastavte jeho veľkosť tak, aby bolo možné vidieť požadovaný počet údajov,
2. skontrolujte zapísaný súbor v preddefinovanom adresári a so zvoleným menom.

Takto navrhnutý program je zobrazený na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.**

2.8 Príklad 3: Transfer dát, užívateľský panel a funkcia pri prenose signálu s priemyselnou frekvenciou

Na Slovensku sa používa priemyselná frekvencia 50Hz, čo je frekvencia synchronných generátorov ako zdrojov elektrickej energie. Týmto príkladom bude demonštrovaný jav rušenia pri prenose informácie s touto frekvenciou náhodným šumom a vplyv šumu na jeho frekvenčné spektrum

Tento príklad poukazuje na používanie vstupno-výstupných funkcií, užívateľské nastavenie objektov pomocou dialógových volieb v menu Properties. Program bude riešiť nasledovné úlohy:

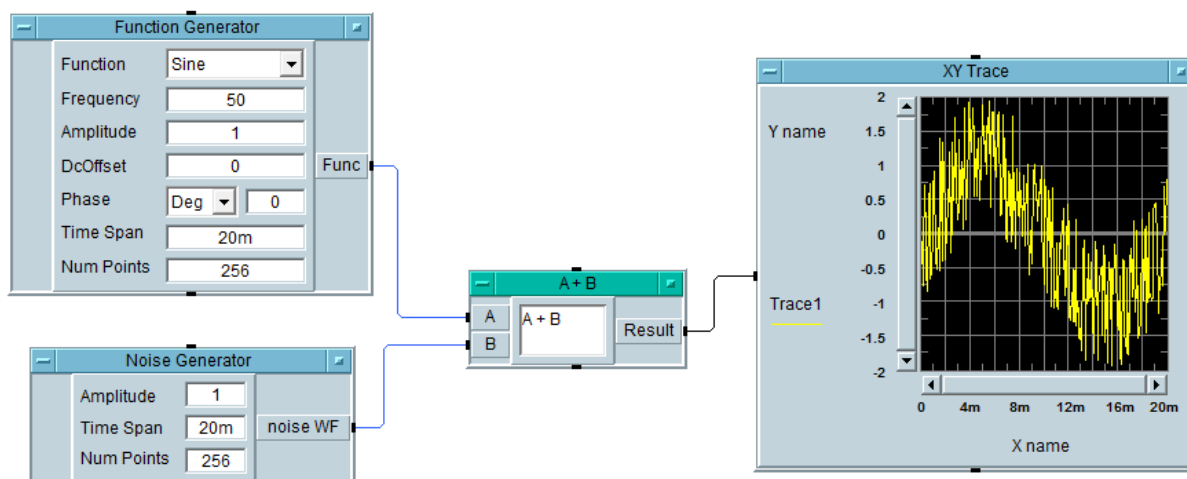
1. Dáta budú simulované a zobrazené
2. program bude štruktúrovaný a niektoré jeho časti budú "zabalené - pakované" do nových objektov
3. dáta budú analyzované a následne analýza pakovaná ako užívateľská funkcia
4. budú vytvorené dva panely main program a user function s pracujúcimi objektmi
5. budú generované a spracované dáta.

2.8.1 Generovanie dát simulujúcich meranie

Postupujte nasledovne:

1. otvorte nové okno pre program pomocou File – New,
2. vyberte Device - Virtual Source - Function Generator objekt na simuláciu merania reálnych dát,
3. vyberte objekt Device - Virtual Source - Noise Generator na simuláciu vplyvu rušenia na užitočný signál,
4. ponechajte prednastavené hodnoty virtuálnych zdrojov
5. vytvorte objekt pre vzorec z menu Device - Function & Object Browser - Type: Operators, Category: Arithmetic, Member:+. Select Create Formula.
6. spojte datové výstupy oboch zdrojov signálu dátovými vstupmi A a B objektu pre vzorec A+B
7. zvoľte objekt na zobrazenie Display - XY Trace a spojte výstupný dátový terminál Result objektu A+B s dátovým vstupom objektu XY Trace,
8. Spustite program tlačítkom Run.

Takto vytvorený program je na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.**



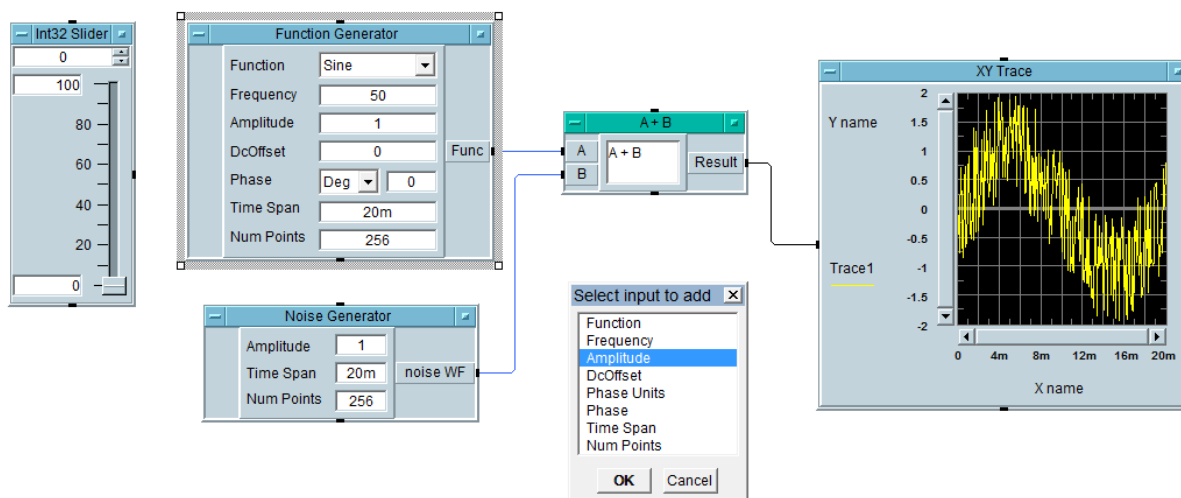
Obr. 2.9 Program pre simulovanie meraných dát

2.8.2 Pridanie ťahového a otočného potenciometra

Postupujte nasledovne:

1. zvoľte Data - Continuous – Int32 Slider objekt a umiestnite ho naľavo od funkčného generátora pre generovanie užitočného signálu kosínusovou vlnou
2. pridajte vstupný terminál funkčného generátora kliknutím na jeho ľavý horný roh a výberom možnosti Add Terminal - Data Input. Kliknite na Amplitude a potom na OK.

(pridávanie dátový vstupov a výstupov, resp. riadiacich vstupov a výstupov je možné vykonať skoro u všetkých objektov v závislosti na ich funkcii, je takto možné uskutočniť prenos rôznych typov premenných do vzorcov, záznamov, polí, parametrov určujúcich chovanie sa objektu a pod.)

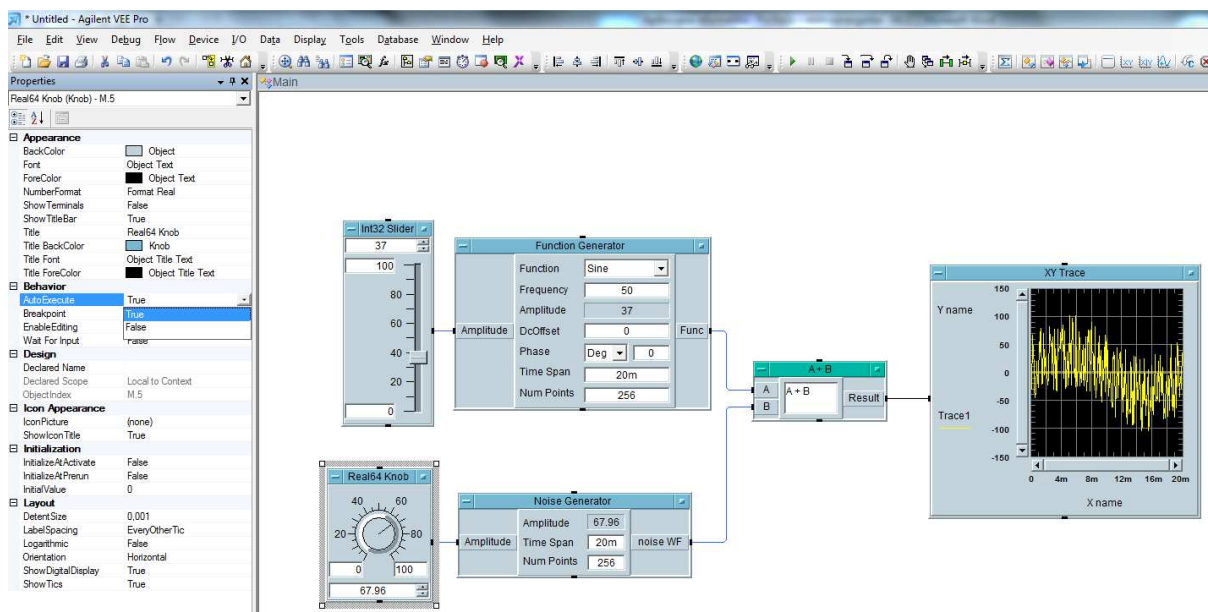


Obr. 2.10 Vytvorenie dátového vstupu pre riadenie amplitúdy

3. spojte dátový výstup z objektu Int32 Slider s dátovým vstupom Amplitude objektu Function Generator
4. teraz bude amplitúda riadená cez dátový vstup,
5. zvolte Data - Continuous - Real Knob.
6. Pridajte vstupný terminál pre riadenie amplitúdy na generátore šumu – Noise Generator – Amplitude
7. Takto navrhnutý program umožní riadenie amplitúdy generátora užitočného signálu a amplitúdy šumového generátora
8. Meňte amplitúdy kliknutím a ťahaním bežca na posuvnom potenciometri alebo otáčavým pohybom na otočnom potenciometri
9. Zvolené amplitúdy sú zobrazované v hornom resp. dolnom okienku oboch potenciometrov
10. Amplitúdu môžete meniť priamym zadáním hodnoty do vyššie uvedených okienok,
11. Hranice minimálnej a maximálnej hodnoty, v ktorej sa potenciometer pohybuje je možné meniť ich prepisom v príslušných okienkach,
12. Spustíte program tlačítkom Run

Takto navrhnutý program je zobrazený na obr. Obr. 6.11. Aby bolo možné aktivovať spustenie programu okamžite po zmene hodnôt potenciometra, je to potrebné nastaviť v jeho vlastnostiach. Postupujte nasledovne:

1. Kliknite na ľavý horný roh potenciometra
2. V okne pre nastavenie –Properties vlastností zmeňte pole Autoexecute z hodnoty False na hodnotu True
3. Zavrite okno Properties
4. Postup opakujte aj pri druhom potenciometri
5. Zmeňte hodnotu na potenciometri a program sa automaticky spustí



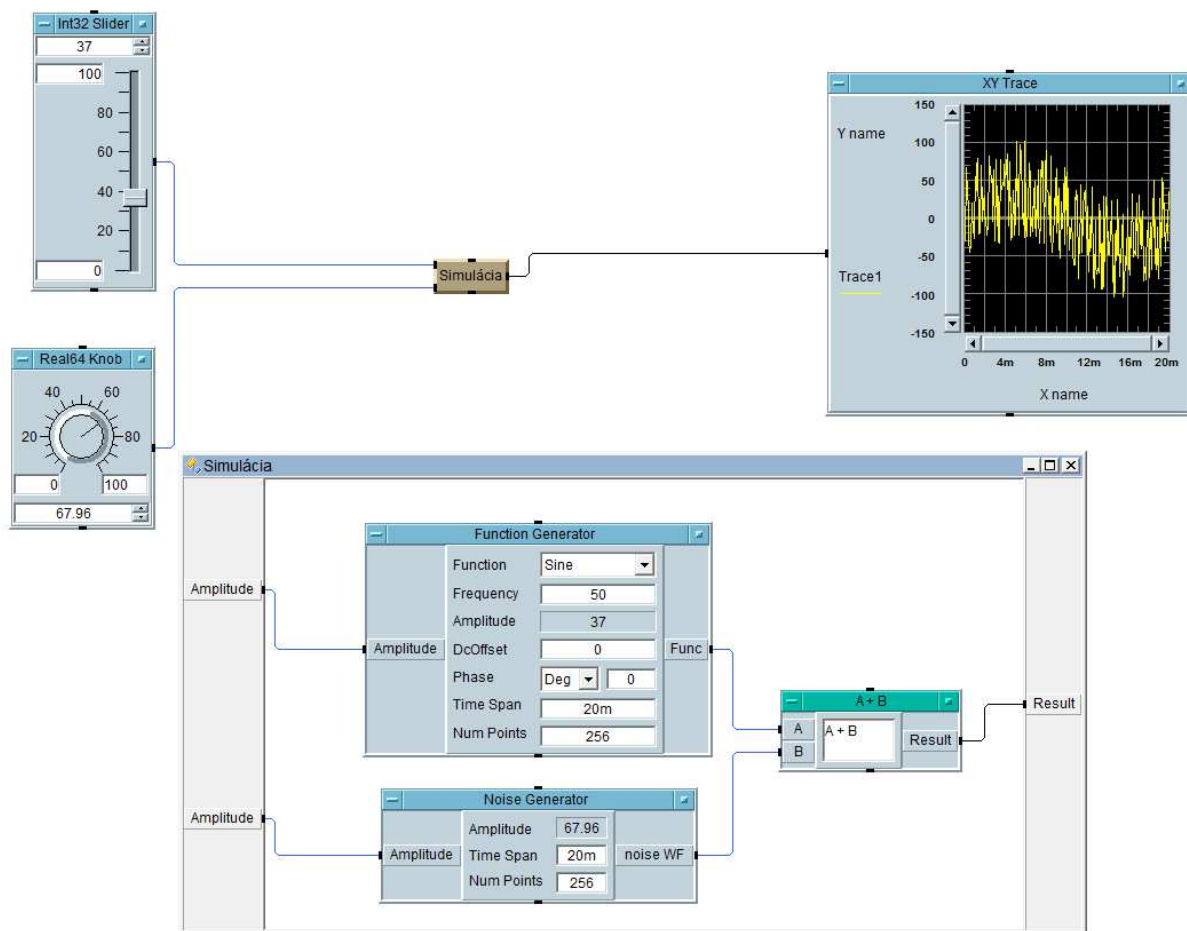
Obr. 2.11 Riadenie amplitúd generátorov potenciometrmi

2.8.3 Vytvorenie užívateľského objektu

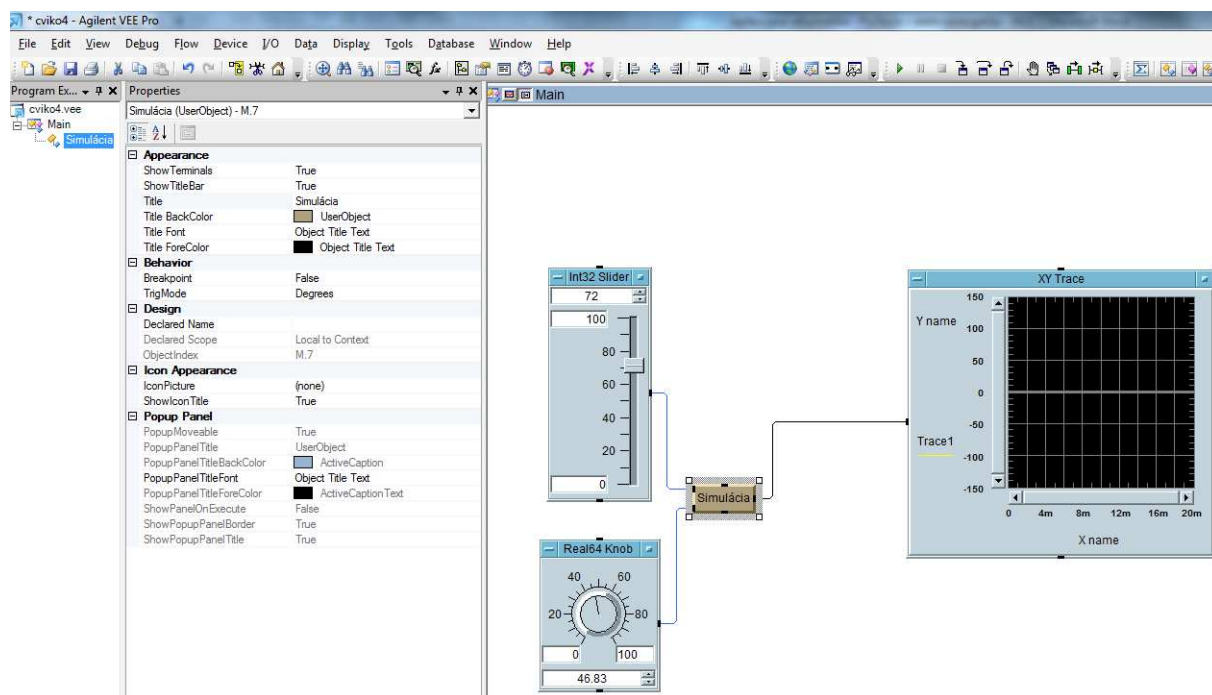
Užívateľský objekt je vytvorený užívateľom a neexistuje pri inštalácii programu. Užívateľský objekt slúži na spojenie viacerých existujúcich objektov do jedného užívateľského, pričom sa zachovávajú všetky dátové aj riadiace väzby. Postup na vytvorenie jedného možného užívateľského objektu je nasledovný:

1. Vyberte naraz objekty Function generator, Noise generator a A+B tak, že podržíte klávesu Ctrl a súčasne ľavým tlačítkom myši ich označujete,
2. Ak ste postupovali správne, okolo všetkých troch objektov je viditeľný sivý šrafovaný rám
3. Zvoľte z menu Edit možnosť Create UserObject,
4. Do poľa UserObject Title vpíšte "Simulácia"
5. kliknite na OK
6. Objaví sa užívateľský objekt, ktorého vnútornou súčasťou sú predtým tri zvolené objekty –Function Generator, Noise Generator, A+B,
7. Užívateľský objekt si zachoval dva vstupy pre riadenie amplitúd generátorov,
8. Užívateľský objekt má jeden výstup – Results -, ktorý reprezentuje dátový výstup z objektu A+B,
9. Minimalizujte užívateľský objekt kliknutím na tlačítko X v jeho pravom hornom rohu (pozor, aby ste nezavreli celkom program Agilent VEE kliknutím na X v pravom hornom rohu celej obrazovky,
10. Stlačte tlačítko Run
11. Meňte hodnoty pre nastavenie amplitúd pre oba generátory a opätovne stlačte tlačítko Run

Takto navrhnutý program je zobrazený včítane otvoreného zobrazenia užívateľského objektu na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.**



Obr. 2.12 Riadenie amplitúd generátorov potenciometrami



Obr. 2.13 Zobrazenie hierarchickej štruktúry programu s užívateľským objektom

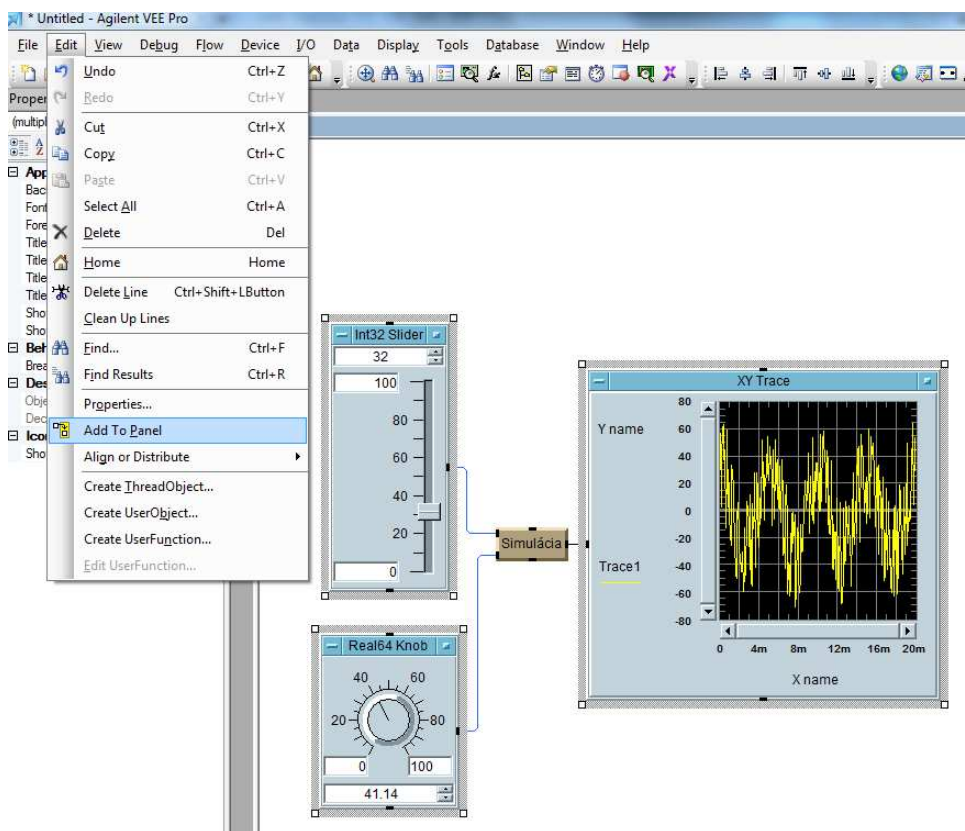
Štruktúru programu je možné vidieť v menu View povolením voľby Program Explorer. Ako je vidieť na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.**, o úroveň nižšie ako je hlavný program sa nachádza užívateľský objekt Simulácia. Priestorovú úsporu je možné docieľiť zrušením voľby pre zobrazenie Program Explorera.

2.8.4 Vytvorenie užívateľského panela

Užívateľský panel slúži na zobrazenie len tých objektov, ktoré programátor vyberie z hlavného okna. Zobrazujú sa pritom len definované objekty bez funkčných dátových a radiacich väzieb medzi nimi. Vizualne je možné objekty parametrizovať rozdielne v hlavnom okne a rozdielne v užívateľskom paneli. Zmazaním objektu z užívateľského panela nedochádza k jeho odstráneniu v hlavnom paneli. Zmazaním objektu v hlavnom paneli dôjde k jeho odstráneniu aj v užívateľskom paneli.

Pre vytvorenie možného užívateľského panelu postupujte nasledovne:

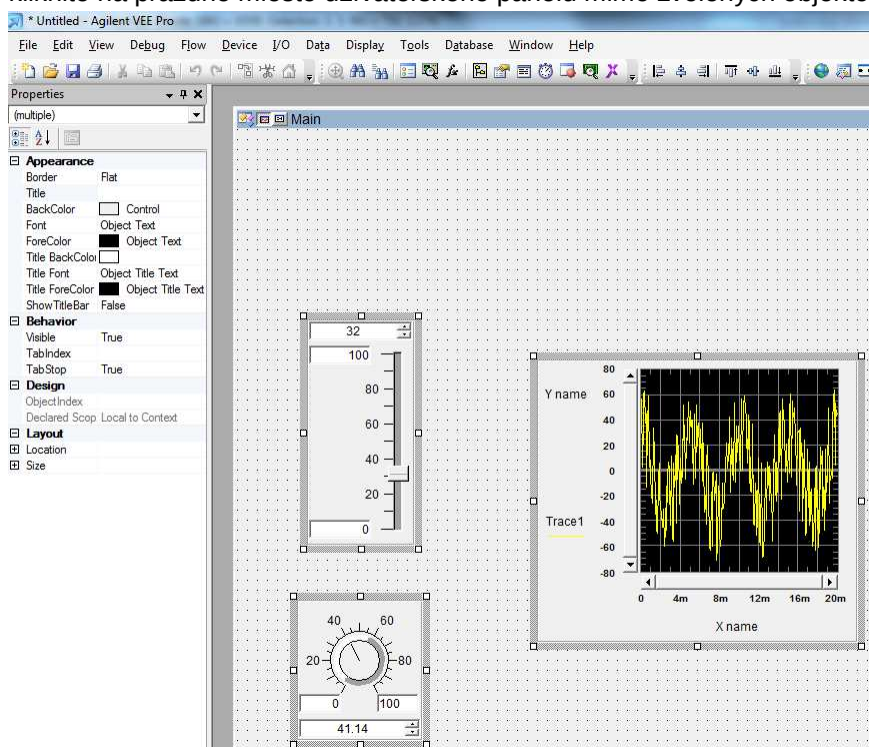
1. podržte stlačenú klávesu Ctrl a postupne označujete tie objekty, ktoré budú zobrazené aj v užívateľskom paneli,
2. v tomto prípade sú to objekty potenciometrov pre riadenie amplitúd generátorov a zobrazovač XY Trace
3. zvolíte v menu Edit možnosť Add To Panel tak, ako je to zobrazené na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.**



Obr. 2.14 Pridávanie objektov z hlavného okna do užívateľského panela

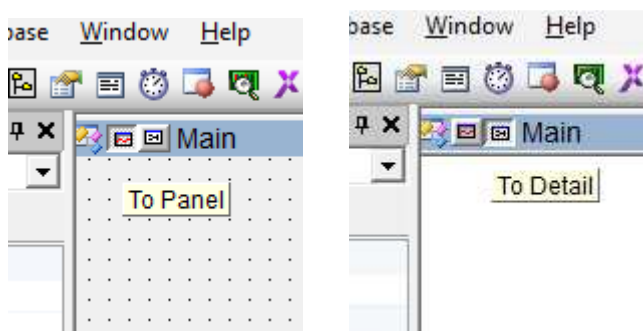
4. Agilent VEE vytvorí nové okno ktoré obsahuje vybrané objekty
5. v tomto štádiu programovania ostávajú naďalej vybrané všetky zvolené objekty a teraz vykonávané zmeny sa budú týkať ich všetkých – napr. premiestňovanie, ako je to

zobrazené na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.**, na zrušenie spoločného výberu kliknite na prázdne miesto užívateľského panelu mimo zvolených objektov



Obr. 2.15 Zvolené objekty importované do užívateľského panelu

6. nové okno s užívateľským panelom je možné prispôbovať čo do pozície, veľkosti a tak isto meniť pozíciu, veľkosť, popis, farebnú škálu, fonty ... objektov v ňom,
7. prepínanie medzi užívateľským panelom a hlavným vývojovým oknom sa vykonáva kliknutím na ľavú ikonku To Panel resp. pravú ikonku To Detail ako je to zobrazené na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.**



Obr. 2.16 Prepínanie medzi užívateľským panelom a hlavným vývojovým oknom

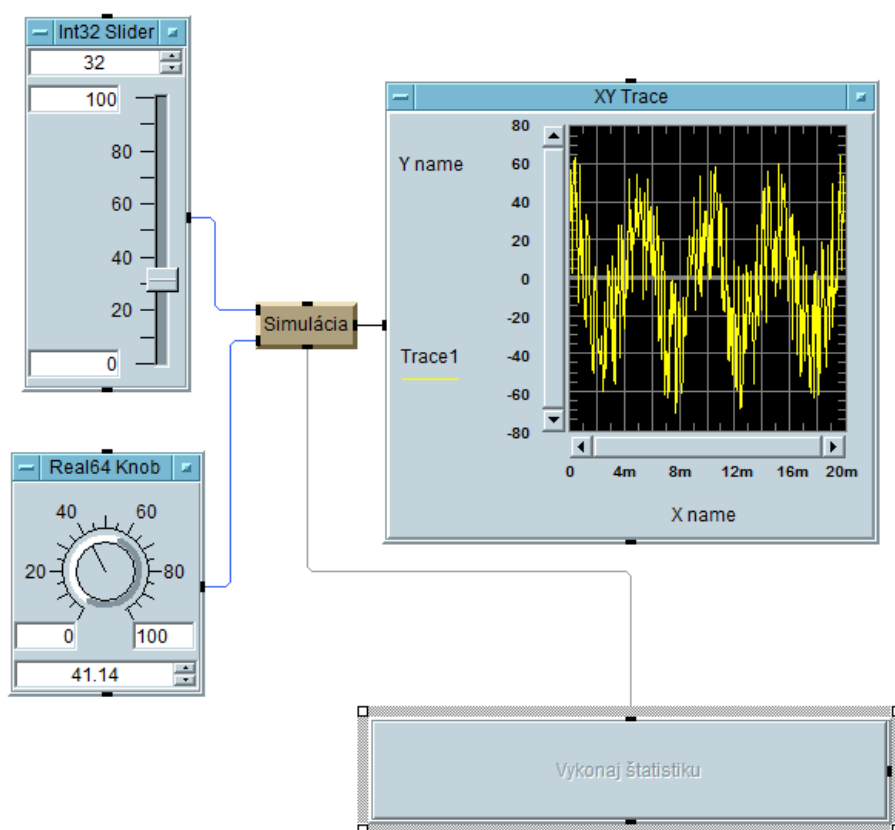
Spustenie programu v užívateľskom paneli sa vykonáva rovnako ako v hlavnom vývojovom okne kliknutím na tlačítko Run v lište nástrojov

2.8.5 Riadenie toku programu

Riadenie toku programu je možné uskutočniť niekoľkými spôsobmi. Poukázané bude na možnosť čakania na povel na ďalšie pokračovanie od operátora programu. Vo všeobecnosti sa využíva prepojenie riadiacich vstupov a výstupov tak, aby sa dosiahla logická sekvenčná návaznosť vykonávania jednotlivých objektov vo zvolenom poradí.

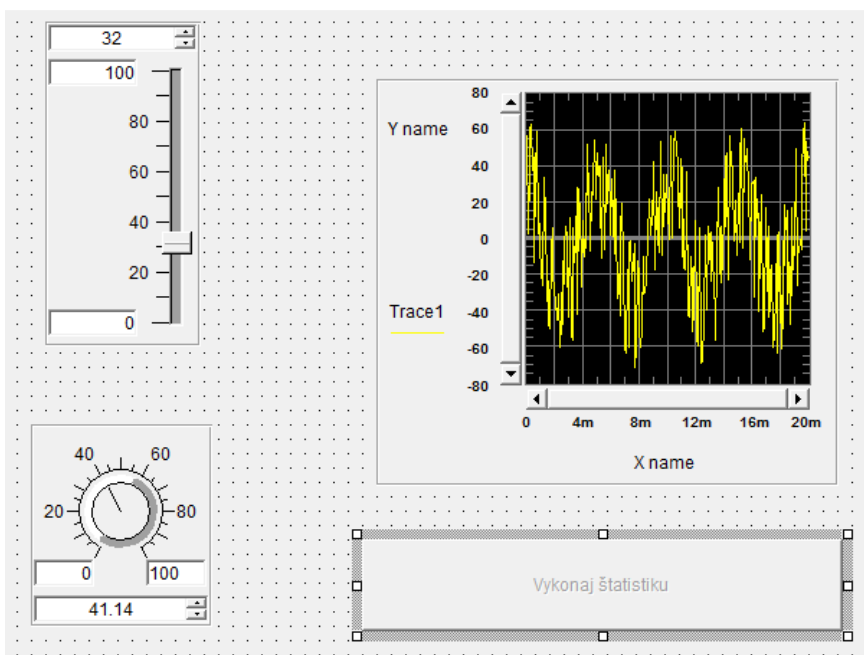
Pre tento príklad postupuje nasledovne:

1. Prepnete sa späť do hlavného vývojového okna - To Main,
2. Zvoľte z menu Flow objekt Confirm (OK).
3. Spojte riadiaci výstupný terminál užívateľského objektu Simulácia s riadiacim vstupom objektu Confirm (OK), tento objekt po svojej aktivácii zastaví vykonávanie programu a čaká na kliknutie na seba, po ktorom nasleduje pokračovanie toku programu,
4. Zmeňte nápis objektu Confirm (OK) z OK na Vykonaj štatistiku vyvolaním vlastností kliknutím na ľavý horný roh a v menu Properties zmenou položky Title field.
5. Zväčšíte tlačítko na takú veľkosť, aby bol popis viditeľný pridržením jeho pravého dolného rohu a následným posúvaním,



Obr. 2.17 Riadenie toku programu objektom Confirm (OK) vo vývojovom paneli

Program v tomto štádiu vývoja je zobrazený na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.**



Obr. 2.18 Riadenie toku programu objektom Confirm (OK) v užívateľskom paneli

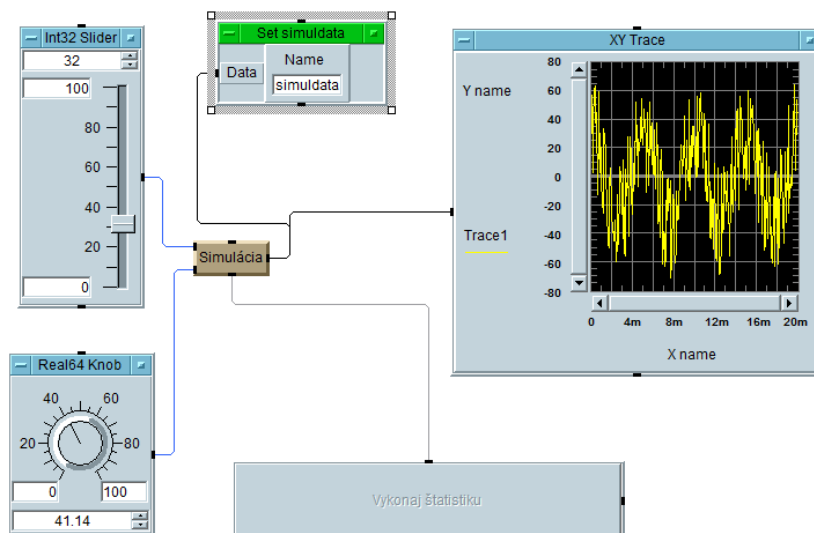
6. Kliknutím zvolíte na objekt Vykonaj štatistiku a voľbou Add to Panel ho umiestnite do užívateľského panelu
7. Umiestnite ho priestorovo a veľkosťou vhodne na užívateľskom paneli
8. Stlačte tlačítko Run na spustenie programu.

Všimnite si, že pres spustením programu je popis objektu Vykonaj štatistiku sivý. Po spustení programu dôjde k jeho aktivácii a text je čierny. Je možné naň kliknúť a následne program pokračuje vo vykonávaní ďalej.

2.8.6 Definovanie globálnych premenných

Globálne premenné sú také premenné, ktoré sú k dispozícii vo všetkých úrovniach programu včítane jadra užívateľských objektov a funkcií bez toho, aby boli privedené na ich dátové vstupy. Pre ich zadefinovanie postupujte nasledovne:

1. Zvolte objekt z menu Get Data - Variable - Set Variable a umiestnite ho na vývojovej ploche
2. Spojte výstupný dátový terminál užívateľského objektu Simulácia so vstupným dátovým terminálom Data objektu Set Variable,
3. Premenujte názov globálnej premennej globalA prepísaním jej názvu vo vnútornom poli objektu na simuldata
4. Všimnite si, že automaticky došlo k prepísaniu názvu objektu na definovanie hodnoty globálnej premennej zo Set Variable na Set simuldata



Obr. 2.19 Nastavenie hodnoty globálnej premennej

Uvedená skutočnosť je zobrazená na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.**

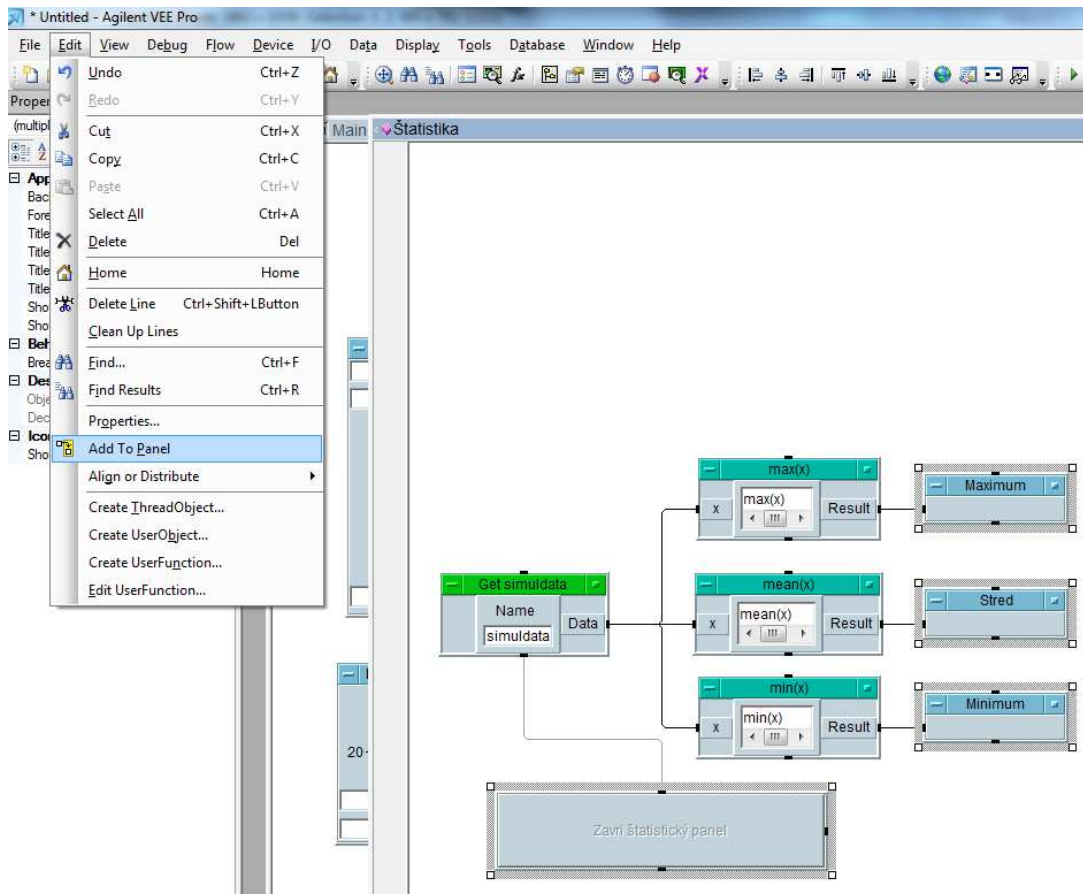
2.8.7 Vytvorenie podprogramu – užívateľskej funkcie používajúcu globálnu premennú

Užívateľská funkcia slúži na vytvorenie funkcie, ktorá nie je pôvodne súčasťou inštalovaného vývojového prostredia a je svojou štruktúrou podobná užívateľskému objektu. Používa sa však podobne, ako je to v prípade vstavanej funkcie, avšak pomocou objektu Call.

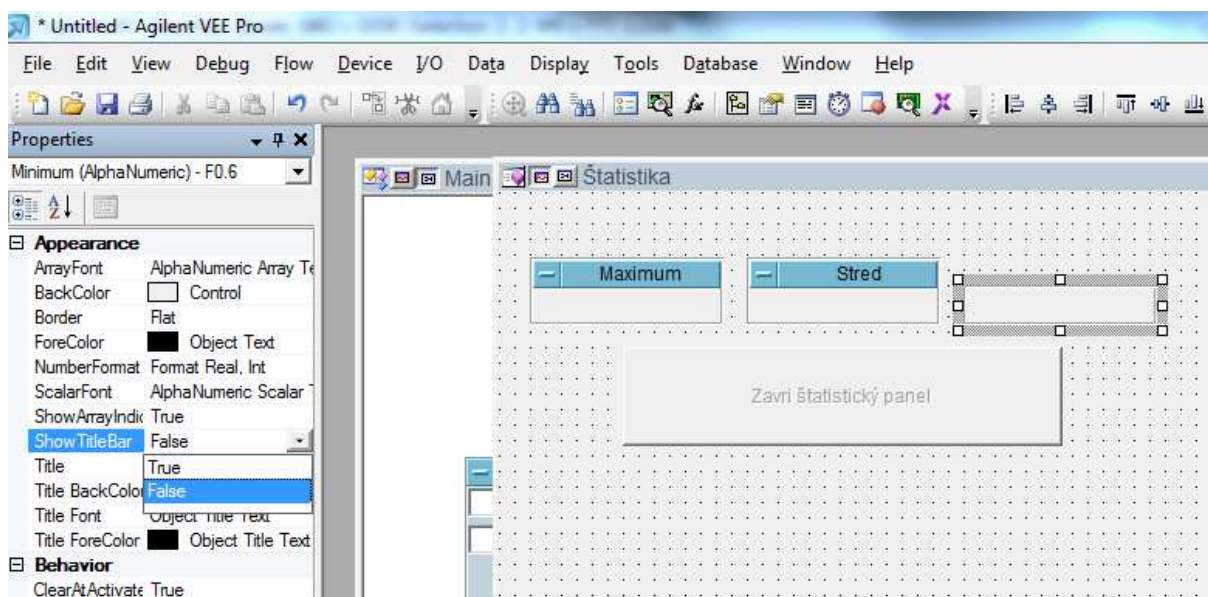
Použite nasledovný postup:

1. Zvoľte Device – UserFunction
2. Vytvorí sa vnútorne prázdny objekt
3. Zvoľte Data - Variable - Get Variable
4. Zmeňte meno preddefinovanej globálnej premennej globalA na simuldata
5. použite Device - Function & Object Browser (alebo kliknite na fx tlačítko v nástrojovej lište) a Type: Built-in Functions, Category: Probability & Statistics, Method:max a vyberte Create Formula.
6. Pomocou tlačítka fx - Type: Built-in Functions, Category: Probability & Statistics, Method:min vyberte Create Formula.
7. Pomocou tlačítka fx - Type: Built-in Functions, Category: Probability & Statistics, Method:median vyberte Create Formula.
8. Spojte dátový výstup objektu pre získanie hodnoty globálnej premennej simuldata s dátovými vstupmi objektov pre výpočet maximum, minimum, a medianu,
9. Zvoľte Display – Alphanumeric,
10. Pomocou voľby Clone vo vlastnostiach objektu AlphaNumeric vytvorte ešte dve jeho identické kópie
11. Zmeňte názvy AlphaNumeric objektov na Minimum, Maximum a Stred
12. Spojte dátové výstupy z objektov pre výpočet maximum, minimum, a medianu s dátovými vstupmi pre zobrazovanie ich hodnoty,
13. Z menu Flow vyberte objekt Confirm (OK),
14. Spojte riadiaci výstupný terminál objektu Get simuldata s riadiacim vstupom objektu Confirm (OK)
15. Zmeňte názov objektu Confirm (OK) na Zavri štatistický panel,
16. Zmeňte veľkosť objektu Zavri štatistický panel tak, aby bol viditeľný jeho celý názov

17. Pre vytvorenie užívateľského panelu funkcie Štatistika označte tri zobrazovače hodnôt Minimum, Maximum a Stred a objekt Zavri štatistický panel pri súčasnom podržaní klávesy Ctrl
18. Zvoľte Edit - Add to Panel tak, ako je to zobrazené na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.**

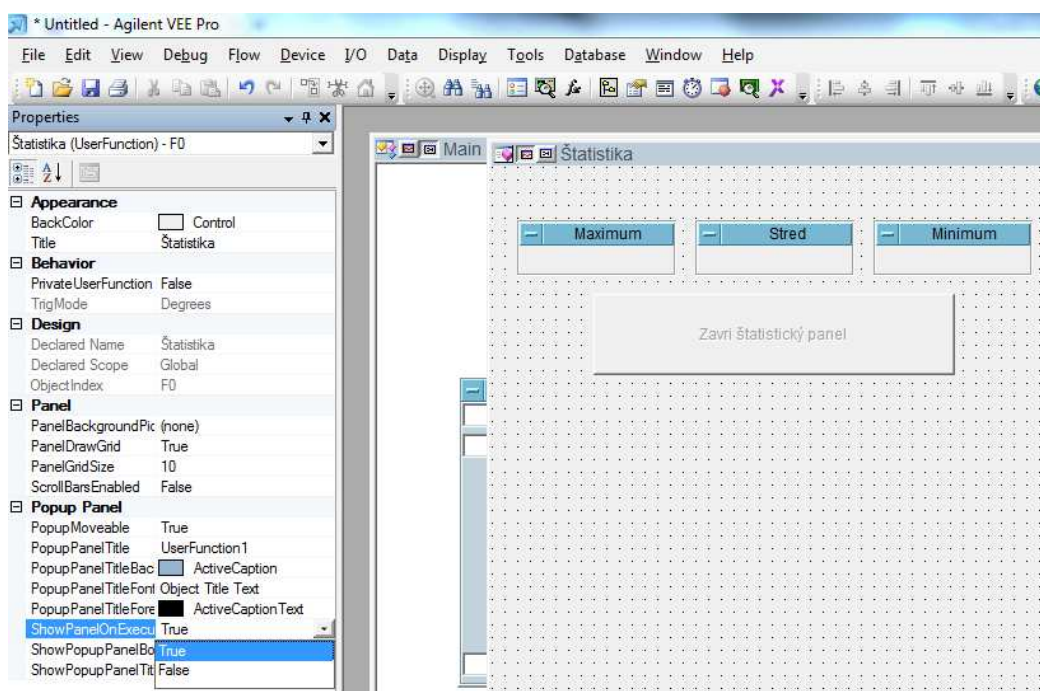


Obr. 2.20 Výber objektov do užívateľského panela užívateľskej funkcie

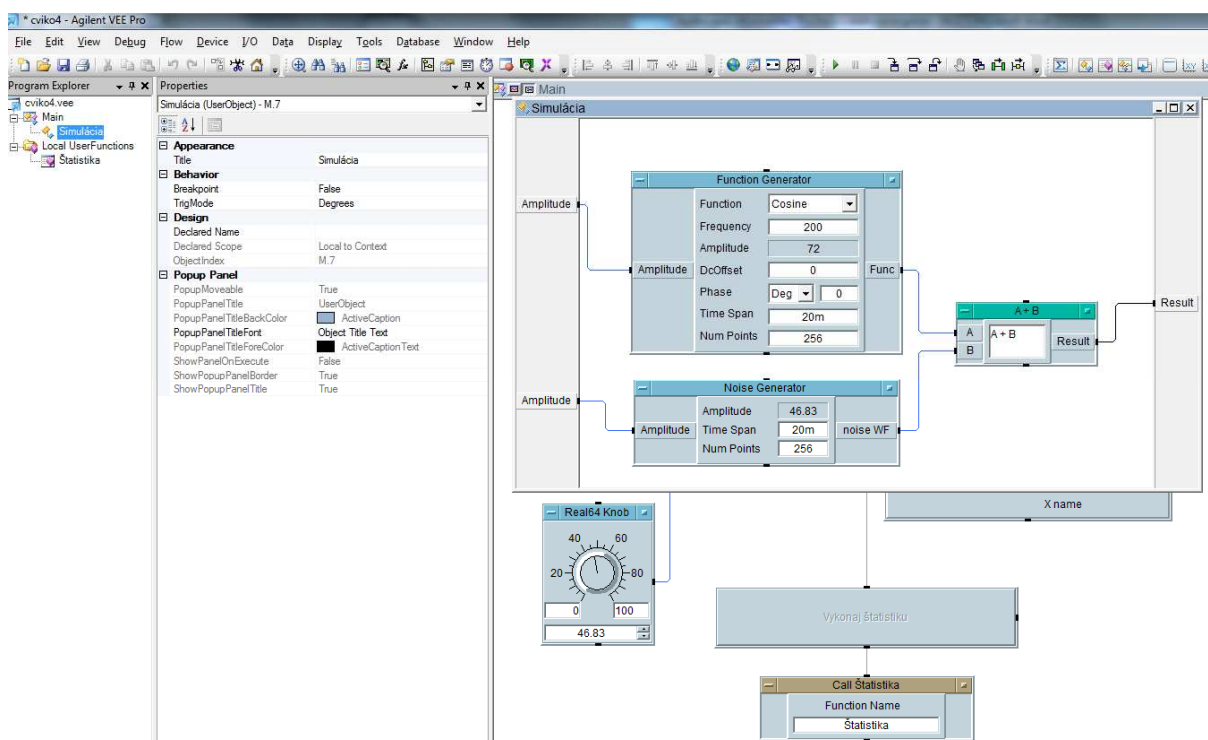


Obr. 2.21 Zobrazenie názvov objektov v užívateľskom paneli

19. Umiestnite objekty na požadované miesto a nastavte ich veľkosť
20. Pre zobrazenie názvu objektov v ich hlavičke zmeňte vo vlastnostiach príslušného objektu hodnotu poľa Show TitleBar z False na True
21. Aby bol užívateľský panel funkcie aktívny počas jej činnosti je potrebné to zmeniť v jeho vlastnostiach, kliknite pravým tlačítkom myši na hlavičku užívateľského objektu kde je jeho meno, zvolte Properties a v poli Show PanelOnExecute zmeňte hodnotu False na True

**Obr. 2.22 Zobrazenie názvov objektov v užívateľskom paneli**

22. Počas otvorených vlastností – Properties zmeňte názov užívateľskej funkcie z UserFunction na Štatistika v poli Title
23. Stlačte OK
24. Zatvorte užívateľský panel funkcie kliknutím na X v jeho pravom hornom rohu, opäť pozor, aby ste nezatvorili celý program Agilent VEE
25. Opätovne zapnite Program Explorer jeho povolením v menu View
26. V zobrazenej štruktúre je možné vidieť hierarchické usporiadanie programu
27. Pod názvom hlavného okna – Main sú zadefinované užívateľské objekty – v našom prípade Simulácia, ľavým dvojklikom na názov užívateľského objektu je možné priamo otvoriť jeho vnútornú štruktúru
28. Pod položkou Local UserFunctions sa nachádza zoznam zadefinovaných užívateľských funkcií, opätovne dvojklikom na názov príslušnej funkcie je možné otvoriť jej vnútornú štruktúru
29. Uvedené možnosti sú zobrazené na obr**Chyba! Neplatné prepojenie.**



Obr. 2.23 Zobrazenie vnútornej štruktúry užívateľského objektu

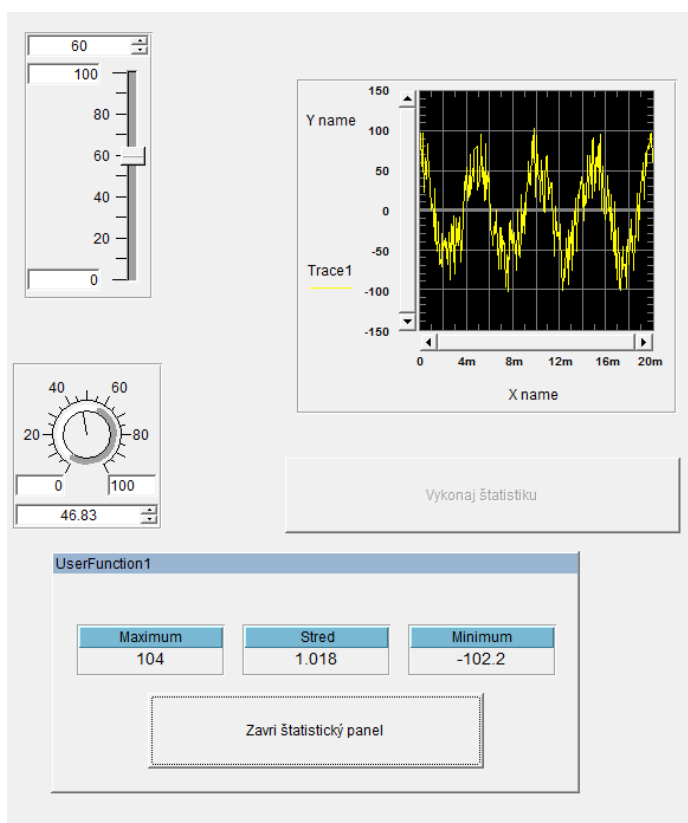
2.8.8 Volanie užívateľskej funkcie z hlavného programu

Raz zadefinovaná užívateľská funkcia je prístupná pre program tak ako je to aj v prípade preddefinovaných vstavaných funkcií. Je ju však potrebné volať špeciálnym objektom Call. Postupujte nasledovne:

1. Vypnite Program Explorer cez voľbu v menu View alebo jednoduchým kliknutím na X v jeho pravom hornom rohu
2. Prepnite sa na hlavné vývojové okno Main
3. Zvoľte v menu Device objekt Call a umiestnite ho hneď pod objekt riadenia toku programu Vykonaj štatistiku
4. Zmeňte preddefinovaný názov myfunction v poli Function Name na názov, ktorý bol priradený užívateľskej funkcii, ktorú chceme volať – Štatistika
5. Všimnite si, že automaticky došlo k zmene pôvodného názvu objektu Call myfunction na nový názov Call Štatistika
6. Spojte riadiaci výstupný terminál objektu Vykonaj štatistiku s riadiacim vstupom objektu Call Štatistika
7. Prepnite sa na užívateľský panel celého programu
8. Nastavte požadované hodnoty na potenciometroch
9. Spustite program tlačítkom Run v lište nástrojov

Program bude pracovať do bodu, kým sa neaktivuje objekt Vykonaj štatistiku. Po potvrdení voľby – kliknutím na tento objekt dôjde k vyvolaniu užívateľskej funkcie Štatistika a k zobrazeniu jej užívateľského panelu. V paneli budú zobrazené hodnoty zo štatistickej analýzy dát a následne bude aktivovaný objekt pre zatvorenie užívateľského panelu funkcie. Po potvrdení sa riadenie programu vráti na jeho hlavnú úroveň a program sa ukončí.

Program s otvoreným užívateľským panelom vyvolanej funkcie je zobrazený na obr. **Chyba! Neplatné prepojenie.**

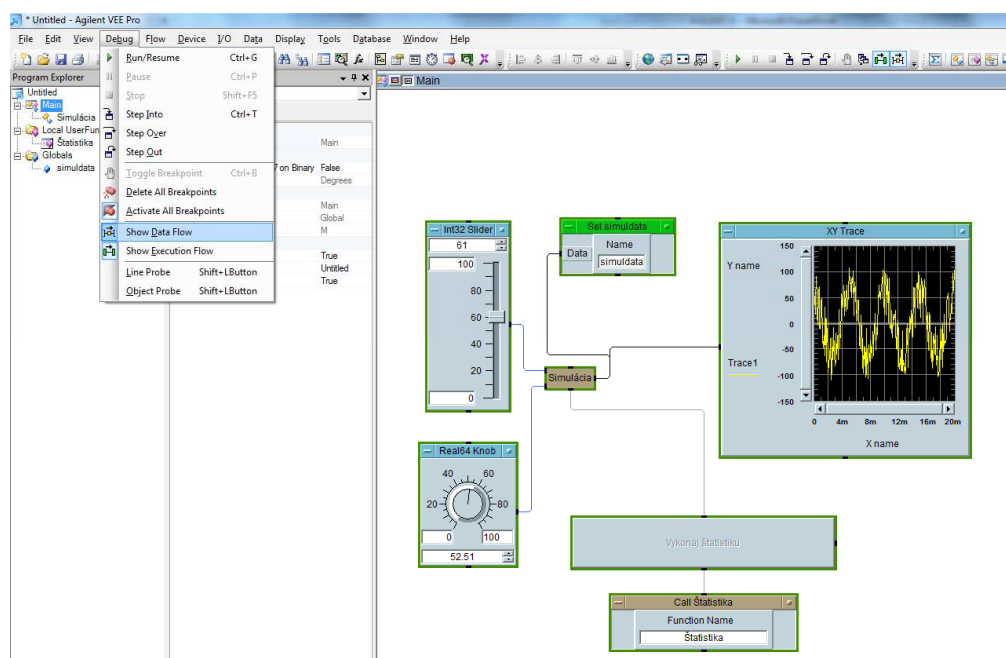


Obr. 2.24 Spustený program s užívateľským panelom funkcie

2.8.9 Odlaďovanie programu

Pre odlaďovanie programu je vhodné použiť možnosť zobrazenia toku dát a toku aktivácie jednotlivých objektov. Postup je nasledovný:

1. Zastavte bežiaci program tlačítkom Stop v nástrojovej lište alebo voľbou Stop v menu Debug
2. Ubezpečte sa, že všetky objekty sú spojené tak, ako je to zobrazené na obr.2.25
3. Použite voľbu v menu Debug - Show Data Flow, ktorá zobrazí postup dát tak, ako sú spracovávané a odovzdávané jednotlivými objektmi
4. Použite voľbu Debug - Show Execution Flow, ktorá postupným zvýrazňovaním objektov ilustruje tok programu od jedného objektu k druhému, všimnite si, že v jednom okamžiku je aktivovaný vždy len jeden objekt.



Obr. 2.26 Animácia aktivácie riadenia toku programu a dát

Informačné zdroje – knihy, články, projekty, virtuálne a vzdialené laboratória, hypernews

- [1] http://www.tnu.edu.vn/sites/quynhntt/Bi%20ging%20chia%20s/industrial%20automation/AI_140_Hierarchy.ppt
- [2] http://lamspeople.epfl.ch/kirrmann/Slides/AI_150_Architecture.ppt
- [3] Getting Started with HP VEE, Hewlett-Packard 1995 - 2011
- [4] Graphical Programming, A tutorial for HP VEE, Hewlett-Packard 1995 - 2011
- [5] http://findarticles.com/p/articles/mi_m0EIN/is_1997_Oct_13/ai_19857292/
- [6] <http://www.ra.cs.uni-tuebingen.de/downloads/JavaNNS/>
- [7] <http://www.findthatfile.com/search-9412947-hDOC/download-documents-nntutorial.ppt.htm>

Model obnoviteľných zdrojov energie aktivity 2.3 projektu VUKONZE realizovaný v prostredí MATLAB/Simulink

Ing. Martin Kanálik, PhD.

1 Model obnoviteľných zdrojov energie aktivity 2.3 projektu VUKONZE realizovaný v prostredí MATLAB / Simulink

Po inštalácii a sprevádzkovaní troch typov fotovoltických panelov (monokryštalických, polykryštalických a amorfných) v podobe šiestich blokov (jednej trojice fixných panelov a jednej trojice polohovaných panelov) bol v prostredí programu MATLAB/Simulink verzia R2012b vytvorený model prevádzky jednotlivých blokov.

1.1 Charakteristika prostredia MATLAB/Simulink

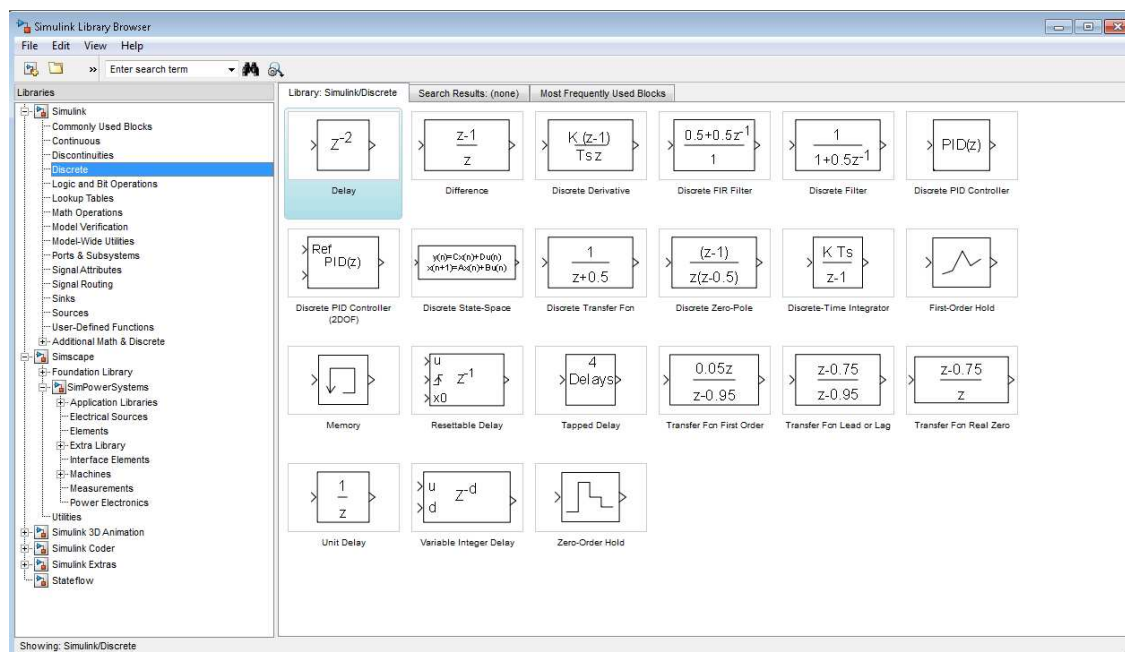
MATLAB je integrované prostredie pre vedeckotechnické výpočty, modelovanie, návrhy algoritmov, simulácie, analýzu a prezentáciu dát, paralelné výpočty, meranie a spracovanie signálov, návrhy riadiacich a komunikačných systémov. MATLAB je nástroj ako pre pohodlnú interaktívnu prácu, tak pre vývoj širokého spektra aplikácií.[1]

Simulink je nadstavba MATLABu pre simuláciu a modelovanie dynamických systémov, ktorý využíva algoritmy MATLABu pre numerické riešenie nelineárnych diferenciálnych rovníc. Poskytuje užívateľovi možnosť rýchlo a ľahko vytvárať modely dynamických sústav vo forme blokových schém a rovníc.[1]

Okrem štandardných úloh dovoľuje Simulink rýchlo a presne simulovať i rozsiahle "stiff" systémy s efektívnym využitím pamäte počítača. Pomocou Simulinku a jeho grafického editora je možné vytvárať modely lineárnych, nelineárnych, v čase diskretných alebo spojitých systémov jednoduchým presúvaním funkčných blokov myšou. Simulink tiež umožňuje spúšťať určité časti simulačnej schémy na základe výsledku logickej podmienky. Tieto spustené a povoloované subsystémy umožňujú použitie programu v náročných simulačných experimentoch. Samozrejmou je otvorená architektúra, ktorá dovoľuje užívateľovi vytvárať si vlastné funkčné bloky a rozširovať už tak bohatú knižnicu Simulinku. Hierarchická štruktúra modelov umožňuje koncipovať i veľmi zložité systémy do prehľadnej sústavy subsystémov prakticky bez obmedzenia počtu blokov. Simulink, rovnako ako MATLAB, umožňuje pripojovať funkcie napísané užívateľom v jazyky C. Grafické možnosti Simulinku je možné priamo využiť k tvorbe dokumentácie. Medzi neoceniteľné vlastnosti Simulinku patrí nezávislosť užívateľského rozhrania na počítačovej platforme. Prenositelnosť modelov a schém medzi rôznymi typmi počítačov umožňuje vytvárať rozsiahle modely, ktoré vyžadujú spoluprácu väčšieho kolektívu riešiteľov na rôznych úrovniach.[1]

Otvorená architektúra Simulinku viedla ku vzniku knižníc blokov, nazývaných blocksety, ktoré rozširujú základnú knižnicu blokov Simulinku a umožňujú použitie programu v príslušných vedných a technických odboroch. Knižnice je možné rozširovať i o vlastné bloky, vytvorené užívateľom.[1]

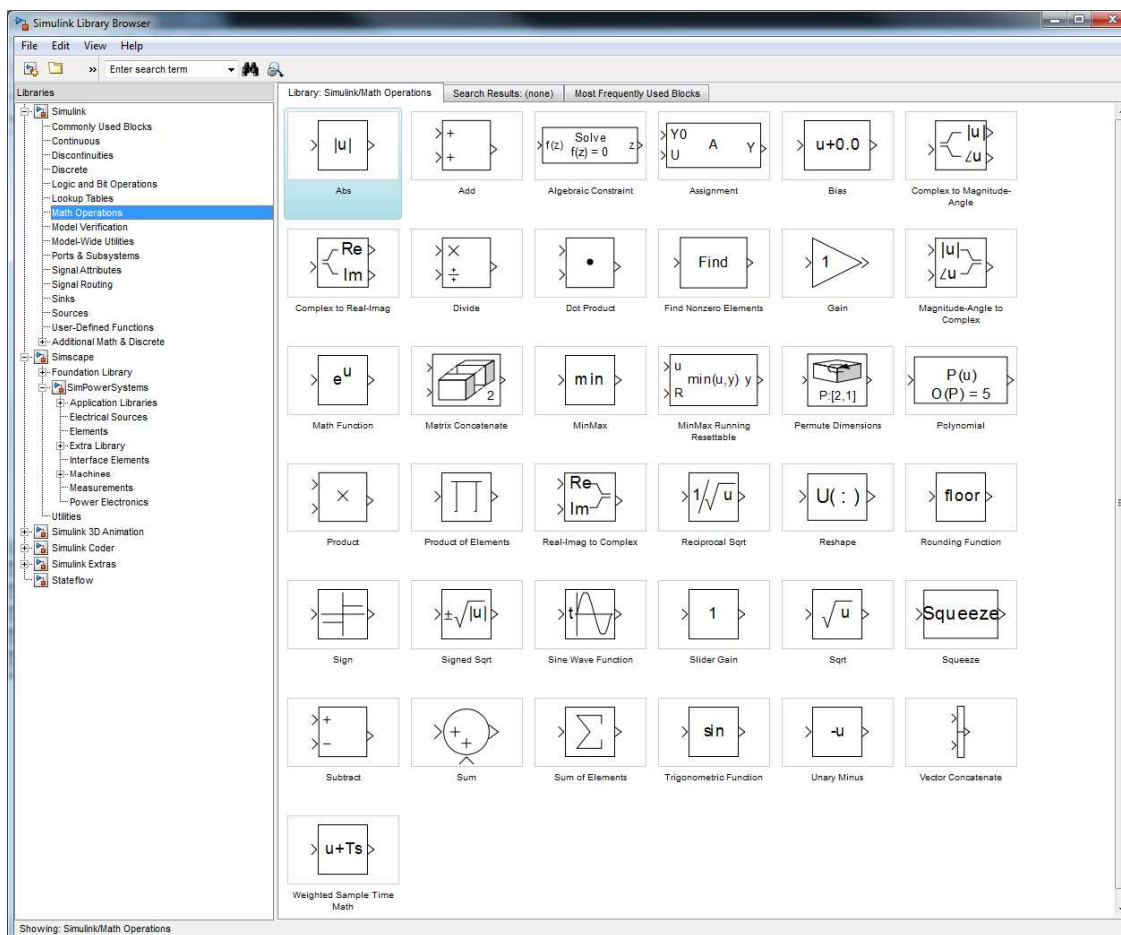
Na nasledujúcich obrázkoch budú postupne predstavené knižnice Simulinku, z ktorých bloky boli využívané pri tvorbe modelu. Na Obr. 1-1 je zobrazená ponuka knižnice blokov *Discrete*, z ktorej bo v modeli použitý blok *Memory*. Tento blok podrží a oneskorí svoj vstup o jeden časový krok. Vstupom aj výstupom bloku môže byť aj signál typu „continuous“.



Obr. 1-1 Zobrazenie ponuky knižnice blokov „Simulink/Discrete“

Na Obr. 1-2 je zobrazená ponuka knižnice blokov „Simulink/Math Operations“. Z knižnice *Math Operations* boli v modeli použité nasledujúce bloky:

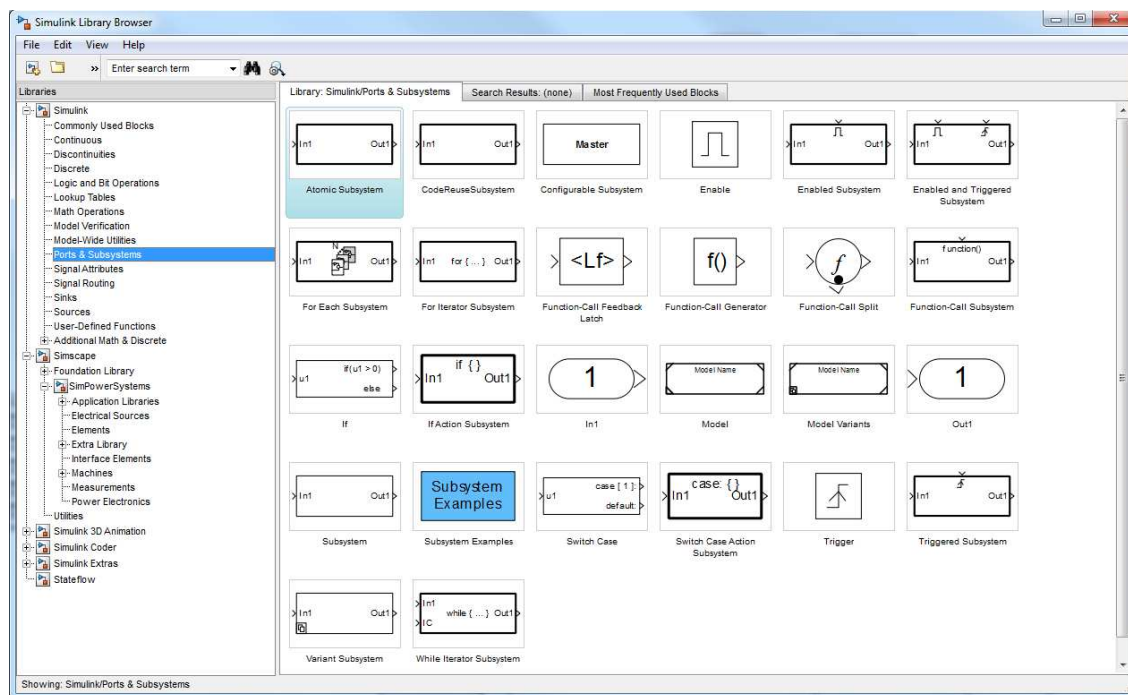
- **Add** – uskutočňuje sčítavanie alebo odčítavanie vstupov do tohto bloku. Tento blok je možné využiť na sčítavanie alebo odčítavanie vstupov v podobe skalárov, vektorov alebo matic. Počet vstupov bloku, ako aj to, či sa daný vstup má k ostatným signálom sčítavať alebo odčítavať sa zadáva postupnosťou znakov plus (+) resp. mínus (-). Napríklad, ak majú byť na vstupe tri signály, pričom prvý a tretí sa majú sčítať a prostredný signál sa má odčítať, do ponuky „List of signals:“ dialógového okna sa napíše „+-+“. Všetky vstupné signály bloku musia mať rovnaký rozmer.
- **Gain** – vynásobí (zosilní) vstupný signál zadanou konštantnou hodnotou. Konštantu, ktorou sa má vstupný signál násobiť je možné zadať aj pomocou matematického vzťahu.
- **MinMax** – výstupom z tohto bloku je buď minimálny alebo maximálny prvok alebo prvky zo vstupných signálov. Či má byť na výstupe bloku minimum alebo maximum sa špecifikuje výberom potrebného parametra so zoznamu ponuky „Function:“ dialógového okna bloku. Všetky vstupné signály bloku musia mať rovnaký rozmer. V prípade, ak je jeden zo vstupov skalár a iný nie, blok automaticky rozšíri skalárny vstup na rozmer neskalárneho vstupného signálu. Výstupný signál má rovnaký rozmer ako vstupný signál. Blok MinMax ignoruje vstupné hodnoty NaN (Not A Number) okrem prípadu, ak je každá hodnota NaN. V takom prípade je na výstupe bloku tiež hodnota NaN, či už ako skalár alebo ako vektor.
- **Subtract** – blok slúži na odčítavanie dvoch alebo viacerých signálov. Má rovnaké funkčné vlastnosti ako blok *Add*.



Obr. 1-2 Zobrazenie ponuky knižnice blokov „Simulink/Math Operations“

Na Obr. 1-3 je zobrazená ponuka knižnice blokov „Simulink/Ports & Subsystems“. Z knižnice *Ports & Subsystems* boli v modeli použité nasledujúce bloky:

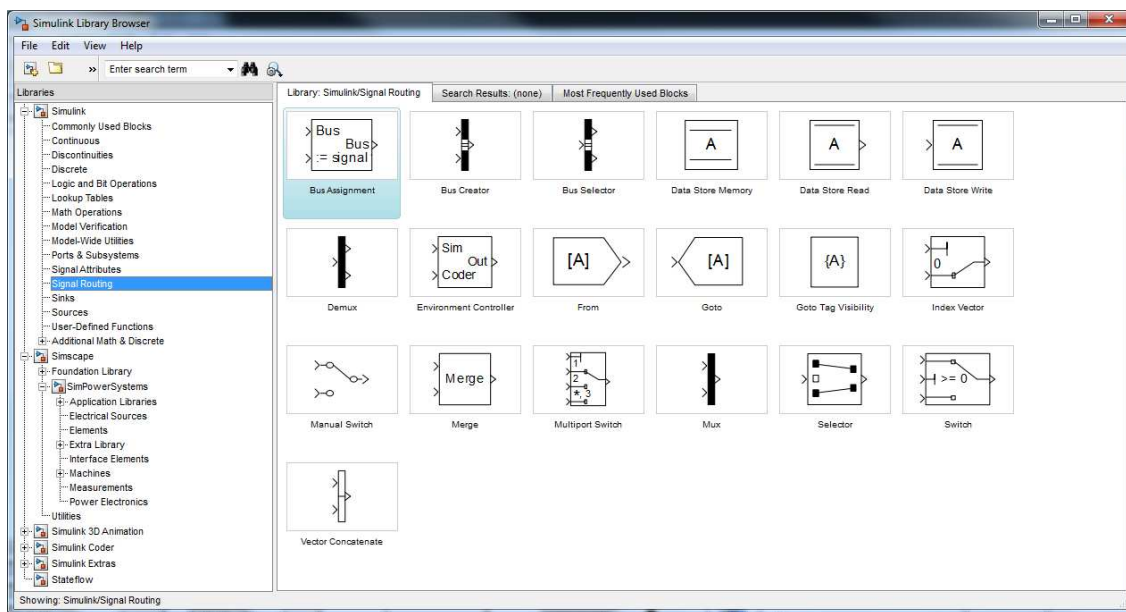
- *If* – blok *If* spolu s blokmi *If Action Subsystem*, ktoré obsahujú bloky *Action Port*, implementuje do modelu štandardnú „if-else“ logiku, aká sa využíva napríklad v programovacích jazykoch typu C. Každý výstupný port bloku *If* je pripojený na blok *If Action Subsystem*. Blok *If* na základe zadaných podmienok určuje, ktorý z blokov *If Action Subsystem* pripojený na jeho výstupy bude v prípade danej hodnoty vstupného signálu reagovať. Podmienky sú vyhodnocované postupne zhora nadol začínajúc podmienkou „if“. Ak je vyhodnocovaná podmienka splnená (true), príslušný blok *If Action Subsystem* je vykonaný a blok *If* nepokračuje vo vyhodnocovaní ďalších podmienok. V rámci bloku *If* je možné zadať aj viacero podmienok typu „elseif“.
- *If Action Subsystem* – je blok, ktorý je predkonfigurovaný ako subsystém, ktorý bude vykonaný na základe spúšťacieho impulzu bloku *If*.
- *In1* – slúži ako prepojenie z vonkajšieho systému do daného systému (subsystému), pričom tento blok privádza signál z vonkajšieho systému do daného systému (subsystému)
- *Out1* – slúži ako prepojenie z vonkajšieho systému do daného systému (subsystému), pričom tento blok odvádza signál z daného systému (subsystému) do vonkajšieho systému.



Obr. 1-3 Zobrazenie ponuky knižnice blokov „Simulink/Ports & Subsystems“

Na Obr. 1-4 je zobrazená ponuka knižnice blokov „Simulink/Signal Raughting“. Z knižnice *Signal Raughting* boli v modeli použité nasledujúce bloky:

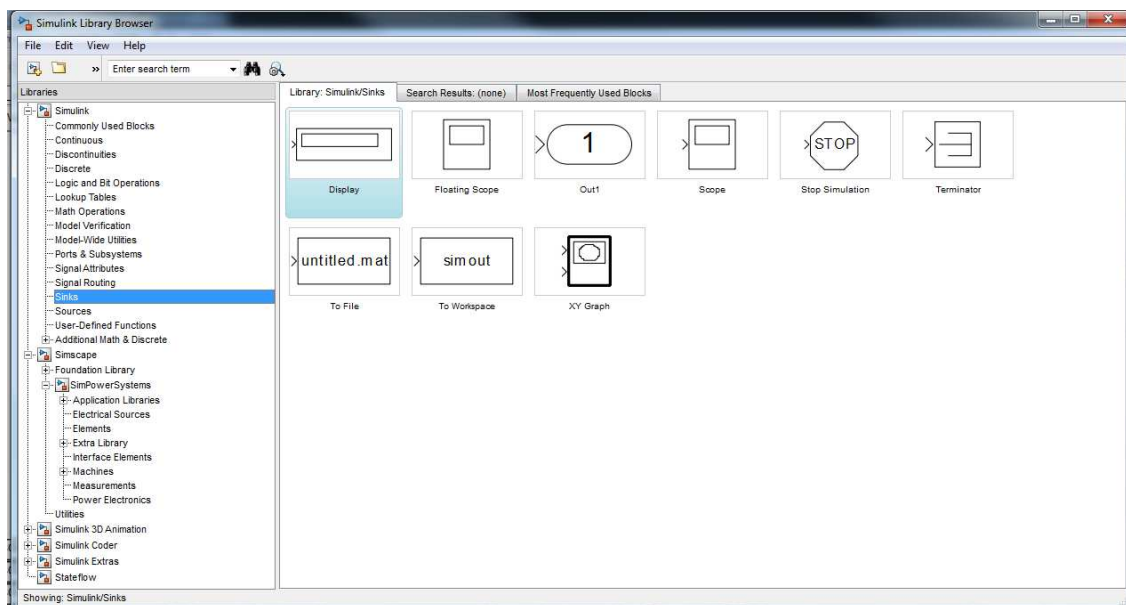
- *Demux* – rozširuje komponenty vstupného signálu na výstupné komponenty v podobe oddelených signálov. Výstupné signáli sú zoradené od vrchného po spodný výstupný port.
- *From* – prijíma signál z korešpondujúceho *Goto* bloku a poskytuje ho ďalej ako výstup. Typ dát na výstupe bloku *From* je zhodný s typom dát na vstupe bloku *Goto*. *From* a *Goto* bloky poskytujú možnosť posielat' signál z jedného bloku do iného bez ich skutočného prepojenia. Prepojenie blokov *From* a *Goto* je realizované pomocou rovnakého označenia (Tag).
- *Goto* – posieľa vstupný signál do korešpondujúceho bloku *From*. Vstup môže byť signál s reálnymi, či komplexnými hodnotami, prípadne vektor s iným typom dát. Jeden *Goto* blok môže posieľať signály do viacerých blokov *From*, na druhej strane jeden blok *From* môže prijímať signál iba od jedného bloku *Goto*.
- *Merge* – spája vstupné signály do jedného výstupného signálu, pričom zmena hodnoty výstupného signálu je určená zmenou hodnoty niektorého zo vstupných signálov v danom čase.
- *Multiport Switch* – realizuje výber spomedzi vstupných signálov. Prvý vstupný port je riadiaci vstup (control input), pričom ostatné vstupné porty sú údajové vstupy (data inputs). Hodnota riadiaceho vstupu určuje, ktorý údajový vstup prejde na výstupný port.
- *Switch* – prepúšťa signál z prvého vstupu alebo tretieho vstupu, na základe hodnoty druhého vstupu. Prvý a tretí vstupný port sú údajové vstupy (data inputs) a druhý vstupný port je riadiaci vstup (control input).



Obr. 1-4 Zobrazenie ponuky knižnice blokov „Simulink/Signal Routing“

Na Obr. 1-5 je zobrazená ponuka knižnice blokov „Simulink/Sinks“. Z knižnice *Sinks* boli v modeli použité nasledujúce bloky:

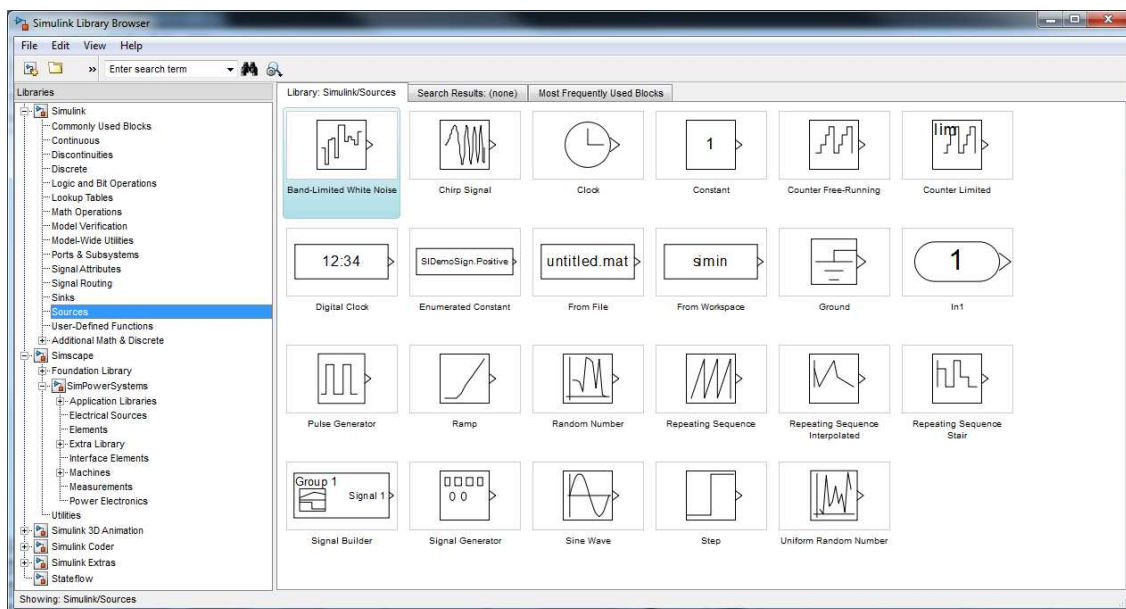
- *Scope* – zobrazuje vstupné signály v závislosti na čase simulácie.
- *To Workspace* – do tohto bloku vstupuje Simulinkový signál, pričom sa údaje signálu zapisujú do pracovného priestoru (workspace) MATLABu. Počas simulácie blok zapisuje dáta do vnútornej vyrovnávacej pamäte (buffer). V prípade prerušenia alebo ukončenia simulácie sú tieto dáta následne zapísané do pracovného priestoru (workspace) MATLABu. V rámci ikony bloku je uvedený názov poľa, do ktorého sú údaje zapisované. Názov poľa sa zadáva do položky „Variable name“ v dialógovom okne bloku. V rámci položky „Save format“ dialógového okna boku je možné špecifikovať jeden z nasledovných formátov zápisu údajov:
 - o Structure With Time
 - o Structure
 - o Array
 - o Timeseries



Obr. 1-5 Zobrazenie ponuky knižnice blokov „Simulink/Sinks“

Na Obr. 1-6 je zobrazená ponuka knižnice blokov „Simulink/Sources“. Z knižnice *Sources* boli v modeli použité nasledujúce bloky:

- *Constant* – generuje reálnu alebo komplexnú konštantnú hodnotu. Výstupný signál môže byť skalár, vektor alebo matica.
- *From Workspace* – načíta dáta z pracovného priestoru (workspace) MATLABu a poskytuje tieto dáta ako signál.



Obr. 1-6 Zobrazenie ponuky knižnice blokov „Simulink/Sources“

1.2 Charakteristika blocksetu Simscape/SimPowerSystems

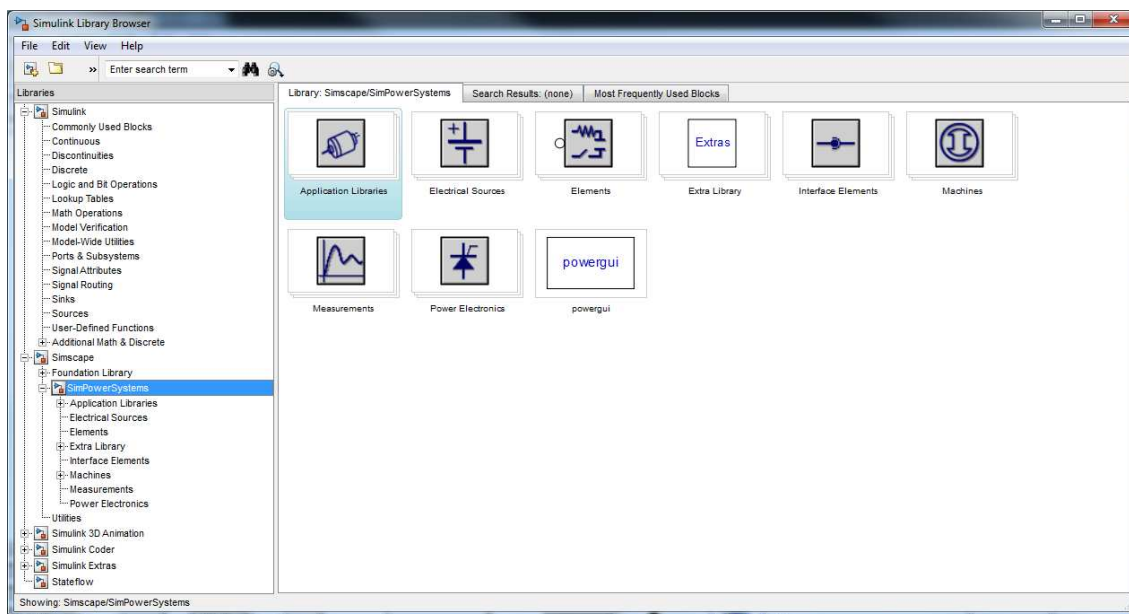
Simscape rozširuje Simulink o nástroje pre modelovanie a simulácie tzv. "multi-domain" systémov obsahujúcich prepojenie mechanických, elektrických a hydraulických komponentov. Simscape využíva nový prístup k modelovaniu systémov. Zavádza do simulačných schém reálne fyzikálne veličiny ako sú sily, momenty, napätia, prúdy, tlaky, prietoky atď. Podobne ako pri montáži reálneho systému, vzniká model v Simscape grafickým prepojením blokov, ktoré priamo odpovedajú fyzickým prvkom reálneho systému. Bloky sa spájajú do siete, v ktorej spojenie medzi elementami odpovedajú prenosom energie v systéme. Tento prístup umožňuje systémy modelovať priamo popisom ich fyzickej štruktúry a odbúrava sa potreba odvodzovania príslušných matematických vzťahov medzi sledovanými veličinami. Simscape tieto vzťahy generuje automaticky.[1]

Simscape obsahuje knižnice základných mechanických, elektrických a hydraulických blokov, ktoré umožňujú vytvárať užívateľské bloky a schémy komplexnejších komponentov systému. Využitie Simscape je široké, uplatnenie nájde v automobilovom priemysle, letectve, obrane, návrhu priemyslových a stavebných strojov a podobne.[1]

Simscape obsahuje aj vlastný jazyk, založený na jazyku MATLABu. Je možné ho využiť k tvorbe užívateľských komponentov, rozširujúcich knižnice prvkov v danej fyzikálnej doméne, alebo k tvorbe celých užívateľsky definovaných fyzikálnych domén.

SimPowerSystems rozširuje Simscape o nástroje pre modelovanie a simuláciu výroby, prenosu, distribúcie a spotreby elektrickej energie. Nástroj spadá do skupiny produktov, ktoré pracujú na princípe tzv. fyzikálneho modelovania, kde sa jednotlivé prvky, ktoré reprezentujú reálne súčasti modelovaného systému, spájajú na základe ich fyzikálnej štruktúry. Knižnice SimPowerSystems obsahujú rad prvkov bežne používaných v energetických sústavách, ako sú trojfázové stroje a elektrické pohony alebo špecifické prvky, ako sú flexibilné prenosové systémy striedavého prúdu (FACTS) alebo prvky veterných elektrární. Je tu tiež možnosť automatických výpočtov harmonickej analýzy, činiteľov harmonického skreslenia, zaťaženia sústavy a ďalších kľúčových analýz pre energetické sústavy.[1]

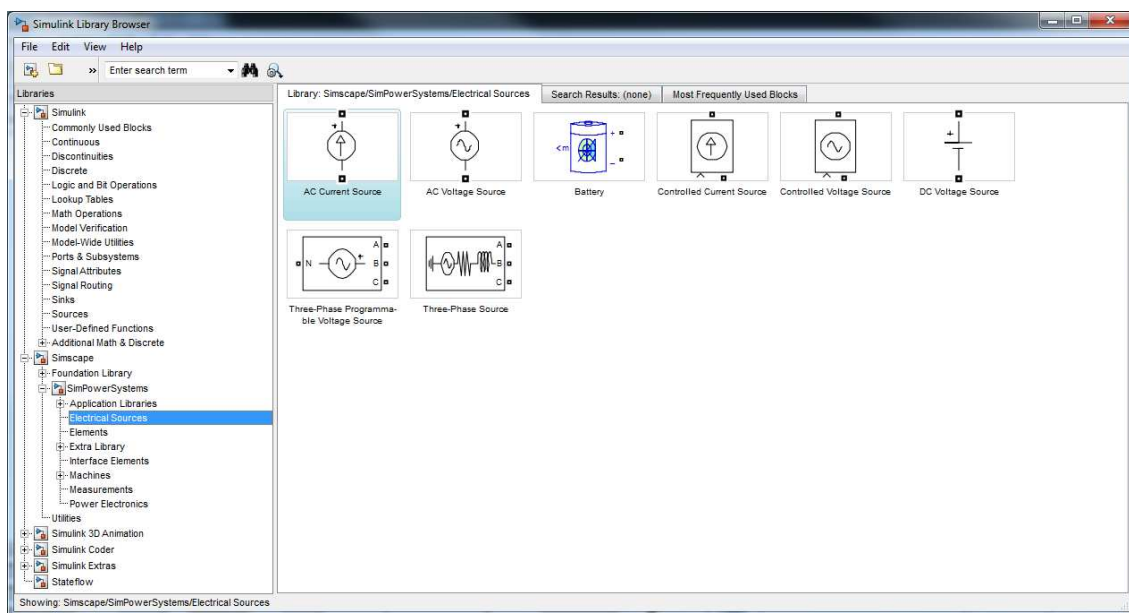
Na Obr. 1-7 je zobrazená ponuka knižníc nadstavby SimPowerSystems. Pri vytváraní modelu boli využívané bloky z knižníc *Electrical Sources*, *Elements* a *Measurements*. Použité bloky ako aj knižnice sú popísané nižšie. Do každého modelu vytváraného z blokov SimPowerSystems je nutné vložiť aj blok *powergui*, bez ktorého by nebolo možné spustiť žiadnu simuláciu. Tento blok slúži okrem iného pre výber vhodnej simulačnej metódy.



Obr. 1-7 Zobrazenie ponuky knižníc nadstavby SimPowerSystems

Na Obr. 1-8 je zobrazená ponuka knižnice blokov „SimPowerSystems/Electrical Sources“. Z knižnice *Electrical Sources* boli v modeli použité nasledujúce bloky:

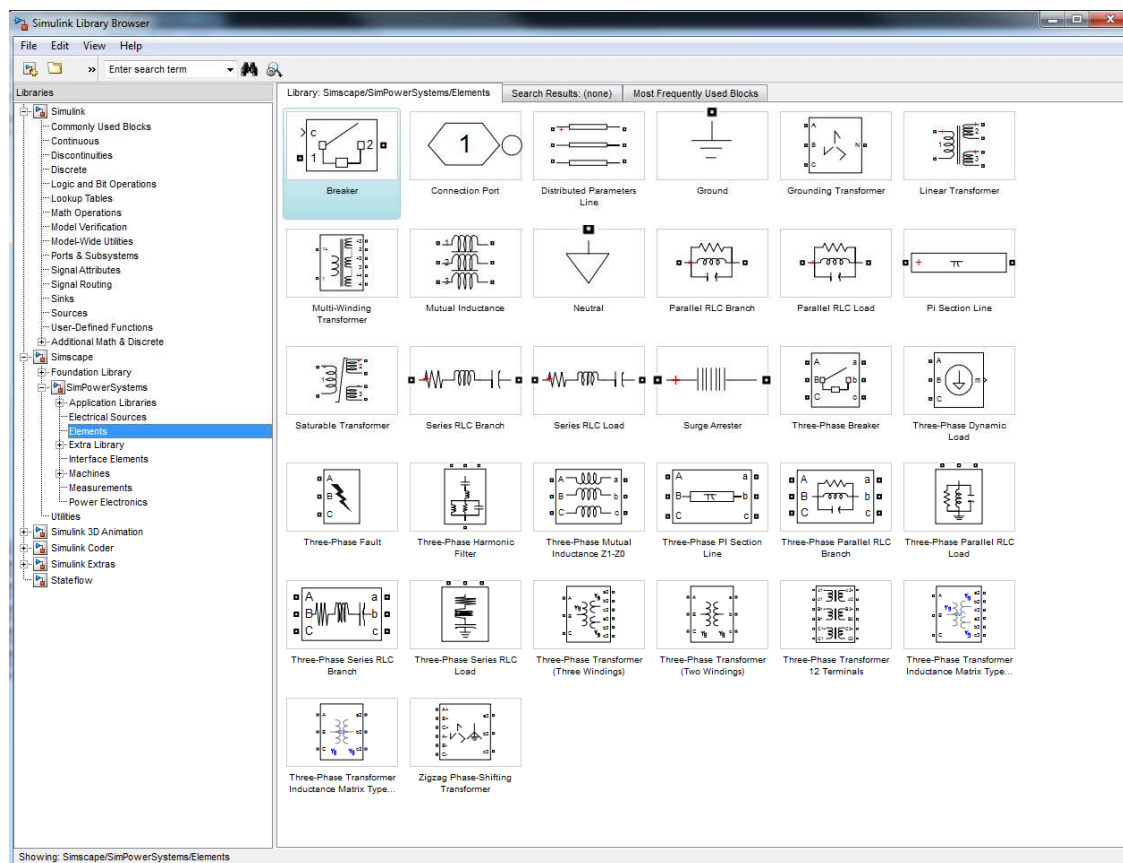
- *Battery* – predstavuje všeobecný dynamický model nastavený tak, aby reprezentoval väčšinu najčastejšie používaných typov nabíjateľných batérií.
- *Controlled Current Source* – konvertuje vstupný Simulinkový signál na ekvivalentný prúdový zdroj. Generovaný prúd je určený vstupným signálom bloku. Kladný smer prúdu je zobrazený šípkou v ikone bloku. Typ prúdového zdroja je možné nastaviť ako striedavý (AC) alebo jednosmerný (DC).



Obr. 1-8 Zobrazenie ponuky knižnice blokov „SimPowerSystems/Electrical Sources“

Na Obr. 1-9 je zobrazená ponuka blokov „SimPowerSystems/Elements“. Z knižnice *Elements* boli v modeli použité nasledujúce bloky:

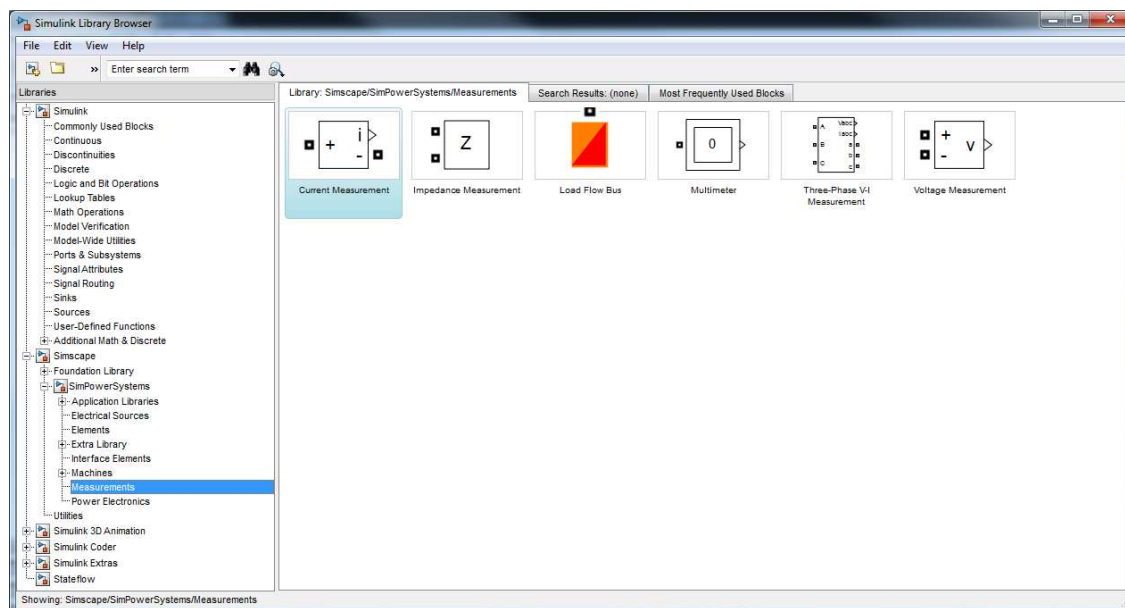
- *Breaker* – predstavuje model spínača (výkonového vypínača), ktorého otvárací a zatvárací čas môže byť riadený buď externým Simulinkovým signálom alebo vnútorným časovačom.
- *Series RLC Branch* – predstavuje prvok rezistora, indukčnosti alebo kapacity, alebo ich sériovej kombinácie. Po výbere kombinácie prvkov, ktoré má blok reprezentovať sa jeho ikona zaktualizuje tak, že zobrazuje iba zvolené prvky. Prípade vytvoreného modelu bol tento blok využívaný ako model rezistora.



Obr. 1-9 Zobrazenie ponuky knižnice blokov „SimPowerSystems/Elements“

Na Obr. 1-10 je zobrazená ponuka knižnice blokov „SimPowerSystems/Measurements“. Z knižnice *Measurements* boli v modeli použité nasledujúce bloky:

- *Current Measurement* – je určený na meranie okamžitej hodnoty prúdu tečúceho nejakým elektrickým blokom alebo pripojovacím vedením. Simulinkový výstup tohto bloku poskytuje Simulinkový signál, ktorý môže byť ďalej použitý Simulinkovými blokmi.
- *Voltage measurement* – je určený na meranie okamžitej hodnoty napätia medzi dvoma elektrickými uzlami. Simulinkový výstup tohto bloku poskytuje Simulinkový signál, ktorý môže byť ďalej použitý Simulinkovými blokmi.

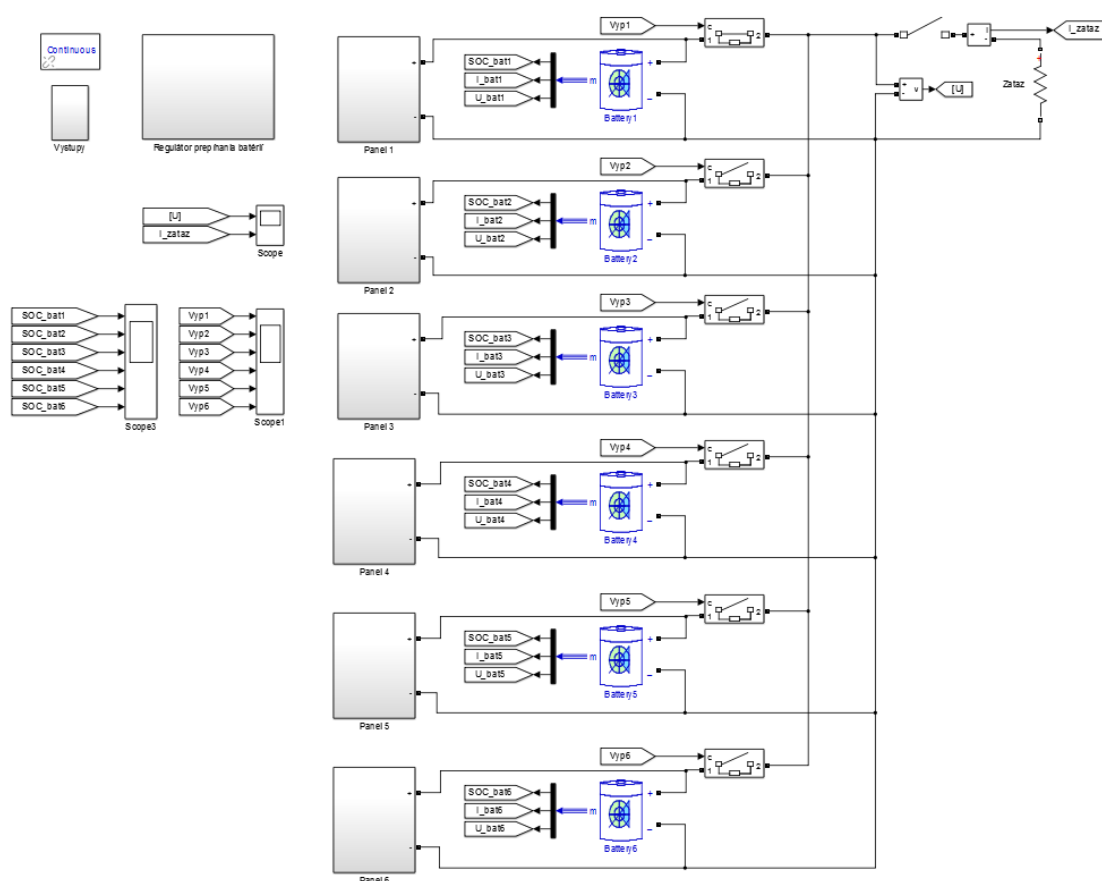


Obr. 1-10 Zobrazenie ponuky knižnice blokov „SimPowerSystems/Measurements“

1.3 Popis vytvoreného modelu obnoviteľných zdrojov

Model obnoviteľných zdrojov aktivity 2.3 projektu VUKONZE bol realizovaný v prostredí MATLAB/Simulink za účelom simulácie prevádzky šiestich blokov solárnych panelov a batérií napájajúcich rôzne veľkú záťaž pri rôznych okolitých podmienkach (rôznej intenzite slnečného žiarenia). Na Obr. 1-11 je zobrazený celkový pohľad na uvedený model. Výstup so všetkých šiestich blokov je prostredníctvom vypínačov pripojený na spoločnú zbernú, z ktorej je následne napájaná odporová záťaž. V rámci modelu je realizované meranie okamžitej hodnoty prúdu tečúceho do záťaže ako aj napätia na spoločnej prípojnici. Model je realizovaný ako jednosmerný, nakoľko hlavným účelom modelu je analýza činností fotovoltických panelov a batérií. Z tohto dôvodu neboli modelované jednotlivé striedače, ktorých aplikácia by výrazne predĺžila čas samotnej simulácie pričom ich vplyv na analýzy činnosti fotovoltických panelov je zanedbateľný.

V rámci celkovej schémy zobrazenej na Obr. 1-11 nie sú zobrazené všetky súčasti modelu. Niektoré logické celky sú sústredené v rámci subsystémov, ktorých obsah bude uvedený nižšie v texte. Po skončení simulácie je možné zobrazit' vypočítané priebehy napätia na spoločnej prípojnici a prúdu tečúceho záťažou pomocou bloku *Scope*. Pomocou bloku *Scope1* je možné zobrazit' priebehy stavov vypínačov 1 – 6, slúžiacich na prepínanie požadovaných blokov na spoločnej prípojnici. Stavy jednotlivých vypínačov v priebehu simulácie sú riadené logikou nachádzajúcou sa v subsystéme „Regulátor prepínania batérií“. Blok *Scope2* umožňuje zobrazenie stavu nabitia batérií jednotlivých blokov. V subsystéme „Vystupy“ sa nachádzajú bloky typu *To Workspace* slúžiace na uloženie jednotlivých sledovaných veličín priamo do pracovného priestoru MATLABu. Typ simulácie v rámci bloku *powergui* je nastavený na „Continuous“.

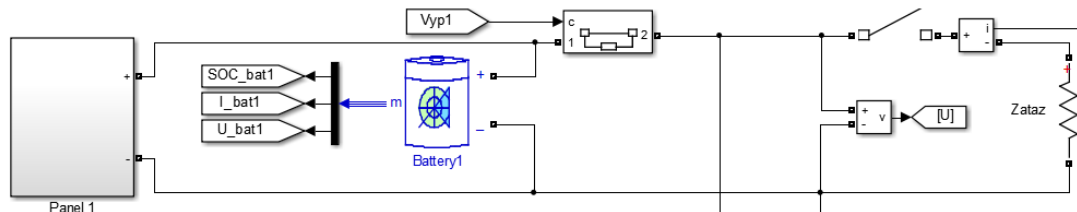


Obr. 1-11 Celkový pohľad na model šiestich blokov solárnych panelov a batérií

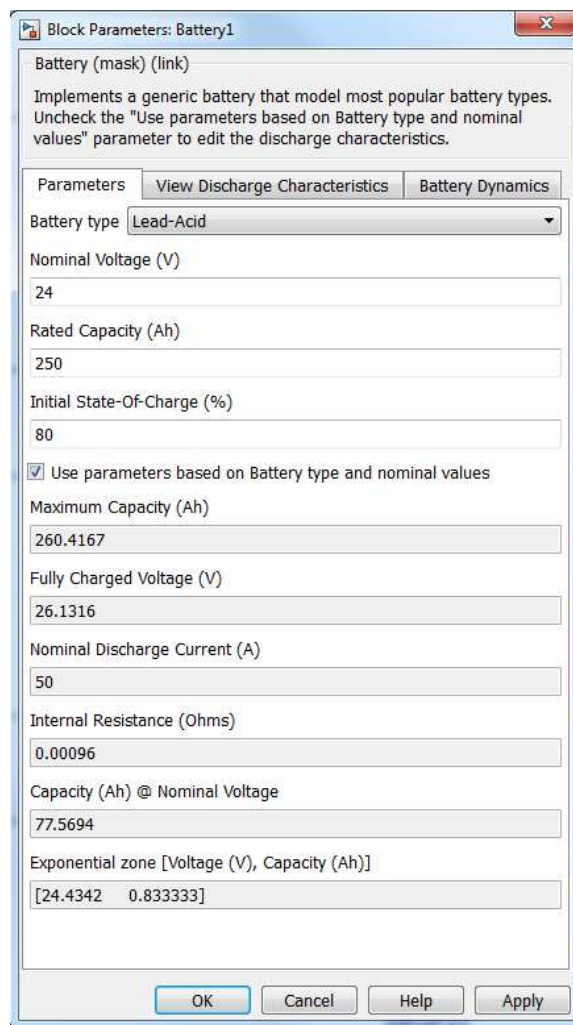
Na Obr. 1-12 je zobrazený detail 1. bloku fotovoltaického panela a batérie pripojeného cez vypínač ovládaný prostredníctvom signálu prichádzajúceho z bloku *From* s označením „Vyp1“ na spoločnú prípojnicu. Z batérie modelovanej pomocou bloku *Battery* sú prostredníctvom demultiplexora (*Demux*) počas simulácie posiadané do blokov typu *Goto* tri parametre:

1. stav nabitia batérie, označený ako SOC_bat,
2. okamžitá hodnota prúdu na svorkách batérie, označená ako I_bat,
3. napätie na svorkách batérie, označené ako U_bat.

Nastavenie parametrov bloku *Battery* je zobrazené na Obr. 1-13, pričom v prípade 1. Panelu bol počiatočný stav nabitia batérie nastavený na 80 %. V prípade batérií ostatných blokov bol ich počiatočný stav nabitia nastavený na 100 %.

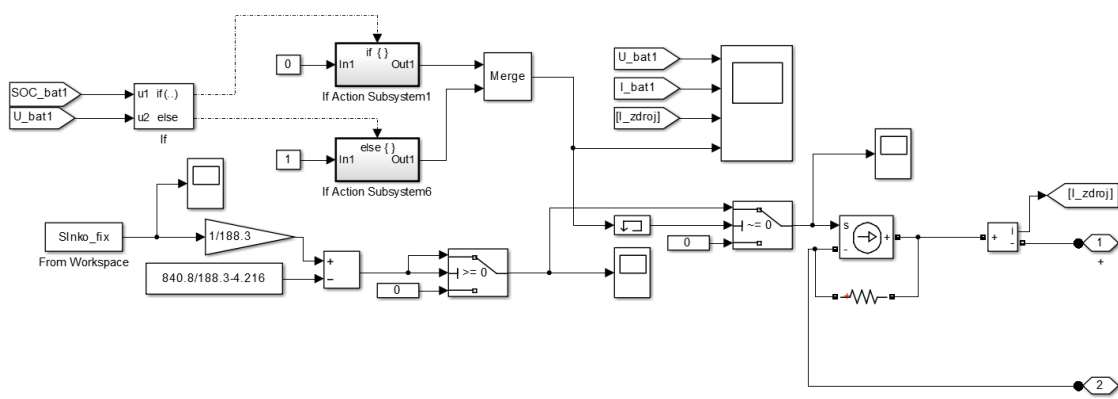


Obr. 1-12 Detail 1. bloku fotovoltaického panela a batéria



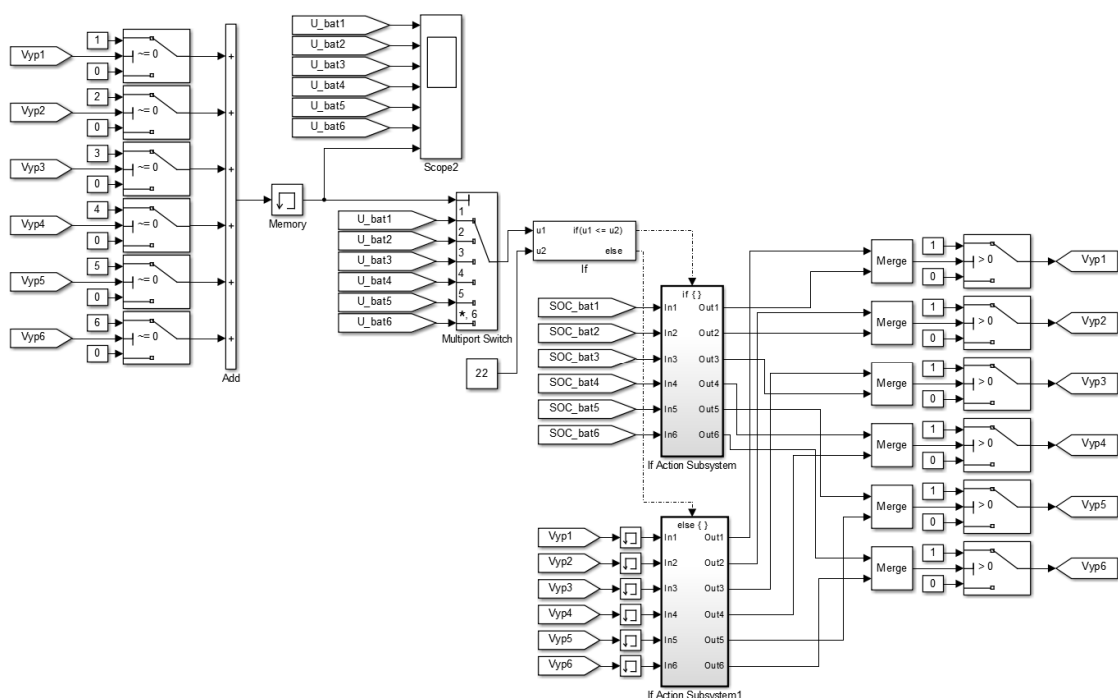
Obr. 1-13 Dialógové okno nastavenia bloku „Battery“

Na Obr. 1-14 je zobrazený obsah subsystému „Panel1“, ktorý predstavuje model fotovoltického panela a regulátora napätia a prúdu. Tento subsystém simuluje premenu slnečného žiarenia vstupujúceho z bloku *From Workspace* s názvom *Slnko_fix* (v prípade fixných panelov, resp. *Slnko_tracker* v prípade pohyblivých panelov) na okamžitú hodnotu prúdu dodávaného do batérií, resp. záťaže. V prípade ak je stav nabitia batérie nad 98 % a zároveň napätie batérie je viac ako 26,1 V, nabíjanie batérie je pomocou blokov *If* odpojené. Prúd dodávaný do batérie, resp. zaťaženia je generovaný pomocou bloku *Controlled Current Source*, ktorý je nastavený ako jednosmerný. Premena slnečného žiarenia na veľkosť prúdu vstupujúceho do prúdového zdroja je realizovaná na základe lineárnej funkcie, ktorej konštanty sú v prípade každého panela určené z reálne nameraných dát.

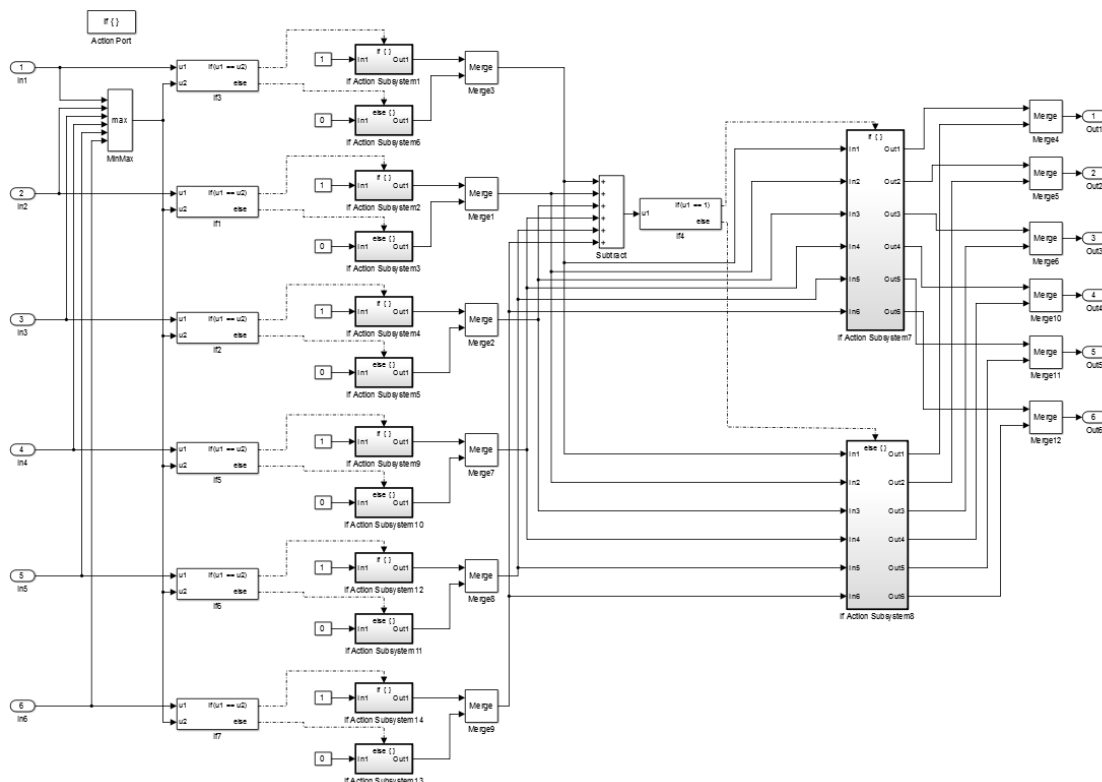


Obr. 1-14 Model fotovoltického panela bloku 1 (obsah subsystému „Panel 1“ na Obr. 1-12)

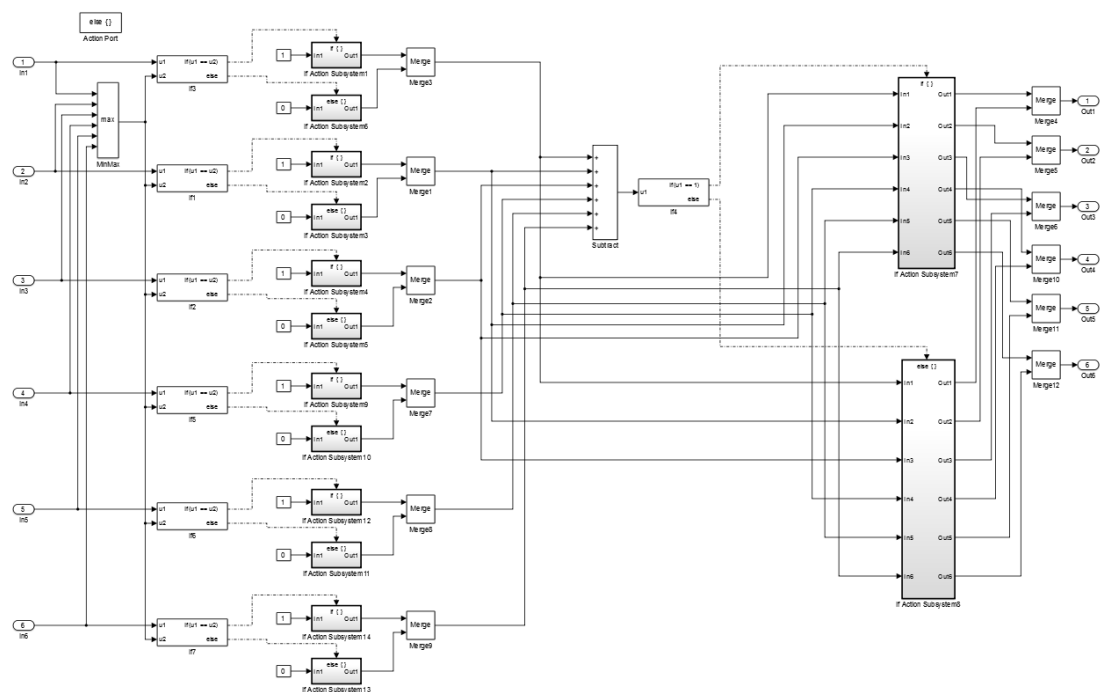
Na Obr. 1-15 je zobrazený obsah subsystému „Regulátor prepínania batérií“ slúžiaceho na ovládanie prepínania jednotlivých blokov na spoločnú prípojnicu. Samotná logika prepínania panelov zabezpečuje aby bol na spoločnú prípojnicu pripojený vždy iba jeden blok, pričom prepínanie blokov sa udeje v prípade ak napätie batérie aktuálneho bloku poklesne pod 22 V. V takom prípade je aktuálny blok zo spoločnej prípojnice odpojený a na spoločnú prípojnicu je pripojený blok, ktorý má najvyšší stav nabitia batérie. Logika nájdenia bloku s najvyšším stavom nabitia batérie je zobrazená na Obr. 1-16, resp. Obr. 1-17 a nachádza sa v subsystéme „If Action Subsystem“, resp. „If Action Subsystem1“.



Obr. 1-15 Model regulátora prepínania blokov (obsah subsystemu „Regulátor prepínania batérií“ na Obr. 1-11)



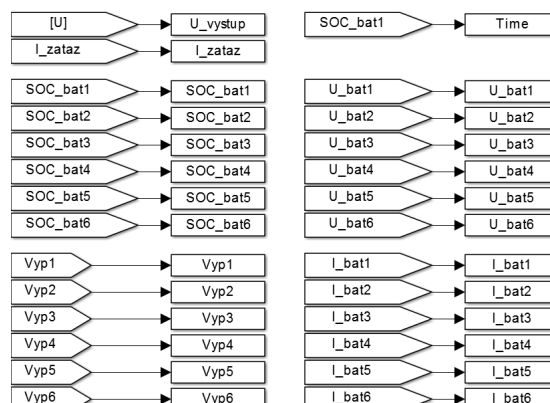
Obr. 1-16 Obsah subsystému „If Action Subsystem“ regulátora prepínania blokov na Obr. 1-15



Obr. 1-17 Obsah subsystému „If Action Subsystem1“ regulátora prepínania blokov na Obr. 1-15

Na Obr. 1-18 je zobrazený obsah subsystému „Výstupy“ nachádzajúceho sa na Obr. 1-11, v rámci ktorého sú z blokov typu *From* do blokov typu *To Workspace*

zapisované zobrazené údaje počítané počas simulácie do premenných s rovnakým názvom v pracovnom priestore MATLABu.

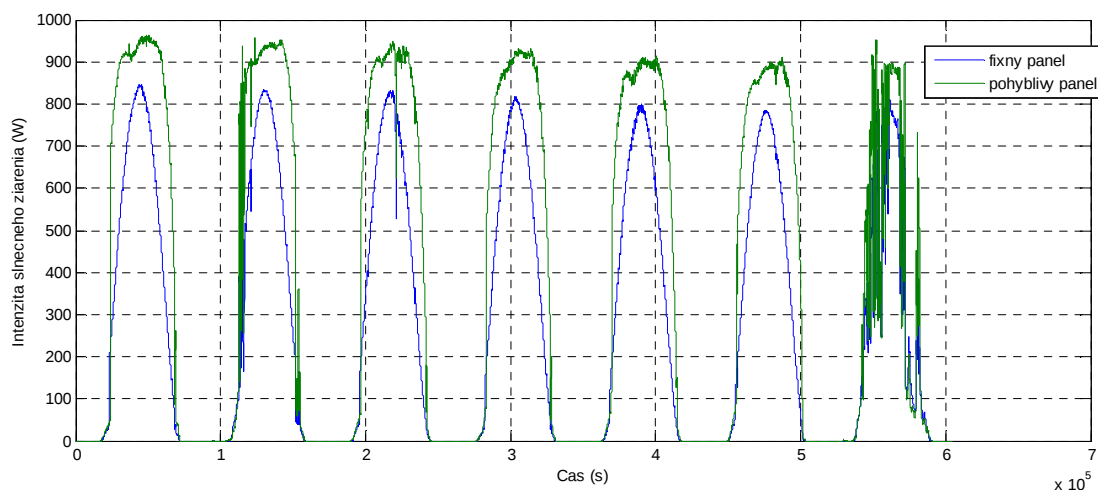


Obr. 1-18 Obsah subsystému „Vystupy“ na Obr. 1-11

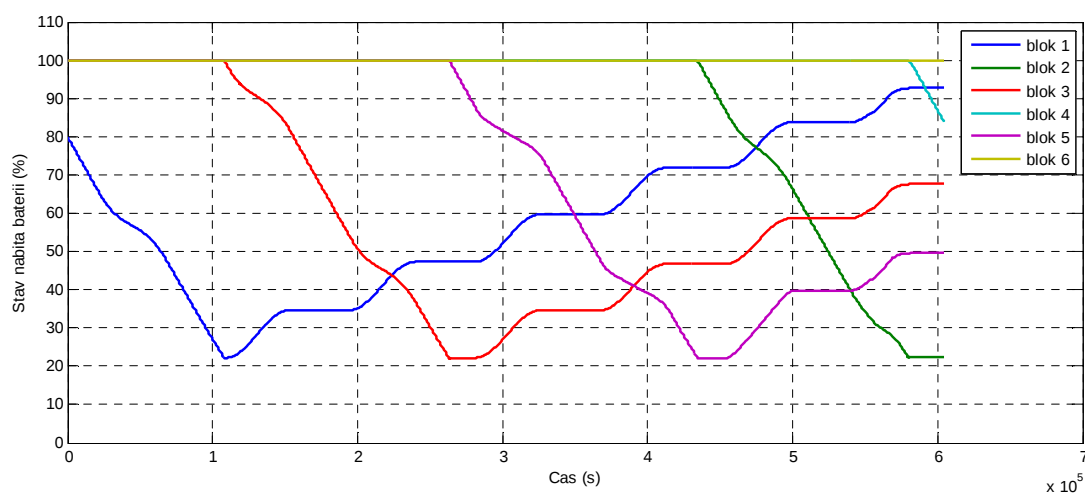
1.3.1 Zobrazenie výsledkov simulácie prevádzky modelovaných obnoviteľných zdrojov

Na základe záznamov intenzity slnečného žiarenia s intervalom 2 s počas jedného týždňa z fixných, resp. polohovaných luxmetrov (zobrazené na Obr. 1-19) sú v tejto podkapitole uvedené výsledky simulácie činnosti jednotlivých fotovoltických panelov pomocou vyššie popísaného modelu. Na Obr. 1-20 je uvedený časový priebeh stavu nabitia jednotlivých batérií, na Obr. 1-21 je zobrazený časový priebeh napätia na svorkách jednotlivých batérií a na Obr. 1-22 je zobrazený časový priebeh prúdov tečúcich na svorkách jednotlivých batérií. Počas celej doby simulácie bolo zaťaženie na spoločnej prípojnici o veľkosti 140 W pri napätí 24 V.

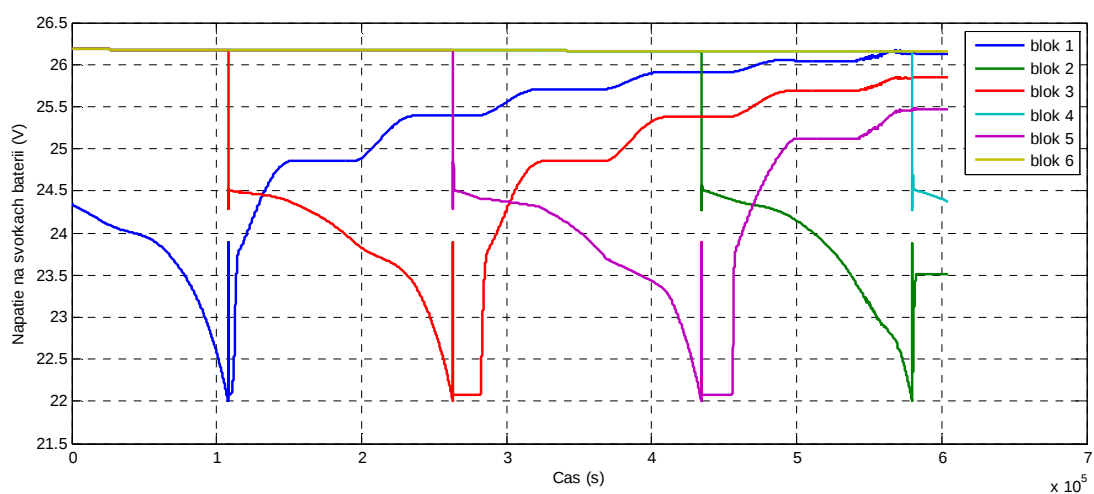
Z priebehov na Obr. 1-20 až Obr. 1-22 je vidieť, že ako prvý bol v prevádzke blok 1. Po vybití batérie bloku 1 bol na spoločnú prípojnicu pripojený blok 3, následne bol na spoločnú prípojnicu pripojený blok 5. Po bloku 5 bol na spoločnú prípojnicu pripojený blok 2 a po vybití batérie bloku 2 bol na konci simulácie na spoločnú prípojnicu pripojený blok 4. V priebehu simulácie nebol na spoločnú prípojnicu pripojený blok 6. Po vypnutí každého bloku, ktorého batéria bola vybitá, je z jednotlivých obrázkov vidieť časový priebeh nabíjania jednotlivých batérií. Kladná hodnota prúdu na Obr. 1-22 predstavuje odber prúdu z batérie do záťaže, nulová hodnota prúdu znamená, že na svorkách batérie netečie žiaden prúd a záporná hodnota prúdu predstavuje dobíjanie batérie.



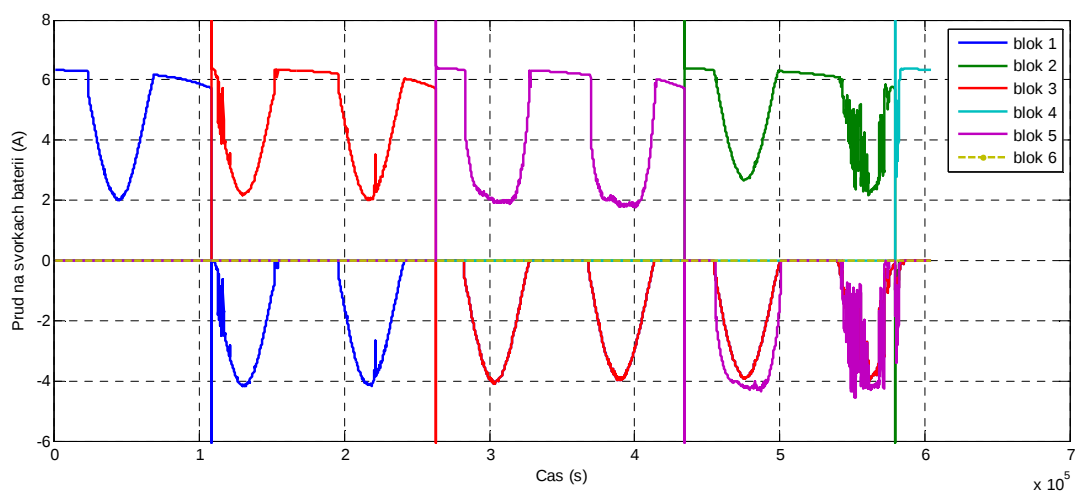
Obr. 1-19 Časový priebeh intenzity slnečného žiarenia na fixných a pohyblivých fotovoltických paneloch



Obr. 1-20 Časový priebeh stavu nabitia jednotlivých batérií



Obr. 1-21 Časový priebeh napätia na svorkách jednotlivých batérií



Obr. 1-22 Časový priebeh prúdov tečúcich na svorkách jednotlivých batérií

Zoznam použitej literatúry

- [1] Propagačné materiály spoločnosti HUMUSOFT s.r.o. [cit. 2013-12-23]. Dostupné na internete: <<http://www.humusoft.cz/produkty/matlab/>>.

Modelovanie v prostredí EMTP – ATP

Ing. Dušan Medved', PhD.

Obsah

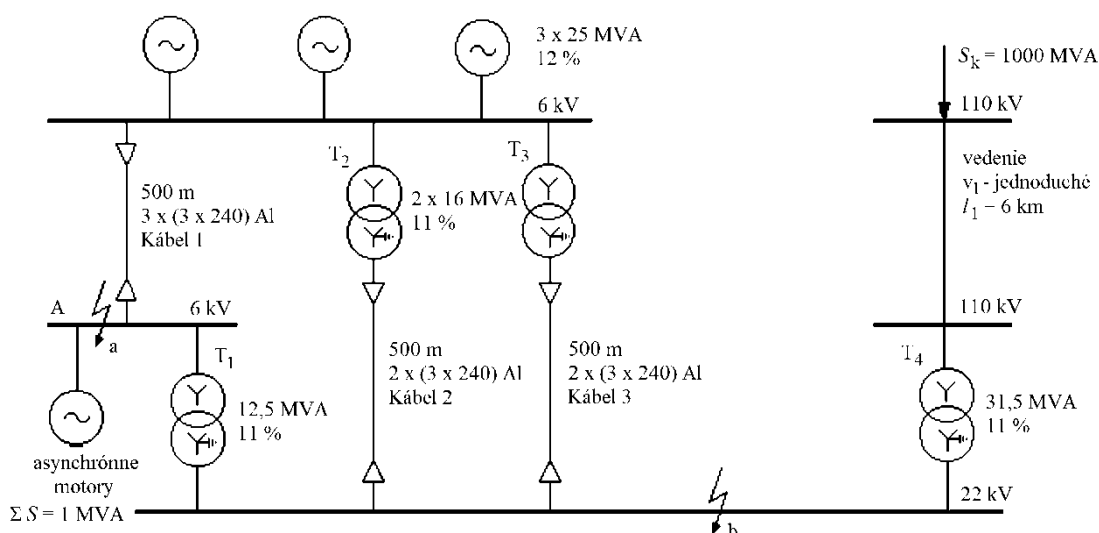
1 Modelovanie prechodných javov	278
1.1 Prechodné deje v elektrizačných sústavách.....	278
1.2 Modelovanie prvkov elektrizačnej sústavy v prostredí EMTP – ATP.....	280
2 Riešenie prechodných dejov a ich eliminácia využitím EMTP ATP.....	287
2.1 Prechodné javy v elektrizačnej sústave	287
2.1.1 Elektromagnetické prechodné javy.....	287
2.1.2 Vyššie harmonické v elektrických sieťach	288
2.1.3 Prepätia v elektrických sieťach	289
2.2 Eliminovanie prechodných javov v EMTP – ATP.....	289
2.1.4 Prepätia v elektrickej sieti.....	289
2.1.5 Eliminovanie vyšších harmonických aktívnym filtrom.....	291
2.1.6 Model blesku a jeho eliminovanie	292
2.1.7 Model 2-fázového skratu a jeho eliminovanie.....	294
3 Analýza prechodných javov pripojenia obnoviteľných zdrojov využitím nástrojov EMTP ATP a Matlab/SimPowerSystem.....	297
3.1 Problémy opätovného pripojenia decentralizovaných energetických zdrojov energie do elektrizačnej sústavy	297
3.2 Výber vhodnej časti elektrizačnej sústavy pre modelovanie pripojovania decentralizovaných zdrojov.....	297
3.2.1 Postup pri pripojovaní energetických zdrojov	298
3.3 Simulácia prechodných dejov na časti elektrizačnej sústavy v prostredí EMTP-ATP	300
3.4 Porovnanie algoritmu simulácie v prostredí MATLAB/SimPowerSystem	302
3.4.1 Trojfázový skrat na vedení.....	303
3.5 Záver ku kapitole 3.....	306
Zoznam použitej literatúry	307

1 Modelovanie prechodných javov

1.1 Prechodné deje v elektrizačných sústavách

Prechodné deje v elektrizačných sústavách (ES) vznikajú pri prechode z jedného ustáleného stavu ES do nového prevádzkového stavu. K narušeniu ustáleného stavu ES môže dôjsť v dôsledku manipulácií uskutočnených v ES, pri zmene zaťaženia ES alebo v dôsledku poruchy (skrat, vypadnutie generátora zo synchronizmu a pod.).

V závislosti od druhu prechodného deja je potrebné použiť vhodný model ES. Pri modeloch vedení ide o rozhodnutie, či použiť model so sústredenými alebo rozloženými parametrami. Príklad schémy elektrizačnej sústavy je uvedený na obr. 1.



Obr. 1 Príklad schémy elektrizačnej sústavy

V elektrizačnej sústave sa prejavujú najrýchlejšími zmenami **vlnové prechodné deje**, ktorých doba trvania sa udáva v mikrosekundách až milisekundách. Pribeh zmien prevádzkových parametrov je taký rýchly, že nie je možné zanedbať rýchlosť šírenia elektromagnetických vln v jednotlivých článkoch ES a tieto články sa musia pri výpočte nahradzovať **modelmi s rozloženými parametrami**. Matematický popis týchto javov vedie k **parciálnym diferenciálnym rovniciam**.

Pomalšie sú **elektromagnetické prechodné deje** s dobou trvania rádovo desiatiny sekundy. Vzhľadom na menšie rýchlosti ich priebehov je možné zanedbať šírenie elektromagnetických vln vo všetkých článkoch ES. Preto sa dajú modelovať ako **články so sústredenými parametrami**. Behom trvania elektromagnetického prechodného deja

sa môžu zanedbať zmeny otáčok točiacich sa strojov a predpokladať pri výpočtoch konštantné uhlové rýchlosti elektrických točivých strojov. To umožňuje chápať ES ako čisto elektrický systém, bez vplyvu mechanických častí na priebeh prechodného deja. Tieto zjednodušenia potom umožňujú z matematického hľadiska použiť **obyčajné diferenciálne rovnice** s časom ako jedinou nezávislou premennou.

Tretiu skupinu prechodných dejov tvoria **elektromechanické prechodné deje**, ktorých doba trvania sa mení v širokých rozsahoch, rádovo od desiatín sekundy až po desiatky sekúnd. Vzhľadom k rýchlosti priebehu prechodného deja je opäť možné zanedbať šírenie elektromagnetických vĺn a väčšinou i elektromagnetické zotrvačnosti článkov. Elektromechanické prechodné deje sú charakterizované predovšetkým mechanickým pohybom rotorov generátorov. Pri riešení elektromechanických prechodných dejov sa vychádza z mechanických zotrvačných vlastností elektrických točivých strojov, ďalej mechanizmov, ktoré sú spojené s ich rotormi a z elektrických väzieb medzi všetkými článkami ES. Obvody generátorov sú matematicky popísané diferenciálnymi rovnicami. Elektrická sústava, ktorá prepojuje paralelne pracujúce generátory, je popísaná algebrickými rovnicami. Odbery sú popísané diferenciálnymi rovnicami, v prípade ich dynamických charakteristík a v prípade, keď postačuje uvažovať lineárne charakteristiky, vedie matematický popis na algebrické rovnice.

Elektromagnetické a elektromechanické prechodné deje prebiehajú pri prechode z jedného ustáleného stavu ES do nového súčasne a predstavujú jeden prechodný jav. Avšak v počiatočnom štádiu prechodného procesu určujú charakter jeho priebehu elektromagnetické prechodné deje. Elektromechanické javy sa neprejavia v dôsledku veľkej mechanickej zotrvačnosti paralelne pracujúcich strojov ES. Programom EMTP – ATP (Electromagnetic Transient Program – Alternative Transient Program) bude riešená už spomenutá druhá skupina prechodných dejov, teda elektromagnetických, s využitím preprocesora ATPDraw a grafického postprocesora PlotXY.

Skraty sú poruchy vznikajúce pri spojení nakrátko dvoch alebo troch fáz a v sústavách s uzemnenou nulou a taktiež pri spojení jednej alebo viacerých fáz so zemou (resp. so stredným vodičom). Pri vzniku skratu sa v ES značne znižuje impedancia medzi miestom skratu a napäťovým zdrojom. To má za následok vzrast prúdu vo vetvách a pokles napätia v uzloch, predovšetkým v uzloch elektricky blízkych k miestu skratu. Pôsobenie skratových prúdov je síce krátkodobé, ale vzhľadom na veľkosti tepelných a dynamických účinkov prúdov nebezpečné. Značné poklesy napätia

vznikajúce pri skratoch môžu pôsobiť rušivo na chod mnohých elektrických spotrebičov. Môžu byť navyše príčinou narušenia stability paralelného chodu generátorov, čo je vlastne jeden z najnebezpečnejších následkov skratov, pretože postihuje prevádzku celej ES.

V rozvodoch vysokého napätia môžu vzniknúť **zemné spojenia**, ktoré môžu pôsobiť na paralelné telekomunikačné vedenie i na zariadenia uložené v zemi. Zemné spojenie je nebezpečné pre izoláciu fáz a nulových článkov ES, pretože pri ňom fázové napätia dosahujú veľkosti združených napätí a napätie uzla transformátora vzrastie na veľkosť fázového napätia. Pri prerušovanom zemnom spojení sa napäťové namáhanie izolácie ešte mnohonásobne zväčšuje.

1.2 Modelovanie prvkov elektrizačnej sústavy v prostredí EMTP – ATP

Vývoj nových ochranných techník vhodných na detekciu porúch v elektrizačných sústavách nevyhnutne vyžaduje presnú simuláciu prechodných dejov týkajúcich sa týchto porúch. Aby bolo možné simulovať poruchu, je potrebné vytvoriť jej správny náhradný model. Nie je jednoduché nájsť presný a nie príliš zložitý model, ktorý zohľadňuje vlastnosti každého typu poruchy.

Alternative Transient Program (ATP), bol špeciálne vyvinutý pre riešenie problémov energetických systémov. Je používaný na riešenie algebrických, diferenciálnych a parciálnych diferenciálnych rovníc, ktoré popisujú obvody skladajúce sa z ľubovoľne prepojených prvkov. Stanovuje tak časový priebeh elektrických veličín charakterizujúcich pomery v elektrických sieťach.

Pri simulácii týmto programom sa najprv vytvorí súbor s príponou *.adp, t.j. schéma zapojenia, v ktorej sa nastavujú jednotlivé parametre. Podľa schémy program vytvorí súbor s príponou *.atp, ktorý je vstupným súborom pre uskutočnenie výpočtu. Počas výpočtu sa vytvárajú tri súbory. Prvý súbor je s príponou *.pl4, ktorý je určený pre výslednú grafickú interpretáciu funkčných závislostí. Vypočítané priebehy je možné zobrazit' využitím podprogramu PlotXY. Ďalším súborom je *.dbg súbor, ktorý v prípade problémov pri výpočte upozorní užívateľa na možný zdroj chyby. Posledným je *.lis súbor. V tomto súbore sú uložené všetky premenné vo výpočte, názvy zdrojových súborov a výpis počítaných veličín.

1.2.2 Simulácia prechodných javov v prostredí EMTP – ATP

1.2.2.1 Popis programu EMTP – ATP

Pôvodné algoritmy programu vznikali pre počítače triedy mainframe so stĺpcovo orientovanou štruktúrou vstupných dát, ktoré pracovali s diernymi štítkami. Základným jazykom zdrojového programu ATP bol FORTRAN, neskôr boli pre rôzne typy počítačov a pracovných staníc s rôznymi platformami operačných systémov zhotovené hardvérovo závislé prekladače. V tomto programe môžu byť simulované siete a kontrolné systémy rôznej štruktúry. Program má rozsiahle možnosti modelovania a ďalšie pridané prostriedky popri výpočte prechodných javov. Diferenciálne funkcie v časovej oblasti sú riešené základnými lichobežníkovými pravidlami integrácie. Štandardne je možné modelovať sieť s 250 uzlami, 300 lineárnymi vetvami, 40 vypínačmi, 50 zdrojmi. Program je možné využiť v jedno aj viacfázových sieťach pre výpočty:

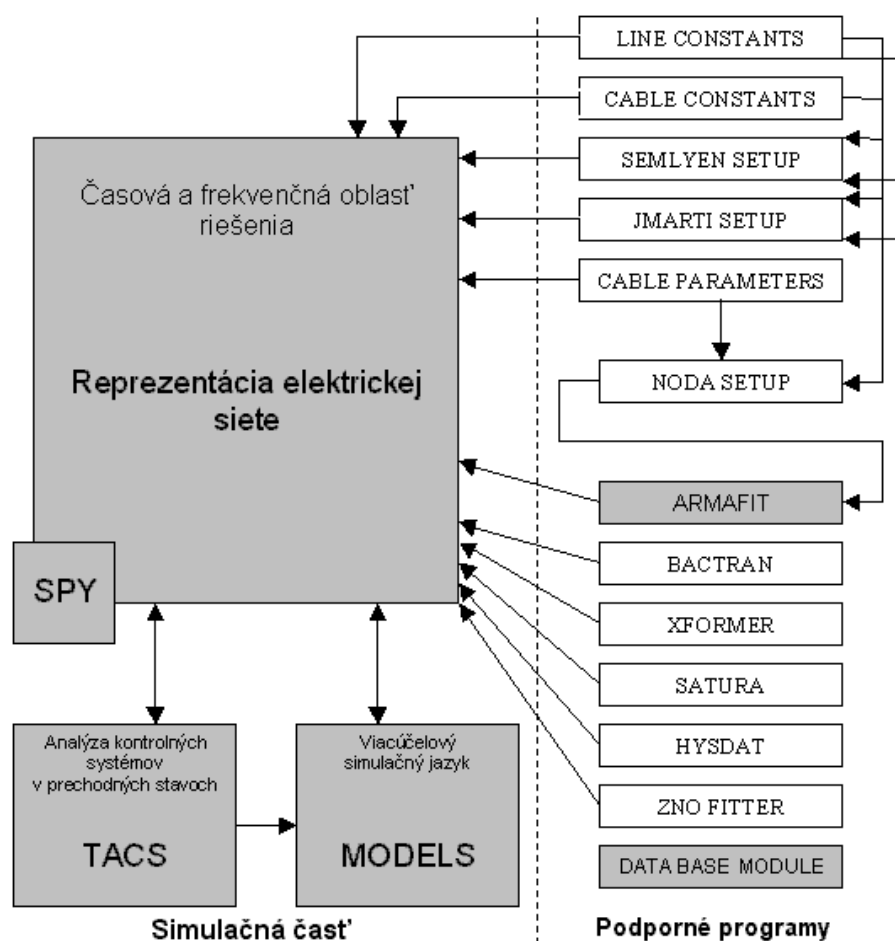
- ustálených hodnôt fázorov v lineárnych aj nelineárnych systémoch s jednosmernými a striedavými zdrojmi jednej alebo viacerých frekvencií,
- ustálených fázorov v systémoch, kde je frekvencia striedavých zdrojov plynulo premenná po krokoch daných programom – frekvenčné charakteristiky,
- výpočty energií uvoľnených alebo akumulovaných v prvkoch, výkony,
- dynamiky kontrolného systému. Modelovanie kontrolných systémov umožňujú procedúry TACS (Transient Analysis of Control Systems), ktoré vykonávajú analýzu kontrolných systémov v prechodných stavoch. Podprogram umožňuje simulovať prenosové funkcie, logické obvody, integrátory, obmedzovače a ďalšie podobné bloky. Môžu samostatne spracovávať vstupné hodnoty z elektrickej siete a generovať signály pre kontrolné a riadiace účely,
- elektromagnetických prechodných javov a torznej dynamiky hriadeľ a rotora generátora alebo turbíny. S využitím procedúr TACS možno napríklad riešiť rýchlostné regulátory turbosústrojenstva.

Program EMTP – ATP využíva pre riešenie algebrických, diferenciálnych a parciálnych diferenciálnych rovníc, ktoré popisujú obvody skladajúce sa z ľubovoľne prepojených článkov elektrickej siete, tieto prvky:

- prvky so sústredenými parametrami R , L , C ,
- prvky so vzájomnou väzbou (transformátory, vedenia),

- viacfázové prenosové vedenia s priestorovo sústredenými aj rozloženými parametrami, ktoré môžu byť frekvenčne závislé,
- nelineárne prvky R , L , C ,
- spínače s premenlivými spínacími podmienkami určené na simuláciu ističov, iskríšť, diód, tyristorov a iných zmien konektivity siete,
- napäťové a prúdové zdroje rôznych frekvencií. Okrem štandardných matematických funkcií možno zdefinovať zdroje ako funkcie času bod po bode,
- model trojfázového synchronného stroja s rotorom, budiacim vinutím, tlmiacim vinutím a pružným hmotnostným systémom na simuláciu torzných oscilácií,
- modely univerzálneho stroja na simuláciu trojfázového indukčného stroja, jednofázového striedavého stroja a jednosmerných strojov,
- prvky kontrolného systému a snímacích bodov.

1.2.2.2 Prostriedky programu EMTP – ATP



Obr. 2 Moduly programu EMTP – ATP

EMTP – ATP, ako univerzálny program na digitálnu simuláciu elektromagnetických a elektromechanických prechodných javov v silových systémoch, má rozsiahle modelovacie schopnosti. Popri aktuálnych simulačných moduloch tu existuje niekoľko nesimulačných podporných programov, ktoré môžu byť použité na generovanie dátových modelov ako sú napr. výpočet parametrov vedení alebo derivácia väzobne spojených RL matíc na reprezentáciu viacfázových viacvinutových transformátorov v časovej oblasti simulácie. Schematický prehľad dostupných simulačných modulov a podporných programov s ich vzájomnou interakciou je na obr. 2.

TACS je simulačný modul na analýzu kontrolných systémov v časovej oblasti. Riadiace systémy sú reprezentované použitím blokových diagramov. Spolupráca medzi elektrickou sieťou a TACS je založená na výmene signálov ako sú informácie o uzlovom napätí, prúde vypínačov, polohe vypínačov, časovo premenných odporoch, napäťových a prúdových zdrojoch. TACS ako simulačný modul bol pôvodne vyvinutý na simuláciu riadenia vysokonapäťových jednosmerných prevodníkov, použitie je však dnes rozsiahlejšie. Používa sa aj na simuláciu budiacich systémov synchronných strojov, iskríšť na obmedzenie prúdov v bleskoistkách, elektrického oblúka (výkonových vypínačov a oblúkových porúch), silovej elektroniky a pohonov a na simuláciu ostatných javov, ktoré nie sú priamo modelované existujúcimi prvkami v ATP.

MODELS patrí spolu s TACS medzi simulačné moduly. Je to viacúčelový popisný jazyk používaný k vytváraniu vlastných objektov, užívateľom definovaných kontrolných a elektrických obvodových komponentov pri práci s programom. Je podporovaný viacerými simulačnými nástrojmi a môže byť použitý pre spracovanie simulačných výsledkov ako v časovej, tak vo frekvenčnej oblasti.

1.2.2.3 Programy pre prácu s EMTTP – ATP

Samotný program EMTTP – ATP je program výpočtový. Kvôli sprehľadneniu práce s týmto programom, možnosti editácie jednotlivých typov súborov zapojených do spolupráce pri riešení obvodov simulovaných v ATP a v poslednom rade kvôli

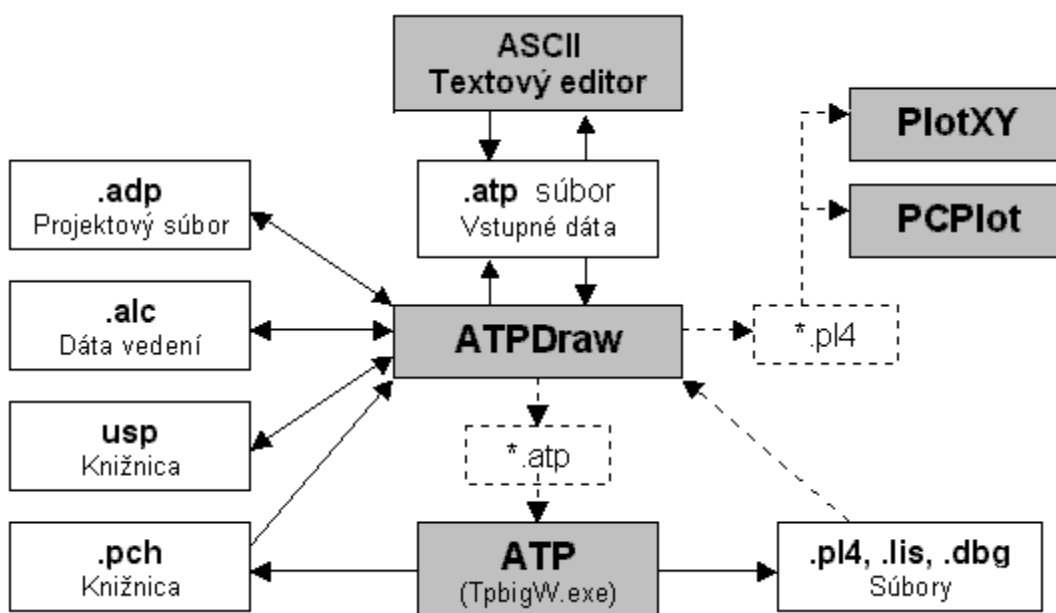
zjednodušenému vizuálnemu vytváraniu jednotlivých obvodov bol vytvorený rad užitočných programov. Patria tu podporné programy, ako sú:

- **ATPDraw** – grafický preprocesor,
- **PCPlot, PlotXY, GTPPlot** – grafické výstupy ATP,
- **Programmer's File Editor (PFE)** – textový editor na vytváranie a editáciu vstupných súborov,
- **ATP Control Center** – program sústreďujúci ovládanie všetkých týchto programov do jedného okna.

1.2.2.4 Grafický preprocesor ATPDraw

EMTP – ATP, ako simulačný systém, obsahuje okrem výpočtového programu rozličné oddelené podporné programy (pre- a postprocesory) a inicializačné súbory. Popri iných alternatívach (napríklad použitie programu ATP Control Center) môže byť ATPDraw použitý ako simulačné centrum, ktoré poskytuje operačnú kostru pre ostatné súčasti ATP. Takto je možné spúšťať externé procesy ako aj priamo vykonávať výpočty v ATP. Taktiež sa dajú z ATPDraw spúšťať postprocesory a externé podporné programy.

Obr. 3 ponúka prehľad tradičného použitia programu EMTP – ATP. Súčasti ATP komunikujú cez diskové súbory, výstupy preprocesorov sú používané ako vstup pre hlavný program a produkty simulácie môžu byť použité ako vstupy pre programy na vykreslenie výsledných priebehov. Štruktúra programových komponentov je dosť zložitá, takže prítomnosť ovládacieho programu, ktorý kontroluje vykonávanie rozličných iných programov a dátových vstupov a výstupov je dosť značnou výhodou.



Obr. 3 Schematický prehľad práce s programom EMTP – ATP

Na obr. 3 je zobrazená zjednodušená schéma funkcie programu ATP s ATPDraw ako grafickou nadstavbou a centrálnym užívateľským programom. Plné čiary znamenajú prenos dát a čiarkované prenos informácií. Výstupom alebo vstupom tejto grafickej nadstavby sú súbory s príponou *.adp určené pre archiváciu vytvorenej schémy, ďalej súbory s príponou *.atp s 80 znakovou riadkovou štruktúrou určené pre výpočtové jadro ATP so spúšťačím programom TpbigW.exe. Ďalšími výstupmi ATPDraw sú pomocné súbory s koncovkami *.pch, *.lib, *.alc, v ktorých možno definovať vlastnosti viacnásobne použitých obvodových elementov (vedenia, transformátory, nelineárne charakteristiky prvkov, atď.) a ktoré je možno využiť v iných, v budúcnosti zostavovaných schémach.

Priebeh výpočtu je možné nechať zobraziť na obrazovke alebo potlačiť ako aplikáciu na pozadie. Behom výpočtu sa vytvárajú tri druhy súborov. Prvým z hľadiska dôležitosti je súbor s koncovkou *.pl4, určený pre výslednú grafickú interpretáciu funkčných závislostí v meraných bodoch schémy. Vypočítané priebehy je možné zobraziť v prehliadačoch, ako sú napr. PCPlot alebo PlotXY. Všeobecne sa dá povedať, že s vypočítanými priebehmi možno v prehliadačoch ďalej realizovať zväčšovanie a ďalšie operácie vrátane Diskrétnej Fourierovej Transformácie (DFT). Ďalším menej významným súborom (ak výpočet prebieha podľa predpokladov) je *.dbg súbor. Jeho význam vzrastie pri akejkolvek havárii vo výpočte, upozorní užívateľa na možný zdroj chyby v zadaní, kvôli ktorej sa výpočet zastavil. Posledným typom je *.lis súbor. V ňom

sú v textovo-tabuľkovej forme obsiahnuté všetky premenné vo výpočte, názvy zdrojových súborov a výpis vypočítaných hodnôt vo zvolenom kroku. Existuje možnosť vytvorenia súboru *.pl4 v ASCII formáte, prístupnom pre použitie softvéru typu MS-Excel alebo Corel Qattro Pro, MathCAD a podobne. Generovanie troch vyššie uvedených súborov možno podľa vlastnej potreby vypnúť, prípadne nastaviť krok zápisu hodnôt riešení.

ATPDraw je grafický, myšou ovládaný preprocesor k ATP verzii programu pre elektromagnetické prechodné javy (EMTP). V programe môže užívateľ konštruovať elektrické obvody vybratím preddefinovaných komponentov z menu knižníc. Preprocesor potom vytvára, korešpondujúci vstupný súbor *.atp v korektnom formáte. Označenie uzlov siete prebieha automaticky, prípadne ich môže užívateľ pomenovať sám podľa osobne zvoleného kódu. Uzly sú v programe veľmi dôležité, pretože sa prakticky celý výpočet koncentruje na vypočítanie hodnôt napätí, prúdov alebo energie v daných uzloch siete alebo vo forme rozdielu medzi uzlami siete. ATPDraw podporuje 64 štandardných prvkov a 24 objektov TACS, umožňuje zjednodušené použitie modulu MODELS, navyše tu môže užívateľ vytvárať vlastné obvodoové objekty použitím programu Data Base Module. Základom simulovaných obvodov sú jedno- a trojfázové prvky.

V programe je možné vytvárať viacnásobné okná s riešenými obvodmi, pracovať súčasne na niekoľkých obvodoch a kopírovať medzi nimi informácie. V rámci obvodov sú k dispozícii funkcie typu kopírovať-vložiť objekty, zlučovať a rozdeľovať, export-import a pod. Ďalšie funkcie programu ATPDraw sú: vstavaný editor pre súbory *.atp, podpora pre vstup a výstup súborov vo formáte Windows Metafile/Bitmap alebo PostScript. Preprocesor obsahuje aj program ATP LCC pre parametre Line/Cable. Významnou je aj možnosť budovania vlastných knižníc obvodov.

Simulované obvody sa vytvárajú tak, že sa jednotlivé zvolené prvky v obvodoovom okne navzájom spájajú v miestach svojich uzlov. Každému prvku je potrebné priradiť jeho vlastnosti charakterizované elektrickými parametrami. Toto je možné docieľiť v tzv. dialógovom okne komponentov, ktorý vyvoláme dvojklikom na zvolený prvok simulovanej elektrickej siete.

2 Riešenie prechodných dejov a ich eliminácia využitím EMTP ATP

Prechodné a dynamické deje výrazne ovplyvňujú spoľahlivý chod elektrizačnej sústavy spočívajúci v stave prevádzkových veličín systému. Ľubovoľná zmena prevádzkových parametrov systému má za následok narušenie ustáleného chodu (rovnovážneho stavu), v dôsledku čoho vzniká prechodný jav. Prechodné javy v elektrizačnej sústave vznikajú vždy pri prechode elektrizačnej sústavy z jedného ustáleného stavu do nového, alebo počas prechodného javu. Pokiaľ niektorý prevádzkový parameter zmení svoju hodnotu tak, že nedôjde k obnoveniu rovnovážneho stavu, dôjde k nestabilite systému. To je jeden z hlavných dôvodov prečo sa v súčasnosti kladie veľký dôraz na elimináciu týchto dejov.

2.1 Prechodné javy v elektrizačnej sústave

Prechodné javy chápeme ako časovú zmenu, pri ktorej sa mení určité množstvo energie viazané k danému elektrickému alebo k elektromechanickému systému obvodu na inú formu energie. Z tohto hľadiska môžeme prechodné javy rozdeliť na:

- **Vlnové prechodné javy**, ktorých čas trvania prechodného javu sa udáva v mikrosekundách až milisekundách.
- **Elektromagnetické prechodné javy**, s časom trvania radovo do 2 – 3 milisekúnd (poistky) alebo od 0,1 sekundy až do 3 – 5 sekúnd (elektrická ochrana s výkonovým vypínačom), v závislosti od stupňa vypnutia.
- **Elektromechanické prechodné javy**, s časom trvania v širokom časovom rozmedzí, radovo od desiatín sekundy až po niekoľko desiatok sekúnd.

2.1.1 Elektromagnetické prechodné javy

Medzi elektromagnetické prechodné javy je možné zaradiť tiež skraty. Skraty s priamo uzemneným stredným uzlom môžeme rozdeliť na:

- *trojfázový skrat,*
- *dvojfázový skrat,*
- *dvojfázový zemný skrat,*
- *jednofázový skrat.*

Podľa impedancie skratového zapojenia je možné rozdeliť skraty na:

- **dokonalé** – pri nich je impedancia v mieste spojenia zanedbateľná,
- **nedokonalé** – pri nich má impedancia určitú hodnotu, ktorá ovplyvňuje veľkosť skratového prúdu,
- **súmerné** – postihnuté sú všetky tri fázy (trojfázový skrat),
- **nesúmerné** – postihnutá je iba jedna alebo dve fázy.

2.1.2 Vyššie harmonické v elektrických sieťach

Termín „vyššie harmonické“, alebo len skrátene „harmonické“, značí sínusový (kosínusový) priebeh napätia, respektíve prúdu, ktorých frekvencia je celočíselným násobkom základnej frekvencie, pre ktorú bola navrhnutá elektrická sieť.

Príčinou vzniku deformovaných priebehov napätí, respektíve prúdov sú nelineárne volt-ampérové charakteristiky zariadení, ktoré sú inštalované v elektrizačnej sústave; predovšetkým sú to: frekvenčné meniče, usmerňovače, oblúkové pece, kompaktné žiarivky s elektronickým predradníkom, elektronicky spínané zdroje jednosmerného napätia a pod.

Nakoľko sa menia výkonové pomery v sieti, mení sa aj definícia účinníka. V klasickom chápaní je účinník definovaný ako pomer činného výkonu prvej harmonickej k zdanlivému výkonu prvej harmonickej. V sieťach s deformovanými priebehmi napätí a prúdov sa však definuje tzv. skutočný účinník (power factor) ako:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (1)$$

kde λ je skutočný účinník, S je zdanlivý výkon, P je činný výkon, Q je jalový výkon a D je deformačný výkon.

Deformované priebehy napätí/prúdov vykazujú najčastejšie nasledovné negatívne účinky:

- chybnú funkciu regulačných zariadení a ochrán,
- chybnú funkciu HDO a iných systémov sieťovej signalizácie,
- prídavné straty na kondenzátoroch,
- prídavný hluk motorov a iných prístrojov,
- telefónne interferencie,
- prídavné činné straty,
- zhoršenie tepelného režimu spotrebičov,
- zníženie životnosti zariadení,

- vznik nežiaducich rezonančných javov v sieti,
- nárast chýb meracích a regulačných zariadení a iné.

2.1.3 Prepätia v elektrických sieťach

Prepätie je napätie, ktoré presahuje najvyššiu hodnotu prevádzkového napätia v elektrickom obvode. Všeobecne môže ísť o dlhodobý jav, ale v tomto príspevku budú uvedené a popísané len krátkodobé prechodné (tranzientné) prepätia.

Impulzné prepätie je krátkodobé prepätie, trvajúce radovo nanosekundy až milisekundy. Patrí medzi najvýraznejšie a najškodlivejšie prejavy elektromagnetickej interferencie (rušivé vplyvy) a ohrozuje zvlášť elektronické zariadenia s hustou integráciou polovodičových súčiastok.

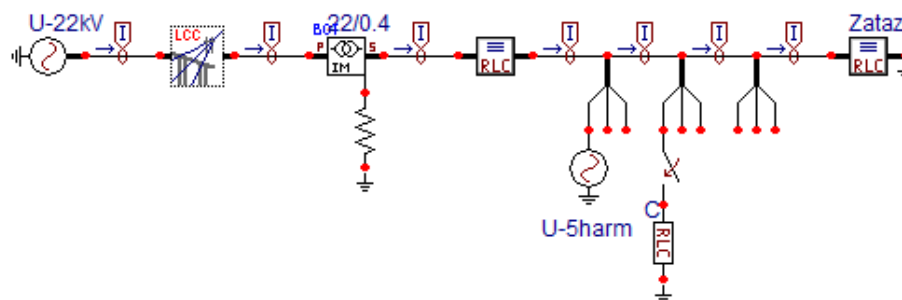
Podľa pôvodu zdroje impulzného prepätia je možné rozdeliť na:

- **Atmosférické prepätie (LEMP – Lighting Electromagnetic Pulse)**,
- **Spínacie prepätia**, ktoré vznikajú pri spínaní v obvodoch a sieťach (**SEMP – Switching Electromagnetic Pulse**),
- **Prepätie spôsobené nukleárnymi výbuchmi (NEMP – Nuclear Electrostatic Pulse)**,
- **Prepätia vzniknuté pri výbojoch statickej elektriny (ESD – Electrostatic Discharge)**.

2.2 Eliminovanie prechodných javov v EMTP – ATP

Prechodné javy boli realizované na modelovej 0,4 kV sieti (napájanej z 22 kV uzla). Zátťaž odoberala prirodzený výkon pre 0,4 kV vedenie.

2.1.4 Prepätia v elektrickej sieti



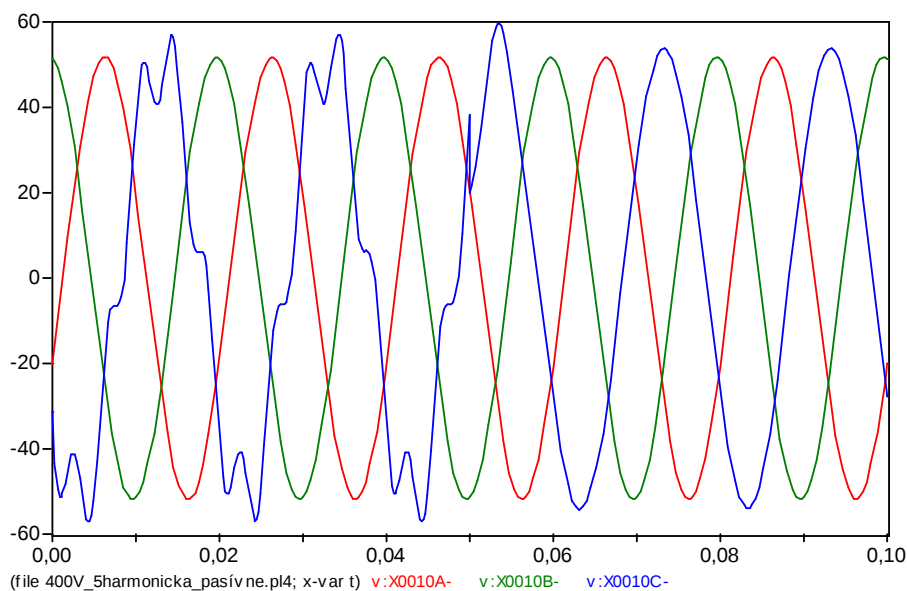
Obr. 4 Schéma siete s prídavným zdrojom 5. harmonickkej a jej eliminácia pasívnym filtrom v EMTP – ATP

Eliminácia pasívnym prvkom bola realizovaná RLC filtrom zapojeným paralelne k modelu záťaže (resp. paralelne k zdroju 5. harmonickej). Výpočet RLC filtra pre eliminovanie 5. harmonickej:

$$X_{L(RLC)} = X_{L(Zataz)} = 0,08181 \, \Omega \quad (2)$$

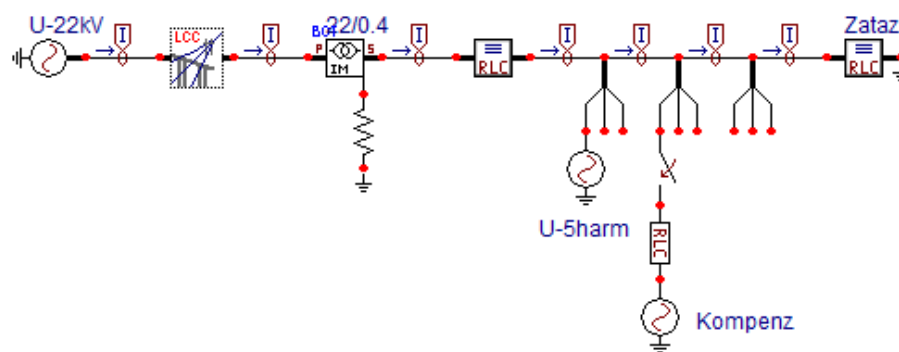
$$C = \frac{1}{\omega_h^2 \cdot L} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 50)^2 \cdot \frac{0,08181}{2 \cdot \pi \cdot 50}} = 155,34 \, \mu\text{F} \quad (3)$$

Po zadaní parametrov RLC prvku v EMTP – ATP, bol zadaný čas zopnutia vypínača na hodnotu 0,05 sekundy. Od tohto času eliminuje pasívny filter 5. harmonickú a výsledok simulácie podľa schémy na Obr. 4 je možné vidieť na Obr. 5.



**Obr. 5 Výsledný priebeh napätia pred a po eliminácii pasívnym prvkom 5. harmonickej
(v čase 0,05 s)**

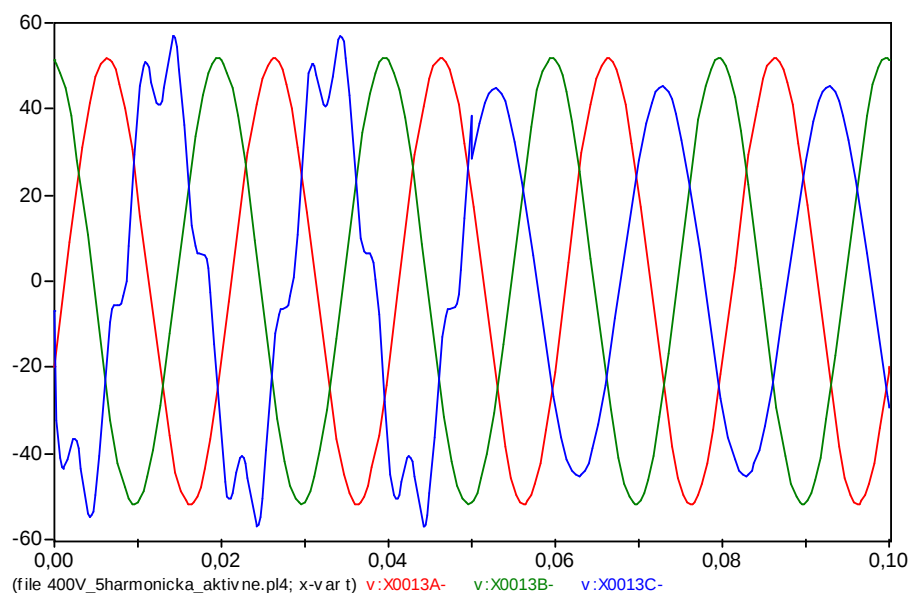
2.1.5 Eliminovanie vyšších harmonických aktívnym filtrom



Obr. 6 Schéma siete s prídavným zdrojom 5. harmonickej a jej eliminácia aktívnym filtrom
v EMTP – ATP

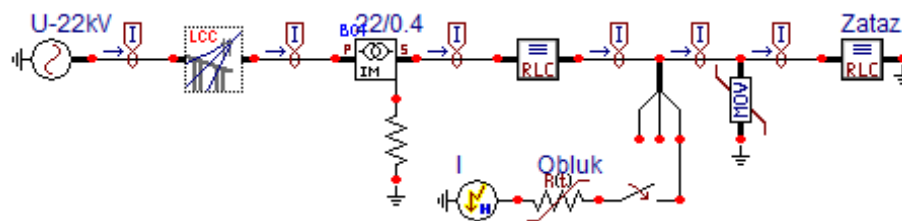
Eliminovanie 5. harmonickej bolo v tomto prípade realizované pridaním ďalšieho zdroja s rovnakou amplitúdou, ale s opačnou fázou k zdroju vyššej harmonickej. Navyše, do série ku kompenzačnému prúdovému zdroju bol pridaný RLC prvok, ktorý zabezpečuje zníženie vplyvu asymetrie siete.

V praxi tento RLC prvok nie je potrebný, ale nakoľko EMTP – ATP pridáva do siete ďalší pevný zdroj, zapríčiňuje to zníženie amplitúdy napätia (prúdový zdroj musí mať rovnakú impedanciu, teda vyžaduje sa RLC prvok).



Obr. 7 Výsledný priebeh napätia pred a po eliminácii aktívnym prvkom 5. harmonickej
(v čase 0,05 s)

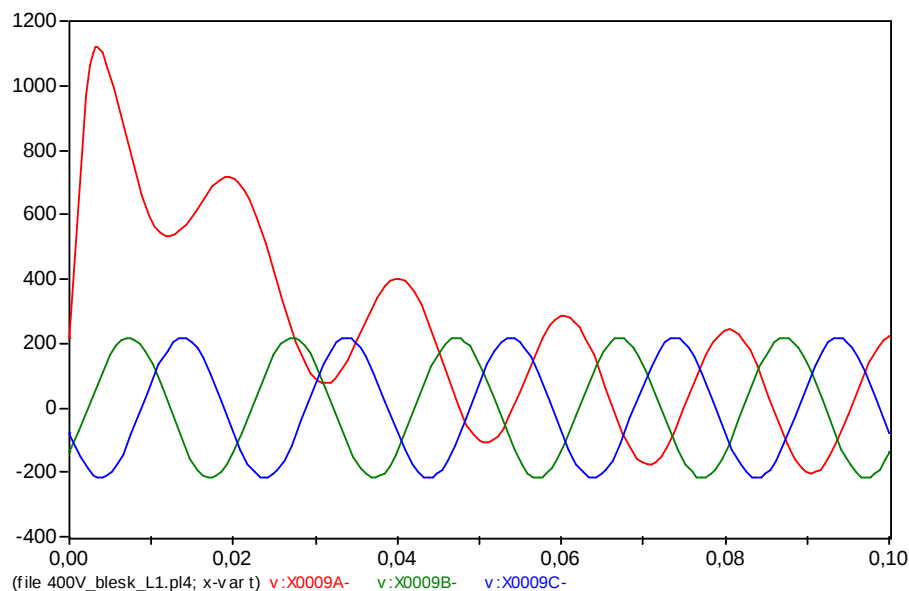
2.1.6 Model blesku a jeho eliminovanie



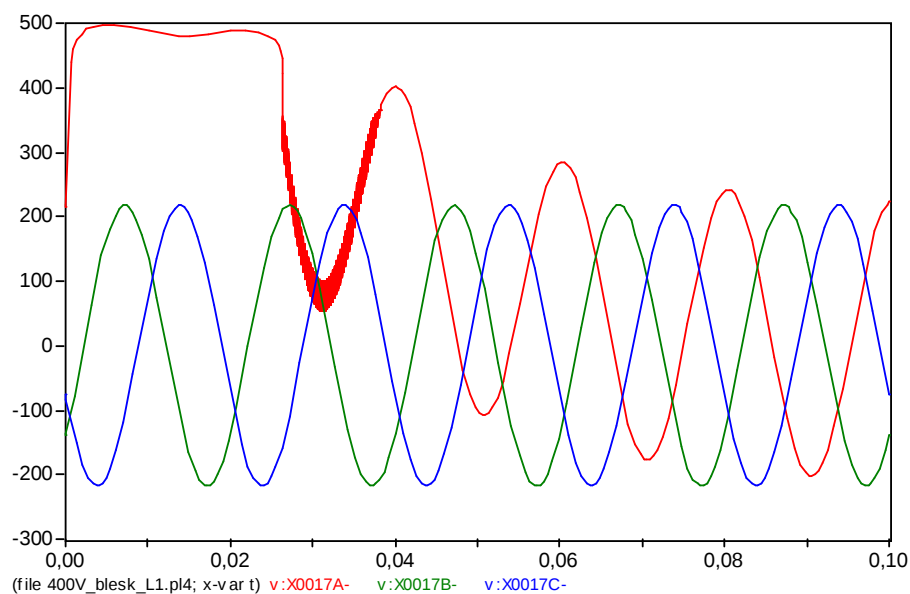
Obr. 8 Schéma siete s prídavným zdrojom blesku a jeho eliminácia zemniacim lanom (prvok MOV) v EMTP – ATP

Ako model úderu blesku do fázy L1 (400 V sieť) bol použitý prúdový zdroj typu Heidler 15 a Cassieho model oblúka, ako je zobrazené na Obr. 8.

Eliminovanie blesku (vplyvu prepätia) bolo realizované modelom zemniaceho lana ZnO, t.j. v tomto prípade bol použitý prvok MOV v prostredí EMTP – ATP.

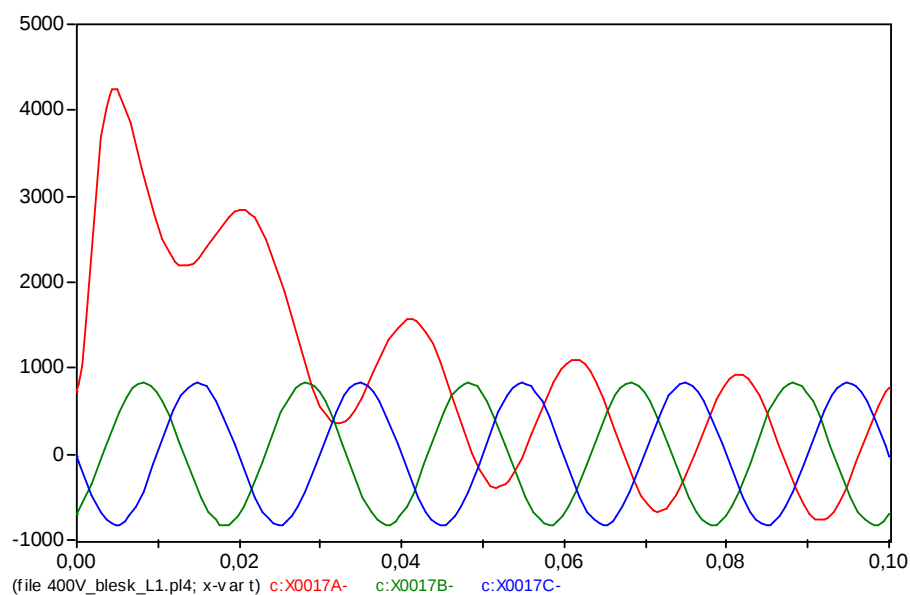


Obr. 9 Výsledný priebeh napätia (prepätia) zapríčineného úderom blesku do fázy L1 (fáza A) pred elimináciou zemniacim lanom

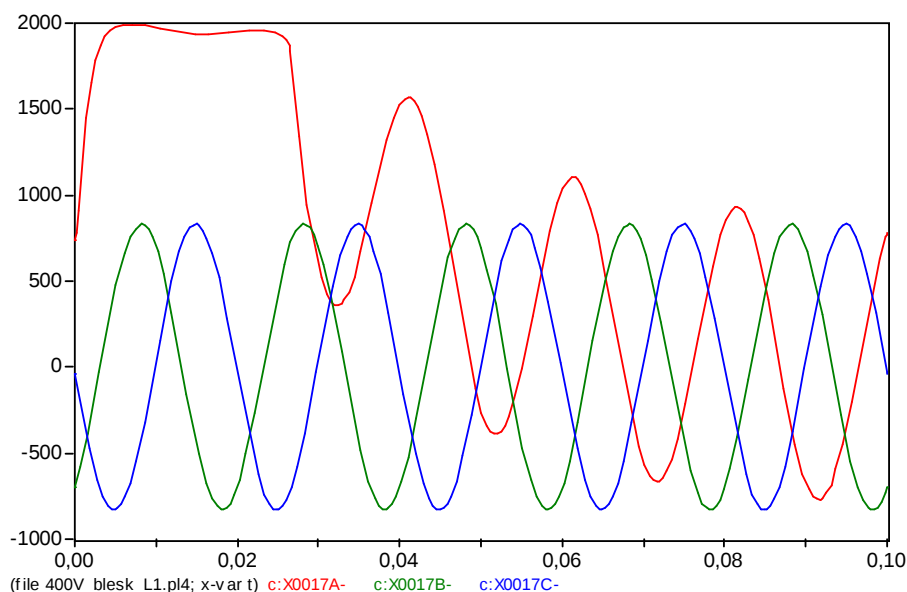


Obr. 10 Výsledný priebeh napätia (prepätia) zapríčineného úderom blesku do fázy L1 (fáza A) po eliminácii zemniacim lanom

Priebeh prúdu pri údere blesku do fázy L1 s využitím zemniaceho lana ZnO a bez neho je zobrazený na nasledujúcich grafoch, Obr. 11 a Obr. 12.



Obr. 11 Výsledný priebeh prúdu zapríčineného úderom blesku do fázy L1 (fáza A) bez využitia zemniaceho lana

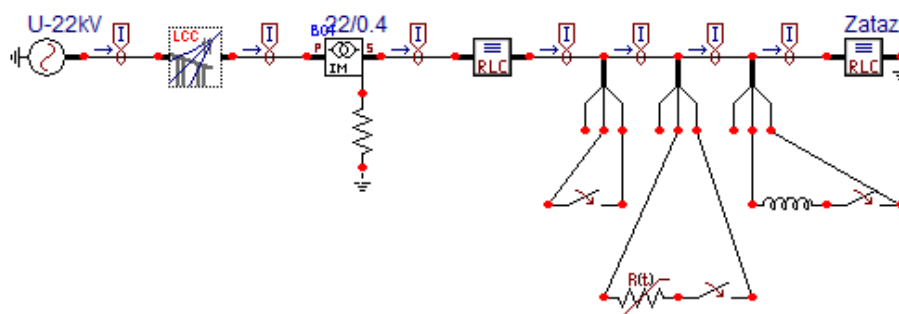


Obr. 12 Výsledný priebeh prúdu zapríčineného úderom blesku do fázy L1 (fáza A) s využitím zemniaceho lana

Z uvedených výsledkov simulácií je vidieť, že eliminovanie prechodných dejov v elektrickej sieti je dôležité, aby sa zabránilo dočasným alebo trvalým poškodeniam pripojených zariadení.

V tomto prípade bol pre eliminovanie vplyvu prepätia zapríčineného úderom blesku do fázy L1 použitý model zemniaceho lana, ktorý sa bežne využíva v praxi.

2.1.7 Model 2-fázového skratu a jeho eliminovanie



Obr. 13 Schéma siete s 2-fázovým skratom medzi fázami L1 a L2 a jeho eliminácia pasívnym filtrom v EMTP – ATP

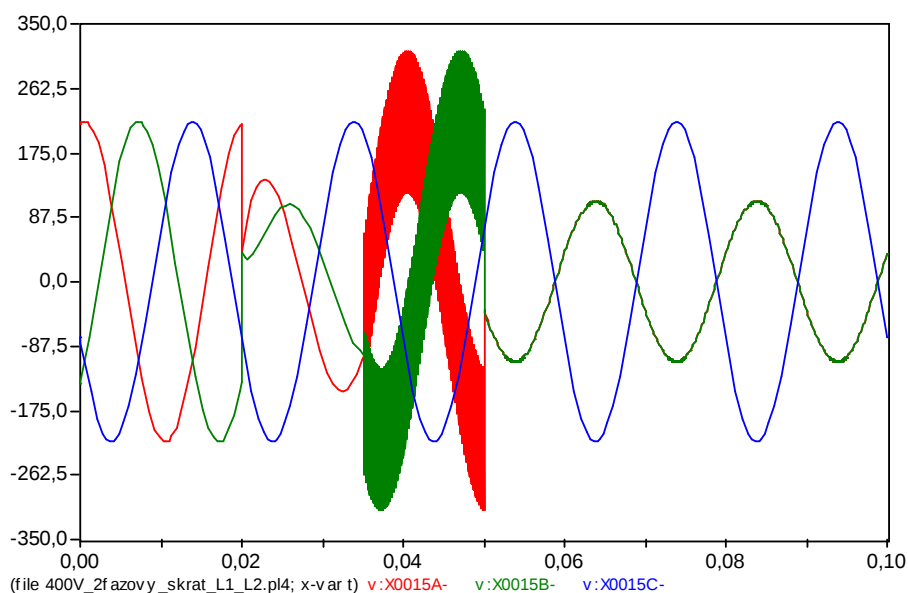
Medzi elektromagnetické prechodné deje patria tiež skraty. Ako príklad eliminovania skratu bol zvolený 2-fázový oblúkový skrat medzi fázami L1 a L2, ktorý vznikol v čase 0,02 s (Obr. 13). Typ modelu oblúka bol zvolený Cassie.

Výsledky špičkového prúdu (i_p) pri tomto type skratu bez a s využitím eliminačného prvku (v tomto prípade cievky), sú uvedené v tabuľke 1.

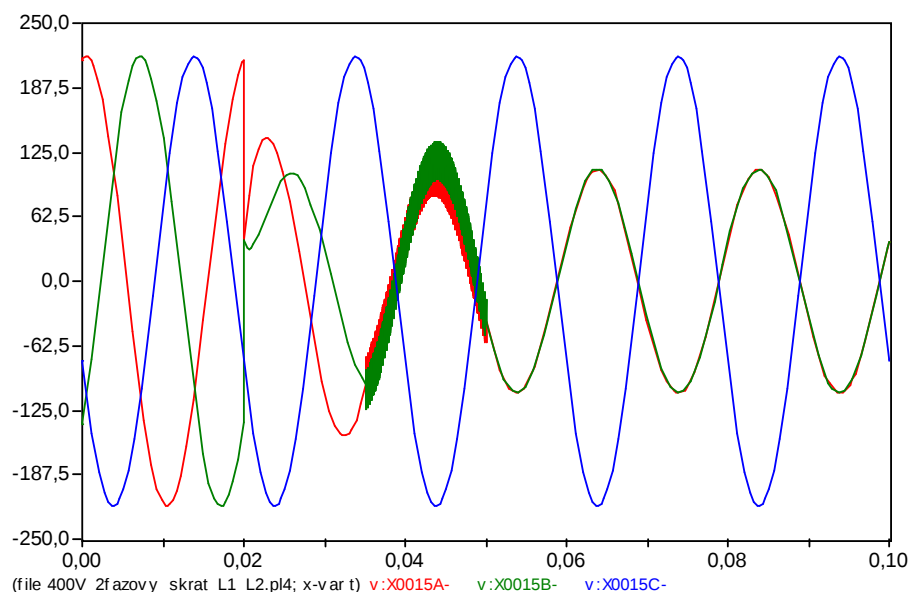
Tabuľka 1

Špičkové hodnoty prúdu pri 2-fázovom skrate

		i_p [A]
Bez eliminácie	L1	2178,8
	L2	1973,5
S elimináciou	L1	385,91
	L2	445,28



Obr. 14 Výsledný priebeh napätia pri 2-fázovom skrate, ktorý vznikol v čase 0,02 s (s vplyvom oblúka v čase 0,035 s až 0,5 s) bez nasadenia eliminačného prvku



Obr. 15 Výsledný priebeh napätia pri 2-fázovom skrate, ktorý vznikol v čase 0,02 s (s vplyvom oblúka v čase 0,035 s až 0,5 s) s nasadením eliminačného prvku (tlmivky)

Pre eliminovanie vplyvu skratových prúdov bol využitý v tomto prípade model cievky (tlmivky), resp. série cievok zapojených paralelne k záťaži. Tento prvok (s pevnou alebo s regulovateľnou hodnotou), znižuje amplitúdu skratového prúdu a amplitúdu napätia počas horenia oblúka.

Pravdepodobne najznámejším prvkom pre eliminovanie skratových prúdov je už spomínaná cievka (reaktor, tlmivka), zapojená do série s obvodom, v ktorom sa môžu vyskytnúť vyššie skratové prúdy, ako sú dovolené pre pripojené zariadenia. Reaktor na jednej strane zníži hodnotu skratového prúdu, ale tým, že je pripojený trvalo do série s obvodom, vznikajú dodatočné Jouleove straty, ktoré je potrebné zaplatiť. Preto jednou z možností je využitie a inštalovanie tzv. I_S -limitora (od spoločnosti ABB).

3 Analýza prechodných javov pripojenia obnoviteľných zdrojov využitím nástrojov EMTP ATP a Matlab/SimPowerSystem

3.1 Problémy opätovného pripojenia decentralizovaných energetických zdrojov energie do elektrizačnej sústavy

Problémy pripojenia veterných elektrární:

- konvenčné zdroje musia byť v stave pohotovosti a pripravené, v prípade náhlej zmeny vetra;
- závislosť od aktuálnej meteorologickej situácie;
- relatívne malý výkon na jednu veternú elektrárňu;
- nie sú schopné prevádzky v prípade, ak rýchlosť vetra je nad $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ alebo pod $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Problémy pripojenia slnečných elektrární:

- konvenčné zdroje musia byť v stave pohotovosti a pripravené, v prípade výpadku slnečnej elektrárne;
- problémy s premenlivým denným svetlom v rôznych ročných obdobiach (v decembri je 7-krát menší ako v júli);
- značný rozdiel medzi dňom a nocou.

Problémy pripojenia vodných elektrární:

- generujú elektrinu len v prípade, že je dostatok vody pre daný typ vodnej elektrárne.

3.2 Výber vhodnej časti elektrizačnej sústavy pre modelovanie pripojovania decentralizovaných zdrojov

Pre určenie elektrických strát pri pripojovaní zdrojov energie bola vybraná časť lúčovej siete na východnom Slovensku. Sústava je na napäťovej úrovni 22 kV a je napájaná zo 110 kV uzla cez transformátor. V programe EMTP ATP bola namodelovaná časť tejto sústavy.

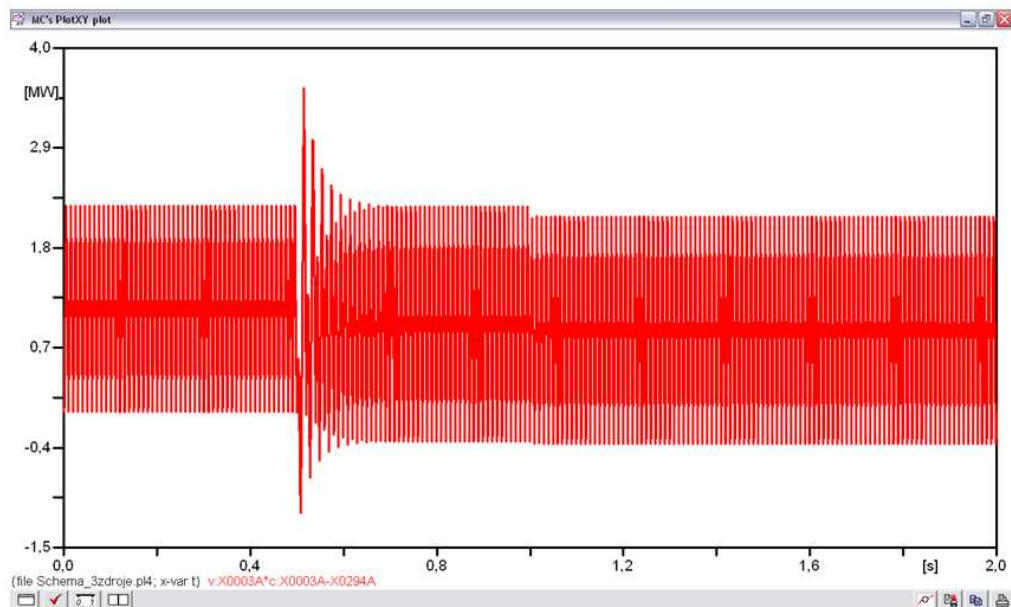
- v rôznych miestach siete boli snímané údaje v uzloch siete (napätia, prúdy, ...) a následne zaznamenané a vyhodnotené;
- vypočítal sa maximálny možný pripojený výkon v danom uzle a otestovala sa dovolená odchýlka napätia (napätie v uzle musí po pripojení zdroja splniť podmienku $\pm 2\%$ nominálnej hodnoty v uzle);
- výsledky boli vyhodnotené pre fázu L1 (A), nakoľko záťaže boli takmer symetrické.

Tabuľka I. Simulácia pripojenia dvoch zdrojov s rôznymi parametrami a maximálnym napätím druhého zdroja 391 V a 333 V tretieho zdroja (tučné písmo značí maximálne napätie v danom uzle pri pripojení zdrojov, ktoré spĺňa podmienku $\pm 2\%$ nominálnej hodnoty napätia v uzle)

	uzol	uzol	uzol	uzol	uzol	uzol	uzol	uzol
VN	X0003	X0040	X0125	X0069	X0071	X0067	X0162	
1 [V]	17933	17815	17723	17709	17703	17744	17710	
1+2 [V]	18090	18105	18089	18094	18088	18129	18075	
1+2+3[V]	18092	18115	18111	18110	18104	18145	18102	
NN	X0016	X0058	X0132	X0164	X0188	X0076	X0096	X0116
1 [V]	319,48	317,91	317,95	317,75	318,51	322,7	318,81	318,49
1+2 [V]	322,9	323,98	324,55	324,35	325,13	332,85	325,78	325,45
1+2+3[V]	322,96	324,23	324,92	332,04	325,58	333,12	326,05	325,71

Maximálne napätia, ktoré je možné zvoliť pre jednotlivé zdroje, pri dodržaní podmienky zmeny napätia v každom uzle o max. $\pm 2\%$:

- zdroj 1: $U_{m1} = 89815 \text{ V}$
- zdroj 2: $U_{m2} = 391 \text{ V}$
- zdroj 3: $U_{m3} = 333 \text{ V}$

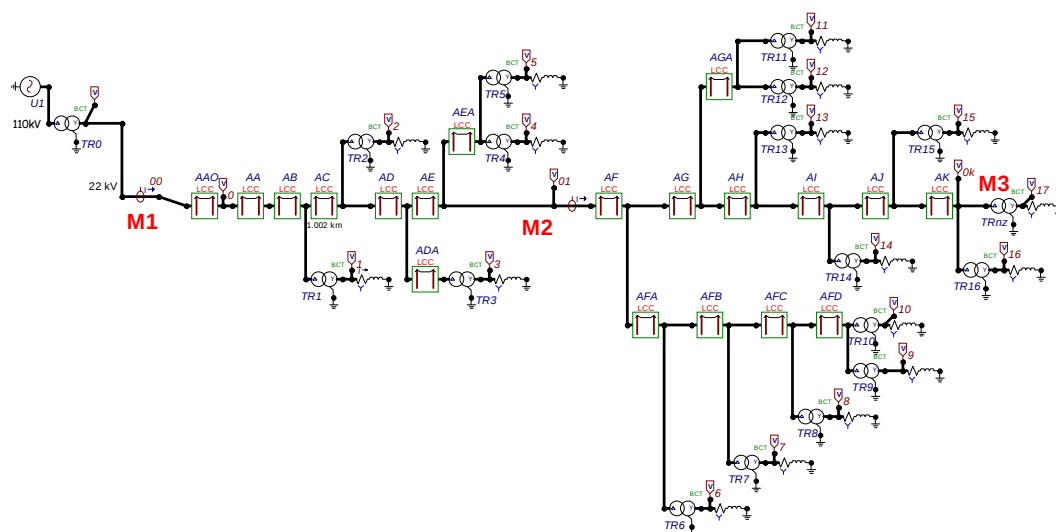


Obr. 17 Výkon prvého zdroja, keď bol prevádzkovaný samostatne (0 + 0,5 s), s 2. zdrojom (0,5 + 1 s) a následne s 3. zdrojom (1 + 2 s)

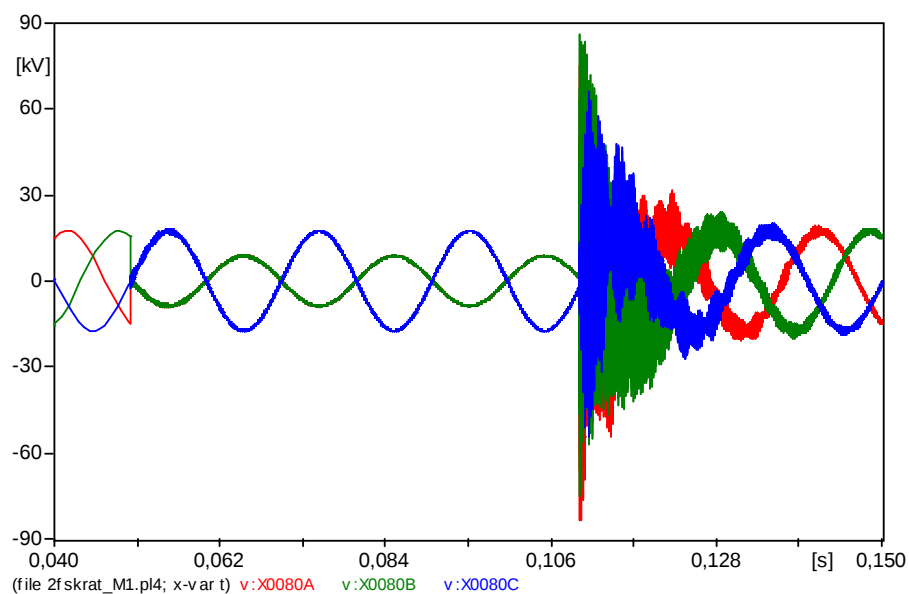
Maximálny okamžitý výkon meraný v blízkosti pripojených zdrojov:

- výkon zdroja 1 (samostatne) = **2,2643 MW**
- výkon zdrojov 1 a 2 = **3,5280 MW** = 2,2541 MW + 1,2739 MW
- výkon zdrojov 1, 2 a 3 = **3,5653 MW** = 2,1458 MW + 1,2621 MW + 0,1574 MW

3.3 Simulácia prechodných dejov na časti elektrizačnej sústavy v prostredí EMTP-ATP



Obr. 18 Náhradná schéma (v EMTP-ATP verzia 5) pre simuláciu prechodných dejov v miestach porúch a snímania M1, M2, M3



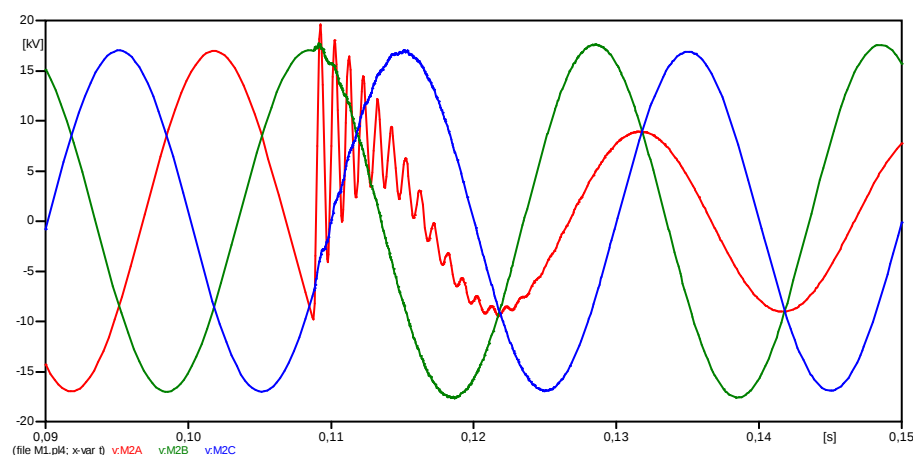
Obr. 19 Priebeh napätia pred (do 0,05 s) a počas 2-fázového skratu (0,05 až 0,11 s), ktorý vznikol v mieste M1 a bol snímaný v mieste M1 (vznik prepätia po odstránení skratu v čase 0,11 s) (pozri Obr. 18)

Tabuľka II. Dvojfázový skrat – namerané údaje

Miesto merania	Miesto M1	Ustálený stav	Prepätie pri vypnutí skratu	Prúd pri vzniku skratu
	Vzájomné vzdialenosti [km]	U [V]	U [V]	i_p [A]
M1	0	17309	86268	3122,3
M2	4,110	16969	71133	197,08
M3	8,121	16701	69032	36,822

Miesto merania	Miesto M1	Ustálený stav	Prepätie pri vypnutí skratu	Prúd pri vzniku skratu
	Vzájomné vzdialenosti [km]	U [V]	U [V]	i_p [A]
M1	- 4,110	17309	167630	2536,6
M2	0	16969	178690	2697,5
M3	4,011	16701	163660	36,975

Miesto merania	Miesto M1	Ustálený stav	Prepätie pri vypnutí skratu	Prúd pri vzniku skratu
	Vzájomné vzdialenosti [km]	U [V]	U [V]	i_p [A]
M1	7,466	17309	69409	1881,2
M2	4,011	16969	67746	1854
M3	0	16701	98249	1938

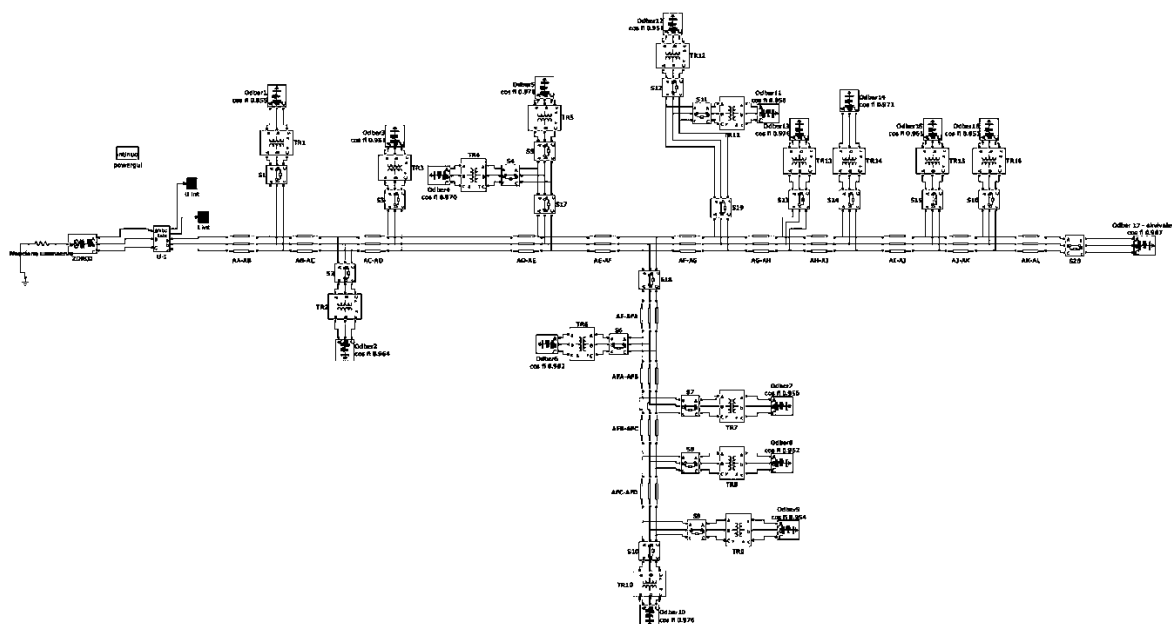


Obr. 20 Pribeh napätia počas prerušenia fázy v mieste M1, merané v mieste M2 (pozri Obr. 18)

3.4 Porovnanie algoritmu simulácie v prostredí MATLAB/SimPowerSystem

Podľa schémy v EMTP ATP na Obr. 18. bol vytvorený model siete v prostredí Matlab/SimPowerSystem (Obr. 6).

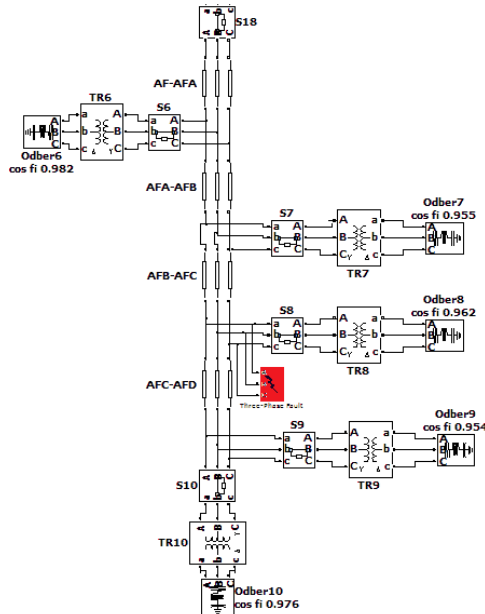
Na Obr. 21 je znázornený model ES, jedná sa o neúčinne uzemnenú sieť. V schéme sú umiestnené jednotlivé odbočky, resp. odbery. Daný úsek (sekcia) má dĺžku v hlavnej línii AA-AL 8121 m. Sekcie majú svoje hlavné spínače, ktoré sú označené S17-S20. Tieto spínače, v prípade potreby opravy alebo revízie na odbočke, odpoja celú sekciu od prívodu napätia. Transformátory transformujú napätie z 22000 V na 420 V. Hodnoty potrebných veličín, zadané v nastaveniach príslušných modelov prvkov, boli zadané na základe dostupných technických parametrov.



Obr. 21 Schéma vybraného úseku ES v prostredí Matlab/SimPowerSystems

3.4.1 Trojfázový skrat na vedení

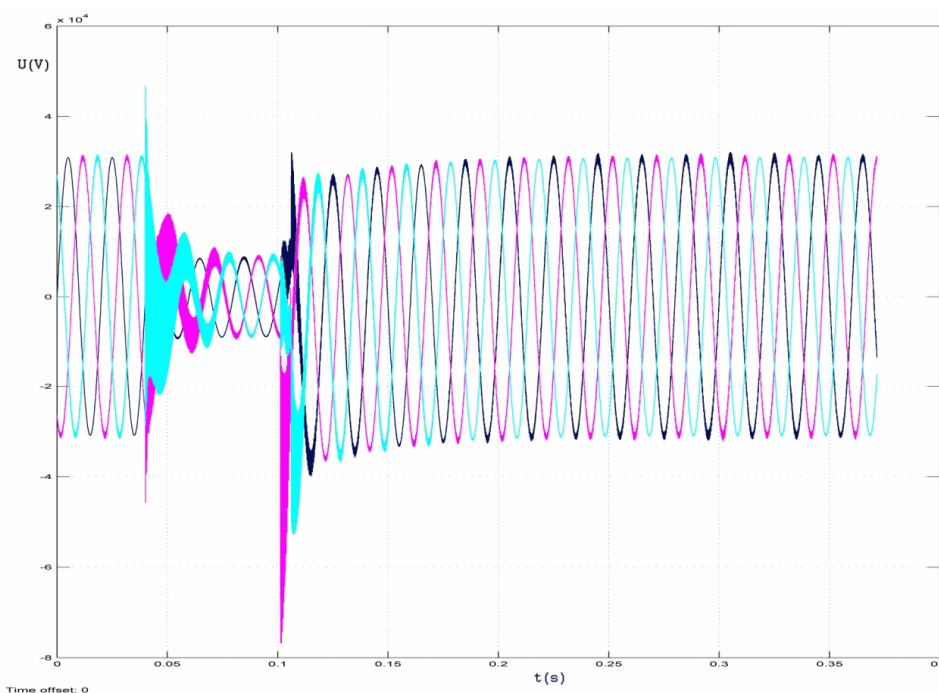
Pri tomto type poruchy dochádza ku kovovému spojeniu všetkých troch fáz. Na Obr. 22 je znázornená časť siete, v ktorej došlo k 3-f skratu. V tomto prípade odber č. 17 je odpojený. Trojfázový skrat nastal pred spínačom odberu č. 8 v čase $t_1 = 0,04$ s a porucha bola odstránená v čase $t_2 = 0,1$ s.



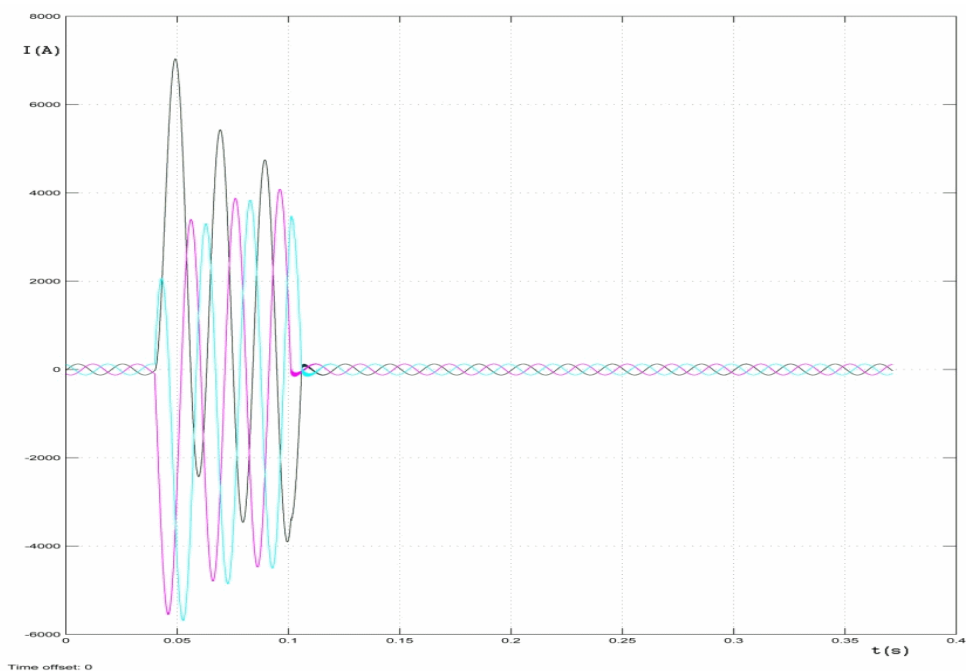
Obr. 22 Časť ES so zvýraznením miesta poruchy (3-f skrat)

Ako je vidieť z výsledného priebehu na Obr. 23a, k prepätiu dochádza vo všetkých troch fázach. Pri vzniku skratu, vo fáze L3, je možné odčítať v čase $t_{k1} = 0,0401$ s veľkosť prepätia na úrovni $U_{3k,max} = 32996$ V. Pri odstránení poruchy (v čase 0,1 s) dôjde následne k opätovnému vzniku prepätia s najvyššou hodnotou vo fáze L2 na úrovni $U_{2k,max} = 54327$ V (v čase $t_{k2} = 0,1017$ s), v zápornej polperióde. Pre eliminovanie prepätí a rázových (impulzných) prúdov sa preto odporúča, tak ako v tomto prípade, využiť zvodnice prepätí.

Počas skratu dochádza k vysokému nárastu prúdu z hodnoty $I = 89,02$ A na hodnotu špičkového skratového prúdu vo fáze L3 $i_{p3} = 4977$ A (v čase $t_1 = 0,049$ s) (Obr. 23b). Takéto nárazové hodnoty prúdu môžu byť veľmi nebezpečné pre zariadenia v sieti. Pri dimenzovaní zariadení a nastavovaní nadprúdových ochrán je preto potrebné dbať na správne nastavenie danej ochrany. Pri nesprávnom nastavení ochrán dôjde k dynamickým a tepelným účinkom skratového prúdu, ktoré môžu poškodiť zariadenia v sieti.



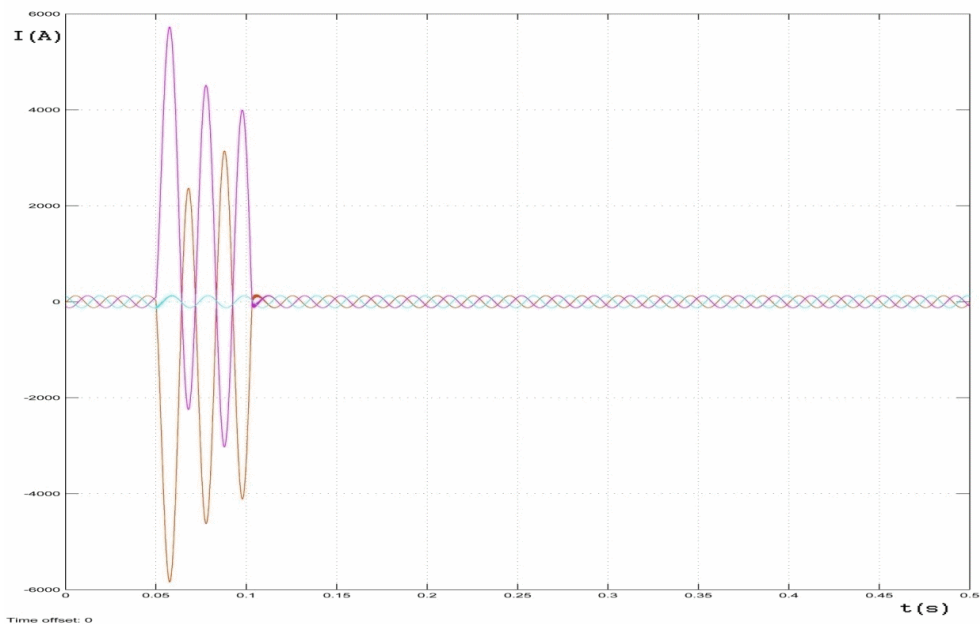
a)



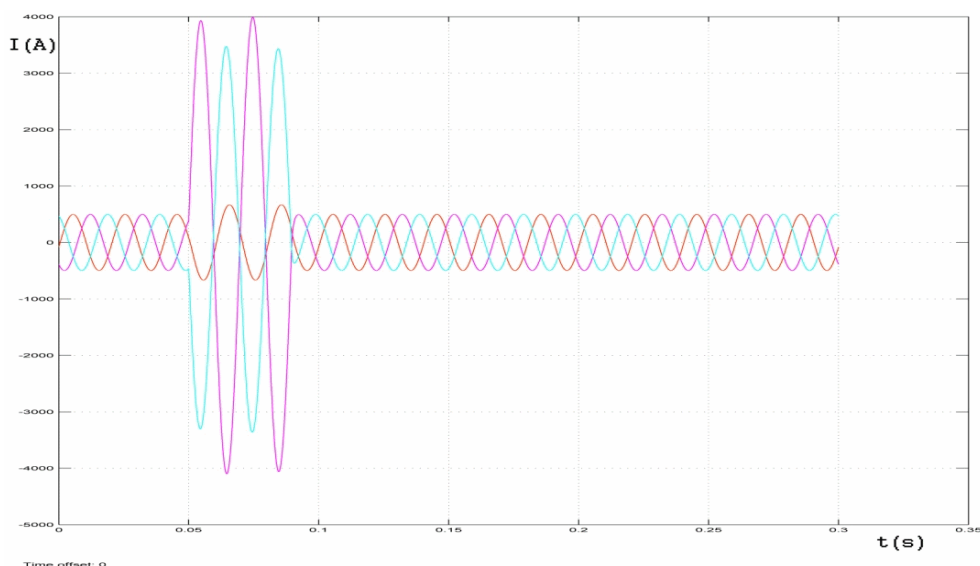
b)

Obr. 23 Priebeh napätia (a) a prúdu (b) pri trojfázovom skrate

Podobným postupom je možné zistiť veľkosti skratových prúdov pri iných typoch porúch, ako je uvedené na Obr. 24.



a)



b)

Obr. 24 Pribeh prúdu pri 2-fázovom kovovom (a) a 2-fázovom zemnom skrate (b)

3.5 Záver ku kapitole 3

- využitím nástroja EMTP-ATP a SimPowerSystem je možné relatívne rýchlo zistiť veličiny potrebné pri pripojení nového zdroja energie (zmenu napätia, skratové pomery, prepätia, ...) a určiť veľkosť elektrických strát na jednotlivých zariadeniach;
- boli potvrdené teoretické predpoklady, že najdôležitejšie miesta s najvyššou zmenou danej veličiny sú najbližšie vetvy k danému uzlu pripojeného zdroja, ako napr.:
 - najvyšší nárast napätia bol zaznamenaný v uzle, do ktorého bol pripojený zdroj;
 - najvyšší skratový prúd bol zaznamenaný rovnako v uzle, do ktorého bol pripojený nový zdroj;
- aby bolo možné do daných uzlov pripojiť nové zdroje, vypočítal a odsimuloval sa maximálny výkon s príslušným napätím v danom uzle, ktorý je možné pripojiť tak, aby sa dodržala napäťová odchýlka daná distribučnou spoločnosťou;
- analogický algoritmus výpočtu je možné použiť aj pre podobné malé siete pre otestovanie vplyvu nových zdrojov na napájaciu sieť.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Meyer, W. S. – Liu, T.-H.: *Alternative Transient Program (ATP) Rule Book*. Canadian/American EMTP User Group, 1987-2000.
- [2] Kizilcay, M.: *Power System Transients and Their Computation*. Osnabrück, 2000.
- [3] Prikler, L. – Høidalen, H. K.: *ATPDraw User's Manual*, 1998-2009.
- [4] Mach, V.: *EMTP – ATP*. [Online] [citované 1. júl 2011] Dostupné na < <http://homen.vsb.cz/~mah30/> >
- [5] Mešter, M. – Hvizdoš, M. – Chladný, V.: *Alternative Transient Program – The Professional Tool for Power Engineering Simulations*. In: The Oradea University Annals, Electrotechnical Section, Oradea, 2003, p. 179-184. ISSN 1223-2106
- [6] Medved', D.: *Electric losses modeling of decentralized power sources connection using EMTP ATP*. In: ELEN 2010, ČVUT Praha, 2010, p. 1-9. ISBN 978-80-254-8089-2
- [7] Kizilcay, M.: *Alternative Transients Program Features*. [Online] [citované 1. júl 2011] Dostupné na < <http://www.emtp.org/> >
- [8] Haginomori, E.: *Applied ATP-EMTP to Highly-sophisticated electric power systems*. [Online] [citované 1. júl 2011] Dostupné na < <http://gundam.eei.eng.osaka-u.ac.jp/haginomori/index.html> >
- [9] Hvizdoš, M. – Mešter, M.: *Modelovanie výkonových transformátorov s využitím programu ATP*. In: EE – Časopis pre elektrotechniku a energetiku, Bratislava, Vol. 10, No. 5/S, 2004, p. 45-48. ISSN 1335-2547
- [10] Hvizdoš, M. – Mešter, M.: *Modelovanie zemných porúch na vonkajších vedeniach*. In: EPE 2005, VŠB – TU Ostrava, 2005, p. 1-9. ISBN 80-248-0842-0
- [11] Lukáč, P.: *Compressors and pumps*. Košice, SjF TUKE, 2012. s.90, ISBN: 978-80-553-1299-6.
- [12] Lazič, L. – Lukáč, L. – Lukáč, P. - Hršák, D.: *Influence of the external recirculation of flue gas on reduction of NO_x at propane butane combustion*. Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety, Vol. 5, Part 2, 2011. p.4 – 16. ISSN 1313 – 2563.
- [13] Medved', D.: *Modelovanie prechodných dejov pri pripojovaní rozptýlených zdrojov energie v prostredí EMTP ATP*. In: Elektroenergetika, Vol. 3, No. 7, 2010, p. 15-18. ISSN 1337-6756
- [14] Medved', D.: *Modeling of Power Systems Using of Matlab/SimPowerSystem*. In: Elektroenergetika. Roč. 5, č. 2 (2012), - ISSN 1337-6756.

Dr. h. c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD.
prof. Ing. Roman Cimbala, PhD.
doc. Ing. Ľubomír Beňa, PhD.
doc. Ing. Alexander Mészáros, PhD.
Ing. Ján Tkáč, CSc.
Ing. Marek Hvizdoš, PhD.
Ing. Stanislav Ilenin, PhD.
Ing. Dušan Medveď, PhD.
Ing. Martin Kanálik, PhD.

**Využitie obnoviteľných zdrojov energie a ich aplikácií v rámci
projektu VUKONZE**

Vydala Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, Košice

Prvé vydanie

Rok vydania: 2014

Náklad: 200 ks

Počet strán: 308

ISBN 978-80-553-1642-0