

Alexander Mészáros

## Analýza výroby elektriny v podmienkach SR z hľadiska trvalej udržateľnosti

Predkladaný príspevok poukazuje na základné princípy trvalej udržateľnosti a možnosti ich aplikácie pre oblasť zásobovania spoločnosti energiou. Reflektuje bilanciú výroby a spotreby elektriny v SR z pohľadu týchto princíпов a poskytuje prehľad vhodných technológií krytia spotreby elektriny pre súčasné obdobie prechodu od využívania neudržateľných zdrojov k udržateľným.

Kľúčové slová: trvalá udržateľnosť, udržateľný rozvoj, energetická bilancia, jadrová energia, obnoviteľné zdroje energie

### I. 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 spotrebovávanie týchto zásob môže prudko meniť podmienky pre život na Zemi.

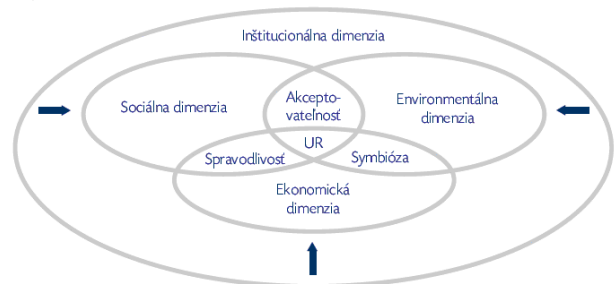
### II. ZÁKLADNÉ PRINCÍPY TRVALEJ UDRŽATEĽNOSTI

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 spoločenstiev na uspokojovanie ich potrieb, a bez toho, aby sa ďalej ničila príroda.

Národná stratégia trvalo udržateľného rozvoja bola vypracovaná v intenciách Agendy 21 a bola prijatá vládou SR dňa 10. 10. 2001. Trvalo udržateľný rozvoj v Slovenskej republike právne vymedzuje § 6 zákona č. 17/1992 Zb. o životnom prostredí. Podľa neho ide o taký

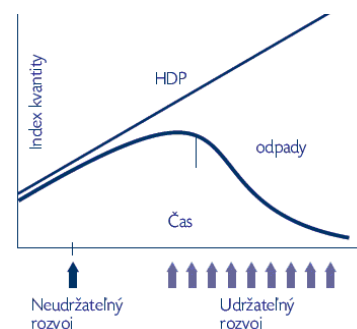
„rozvoj, ktorý súčasným i budúcim generáciám zachováva možnosť uspokojovať ich základné životné potreby a pritom neznižuje rozmanitosť prírody a zachováva prirodzené funkcie ekosystémov.“ Udržateľný rozvoj sa zakladá na štyroch základných dimenziách (obr.1).



Obr. 1. Základné piliere trvalo udržateľného rozvoja.

Z obr.1 tiež vyplývajú tri základné atribúty udržateľného rozvoja: sociálna spravodlivosť pri využívaní a rozdeľovaní prírodných zdrojov; environmentálne akceptovateľný rozvoj ekonomiky (symbióza) a nárok na adekvátnu kvalitu životného prostredia a kvalitu života (akceptovateľnosť).

Udržateľné využívanie prírodných zdrojov vyžaduje, aby stupeň využívania ich obnoviteľných zložiek bol v rovnováhe s ich tvorbou. Spotreba neobnoviteľných zdrojov by v rámci udržateľného rozvoja nemala prekročiť stupeň možnosti ich postupnej náhrady obnoviteľnými zdrojmi.

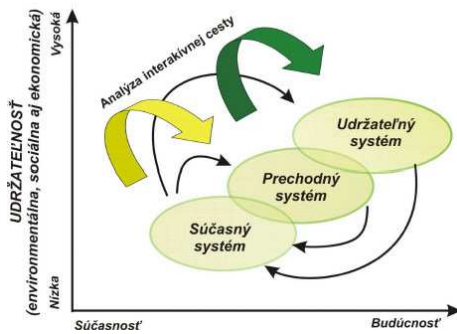


Obr. 2. Prechod z neudržateľného rozvoja na udržateľný.

V súvislosti so stúpajúcim tlakom ľudskej spoločnosti na životné prostredie sa dostáva do popredia otázka rozdojenia kriviek záťaž životného prostredia a ekonomického výkonu, tzv. decoupling. Cieľom decouplingu je, aby záťaž životného prostredia klesala a

ekonomická výkonnosť rástla. Princíp prechodu z neudržateľného na udržateľný rozvoj znázorňuje obr. 2, kde HDP rastie a zaťažovanie prírodného prostredia klesá.

Čo sa týka zásobovania energetickými zdrojmi, treba si uvedomiť, že využívanie obmedzených zdrojov je v rozpore s koncepciou trvalej udržateľnosti, takže v prvom rade je potrebné výrazne znížiť spotrebu energie, a v druhom rade je nutné prejsť na využívanie obnoviteľných zdrojov. To znamená, že na dosiahnutie trvalo udržateľného rozvoja je potrebné zmeniť technológie, postupy a návyky tak na strane výroby, ako aj na strane spotreby. Z hľadiska trvalej udržateľnosti je v dlhodobej perspektíve nevyhnutný postupný prechod od súčasného systému využívajúceho najmä neobnoviteľné zdroje energie, k udržateľnému systému využívajúcemu obnoviteľné zdroje energie. Tento prechod znázorňuje obr. 3.



Obr. 3. Prechod súčasného systému na udržateľný systém.

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

Na premietnutie princípov trvalej udržateľnosti do každodenného správania, posudzovanie všetkých plánovaných i realizovaných aktivít prostredníctvom kritérií trvalej udržateľnosti a vyhodnocovanie smerovania k nej, bol prijatý komisiou OSN jednotný súbor 132 ukazovateľov trvalej udržateľnosti, z toho je 125 aktuálnych pre SR (38 sociálnych, 23 ekonomických, 49 environmentálnych a 15 inštitucionálnych).

Po zhodnotení možnosti vyhodnocovania sady indikátorov v podmienkach Slovenska, bol vytvorený súbor agregovaných a individuálnych ergo-environmentálnych indikátorov pre SR podľa tzv. DPSIR 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.

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

**hnacie sily** („driving forces“ - **D**), čiže spúšťacie mechanizmy procesov v spoločnosti (socio-ekonomické činnosti), ktoré vyvolávajú

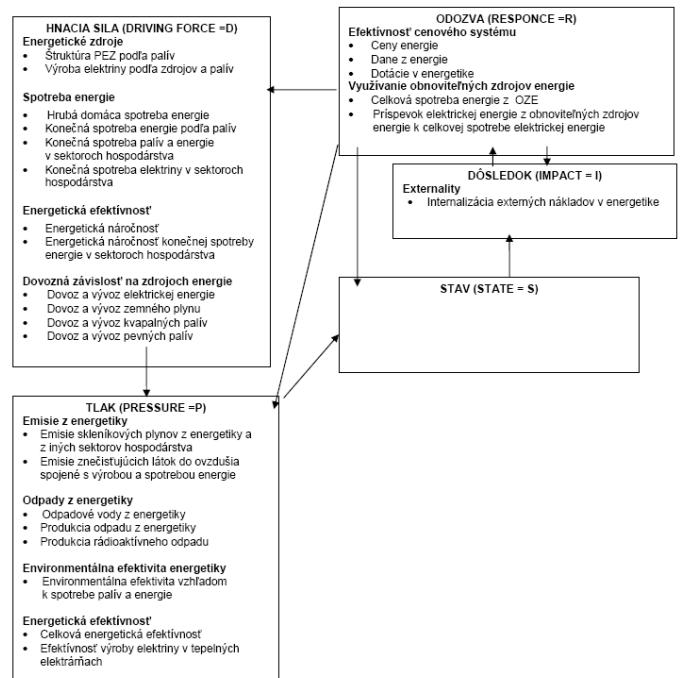
**tlak** („pressure“ - **P**) na životné prostredie, ktorý je bezprostrednou príčinou zmien v

**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**).

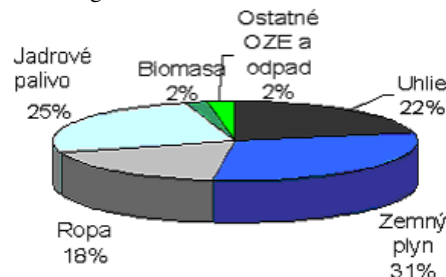


Obr. 4. Kauzálny reťazec ergo-environmentálnych indikátorov v SR podľa DPSIR modelu v sektore energetiky.

Súbor environmentálnych indikátorov usporiadaných v zmysle DPSIR 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 DPSIR reťazca a tak poskytnúť inovatívny pohľad na stav a vývoj životného prostredia prostredníctvom integrovaného hodnotenia.

### III. 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.



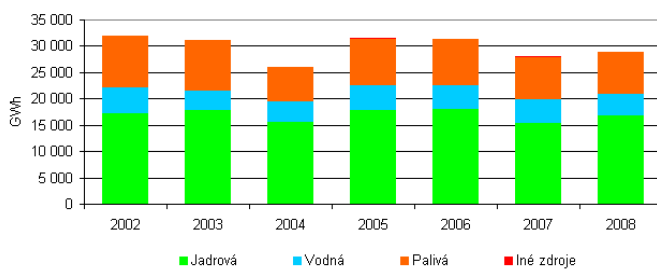
Obr. 5. Súčasný energetický mix v národnom hospodárstve SR.

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.5).

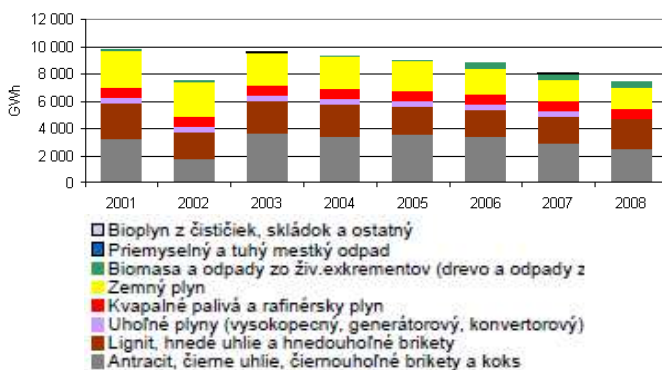
Celková výroba elektriny na Slovensku dosiahla v roku 2009 26074 GWh, z toho 57,7 % sa na výrobe podieľali jadrové elektrárne, 28 % tepelné elektrárne a 14,6 % bolo vyrobených vo vodných elektrárnach a zvyšných 0,3 % predstavujú iné zdroje (obr. 6).



Obr. 6. 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 rokovanií s EÚ došlo k vyradeniu veľkých elektrárenských kapacít. Slovensko sa stalo v oblasti elektriny z exportnej importnou krajinou, čo nie je dlhodobou udržateľné.

Na výrobu elektriny sa v SR z 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. 7).

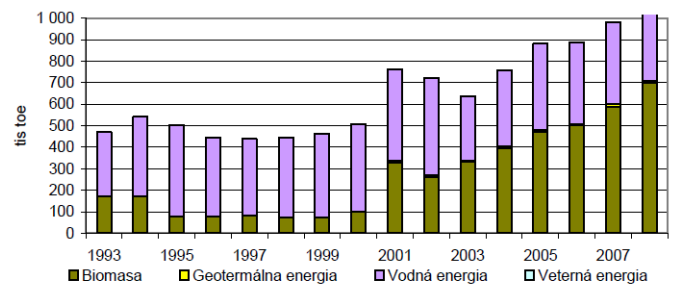


Obr. 7. Výroba elektriny v SR podľa použitých palív.

Indikátor **Výroba elektriny podľa zdrojov a palív** (obr. 4) - analyzuje podiel palív na produkcii elektriny a skúma, či je možný prechod na menej znečisťujúce palivá vychádzajúce 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. 4) - 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 bioplynu). 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. 8. Primárna produkcia obnoviteľných zdrojov energie v SR.

**Internalizácia externých nákladov v energetike** (obr. 4) - externé náklady (externality) sú také vonkajšie náklady palivového cyklu, dopadajúce na spoločnosť a životné prostredie, ktoré nie sú účtované výrobcom a neplatia ich ani spotrebiteľia 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 výrobov, ktoré v súčasnej situácii nie sú konkurencieschopné.

#### IV. ENVIRONMENTÁLNE VHODNÉ VÝROBNÉ TECHNOLOGIE

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;

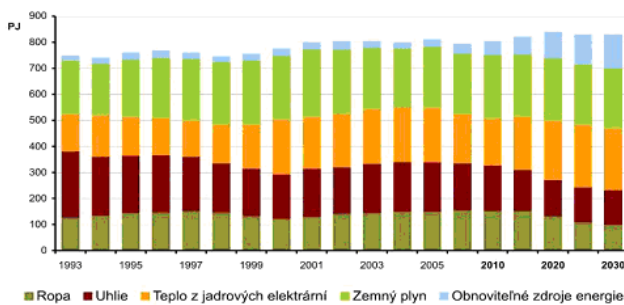
náhradu tradičných zdrojov, čiže na zvýšenie podielu využívania obnoviteľných zdrojov energie a postupné znižovanie podielu neobnoviteľných zdrojov energie; modernizáciu technológií, čo následne vedie k zníženiu environmentálneho zaťaženia prostredia.

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

- **znižit' 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,
- **znižit' spotrebu energie o 20 %**.

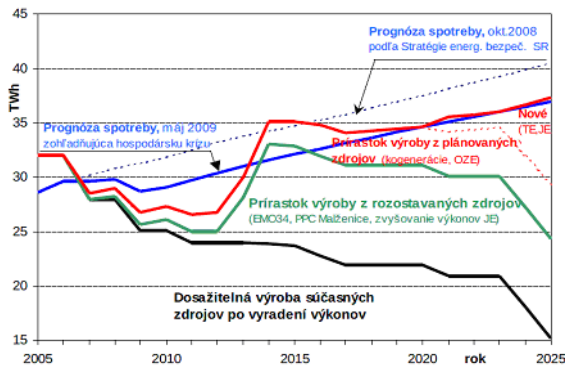
V súčasnosti jadrová energia prispieva k výrobe elektriny v EÚ asi jednou tretinou. Jadrová energia má svoje opodstatnenie pri riešení a uspokojovaní rastúcich globálnych energetických potrieb, pretože jej využívanie môže pomôcť uspokojiť zvyšujúci sa dopyt po energiách, ako aj zvýšiť bezpečnosť dodávok 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.



Obr. 9. Vývoj spotreby primárnych energetických zdrojov v SR do roku 2030.

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 obnoviteľné zdroje (obr.9).



Obr. 10. Prognóza krytia spotreby elektriny v SR do roku 2025.

Na dosiahnutie vyrovnanej bilancie výroby a spotreby elektriny 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.10 je prognóza spotreby elektriny a jej krytia v rokoch 2010 až 2025.

## V. 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.

## POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

## LITERATÚRA

- [1] M. Bělík, "Influence of large photovoltaic systems on supply network," in *Proc. Distributed Power Generation Systems 2004*, pp. 120-124, ISBN 80-7043-283-7.
- [2] M. Bělík, "Měření provozních parametrů 20 kWp fotovoltaického systému," in *Proc. Distributed Power Generation Systems 2005*, pp. 141-147, ISBN 80-7043-371-X.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] J. Beranovský, "Complex analysis of renewable energy sources for electricity production," in *Proc. Elektroenergetika 2007*, pp. 209-215, ISBN 978-80-553-0400-7.
- [6] P. Birkner, "Sustainable development of electrical distribution networks," in *Proc. Elektroenergetika 2005*, pp. 23-30, ISBN 978-80-553-0399-4.
- [7] V. Bürger et al., *Renewable electricity: Make the switch*, Öko-Institut, p. 32, Sept. 2008.
- [8] E. Dvorský a J. Škorpil, "Problematika připojování fotovoltaických systémů do distribuční sítě," in *Proc. Elektroenergetika 2005*, pp. 148-165, ISBN 978-80-553-0399-4.
- [9] 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.
- [10] M. Kubín, *Energetika: Perspektivy-strategie-inovace*, JME, 2002, p. 544.
- [11] R. Madlener a S. Stagl, *Methodological and ideological options: Sustainability-guided promotion of renewable electricity generation*, CEPE Zurich, p. 33, Nov. 2004.
- [12] 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.
- [13] 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.

- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] J. Škorpil, "Fotovoltaický systém o výkonu 20 kWp," in *Distributed Power Generation Systems 2005*, pp. 3-6, ISBN 80-7043-371-X.
- [17] L. Vizslay, "Trvalo udržateľná energetika: Diplomová práca," Košice, FEI TU v Košiciach, 2010, p. 93.

#### ADRESY AUTOROV

Alexander Mészáros, Technická univerzita v Košiciach, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04120, Slovenská republika, [Alexander.Meszaros@tuke.sk](mailto:Alexander.Meszaros@tuke.sk)