

**Disertační práce**

**Návrh a možnost začlenění hybridního  
výrobního zdroje (VTE, BPE)  
do energetického tržního prostředí**

**Ing. Jan Mezera**



## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě Disertační práci zpracovanou za účelem úspěšného dokončení doktorského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a při tvorbě práce jsem čerpal pouze z literatury uvedené v seznamu použité literatury, který je součástí této práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při tvorbě této práce, je legální.

V Plzni dne .....

..... podpis

## **Poděkování**

V úvodu práce bych chtěl poděkovat doc. Ing. Zbyňku Martínkovi, CSc., jenž byl vedoucím této práce, za trpělivost a odborné vedení, které mi poskytoval během konzultací. Dále bych rád poděkoval ostatním zaměstnancům Západočeské univerzity v Plzni za získání všech odborných znalostí, které mi předali během studia.

## **Téma**

Návrh a možnost začlenění hybridního výrobního zdroje (VTE, BPE) do energetického tržního prostředí.

## **Anotace**

Předkládaná práce se zabývá využitím OZE pro dodávku elektrické energie a řešením problémů s tím souvisejících. První část práce slouží k načerpání teoretických poznatků a seznámení se s problematikou OZE. V druhé části práce jsou pak předloženy dílčí provozní a ekonomické kalkulace pro navržené řešení. Pro potřeby provozní simulace hybridního systému je vytvořen počítačový model, jenž disponuje tabulkovými a grafickými výstupy.

Druhá část práce je věnována výrobní a tržní optimalizaci obecně variabilního portfolia zdrojů a jejich dispečerskému řízení z hlediska maximalizace výrobní marže. Vědecká část práce je zaměřena na predikční modely cenových křivek, které jsou důležitým prvkem celé optimalizace.

## **Klíčová slova**

Distribuční systém, bioplynová elektrárna, hybridní systém, neuronové síť, výrobní optimalizace, tržní optimalizace

## **Theme**

The proposal of the hybrid distribution system based on renewable energy sources (wind, biogas) with focusing on production and marketing optimization.

## **Annotation**

The offered thesis considers renewable energy sources to supply electricity and is dealing with the problems, which are related to supply. The first part of the thesis is used for getting theoretical knowledge and understanding the theory of renewable energy sources. In the second part, economic and analytic calculations are suggested for proposed solution. For the real behavior simulation of the hybrid system computer model is created, which disposes by graph and tablet output date.

The second part of the thesis is focused on the production and marketing optimization. The optimization considers variable group of the energy sources (renewable, convential, nuclear,

hydro, etc.) and its dispatch with maximal profit. The scientific part of the thesis is dealing with price prediction models.

### **Key words**

Distribution system, biogas power plant, wind power plant, hybrid system, neural network, supply optimization, market optimization

# Obsah

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>13</b>
1.1 PROČ JE TOTO TÉMA PRÁCE VELMI AKTUÁLNÍ.....	13
1.2 CÍL PRÁCE.....	15
<b>2. SOUČASNÝ STAV A ENERGETICKÁ KONCEPCE ČR.....</b>	<b>16</b>
<b>3. OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE .....</b>	<b>19</b>
3.1 ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE V PROBLEMATICE OZE .....	20
3.1.1 Potenciály pro OZE.....	20
3.1.2 Výkony pro OZE .....	23
3.2 SLUNEČNÍ ENERGIE .....	24
3.2.1 Fotovoltaika (= fotoelektrická přeměna).....	25
3.2.1.1 Systémy a aplikace fotovoltaiky .....	27
3.2.2 Metodika posuzování potenciálu sluneční energie .....	28
3.3 VĚTRNÁ ENERGIE.....	37
3.3.1 Systémy a aplikace větru pro výrobu elektrické energie.....	37
3.3.2 Technologické uspořádání VTE.....	39
3.3.2.1 Hlavní technické parametry a vnitřní schéma VTE .....	40
3.3.3 Metody posuzování potenciálu větrné energie.....	41
3.4 ENERGIE Z BIOMASY .....	50
3.4.1 Technologie zpracování biomasy .....	51
3.4.1.1 Spoluspalování a samostatné spalování biomasy.....	51
3.4.1.2 Termické zplyňování .....	52
3.4.1.3 Anaerobní fermentace .....	53
3.4.1.4 Kapalná biopaliva.....	53
3.4.1.5 Technologie budoucnosti.....	54
3.4.2 Metodické posouzení potenciálu biomasy.....	55
3.5 EKONOMICKÁ ANALÝZA OZE.....	57
<b>4. NÁVRH DISTRIBUČNÍHO SYSTÉMU .....</b>	<b>60</b>
4.1 ANALYTICKÝ A MATEMATICKÝ POPIS SYSTÉMU VÝROBY .....	60
4.2 KRITERIÁLNÍ VÝBĚR SYSTÉMOVÝCH KOMPONENT A DYNAMIKA SYSTÉMU .....	66
4.3 PRAVIDLA A PŘEDPOKLADY PRO ŘÍZENÍ KOMPENZAČNÍHO SYSTÉMU.....	69
4.4 EKONOMICKÉ MOŽNOSTI PROJEKTU .....	70
4.4.1 Finanční výnosnost spolupráce BPE a VTE.....	71
4.4.2 Kriteriační ekonomické hodnocení výnosnosti projektu.....	72
4.4.3 Investiční a celkové roční náklady.....	74

4.4.4	Čistá současná hodnota (NPV).....	75
<b>5.</b>	<b>MODEL VÝPOČTU.....</b>	<b>76</b>
5.1	NÁVRH MODELU .....	76
5.2	DIAGRAMY POPISUJÍCÍ PROGRAM „MODEL“ .....	76
5.3	UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ A MANIPULACE S PROGRAMEM .....	79
5.3.1	Spouštění modelu a jeho úvodní menu.....	79
5.3.2	Import vstupních dat.....	80
5.3.3	Výpis výstupních dat.....	81
5.3.4	Grafické výstupy .....	82
5.3.5	Parametry pro dimenzování systému.....	83
5.3.6	Ekonomický model.....	84
5.3.6.1	Konstrukce citlivostních analýz.....	86
<b>6.</b>	<b>TRŽNÍ A VÝROBNÍ OPTIMALIZACE VARIABILNÍHO PORTFOLIA ZDROJŮ .....</b>	<b>88</b>
6.1	SOUČASNÝ ZPŮSOB ŘÍZENÍ VÝROBY A REGULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE V ES A LEGISLATIVA S TÍMTO SPOJENÁ 88	
6.2	PRAVIDLA TRŽNÍHO PROSTŘEDÍ V ENERGETICE.....	90
6.3	DISPEČERSKÉ ŘÍZENÍ.....	90
6.4	OBCHODNÍ DISPEČINK.....	91
6.5	VÝROBNÍ DISPEČINK .....	92
6.6	DATOVÉ TOKY A VÝPOČETNÍ MECHANISMY PŘI ŘÍZENÍ VÝROBNÍHO PORTFOLIA.....	93
1.1.1	Technická realizace plnění PpS.....	94
6.7	TECHNICKÁ REALIZACE PLNĚNÍ OBCHODNÍHO ZÁVAZKU VÝROBCE .....	99
6.8	NÁKLADY NA VÝROBU ELEKTRINY .....	101
6.8.1	Dělení nákladů.....	101
6.8.2	Výpočet nákladové brutto charakteristiky virtuálního bloku.....	104
6.8.3	Výpočet nákladové netto charakteristiky virtuálního bloku.....	105
6.9	KRÁTKODOBÉ OPTIMALIZACE PORTFOLIA (=OPTIMALIZACE NA ZATÍŽENÍ).....	108
6.10	LINEÁRNÍ OPTIMALIZACE .....	115
6.11	MODELOVÁNÍ A PREDIKCE CEN ELEKTRINY .....	117
6.11.1	Matematické modelování na bázi fundamentálního konceptu .....	121
6.11.1.1	Analytická selekce cenových fundamentů.....	121
6.11.1.2	Lineární model a vazba mezi vnitrodenním a denním trhem s elektřinou .....	125
6.11.1.3	Autokorelační model vytvořený pro rozpoznání aditivního šumu.....	127
6.11.2	Modelování nelineárních problémů s využitím neuronových sítí.....	131
6.11.2.1	Základní podoba neuronových sítí .....	132
6.11.2.2	Matematický model neuronu.....	133



6.11.2.3	Perceptrony .....	133
6.11.2.4	Optimální nastavení perceptronové sítě .....	134
6.11.2.5	Gradientní postup učení .....	135
6.11.2.6	Backpropagation .....	136
6.11.2.7	Praktická realizace experimentálního modelu a formulace proměnných.....	138
6.11.3	<i>Neuronové sítě při zahrnutí market couplingu pro dva státy CWE regionu (DE a FR) .....</i>	<i>147</i>
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>151</b>

## **Seznam použitých symbolů, značek a zkratek:**

OZE	obnovitelné zdroje energie
DGS	distribuční výrobní systém (distribution generation system)
PEZ	primární energetický zdroj
CZT	centralizované zásobování teplem
EU	Evropská unie
ES	elektrizační soustava
ČHMÚ	český hydrometeorologický ústav
VTE	větrná elektrárna
ČR	Česká republika
AC	střídavý proud (alternating current)
DC	stejnoseměrný proud (direct current)
G	generátor
AS	asynchronní stroj
DS	distribuční soustava
PS	přenosová soustava
KVET	kombinovaná výroba elektřiny a tepla
OTE	operátor trhu s elektřinou
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
FVE	fotovoltaická elektrárna
ČOV	čistička odpadních vod
ORC	organický Rankin-Clausiusův cyklus
RC	klasický Rankin-Clausiusův cyklus

SK	spalovací komora
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
BPE	bioplynová elektrárna
SDZ	státní doktorská zkouška
CF	cash flow
NPV	net present value
IZ	index ziskovosti
IRR	internal rate of return
VBA	visual basic for application
NN	neural network
ERU	Energetický regulační úřad
MILP	mixed integer linear programming
LP	linear programming
SOM	self organizing map
EZ	energetický zákon
PPS	provozovatel přenosové soustavy (v ČR - ČEPS, a.s.)
PpS	podpůrné služby
DPP	denní příprava provozu
PR	primární regulace
P <sub>Z</sub>	požadovaný činný výkon vysílaný z řídicího systému ČEPS
P <sub>ZADANY</sub>	žádaná hodnota činného výkonu
RF	koeficient určující podíl na akčním zásahu SR, který je počítán podle dynamických vlastností bloku

RTISZ	system reálného času pro správu zdrojů (KOTEL a TELE)
RZTR-	regulační záloha pro TR-
RZTR+	regulační záloha pro TR+
ŘS	řídící systém
SR	sekundární regulace výkonu
SRU	sekundární regulace napětí a jalového výkonu
SRV	skupinový rozdělovač výkonu
SZ	subjekty zúčtování
T	integrační konstanta regulátoru SR
TELE	terminál elektrárny
TELE <sub>i</sub>	<i>i</i> -tý terminál elektrárny
T <sub>i</sub>	integrační časová konstanta
T <sub>odst</sub> (t)	doba odstávky kotle v čase t
T <sub>pal</sub> (k)	časová konstanta palivových startovacích nákladů
TR	terciární regulace výkonu, kladná TR+ nebo záporná TR-
ARMA	autoregressive moving average
TSO	transmission system operator
MAPE	mean absolute percentage error

# 1. Úvod

## 1.1 Proč je toto téma práce velmi aktuální

V poslední době jsou velmi diskutovány otázky týkající se ochrany životního prostředí, zvyšování cen energií, energetické soběstačnosti státu a začínající nedostupnosti dosud používaných primárních energetických zdrojů (PEZ). Dobu minulých let lze charakterizovat mimo jiné jako období velice turbulentních změn v energetickém sektoru. V energetickém prostředí se trvale zvyšovala cena komodit a lze říci, že hlavním tahounem byla cena ropy, s níž korelovaly ceny zbytkových komodit (uhlí, plyn, elektřina). Toto dogma se porušilo až kolem roku 2010, kdy cena elektřiny začala prudce klesat a během tří let poklesla téměř na 50 % ceny v roce 2010 (60euro/MWh → 37euro/MWh). Cena zemního plynu v témže roce se rozštěpila dle geografické polohy trhů a díky problémům souvisejícím s transitem této komodity.

Kromě problému s turbulencí cen narůstá obava vyspělých průmyslových zemí ze závislosti na dovozech energetických surovin, které jsou v převážné většině uskutečňovány z problémových nestabilních oblastí (plynový transit z Ruska). U elektřiny se navíc projeví problémy v tranzitních přenosech, což jsme poznali i my na vlastní kůži dne 25. 7. 2006, kdy ČEPS vyhlásil v české přenosové soustavě stav nouze a byla zde velká pravděpodobnost „BLACKOUTU“ celé sítě.

Často vyslovovaná otázka nejen z řad politických a vědeckých špiček zní: „Jak vyrobit elektřinu, která bude splňovat ekologické, ekonomické a politické aspekty?“. Při bližším zaměření lze říci, že přinejmenším část odpovědi lze hledat ve využití jiných, alternativních zdrojů energie, které tyto požadavky částečně splňují a jejichž potenciál zpravidla ještě není dostatečně využit - jedná se o zdroje obnovitelné.

Ze strategických a koncepčních záležitostí byla v uplynulých letech diskutována zejména „Zelená kniha EU“ o energetické účinnosti a o strategii pro udržitelnou, konkurenceschopnou a bezpečnou energii a právě v těchto dokumentech je přikládána velká důležitost rozvoji segmentu technologií na výrobu elektřiny, tepla a případně chladu z obnovitelných zdrojů. I když je nárůst využití obnovitelných zdrojů v některých zemích velký, přesto v průměru výsledky nejsou podle představ odborníků uspokojivé.

Česká republika se při podpisu Smlouvy o přistoupení k EU dohodla, že do Směrnice 2001/77/ES budou doplněny referenční hodnoty pro stanovení národního indikativního cíle

pro ČR (do roku 2020 dosáhnout 13% podílu hrubé tuzemské spotřeby elektřiny z OZE).  
V Tabulka 1 jsou reálné doposud známé výsledky platné pro ČR.

**Tabulka 1 – využití OZE v ČR**

Stát	Výroba elektřiny z OZE v TWh v roce 1997	Podíl hrubé tuzemské spotřeby elektřiny z OZE v % v roce 1997	Podíl hrubé tuzemské spotřeby elektřiny z OZE v % v roce 2012
Česká republika	2,36	3,8	11,23

Současné trendy energetické výroby v ČR se přesouvají od dřívějších velkých výroben k oblasti malé a střední energetiky. Je to zejména z toho důvodu, že velké výrobní celky vyžadují velké vstupní náklady. V minulosti, kdy byl investorem stát, nebyl s financováním problém. V dnešní době se ovšem energetické společnosti svojí podstatou podobají soukromým komerčním subjektům trhu a je pro ně obtížnější získat takto velký obnos pro budoucí investici (nehledě na to, že u takto velkých celků dochází obvykle k vysokému nárůstu výrobních nákladů už během samotné doby výstavby). Tato skutečnost vede k poptávce po spíše menších výrobních zdrojích, které jsou z hlediska investora méně problematické.

Tato práce je rozdělena na dvě základní části. První část se zabývá problematikou začleňování OZE do výrobních procesů. Výroba z OZE v kombinaci se státními benefity určenými na podporu a rozvoj OZE, (případně podporu kogenerační výroby) předurčuje investici do těchto zařízení jako velice zajímavou záležitost, jak z hlediska finančního, tak z hlediska ekologického. Stálou nevýhodou OZE je samozřejmě určitá nestabilita dostupnosti energie v závislosti na počasí či ročním období, proto budou v této práci diskutovány nejen teoretické rozbory, ale také praktické budoucí řešení středních a menších výrobních jednotek se začleněním OZE a možnosti energetického skladování.

Druhá část práce je věnována praktickému řízení výrobního portfolia s obsahem OZE a možností portfoliové regulace. Teoreticky jsou vysvětleny základní metody pro výrobní a tržní optimalizaci. Vědecká práce v této části je věnována predikčním modelům cen elektrické energie a využití těchto modelů pro maximalizaci tržeb z prodeje elektřiny a bilancování daných oblastí.

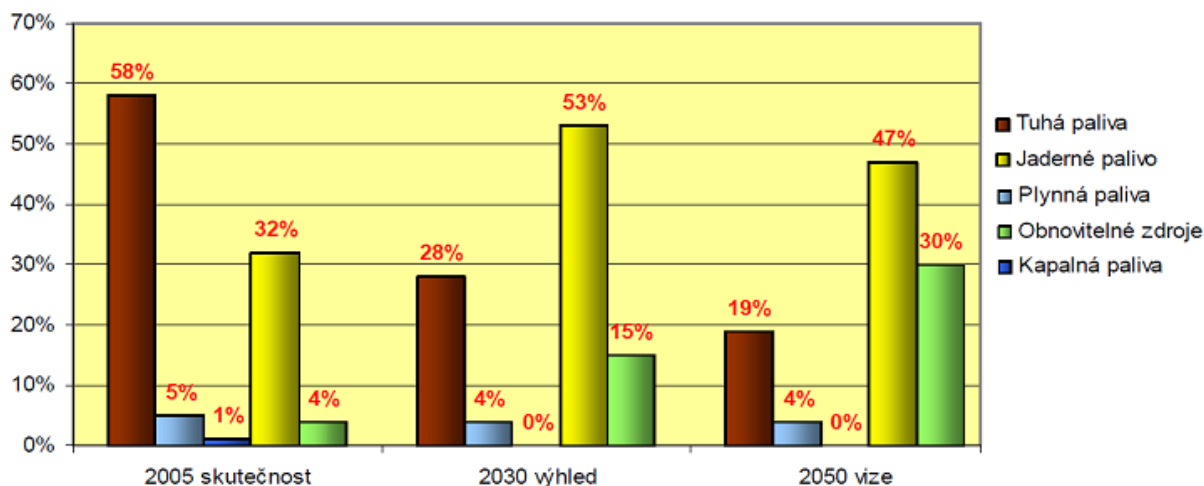
## 1.2 Cíl práce

Cílem této práce je:

- analýza současné problematiky OZE a možnosti jejich budoucího využití pro oblast distribučních výrobních systémů a vytvoření návrhu tohoto systému,
- návrh hybridního výrobního systému na bázi BPE – VTE
- provedení technicko - ekonomické analýzy daných variant na vybrané lokalitě,
- vyhodnocení dosažených výsledků a doporučení vhodnosti aplikace pro budoucí použití,
- popis stávajícího způsobu řízení výroby elektrické energie v ES ČR a energetická legislativa s tímto spojená,
- metodika výpočtu nákladů zdrojů,
- výkonová a tržní optimalizace portfolia,
- predikce cen elektřiny a vlastní vývoj predikčního modelu zaměřeného na krátkodobý trh s elektřinou.

## 2. Současný stav a energetická koncepce ČR

V současnosti je energetické hospodářství založeno na vysokém využívání vlastních domácích primárních energetických zdrojů, které se podílí na konečné spotřebě energie z 50 %. Vysokou míru soběstačnosti a nezávislosti poté vykazuje výroba elektřiny, kde se domácími surovinami (viz Obrázek 1) pokrývá domácí spotřeba z cca 96 %.

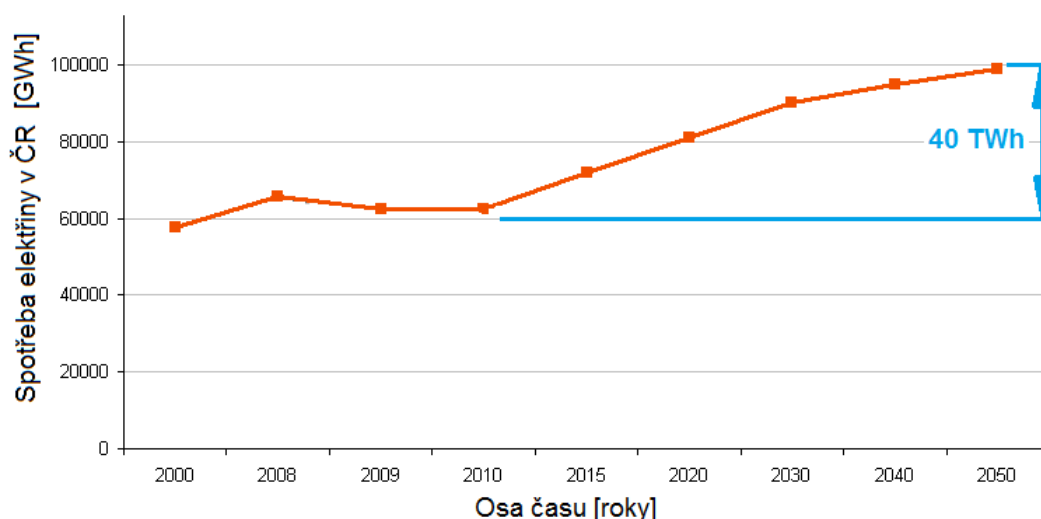


Obrázek 1 - Skladba výroby elektřiny do roku 2050 [4]

Podíl výroby tepla z domácích paliv ve všech zdrojích tepla činí cca 60 %, pro oblast CZT (teplárny, vytopny) je to více než 80 %. Teplo dodané z kogenerační výroby (KVET) činí celkem 42 % u menších zdrojů, pro velké zdroje je tento podíl na hranici 75 %. Z hlediska bezpečnosti přebytku výkonové bilance vykazovala ČR na konci roku 2010 volnou kapacitu na úrovni 16 % pro maximální zatížení. Struktura výkonové rezervy je tedy zatím dostačující (při budoucím strmém rozvoji OZE bude muset dojít k posílení soustavy) pro zajištění spolehlivosti provozu. Hrubá spotřeba elektřiny pro rok 2010 činila cca 70,96 TWh, přičemž výroba z OZE (5,89 TWh) tuto spotřebu kryla v řádu 8,3 % [19].

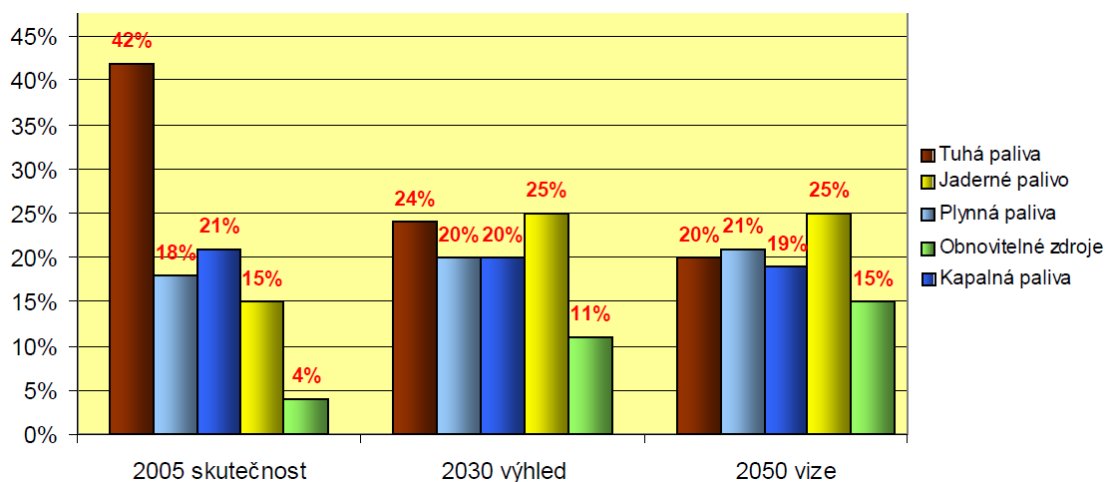
Pro budoucí možnost využití elektřiny v dopravě se počítá nárůst spotřeby elektřiny až o 20 až 40 TWh (viz Obrázek 2) a současně je ve vlastním zájmu našeho státu zachování ČR jako jednoho z hlavních producentů elektřiny pro středoevropský region (zejména s ohledem na německý energetický plán, který počítá s poměrně rázným utlumením jaderné energetiky v horizontu 10 let a zaměřením Německa na jiné zdroje energie), proto bude nezbytné a významné rozšíření výroby v bezemisních tzn. především jaderných zdrojích v dlouhodobém horizontu. Naplnění tohoto plánu by pro ČR bylo bezpochyby vysoce ekonomicky přínosné, jak z hlediska zachování vlastní budoucí energetické soběstačnosti, tak z hlediska zvýšením exportního charakteru výroby.





Obrázek 2 – Současná a budoucí spotřeba ČR [18]

Pro budoucí energetický scénář se budou využívat přednostně především domácí zdroje (hnědé uhlí, černé uhlí a OZE) a k těmto zdrojům samozřejmě přistupuje těžba uranu, jakožto podpora jaderné energetiky, která zajistí palivo pro jaderné elektrárny. Postupné snižování těžby tuhých paliv bude kompenzováno narůstající výrobou z OZE a narůstající výrobou z jaderných elektráren (viz Obrázek 3).



Obrázek 3 – Energetický mix současnosti a budoucnosti [4]

Tímto způsobem dojde k většímu vyvážení energetického mixu, jenž bude doplňován dalšími palivy dováženými z ciziny, tzn. ropa a zemní plyn, tak aby se energetická závislost ČR pohybovala na přijatelné úrovni. Dovození energetická závislost je v současnosti na „příznivé“ hranici 50 %, což je pořád o 10 % méně než průměrná energetická závislost státu EU, kde se pohybuje tato hranice na 60 %. Bude nutné se zamyslet nad problematikou docházejícího zemního uhlí (těžební limity) a jeho náhradou, zde se jeví jako varianta náhrada hnědého uhlí biomasou, jejíž produkce by se ovšem musela více jak 11krát zvýšit,

což bohužel nejde příliš reálně zajistit a znamenalo by to také velice nákladné úpravy na stávajících zařízeních, případně navýšení cen tepla. Proto se předpokládá prolomení těžebních limitů a stálá těžba kvalitního hnědého uhlí přinejmenším do doby než dojde k rozvoji a stabilizaci trhu s biomasou.

### 3. Obnovitelné zdroje energie

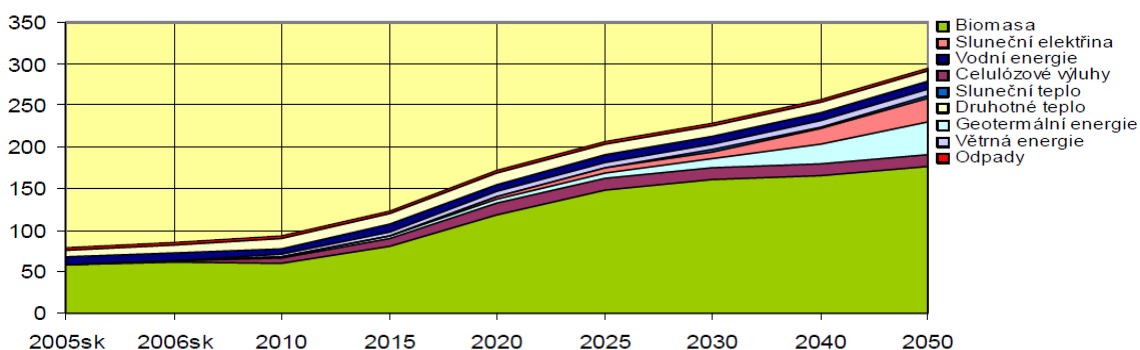
Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, do budoucí energetické struktury bude velice významně přispívat poměrně „nerozvinutý“ potenciál OZE, který by měl postupně částečně nahrazovat fosilní paliva. Pro porovnání dynamiky rozvoje je zde uveden podíl obnovitelné energie na primárních energetických zdrojích (PEZ) v roce 2008, kdy tento podíl činil 5 % (viz Tabulka 2), což je nepatrně více než v roce předešlém, kdy to bylo 4,8 %. Podle posledních zaznamenaných údajů z roku 2012 se tento podíl již zvýšil na hranici 11,2 % tzn. v horizontu 4 let došlo k navýšení o více než 220 %.

Tabulka 2 – Celková energie z OZE v roce 2008 [19]

	Energie v palivu užitém na výrobu tepla (GJ)	Energie v palivu užitém na výrobu elektřiny (GJ)	Primární energie (GJ)	Obnovitelná energie celkem (GJ)	Podíl na PEZ	Podíl na energii z OZE
Biomasa (mimo domácnosti)	19 899 049,49	9 354 304,60	–	29 253 354,10	1,55%	30,98%
Biomasa (domácnosti)	44 165 424,00	–	–	44 165 424,00	2,34%	46,77%
Vodní elektrárny	–	–	7 287 606,00	7 287 606,00	0,39%	7,72%
Biologický rozl. část TKO	2 353 546,12	49 319,40	–	2 402 865,52	0,13%	2,54%
Biologický rozl. část PRO a ATP	590 560,80	–	–	590 560,80	0,03%	0,63%
Bioplyn	1 650 715,24	2 111 654,86	–	3 762 370,09	0,20%	3,98%
Kapalná biopaliva	0	0	4 640 948,8	4 640 948,84	0,25%	4,91%
Tepelná čerpadla (teplo prostředí)	–	–	1 200 000,0	1 200 000,00	0,06%	1,27%
Solární termální kolektory	–	–	202 491,0	202 491,00	0,01%	0,21%
Větrné elektrárny	–	–	880 779,60	880 779,60	0,05%	0,93%
Fotovoltaické systémy	–	–	46 573,20	46 573,20	0,00%	0,05%
<b>Celkem</b>	<b>68 659 295,65</b>	<b>11 515 278,86</b>	<b>14 258 398,64</b>	<b>94 432 973,15</b>	<b>5,00%</b>	<b>100,00%</b>

\*referenční hodnota PEZ =1888 PJ

Na Obrázek 4 můžeme pozorovat očekávaný rozvoj OZE v brzké i vzdálené budoucnosti tak, aby se dosáhlo potřebného energetického mixu následujících let.



Obrázek 4 - Struktura a spotřeba obnovitelných a druhotných zdrojů energií [PJ]

Pro budoucí návrh začlenění těchto zdrojů je nutné velice dobře teoreticky vysvětlit podstatu jednotlivých zdrojů a poté vytvořit ucelený pohled nad začleněním těchto zdrojů

do ES. V následujících podkapitolách budou tedy teoreticky probrány jednotlivé druhy OZE, které lze využít pro potřeby ČR v oblasti malé a střední energetiky tzn. VTE, FVE a biomasa. Záměrně vynechána poté bude oblast energie vody (VE, MVE), jelikož zájem o využití vodní energie je poměrně malý, neboť ty nejlepší lokality vhodné pro stavbu MVE jsou již převážně obsazeny. Teoreticky je zde stále dost nových lokalit, tyto mají však výrazně horší hydrologické podmínky a návratnost investice je tak dlouhá, že je pro komerční investory nepřijatelná. Potenciál je tedy hlavně ve zvýšení účinnosti stávající technologie, případně v lepším využití stávajícího množství vody [5].

### 3.1 Základní pojmy a definice v problematice OZE

Pokusme se nejprve vymezit termín obnovitelné zdroje energie. Na rozdíl od fosilních a uranových paliv jsou obnovitelné zdroje "nevyčerpatelné", protože jejich životnost je srovnatelná s délkou života naší planety a jejich rozdělení je možno pozorovat v Tabulka 3, kde je přehledně popsána jak konečná forma energie, tak i prvotní zdroj této energie.

Tabulka 3 – rozdělení energetických zdrojů a užitných forem OZE

ZDROJ	FORMA ENERGIE
Radioaktivní rozpad uvnitř Země	Geotermální energie
Pohyb vesmírných těles (Slunce, Měsíc, ostatní planety)	Slapová energie (přílivu a odlivu)
Záření kosmického prostoru, Sluneční záření	Energie vodních toků
	Energie ledovců
	Větrná energie
	Energie mořských vln
	Sluneční teplo (atmosféra, hydrosféra, litosféra)
	Energie živé hmoty (biochemická energie)

#### 3.1.1 Potenciály pro OZE

Zde je potřeba zmínit, že v tuto dobu je velice obtížné od sebe jednotlivé formy potenciálů odlišit, jelikož každá studie je vypracovávána odlišným autorem a to má poté za následek poněkud odlišné výsledky projektových studií o budoucnosti OZE. Potenciály OZE lze tedy dělit na:

- **Teoretický potenciál**

Množství energie uvnitř obnovitelného zdroje, které je určeno na základě fyzikálních vztahů, bez respektování vlivu omezujících okrajových podmínek, např. u větrné energie bývá udáván odhad z části dopadající sluneční energie, která se spotřebuje na uvedení atmosférických hmot

do pohybu. V literatuře [6] je omezen na místa, kde lze fotoelektrické články instalovat s ohledem na optimální orientaci ploch ke slunečnímu záření. Pro jeho odhad lze tedy použít odhad 7,2 % zastavěné plochy sídel.

- **Technický potenciál (někdy je uváděn také jako teoretický potenciál)**

Množství energie, které lze z obnovitelného zdroje získat technickými prostředky, které jsou na trhu. Jedná se o teoretický potenciál omezený přítomností zdroje a technickými podmínkami jeho přeměny na využitelnou elektrickou nebo tepelnou energii. Jedná se tedy o hraniční technické podmínky využitelnosti zařízení nikoli hraniční podmínky zdroje (překročení hraničního stupně rychlosti větru atd.). Tento potenciál je dle [6] omezen na plochy, kde lze fotoelektrické systémy instalovat s ohledem na stav sítě, možnosti připojení, atd. Pro takové odhady se používá hodnota roční sumy globálního záření (průměr pro celou ČR např. 1081 kWh/m<sup>2</sup>). Podle údajů firmy Solartec lze použít následující klíčová čísla pro odhad výroby elektrické energie: 1 m<sup>2</sup> solárního modulu s monokrystalickými články má výkon 110 W<sub>P</sub> (špičkový výkon) při standardním osvětlení 1000 Wm<sup>-2</sup> a slunečním spektru AM 1,5. Ze solárního panelu s touto plochou je možné získat cca 87,2 kWh/rok elektrické energie, při úvaze instalovaných panelů (cca 9 m<sup>2</sup>) P<sub>i</sub> = 1 kW<sub>P</sub> lze získat cca 793 kWh/rok (viz 3.1). Uvedená data se samozřejmě mohou lišit v závislosti na lokalitě použití.

$$W_{rok_{110 W_P}} = \sum_{i=1}^{12} W_{m\acute{e}s_i} = 80.31 + 138.28 + 213.31 + 302.30 + 383.31 + 390.30 + 408.31 + 360.31 + 235.30 + 179.31 + 83.30 + 60.31 = 87,2 \frac{kWh}{rok}$$

$$W_{rok_{1 kW_P}} = \sum_{i=1}^{12} W_{m\acute{e}s_i} \cdot \frac{1000}{110} = 87,2 \cdot 9,09 = 792,7 \frac{kWh}{rok} \quad (3.1)$$

$W_{rok} [kWh/rok]$  množství energie vyrobené systémem za dobu jednoho roku

$W_{m\acute{e}s} [kWh/rok]$  množství energie vyrobené systémem za dobu jednoho měsíce

**Tabulka 4 – průměrná energetická bilance solárního panelu 1m<sup>2</sup>/110W<sub>P</sub>**

měsíce	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	energie [Wh/rok]
energie [Wh/den]	80	138	213	302	383	390	408	360	265	179	83	60	
počet dní měsíce	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
energie [Wh/měsíc]	2480	3864	6603	9060	11873	11700	12648	11160	7950	5549	2490	1860	<b>87237</b>

- **Dostupný potenciál (technicky realizovatelný potenciál nebo dosažitelný potenciál)**

Technický potenciál, který je možno využít za předpokladu působení administrativních, environmentálních, legislativních, technických či dalších omezení, která nám technický potenciál snižují.

- **Využitelný potenciál (realizovatelný potenciál)**

Je to část dostupného potenciálu omezená využitím přírodního zdroje pro jiné účely než energetické (např. omezení možnosti pěstování energetických plodin využitím zemědělské půdy pro potravinářské účely apod.).

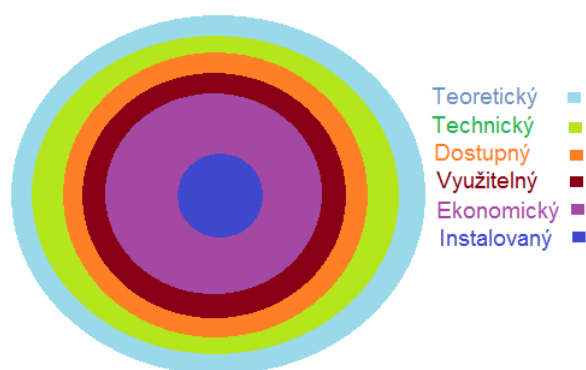
- **Ekonomický potenciál (reálně využitelný potenciál či komerční potenciál)**

„Podmnožina“ využitelného potenciálu, kterou je možno využít ve stávající ekonomické situaci ve společnosti a při jejím předpokládaném vývoji ve stanoveném období. Za omezující podmínky se obvykle uvažují ekonomické, fiskální a legislativní podmínky, energetická politika státu, investiční a provozní náklady, dostupnost zařízení. Ekonomický potenciál se obvykle udává ve formě tzv. nákladových křivek, což je závislost velikosti využitelného potenciálu na ceně produkované energie. Největší překážkou byla dříve nízká výkupní cena a vysoké pořizovací náklady, které ovšem za poslední roky odpadly (snížení ceny, zvýšení výkupní ceny elektřiny) a tudíž nastal poměrně rozsáhlý fotovoltaický rozmach. Cena u ostrovních systémů je cca 100 Kč/W<sub>p</sub> a u systémů napojených na distribuční síť je cena ještě nižší.

- **Instalovaný potenciál (současné využití)**

Výrobní kapacita stávajících instalovaných zařízení, která pracují pravidelně v průběhu roku a jsou komerčně využívána.

Všechny již zmíněné potenciály jsou v různých publikacích ještě dále členěny zejména poté potenciál ekonomický, který je velmi sledovaným faktorem z pohledu investorů a jejich budoucích investičních výnosů (doba návratnosti, investiční rizika, citlivostní analýzy). Pro naše požadavky budou postačující následující definice, případné dodatky budou probrány v následujících kapitolách. Pro představu, jak se postupně potenciál OZE díky odlišným definicím snižuje je vidět na Obrázek 5, z čehož vyplývá, že závislost velikosti potenciálu na definici není zanedbatelná a je potřeba si ji dopředu specifikovat.



Obrázek 5 – Potenciál využití OZE

### 3.1.2 Výkony pro OZE

Další z ukazatelů, který je nutný si ujasnit a který je samozřejmě důležitý z hlediska připojení daného zařízení do ES (viz Obrázek 6).

- **Instalovaný výkon  $P_i$  [MW]**

Hodnota udávající u velkých zdrojů, kolik elektrické energie (jaký výkon) jsou maximálně schopny dodávat do ES, při definovaných standardních a optimálních podmínkách. Instalovaný výkon je také důležitým parametrem pro regulaci elektrické sítě, která musí odolat výpadku zdroje s největším instalovaným výkonem (tzv. kritérium n-1). Užitečná hodnota  $P_i$  je však dána možnostmi celoročního využití energetického zdroje (zvláště u OZE).

- **Průměrný celoroční výkon  $P_{cr}$  [kW]**

Průměrný celoroční výkon lze vyjádřit jako výkon srovnatelného zařízení, které za dobu jednoho roku (1 rok = 365 dní = 365 dní \* 24 hodin = 8760 hodin) vyrobí stejné množství energie jako zařízení sledované. Platí, že:

$$P_{cr} = \frac{W_{cr}}{8760} \quad (3.2)$$

$W_{cr}$  [MJ] množství energie vyrobené systémem za dobu jednoho roku (8760 hodin)

Průměrný celoroční výkon  $P_{cr}$  je součástí výkonu instalovaného. V případě OZE je kolísání výkonu dáno podstatou obnovitelného zdroje, jakožto přírodního zdroje energie závislého na okolních podmínkách (počasí, roční období, den/noc).

- **Roční využití instalovaného výkonu  $t_{cr}$  [h]**

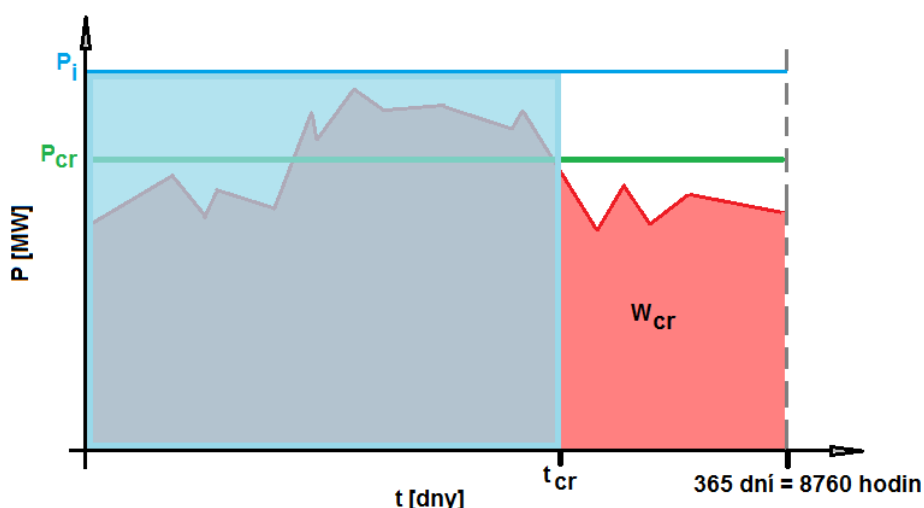
$$t_{cr} = \frac{W_{cr}}{P_i} \quad (3.3)$$

Poměr mezi skutečně vyrobenou energií a teoretickou hodnotou, která by byla získána při nepřetržitém využití instalovaného výkonu, se nazývá koeficient ročního využití.

- **Koeficient ročního využití  $k_r$  [-]**

$$k_r = \frac{P_{cr}}{P_i} = \frac{W_{cr}}{P_i \cdot 8760} \quad (3.4)$$

Poměr průměrného celoročního a instalovaného výkonu je významným parametrem používaným pro ekonomické hodnocení a pro hodnocení reálných možností energetických zdrojů.



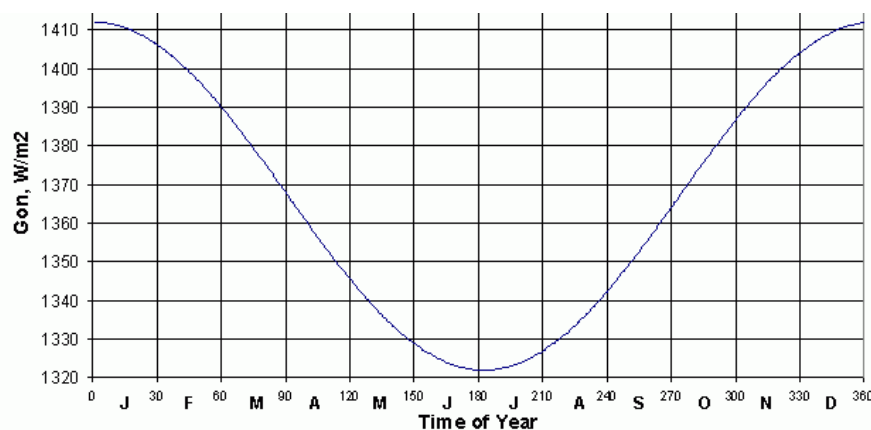
Obrázek 6 – výkonové ukazatele

## 3.2 Sluneční energie

Přeměna slunečního záření na elektrickou, případně tepelnou energii je co se týče účinku výroby na životní prostředí nejčistším a nejšetrnějším výrobním cyklem. Technická řešení pro využití sluneční energie k výrobě elektrické energie jsou již v uspokojivé podobě k dispozici. Zatímco v mnoha aplikacích na odlehlých místech bez připojení k elektrorozvodné síti je fotovoltaika technicky i ekonomicky výhodnějším řešením ve srovnání se stávajícími klasickými zdroji, při dodávce do sítě je elektrická energie z fotovoltaických systémů stále ještě dražší. Existuje však dostatek důvodů, proč vyvíjet úsilí



o další rozvoj fotovoltaiky. Vyspělé země světa více či méně intenzivně podporují nejen rozvoj fotovoltaiky, ale i ostatních obnovitelných zdrojů energie, jako strategického prostředku pro zajištění kontinuity energetických zdrojů v časovém horizontu do roku 2050. Fotovoltaika nabízí časově neomezenou možnost výroby elektrické energie. Technologie využívající sluneční záření má teoreticky neomezený růstový potenciál, avšak nesmíme zapomenout na důležitou věc a to tu, že sluneční energie sice dopadá na každé místo naší republiky, ale s ohledem na počasí jde o nestálý zdroj energie (viz Obrázek 7), proto se vyvíjí nové hybridní seskupení, aby dopad těchto nestálostí na kontinuitu dodávky byl co nejmenší a pokud možno žádný (v dalších kapitolách budou navrženy určité možnosti hybridních seskupení při využití nejmodernějších technologií budoucnosti). Celkově lze však konstatovat, že fotovoltaika by se v budoucnu měla stát významným prvkem trvale udržitelného energetického systému s minimálním dopadem na životní prostředí.



Obrázek 7 – variace slunečního záření v průběhu roku

Z hlediska principu přeměny slunečního záření na jinou užitnou formu energie rozeznáváme dva způsoby využití energie slunce:

- **fotoelektrická přeměna**, přímá přeměna slunečního záření na elektřinu
- **fortermální přeměna**, přijímání globálního slunečního záření slunečními kolektory.

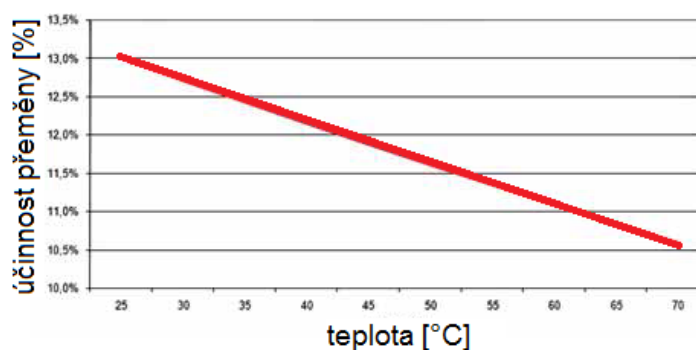
Z výše zmíněného rozdělení v zásadě vyplývají možnosti odhadu skutečné využitelnosti energie slunečního záření, která kromě vhodné plochy (např. vhodně nakloněné střechy obydlí) je závislá i na účinnosti zařízení a v neposlední řadě na investiční náročnosti a ekonomické efektivitě.

### 3.2.1 Fotovoltaika (= fotoelektrická přeměna)

Fotovoltaické systémy využívají ke své funkci tzv. fotoelektrický jev, při kterém dochází k přímé přeměně světelné energie na elektrickou energii v polovodičovém prvku

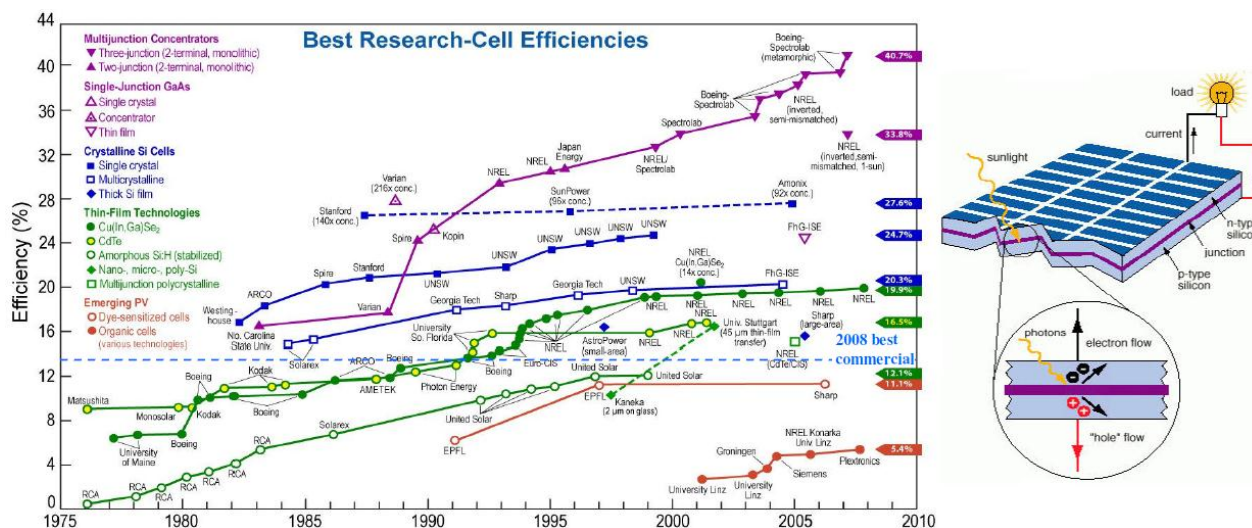
označovaném jako fotovoltaický nebo také solární článek. Solární článek je polovodičový velkoplošný prvek (velkoplošná dioda) s alespoň jedním PN přechodem. V ozářeném solárním článku jsou generovány elektricky nabitě částice (pár elektron – díra). Elektrony a díry jsou separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi „předním“ (-) a „zadním“ (+) kontaktem solárního článku. Zátěžným obvodem připojeným na oba kontakty potom protéká stejnosměrný elektrický proud, jenž je přímo úměrný ploše solárního článku a intenzitě dopadajícího slunečního záření. Pro získání požadovaného napětí (standardně  $12 \div 24 V_{ss}$ ) je potřeba spojit více těchto PN přechodů do série (standardně 1 PN přechod = 0,5 V  $\rightarrow$  sériové spojení  $24 \div 48$  PN přechodů). Po sestavení tohoto zřetězení panelů je celý řetězec vsazen do krycích hermeticky uzavřených zařízení, jež mohou mít podobu krycího skla s vysokou optickou a izolační stálostí, pro ochranu před okolními vlivy prostředí (životnost panelů cca 30 let).

Účinnost přeměny sluneční energie na elektrickou se v dnešních sériově vyráběných solárních článcích pohybuje v rozmezí mezi  $14 \div 17 \%$  dle výrobce (skutečný provoz  $10 \div 12 \%$ ) a je teplotně závislá (příklad závislosti je vidět na Obrázek 8).



Obrázek 8 – závislost účinnosti panelu na teplotě

Pro výrobu solárních článků se používá celá řada technologií, avšak nejpoužívanější (85 %) je v dnešní době výroba článků z krystalického křemíku (zpravidla čtvercový plátek o rozměrech až  $0,2 \times 0,2$  m, cca 0,25 mm široký z křemíku s monokrystalickou nebo multikrystalickou strukturou). Výroba je poměrně energeticky náročná (energetická návratnost je cca 5 let), proto se nadále zkoumají metody výroby solárních článků (zatím dosahují nižší účinnosti než křemíkové) z energeticky méně náročných materiálů pro uplatnění v budoucnosti. Do výroby jsou tedy postupně zaváděny nové tenkovrstvé technologie (technologie „druhé generace“ – poloviční energetická návratnost cca 3 roky) CdTe, CIS a CIGS struktury a alternativní technologie „třetí“ generace (polymery a články s fotocitlivým barvivem).

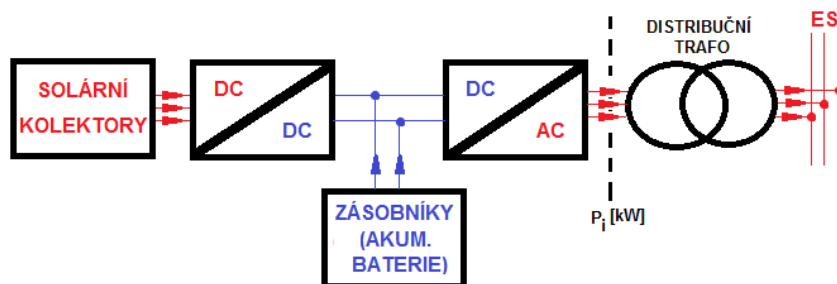


Obrázek 9 – princip, vývoj a účinnost solárních článků ve světovém měřítku

### 3.2.1.1 Systémy a aplikace fotovoltaiky

V této podkapitole se v krátkosti zmíníme o nezbytných částech systému potřebných pro vytvoření určitého výrobního systému na bázi fotovoltaických panelů a jejich členění z hlediska účelu a místa použití.

Díky dostupnosti slunečního záření má fotovoltaika široké uplatnění prakticky kdekoli na Zemi. Pomocí fotovoltaických panelů lze tedy realizovat jak malé (mW), tak i větší (MW) aplikace. Kromě již zmíněného solárního panelu jsou však pro vytvoření autonomního systému potřeba další zařízení jako akumulátorová baterie, měnič, zařízení pro regulaci, signalizační a měřicí zařízení a samozřejmě spotřebič nebo ES (viz Obrázek 10).



Obrázek 10 - ukázka fotovoltaického systému

Presná podoba systému poté závisí na účelu a místě použití:

- **Grid off** – systém samostatný (nezávislý na ES), většinou instalován na místech, kde není možné napájení odběrného místa z distribuční sítě (těžko přístupný terén, hory, atd.). U těchto systémů se používají prvky s co nejmenší spotřebou elektrické energie.
  - *Přímý* – funkční jen po dobu dostatečné intenzity slunečního záření, panel

- přímo napájí spotřebič (čerpání vody, odvětrávání, atd.).
- *Akumulační* – zde je použito akumulátorových baterií jako zásobníku el. energie. Regulátor napětí zajišťuje optimální nabíjení a vybíjení. Výstup bývá 12, 24 V<sub>ss</sub> nebo 230V/~50Hz přes napěťový měnič (zdroj pro signalizaci, chaty, rodinné domy, reklamu, zařízení v terénu, atd.).
  - *Hybridní* – pro potřebu využití systému v průběhu celého roku i v průběhu zimy, kdy je získaný výkon panelu menší. Tyto systémy jsou více finančně nákladné, jelikož je potřeba vyšší instalovaný výkon. Proto se provádí kombinace s doplňkovým zdrojem jako např. větrný generátor, spalovací zařízení, kogenerační jednotky (větší systémy – statek, velké budovy, atd.), těmto systémům se budeme ještě dále věnovat v pozdějších kapitolách.
  - **Grid on** – systém nesamostatný (závislý na ES), většinou instalován na místech, kde je možné napájení odběrného místa z distribuční sítě (husté elektrické rozvody). Provoz panelů pro vlastní spotřebu je závislý na slunečním svitu (přebytek dodáván do sítě, nedostatek čerpán ze sítě). Automatický provoz pomocí řídicí jednotky napěťového měniče (Mravenečník v Jeseníkách 10 kWp, hotel Panorama v Praze 6 kWp).

### 3.2.2 Metodika posuzování potenciálu sluneční energie

Vlnové délky slunečního záření před vstupem do atmosféry jsou v rozsahu od  $10^{-10}$  do  $10^3$  m. Sluneční záření lze v atmosféře rozdělit na přímé a rozptýlené. Přímé sluneční záření je záření od slunečního disku, které tvoří vzhledem k velké vzdálenosti od Slunce svazek prakticky rovnoběžných paprsků. Rozptýlené sluneční záření se jeví jako světlo oblohy (rozptyl přímých slunečních paprsků na molekulách plyných složek vzduchu, vodních kapkách a ledových krystálcích a na různých aerosolových částicích).

- **Intenzita I [W/m<sup>2</sup>]**

Základní veličinou při popisu přímého slunečního záření je intenzita, která je definována jako množství zářivé energie dopadající za jednotku času na jednotkovou plochu orientovanou kolmo ke slunečním paprskům. Solární klima v meteorologii označuje rozložení příkonu slunečního záření dopadajícího na horní hranici atmosféry. Rovnice (3.5) udává vztah pro velikost slunečního záření na zemském povrchu.

$$I = I_* \cdot \frac{R_0^2}{R^2} \cdot P \quad (3.5)$$

$I [W/m^2]$	je intenzita přímého slunečního záření na zemském povrchu na jednotkovou plochu orientovanou kolmo ke slunečním paprskům
$I_* [W/m^2]$	solární konstanta (intenzita slunečního záření dopadajícího na horní hranici atmosféry $I_0$ kolísá od solární konstanty $I_*$ maximálně o $\pm 3,5\%$ její hodnoty, která je $1367 W/m^2$ [7], [8])
$R_0 [km]$	střední vzdálenost Země od Slunce (cca 149 500 000 km)
$R [km]$	okamžitá vzdálenost Země od Slunce (cca 147 000 000 ÷ 152 000 000 km)
$P [\mu m]$	propustnost zemské atmosféry pro přímé sluneční záření

- **Insolace  $J [W/m^2]$**

Množství přímého slunečního záření dopadající za jednotku času na jednotkovou plochu horizontálního zemského povrchu (3.6).

$$J = I \cdot \sin \alpha_s \quad (J = I \cdot \cos \vartheta) \quad (3.6)$$

$J [W/m^2]$  přímé sluneční záření dopadající za jednotku času na jednotkovou plochu horizontálního zemského povrchu

$\alpha_s [^\circ]$  úhlová výška Slunce nad ideálním geometrickým obzorem

$\vartheta [^\circ]$  úhlová vzdálenost Slunce od zenitu, tzv. zenitový úhel Slunce ( $\vartheta = 90^\circ - \alpha_s$ )

Při úvaze zenitového úhlu  $\vartheta = (90^\circ - \alpha_s)$  a vztahů (3.6) lze konstatovat, že  $\cos \vartheta = \sin \alpha_s$ .

Po použití rovnice (3.5) dostáváme vztah pro insolaci na horní hladině atmosféry (3.7).

$$J_0 = I_* \cdot \frac{R_0^2}{R^2} \cdot \sin \alpha_s \quad (J = I_* \cdot \frac{R_0^2}{R^2} \cdot \cos \vartheta) \quad (3.7)$$

$J_0 [W/m^2]$  insolace na horní hladině atmosféry

Směr paprsků je dán vzájemnou polohou Slunce nad obzorem (poloha Slunce vzhledem k Zemi) a osluněné plochy. Použitím matematického aparátu dostáváme vztah (3.8) pro výšku Slunce nad obzorem.

$$\sin \alpha_s = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega \quad (3.8)$$

$\varphi [^\circ]$  zeměpisná šířka

$\omega [^\circ]$  hodinový úhel Slunce

$\delta [^\circ]$  sluneční deklinace

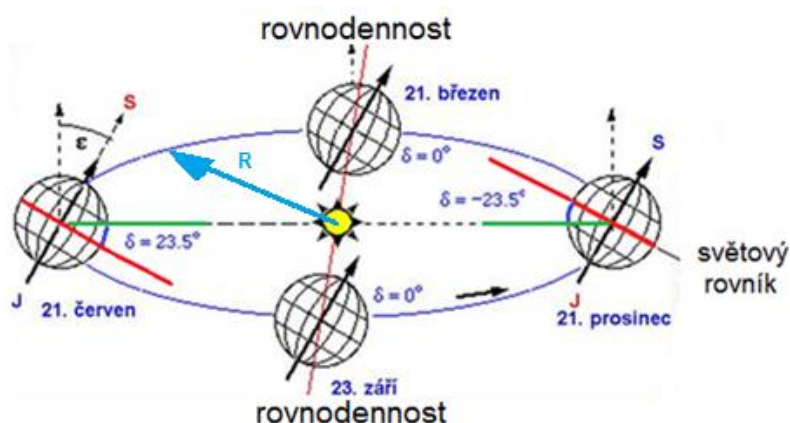
Konečným cílem výpočtu je určit dopadající energii na osluněnou plochu. Pro úhel dopadu slunečních paprsků na obecně položenou plochu lze odvodit např. podle [9] vztah (3.9).

$$\cos \vartheta = \sin \alpha_s \cdot \cos \beta + \cos \alpha_s \cdot \sin \beta \cdot \cos(\alpha - \alpha_n) \quad (3.9)$$

$\beta[^\circ]$	úhel sklonu obecně položené osluněné plochy od vodorovné roviny
$\alpha_n[^\circ]$	azimutový úhel normály obecně položené osluněné plochy měřený stejně jako hodinový úhel Slunce
$\alpha[^\circ]$	azimutový úhel Slunce měřený stejně jako hodinový úhel Slunce (3.10)

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta}{\cos \alpha_s} \sin \omega \quad (3.10)$$

Dále pak potřebujeme znát vztah pro deklinaci Slunce, což je úhel  $\delta$  sevřený spojnicí Slunce se stanovištěm pozorovatele a rovinou světového rovníku ve 12 hodin v poledne (viz Obrázek 11).



**Obrázek 11** – na obrázku lze pozorovat deklinační úhel, tvar trajektorie oběhu Země kolem Slunce (elipsa), vzdálenost Země od Slunce a náklon zemské osy

$\delta > 0$ , pokud se daný bod nalézá nad rovinou světového rovníku, a  $\delta < 0$  v opačném případě. Sluneční deklinace  $\delta$  má pro každý den v roce jinou hodnotu a pro libovolný den v roce se spočítá ze vztahů (3.11).

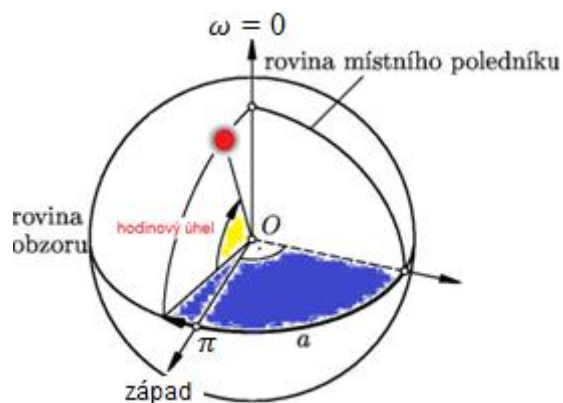
$$\delta = 23,45^\circ \sin(\varepsilon - 109^\circ) \quad \varepsilon = 0,98^\circ D + 29,7^\circ M \quad (3.11)$$

$\varepsilon[^\circ]$  úhel určující pořadí daného dne v roce (datum)

$D[-]$  den v měsíci

$M[-]$  měsíc v roce (leden = 1, únor = 2, ...)

Hodinový úhel Slunce (viz Obrázek 12) představuje denní čas (1 hodina =  $15^\circ$ ). Slunce kulminuje ve 12 h v poledne ( $\omega = 0$ ). Hodinový úhel tedy nabývá hodnot  $\omega = (-\pi, \pi)$  a vypočítá se dle (3.12).



Obrázek 12 – hodinový úhel Slunce

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau}t - K \quad (3.12)$$

$t$  čas (v okamžiku kulminace  $t = 0$ , před kulminací záporný a po kulminaci kladný vzhledem k hodinovému úhlu Slunce  $\omega$ )

$\tau$  doba 24 hodin vyjádřená ve stejných jednotkách jako  $t$

$K$  korekce na nerovnoměrnost otáčení Země, kterou lze pro zjednodušení výpočtu zanedbat

Insolaci bez vlivu zemské atmosféry po dosazení (3.8) do (3.7) lze vyjádřit vztahem (3.13).

$$J_0 = I_* \cdot \frac{R_0^2}{R^2} \cdot (\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega) \quad (3.13)$$

Množství slunečního záření odpovídající určitému solárnímu klimatu (zatím bez vlivu atmosféry) od východu ( $t_1$ ) do západu ( $t_2$ ) Slunce vyjádřit (3.14).

$$Q_{sol} = \int_{t_1}^{t_2} J_0 dt \quad (3.14)$$

$Q_{sol} [Wm^2/den]$  množství slunečního záření dopadající na jednotkovou horizontální plochu nalézající se na horní hranici atmosféry v době od  $t_1$  do  $t_2$

$t_1$  doba východu Slunce

$t_2$  doba západu Slunce

V době východu  $t_1$  i západu  $t_2$  platí, že úhlová výška nad obzorem  $\alpha_s = 0$ , a tudíž i  $\sin \alpha_s = 0$ .

Po dosazení do (3.8) dostáváme hodinový úhel pro východ  $t_1$  i západ  $t_2$  Slunce (3.15).

$$\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega = 0$$

$$\cos \omega = -\frac{\sin \delta}{\cos \delta} \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = -\tan \delta \cdot \tan \varphi \quad (3.15)$$

Při úvaze kruhového obzoru v rozsahu  $\langle -\pi, \pi \rangle$  při daných hodnotách  $\delta$  a  $\varphi$  má rovnice tedy řešení pro  $\omega = \langle -\omega_0, +\omega_0 \rangle = 1$  den. Matematická podoba rovnice při využití rovnic (3.14), (3.13), (3.12) je poté (3.16), což je dopadající záření za 1 den od  $t_1$  do  $t_2$ .

$$Q_{sol} = \frac{\tau}{2\pi} \cdot I_* \cdot \frac{R_0^2}{R^2} \int_{-\omega_0}^{+\omega_0} (\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega) d\omega$$

$$Q_{sol} = \frac{\tau}{\pi} \cdot I_* \cdot \frac{R_0^2}{R^2} (\omega_0 \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \omega_0) \quad (3.16)$$

Nyní máme vypočítanu velikost záření na horní hranici atmosféry, dále budeme zkoumat, jaký vliv bude mít na záření atmosféra, resp. jak se změní (zeslabí) přímé sluneční záření po průchodu přes tuto vrstvu. Záření je při průchodu logicky zeslabováno a to rozptylem paprsků (odrazem o molekuly plynů, vodní částičky, ledové krystalky a částičky prachu) a absorpcí ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ ). Zeslabení slunečního záření ve výšce  $z$  nad zemským povrchem popisuje Bouguerův vzorec (3.17) [10].

$$I = I_0 \cdot e^{(-m \int_z^\infty b_{ex} dz)} \quad (3.17)$$

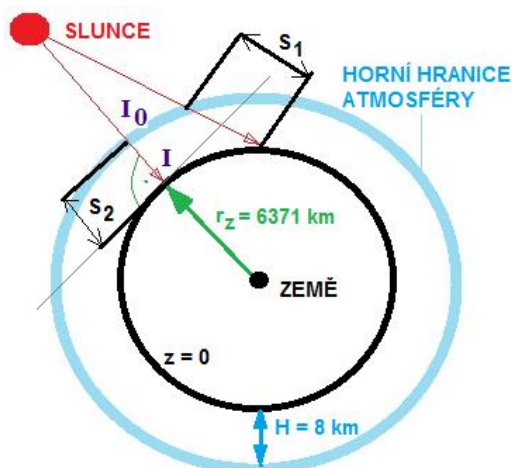
$$b_{ex} = b_r + b_a \quad (3.18)$$

$I_0$ [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]	intenzita přímého slunečního záření při vstupu do atmosféry [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
$m$	optická hmota, poměr skutečné délky dráhy paprsku v atmosféře k délce dráhy, kterou by urazil tentýž paprsek, kdyby procházel atmosférou kolmo k horizontálnímu zemskému povrchu (3.19)
$b_{ex}$	koeficient extinkce (zeslabení), kde $b_r$ je koeficient rozptylu a $b_a$ je koeficient absorpce
$z$ [ $\text{km}$ ]	vertikální souřadnice hladiny ( $z = 0$ pro povrch)
	$m = \frac{\sqrt{r_z^2 \cos^2 \vartheta + 2r_z H + H^2} - r_z \cos \vartheta}{H} \quad (3.19)$
$r_z$ [ $\text{km}$ ]	střední poloměr Země ( $r_z = 6371$ km)
$H$ [ $\text{km}$ ]	tloušťka fiktivní atmosféry, jenž má v celém vertikálním rozsahu stejnou hustotu ( $H = \text{cca } 8$ km)
$J$ [ $^\circ$ ]	úhlová vzdálenost Slunce od zenitu

Rovnice (3.19) lze uvádět při úvaze sférického tvaru Země a současného zanedbání zakřivení slunečních paprsků v atmosféře způsobené jejich lomem. Publikace [10] vztah doporučuje pro úhlovou výšku  $\alpha_s = (10^\circ, 30^\circ)$  nad ideálním obzorem. Pokud opomeneme



nejen lom paprsků, ale i zakřivení zemského povrchu lze pro úhlovou výšku Slunce nad obzorem  $10^\circ < \alpha_s < 30^\circ$  použít zjednodušenou rovnici (3.19) ve tvaru (3.20).



Obrázek 13 – názorný obrázek pro lepší porozumění rovnicím (3.17) a (3.19) a jejich veličinám

$$m = \cos^{-1} \vartheta \quad (3.20)$$

Pro  $\alpha_s < 10^\circ$ , se významněji uplatňuje vliv lomu paprsků v ovzduší, který závisí na změnách hustoty vzduchu s výškou a je potřeba využít vztahu z publikace [2].

Velikost intenzity přímého slunečního záření na zemském povrchu ( $z = 0$ ) lze spočítat pomocí rovnice (3.17), kde za dolní hranici integrálu dosadíme nulovou hodnotu. Nyní pokud zavedeme koeficient propustnosti ve tvaru (3.21), již můžeme psát rovnici (3.17) ve tvaru Bouguerůvo zákona (3.22) a dostat tak intenzitu přímého slunečního záření na zemském povrchu na jednotkovou plochu orientovanou kolmo ke slunečním paprskům.

$$f = e^{(-\int_0^\infty b_{ex} dz)} \text{ pozn. } I = I_0 \cdot e^{(-m \int_0^\infty b_{ex} dz)} = I_0 \cdot (e^{(-\int_0^\infty b_{ex} dz)})^m \quad (3.21)$$

$$I = I_0 \cdot f^m \quad (3.22)$$

$f$  koeficient propustnosti atmosféry

Při úvaze nad rovnicí (3.22) můžeme stanovit několik důležitých závěrů.

$$m = \frac{s_1}{s_2} = 1 \quad (3.23)$$

Pro sluneční paprsky kolmé k zemskému povrchu, kdy nedochází k absorpci ani rozptýlu a tady pro  $f$  platí (3.24).

$$f = \frac{I}{I_0} \quad (3.24)$$

Takto jednoduchou úpravu pro koeficient propustnosti ovšem nelze použít a nelze opomenout vliv atmosféry na sluneční záření. Sluneční záření se obohacuje při průchodu atmosférou o vlnové délky ( $\lambda$ ), které atmosféra lépe propouští proto  $f \approx \lambda$  a tedy  $f$  roste pro

zvětšující se délku dráhy záření a tedy  $f = f(m)$ . Zohlednění této skutečnosti provádíme rozdělením slunečního spektra na jednotlivé monochromatické úseky, přičemž v každém úseku lze považovat  $f = konst.$  a jednotlivé dílčí úseky na konci výpočtu sečíst a dostat tedy celkovou velikost záření. Literatura [11] a [9] uvádí pro koeficient propustnosti nejčastěji hodnoty v intervalu  $f = (0,6; 0,8)$  při obloze bez oblačnosti.

Dále můžeme stanovit intenzitu slunečního záření  $J_P$  na obecně položenou plochu  $P$  (3.25) užitím rovnic (3.9), (3.8), (3.6), kde poloha plochy je určena azimutem  $\alpha_n$  a úhlem sklonu  $\beta$ .

$$J_p = I \cdot \cos \vartheta \quad (3.25)$$

$J_p [W/m^2]$  intenzita slunečního záření na obecně položenou plochu  $P$

K výše zmíněnému záření je potřeba přičíst ještě záření difuzní (rozptýlené), které v publikaci [9] můžeme vypočítat dle rovnice (3.26). Vlnová délka u záření, jenž je rozptýlené se nemění a je stejná jako u záření přímého.

$$J_{P_{dif}} = \frac{1}{2} [(1 + \cos \beta) \cdot J_{dif} + A \cdot (1 - \cos \beta) \cdot (J + J_{dif})] \quad (3.26)$$

$J_{P_{dif}} [W/m^2]$  intenzita rozptýleného záření na obecně položenou plochu  $P$

$J_{dif} [W/m^2]$  intenzita rozptýleného slunečního záření na horizontálním zemském povrchu, které uvažujeme i při zatažené obloze (3.27)

$A$  albedo, reflexní schopnost okolních ploch. Pro sluneční paprsky (Slunce v horizontu) dle [9] je  $A=0,2$  (viz níže)

$$J_{dif} = 0,33 \cdot (I_0 - I) \cdot \sin \alpha_s \quad (3.27)$$

Kompletní dopadající sluneční záření na horizontální zemský povrch je součtem záření přímého  $J$  a rozptýleného (difúzního)  $J_{dif}$  lze pro něj psát vztah (3.28). Tento součet nazýváme globální sluneční záření [11].

$$J_G = J + J_{dif} \quad (3.28)$$

$J_G [W/m^2]$  intenzita globálního slunečního záření na horizontálním zemském povrchu

Tomuto součtu se analogicky určí i kompletní dopadající záření  $J_{PG}$  na obecně položenou plochu  $P$  (3.29) [11].

$$J_{PG} = J_P + J_{P_{dif}} \quad (3.29)$$

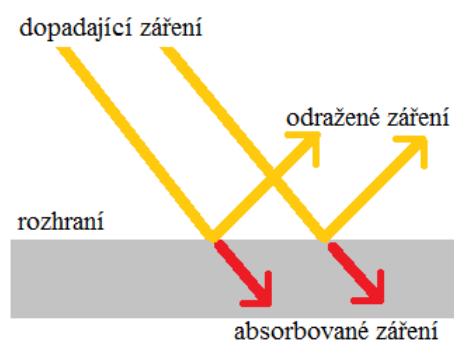
$J_{PG} [W/m^2]$  intenzita globálního slunečního záření pro obecnou plochu  $P$

**Energetický zisk** (při zahrnutí albeda) získaný **absorbací slunečního záření** do obecné plochy  $P$  (resp. zemského povrchu) za jednotku času je dle rovnice (3.30), kde hodnotou albeda rozumíme poměr mezi množstvím záření dopadajícího a odraženého (Obrázek 14) z určité plochy (resp. sleduje schopnost absorpce resp. odrazivosti daného povrchu) [9], [12].

$$J_{PA} = J_{PG}(1 - A_P) \quad (\text{resp. } J_A = J_G(1 - A_z)) \quad (3.30)$$

$J_A [W/m^2]$  množství energie získané jednotkou plochy horizontálního zemského povrchu při zahrnutí albeda

$J_{PA} [W/m^2]$  množství energie získané do obecné plochy  $P$  při zahrnutí jejího albeda



Obrázek 14 – „albedo“ pro obecné rozhraní

Množství teoreticky dopadajícího přímého záření na horní hranici atmosféry za jeden den od doby  $t_1$  do  $t_2$  lze vypočítat dle rovnice (3.16). Po průchodu atmosférou se hodnota tohoto teoretického množství změní (zmenší). Do rovnice tedy zahrneme bezrozměrný činitel  $l$ , který představuje vlivy na sluneční záření při průchodu atmosférou (oblačnost) a získáme **množství prakticky dopadajícího přímého záření na povrch Země za den** (3.31).

$$Q = l \cdot Q_{sol} \quad (3.31)$$

$Q [Wm^2/den]$  skutečný denní úhrn přímého slunečního záření

$l[-]$  bezrozměrná veličina, respektující pokrytí oblohy mraky  $\bar{n}$  nebo relativní dobu trvání slunečního svitu během uvažovaného dne  $\bar{\tau}$  (3.32)

$$l = 1 - \bar{n} \text{ nebo } l = \bar{\tau} \text{ nebo } l = \frac{1 - \bar{n} + \bar{\tau}}{2} \quad (3.32)$$

$\bar{n}$  průměrné pokrytí oblohy mraky

$\bar{\tau}$  relativní doba trvání slunečního svitu během uvažovaného dne

Pro výpočet  $\bar{\tau}$ , potřebujeme znát přesné denní měřené hodnoty tzn. po jakou dobu během dne Slunce opravdu svítilo  $\bar{\tau}_{skut}$  a po kterou dobu by teoreticky mohlo svítit při jasné obloze  $\bar{\tau}_{jas}$  viz (3.33).

$$\bar{\tau} = \frac{\bar{\tau}_{skut}}{\bar{\tau}_{jas}} \quad (3.33)$$

$\bar{\tau}_{skut} [hod]$  skutečná doba svitu během dne

$\bar{\tau}_{jas} [hod]$  teoretická hodnota celodenního svitu bez oblačnosti ( $\bar{\tau}_{jas} = t_2 - t_1$ )

K přímému dopadajícímu záření za jeden den (3.31) je potřeba přičíst ještě záření dopadající díky rozptylu (3.34) a poté tedy stanovit kompletní celkové **globální množství dopadajícího slunečního záření na povrch Země za jeden den** (3.35).

$$Q_{dif} = \bar{n} \text{ nebo } Q_{dif} = 1 - \bar{\tau} \text{ nebo } Q_{dif} = \frac{1 + \bar{n} - \bar{\tau}}{2} \quad (3.34)$$

$Q_{dif} [Wm^2/den]$  denní úhrn difúzního slunečního záření

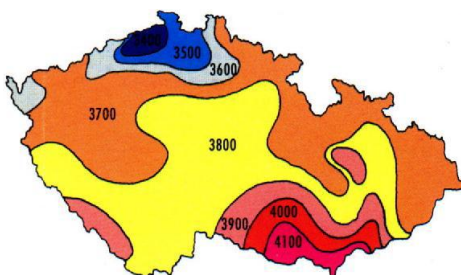
$$Q_G = Q_{GO} + (a + b \cdot l) \quad (3.35)$$

$Q_G [Wm^2/den]$  denní úhrn globálního slunečního záření

$Q_{GO} [Wm^2/den]$  denní úhrn difúzního slunečního záření při stále jasné obloze

$a, b$  empirické konstanty ( $a + b = 1$ )

Literatura [11], [9] uvádí několik empirických vzorců pro velikost tohoto záření. Pro výpočet denních úhrnů na obecně položenou plochu  $P$  postupujeme analogicky dle vztahu (3.35). Pro získání delších ukazatelů (roční, měsíční intervaly) příslušné denní úhrny jen sčítáme. Energie úhrnů slunečního záření se vyjadřuje většinou v následujících jednotkách:  $[Wh/m^2]$ ,  $[kWh/m^2]$ ,  $[kJ/m^2]$ ,  $[MJ/m^2]$ .



Obrázek 15 - aplikace metodiky na území ČR (průměrné roční sumy globálního záření  $[MJ/m^2]$ ) [13]

### 3.3 Větrná energie

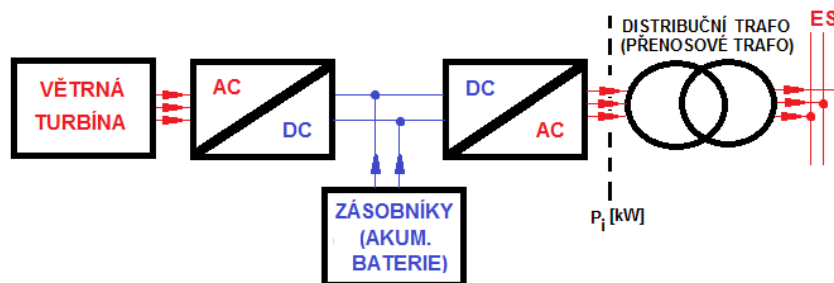
V dnešní době se jedná o druhý nejrozšířenější OZE na světě hned za energií vodních toků. Instalovaný výkon je odhadován na 200 GW (v horizontu 5 let narostl cca o 25 %). O větrné energii se hovoří jako o jedné z forem energie sluneční, která vzniká díky tomu, že slunce zahřívá naši planetu nerovnoměrně. Rozdíly teplot zapříčiní tlakové rozdíly, které se vyrovnávají pomocí proudění vzduchu, jenž má složku horizontální a vertikální. Horizontální složku nazýváme jako vítr (ve vrstvě několika desítek metrů nad povrchem jsou vertikální směry proudění vzhledem k horizontálnímu směru nevýznamné). Nespornou výhodou energie větru je „snadná“ (např. oproti biomase) přeměna na jinou formu energie tzn. energii elektrickou. Česká republika je vnitrozemský stát s typicky kontinentálním klimatem, které se projevuje významným sezónním kolísáním rychlostí větru. Příčinou je zejména globální vzdušné proudění typické pro severní a střední Evropu, tudíž se naším větrným potenciálem nemůžeme rovnat takovým větrným velmocem, jako jsou skandinávské země kolem Severního moře v čele s Dánskem, kde se průměrná rychlost větru pohybuje kolem 10 m/s. V našich vnitrozemských podmínkách se průměrná rychlost větru pohybuje na hranici 3 m/s. Odhad potencionální velikosti energie větru v ČR se pohybuje okolo 4 TWh/rok [10]. Takto velký dodaný výkon do soustavy by stačil pro krytí současné energetické spotřeby cca z 5,6 % (celková spotřeba ČR v roce 2010 činila 70,96 TWh [18]). Stejně tak jako u fotovoltaiky, také u větrné energetiky nastal největší rozkvět díky vstupu ČR do EU (zelená kniha) a díky státním podpurným prostředkům pro rozvoj OZE v ČR (příznivé, státem garantované výkupní ceny elektřiny na určitou smluvní dobu), které nalákaly řadu investorů do stavby větrných farem. Výkupní cena u dodávky větrné energie do ES je 2,2 Kč/kWh (při započítání zelených bonusů 4 Kč/kWh) [19].

#### 3.3.1 Systémy a aplikace větru pro výrobu elektrické energie

V této podkapitole se v krátkosti zmíníme o nezbytných částech systému potřebných pro vytvoření určité výrobní jednotky na bázi VTE a vysvětlíme jejich členění z hlediska účelu a místa použití, přičemž budeme využívat poznatky z 3.2.1.1, kde jsme to samé prováděli pro využití fotovoltaiky (řada věcí bude analogická, jako u fotovoltaických systémů, z tohoto důvodu se některým věcem již nebudeme věnovat tak detailně).

Jak již bylo řečeno, při přeměně kinetické energie větru se získává energie elektrická. Stejně tak jako u elektřiny při fotovoltaické přeměně, tak také u větru existují objemnější systémy, které dodávají elektřinu přímo do sítě (těmto systémům říkáme větrné farmy). Naopak drobná zařízení poté mohou sloužit jako autonomní systémy, jež zásobují odlehlá

zařízení, kde spojení s distribuční sítí není možné realizovat (horské oblasti - chaty, atd.). Pro vytvoření uceleného výrobního systémů (Obrázek 16) jsou potřeba další zařízení, jako akumulátorová baterie, měnič, zařízení pro regulaci, signalizační měřicí zařízení a samozřejmě spotřebič (případně ES).



Obrázek 16 - ukázka větrného systému

Řada funkčních principů je opravdu podobná fotovoltaice, ale přeci jen zde určité odlišnosti, dané technologií přeměny primárního zdroje v užitnou formu, najdeme. Asi největším rozdílem je přímá produkce AC proudu v generátoru připojeném obvykle přes převodovou skříň k turbíně (technologické uspořádání viz kapitola 3.3.2).

Přesná podoba systému poté závisí na účelu a místě použití:

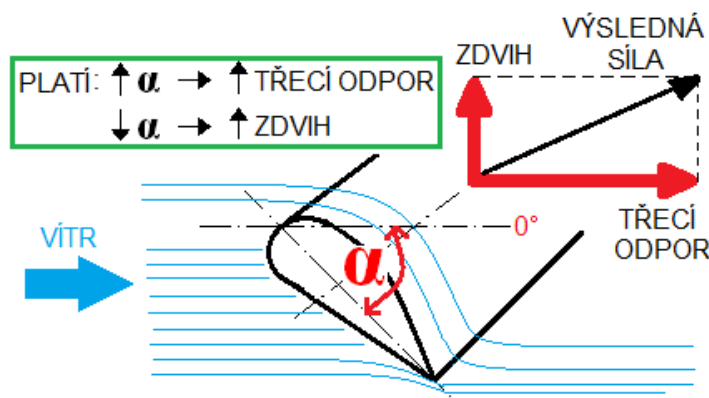
- **Grid off** – systém samostatný (nezávislý na ES), většinou instalován na místech, kde není možné napájení odběrného místa z distribuční sítě (těžko přístupný terén, hory, atd.). U těchto systémů se používají prvky s co nejmenší spotřebou elektrické energie. Pro toto použití se využívají micro-VTE (0,1 ÷ 5 kW), které mají oproti velkým VTE nižší zastoupení na trhu. Nezbytnou součástí těchto systémů jsou opět akumulátory a výkonová řídicí elektronika.
  - *Přímý* – funkční jen po dobu odpovídající rychlosti větru (pracovní režimy generátoru viz kapitola 3.3.3), generátor přímo napájí spotřebič.
  - *Akumulační* – zde je použito akumulátorových baterií jako zásobníku el. energie. Regulátor napětí zajišťuje optimální nabíjení a vybíjení. Výstup bývá 12, 24 V<sub>ss</sub> nebo 230V/~50Hz přes napěťový měnič (chaty, rodinné domy, reklama, zařízení v terénu, atd.).
  - *Hybridní* – pro potřebu využití systému v průběhu celého roku i v průběhu léta, kdy je získaný výkon turbíny menší. Tyto systémy jsou více finančně nákladné, jelikož je potřeba vyšší instalovaný výkon. Proto se provádí kombinace s doplňkovým zdrojem jako např. fotovoltaický panel, spalovací zařízení, kogenerační jednotky (větší systémy – statek, velké budovy, atd.), těmto systémům se budeme ještě dále věnovat v pozdějších kapitolách.

- **Grid on** – systém nesamostatný (závislý na ES), toto uspořádání slouží zpravidla jen pro komerční účely, využívá se míst s velkým větrným potenciálem na úkor nákladů na připojení. Trendem je výstavba velkých strojů ( $d_{rotoru} = 40 \div 100$  m,  $h_{stožáru} = 100$  m a více) pro co největší využití potenciálu místa. Tyto pro naše podmínky výkonné stroje (2 MW) je možno vykupovat také ze zahraničí, kde naopak již nepředstavují zdaleka nejvýkonnější možné stroje vzhledem k větrnému potenciálu dané země (přímořské státy až 5 MW turbíny). Velké VTE mají asynchronní generátor, který generuje AC proud (napětí 620, 660, 690, ... V) s neodpovídajícími úrovněmi výstupního napětí, tudíž nemohou pracovat jako autonomní zdroje energie. Většina elektráren má konstantní otáčky - s rostoucí rychlostí větru se zvyšuje zátěž generátoru.

### 3.3.2 Technologické uspořádání VTE

Před bližším popisem samotného technologického uspořádání dané VTE nejdříve vysvětleme obecný princip přeměny kinetické energie větru na pohybovou energii turbíny resp. rotoru generátoru. Princip konverze této energie je popsán na Obrázek 17, kde je vidět závislost zdvihové síly na úhlu natočení lopatky ( $\alpha = 0^\circ \div 95^\circ$ ) a změna orientace absolutní velikosti výsledné síly díky změně tohoto úhlu. Mechanická energie je tedy převáděna od rotoru na hlavní nízkootáčkovou hřídel a pomocí převodovky na vysokootáčkový generátor (toto neplatí vždy - na trhu existují také bezpřevodové stroje, např. od firmy Emercon).

Technologický vývoj větrných turbín prošel poměrně rozsáhlým vývojem zejména v otázce designu (orientace osy otáčení, počet listů rotoru, výběr materiálů pro výrobu, podoba gondoly, regulace otáček). V dnešní době se design a princip přeměny energie ustálil na využití vztlakového principu, zpravidla 3 lopatky, horizontální orientace osy otáčení, integrovaná převodovka pro brzdění a najíždění a využití regulace „Pitch“ (přehled druhů regulací viz kap. 3.3.3). Samozřejmě dle účelu, použití a velikosti výkonu turbíny se konstruují specifické podoby samotných technických zařízení uvnitř (generátor, převodovka, výška stožárů, délka lopatek, atd.), což už je interní záležitost výrobce a jeho know-how.

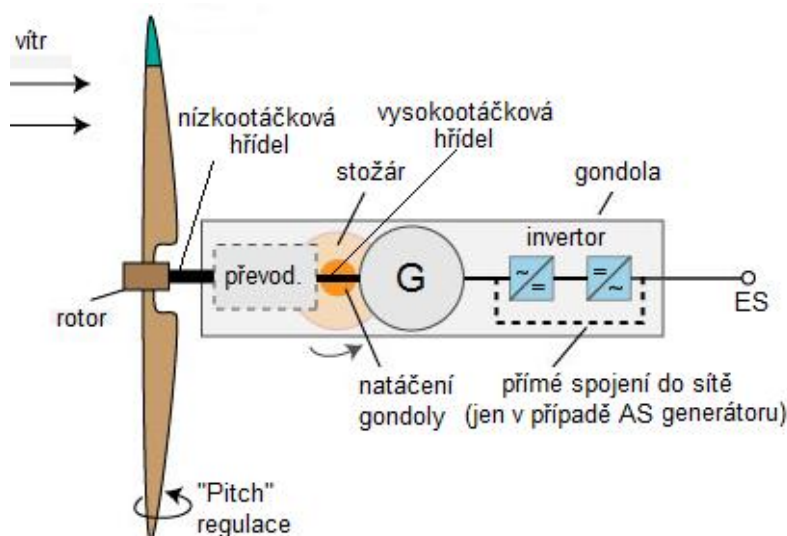


Obrázek 17 - princip konverze kinetické energie větru

### 3.3.2.1 Hlavní technické parametry a vnitřní schéma VTE

Souhrn obvyklých technických parametrů, které popisují danou VTE lze shrnout do

Tabulka 5, kde jsou vyjmenovány jednotlivé parametry VTE i s obvyklou hodnotou, kterou výrobci větrných turbín uvádějí. V ČR se využívají turbíny do jmenovitého výkonu 2 MW s výškou stožáru a průměrem rotoru cca 100 m, které odpovídají našim větrným podmínkám. Typické vnitřní uspořádání VTE je vidět na obrázku 18, kde je pohled na půdorysné uspořádání vnitřních technických zařízení s propojením do ES.



Obrázek 18 – příklad možného vnitřního uspořádání VTE



Tabulka 5 - technické parametry VTE

parametr	popis
jmenovitý výkon [kW]	až 5000
jmenovitá rychlost větru [m/s]	10 ÷ 14
zapojovací rychlost větru [m/s]	2 ÷ 4
odpojovací rychlost větru [m/s]	20 ÷ 30
průměr rotoru [m]	až 126
počet listů [-]	3
otáčky rotoru [ot/min]	až 20
typ generátoru	synchronní (vícepólový), asynchronní (vinutý rotor)
regulace výkonu	Pitch, Stall, Furling
výška věží [m]	až 120
brzdňý systém	nastavením listů, mechanický
výstupní napětí generátoru [V]	až 690

### 3.3.3 Metody posuzování potenciálu větrné energie

Při metodickém posuzování potenciálu větrné energie a jejího využití si nejdříve stanovíme veličiny, které budeme sledovat a které jsou při sestavování metodiky důležité.

- **Rychlost větru [m/s]**

Je nejdůležitějším údajem při využívání energie větru, který je úměrný velikosti tlakového rozdílu (rozdílnými teplotami - zahřátím v oblasti vzduchu). Problém při určování rychlosti větru nastává v oblastech blíže k zemskému povrchu, kde je proudění větru ovlivňováno drsností povrchu Země (s rostoucí výškou se rychlost větru zvyšuje logaritmicky do směru zemských rovnoběžek). Vzdušné proudění je turbulentní (změna rychlosti i orientace větru v čase), proto je potřeba zavést určitým způsobem normované metodické měření (viz níže).

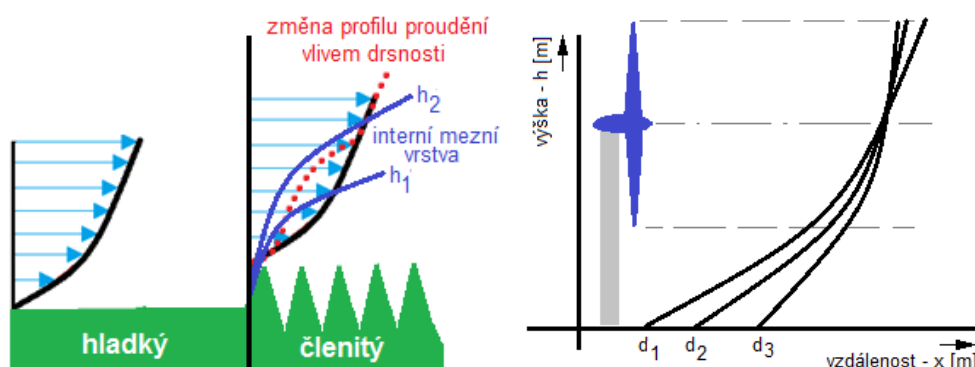
- **Směr větru [°]**

Jedná se o informaci, kam a odkud vítr proudí a jako jednotky se zde používají stupně azimutu. V praxi se používá 36 směrů větru (viz Obrázek 19).

Pro měření rychlosti i směru větru (stanice ČHMÚ) postupujeme tak, že změříme rychlost i směr (anemometr) v pravidelných intervalech v určité výšce (10 m nad zemí) a tyto hodnoty poté zprůměrujeme za určitý časový interval, který se nazývá vzorkovací doba. Více k problematice měření lze najít v publikaci [1].



Větrné elektrárny se obvykle instalují do výšek nad 40 m až cca do 100 m, kde je velká závislost rychlosti větru a turbulence na tvaru okolního terénu (čím více členitý je povrch, tím menší je rychlost větru a dochází více k turbulencím). Drsnost povrchu tedy způsobuje turbulence a změnu výškového gradientu, proto je nutné si uvědomit, že při instalaci větrné turbíny mají listy rotoru určitou délku a rozložení rychlosti větru případně turbulencí není v celé délce konstantní, naopak se více mění s narůstající členitostí terénu, viz Obrázek 21, kde je vidět též další problém, který nastává na rozhraní dvou prostředí o různé drsnosti (přechodový děj) a vznik nové interní mezní vrstvy. Znalost interní mezní vrstvy je zásadní pro umístění VTE. Jestliže je VTE postavena tak, že se rotor pohybuje uvnitř a vně interní mezní vrstvy, působí na něj nespojitý vertikální profil rychlosti větru. Tato skutečnost může mít nepříznivý vliv na funkci a výkon VTE a v některých případech může vést i k jejímu poškození. Drsnost je určena sumou účinků jednotlivých překážek. Vzniká tak vzájemná závislost těchto veličin. Početně se výpočty turbulence neprovádí, pro určení proudění a turbulencí se používají fakticky změřené údaje daného místa (stanice ČHMÚ) ve variabilní výšce (zejména ve výšce předpokládané osy rotoru). Přičemž turbulence se posuzuje jako střední kvadratická odchylka od průměrné rychlosti větru (3.37). Tato odchylka je poté dlouhodobě sledována spolu s průměrnou rychlostí větru a měření se odehrává v krátkodobých časových intervalech po dobu minimálně jednoho roku, lepší je dokonce déle.



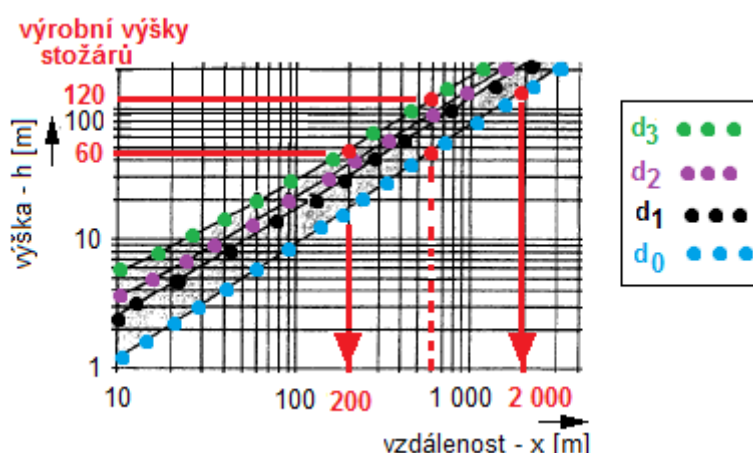
Obrázek 21 – a) změna proudění větru vlivem členitosti terénu a vznik interních mezních vrstev (v místech inflexních bodů); b) rozdílné tvary gradientu pro tři různé drsnosti povrchu  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [x_i - E(x)]^2 \quad (3.37)$$

- $\sigma^2$  střední kvadratická odchylka (čím větší je, tím větší je hodnota turbulence)
- $n$  počet měření
- $x_i$  navzorkovaná (změřená) veličina = rychlost větru

$E(x)$  střední hodnota rychlosti větru (= průměrná hodnota rychlosti větru)

Lze tedy konstatovat, že při výběru lokality si musíme dát pozor, jak na celkovou drsnost (členitost) povrchu, tak na počet rozhraní drsností, jelikož negativně ovlivňují proudění ve spodní vrstvě. Závislost působení rušivých vlivů na vzdálenosti od něj je popsána na Obrázek 22. Pro bližší vysvětlení turbulentní zóny je možno nahlédnout do literatury [14], kde je tato problematika probírána. Jak již bylo řečeno před výstavbou větrné elektrárny je na zamýšleném území nutno provést řadu měření po dobu minimálně jednoho roku, po této době začneme zpracovávat naměřená data. Výsledky měření se zpracovávají tabulkově do sloupcových grafů, kde na vodorovné ose jsou vynášeny měřené rychlosti větru a na svislé ose jejich četnost v hodinách nebo v procentech za rok (Obrázek 23). Ze sloupcového grafu se vyhodnocuje střední rychlost větru zpravidla během jednoho roku (většinou pomocí aproximace Weibullova rozdělení) (3.38), kde funkce  $f(x)$  pro  $x = 0$  tzn. bezvětrí, kdy tedy  $x$  představuje náhodnou veličinu (rychlost větru), bude i velikost funkce v tomto bodě nulová tedy  $f(0) = 0$ . Nelze totiž zaznamenat bezvětrí do křivky, která vychází od počátku souřadného systému a tudíž konečná hodnota průměrné rychlosti větru bude zkrácená (větší).



Obrázek 22 - závislost výšky stožáru na vzdálenosti drsnosti ( $d_0, d_1, d_2, d_3$ )

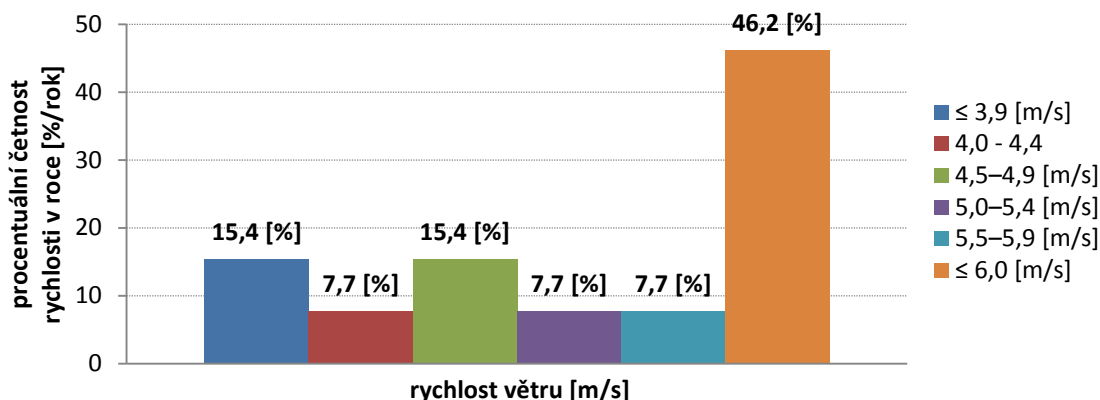
$$f(x) = \frac{c \cdot x^{c-1}}{\delta^c} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^c} \quad x > 0, \delta > 0, c > 0$$

$$= 0 \quad x \leq 0 \quad (3.38)$$

$x[m/s]$  náhodná veličina, tedy průměrná rychlost větru

$\delta$  součinitel rozptylu určující polohu maxima funkce (rychlosti větru) a souvisí s průměrnou rychlostí větru  $\overline{w}_h$  ve výšce  $h$ , dle publikace [15] přibližně platí, že průměrná rychlost větru  $\delta = 1,136 \cdot \overline{w}_h$

c tvarový součinitel, jeho hodnota se mění dle typu funkce přibližně v rozsahu 1,5 - 3,0 [15]



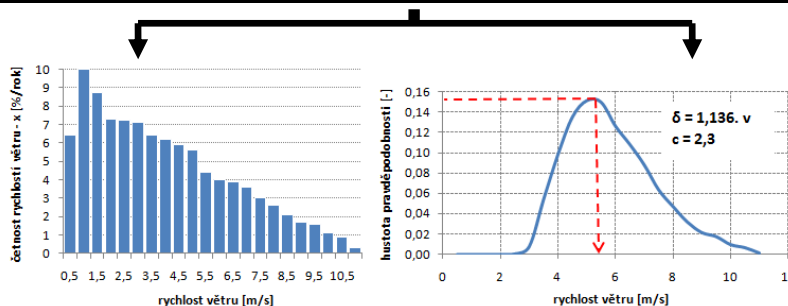
Obrázek 23 - výsledek ročního měření rychlosti a četnosti větru

Příklad vyřešeného měření dané lokality i s vyhodnocením je popsán v Tabulka 6 a je znázorněn na Obrázek 24, kde je nejprve z prvotních změřených údajů sestrojena distribuční charakteristika a poté pomocí Weibullova rozdělení vypočtena hustota pravděpodobnosti pro danou rychlost větru.

Pro danou distribuční charakteristiku lze poté vybrat vhodný větrný motor a následně vyhodnotit předpokládanou roční výrobu energie.

Tabulka 6 - změřená roční data s vyhodnocením

<b>v [m/s]</b>	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
<b>x [-]</b>	6,4	10	8,7	7,3	7,2	7,1	6,4	6,2	5,9	5,6	4,4
<b>δ [-]</b>	0,57	1,136	1,704	2,27	2,84	3,408	3,976	4,54	5,112	5,68	6,248
<b>hustota pps [-]</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,10	0,13	0,15	0,15
<b>v [m/s]</b>	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11
<b>x [-]</b>	4	3,9	3,6	3	2,6	2,1	1,7	1,6	1,1	0,9	0,3
<b>δ [-]</b>	6,82	7,384	7,952	8,52	9,09	9,656	10,22	10,8	11,36	11,9	12,5
<b>hustota pps [-]</b>	0,13	0,11	0,09	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00



Obrázek 24 - Weibullovo rozdělení distribuční funkce (vpravo) a četnost rychlostí větru za rok (vlevo)

Nyní už můžeme začít s konkrétními výkonovými výpočty. Výkon vzdušného proudu  $P_w$  je funkcí rychlosti větru  $w$ , hustoty vzduchu  $\rho$  a velikostí plochy  $S$ , kterou vzduch protéká (3.39).

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^3 \cdot S = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^3 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (3.39)$$

$P_w$ [W]	výkon protékající danou plochou při rychlosti větru $w$
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	hustota vzduchu
$S$ [m <sup>2</sup> ]	průtočná plocha
$r$ [m]	poloměr rotoru (= délka rotorové lopatky)

Ze vztahu (3.39) je vidět silná závislost výkonu vzdušného proudu na změně rychlosti větru. Při využití stavové rovnice plynu lze pro změřenou teplotu vzduchu a barometrický tlak získat hustotu vzduchu (3.40).

$$\rho = \frac{p_b}{R \cdot T} \quad (T = 273,15 + t) \quad (3.40)$$

$p_b$ [Pa]	barometrický tlak ve výšce měření (s rostoucí nadmořskou výškou klesá)
$R$ [J/kgK]	plynová konstanta (pro vzduch $R = 287,1$ J/kgK)
$T$ [K]	termodynamická teplota
$t$ [°C]	teplota vzduchu v měřené výšce

Údaje z měřidel tlaku (barometrů) jsou při snímání a následné archivaci uchovány ve formě přepočtené na hladinu moře, tzn. *hladina nadmořské výšky* = 0. Pro získání správných hodnot je potřeba dané údaje přepočítat do skutečné výšky měření, kde je barometrický tlak samozřejmě nižší (2.41).

$$p_{b(h)} = p_{b(0)} \cdot [1 - (0,118358 \cdot 10^{-3} \cdot h) + (0,5291 \cdot 10^{-8} \cdot h^2)] \quad (2.41)$$

$p_{b(h)}$ [Pa]	barometrický tlak ve skutečné výšce měření $h$
$p_{b(0)}$ [Pa]	barometrický tlak ve výšce $h = 0$
$h$ [m]	výška měření

Energie větru je v důsledku častých a nestálých změn větru dosti časově proměnlivá a většinou ji určujeme v úhrnu za jeden kalendářní rok (3.43), kde tedy dolní hranice integrálu je nulová a horní hranice integrálu je počet hodin za jeden kalendářní rok, tzn. 8760 hodin. Zjednodušený a chybný vztah, který se často užívá je vztah (3.42).

$$E_c = P_i \cdot 8760 \cdot K \quad (3.42)$$

$$E_c = \frac{\pi \cdot r^2}{2} \int_0^{8760} \rho(t) \cdot w^3(t) dt \quad (3.43)$$

$K [-]$	kapacitní faktor (pro ČR, kde $w = 5 \div 7 \text{ m/s}$ je $K = 0,14 \div 0,25$ )
$P_i [W]$	instalovaný výkon elektrárny
$E_c [kWh/rok]$	energetický úhrn za období jednoho roku
$t [h]$	čas měření vyjádřený v hodinách

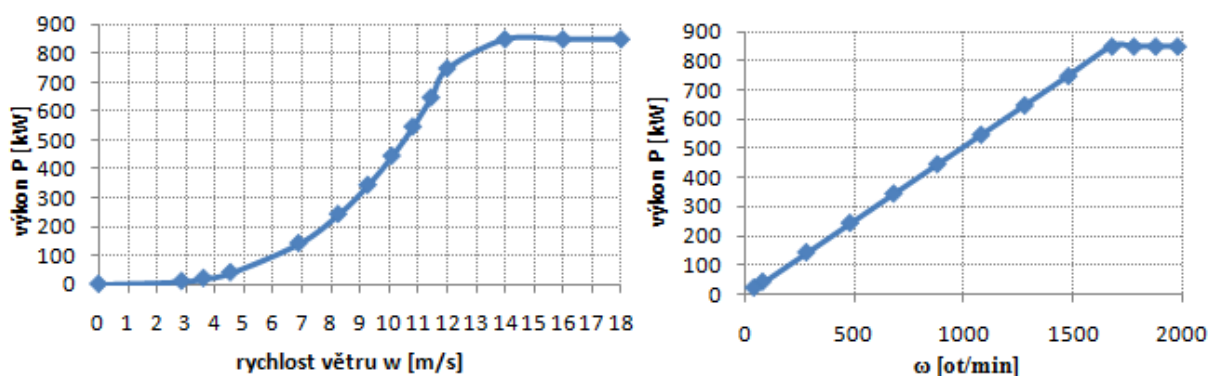
K dané optimální rychlosti větru je potřeba navrhnout také správný větrný motor, který respektuje rychlost větru jak za rotorem, tak před rotorem (v některých publikacích se vztah počítá zjednodušeně dle (3.44) jen pro jednu rychlost a to vede k nepřesnostem výpočtů) (3.45).

$$P_{vm} = 0,639 \cdot \rho \cdot r^2 \cdot w^3 \quad (3.44)$$

$$P_{vm} = \frac{S}{4} \cdot \rho \cdot (w_1^2 - w_2^2) \cdot (w_1 - w_2) \quad (3.45)$$

$w_1, w_2 [m/s]$  rychlosti větru před a za rotorem

$P_{vm} [W]$  výkon větrného motoru

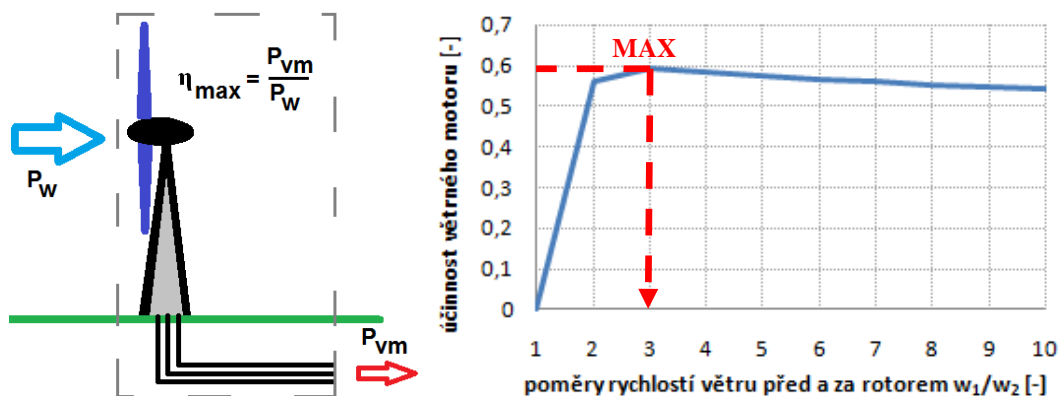


Obrázek 25 – ukázka výstupu modelu větrné elektrárny VESTAS 85 ( $P_n = 850 \text{ kW}$ ,  $\omega_n = 1680 \text{ ot/min}$ ,  $w = 14 \text{ m/s}$ ) - závislost výkonu na otáčkách generátoru (vpravo), výkonová křivka generátoru (vlevo)

Při vyjádření, jak výkonu větru (3.39), tak výkonu větrného motoru (3.45), již můžeme vyjádřit také účinnost celého systému (3.46), jenž je ukázána na Obrázek 26 vlevo. Tuto účinnost lze nazvat jako ideální (nejvyšší dosažitelná) při ideálním poměru rychlosti před a za rotorem motoru, tzn. musíme zjistit, kdy tento poměr nastává. Byl sestaven matematický model, jehož výsledkem je závislost účinnosti větrného motoru na poměru rychlostí větru (Obrázek 26 vpravo), kde lze vidět, že ideálním poměrem  $x = \frac{w_1}{w_2} = 3$  (3.46).

$$\eta_{max} = \frac{P_{vm}}{P_w} = \frac{S \cdot \rho \cdot \left( w_1^2 - \left( \frac{w_1}{x} \right)^2 \right) \cdot \left( w_1 + \frac{w_1}{x} \right)}{4 \cdot \frac{S \cdot \rho \cdot w_1^3}{2}} = \frac{\left( w_1^2 - \left( \frac{w_1}{x} \right)^2 \right) \cdot \left( w_1 + \frac{w_1}{x} \right)}{2 \cdot w_1^3} = 0,593 \quad (3.46)$$

$\eta_{max} [-]$  maximální účinnost větrného motoru (Betzova účinnost) při  $x = \frac{w_1}{w_2} = 3$



Obrázek 26 - větrný motor a vysvětlení jeho účinnosti (vlevo), závislost účinnosti větrného motoru na poměru rychlosti větru před  $w_1$  a za  $w_2$  rotorem (vpravo)

Betzova účinnost je tedy nejvyšší teoretická účinnost, která je dosažitelná u větrných motorů. Je tedy pochopitelné, že praktická účinnost bude nižší než Betzova a bude se počítat z účinnosti jednotlivých technologických částí větrné elektrárny, tzn. účinnosti obvodové, mechanické a elektrické (3.47).

$$\eta_c = \eta_{ob} \cdot \eta_m \cdot \eta_{el} \quad (3.47)$$

$\eta_c$  [-] celková účinnost větrné elektrárny ( $\cong 0,15 \div 0,45$ )

$\eta_{ob}$  [-] obvodová účinnost respektuje aerodynamické ztráty, tření lopatek, turbulence ( $\cong 0,45$ )

$\eta_m$  [-] mechanická účinnost respektuje tření v ložiskách, účinnost převodové skříně ( $\cong 0,97$ )

$\eta_{el}$  [-] elektrická účinnost respektuje ztráty generátoru ( $\cong 0,94$ )

Nyní lze dokončit náš výpočet a získat konečné množství vyrobené energie za jeden rok (3.48), které tedy v konečném výsledku závisí na průměrné rychlosti větru, četnosti rychlosti v roce a na výkonové křivce elektrárny (resp. jejího generátoru). Při každé rychlosti má generátor jiný výkon, proto tedy konečný úhrn vyrobené energie je spočten jako součet jednotlivých vyrobených úhrnů energie pro každou rychlost v roce.

$$E_c = \sum_{i=1}^n P_{vm_i} \cdot \Delta t_i \quad (3.48)$$

$E_c$  [kWh/rok] celková vyrobená energie větrnou elektrárnou

$\Delta t$  [h/rok] počet hodin výskytu při dané rychlosti větru

$n$  [-] počet rychlostí větru během jednoho roku

Při počítání velikosti vyrobené energie nesmíme opomenout skutečnost, že generátor, který vyrábí elektrickou energii, pracuje ve čtyřech režimech:



1.  $P_{vm} = 0$  ( $w < w_{připínací}$ )
2.  $P_{vm} \neq 0$  ( $\approx w^3$ ) pracovní oblast
3.  $P_{vm} = P_{vmN}$  ( $w_N < w < w_{odepínací}$ )
4.  $P_{vm} = 0$  ( $w > w_{odepínací}$ )

### Kritéria výběru lokality pro umístění větrného parku:

- Dostatečná rychlost větru ( $w_{připínací}$  pro rozběh elektrárny  $2 \div 4$  m/s).
- Odpovídající parametry geografického profilu okolí pro omezení turbulence a zajištění optimálního gradientu rychlosti větru (drsnost, překážky, zábrany).
- Využití námrazové mapy ČR a zohlednění námrazků na výrobu [13].
- Nadmořská výška výstavby a její vliv na hustotu vzduchu viz rovnice (3.40).
- Parametry podloží pro umístění větrné elektrárny (geologický průzkum).
- Dostupnost pro možnost využití těžké techniky (dopravní komunikace).
- Vzdálenost od přípojky napětí a její výkonová kapacita.
- Vzdálenost od obydlí (dovolené parametry hlučnosti 40 dB/noc, 50 dB/den).
- Vliv na vzhled krajiny a majetkoprávní vztahy (CHKO, NP, vlastnictví pozemků).

### Kritéria výběru technologie:

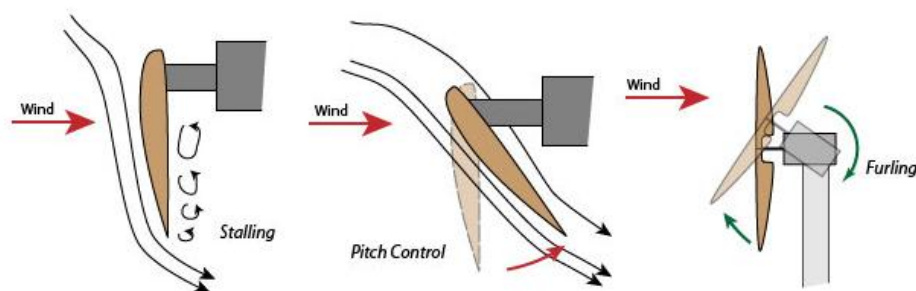
- Platí, že čím vyšší výkon, tím větší nároky na rozlohu lokality a tedy větší narušení reliéfu krajiny (vyšší věže, delší vrtule  $\rightarrow$  větší vzdálenost věží od sebe cca  $10d_{rotoru}$ ).
- Většina výrobců preferuje pro sériovou výrobu trojlisté vrtule s horizontální osou rotace.
- Špičkoví výrobci s velkým sortimentem nabídky (Obrázek 27).



Obrázek 27 - světoví výrobci větrných turbín

- Pro zajištění bezporuchového chodu generátoru je potřeba regulovat výkon, respektive otáčky vrtulí:

- Regulace „Stall“ (Obrázek 28 vlevo) - přímé odtržení proudnice při určité rychlosti větru (spolehlivý chod, nižší účinnost při nízkých  $w$ ).
- Regulace „Pitch“ (Obrázek 28 střed) - využívá natáčení celého listu rotoru podle okamžité rychlosti větru tak, aby byl celkový náběh větrného proudu v daném okamžiku optimální (dražší, vyšší účinnost při nižších  $w$ ).
- Regulace „Furling“ (Obrázek 28 vpravo) - využívá natáčení celého listu a také osy rotoru.



Obrázek 28 - druhy regulací rotorových otáček (stall, pitch, furling)

### 3.4 Energie z biomasy

V první řadě, než se pustíme do samotného rozboru této problematiky, bych rád vysvětlil nejprve samotný termín biomasa. Biomasa je tedy veškerá hmota biologického původu, tzn. dendromasa – dřevní biomasa, fotomasa – biomasa bylin včetně zemědělských plodin a biomasa živočišného původu. Není to tedy jen hmota rostlinného původu, jak je velice hojně širokou veřejností mylně vnímána. Spalování rostlinné hmoty je spojeno s neutrálním výsledkem v bilanci oxidu uhličitého. Je známo, že spalováním biomasy se uvolní prakticky stejné množství oxidu uhličitého jako je jeho spotřeba při fotosyntetických procesech vedoucích ke vzniku organické hmoty.

V energetice je velice často řešena otázka skladování energie a účinnost přeměny primárního zdroje na konečnou užitnou formu energie. Zprvně zmíněného hlediska, tzn. z pohledu skladování je biomasa téměř bezproblémová záležitost, jelikož ji lze poměrně jednoduše a dlouhodobě skladovat. Z pohledu účinnosti přeměny prvotního zdroje energie už je situace poněkud horší, jelikož účinnost přeměny ze slunečního záření je menší než jedno procento. Tato skutečnost je dokázána na následujícím příkladu, kde je počítána účinnost přeměny slunečního záření do výhřevnosti biomasy (dřevo) (3.49).

$$\eta_{prim} = \frac{Q_v \cdot m_{hektar}}{Q_{Grok}} \cdot 100 = \frac{14 \cdot 0,5}{3,6 \cdot 1100} \cdot 100 = \frac{1,94}{1100} \cdot 100 = 0,18 \% \quad (3.49)$$

$Q_v$ [MJ/kg]	výhřevnost paliva (např. sláma obilovin $Q_v = 14 \frac{MJ}{kg} = \frac{14 kWh}{3,6 kg}$ ) [1]
$Q_{Grok}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	hodnota průměrného osvětlení v ČR ( $Q_{Grok} = 1100 kWh/m^2$ )
$m_{hektar}$ [t/ha]	výnos sklizně na jeden hektar půdy (např. sláma obilovin $m_{hektar} = 5 \frac{t}{ha} = 0,5 \frac{kg}{m^2}$ ) [1]
$\eta_{prim}$ [%]	účinnost přeměny primárního zdroje

V ČR se do budoucna počítá s velkým využitím biomasy, která by měla zaujmout místo druhého nejvyužívanějšího OZE (po energii vody). Produkce biomasy nepřináší pouze energetický přínos, ale také vedlejší příznivé důsledky, které sebou širší využívání biomasy přináší, jako je např. využití potenciálu orné půdy (odhadovaná dostupnost až 1 milion hektarů [1]) a dále také jasný ekologický přínos.

Z legislativního hlediska je biomasa, stejně jako ostatní OZE dosud probrané (vítr, slunce), podporována fiskální politikou státu (garance výkupních cen, zelené bonusy, atd.). Výkupní ceny při výrobě elektřiny z biomasy závisí na třech základních faktorech [19]:

- zda se jedná o starou nebo novou výrobu (čím starší tím menší výkupní ceny),
- zda se jedná o samostatné spalování biomasy nebo spoluspalování s fosilními palivy (pro spoluspalování pouze zelené bonusy),
- druh biomasy (kategorie: AF, ČOV, O1 – O3, S1 – S3, P1 – P3) [30].

Obecně lze říci, že výkupní cena dosahuje až 4,6 Kč/kWh a zelené bonusy až 3,6 Kč/kWh. Biomasa lze velice vhodně využít pro KVET (bude ukázáno v další části práce věnované praktickému návrhu výroby) spíše jako decentralizovaného zdroje a snížit tak celkové ztráty (přenosové) a spolehlivost dodávky (možný ostrovní provoz) energie.

### 3.4.1 Technologie zpracování biomasy

Pro přeměnu energie z biomasy na užitnou formu energie jsou dominantní zejména termo-chemické procesy. V ČR je stále dominantní odpad ze zemědělství a lesnictví (kategorie 02) a je zde velice dobrý potenciál pro jeho další rozvoj pro potřebu účelného pěstování energetické biomasy (až 1 mil. hektarů). Biomasa lze spalovat jak přímo, tak lze spalovat také kapalně či plynně produkty jejího zpracování, přičemž záleží na technologii, jež si zvolíme.

#### 3.4.1.1 Spoluspalování a samostatné spalování biomasy

Dnes nejčastěji používaná technologie pro spalování biomasy je spoluspalování s fosilními palivy jako aditivum, případně samostatné spalování. Využívá se klasického

vyzkoušeného okruhu s uzavřeným oběhovým cyklem pracovní látky (voda - pára) se speciálním kotlem (problematika obsahu škodlivin v biomase P, Cl, N, těžké kovy, atd.) pro spoluspalování energetické biomasy, které dokáží spalovat i poměrně méně kvalitní biomasu. Hodnota teplotního modulu této přeměny je nízká (3.50).

$$\sigma_{\text{přímé}} = \frac{\text{vyrobená elektřina}}{\text{vyrobené teplo}} = 0,1 \div 0,2 \quad (3.50)$$

Účinnost celkové výroby elektřiny se poté pohybuje na 26 % v důsledku nižších parametrů páry (menší tlak, teplota, vyšší vlhkost). Pro spoluspalování biomasy (zpravidla fluidní kotle) s fosilním palivem se jako jedna z věcí řeší množství biomasy, které lze přidat ke stávajícímu palivu jako aditivum tak, aby se nemusel předělávat spalovací prostor, případně nemusely být podniknuty další technické kroky, které by navýšily investiční náklady (cca 15 %). Díky skutečnosti, že biomasa má nižší obsah škodlivých látek (S, Na, popel) se sníží celkové produkce emisí a zvýší celková účinnost spalovacího procesu, nehledě na to, že přínos je i opačný, tzn. uhlí působí příznivě na pohlcení chloridů při spalování biomasy. Jednou z cest společného spalování biomasy a uhlí jsou komprimovaná směsná paliva brikety a palety. Uhlím se v těchto směsných palivech podstatně zvyšuje energetická hustota biopaliva. Tato směsná paliva lze poté pálit v klasických kotlích na hnědé uhlí, přičemž se zvýší celková účinnost RC cyklu na cca 35 % [2].

### 3.4.1.2 Termické zplyňování

Při využití tohoto typu přeměny se používají technologické celky založené na práci s plynem, tzn. plynové motory, plynové turbíny, plynové spalovací komory a samozřejmě i paliva. Díky použití plynu se poté dosáhne vyššího teplotního modulu (3.51).

$$\sigma_{\text{zplyňování}} = \frac{\text{vyrobená elektřina}}{\text{vyrobené teplo}} = 0,6 \div 0,8 \quad (3.51)$$

Pro vytvoření plynného paliva se využívá procesu zplynění biomasy, tzn. ze suché biomasy se působením vysokých teplot uvolňují hořlavé plynné složky (dřevoplyn). Produkty takového procesu jsou odlišné podle procesních podmínek, k nimž patří především teplota, doba setrvání částic biomasy v reakční zóně a další způsob zpracování. Jestliže se teplota při reakci v reaktorech pohybuje v oblasti 800 °C až 900 °C a doba setrvání částic je delší (sekundy až desítky sekund), je produktem z větší části plyn. Tento proces je označován jako zplyňování. Pokud je jako okysličovadlo použit vzdušný kyslík, což je v případě biomasy nejčastější, má vzniklý surový plyn nízkou výhřevnost (4 až 6 MJ/m<sup>3</sup>), obsahuje dehty, fenoly a tuhé částice. Pokud jsou teploty v reaktoru 450 °C až 550 °C a doba setrvání suroviny

v reakční zóně velmi krátká (maximálně do 2 sekund) jsou produktem zejména páry a aerosoly, v menší míře pak plyn a tuhé částice. Tento proces se nazývá rychlá pyrolýza. Produkty tohoto procesu se musí ihned rychle ochladit, čímž vznikne uvedený velký podíl kapaliny. Tato kapalina má výhřevnost 16 až 20 MJ/kg a po další úpravě může sloužit jako kvalitní kapalné palivo [22].

### 3.4.1.3 Anaerobní fermentace

Jedna z dalších možností zpracování biomasy se nazývá anaerobní fermentace. Podstatou tohoto způsobu je rozklad biomasy v uzavřených nádržích bez přístupu kyslíku za vzniku bioplynu, jenž je určen k dalšímu spalování. Vhodné druhy biomasy pro tento druh přeměny jsou např. exkrementy zvířat, fytomasa, odpady z potravinářského průmyslu, tříděné komunální odpady, atd. a využití např. při provozu ČOV nebo zpracování odpadu v zemědělství. Během procesu reakce je nutno hlídat ve fermentoru vniknutí kyslíku a několik parametrů jako pH, teplota (~ druhu vsázky), koncentrace amoniaku, antibiotik a kationtů ( $K^+$ ,  $Ca^+$ ,  $Mg^+$ , atd.). Tyto všechny parametry mají poté vliv na rychlost chemické reakce uvnitř fermentoru, který je tedy plynotěsně uzavřen, jak kvůli zábraně vniknutí kyslíku dovnitř fermentoru, tak jako zábrana unikání pachové zátěže, která provází chemický proces. Vzniklými produkty chemického procesu (až 30 dní) jsou poté z cca 1/3  $CO_2$  a 2/3  $CH_4$ .

#### Mokrý fermentace

Manipulace vsázky zajištěna čerpadly (možno díky nízkému obsahu sušiny). Samotná vsázka má podíl sušiny cca 6 %, což umožňuje doplnění o další hmotu (drcená fytomasa) při celkovém obsahu sušiny do 10 % a dodržení podmínky čerpatelnosti výsledné směsi, která se poté pravidelně promíchává a postupně zahřívá pro udržení odpovídající chemické reakce.

#### Suchá fermentace

Vyšší obsah sušiny (> 30 %) nedovoluje čerpání, tudíž se materiál (vsázka) přepravuje manipulační technikou a vždy se jednorázově dávkuje před chemickou reakcí (reakce nekontinuální).

### 3.4.1.4 Kapalná biopaliva

Jedná se o paliva, která se po vyrobení přimíchají do směsi s klasickým benzínem (bioethanol – cca 5 %) nebo naftou (bionafta – 30 %). Dle EU by ČR měla mít 5,75 % svého energetického obsahu v biopalivech. Tato produkce díky finanční náročnosti vyžaduje budoucí podporu státu [2].

#### Bioethanol

Zde se využívá surovin s obsahem sladu (řepa, obilí, brambory, kukuřice, ovoce, zelenina, celulóza), které se poté fermentují. Dle [24]  $1 \text{ kg cukru} \approx 0,65 \text{ l ethanolu}$ , jenž je hodnotným kapalným biopalivem. Při fermentaci je potřeba vlhké fermentační prostředí (navázání na spalovanou látku), která poté negativně ovlivňuje spalovací motory a působí korozi uvnitř spalovacích motorů.

### **Bionafta**

Základní složkou bionafty jsou metylestery řepkového oleje (MEŘO), které se vyrábějí rafinačním procesem - tzv. esterifikací, kdy se mísí olej vylisovaný z řepkových semen s metanolem za působení dalších katalyzátorů (hydroxid sodný) [2].

### **3.4.1.5 Technologie budoucnosti**

V této podkapitole budou zmíněny technologie, u nichž se dá očekávat širší rozšíření v budoucnosti (KVET, trigenerace), jelikož dosahují ve srovnání s dnes používanými technologiemi navýšení účinnosti a u některých se dá pomýšlet o synergickém spalování, jak biomasy, tak fosilního paliva.

### **ORC cyklus**

Jedná se o obdobu klasického RC cyklu, kdy je jako pracovní médium použit silikonový olej (organická látka), resp. jeho páry a u kterého se využívá nižšího požadavku na velikost teploty ze spalovací komory. Dosahuje se celkové účinnosti pracovního cyklu až na hodnotu  $\eta = 97 \%$  [25].

### **Stirlingův motor**

Jedná se o stroj, ve kterém se realizuje tepelný oběh (plynový) a práce je z motoru/do motoru nejčastěji odváděna ve formě otáčející se hřídele. Stirlingův motor patří do skupiny objemových strojů s vnějším prostupem tepla (teplo je do oběhu přiváděno/odváděno přes teplosměnné plochy). Do této skupiny patří i realizace parního oběhu s pístovým parním motorem nebo parní turbínou [26]. Tato vlastnost umožňuje využití v podstatě jakéhokoliv zdroje tepla, to tedy dává podnět k mnoha modifikacím tohoto motoru (Obrázek 29 - střed).

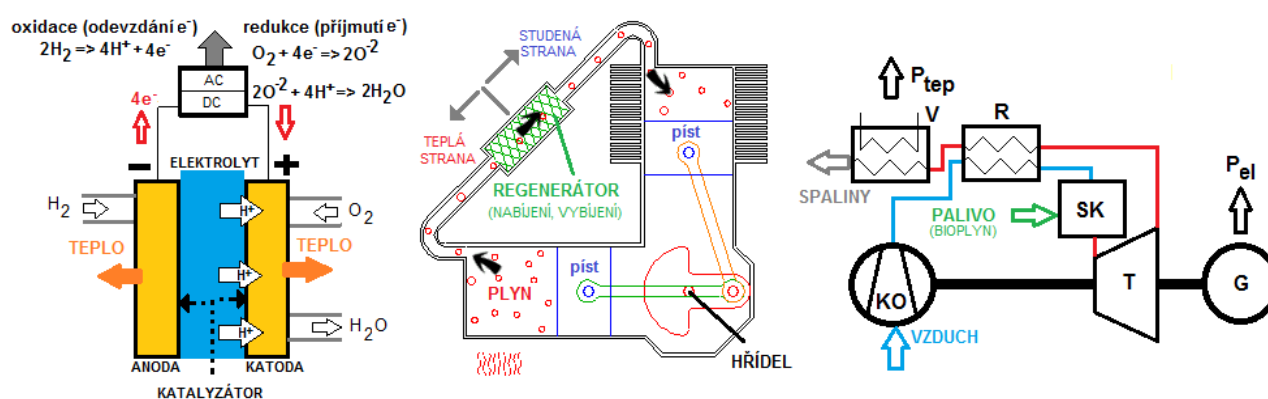
### **Spalovací mikroturbína**

U tohoto typu turbíny proces hoření probíhá ve spalovací komoře (prstencový tvar), do které je pod tlakem přiváděno palivo a vzduch. Na rozběh je použit startér, který tedy natlačí vzduch do komory. Hořlavá směs (společně je přiváděno palivo - plyn) je poté jednorázově elektricky zapálena, expanduje a roztáčí turbínu, hoření směsi

je proto stabilní (odpojení startéru) a reguluje se přidáváním hořlavého plynu, což umožňuje dokonalou kontrolu nad celým procesem výroby (Obrázek 29 - vpravo).

### Palivové články

Zde se přeměňuje na konečnou formu energie nikoli mechanická, ale energie chemická. Na elektrody se přivádí  $O_2$  a  $H_2$  a odebírá  $I_{ss}$ ,  $H_2O$ , teplo a odpadní  $CO_2$ . Články se od sebe liší provozními teplotami a tedy i použitými materiály na konstrukci, která bývá obvykle trubková s nanesenými elektrodami jakožto pláští trubky. Vyšší cenu zapříčiňují zejména použité materiály na konstrukci (Pt). Jako zdroje  $H_2$  se využívá upravený bioplyn (Obrázek 29 - vlevo).



Obrázek 29 – technologie s vyšší účinností (palivový článek, stirlingův motor, mikroturbína)

### 3.4.2 Metodické posouzení potenciálu biomasy

Zde je potřeba blíže vysvětlit dva základní pojmy, což jsou výhřevnost a spalné teplo paliva (biomasy), kde souvislost mezi těmito pojmy uvádí rovnice (3.52) [27]. Palivo jakožto pevné, kapalné, či plynné médium je složeno ze tří základních složek a to – hořlaviny, vody a nespalitelných látek, přičemž při termochemické přeměně paliva hořlavina ( $= C + H + S + N$ ) reaguje se vzduchem.

$$Q_i = Q_s - 2,243 \cdot (W + 8,94 \cdot H) \quad (3.59)$$

$Q_i$  [MJ/kg] výhřevnost paliva

$Q_s$  [MJ/kg] spalné teplo paliva

$W$  [–] procentuální obsah vody v palivu ( $0 \div 1$ )

$H$  [–] procentuální obsah vodíku v hořlavině ( $0 \div 1$ )

Z rovnice (3.59) jasně plyne, že vlhkost paliva (= obsah vody  $W$ ) značně ovlivňuje jeho celkovou výhřevnost. V praxi se používají dva rozdílné způsoby určení vlhkosti, relativní (3.61) a absolutní (3.60).

Absolutní vlhkost, kde obsah vody je vztažen k hmotnosti paliva po sušení, se používá při fyzikálních a mechanických zkouškách dřeva.

$$W_a = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \quad (3.60)$$

$W_a$ [%]	absolutní vlhkost
$m_1$ [kg]	hmotnost paliva před sušením
$m_2$ [kg]	hmotnost paliva po sušení

Relativní vlhkost, kde obsah vody je vztažen k původní (výchozí) hmotnosti dřeva před sušením, se používá v energetické praxi při výpočtech efektivní výhřevnosti (3.60).

$$W_r = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (3.61)$$

$W_r$ [%]	relativní vlhkost (v podstatě se dá také říci „efektivita sušení“)
-----------	--

Délka sušení je závislá na druhu sušeného paliva, obecně platí, že délka sušení by měla odpovídat době, za kterou se dosáhne maximální výhřevnosti daného paliva (není tomu tak vždy, existují materiály, kde se minimální vlhkost požaduje kvůli odpovídajícímu spalování, např. štěpka, jenž má při přesušení explozivní charakter). Výhřevnost sušeného paliva se tedy po nějaké době ustálí na konstantní hodnotě a dále se již nemění (např. dřevo -  $W_{r_{vytěžené}} = 60\%$ ,  $W_{r_{sušené}} = 20\%$ ) [28]. Pro bližší představu je v Tabulka 7 uveden obecný přehled paliv a jejich výhřevností.

**Tabulka 7- přehled výhřevností paliv používaných v ČR ke spalování [1]**

druh paliva	skupenství	název paliva	výhřevnost [MJ/kg], [MJ/m <sup>3</sup> ]
fosilní	pevné	koks	27,5
		černé uhlí	25,1
		hnědé uhlí	15,1
	kapalné	petrolej	43,97
		motorová nafta	42,6
		těžký topný olej	40,3
		lehký topný olej	41,45
		benzín	42,7
		etanol	26,8
		plynné	zemní plyn
	propan		43,5
	butan		50
	propan-butan		46,1



OZE	plynné	svítiplyn	14,5
		bioplyn - 100 % CH <sub>4</sub>	35,8
		bioplyn - 80 % CH <sub>4</sub>	28,6
		bioplyn - 70 % CH <sub>4</sub>	25,1
		bioplyn - 67 % CH <sub>4</sub>	24
		bioplyn - 55 % CH <sub>4</sub>	19,6
		bioplyn skot	21
	bioplyn prasata	22,5	
	pevné	dřevo	14,26
		polena	12,22
		dřevní štěpka	13,24
		smrková kůra	12,23
		sláma	15,3

### 3.5 Ekonomická analýza OZE

Elektrická energie z OZE je v České republice dotována, tato skutečnost byla nastíněna v předchozích kapitolách a v této bude hlouběji diskutována. Obecně existují pro výrobce "obnovitelné elektřiny" dvě možnosti způsobu využití státní podpory. První z nich znamená povinný výkup a druhý tzv. "zelený bonus", právě rozdílem těchto tarifů můžeme přibližně zjistit, jak vysoká by byla tržní cena této energie a kolik činí dotace.

Povinné výkupní ceny jsou každoročně stanovovány ERU a značně se liší dle druhu zdroje (vítr, biomasa, slunce, voda) a dle jeho stáří. Za tuto cenu je provozovatel DS ČEZ, E.ON, PRE (popř. provozovatel PS ČEPS) povinen vykoupit vyrobenou elektrickou energii. Tuto cenu (částku) potom naúčtuje všem odběratelům ES, kteří tyto dotace platí v celkovém vyúčtování ceny za elektrickou energii jako tzv. "podpora OZE a KVET" (3.62). Pokud se výrobce rozhodne jít touto cestou, dává najevo, že jde cestou jistoty. Jistoty toho, že veškerou elektřinu, kterou vyrobí, prodá za garantované výkupní ceny.

$$popl_{OZE \text{ a } KVET} = \frac{\sum V_{OZE \text{ a } KVET}}{\sum \text{čs}} \cdot (\emptyset VC_{OZE \text{ a } KVET} - \emptyset TC) \quad (3.62)$$

$popl_{OZE \text{ a } KVET}$ [Kč/MWh]	cena poplatku pro koncového odběratele na OZE a KVET (jedná se pouze o zjednodušený výpočet, přesný poskytuje publikace [29])
$V_{OZE \text{ a } KVET}$ [GWh/rok]	roční vyrobená elektřina z OZE a KVET (ČR r. 2009 - 4658 GWh)
ČS [GWh/rok]	roční čistá spotřeba elektřiny (ČR r. 2009 – 56688 GWh)
$\emptyset VC_{OZE \text{ a } KVET}$ [Kč/MWh]	průměrná roční výkupní cena elektřiny OZE a KVET
$\emptyset TC$ [Kč/MWh]	průměrná roční cena tržní elektřiny (ČR r. 2009 – 1255 Kč/MWh)

Zelený bonus je definován jako: "finanční částka navyšující tržní cenu elektřiny a hrazená provozovatelem regionální DS nebo PS výrobcí elektřiny z OZE, zohledňující snížené poškozování životního prostředí využitím OZE oproti zvýšeným emisím při spalování fosilních paliv, druh a velikost výrobního zařízení a kvalitu dodávané elektřiny". Tento systém je, řekněme složitější, avšak na druhou stranu umožňuje výrobcí maximalizovat zisk. Výrobce může svou produkci elektřiny prodat jakémukoliv zákazníkovi, obchodníkovi s elektřinou nebo ji sám spotřebovat na tzv. ostatní vlastní spotřebu. Elektřinu pak prodává za tržní cenu silové elektřiny, která je obvykle vyšší než rozdíl výkupní ceny a zeleného bonusu pro danou kategorii obnovitelného zdroje. Nevýhodou systému zelených bonusů je, že si výrobce musí aktivně hledat odběratele pro svou produkci a vyřešit otázky spojené s odpovědností za vzniklou odchylku.

**Tabulka 8 - přehled výkupních cen a zelených bonusů OZE**

druh	tržní cena silové elektřiny [Kč/MWh] <sup>2</sup>	povinná výkupní cena ERU [Kč/MWh] <sup>1</sup>	zelený bonus [Kč/MWh] <sup>1</sup>	povinná výkupní cena ERU [Kč/MWh] <sup>2</sup>	zelený bonus [Kč/MWh] <sup>2</sup>	dotace státem 2009	dotace státem 2013
Biomasa (O1)	1560/1050	4580	3610	3730	2670	294%	355%
VTE	1560/1050	2230	1830	2120	1570	143%	201%
Bioplyn (AF1)	1560/1050	4120	3150	3550	2550	264%	338%
MVE	1560/1050	3000	2030	3230	2230	192%	308%
FVE <sup>2</sup>	1560/1050	12250	11280	2430	1880	785%	231%
Geotermální	1560/1050	4500	3530	3290	2290	288%	313%

<sup>1</sup>platné ceny listopad 2009

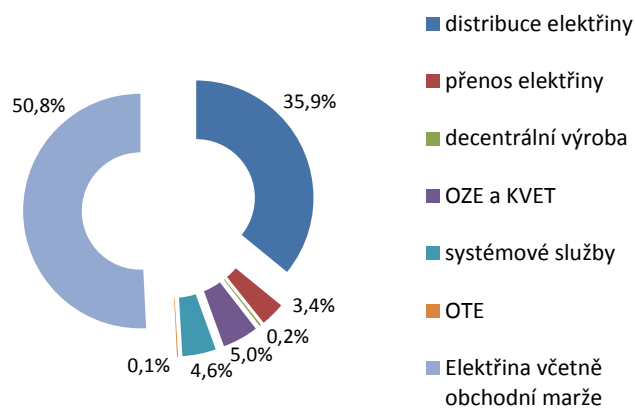
<sup>2</sup>cena silové BL 2013

<sup>3</sup>platné ceny 2013

Možností podpory OZE je celá řada, od investičních dotací po povinný podíl elektřiny z jednotlivých OZE, tzv. zelené certifikáty v kombinaci s kvótami (Quota/TGC). V Evropě celkově převažuje zmíněný systém povinných výkupních cen (feed-in-tarif, FiT), které jsou tedy součástí ceny elektřiny pro koncové zákazníky (Obrázek 30).

Struktura tarifů u OZE se mezi jednotlivými evropskými státy liší, např. ceny pro menší FVE na budovách jsou vyšší než pro FVE na zemi. Důvod je jasný a to ten, že takovéto FVE prokazatelně snižují ztráty při přenosu a distribuci elektřiny i zatížení PS ve špičkových zatíženích a též platí také opačný případ FVE na zemi naopak často přispívají k ještě vyššímu zatížení PS ve špičkách (regulační náklady). Dalším důvodem je, že investiční náklady malých FVE na střeších jsou vyšší než u FVE větších nebo při instalaci na zemi. Ne vždy platí, že to, co funguje v ostatních státech EU, musí fungovat i v ČR, avšak pro výkupní ceny v ČR jsou tyto ceny neměnné pro FVE na střechu i na zem. V důsledku toho vysoce převažují megalomanské instalace na zemi, které nepříznivě působí na PS. Jednak jsou investičně méně

náročné, jednak jsou vzhledem k velikosti atraktivní pro velké investory. V současnosti je podíl instalací na zemi přes 90 %. V Německu je naopak 80 % výkonu instalováno na střechách. V tomto případě tedy zřejmě legislativa ČR selhala a stimulovala pouze systém velikosti výkupní ceny a zelených bonusů namísto stimulu místa pro výstavbu FVE, a tak se kontrola výstavby elektráren (a tím tedy i instalovaný výkon) poněkud vymkla kontrole.



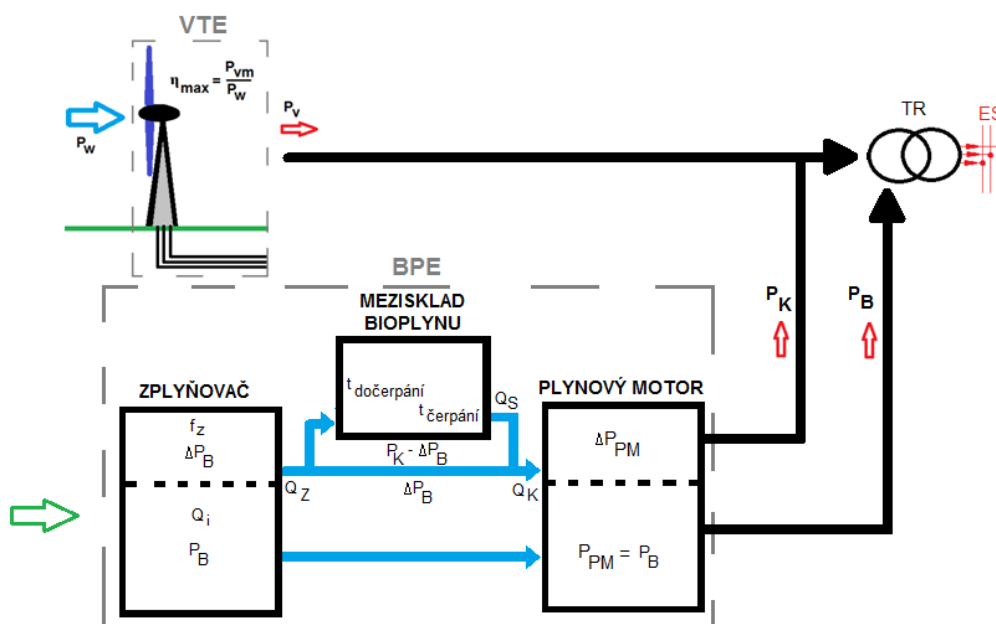
Obrázek 30 - skladba ceny elektřiny 2010 (bez DPH a spotřební daně)

## 4. Návrh distribučního systému

V této kapitole bude popsán výrobní systém, jenž využívá k produkci elektřiny (tepla) jako primárního zdroje OZE, resp. dvou nezávislých výrobních jednotek (VTE a BPE) ke stabilizaci celkového výstupního výkonu celého hybridního systému a tím zvýšení spolehlivosti dodávky výkonu. Celý systém je popsán, jak analyticky, tak matematicky a je provedeno také doporučení parametrů jednotlivých prvků tohoto distribučního systému. Chod samotného systému i jeho parametrizace je programově modelována s tím, že program používá vstupní náhodně vygenerovaná data (hodinové generované výkony), jež simulují nehomogenitu větru, resp. počasí a je možné ho též v budoucnu ověřit s reálně zadanými vstupními daty, která budou změřena přímo na zamýšleném místě výstavby.

### 4.1 Analytický a matematický popis systému výroby

Zamýšlený systém je složen ze dvou paralelních spolupracujících systémů a to bioplynové elektrárny (BPE) se jmenovitým výkonem  $P_B$  a větrnou elektrárnou (VTE) se jmenovitým výkonem  $P_V$  (viz Obrázek 31).



Obrázek 31 - kombinovaný systém VTE a BPE

Přičemž je zde zaveden podílový faktor  $f$  pro velikost dodávaného kompenzačního výkonu  $P_K$  do VTE z BPE (4.1).

$$f = \frac{P_K}{P_V} = \frac{\Delta P_B}{P_V} \quad (4.1)$$

$f [-]$  podílový faktor respektující dodávku kompenzačního výkonu

$P_K$  [W] kompenzační výkon dodávaný z BPE do VTE

$P_V$  [W] jmenovitý výkon VTE

$\Delta P_B$  [W] velikost výkonu z předdimenzovaného zplyňovače BPE

Výkon BPE je dán především velikostí, resp. kapacitou zplyňovacího zařízení, které využíváme ke zplyňování biomasy, a jeho předdimenzováním. Toto předdimenzování zplyňovacího zařízení si nadefinujeme jako výkonový faktor  $f_z$  (4.2). Po tomto zavedení můžeme vztah (4.1) nadefinovat jako (4.3).

$$f_z = \frac{\Delta P_B}{P_B} \quad (4.2)$$

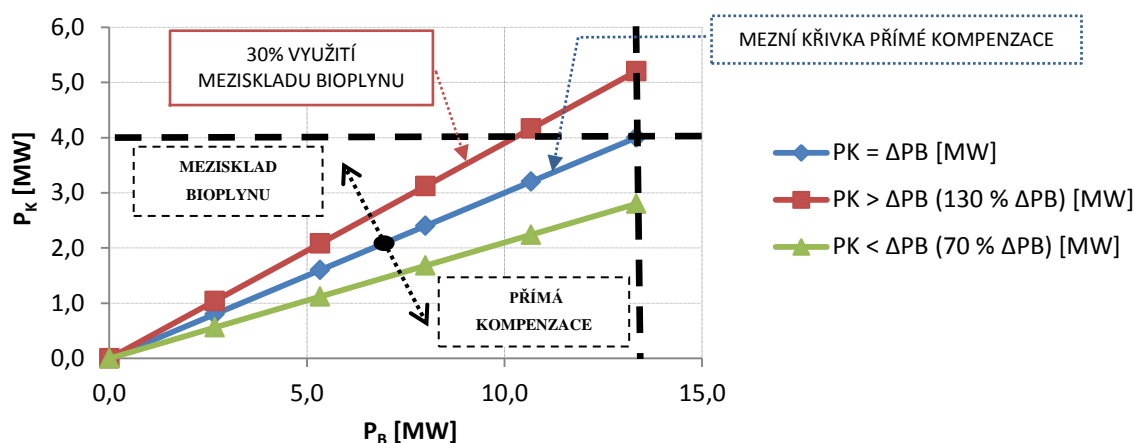
$P_B$  [W] jmenovitý výkon BPE

$f_z$  [-] výkonový faktor zplyňovače, respektující jeho předdimenzování

$$f = \frac{\Delta P_B}{P_V} = \frac{f_z \cdot P_B}{P_V} \quad (4.3)$$

Hodnotu  $f_z$  definují výrobci fluidních zplyňovacích generátorů podle výkonu při částečném zatížení (doporučena hodnota  $f_z = 0,2 \div 0,3$ ).

Pro kompenzaci výkonu větší než zamýšlený maximální  $P_K$  tzn. při stavu  $f \cdot P_V > f_z \cdot P_B$ , kdy předdimenzování zplyňovače  $\Delta P_B$  již nestačí na okamžité pokrytí celé dodávky kompenzace (tzn. již  $\Delta P_B \neq P_K$ ), je potřeba zvýšení dodávky bioplynu do plynového motoru (tyto stavy popisuje Obrázek 32).



Obrázek 32- závislost využití meziskladu bioplynu a přímé dodávky ze zplyňovače na krytí požadovaného kompenzačního výkonu systému (modelace při využití (4.3) a  $f = 0,1$ ,  $P_V = 40\text{MW}$ ,  $f_z = 0,2$ )

Je tedy potřeba dodatečné zařazení zásobníku bioplynu, tudíž navíc proudí přídavný uskladněný bioplyn, čím se zvýší jeho průtok do spalovacího motoru. Aby mohlo být zařízení

takto provozováno je potřeba nějakým způsobem stanovit základní podmínky pro řídicí systém čerpání bioplynu z meziskladu. Základní myšlenkou je, aby byl plyn do meziskladu dočerpáván v čase, kdy není potřeba kompenzovat výkon VTE (zejména noční hodiny) a zároveň je potřeba sladit i možnosti maximálního využití meziskladu při dodávce (zejména denní hodiny), tak aby byl připraven na další den provozu. Při 24 hodinovém provozu zplyňovače se tedy součet doby čerpání z meziskladu bioplynu  $t_{\text{čerpání}}$  a času dočerpávání bioplynu ze zplyňovače do meziskladu  $t_{\text{dočerpání}}$  musí rovnat (4.4). V opačném případě by celý systém kompenzace byl značně neefektivní vzhledem k přípravě provozu na další den. Doba  $t_{\text{dočerpání}}$  stanovuje tedy objem plynu pro použití kompenzačního systému.

$$t_{\text{čerpání}} + t_{\text{dočerpání}} = 24 \quad (4.4)$$

$t_{\text{čerpání}}$  [hod.]      doba čerpání bioplynu z meziskladu bioplynu do spalovacího motoru

$t_{\text{dočerpání}}$  [hod.]      doba dočerpávání bioplynu ze zplyňovače do meziskladu bioplynu

Průtok plynu vcházejícího do kompenzačního spalovacího motoru (možnost mezisklad + zplyňovač) je definován jako (4.8). Průtok plynu vycházející ze zplyňovacího zařízení do kompenzační větve jako (4.9). Ve vztahu (4.8), resp. (4.9) vystupuje veličina  $q_{i_K}$ , jenž je poměrné množství bioplynu pro výrobu jedné MWh elektrické energie (4.7) v kompenzační větvi systému. Tato hodnota se stanoví díky vztahu (4.5), resp. (4.6), kde je respektována účinnost spalovacího motoru  $\eta_M = 0,3$  [31].

$$Q_{i_K} = Q_i \cdot \eta_M \quad (4.5)$$

$$q_i = \frac{1}{Q_i} \quad (4.6)$$

$$q_{i_K} = \frac{1}{Q_{i_K}} \quad (4.7)$$

$$Q_K = q_{i_K} \cdot P_K = q_{i_K} \cdot f \cdot P_V \quad (4.8)$$

$$Q_Z = q_{i_K} \cdot \Delta P_B = q_{i_K} \cdot f_Z \cdot P_B \quad (4.9)$$

$Q_{i_K}$  [MJ/m<sup>3</sup>]      výhřevnost bioplynu se započítáním účinnosti spalovacího motoru (na konci kompenzační větve)

$Q_i$  [MJ/m<sup>3</sup>]      výhřevnost produkovaného bioplynu

$\eta_M$  [-]      uvažovaná účinnost spalovacího motoru

$q_i$  [m<sup>3</sup>/MJ]      energetický ekvivalent bioplynu

$q_{i_K} [m^3/MJ]$	poměrné množství bioplynu pro výrobu jedné MWh elektrické energie
$Q_K [m^3/s]$	průtok plynu vcházející do kompenzačního spalovacího motoru
$Q_Z [m^3/s]$	průtok plynu vycházející ze zplyňovacího zařízení do kompenzační větve

Pro samotný zamýšlený proces zplyňování, jelikož se uvažuje o větším dodávaném výkonu BPE, se použije fluidní zplyňování (fluidní generátor), kde je jako okysličovadlo využít vzdušný kyslík. Tato technologie produkuje bioplyn o nízkém obsahu  $CH_4$  (3 – 6 %), tzn. i nižší  $Q_i$ , kterou u tohoto způsobu zplyňování budeme uvažovat dle [31] jako  $Q_i = 5 MJ/m^3$  a tuto hodnotu dosadíme do (4.5), (4.6), (4.7) a vypočteme potřebnou velikost bioplynu na výrobu 1 MWh elektřiny (4.10).

$$q_{i_K} = \frac{1}{Q_{i_K}} = \frac{1}{Q_i \cdot \eta_M} = \frac{1}{5 \cdot 0,3} = 0,67 \cdot \frac{m^3}{MJ} = 2400 \frac{m^3}{MWh} \quad (4.10)$$

V situacích, kdy pro potřebu kompenzace nebude stačit kapacita zplyňovače  $\Delta P_B \neq P_K$  (resp. tok  $Q_K$  nestačí k pokrytí kompenzace) je potřeba využít naskladněného bioplynu a celkový průtok bioplynu dodávaného do spalovacího zařízení tím zvýšit. Tok dodávaný z meziskladu poté lze vyjádřit rovnicí (4.11).

$$Q_S = Q_K - Q_Z = (q_{i_K} \cdot f \cdot P_V) - (q_{i_K} \cdot f_Z \cdot P_B) = q_{i_K} \cdot (f \cdot P_V - f_Z \cdot P_B) \quad (4.11)$$

$Q_S [m^3/s]$  průtok bioplynu dodaný do spalovacího motoru z meziskladu

Pro vypočítání velikosti meziskladu, tzn. pro jeho nadimenzování, potřebujeme vypočítat jeho předpokládaný objem. Jestliže tedy čerpáme bioplyn po dobu  $t_{\text{čerpání}}$  bude po tento čas vyžadován přísun bioplynu z meziskladu (4.12) a nemá smysl navyšovat objem skladu přes tuto hodnotu.

$$V_{\text{čerpání}} = q_{i_K} \cdot (f \cdot P_V - f_Z \cdot P_B) \cdot t_{\text{čerpání}} \quad (4.12)$$

$V_{\text{čerpání}} [m^3]$  čerpáný objem bioplynu

Jak již bylo řečeno, musí platit podmínka (4.4) a zároveň navíc ještě  $t_{\text{čerpání}} \leq 12 \text{ hodin}$ , aby množství bioplynu dodaného během  $t_{\text{čerpání}}$  bylo možno dočerpávat během doby  $t_{\text{dočerpání}}$ , kdy systém nekompensuje a zplyňovač doplňuje produkovaný bioplyn  $Q_Z$  do meziskladů, pro tento stav platí rovnice (4.13).

$$V_{\text{dočerpání}} = Q_Z \cdot t_{\text{dočerpání}} = q_{i_K} \cdot f_Z \cdot P_B \cdot t_{\text{dočerpání}} \quad (4.13)$$

$V_{dočerpání}[m^3]$  dočerpávaný objem bioplynu z meziskladu

Pro oba vypočtené objemy plynů během doby čerpání a dočerpávání platí rovnost jejich maxim (4.14), aby zde bylo během 12 hodin možné odebrat bioplyn z meziskladu doplnit. Můžeme nyní stanovit maximální využitelný objem pro dimenzování meziskladu (4.14).

$$V_{dočerpání_{MAX}} = V_{čerpání_{MAX}} = V_{MAX} \quad (4.14)$$

$V_{MAX}[m^3]$  maximální využitelný objem meziskladu

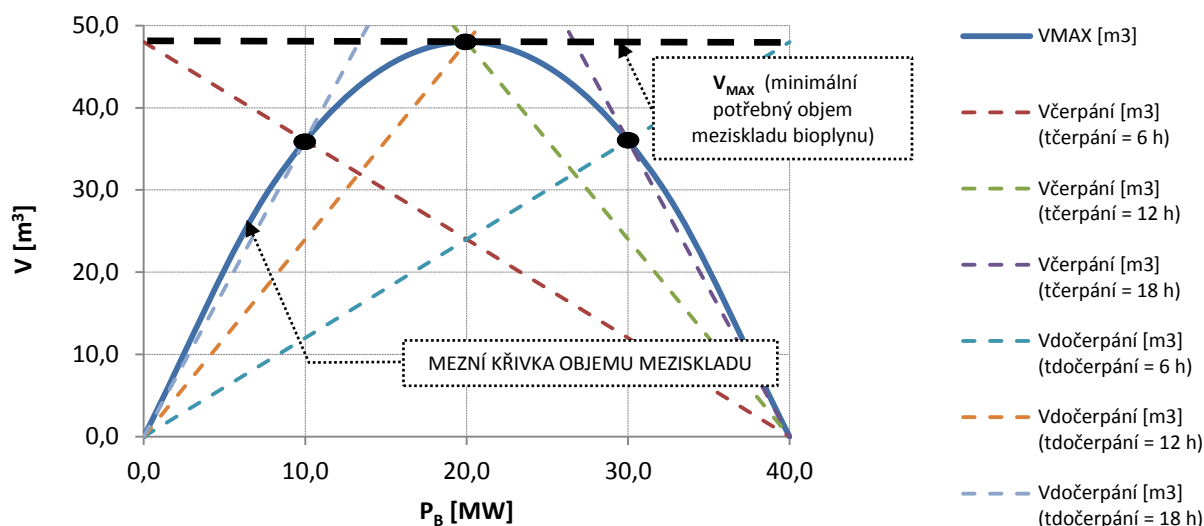
Při úvaze (4.14) vyjádření doby  $t_{čerpání}$  z (4.12),  $t_{dočerpání}$  z (4.13) a dosazení do podmínky funkce systému (4.4) dostáváme  $V_{MAX}$  jako funkci vstupních hodnot celého modelu, podle kterých se dimenzuje minimální velikost meziskladu (4.15). Závislost této minimální hodnoty na dosažitelném výkonu BPE a časech čerpání (kompenzace s využitím zásob meziskladu), resp. dočerpání bioplynu popisuje Obrázek 33, kde jsou též vidět body protnutí  $V_{dočerpání}$  a  $V_{čerpání}$  pro odpovídající  $t_{dočerpání}$  a  $t_{čerpání}$ , které jsou v součtu 24 hodin.

$$\frac{V_{MAX}}{q_{iK} \cdot (f \cdot P_V - f_Z \cdot P_B)} + \frac{V_{MAX}}{q_{iK} \cdot f_Z \cdot P_B} = 24$$

$$V_{MAX} \cdot \left( \frac{1}{(f \cdot P_V - f_Z \cdot P_B)} + \frac{1}{q_{iK} \cdot f_Z \cdot P_B} \right) = 24$$

$$V_{MAX} = \frac{24 \cdot q_{iK} \cdot f_Z \cdot P_B \cdot (f \cdot P_V - f_Z \cdot P_B)}{f \cdot P_V} \quad (4.15)$$





Obrázek 33 - závislost maximálního doporučeného objemu skladu na době čerpání a dočerpání a výkonu BPE (modelace při využití (4.12), (4.13), (4.14), (4.15) a  $f = 0,3$ ,  $P_V = 40\text{MW}$ ,  $f_z = 0,3$ )

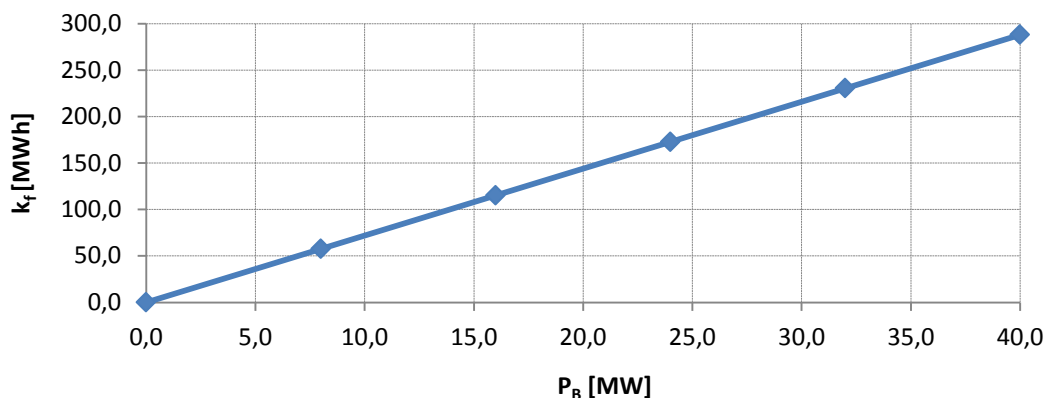
Nyní lze tedy tvrdit (stále pro stav systému  $\Delta P_B \neq P_K$ ), že kompenzace je funkcí tří proměnných, tzn. nejen tedy již uváděného kompenzačního výkonu  $P_K = f \cdot P_V$ , ale také požadované  $t_{\text{čerpání}}$  (resp.  $t_{\text{dočerpání}}$ ), což respektuje dobu, po kterou je vyžadována kompenzace výkonu. Tuto rovnici (4.16) lze také sestavit prakticky při dosažení (4.15) do  $t_{\text{čerpání}}$  z (4.12).

$$t_{\text{čerpání}} = \frac{V_{\text{čerpání}}}{q_{iK} \cdot (f \cdot P_V - f_z \cdot P_B)} = \frac{24 \cdot q_{iK} \cdot f_z \cdot P_B \cdot (f \cdot P_V - f_z \cdot P_B)}{f \cdot P_V} = \frac{24 \cdot f_z \cdot P_B}{f \cdot P_V} \Rightarrow$$

$$k_f = t_{\text{čerpání}} \cdot f \cdot P_V = 24 \cdot f_z \cdot P_B = 24 \cdot \Delta P_B \quad (4.16)$$

$k_f$  [MWh]                      kompenzační faktor systému (velikost dodané energie za 1 den)

Velikost tohoto „trojitého kompenzačního faktoru“ je dle (4.16) závislá pouze na charakteru BPE (jmenovitého výkonu  $P_B$ , resp. jejího předdimenzování  $\Delta P_B$ ). Ukázka závislosti kompenzačního faktoru systému na zmíněném výkonu BPE je vidět na Obrázek 34. V konečném výsledku je tedy potřeba najít kompromis mezi jmenovitým výkonem VTE, podílovým faktorem respektujícím dodávku kompenzačního výkonu a časem využití kompenzačního systému.



Obrázek 34 - závislost kompenzačního faktoru systému na velikosti jmenovitého výkonu BPE

## 4.2 Kriteriaální výběr systémových komponent a dynamika systému

Zde si musíme stanovit kriteriaální rovnice potřebné pro návrh kompenzační větve, která se tedy skládá ze tří základních částí a to zplyňovače, meziskladu bioplynu a plynového motoru.

Jako první musíme tedy navrhnout velikost zplyňovače. Zde vycházíme z rovnice (4.16), kde pro volbu podílového faktoru respektujícího dodávku kompenzačního výkonu  $f$  můžeme vycházet ze dvou situací:

- Tvoříme zcela nový paralelně spolupracující systém VTE a BPE  
=> provedeme měření větrného potenciálu (rychlosti a četnosti větru) v dané lokalitě, pro které si dle kapitoly 3.30, věnované větrné energii, zvolíme nejprve větrnou turbínu s generátorem a poté také vypočítáme předpokládaný dodávaný výkon generátoru do ES za jeden rok.
- Tvoříme pouze BPE, který napojujeme na již pracující VTE  
=> provedeme měření (případně použijeme data provozovatele VTE) na stávajícím pracujícím systému VTE dle jeho hodinových dodávek do ES v celém roce.

Z naměřených, případně vypočtených dat výkonových hodinových dodávek do ES provedeme vyhodnocení potřebných dodávek kompenzačních výkonů  $P_K$  pro stabilizaci zamýšlené dodávky z VTE. Jako hodnotu kompenzované dodávky vybereme tu nejpravděpodobnější hodnotu výkonu VTE, která se tedy rovná střední hodnotě dodávaného výkonu z VTE za celý rok (4.17).

$$P_{V_{stř}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=8760} P_{V_i}}{8760} \quad (4.17)$$

$P_{V_{stř}}$  [MW] hodnota průměrné dodávky výkonu VTE do ES za 1 rok

$P_{V_i}$  [MW] hodnota hodinového výkonu v době odečtu

Dle této hodnoty si určíme podílový faktor respektující dodávku kompenzačního výkonu (4.1), resp. tento podílový faktor bude nejpravděpodobnější (4.18).

$$f = \frac{P_{V_{stř}}}{P_V} = \frac{P_K}{P_V} \quad (4.18)$$

Takto vypočtený podílový faktor poté dosadíme do rovnice (4.16). Při uvažování maximální doby kompenzace  $t_{čerpání} = 12$  hodin, výkonového faktoru zplyňovače  $f_z = 0,3$  a určitého jmenovitého výkonu VTE  $P_V$ , lze poté napsat vztah (4.19), který stanoví velikost jmenovitého výkonu BPE  $P_B$  a následně díky této hodnotě vypočteme velikost předimenzování zplyňovače  $\Delta P_B$  dle rovnice (4.2).

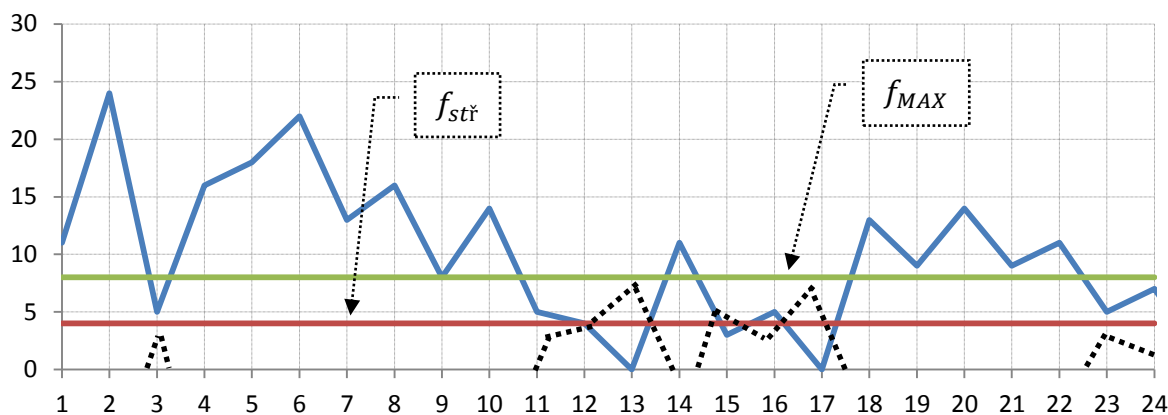
$$P_B = \frac{t_{čerpání} \cdot f \cdot P_V}{24 \cdot f_z} \quad (4.19)$$

Druhým zařízením v kompenzační větvi je spalovací zařízení (spalovací motor). Při návrhu jmenovitého výkonu BPE, jsme vycházeli ze střední hodnoty výkonu VTE jako nejpravděpodobnější hodnotu dodávanou z VTE. Pro maximalizaci spolehlivosti dodávky VTE do ES je potřeba pokrýt ale také méně pravděpodobné hodnoty, kdy tedy výkon VTE poklesne pod hladinu střední hodnoty. Proto vypočteme maximální podílový faktor respektující dodávku kompenzačního výkonu  $f_{MAX}$  (4.20), pro bližší vysvětlení slouží Obrázek 35. Požadovaná hodnota pro dimenzování (předimenzování) kompenzačního spalovacího motoru je tedy  $\Delta P_{PM}$  (4.21).

$$f_{MAX} = \frac{2 \cdot P_{V_{stř}}}{P_V} = \frac{\Delta P_{PM}}{P_V} \quad (4.20)$$

$$\Delta P_{PM} = f_{MAX} \cdot P_V \quad (4.21)$$

Třetím a posledním zařízením, jenž navrhujeme v kompenzační větvi je velikost zásobníku bioplynu (meziskladu). Zde vycházíme z navrženého zplyňovače o určitých parametrech viz výše, kde dosažené hodnoty dosadíme do rovnice (4.15) pro výpočet maximálního využitelného objemu meziskladu  $V_{MAX}$ .



Obrázek 35 – příklad předdimenzování spalovací komory  $\Delta P_{PM}$  (zelená křivka) na dvojnásobek  $P_{V_{stř}}$  (červená křivka) pro vykompenzování poklesů  $P_V$  (modrá křivka) k nulové hodnotě, černou barvou jsou vyznačeny kompenzované poklesy (nárůsty) výkonu – jako hladina kompenzace je zvolena hodnota  $f_{MAX}$

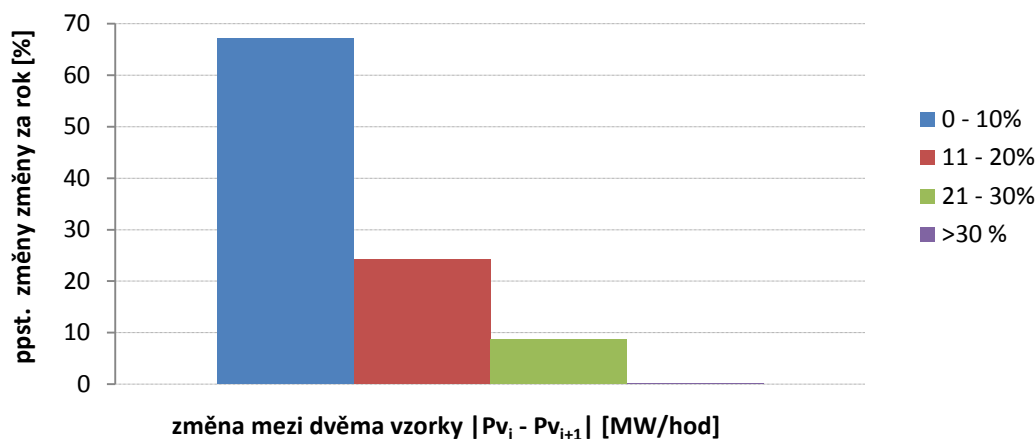
Při návrhu dynamiky celé kompenzační větve je potřeba zamyslet se také nad rychlostí změny výkonu  $\Delta v_{P_V}$  VTE, která je důležitá pro simulaci chování celého systému z hlediska rychlosti dodání kompenzačního výkonu do kompenzační větve, případně do ES jako regulační energie. Změna výkonu odpovídá změně větru mezi dvěma po sobě jdoucími měřeními hodnotami větru a lze stanovit dle rovnice (4.22).

$$\Delta v_{P_V} = \frac{\sum_{i=1}^{8759} \frac{|P_{V_i} - P_{V_{i+1}}|}{P_V}}{8760} \quad (4.22)$$

$\Delta v_{P_V}$  [MW/hod] průměrná změna výkonu mezi dvěma po sobě jdoucími hodinovými vzorky

$P_{V_i}$  [MW] hodinová velikost výkonu

Průměrnou změnu výkonu (dle modelačního programu) lze očekávat na hranici 10%  $P_V$  cca se 60% pravděpodobností. Naopak pravděpodobnost změny výkonu větší než 30 %  $P_V$  je takřka nulová (0,4 %) viz Obrázek 36. Z grafu na Obrázek 36 je vidět, že systém je neoptimálnější vytvořit pro mezihodinovou změnu  $\Delta P_V$  alespoň 30 %  $P_V$ , což je z hlediska spolehlivosti dostačující.



Obrázek 36 – simulace výkonových změn systému důležitých pro návrh dynamiky celého projektu

Maximální změna požadavku na změnu kompenzačního výkonu díky změně větru během jedné hodiny je  $P_{K_{max}} = \Delta P_{PM}$ . Toto je mezní hranice dynamické změny a čím blíže se jí dynamika kompenzační větve bude přibližovat, tím větší spolehlivosti dosáhneme. Na druhou stranu je potřeba také zmínit, že větrné farmy se obvykle staví na místech s vyšším větrným potenciálem, kde lze očekávat menší mezihodinové rozdíly větru a tedy i výkonové změny.

### 4.3 Pravidla a předpoklady pro řízení kompenzačního systému

Pro uvažované režimy provozu si musíme stanovit několik předpokladů a počátečních podmínek pro dosažení vysoké spolehlivosti systému:

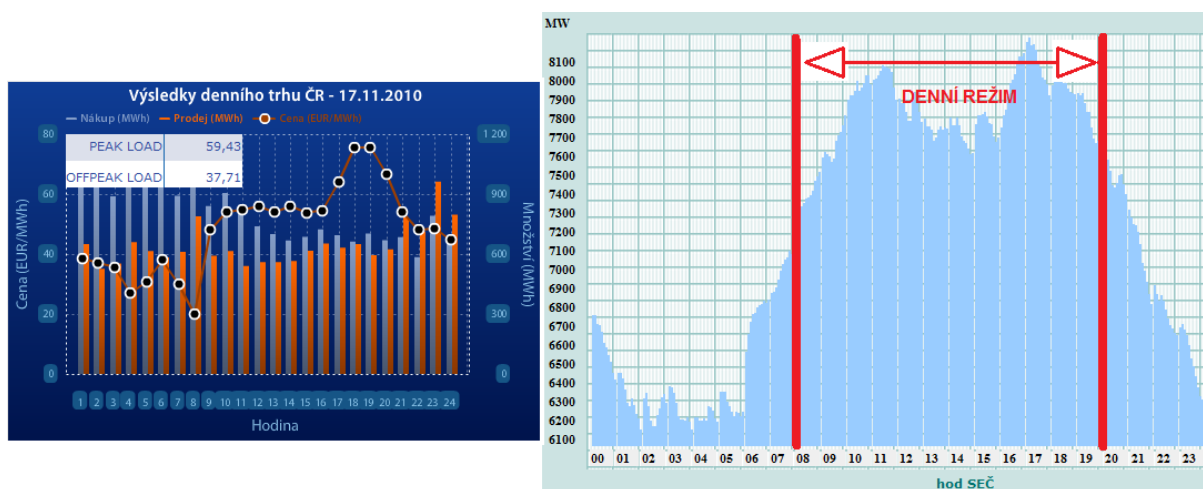
- Stálá dodávka paliva pro provoz zplyňovače a tedy stálé dodávky bioplynu na výstupu zplyňovacího zařízení.
- Volba autotermního způsobu zplyňování (generátory s fluidním ložem), jenž má nízké provozní požadavky na přísun tepla, zplyňovacím médiem je zde vzduch a produkovaný bioplyn má obsah CH<sub>4</sub> (3 – 6 %).
- Účinnost zplyňovače neuvažujeme (odhad na 65 %).
- Výchřevnost produkovaného bioplynu  $Q_i = 5 \text{ MJ/m}^3$  [31].
- Zanedbání časového zpoždění při požadavku změny výkonu.
- Účinnost plynového spalovacího motoru  $\eta_M = 0,3$  [31].
- Mezisklad bioplynu o nízkém tlaku a jeho vlastní spotřebu neuvažujeme.
- Využití nejmodernějších systémů pro predikci dodávaných výkonů z VTE [34], kde se nejprve provede predikce na následujících 24 hodin, která je pak následně zpřesňována ve 12 hodinové až po 2 hodinovou

předpověď (systém využívá meteorologické předpovědi a síť měřících bodů).

Tato předpověď umožní systému připravit se na další provozní den.

Při úvaze výše uvedených počátečních podmínek nyní nadefinujeme základní myšlenku řízení celého systému tak, aby bylo dosaženo vysoké spolehlivosti dodávky elektřiny a co nejlepší stabilizace její velikosti.

Provoz celého systému je rozdělen na dvě periody a to na denní periodu (8:00 → 20:00 hodina) a noční periodu (20:00 → 8:00 hodina). Toto rozdělení je provedeno kvůli zohlednění spotřební charakteristiky ES, která vykazuje maximální zatížení v době tzv. špičkového zatížení (peak load). V této době je prodejní cena elektřiny nejvyšší (viz Obrázek 37).



**Obrázek 37 – prodejní (vnitrodenní trh elektřiny) [32] a spotřební charakteristika elektřiny ze dne 17.11.2010 [33]**

V denní periodě je tedy žádoucí stabilizovat vyrobenou elektřinu jak z pohledu prodeje, tak z pohledu stability ES a snížení systémové odchylky. Naopak v nočních hodinách, kdy se křivka poptávky, resp. spotřeby i cena elektřiny pohybuje na nižších hodnotách, se zohlední doplňování bioplynového meziskladu pro přípravu provozu na další den a kompenzace je zohledňována jako druhotná záležitost.

#### 4.4 Ekonomické možnosti projektu

Díky dostačující spolehlivosti systému (bude ukázáno dále v kapitole věnované přímo provoznímu modelu) a možnosti rychlé změny výstupního výkonu kompenzační větve (použití rychlých plynových motorů) může být tento systém použit nejenom pro lepší predikci výkonů dodávaných z VTE, ale také k produkci velice důležité a drahé regulační energie, kterou může přispívat zamýšlený hybridní systém do ES pro vyrovnání systémové odchylky

a může tedy sloužit jako regulační prvek ES na straně výroby. Investor již nemusí nutně přemýšlet pouze v rovině prodeje vyrobené elektřiny o fixní ceně (povinné státem garantované výkupní ceny elektřiny z OZE, jenž jsou vyhlášovány každoročně ERU), ale otevírá se mu reálná možnost přístupu na trh s elektřinou a prodej vyrobené elektřiny za tržní ceny, případně přispívání do regulace soustavy. Zmíněné ceny elektřiny mohou být pro investora velice finančně zajímavé a to zejména v době, kdy je prodejní cena elektřiny nejvyšší, tzn. v době vysoké spotřeby (peak load). Při přičtení zelených bonusů k prodejní ceně elektřiny se poté dostáváme na, pro investora velice zajímavou, částku, která urychlí ekonomickou návratnost celého projektu a očekávaných zisků (možnost přístupu na trh s elektřinou je i při provozu samostatné VTE, ale při nemožnosti ovládnutí je pro investora jistější zvolit cestu garantované výkupní ceny).

Pro maximalizaci zisků je tedy nutno zvolit správný systém provozu a kompenzace, která je tady z pohledu spolehlivosti systému omezena na dobu  $t_{čerpání} = 12 \text{ hodin}$ , což je kapacita meziskladu bioplynu.

#### 4.4.1 Finanční výnosnost spolupráce BPE a VTE

Nyní se blíže zaměříme na finanční stránku projektu, tzn. na očekávané zisky. Nadefinujeme rovnice, které později použijeme při modelování celého hybridního systému z hlediska finanční návratnosti a citlivosti na vstupní veličiny.

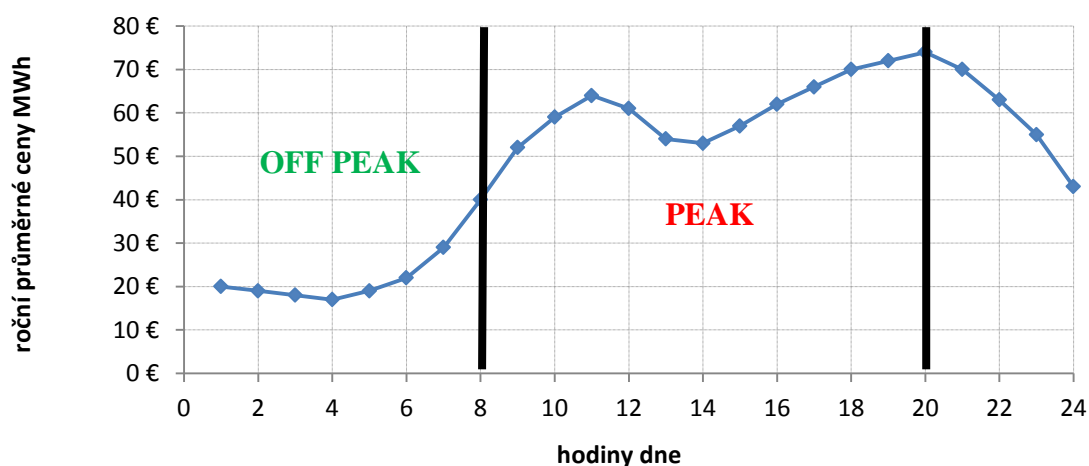
Jak již bylo řečeno, produkce elektřiny může být nějakým způsobem řízena, což umožňuje investorovi vstoupit na trh s elektrickou energií a zároveň se v určité míře vyhnout sankcím za nedodržení sjednané dodávky, případně její překročení a vznik regulované odchylky. Pro výpočet očekávaného ročního zisku díky provozu kompenzační větve lze formulovat rovnici (4.23).

$$V = -P_{el.\emptyset ROK} \cdot C_V + P_{kom.\emptyset ROK} \cdot C_{ZB} + P_{el.\emptyset OFF PEAK} \cdot C_{\emptyset OFF PEAK} + P_{el.\emptyset PEAK} \cdot C_{\emptyset PEAK} - O_{PEN} \quad (4.23)$$

$V$ [Kč/rok]	očekávaný výnos za jeden rok provozu
$P_{el.\emptyset ROK}$ [MW/rok]	průměrný dodaný výkon VTE (bez kompenzace)
$P_{kom.\emptyset ROK}$ [MW/rok]	průměrný dodaný výkon VTE (při zařazení kompenzační větve)
$P_{el.\emptyset OFF PEAK}$ [MW/rok]	průměrný dodávaný výkon v době nočního režimu
$P_{el.\emptyset PEAK}$ [MW/rok]	průměrný dodávaný výkon v době denního režimu
$C_V$ [Kč]	výkupní cena elektřiny dle ERU (= 2230 [Kč/MWh] r. 2010)
$C_{ZB}$ [Kč]	zelené bonusy dle ERU (= 1830 [Kč/MWh] pro r. 2010) [33]

$C_{\emptyset OFF PEAK}$ [Kč]	průměrná cena elektřiny v době nočního režimu
$C_{\emptyset PEAK}$ [Kč]	průměrná cena elektřiny v době denního režimu
$O_{PEN}$ [Kč]	penalizační poplatky za nedodržení/překročení sjednané dodávky (penalizační poplatky jsou placeny za vzniklou odchylku, která se poté platí subjektu zúčtování - OTE)

Po rozboru ceny elektřiny v době zamýšleného denního (peak load) a nočního (off peak load) režimu lze říci, že v denním režimu se průměrná cena elektřiny bude pohybovat na hranici  $C_{\emptyset PEAK} = 60 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 1300 \text{ Kč/MWh}$ , v nočním režimu naopak za dodanou elektřinu je možno získat v průměru pouze  $C_{\emptyset OFF PEAK} = 35 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 910 \text{ Kč/MWh}$  (při uvažování kurzu  $1\text{€} = 26\text{Kč}$ ).



Obrázek 38 - průměrné ceny elektřiny v každé hodině dne (zelená křivka průměr za OFF PEAK, červená křivka průměr za PEAK)

Předpokládanou průměrnou produkci parku za jednu hodinu budeme uvažovat dle obdobných provozů [33] na hranici 25 %  $P_V$  při provozu cca 4370 hodin v roce (tyto hodnoty dále využijeme při modelaci systému).

#### 4.4.2 Kriteriační ekonomické hodnocení výnosnosti projektu

Ekonomická efektivnost v elektroenergetice je nejvíce ovlivněna efektivností investic a jejími investičními náklady. Výši vynaložených investičních nákladů lze velice podstatně ovlivnit budoucí zisk a tudíž je nutno ekonomický výpočet realizovat ještě před samotnou investicí.

K nejvýznamnějším kritériím v praktických případech ekonomických hodnocení projektů patří:



- Čistá současná hodnota (NPV).
- Průměrná čistá současná hodnota ( $NPV_r$ ).
- Vnitřní výnosové procento (IRR).
- Doba návratnosti ( $T_n$ )  $\rightarrow NPV = 0$ .
- Index ziskovosti (IZ).
- Cena produkce ( $c_Q$ ).

Nejčastěji se užívá první kritérium, které bude užito i v našem případě, tedy kritérium čisté současné hodnoty (NPV) s odečtením doby návratnosti projektu  $T_n$ . Hodnocení dle  $NPV$  se provádí za tzv. dobu porovnání  $t_p$ .

**Základní myšlenka tohoto kritéria zní: Neoptimálnější varianta je ta, jejíž aktualizovaný zisk je maximální.**

Investice bude tedy tím výhodnější, čím bude velikost  $NPV$  větší.

$$NPV = \sum_{t=0}^{t_p} DCF = \sum_{t=0}^{t_p} \frac{CF}{(1+p)^t} = \sum_{t=0}^{t_p} \frac{CF}{r^t} \quad (4.24)$$

$$CF_T = (1-T) \cdot (V - N_P - N_O - N_U) + N_O - P - Z - S_{PL} - N_{IVL} \quad (4.25)$$

$V$ [Kč]	tržby, výnosy plynoucí z realizace hodnocené varianty
$N_P$ [Kč]	provozní náklady zařízení
$N_O$ [Kč]	odpisy sledovaného zařízení
$N_U$ [Kč]	úroky placené z úvěrů
$P$ [Kč]	připočitatelné (+), resp. odečitatelné (-) položky při výpočtu základu daně (např. poplatky a penále nezahrnované do základu daně)
$Z$ [Kč]	jednorázové výdaje na změnu stavu zásob (např. náhradních dílů), hrazené v době výstavby
$S_{PL}$ [Kč]	splátky úvěrů v době splácení úvěrů
$N_{IVL}$ [Kč]	investiční prostředky, hrazené z vlastních zdrojů investora
$T$ [Kč]	sazba daně (daň právnických osob = 20 % $\rightarrow T = 0,2$ ) [38]
$NPV$ [Kč]	aktualizovaný zisk
$DCF$ [Kč]	diskontované Cash Flow
$CF$ [Kč]	Cash Flow
$p$ [%]	úroková míra (počítáme 7 %)
$r$ [-]	úročitel $r = 1 + p$

Všeobecně však lze říci, že pokud hodnota NPV je kladná, mohu projekt vyhodnotit jako ekonomicky efektivní. Pokud je hodnota NPV záporná, musí se projekt hodnotit jako ekonomicky neefektivní. Pokud je výsledek NPV blízky nule (kladné i záporné toky jsou v rovnováze), projekt je na hranici ekonomické efektivity.

#### 4.4.3 Investiční a celkové roční náklady

Cílem celého ekonomického hodnocení je především vypočítat výnosnost kompenzačního provozu oproti normálnímu oddělenému provozu, proto i celý výpočet budeme realizovat pro investici přímo do kompenzačních prvků systému a budeme uvažovat již funkční systém BPE a VTE.

Investiční náklady  $N_{IVL}$ , jakožto hlavní složku celkových nákladů, lze pro potřeby výpočtu převzít z již vystavěných provozů a to jak v ČR, tak v zahraničí [36], [37]. Stanovíme si měrné cenové náklady na výrobu  $1kW$ , které poté můžeme použít jako vstupní hodnoty při sestavování výpočtového modelu k automatizaci výpočtu, případně při citlivostní analýze výnosů. Měrné náklady na předdimenzování zplyňovače a generování bioplynu se dle [37] přibližně rovnají  $n_{\Delta P_B} = 2000 \text{ €/kW}$ , náklady na spalovací systém společně s elektrickým připojením dle [36]  $n_{\Delta P_{PM}} = 500 \text{ €/kW}$ . Poslední investiční náklad, který zbývá vyčíslit, jsou náklady na koupi zařízení pro skladování plynu  $n_{SKL} = 500 \text{ €/m}^3$ . Pro celkové investiční náklady, které jsou závislé na požadovaném výkonu celého výrobního systému, platí rov. (4.26).

$$N_{IVL} = n_{\Delta P_B} \cdot \Delta P_B + n_{\Delta P_{PM}} \cdot \Delta P_{PM} + n_{SKL} \cdot V_{MAX} \quad (4.26)$$

- $n_{\Delta P_B} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kW}} \right]$  měrné náklady na předdimenzování zplyňovače a generování bioplynu  
 $n_{\Delta P_{PM}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kW}} \right]$  měrné náklady na spalovací systém společně s elektrickým připojením  
 $n_{SKL} \left[ \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right]$  měrné náklady na koupi a zprovoznění zařízení pro skladování plynu

Dalším ukazatelem činnosti systému, jenž je nutno určit jsou jeho celkové roční náklady  $N_{ROK}$ , které je nutno si pro potřeby stanovení odpisů (rovnoměrný způsob odepisování) rozdělit na stavební část projektu ( $40\% N_{IVL}$ ) a na provozní část projektu, resp. na technická zařízení ( $60\% N_{IVL}$ ). Opět jako při stanovení nákladů investičních si i zde kvůli budoucímu výpočtovému modelu zavedeme náklady roční měrné  $n_{ROK}$ . Uvažovat budeme tři základní roční náklady a to odpisové náklady stavební  $N_{O_{stavb.}}$  a na technická zařízení  $N_{O_{tech.}}$ .

Po zavedení odpisových měrných nákladů ve tvaru  $n_{O_{stavb.}}$  ( $\sim 5\%$  z  $0,6N_{IVL}$ ) [38] a  $n_{O_{tech.}}$  ( $\sim 20\%$  z  $0,4N_{IVL}$ ) [38] dodefinujeme poslední z uvažovaných ročních nákladů a to náklady na opravy, provoz a údržbu  $N_{OST.}$  ( $n_{OST.} = 3\%$  z  $N_{IVL} = 0,03N_{IVL}$ ). Jako společnou rovnici nákladů lze poté psát (4.27).

$$N_{ROK} = n_{O_{stavb.}} \cdot 0,6N_{IVL} + n_{O_{tech.}} \cdot 0,4N_{IVL} + n_{OST.} \cdot N_{IVL} \quad (4.27)$$

$N_{ROK}$ [Kč]	roční celkové náklady projektu
$n_{O_{stavb.}}$ [%]	odpisové měrné náklady na stavbu
$n_{O_{tech.}}$ [%]	odpisové měrné náklady na technická zařízení
$n_{OST.}$ [%]	odpisové měrné náklady na opravy, provoz a údržbu systému

#### 4.4.4 Čistá současná hodnota (NPV)

Před jejím výpočtem si nejprve upravíme celkové rovnice nákladových a výnosových toků CF, využijeme dosud sestavených výpočtových rovnic (4.23), (4.26) a (4.27), které dosadíme do již definované rov. pro výpočet CF (4.25). Dostáváme nový tvar rovnice (4.28), jenž je důležitým prvkem početního modelu (veličiny  $N_{\dot{U}}$ ,  $P$ ,  $Z$ ,  $S_{PL}$  zanedbáváme).

$$CF_{0.rok} = -N_{IVL}$$

$$CF_{1 \div t_p.rok} = \sum_{rok=1}^{t_p} CF_{rok} = [0,8 \cdot (V - 0,05 \cdot 0,6N_{IVL} + 0,2 \cdot 0,4N_{IVL} + 0,03 \cdot N_{IVL}) + 0,05 \cdot 0,6N_{IVL} + 0,2 \cdot 0,4N_{IVL}] \quad (4.28)$$

$CF_{0.rok}$ [Kč]	počátek projektu
$CF_{1 \div t_p.rok}$ [Kč]	CF za každý rok doby porovnání

Nyní už lze odvodit konečnou výpočtovou rovnici NPV, ve tvaru (4.29).

$$NPV_{rok=0} = CF_{rok=0} \cdot r^{-rok} = -N_{IVL} \cdot 1,07^0 = -N_{IVL}$$

$$NPV_{1 \div t_p.rok} = \sum_{rok=1}^{t_p} CF_{rok} \cdot r^{-rok} = \{[0,8 \cdot (V - 0,05 \cdot 0,6N_{IVL} + 0,2 \cdot 0,4N_{IVL} + 0,03 \cdot N_{IVL}) + 0,05 \cdot 0,6N_{IVL} + 0,2 \cdot 0,4N_{IVL}] \cdot 1,07^{-rok}$$

$$NPV = NPV_{rok=0} + NPV_{1 \div t_p.rok} = -N_{IVL} + \{[0,8 \cdot (V - 0,05 \cdot 0,6N_{IVL} + 0,2 \cdot 0,4N_{IVL} + 0,03 \cdot N_{IVL}) + 0,05 \cdot 0,6N_{IVL} + 0,2 \cdot 0,4N_{IVL}] \cdot 1,07^{-rok} \quad (4.29)$$

$NPV_{rok=0}$ [Kč]	aktualizovaný zisk na počátku
$NPV_{1 \div t_p.rok}$ [Kč]	aktualizovaný zisk na konci 1. – $t_p$ roku
$NPV$ [Kč]	celková hodnota aktualizovaného zisku na konci sledovaného období

## 5. Model výpočtu

Oproti ručnímu výpočtu technických a ekonomických veličin uvažovaného systému umožňuje výpočetní technika sestavit vlastní výpočet mnohem rychleji a tento výpočet doplnit i o další modelové situace, jenž slouží pro bližší zkoumání provozních problémů projektu. Příprava nových investičních záměrů v tomto směru může být s vhodným výpočetním nástrojem řešena mnohem flexibilněji a výstupy mohou potenciálnímu investorovi napovědět mnohem více o ekonomické efektivitě nových obchodních příležitostí a jejich případných rizicích i limitních stavech.

V následující části by autor chtěl přiblížit konstrukci a funkční prvky programu „Model“. Program „Model“ autor samostatně vytvořil v rámci zpracování této doktorské práce a popis funkčních prvků přímo navazuje na kapitulu 4. („Návrh distribučního systému“). Modelované postupy byly navrženy tak, aby odrážely ekonomické vztahy a zákonitosti uvedené v podkapitole 4.2. („Ekonomické možnosti projektu“).

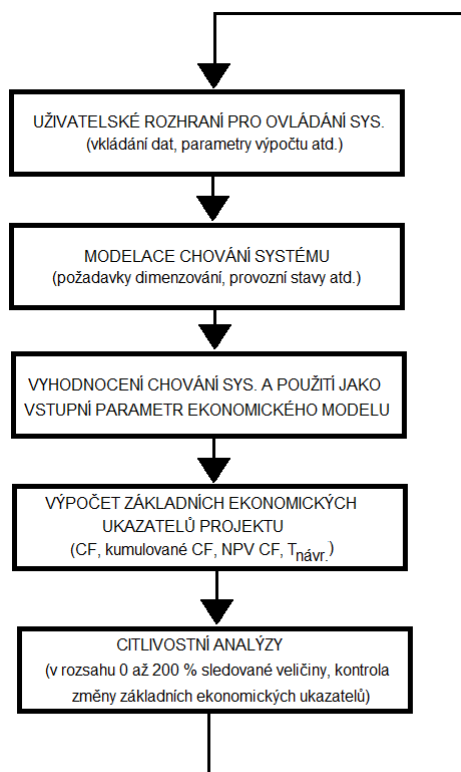
### 5.1 Návrh modelu

Model hybridního systému autor navrhl cíleně tak, aby svým charakterem naplňoval činnost účinného pomocníka při návrhu, modelaci provozních stavů, dimenzování základních komponent a vizualizaci aktuálních stavů v systému. Program neslouží jen pro účel technický, ale také pro účel ekonomický, přičemž výpočty respektují dosud nadefinované rovnice, které se dají operativně měnit (např. v závislosti na lokalitě výstavby).

Model byl umístěn v uživatelském prostředí Microsoft Excel (využití jeho grafických funkcí a podstaty tabulkového procesoru pro zpracování velkého množství vstupních dat) s programovými aplikacemi Microsoft Visual Basic (VBA). Model je tak možné užívat bez dalších licenčních práv na kterémkoliv počítači s verzí vyšší než Microsoft Office 2003.

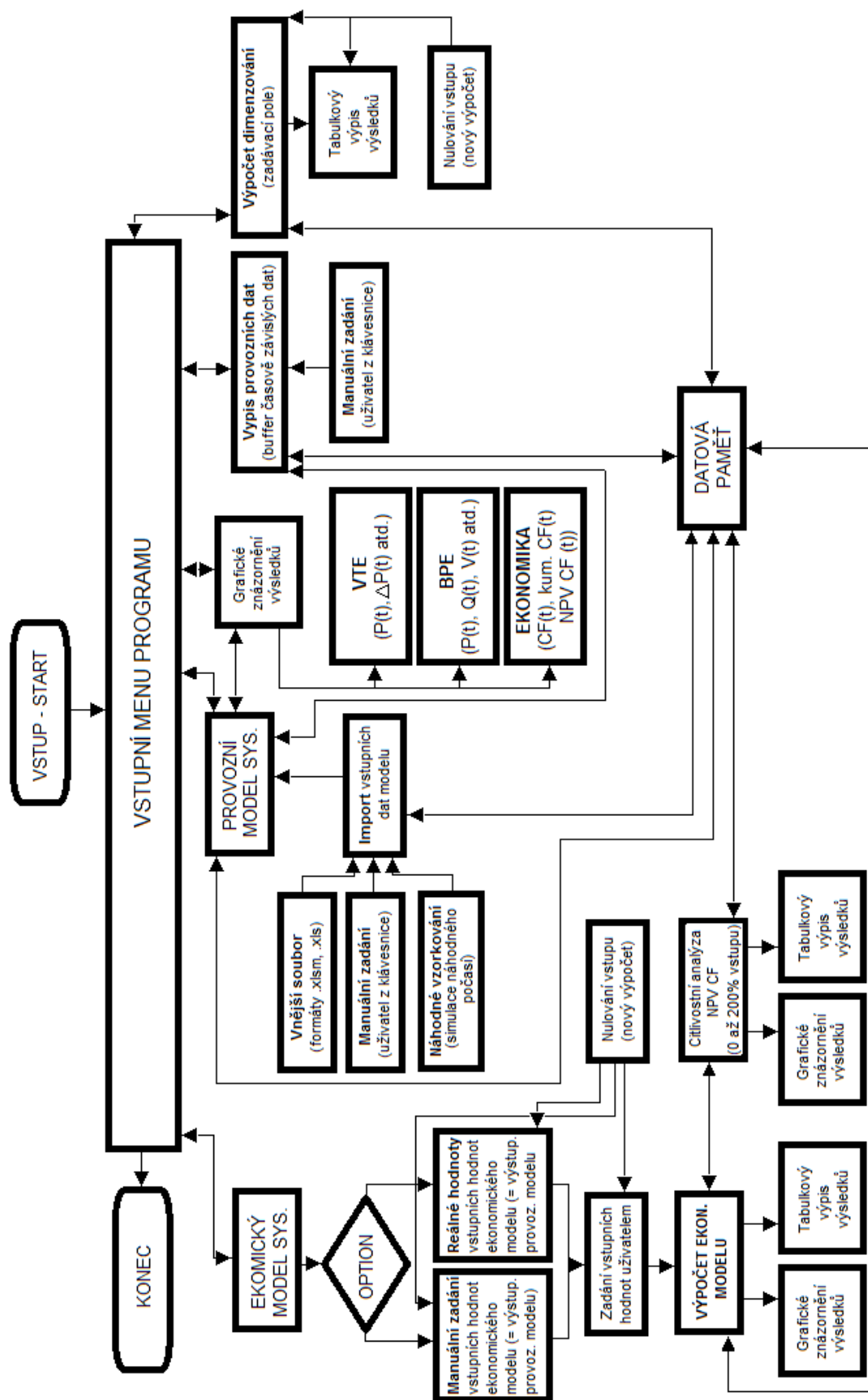
### 5.2 Diagramy popisující program „Model“

Při vývoji programu autor postupoval ze základního funkčního modelu, který byl sestaven tak, aby splnil všechny požadavky na modelaci zamýšleného hybridního systému (viz Obrázek 39). Každý z těchto funkčních celků vykonává specifický výpočet, a tudíž je i z pohledu celkové přehlednosti programu výhodné dané rozdělení vykonat. Celkovou ucelenost programu poté dosáhneme provázáním vazeb mezi funkčními celky, které si vyměňují výpočtová data a některá z nich ukládají do paměti na programově určená kontrolní místa, která se využívají pro čerpání, výměnu a zápis programových dat.



Obrázek 39 - základní funkční diagram programu

Ekonomický model pracuje s automaticky vloženými informacemi (z výstupu ekonomického modelu), nebo s manuálně vloženými daty od uživatele, přičemž tento způsob manuálního zápisu vstupních dat je též možný i u provozního modelování systému. Přesné manuální zadání je poté výhodné při modelaci krizových stavů systému. Celkový náhled podoby modelu, toku informací a výstupních hodnot udává vývojový diagram programu uvedený na Obrázek 40.



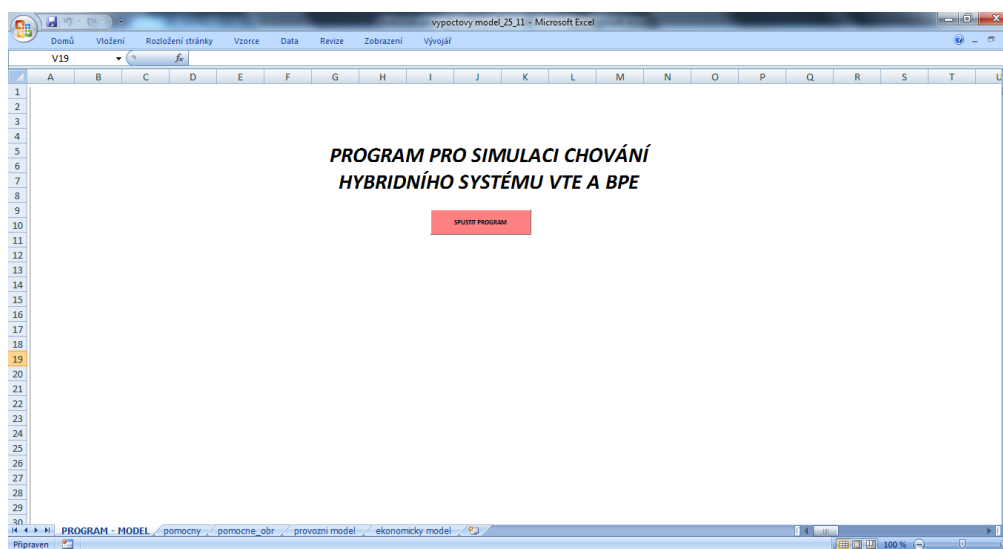
Obrázek 40 - vývojový diagram programu "Model"

## 5.3 Uživatelské prostředí a manipulace s programem

Celé uživatelské prostředí bylo vytvořeno tak, aby se v něm uživatel orientoval co možná nejpřirozeněji a intuitivně. Z tohoto důvodu byla volena i grafická podoba rozhraní s vizuálními pomůckami pro lepší orientaci během manipulace a podoby s operačním systémem WINDOWS, jenž je světově nejrozšířenější a předpokládají se tedy již nějaké předchozí zkušenosti uživatele s tímto prostředím.

### 5.3.1 Spouštění modelu a jeho úvodní menu

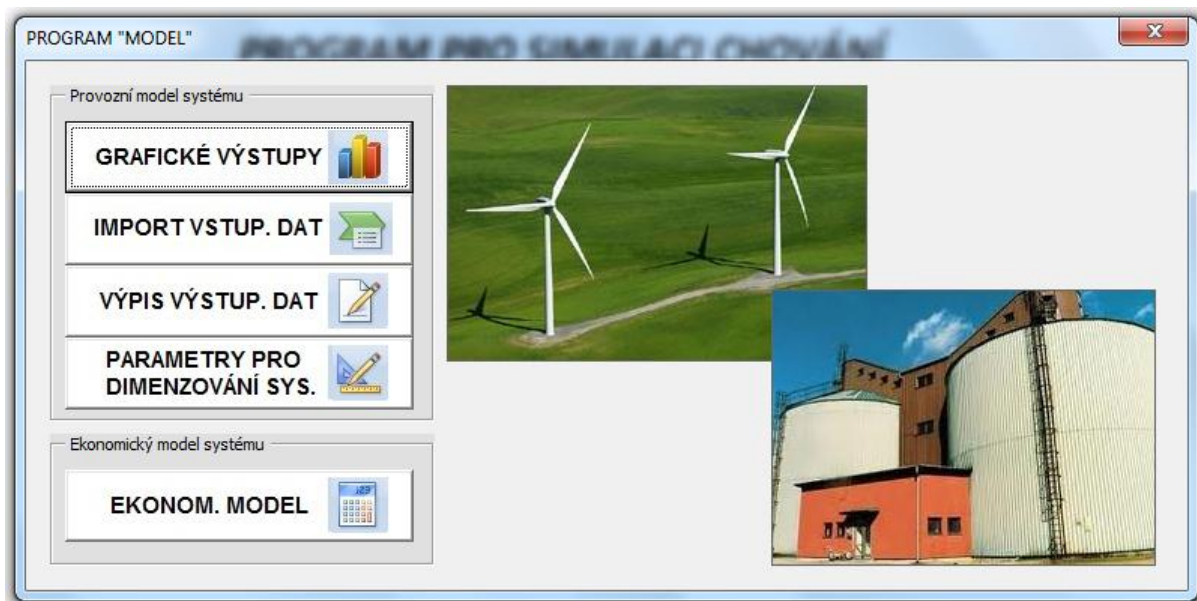
Celý program se spouští stisknutím spouštěcího tlačítka, které se nachází uvnitř souboru s názvem **model.xlsm** (Obrázek 41), který zároveň slouží i jako datová paměť modelu.



Obrázek 41 - spouštěcí tlačítko modelu

Po kliknutí na toto tlačítko se automaticky spustí skript programu a kompletní uživatelské prostředí, které je vizuálně i prakticky rozděleno na dvě části a to tedy na **provozní model** a **ekonomický model**.

Při startu programu jsou načtena naposledy využitá vstupní data modelu (zejména roční rychlosti větru) z datové paměti modelu, kde jsou uchována po přechozím výpočtu. Na uživateli poté závisí, jestli chce pracovat dále s tímto modelem, nebo si nainportuje, či sám manuálně tato data změnit. Celé vstupní menu je ovládáno tlačítkově při doprovodu, jak textové, tak i obrázkové nápovědy funkce k jednotlivým odkazům. Model se zavře po klasickém kliknutí na křížek v pravém horním rohu menu.



Obrázek 42 - vstupní menu

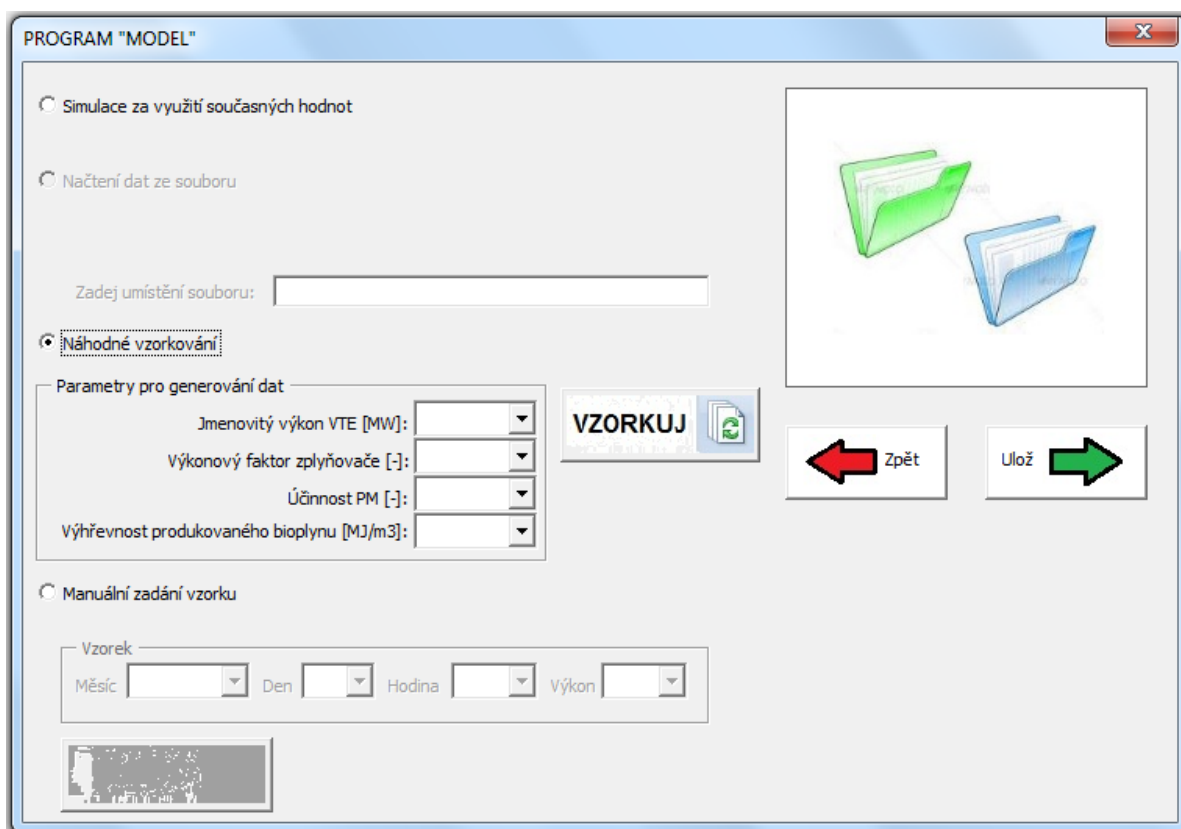
### 5.3.2 Import vstupních dat

Zde si uživatel prakticky volí, s jakými vstupními daty má model pracovat a zadává tedy vstupní parametry výpočtu, případně tyto parametry manuálně upravuje dle potřeby modelace. Varianty vstupních hodnot se volí označením přepínače, jehož jednotlivé funkce jsou:

- Simulace s využitím současných vstupních hodnot.
- Načtení nových hodnot ze souboru (podpora souborů typu .xls, .xls).
- Náhodné vzorkování rychlosti větru s požadovanými parametry.
- Manuální zadání vzorku pro požadovanou hodinu v roce.


Po označení a nastavení zvoleného vstupu dat se provede rozsvícení signalizace správného zadání všech potřebných parametrů pro výpočet . Stisknutím klávesy  se poté již automaticky uvede do provozu výpočet celého provozního modelu (u možnosti náhodné vzorkování je potřeba nejdříve stisknout tlačítko , u manuálního zadání zase tlačítko ). Tento výpočet se samozřejmě díky rozsáhlosti modelu neprovede okamžitě, o čemž je uživatel výpisovými zprávami informován v průběhu výpočtu. Po dokončení výpočtu se automaticky vrací do vstupního menu celého programu a dále již uživatel pracuje s vypočtenými hodnotami dle potřeby. Přesná vizuální podoba uživatelského listu pro import vstupních dat je na Obrázek 43.

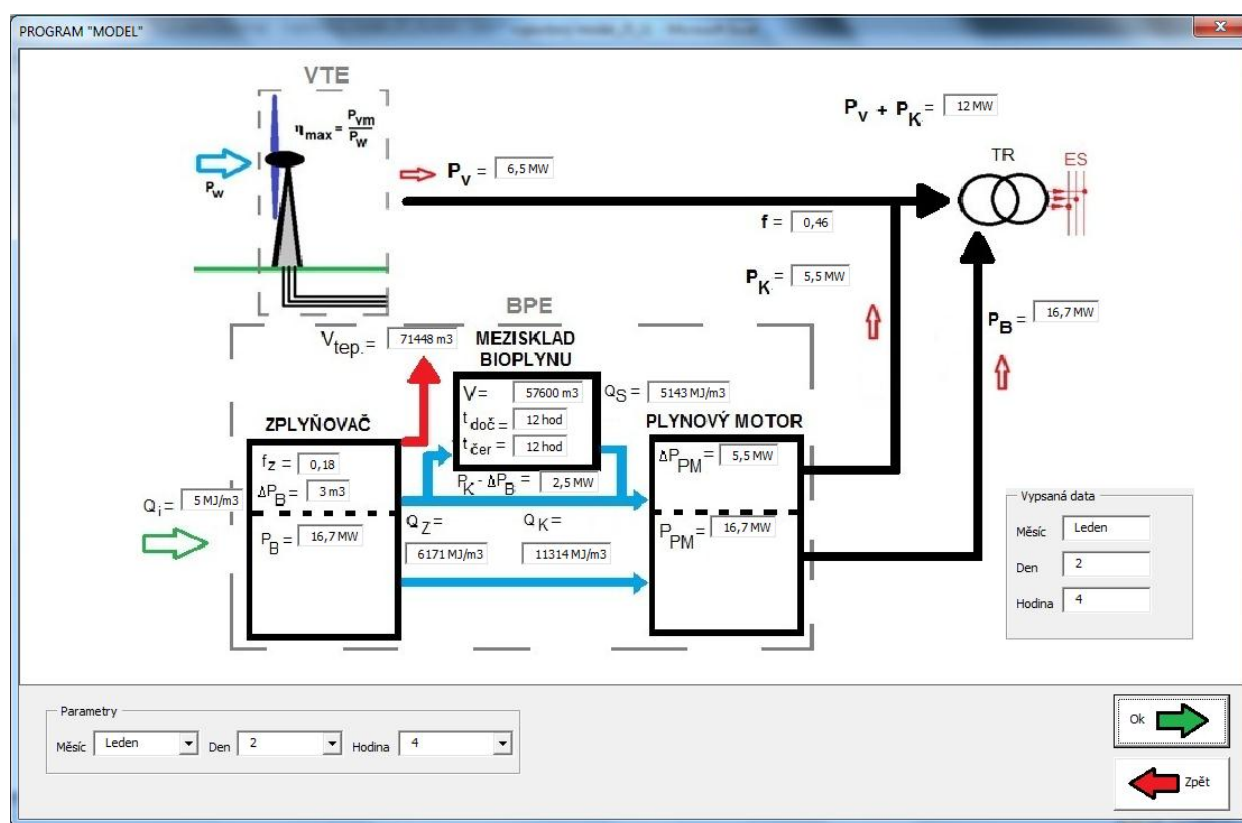




Obrázek 43 - uživatelský list pro import vstupních dat modelu

### 5.3.3 Výpis výstupních dat

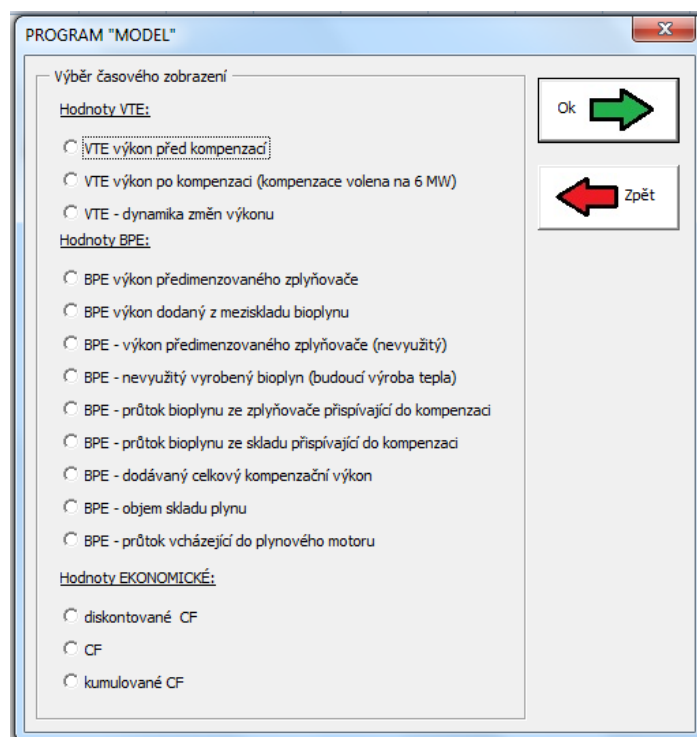
Tato uživatelská formulace slouží pro výpis provozních hodnot modelu, které přísluší zadanému požadovanému datu provozu, pro které jsou data vyžadována. Simulace je provedena pro jeden rok provozu, čemuž odpovídá i zadávací pole s vyžadovanými parametry pro vypsání. Uživatel zadává potřebný měsíc, den a hodinu, které mají být vypsány na obrazovku, program poté ve spolupráci s datovou pamětí vypíše vyžadované provozní hodnoty do příslušných oken technologických celků systému. Zpět do menu se vrací stiskem klávesy  tedy analogicky s předchozí obrazovkou a obecně analogicky se všemi obrazovkami celého programu model, kde jsou tyto červené a zelené šipky použity. Ukázka přesné podoby obrazovky je ukázána na Obrázek 44.



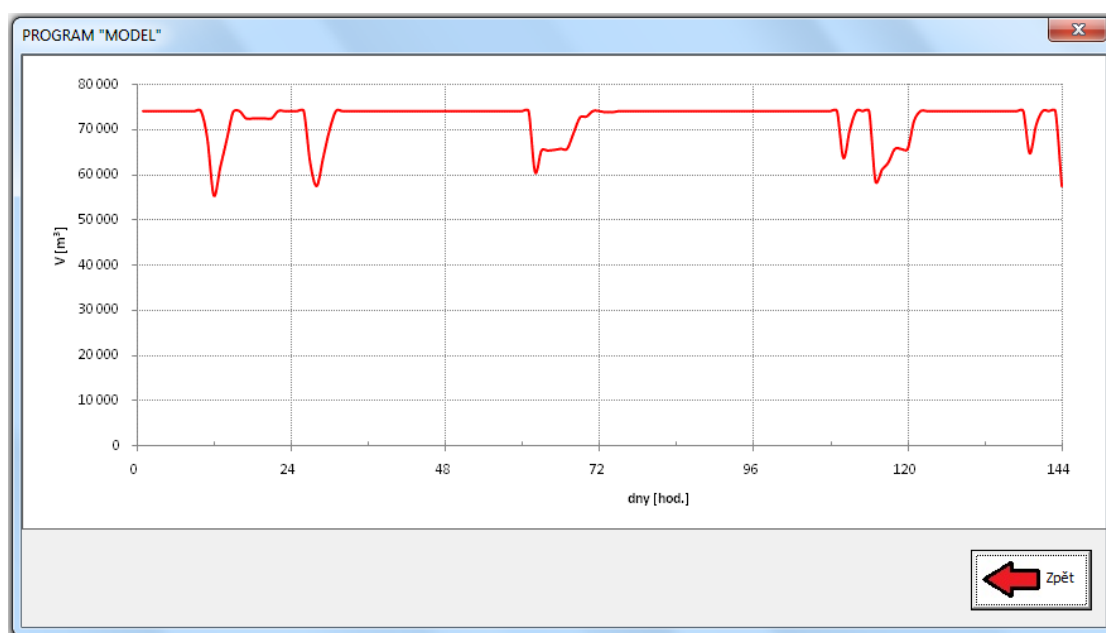
Obrázek 44 - výpis provozních hodnot

### 5.3.4 Grafické výstupy

Účel tohoto okna pro uživatele je zejména ten, že zde jsou velice lehce dostupné grafické výstupy jednotlivých provozních veličin v závislosti na čase (hodině). Nevypisují se zde tedy sumarizované provozní stavy pro jednu určitou pracovní hodinu, jako tomu bylo u obrazovky předchozí, ale uživatel si zde volí provozní veličinu, jejíž časová závislost se má vykreslit. Sekce pro výběr jsou vizuálně rozděleny na tři skupiny. První skupinou jsou provozní veličiny týkající se VTE, druhou skupinou hodnoty týkající se BPE a poslední třetí skupinou je zobrazení výstupů ekonomického modelu (bude ukázán později). Pro přesný výběr vykreslované provozní veličiny v jednotlivé dílčí sekci je opět zvolen jednoduchý přepínač a platí hierarchie jako u předchozích obrazovek z hlediska ovládání tlačítky se šipkami. Na dvojici obrázků pod textem je předvedeno zadávací pole pro výběr a také grafický výstup, jenž koresponduje s označením provedeným uživatelem.




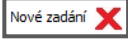
Obrázek 45 - volba grafického výstupu



Obrázek 46 - ukázka grafického výstupu modelu

### 5.3.5 Parametry pro dimenzování systému

V této uživatelské formuli dojde k výpočtu přesných hodnot pro dimenzování dílčích technologických prvků a slouží tedy pro budoucí technický návrh komponent systému. Zadávání hodnot se zde provádí dvěma způsoby a to buď manuálně z klávesnice, nebo, což je pro uživatele pohodlnější, pomocí myši. Po kliknutí na rolovací tlačítko

 , které se nachází za každým titulkem požadované hodnoty, dojde k rozvinutí rolety s přednastavenými doporučenými vstupními hodnotami výpočtu, ze které uživatel provede výběr. Po dokončení zadání vstupních hodnot dochází opět kliknutím na tlačítko „Ok“ ke spuštění časově delšího výpočtu se signalizací dokončení viz Obrázek 47, kde je uživatelská obrazovka příslušící k dimenzování hodnot zobrazena. Pro nulování vstupních hodnot a začátek nového výpočtu slouží tlačítko .



PROGRAM "MODEL"


**Zadávací pole**


jmenovitý výkon VTE	$P_V$	40	MW
výkonový faktor zplyňovače (předimenzování)	$f_z$	0,24	[-]
účinnost plynového motoru	$\eta_M$	0,35	[-]
výhřevnost produkovaného bioplynu zplyňovačem	$Q_i$	5	[MJ/m <sup>3</sup> ]

**Parametry dimenzování**

kompenzační výkon	$P_K$	4	[MW]
doba dočerpávání bioplynu	$t_{dočerpání}$	12	[hod]
doba čerpání bioplynu	$t_{čerpání}$	12	[hod]
podílový faktor kompenzace	$f$	0.15	[-]
maximální podílový faktor respektující dodávku kompenzačního výkonu	$f_{MAX}$	0.3	[-]
jmenovitý výkon BPE	$P_B$	12.5	[MW]
velikost předimenzování BPE	$\Delta P_B$	3	[MW]
jmenovitá hodnota plynového motoru	$P_{SM}$	12.5	[MW]
velikost předimenzování plynového motoru	$\Delta P_{SM}$	12	[MW]
maximální objem bioplynového mezikladu	$V_{MAX}$	74057.14	[m <sup>3</sup> ]
výhřevnost bioplynu na konci kompenzační větve	$Q_{ik}$	1.75	[MJ/m <sup>3</sup> ]
energetický ekvivalent bioplynu	$q_i$	0.2	[m <sup>3</sup> /MJ]
poměrné množství bioplynu na výrobu 1MWh elektřiny	$q_{ik}$	0.57	[m <sup>3</sup> /MJ]
průtok plynu vcházející do spalovacího motoru	$Q_K$	4.57	[MJ/m <sup>3</sup> ]
průtok plynu vycházející ze zplyňovače	$Q_Z$	1.71	[MJ/m <sup>3</sup> ]
průtok plynu ze zásobníku bioplynu	$Q_S$	2.86	[MJ/m <sup>3</sup> ]
výkonový faktor systému (velikost dodané kompenzační energie za 1 den)	$k_f$	72	[MWh]
dynamická hranice mezihodinové změny výkonu (30 % P <sub>V</sub> )	$\Delta P_V$	12	[MW/h]

Ok  

 Zpět

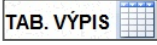

Nové zadání 

Obrázek 47 - parametry pro dimenzování

### 5.3.6 Ekonomický model

Jak už bylo výše řečeno, tuto část modelu autor navrhl k definování jednoznačných ekonomických vstupů pro základní výpočet čisté současné hodnoty cash flow (NPV CF) a modelaci možných ekonomických situací pro potřeby posouzení záměru výstavby a provozu celého systému.

Do ekonomické modelace vstupují buď provozní modelované parametry, nebo lze provést modelaci také při manuálním zadání výstupních hodnot provozního systému (sekce „Výstupní hodnoty provozního modelu“). Tento prvotní výběr je opět proveden pomocí jednoduchého přepínače (viz Obrázek 48 – pravý horní roh). Po kompletaci zadání v této sekci přechází uživatel do sekce „Zadávané hodnoty“ (výnosy, náklady, úroková míra, daň, atd.),

kde jsou předpřipravené možné varianty zadání pomocí rolovacích lišt v dostatečném rozptylu od předpokládané hodnoty parametru stanoveném při sestavování výpočtových rovnic. Za předpokladu kompletního zadání obou sekcí lze přistoupit k samotnému výpočtu. Výsledky výpočtu pro zadané vstupní parametry se vypisují pod zadanými vstupy v sekci „Výstup ekonomického modelu“. Pro zobrazení výsledků výpočtu si uživatel navíc může zvolit, jakou variantu vizualizace preferuje, zda tabulkovou (viz Obrázek 50), která se zobrazí po kliknutí na tlačítko  nebo grafickou (viz Obrázek 49), pro kterou je potřeba stisknout odkaz . I když grafické zobrazení neuvádí nic víc, než lze dohledat v tabulkovém zobrazení základních výsledků sledovaných toků hotovosti, jeho vypovídající hodnota je především v představě, kdy dochází k realizaci očekávaného přínosu projektu, jaký vliv na výsledek má diskontování a jaký dopad bude mít daný projekt na CF investora. Sledovaným výsledkem výpočtu jsou tedy peněžní toky NPV CF, kumulované CF, CF a  $T_{návr.}$ .

PROGRAM "MODEL"

Výstupní hodnoty provozního modelu

průměrný dodaný výkon VTE (bez kompenzace)	49522,64	MW/rok
průměrný dodaný výkon VTE (při zařazení kompenzační větve)	75726,32	MW/rok
průměrný dodávaný výkon v době nočního režimu	47985,22	MW/rok
průměrný dodávaný výkon v době denního režimu	27741,1	MW/rok


Zadávané hodnoty




penalizační poplatky za nedodržení/překročení sjednané dodávky	2000000	Kč/rok
zelené bonusy	1800	Kč/MWh
výkupní cena elektřiny	2200	Kč/MWh
průměrná cena elektřiny v době nočního režimu	1480	Kč/MWh
průměrná cena elektřiny v době denního režimu	2870	Kč/MWh
daň právnických osob	15	%
úroková míra	5	%
investiční náklady na stavební část projektu	30	%/N <sub>inv</sub>
investiční náklady na technickou část projektu	70	%/N <sub>inv</sub>
měrné náklady na předimenzování zplyňovače a generování bioplynu	1990	€/kW
měrné náklady na spalovací systém společně s elektrickým připojením	480	€/kW
měrné náklady na koupi a zprovoznění zařízení pro skladování plynu	40	€/m <sup>3</sup>
odpisové měrné náklady na stavbu	4	%/N <sub>inv-s</sub>
odpisové měrné náklady na technická zařízení	15	%/N <sub>inv-T</sub>
odpisové měrné náklady na opravy, provoz a údržbu systému	2,5	%/N <sub>inv</sub>
doba porovnání	20	roky



Výstup ekonomického modelu

očekávaný výnos za jeden rok provozu	186121973,31	Kč
nutné investiční prostředky, hrazené z vlastních zdrojů investora	367307142,86	Kč
úročitel	1,05	%
roční celkové náklady projektu	52157614,29	Kč
aktualizovaný zisk na počátku	-367307142,86	Kč
aktualizovaný zisk na konci 1. – t <sub>p</sub> . roku	156853140,88	Kč
celková hodnota aktualizovaného zisku na konci sledovaného období	1587429691,7	Kč

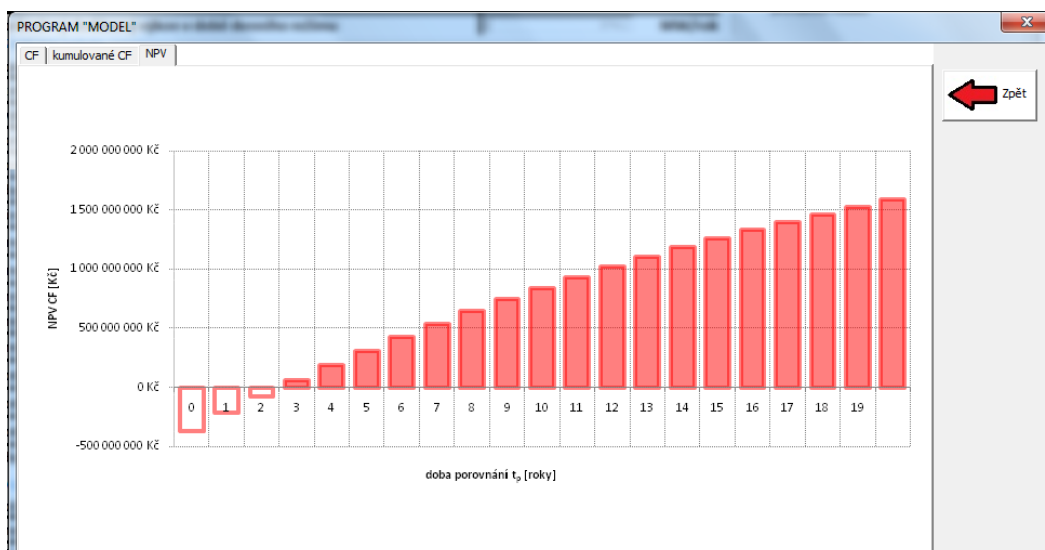
Manuální zadání výstupních hodnot provozního modelu  
 Zachování reálných výstupních hodnot provozního modelu

Nové zadání 

GRAFY   
 TAB. VÝPIS   
 ANALÝZY 

Zpět   
 Ok 

Obrázek 48 - okno ekonomického modelu



Obrázek 49 - grafická prezentace výsledků modelu

čas [roky]	CF [Kč]	kumulované CF [Kč]	NPV [Kč]
0	-367307142,857143	-367307142,857143	-367307142,857143
1	156853140,88	-210454001,98	-217923199,16
2	156853140,88	-53600861,1	-75652776,59
3	156853140,88	103252279,79	59842863,95
4	156853140,88	260105420,67	188886331,13
5	156853140,88	416958561,55	311784871,3
6	156853140,88	573811702,43	428831100,04
7	156853140,88	730664843,31	540303698,84
8	156853140,88	887517984,19	646468078,65
9	156853140,88	1044371125,07	747577011,8
10	156853140,88	1201224265,95	843871233,85
11	156853140,88	1358077406,83	935580016,75
12	156853140,88	1514930547,71	1022921714,75
13	156853140,88	1671783688,59	1106104284,27
14	156853140,88	1828636829,47	1185325779,06
15	156853140,88	1985489970,35	126074821,71
16	156853140,88	2142343111,24	1332631052,81
17	156853140,88	2299196252,12	1401065558,62
18	156853140,88	2456049393	1466241278,44
19	156853140,88	2612902533,88	1528313392,55


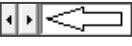
Obrázek 50 - tabulková prezentace výsledků modelu

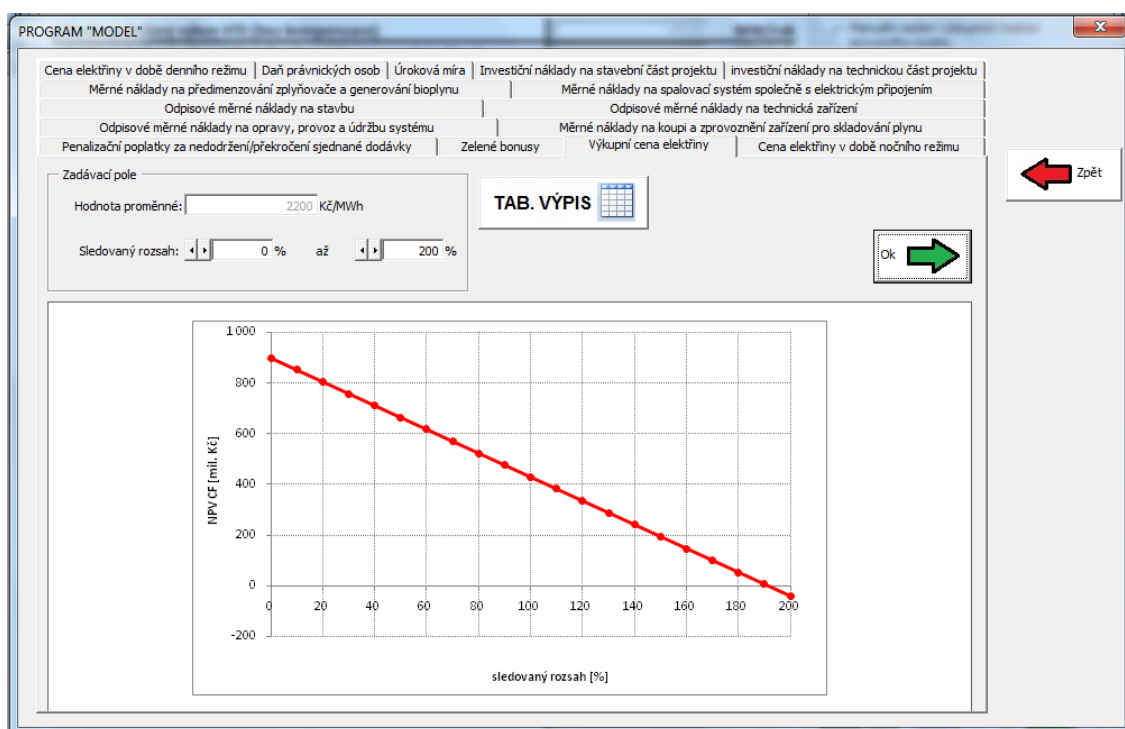
### 5.3.6.1 Konstrukce citlivostních analýz

Při výpočtu ekonomické efektivity jsme po celou dobu vycházeli z obvyklých hodnot proměnných vstupujících do výpočtu, které platí v současné době. Tyto hodnoty však nemusí trvat stále a jejich hodnoty se mohou v průběhu času měnit (změna legislativy státu, stav zvýšený podíl zelené energie, kurz eura, atd.). Tyto časové změny proměnných,

kteřé nám vstupují nějakým způsobem do výpočtu, mohou mít zásadní vliv na rozhodování o výhodnosti investice a je tedy nutné vyhodnotit krajní situace, či lépe řečeno krajní podmínky, kterých nesmí dané proměnné v průběhu času dosáhnout, tzn. investice by se z hlediska zisku stala ekonomicky nevýhodnou.

Proto je posledním výstupem základního výpočtu konstrukce citlivostních analýz, což znamená provedení citlivostního výpočtu změn vstupních veličin výpočtu (v procentech) za sledování změn peněžních toků pro zadaný rozsah sledovaného prvku výpočtu.

Model umožňuje tvorbu analýzy pro každý prvek výpočtu v rozsahu 0 až 200 %. Pro vstup do menu pro tvorbu citlivostních analýz je třeba v základním listu ekonomického modelu (viz Obrázek 48) zadat odkaz . Po kliknutí na odkaz se zobrazí uživatelská forma se všemi prvky výpočtu, přičemž co prvek, to vlastní samostatná záložka. Uvnitř záložky nalezneme hodnotu počítaného prvku, která již byla zadána uživatelem a uživatelskou formuli, v níž dochází k volbě rozsahu (volíme pomocí číselníku ) a sledování změny NPV CF, díky okamžitému vypisování výsledků, jak v grafické formě, tak opět i ve formě tabulkové. Na Obrázek 51 je ukázáno uživatelské okno i s vykreslením výstupního grafu v plném možném sledovaném rozsahu změny prvku výpočtu.



Obrázek 51 - uživatelská forma k simulaci citlivostních analýz

## 6. Tržní a výrobní optimalizace variabilního portfolia zdrojů

Přechod na tržní řízení výroby elektrické energie z pohledu výrobce (tzn. dodržení obchodních závazků dodávky silového výkonu nebo poskytování podpůrných služeb (PpS) bez ohledu na stav v ES za účelem získání co nejvyšší marže) postupně procházel různými úrovněmi, které byly spojeny se změnami v tržním prostředí a legislativními zásahy. Tomuto strmému vývoji se museli a stále musí přizpůsobit výrobci elektrické energie v uvažování nad provozem výrobních zdrojů, prodeji elektřiny, strategickém plánování výroby a samotném způsobu řízení zdrojů. Snižující se velkoobchodní cena elektřiny a naopak zvyšující se cena uhlí, ropa podíl OZE bohužel nesignalizuje výraznou změnu ve skutečnosti, že generovaná marže z prodeje je čím dál tím menší a investice v oblasti elektroenergetiky stále více riskantnější. Z tohoto důvodu se autor v druhé části své práce zaměřil na, z jeho pohledu, důležité otázky týkající se tohoto segmentu a snažil jsem se zoptimalizovat provoz výrobního portfolia s ohledem na maximalizaci marže z prodeje elektřiny.

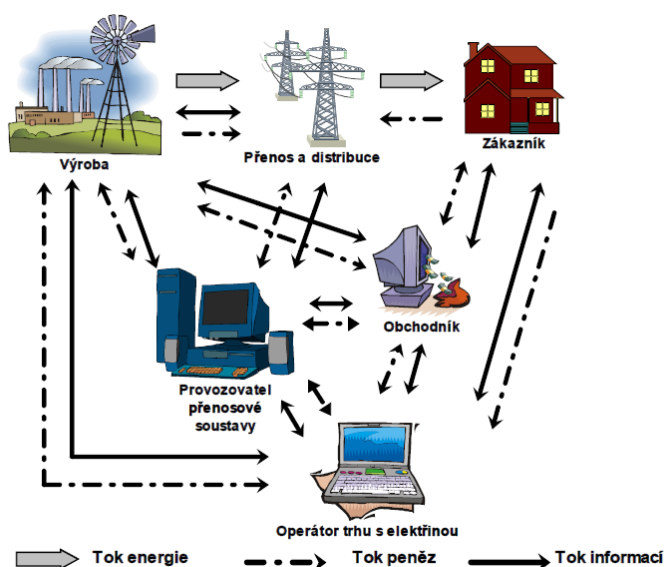
Vědecká činnost této kapitoly je kladena zejména na návrhy v oblasti predikčních modelů cen elektrických trhů a specifikaci řešení optimalizačních úloh spojených s provozem výrobních jednotek.

### 6.1 Současný způsob řízení výroby a regulace elektrické energie v ES a legislativa s tímto spojená

Koncem 90. let vrcholila v České republice, stejně tak jako v dalších evropských zemích, příprava sektoru elektroenergetiky na otevření trhu s elektřinou. ČR ustoupila od vertikálně integrovaného modelu směrem k otevřené konkurenci v elektroenergetice a tím došlo v krátké době k poměrně rychlému rozšíření trhu s elektrickou energií o další subjekty, jenž si vzájemně konkurují a zároveň nesou všechna investiční rizika. V platnost vstoupila směrnice Evropské unie č. 96/92/EC, o vnitřním trhu s elektřinou, jež členskými státy ukládá otevřít trh s elektřinou. Tato směrnice byla zakomponována do energetického zákona č. 458/2000 Sb. „Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a změně některých zákonů“ (dále EZ). Tento zákon definoval harmonogram otevření trhu s elektřinou v několika etapách, a to dle velikosti spotřeby elektrické energie konečných zákazníků. Další posun v oblasti obchodování s elektřinou a plynem byl důsledkem nové směrnice Evropského parlamentu a rady 2003/54/ES o společných



pravidlech pro vnitřní trh s elektrickou energií ze dne 26. 6. 2003, která nahradila původní směrnici 96/92/ES.1. Důležitým bodem této směrnice je povinnost všech zemí EU plně otevřít trh s elektřinou k 1.7.2007. Následná novela EZ č. 278/2003 Sb. se zaměřila i na tento časový plán a upravila časový harmonogram otevírání trhu s elektřinou v ČR. Česká republika časové podmínky EU pro otevírání trhu s elektřinou nejenže splnila, ale dokonce národní trh s elektřinou otevřela v předstihu, a to k 1.1.2006 pro všechny konečné zákazníky.



Obrázek 52 – obecný model liberálního trhu s elektřinou a subjekty v něm obsažené

Legislativní prvky v oblasti trhu s elektřinou (zejména EZ) stanovují základní restriktivní a obligátní povinnosti všech účastníků trhu s elektřinou a právně stanovuje a vymezuje činnosti subjektů v něm zahrnutých (výrobce, operátor trhu s elektřinou, obchodníci, zákazníci, provozovatel přenosové soustavy atd.).

V této souvislosti byla založena společnost ČEPS, a. s., která se v České republice stala právně a manažersky odděleným provozovatelem přenosové soustavy. Zřízením ČEPS byl vyřešen potenciální konflikt zájmů a priorit, kdy provozovatel přenosové soustavy měl zároveň naplňovat obchodní zájmy dominantního výrobce a obchodníka s elektřinou. ČEZ však tímto krokem současně přišel o nástroj řízení svých zdrojů v reálném čase, stejně jako o přípravu provozu, nasazování bloků, rozdělování zatížení i udržování regulačních a záložních výkonů, které ČEPS pro ČEZ zajišťovala na základě dohody o spolupráci. Proto bylo v roce 2000 rozhodnuto o vybudování Dispečinku ČEZ (DČEZ). Paralelně s vybavováním DČEZ (zpočátku pasivními prostředky pro monitorování a vyhodnocování provozu některých bloků ČEZ) probíhalo postupné přebírání činností spojených s přípravou

provozu zdrojů od ČEPS – týdenní a později i denní příprava provozu zdrojů ČEZ byly postupně zpracovávány v ČEZ již v průběhu roku 2001.

Vybudováním DČEZ získal ČEZ technicko–organizační prostředek pro podporu firemní strategie zvýšení podílu společnosti na výrobě elektrické energie a dodávání podpůrných služeb v ES ČR. Cílem DČEZ je maximálně zefektivnit dodávku elektrické energie a podpůrných služeb a umožnit prodej elektrické energie a podpůrných služeb s maximálním ziskem.

## 6.2 Pravidla tržního prostředí v energetice

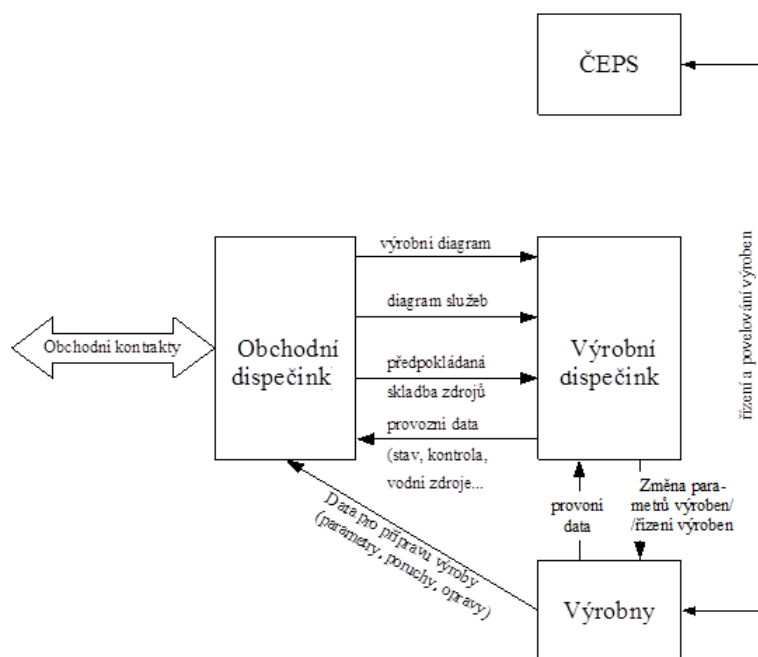
Celá filosofie řízení Oblasti ČEZ a tomu odpovídající požadavky na řídicí systém (ŘS) DČEZ vycházejí z tržního prostředí v elektroenergetice. Informace obsažené v základních dokumentech legislativního a technického charakteru (viz zejména [40], [41], [42]) lze shrnout do několika základních pravidel [43]:

- existuje trh s elektřinou,
- rámci pojmu elektřina je důsledně rozlišována elektrická energie (tj. dodaná elektrická práce) a podpůrné služby (tj. změny výkonu – regulace),
- stabilitu systému ES ČR jako celku a jeho provozuschopnost zajišťuje PPS,
- obchod s elektrickou energií je výhradní záležitostí dohod výrobce a spotřebitele elektrické energie; jeho sumárním výsledkem je plán výroby ES potvrzovaný denně PPS,
- provoz zařízení připojených k přenosové soustavě odpovídá jejich majitel, tj. každý výrobce elektrické energie si řídí nasazování a ekonomické využívání svých zdrojů (výroben) samostatně, resp. nese za jejich provoz přímé důsledky.

## 6.3 Dispečerské řízení

Pro spolehlivost dodávky, provozu a ekonomiky ES je velice důležitá role dispečerského řízení, které se uplatňuje také na úrovni jednotlivých výrobců elektřiny. Vzájemná komunikace jednotlivých výrobních dispečinků s dispečinkem provozovatele přenosové soustavy (PPS) poté udržuje stabilní a spolehlivý provoz ES.

Výrobní dispečink je obecně útvar, který zajišťuje v plném rozsahu obchodní i technickou stránku řízení výroby elektrické energie a podpůrných služeb. Pro snazší vysvětlení funkce rozdělujeme organizačně výrobní dispečink na dvě části – Obchodní dispečink a Výrobní dispečink. Vzájemné vztahy obou částí, jejich vnější návaznosti a principiální datové toky jsou znázorněny na Obrázek 53.



Obrázek 53 - dispečerské řízení a hierarchie mezi výrobcem a PPS

## 6.4 Obchodní dispečink

S narůstajícím podílem OZE v ES narůstá také potřeba rychlejší dostupnosti regulace tzn. nejedná se již pouze o regulaci ES formou změny provozních parametrů (Pps), ale též se uplatňuje regulace nákupem potřebné elektrické energie od výrobců a to jak přeshraničním, tak tuzemským způsobem, kde komunikace probíhá na dispečerské úrovni.

Činnost obchodního dispečinku na straně výroby zahrnuje obchod s domácí tak zahraniční elektrickou energií, podpůrnými službami a přípravu výroby nutnou pro zajištění smluvně dohodnutých dodávek. Obchod s elektrickou energií a podpůrnými službami je organizován v časových horizontech:

- dlouhodobý obchod (v časovém horizontu na rok a více dopředu),
- střednědobý obchod (v časovém horizontu měsíců a kvartálů),
- krátkodobý trh (v časovém horizontu týdnů a dnů),
- vnitrodenní trh (uzavírány před začátkem obchodní hodiny),
- vyrovnávací trh – VVT (uzavírány nejpozději 1,5 hodiny před reálným časem dodávky regulační energie) a
- zahraniční obchod, jako speciální, odděleně řešený případ.

Organizaci a přípravě obchodů odpovídá v technické oblasti příprava výroby v adekvátních časových horizontech:

- dlouhodobá příprava provozu (v časovém horizontu do 1 měsíce),

- střednědobá příprava provozu (v časovém horizontu do 1 týdne),
- denní příprava provozu (v časovém horizontu do 1 dne) a
- operativní příprava provozu

Součinnost obchodní skupiny a skupiny přípravy výroby má obchodně iterační charakter, dochází k postupnému zpřesňování možností výroben a obchodní realizace jejich produkce na domácím a zahraničním trhu. Výstupem obchodního dispečinku a současně zadáním pro výrobní dispečink jsou:

- výrobní diagram,
- diagram PpS,
- předpokládaná skladba zdrojů.

## 6.5 Výrobní dispečink

Činnost výrobního dispečinku spočívá v optimální realizaci připravené a obchodně realizované výroby elektrické energie a PpS. Tím je zaručena schopnost ČEZu realizovat řízení a optimální provoz vlastních zdrojů při výrobě energie i služeb. Základní funkce výrobního dispečinku jsou:

- realizace zadané výroby elektrické energie podle výrobního diagramu,
- realizace zadané výroby služeb podle zadání z DČEPS v rámci platného diagramu služeb,
- optimalizovat rozdělení výroby elektrické energie a PpS mezi zdroje v portfoliu,
- minimalizovat náklady na výrobu elektrické energie,
- minimalizovat náklady za odchylku výroby elektrické energie od sjednaného množství,
- respektování technologických a jiných omezení,
- zajišťování okamžité náhrady poruchově sníženého nebo odpadlého výkonu,
- zajišťování okamžité náhrady odpadlých PpS a
- kontrola skutečné výroby elektrické energie a PpS.

Časový horizont činnosti výrobního dispečinku leží v oblasti cca 1 minuta (oblast nejrychlejšího působení sekundární regulace) až cca 1 den. Z tohoto časového horizontu a principiálního výčtu funkcí a datových toků viz Obrázek 53, kde je patrné úzké propojení obou částí dispečinku.

## 6.6 Datové toky a výpočetní mechanismy při řízení výrobního portfolia

Moderní provozy obchodního a výrobního dispečinku jsou podporován dalšími podpůrnými nástroji. Tyto nástroje mají různý důvod a úkol zpravidla se jedná o tři velké oblasti. První oblastí je určena pro zrychlení administrativy spojené s energetickým obchodováním a řízením rizik s obchodem spojeným. V tomto smyslu, se obecně energetickým obchodováním míní koupě a prodeje energetických komodit (surová nafta, uhlí, zemní plyn, elektrická energie a rafinované produkty), management pohybu a doručení energetických komodit a přidružené řízení činnosti rizik.

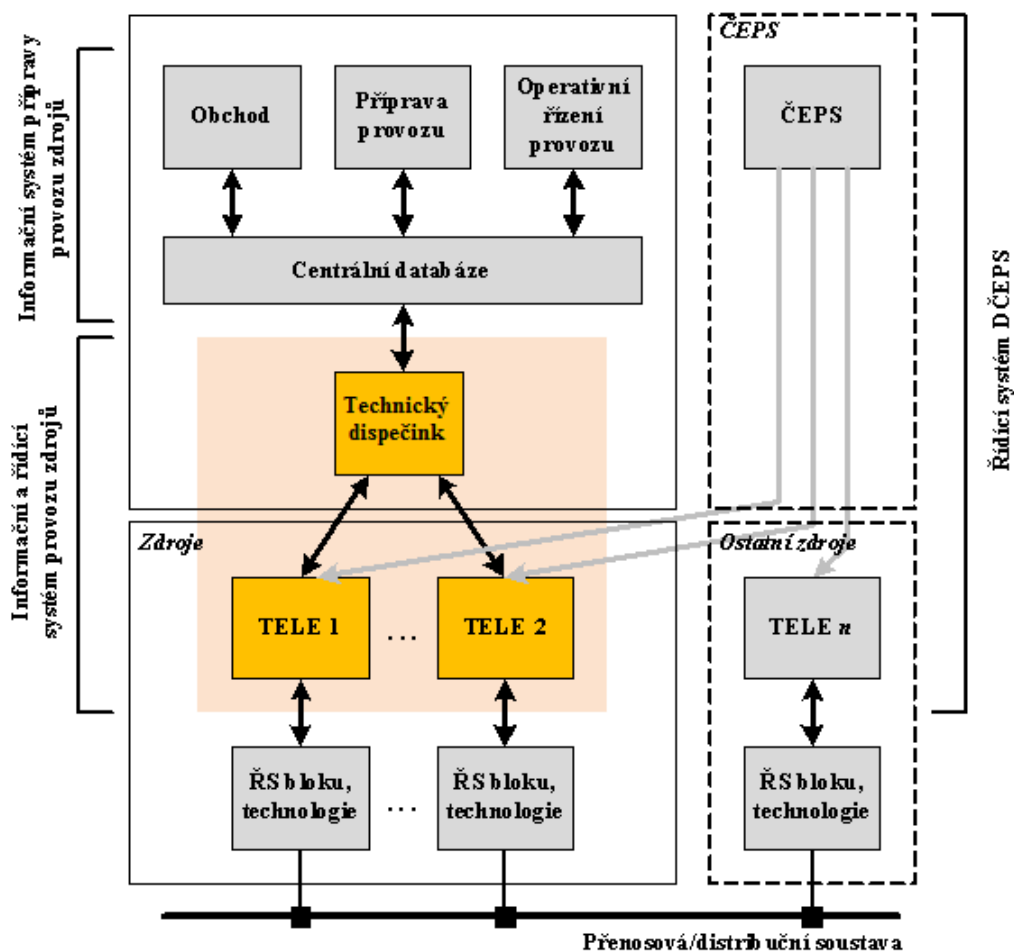
- scheduling krátkodobých a dlouhodobých pozic
- konfirmační protokoly
- administrativa bilaterálních kontraktů
- reporting
- správa účetnictví

Druhou oblast tvoří systémy pro přípravu provozu, které sdružují informace úzce související s výrobou.

- kontrakty na prodej energie,
- kontrakty na prodej podpůrných služeb,
- kontrakty na točivou rezervu a studenou zálohu,
- parametry bloků elektráren – instalovaný a dosažitelný výkon, parametry vlastní spotřeby, dispozice bloku, vynucený výkon, odstávky, minimální výkon, možnost provozu jednotlivých PpS, teplofikace, Dispatch Penalty Factor, limit poruchovosti,
- parametry kotlů – minimální a maximální výkony v jednotlivých pásmech, spotřební charakteristika, parametry startovacích a provozních nákladů, poruchovost, dispozice kotle, ceny paliva, odstávky,
- parametry turbogenerátorů – minimální a maximální výkon, výkon čerpání, poruchovost, dispozice turbogenerátoru, odstávky,
- parametry nádrží – účinnost čerpání, objem nádrže, minimální počet hodin čerpání za den, náklady na čerpání, minimální a maximální výkon EVD, plánovaná denní energie a minimální a maximální denní energie EVD, hladina a průtok nádrží,
- certifikace kombinací zařízení na provoz PpS,
- informace o palivech.

Třetí skupina sdružuje systémy přímo se podílející na řízení zdrojů v reálném čase.

- komunikace mezi dispečinkou a fyzickou výrobou (komunikační terminály)
- monitoring a sběr dat
- centrální regulace
- hodnocení provozu
- archivace provozních veličin



Obrázek 54 – terminálové propojení výroben na centrální dispečink se systémem online kontroly výroby

### 1.1.1 Technická realizace plnění PpS

Okamžité řízení ES je zpravidla pomocí PpS, které si provozovatel PPS rezervuje v každoročně vypisovaných tendrech a ve formě denních aukcí. Poptávka obvykle vychází z DPP, jež je realizována na základě nahromaděným DPP od jednotlivých výrobců. Realizace plnění závazku poskytnutí dané PpS je již plně v kompetenci poskytovatele, obvykle je technická realizace plnění uskutečněna dělením výrobních bloků do dvou skupin A a B, kde jedna ze skupin např. A je řízena existující sítí komunikačních tras terminálů elektráren

a DČEPS. Součinnost obou řídicích autorit tzn. DČEPS a dispečinku výrobce je patrná z Obrázek 55, kde je zobrazena logika řízení u jednoho bloku.

Základním řídicím signálem pro řízení ES ČR z DČEPS je signál ACE (Area ControlError) popisující okamžitou potřebu výkonu pro vyrovnání bilance ES ČR:

$$ACE = \Delta P - K \cdot \Delta f \quad (6.1)$$

Kde:

$ACE$	regulační odchylka (Area ControlError),
$\Delta P = P - P_0$	odchylka salda předávaných výkonů,
$P$	okamžitá hodnota salda, měřená jako součet výkonů předávaných mezi ES ČR a ostatními partnery v propojené ES CENTREL–UCTE,
$P_0$	plánovaná hodnota salda zadaná na sekundárním regulátoru,
$\Delta f = f - f_0$	odchylka kmitočtu,
$f$	okamžitá hodnota kmitočtu,
$f_0$	zadaná hodnota kmitočtu na sekundárním regulátoru. Zpravidla je $f_0 = 50\text{Hz}$ . Pro vyrovnání energetického a astronomického času se $f_0$ nastavuje podle metodiky UCTE na hodnoty 50,010 nebo 49,990 Hz,
$K$	konstanta určená UCTE pro ES ČR.

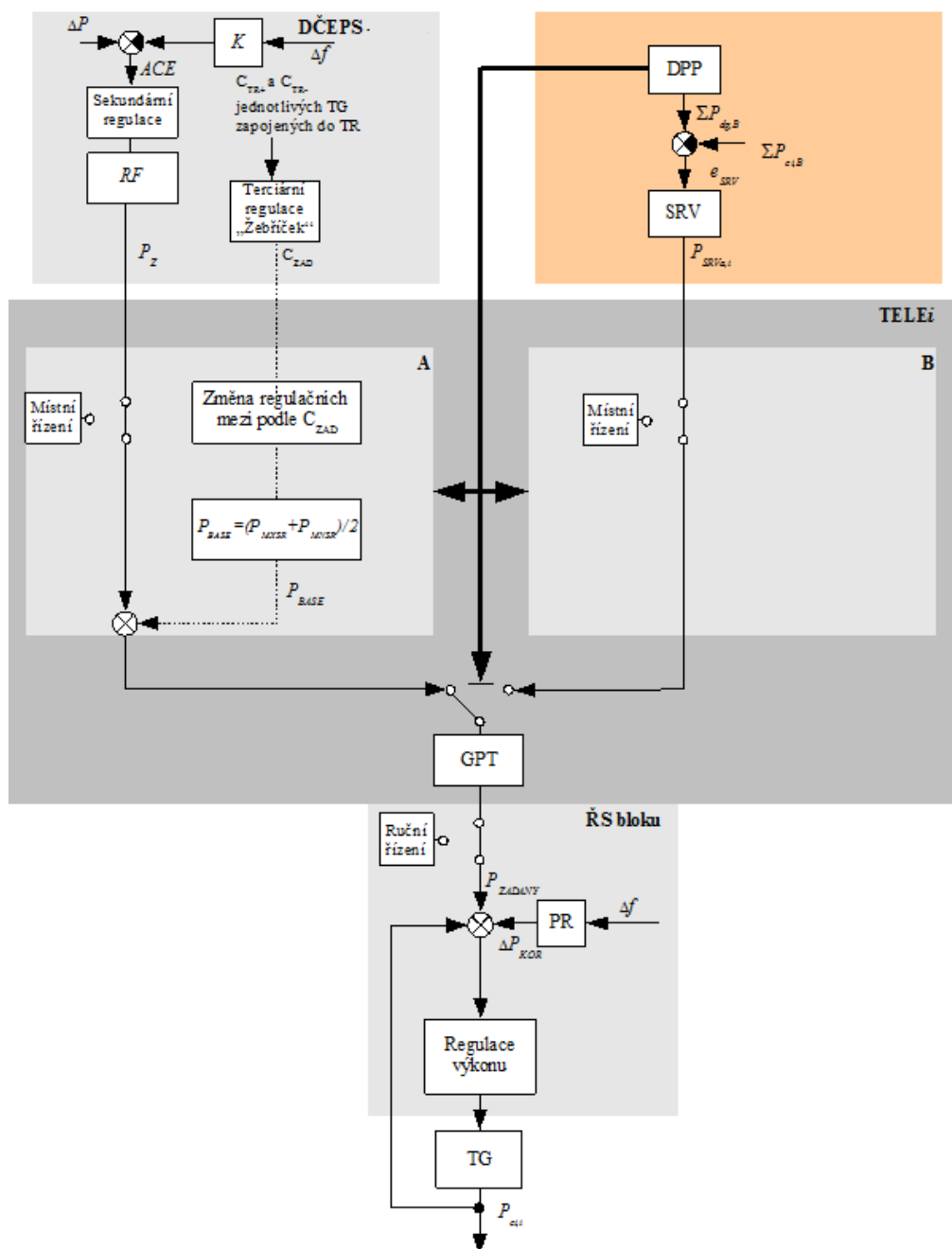
Kompensaci ACE zajišťuje regulátor na DČEPS prostřednictvím služeb SR případně TR (pouze ve spolupráci s dispečerem DČEPS).

Sekundární regulace pokrývá rozdíl mezi okamžitou výrobou a spotřebou ES ČR a tím zajišťuje dodržování sjednaných dodávek elektrické energie mezi ES ČR a ostatními partnery v propojené soustavě a správnou reakci ES ČR na výpadky výkonu v propojené soustavě.

Rozsah výkonu bloků nebo elektráren, který je připojen k sekundárnímu regulátoru se nazývá sekundární regulační záloha. Je dána rozdílem mezi horní (PMXSR) a dolní (PMNSR) mezí výkonu. Požadovaný výkon v MW (PZ) vysílaný z řídicího systému DČEPS na jednotlivé bloky nebo celé elektrárny obsahuje podíl na vyregulování regulační odchylky ACE a hodnotu pracovního bodu PBASE. Podíl na vyregulování regulační odchylky určují koeficienty RF, které jsou vypočítávány podle dynamických vlastností jednotlivých bloků.

$$P_Z = \left( \frac{1}{T} \cdot \sum_1^t ACE_t \right) \cdot RF + P_{BASE} \tag{6.2}$$

Kde T je časová integrační konstanta. Interval výpočtu PZ je 2 s. Změny PZ jsou limitovány omezovačem rychlosti zatěžování v řídicím systému DČEPS. Řídicí systém DČEPS porovnává PZ se skutečným činným výkonem  $P_{ci}$  měřeným z elektrárny. Je-li rozdíl větší než nastavená mez a trvá-li tato odchylka po dobu delší než je nastavená hodnota, přejde řízení bloku (elektrárny) na DČEPS z dálkového na místní.



Obrázek 55 - Logika řízení velkých výroben a dispečerské propojení



Podpůrná služba TR ve změně pracovního bodu zdrojů, která je spojeno s ovlivněním ekonomiky provozu zdroje. Vzhledem k této skutečnosti, základním postulátům prostředí a charakteru signálu TR spadá zpracování (tj. rozdělení celkového požadavku na jednotlivé zdroje) do pravomocí majitele zdrojů. Signál požadované výroby v rámci TR se proto přičítá jako korekce k operativnímu výrobnímu diagramu. Zde se tedy terciární regulací rozumí způsob aktivace terciární točivé regulační zálohy (RZTR). Horní mez kladné terciární regulace výkonu bloku nebo elektrárny je PMXTR a dolní mez záporné terciární regulace je PMNTR. Cenou za vyrobenou MWh při aktivaci RZTR se rozumí kryptovaná cena. Kryptování provádějí obchodní útvary provozovatelů elektráren a ČEPS.

- Z elektráren se do ŘS DČEPS přes terminál elektrárny přenášejí hodnoty vykoupené RZTR+ a RZTR- jako rozdíl PMXSR – PMXTR a PMNSR – PMNTR. Rovněž se přenáší cena za MWh zvlášť pro RZTR+ a RZTR-.
- Ceny RZTR+ (CTR+) a RZTR- (CTR-) jsou individuální (rozdílné) pro každý řízený TG, který nabízí RZTR.
- ŘS DČEPS vytvoří tzv. „žebříček“. Žebříčkem se rozumí závislost přírůstků RZTR od jednotlivých TG na jejich ceně za 1 MWh seříděná vzestupně pro RZTR+ podle rostoucí ceny a seříděná sestupně pro RZTR- podle klesající ceny
- Dispečerská služba může žebříček v oprávněných provozních situacích modifikovat (např. z přenosových důvodů).
- Důvodem pro aktivaci RZTR je zajištění dostatečné zálohy pro SR. V případě potřeby aktivace RZTR určí dispečer nebo ŘS DČEPS potřebnou velikost. Z žebříčku se odvodí odpovídající cena (CZAD). Kladná CZAD odpovídá aktivaci RZTR+ a záporná CZAD odpovídá aktivaci RZTR-. CZAD rovná nule znamená, že DČEPS nepožaduje aktivaci RZTR. CZAD může odvodit dispečer nebo ŘS DČEPS.
- Po odkvitování CZAD dispečerem se CZAD vyšle z ŘS DČEPS přes terminály na elektrárny.
- Je-li na elektrárně přijata hodnota +CZAD větší nebo rovna než je nabízená RZTR+ najede elektrárna RZTR+. Je-li na elektrárně přijatá hodnota -CZAD menší nebo rovná než je nabízená cena RZTR- najede elektrárna RZTR-. (Pozor u RZTR- : -100>-200 a -300<-200). Při požadavku na aktivaci se vždy aktivuje celý rozsah odpovídající RZTR na reálném nebo virtuálním bloku.

- Dispečerská služba může RZTR také aktivovat telefonem.
- Doba aktivace RZTR je dána velikostí RZTR a ve smlouvě sjednanou rychlostí pro aktivaci RZTR.

Je-li TG nabízející RZTR současně zapojen do SR, pak po vyžádání RZTR, změní obsluha nebo automaticky TELE meze pro SR (PMXSR, PMNSR) o hodnotu odpovídající nabízené RZTR. V tomto případě je rychlost aktivace RZTR dána rychlostí zatěžování TG v SR a aktivace je řízena ŘS DČEPS.

Takto korigovaný požadavek na celkovou výrobu Oblasti ČEZ je rozdělen mezi jednotlivé zdroje ekonomicky optimálním způsobem. Výsledkem rozdělení je základní zatížení každého zdroje v oblasti ČEZ. Toto základní zatížení je postoupeno ŘS DČEPS, který k němu superponuje odpovídající část rozděleného požadavku na SR a zajišťuje přímé povelování všech zdrojů v rámci ČR.

Terminály výroben přijímají a realizují povely (žádaný výkon z ŘS DČEPS) a v informačním směru vracejí údaje o parametrech zdrojů, jejich stavu (okamžitý výkon, stav řízení atd.) a ve směru na ŘS DČEZ navíc informace sloužící ke kontrole povelování zdrojů a kvality produkce energie a podpůrných služeb (PR, SR a TR). Vlastní kontrolní funkce jsou zajišťovány ŘS DČEZ a slouží jednak jako včasné upozornění na možné problémy zdrojů a zpětně jako případné podklady při vyjasňování možných problémů s PPS.

Vzhledem k pojetí podpůrných služeb PR, SR a TR jako obchodní komodity ČEZ je nutné technicky zajistit právo PPS disponovat právě zakoupeným množstvím těchto služeb. To je zajištěno vhodnou dynamickou generací mezi regulačního rozsahu zdrojů.

Je-li blok zapojen do PR, je vyhrazen potřebný regulační rozsah (typicky 5% jmenovitého výkonu) při obou okrajích regulačního rozsahu zdroje běžným způsobem. Zbývající část regulačního rozsahu (A) je dále rozdělována.

Každému zdroji je určeno základní zatížení  $P_{BASE}$  podle výše uvedeného popisu. Regulační rozsah zdroje vzhledem k PPS (tj. <PMNSR, PMXSR> přenášený Terminálem elektrárny na DČEPS) je určen tak, aby v každém okamžiku zajišťoval (pokud je to technicky možné) existenci smluvně dohodnutého regulačního pásma zdroje pro účely SR (C) - tedy nikoli již celý regulační rozsah.

Zbývající část regulačního rozsahu zdroje (B) je využitelná pro optimalizaci základního zatížení zdroje. Popsané řešení vychází maximálně z uspořádání řízení zdrojů z DČEPS a ze striktního požadavku DČEPS na přímé povelování zdrojů, nicméně plně respektuje požadavky provozovatele výrobních zařízení na plnou kontrolu nad ekonomikou a provozem svých zdrojů.

## 6.7 Technická realizace plnění obchodního závazku výrobce

Bloky přiřazené přípravou provozu k řízení skupiny B primárně realizují výrobu podle denního diagramu zatížení. Bloky skupiny B lze dělit na:

- Skupina B1 – bloky zařazené do systému skupinového rozdělovače výkonu,
- Skupina B2 – bloky, které poskytují pouze PR a jejich odchylka skutečného činného výkonu ( $P_{ci}$ ) od technického diagramového výkonu ( $P_{dg}$ ) je započítávána do systému SRV.

Jejich výkony jsou v reálném čase srovnávány s plánovaným saldem obchodního závazku. Na základě případné odchylky je určena výkonová korekce, která se po rozdělení na jednotlivé bloky přenáší do Terminálů. Zde se sečítá s plánovaným diagramovým výkonem a tvoří tak okamžitou žádanou hodnotu výkonu pro konkrétní blok. Rozdělení výkonové korekce respektuje nákladové charakteristiky bloků tak, aby bylo dosaženo minima variabilních nákladů. Tento způsob přímého řízení umožňuje okamžitou reakci na odchylku výkonu od plánované dodávky do soustavy a tím minimalizuje odchylku obchodní bilance.

Základním cílem je řízení skupiny bloků B1 tak, aby byla minimalizována obchodní odchylka. Dalšími cíly řízení skupiny B1 je optimální rozdělení zatížení bloků zajišťující:

- minimalizaci proměnných provozních nákladů,
- respektování technologických omezení,
- zajištění okamžité náhrady poruchově sníženého nebo odpadlého výkonu využitím volné točivé rezervy bloků skupiny B1.

Systém SRV (skupinový rozdělovač výkonu) částečně řeší výpadky výroby, ale řešení v případě najíždění nebo odstavení zajišťuje dispečer na základě provozně ekonomických výpočtů v souladu s podmínkami kodexu PS. Blokové schéma SRV můžeme znázornit následovně.

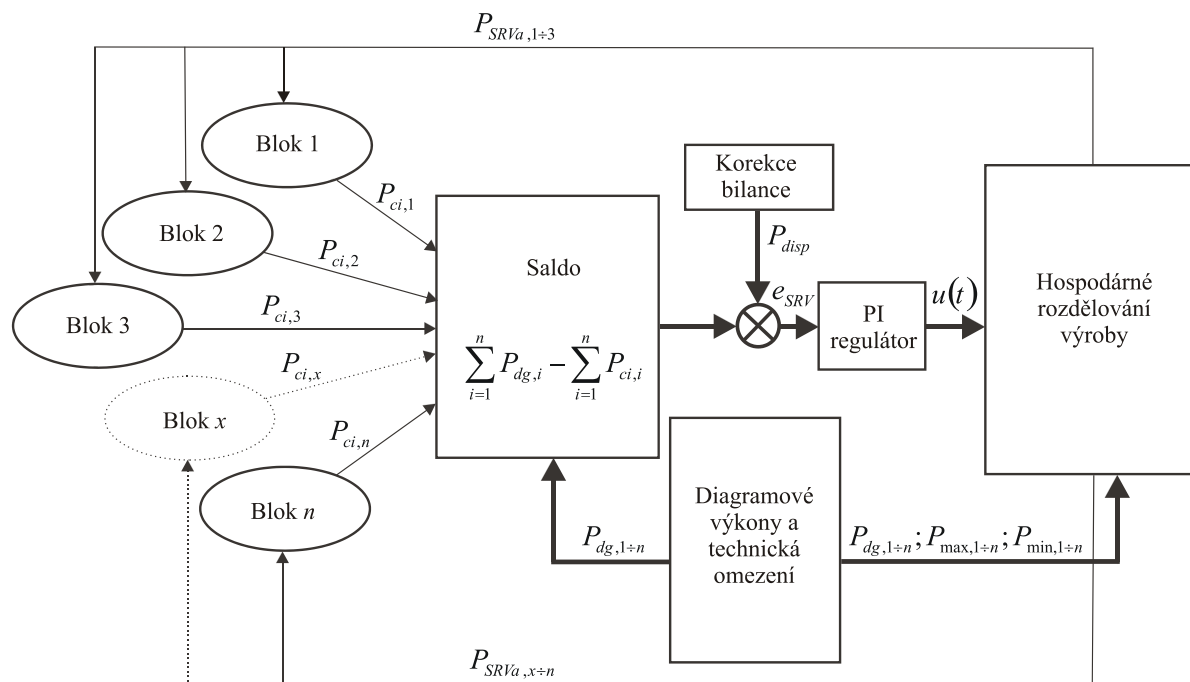
Počet elektrárenských bloků  $n$  se může každou obchodní periodou měnit dle požadavků denní přípravy provozu a obsluhy. Odchylka řízení SRV je vyhodnocována periodicky podle principiálního vzorce:

$$e_{SRV} = \sum_{i \in B} (P_{dg,i} \cdot OK_{dg,i}) - \sum_{i \in B} (P_{ci,i} \cdot OK_{pci,i}) + P_{disp}. \quad (6.3)$$

Kde:

$e_{SRV}$	odchylka řízení SRV,
$P_{dga,i}$	plánovaný výkon $i$ -tého bloku podle technického diagramu,
$P_{ci,i}$	skutečný výkon $i$ -tého bloku,
$OK_{dg,i}$	podmínka akceptace $i$ -tého bloku do výpočtu (nabývá hodnot 0 nebo 1),

- $OK_{pci,i}$  podmínka akceptace  $i$ -tého bloku do výpočtu (nabývá hodnot 0 nebo 1),  
 $P_{disp}$  korekce odchylky řízení zadaná obsluhou,  
 $i \in B$  označuje zpracování přes všechny bloky zařazené do skupiny řízení B.



Obrázek 56 - schéma blokového regulátoru (skupinového rozdělovače výkonu)

Diagramový výkon  $P_{dg}$  obsahuje aktuální hodnoty plánovaného výkonu bloku na příslušnou obchodní periodu, proto slouží na výpočet odchylky a pro hospodárné rozdělování výkonu jako vztažná hodnota.

Blok s názvem „Hospodárné rozdělování výroby“ zasílá na jednotlivé terminály elektráren podle aktuální hodnoty akční veličiny žádanou hodnotu, na kterou má příslušný blok změnit svůj vyráběný výkon. Tato hodnota je na Obrázek 56 označena jako aktuální výkon požadovaný skupinovým rozdělovačem výkonu PSRVa.

Algoritmus zajišťuje výpočet akčního zásahu (povelu ke korekci výkonu) pro eliminaci vstupující odchylky obchodní bilance Skupiny B. Je použit standardní PI regulátor s pevným nastavením parametrů a režimem sledování výstupu při omezení akčního zásahu (tj. při vyčerpání dostupné točivé rezervy podskupiny B1).

SRV je tedy využíván pro rozdělování akčního zásahu (povelu ke korekci výkonu) mezi bloky podskupiny B1, tj. bloky Skupiny B, které neposkytují žádné PpS. Využívá níže uvedené algoritmy pro rozdělování výroby. Jsou implementovány dvě základní metody rozdělování (lineární metoda s preferencí hodnoty korekce, úplné optimální rozdělení).

Lineární metoda s preferencí hodnoty korekce postupně stejnoměrně rozděluje výkon mezi bloky zařazené do regulace až do výkonových mezí bloků. Po dosažení výkonové meze je tento blok z další regulace už vynechán. Takto regulátor pokračuje až do vykrytí výkonové odchylky a úplného rozdělení výkonu (algoritmus nebere v potaz velikost variabilních nákladů).

Úplné optimální rozdělení respektuje velikost variabilních nákladů a problém rozdělení výkonové odchylky resp. rozdělení zásahu akční veličiny se řeší numericky metodou lineárního programování s úkolem minimalizace variabilních nákladů při zachování výkonových omezení daných bloků zapojených v regulaci.

## 6.8 Náklady na výrobu elektřiny

### 6.8.1 Dělení nákladů

Z hlediska závislosti nákladů na objemu výroby dělíme náklady na výrobu elektřiny, tepla a odsíření na:

- náklady proměnné,
- náklady stálé.

Náklady proměnné, které se mění s měnícím se objemem výroby, tvoří při výrobě elektřiny a tepla prakticky pouze náklady palivové. Zpravidla se uvádí, že jde o náklady lineární (proporcionální), což ovšem nesouhlasí se skutečným chováním těchto nákladů. Palivové náklady jsou typickým příkladem tzv. nákladů smíšených tj. nákladů, které se mění s měnícím se objemem výroby, mají však fixní jádro. Toto fixní jádro odpovídá spotřebě paliva při chodu naprázdno. Měrné palivové náklady jsou pro různou úroveň výroby různě velké. Přičemž proporcionální náklady, jak je známo, se na jednotku výroby nemění, jsou konstantní.

Ke stálým nákladům patří prakticky všechny ostatní náklady, které vznikají při výrobě elektřiny a tepla. Tyto náklady se ve své absolutní výši nemění nebo se mění jen zcela nepatrně, a to obvykle mimo jakoukoliv souvislost s objemem výroby. Jednotlivé položky proměnných a stálých nákladů jsou následující.

Proměnné náklady:

- spotřeba energetického paliva:
  - pevné palivo,
  - kapalné palivo,
  - plynné palivo,

- jaderné palivo.
- spotřeba elektřiny,
- spotřeba tepla,
- spotřeba vody,
- spotřeba hmot na úpravu spalin a popelovin,
- náklady vyplývající ze zatěžování životního prostředí,
- odvod na jaderný účet.

Stálé náklady:

- spotřeba ostatního materiálu,
- mzdové náklady,
- sociální náklady,
- opravy a udržování,
- odpisy,
- náhrady za užívání vodních děl,
- výnosy charakteru kalkulačních dobropisů,
- správní režie elektrárny,
- rezerva na generální opravy hlavního výrobního zařízení,
- rezerva na náhrady škod způsobených imisemi,
- rezerva na rekultivaci a asanaci skládek,
- jaderné rezervy,
- režie řízení divize výroba,
- režie řízení soustavy,
- ostatní náklady.

V oblasti elektrárenství se užívá metodika výpočtu nákladů, která ve svém jádru výpočtu rozlišuje tyto skupiny nákladů.

- provozní náklady,
- startovací náklady,
- náklady na dodávku tepla.

Tabulka 9 - struktura nákladů na provoz, najíždění a dodávku tepla

Název	Popis	Provozní	Startovací	Teplo
nákup paliva	náklady na nákup paliva	ano	ano	ano
dopravní	náklady na dopravu paliva	ano	ano	ano
emise CO <sub>2</sub>	náklady na povolenky CO <sub>2</sub>	ano	ano	ano
spotřební	spotřební náklady spojené s palivem	ano	ano	ano
lineární	náklady závislé lineárně na výkonu	ano	–	–
absolutní	absolutní náklady (hodina/start)	–	ano	–

Souhrn následujících nákladů označujeme jako palivové náklady:

- nákup paliva,
- dopravní,
- spotřební,
- lineární,
- absolutní.

Výpočty nákladů se obvykle vztahují k elektrárenskému bloku tzv. virtuální blok VB. Pro tyto bloky jsou v závislosti na generovaném netto výkonu určeny nákladové charakteristiky (provozní náklady). Nákladová netto charakteristika VB je nutná pro výpočet ekonomického nasazení palivových elektráren (uhelné a jaderné). Pro nepalivové elektrárny (vodní, přečerpávací a OZE) se zatím nákladová charakteristika neuvažuje. Výsledná nákladová charakteristika VB se stanovuje nejdříve pro kotel poté pro brutto výrobu a ve výsledku po odečtení vlastní spotřeby se stanoví výsledná netto charakteristika. Pro tvorbu nákladové charakteristiky kotle resp. jejich koeficientů K0, K1 a K2 jsou důležité náklady:

- nákup paliva,
- dopravní,
- emise CO<sub>2</sub>,
- spotřební – skládají se z nákladů na spotřebu vody, spotřebu hmot na úpravu spalin a popelovin a nákladů vyplývajících ze zatěžování živ. prostředí,
- lineární – v současnosti použity na zelený bonus (= příplatek k tržní ceně elektřiny, který může získat výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů elektřiny. Systém zelených bonusů je zakotven v zákoně č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů).

$$N_{kotel}^{nakl}(P(k)) = a_0^{nakl}(k) + a_1^{nakl}(k) \cdot P(k) + a_2^{nakl}(k) \cdot P(k)^2 \quad [\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}]. \quad (6.4)$$

Příčemž výpočet nákladových koeficientů je dán vztahy:

$$a_0^{nakl}(k) = a_0^{spotr}(k) \cdot K_0 [\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}], \quad (6.5)$$

$$a_1^{nakl}(k) = a_1^{spotr}(k) \cdot K_1 + C_{prov}^{lin}(e) [\text{Kč} \cdot \text{MW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}], \quad (6.6)$$

$$a_2^{nakl}(k) = a_2^{spotr}(k) \cdot K_2 [\text{Kč} \cdot \text{MW}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}]. \quad (6.7)$$

Kde:

$a_0^{spotr}(k), a_1^{spotr}(k), a_2^{spotr}(k)$	koeficienty spotřební charakteristiky $k$ -tého kotle,
$a_0^{nakl}(k), a_1^{nakl}(k), a_2^{nakl}(k)$	koeficienty nákladové charakteristiky $k$ -tého kotle
$C_{prov}^{lin}(e)$	měrné provozní lineární náklady $[\text{Kč} \cdot \text{MWh}^{-1}]$

### 6.8.2 Výpočet nákladové brutto charakteristiky virtuálního bloku

V případě více kotlů je nutno stanovit nákladovou brutto charakteristiku VB. Nákladová brutto charakteristika vyjadřuje závislost provozních nákladů na brutto výkonu. Příklad jednoho kotle je triviální, protože charakteristika VB je rovna charakteristice kotle. Příklad více kotlů je složitější. Pro zjednodušení předpokládáme, že jednotlivé kotle jsou zatěžovány stejným procentním podílem rozsahu mezi minimem a maximem. Takové zatížení sice nemusí vést k absolutně optimálnímu provozu, ale chyba bude zanedbatelná. Ve výpočtu uvažujeme samozřejmě pouze kotle, které jsou v dané hodině k dispozici.

Označme:

$P$	brutto výkon VB [MW],
$P^{kotel}(k)$	nasazený výkon $k$ -tého kotle [MW],
$P_{\min}^{kotel}(k)$	minimální výkon $k$ -tého kotle [MW],
$P_{\max}^{kotel}(k)$	maximální výkon $k$ -tého kotle [MW],
$P_{\min}^{kotel} = \sum_k P_{\min}^{kotel}(k)$	minimální výkon kotlů v provozu [MW],
$P_{\max}^{kotel} = \sum_k P_{\max}^{kotel}(k)$	maximální výkon kotlů v provozu [MW].

Kotle budou nasazovány v rozsahu mezi minimem a maximem podle participačního koeficientu  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{P - P_{\min}^{kotel}}{P_{\max}^{kotel} - P_{\min}^{kotel}} [-]. \quad (6.8)$$



Nasazení jednotlivých kotlů tedy bude

$$P^{kotel}(k) = P_{\min}^{kotel}(k) + \alpha \cdot [P_{\max}^{kotel}(k) - P_{\min}^{kotel}(k)] \text{ [MW]}. \quad (6.9)$$

Brutto nákladová charakteristika bude mít obecně tvar:

$$N_{brutto} \left( \sum_k P^{kotel}(k) \right) = A_0^{brutto} + A_1^{brutto} \cdot \sum_k P^{kotel}(k) + A_2^{brutto} \cdot \left( \sum_k P^{kotel}(k) \right)^2 \text{ [Kč} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}. \quad (6.10)$$

Zavedeme-li následující pomocné konstanty

$$C(k) = \frac{P_{\max}^{kotel}(k) - P_{\min}^{kotel}(k)}{P_{\max}^{kotel} - P_{\min}^{kotel}} [-], \quad (6.11)$$

$$D(k) = P_{\min}^{kotel}(k) - P_{\min}^{kotel}(k) \cdot C(k) [-] \quad (6.12)$$

a provedeme-li dosazení vztahu pro  $P^{kotel}(k)$  do vztahu pro brutto charakteristiku, dostaneme následující vztahy pro koeficienty brutto charakteristiky:

$$A_0^{brutto} = \sum_k \left( a_0^{nakl}(k) + a_1^{nakl}(k) \cdot D(k) + a_2^{nakl}(k) \cdot D(k)^2 \right) \text{ [Kč} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}, \quad (6.13)$$

$$A_1^{brutto} = \sum_k \left( a_1^{nakl}(k) \cdot C(k) + 2 \cdot a_2^{nakl}(k) \cdot C(k) \cdot D(k) \right) \text{ [Kč} \cdot \text{MW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}, \quad (6.14)$$

$$A_2^{brutto} = \sum_k \left( a_2^{nakl}(k) \cdot C(k)^2 \right) \text{ [Kč} \cdot \text{MW}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}. \quad (6.15)$$

Nákladová brutto charakteristika má tedy tvar:

$$N_{brutto}(P) = A_0^{brutto} + A_1^{brutto} \cdot P + A_2^{brutto} \cdot P^2 \text{ [Kč} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}. \quad (6.16)$$

### 6.8.3 Výpočet nákladové netto charakteristiky virtuálního bloku

Netto charakteristika VB vyjadřuje závislost nákladů na dodávce elektrického výkonu. Tato charakteristika eliminuje vliv vlastní spotřeby.

Označme:

$P_{vs}$  vlastní spotřeba [MW],

$P_{netto}$  netto elektrický výkon [MW],

$A_{vs}$  absolutní člen vznikající při aproximaci spotřební charakteristiky vl. spotřeby [MW],

$L_{vs}$  lineární člen vznikající při aproximaci spotřební charakteristiky vl. spotřeby [MW],

$Z_{VS}$  člen charakterizující ostatní spotřebu elektrárny (hlavně se jedná o teplofikaci), který je závislý na počtu nasazených bloků [MW].

Tento člen se rovná:

$$Z_{VS} = \frac{VS_{elna}^{ost}}{N_{blok} - N_{off}} \text{ [MW]}. \quad (6.17)$$

Kde:

$VS_{elna}^{ost}$  ostatní spotřeba elektrárny [MW],

$N_{blok}$  počet bloků elektrárny [-],

$N_{off}$  počet odstavených bloků [-].

Z rovnice pro vlastní spotřebu

$$P - P_{netto} = A_{VS} + L_{VS} \cdot P + Z_{VS} \text{ [MW]}, \quad (6.18)$$

spočteme

$$P = \frac{P_{netto} + A_{VS} + Z_{VS}}{1 - L_{VS}} \text{ [MW]}. \quad (6.19)$$

Vliv vlastní spotřeby elektrárny na charakteristiku poměrného přírůstku elektrárenského bloku lze přibližně respektovat na základě spotřební charakteristiky vlastní spotřeby jako celku:  $P_{VS} = f(P)$ . Derivací této charakteristiky získáme charakteristiku poměrného přírůstku  $b_{VS} = f'(P)$ . Poměrný přírůstek virtuálního bloku, získaný bez respektování vlastní spotřeby

$$b_{VB} = \frac{dM_{pal}}{dP} \text{ [GJ} \cdot \text{MW}^{-1}\text{]}. \quad (6.20)$$

korigujeme na přibližný vliv vlastní spotřeby:

$$P_{netto} = P - P_{VS} \text{ [MW]}, \quad (6.21)$$

$$\frac{dP_{netto}}{dP} = 1 - \frac{dP_{VS}}{dP} = 1 - b_{VS} \text{ [-]}, \quad (6.22)$$

$$b_{kor} = \frac{dM_{pal}}{dP_{netto}} = \frac{dM_{pal}}{dP} \cdot \frac{dP}{dP_{netto}} = b_{VB} \cdot \frac{1}{1 - b_{VS}} \text{ [GJ} \cdot \text{MW}^{-1}\text{]}. \quad (6.23)$$

Pro kladný brutto výkon a pro určité nasazení bloků elektrárny označme pomocné konstanty. Výsledný vztah  $b_{kor}$  slouží pouze k odvození vztahu popisující konstantu  $k$ .

$$k = \frac{dP}{dP_{netto}} = \frac{1}{1 - b_{VS}} \text{ [-]} \quad (6.24)$$

Další pomocná konstanta je

$$q = \frac{A_{VS} + Z_{VS}}{1 - L_{VS}} [-]. \quad (6.25)$$

Potom přepíšeme vztah pro brutto výkon:

$$P = k \cdot P_{netto} + q \text{ [MW]}. \quad (6.26)$$

Dosazením do celkové nákladové charakteristiky

$$N_{brutto}(P) = A_0^{brutto} + A_1^{brutto} \cdot P + A_2^{brutto} \cdot P^2 \text{ [Kč} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}, \quad (6.27)$$

dostaneme

$$N_{netto}(P_{netto}) = A_0^{brutto} + A_1^{brutto} \cdot (k \cdot P_{netto} + q) + A_2^{brutto} \cdot (k \cdot P_{netto} + q)^2 \text{ [Kč} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}. \quad (6.28)$$

Výsledkem odvozeným z rozepsání předchozího vztahu jsou koeficienty netto nákladové charakteristiky:

$$\begin{aligned} A_0^{netto} &= A_0^{brutto} + A_1^{brutto} \cdot q + A_2^{brutto} \cdot q^2 \text{ [Kč} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}, \\ A_1^{netto} &= A_1^{brutto} \cdot k + 2 \cdot A_2^{brutto} \cdot k \cdot q \text{ [Kč} \cdot \text{MW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}, \\ A_2^{netto} &= A_2^{brutto} \cdot k^2 \text{ [Kč} \cdot \text{MW}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}. \end{aligned} \quad (6.29)$$

Výsledná netto charakteristika se používá pro ekonomickou optimalizaci nasazení palivových elektráren. Charakteristika je ovlivněna nasazením bloků, protože obsahuje vlastní spotřebu, která je závislá na nasazení bloků. Proto se pro účely nasazení bloků (unit commitment) použije netto charakteristika stanovená na základě vlastní spotřeby spočtené pro provoz všech disponibilních bloků a po provedení nasazení bloků se netto charakteristika přepočítá podle vlastní spotřeby odpovídající skutečnému nasazení bloků.

V praxi je ovšem nutno kalkulovat ještě s dalším druhem nákladů, které nastávají v době startu bloku, tento start je ještě možno dělit na studený a teplý (pro výpočet budeme uvažovat start za studena).

Obecně můžeme napsat, že množství tepla nutného na najetí bloku se spočte:

$$M_{pal}^{start}(k) = A_{pal}(k) + B_{pal}(k) \cdot \left( 1 - e^{-\frac{T_{odst}(t)}{T_{pal}(k)}} \right) \text{ [GJ]}. \quad (6.30)$$

Pro přesné vyjádření nákladů na najetí si je nutné uvědomit další členění těchto nákladů. Celkové palivové náklady nutné pro najetí bloku jsou:

$$N_{start}^{pal}(k) = N_{start}^{nak}(k) + N_{start}^{trans}(k) + N_{start}^{spotr}(k) + N_{start}^{abs}(k) \text{ [Kč]}. \quad (6.31)$$

Kde:

- $N_{start}^{nak}(k)$  náklady na nákup paliva nutného pro najetí bloku,  
 $N_{start}^{trans}(k)$  náklady na dopravu paliva nutného pro najetí bloku,  
 $N_{start}^{spotr}(k)$  ostatní spotřební náklady nutné pro najetí bloku (skládají se z nákladů na spotřebu vody, spotřebu hmot na úpravu spalin a popelovin a nákladů vyplývajících ze zatěžování živ. prostředí),  
 $N_{start}^{abs}(k)$  absolutní náklady spojené s najížděním bloku, jejich hodnota není ovlivněna dobou odstávky bloku.

Pokud by mělo být vyjádření úplné je nutné ještě k palivovým nákladům přičíst náklady na povolenky, které je nutné také uvažovat v souvislosti s najížděním:

$$N_{start}(k) = N_{start}^{pal}(k) + N_{start}^{CO2}(k) \text{ [Kč]}. \quad (6.32)$$

**Tabulka 10 - startovací náklady**

Náklady	Výpočet
nákup paliva	$N_{start}^{nak}(k) = M_{pal}^{start}(k) \cdot \frac{\sum_i p_{start}(e,i) \cdot Q_i^r(e,i) \cdot C_{pal}(i)}{\sum_i p_{start} \cdot Q_i^r(e,i)}$
dopravní	$N_{start}^{trans}(k) = M_{pal}^{start}(k) \cdot \frac{\sum_i p_{start}(e,i) \cdot C_{trans}(e,i)}{\sum_i p_{start}(e,i) \cdot Q_i^r(e,i)}$
emise CO2	$N_{start}^{CO2}(k) = C^{CO2}(k) \cdot \frac{\sum_i p_{start}(e,i) \cdot Q_i^r(e,i) \cdot M_{mer}^{CO2}(e,i)}{\sum_i p_{start}(e,i) \cdot Q_i^r(e,i)} \cdot M_{pal}^{start}(k)$
spotřební	$N_{start}^{spotr}(k) = M_{pal}^{start}(k) \cdot C_{start}^{spotr}(e)$
absolutní	$N_{start}^{abs}(k) = C_{start}^{abs}(e)$

## 6.9 Krátkodobé optimalizace portfolia (=optimalizace na zatížení)

Úloha ekonomické krátkodobé optimalizace provozu výrobního portfolia je základní a zároveň výpočetně složitý úkol. Výrobce (dispečink) disponující určitým výrobním portfoliem potřebuje přesně určit ekonomicky nejvýhodnější kombinaci nastavení zdrojů a s tím spojeného pokrytí PpS a obchodního závazku. Přičemž disponibilní skladba portfolia

v dané chvíli je určena jinou úlohou a to dlouhodobou optimalizací provozu, která vychází z faktů určených tepelnými kontrakty, servisní smlouvou, odstávkami, vynucenými provozu atd. Složitost řešení úlohy spočívá zejména v tom, že optimální skladbu zdrojů nelze stanovit pouze pro jeden provozní stav, nutno optimalizovat vždy delší období, neboť jen tak lze ocenit ekonomickou výhodnost krátkodobého spuštění nebo odstavení nového elektrárenského bloku. V rozsáhlém portfoliu zdrojů nelze vždy předem stanovit účelnost spuštění nebo odstavení určitého elektrárenského bloku, mnohdy je zapotřebí provést několik variantních výpočtů pro různé bloky. Čím více omezujících podmínek přidáme do výpočtu, tím delší je výpočet optimálního nastavení provozu celé skupiny.

Dříve než přistoupíme k výkladu vlastní metodiky výpočtu optimální struktury elektrárenských zdrojů, blíže proanalyzujeme vazby mezi spotřebními charakteristikami a charakteristikami poměrných přírůstků. Ze spotřební charakteristiky elektrárenského bloku lze stanovit pro každý provozní stav měrnou spotřebu a poměrně přírůstky spotřeby. Jelikož při optimalizaci provozu používáme jako kritérium efektivity provozní náklady, je účelně spotřební charakteristiku nahradit charakteristikou. Stanovujeme pak měrné náklady na provoz bloku a poměrné přírůstky nákladů při provozu bloku s daným zatížením.

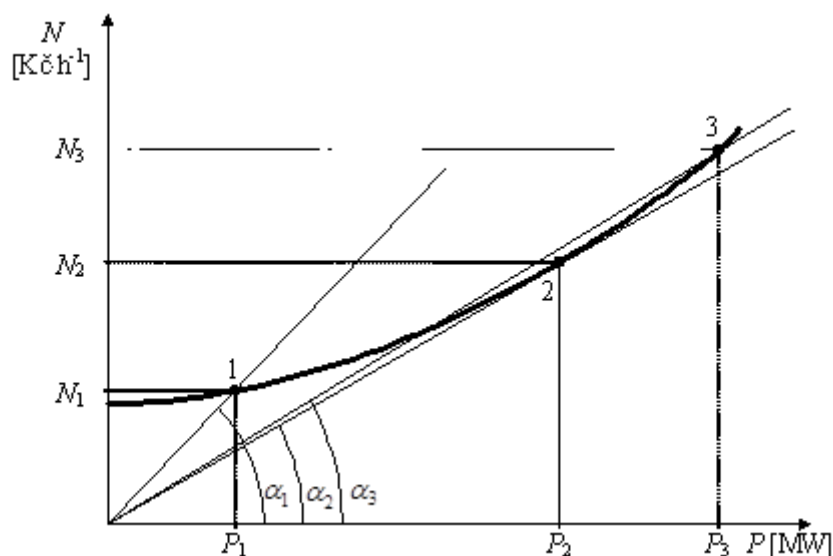
Měrné náklady na provoz bloku se mění se zatížením bloku, jsou tedy dány poměrem

$$n_i = \frac{N_i}{P_i} [\text{Kč}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MW}^{-1} ; \text{Kč}\cdot\text{h}^{-1}, \text{MW}]. \quad (6.33)$$

Z Obrázek 57 je zřejmé, že

$$n_i = \frac{N_i}{P_i} = \text{tg } \alpha_i \quad (6.34)$$

tj. měrné náklady jsou dány tangenty úhlů spojnic pracovních bodů na charakteristice nákladů s počátkem. Minimální měrné náklady jsou při provozu bloku s výkonem  $P_2$ , kdy  $\text{tg } \alpha_2$  je nejmenší ze všech možných  $\text{tg } \alpha$ . Spojnice pracovního bodu 2 s počátkem je zřejmě tečnou, vedenou z počátku ke spotřební charakteristice.



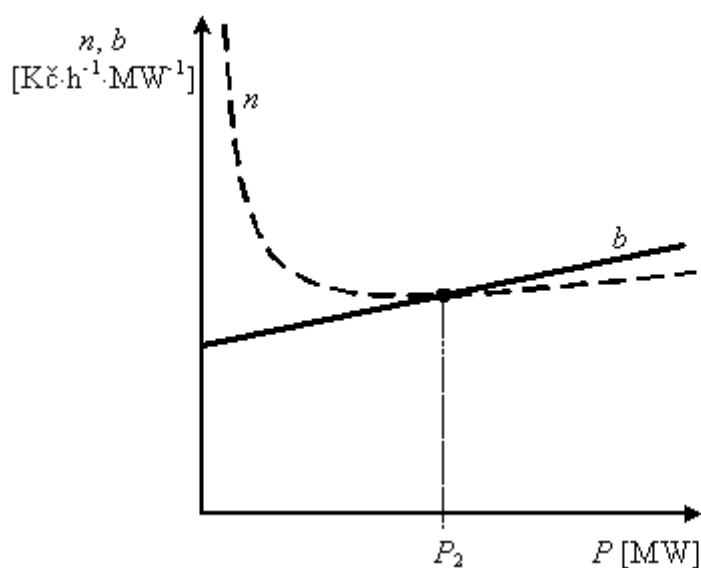
Obrázek 57 - spotřební charakteristika resp. grafická definice měrných nákladů

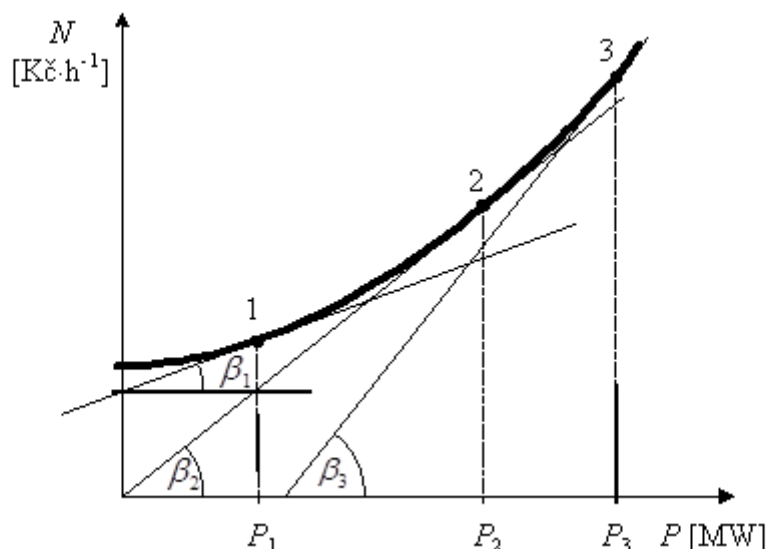
Poměrný přírůstek nákladů  $b$  je dán derivací charakteristiky nákladů podle výkonu:

$$b = \frac{dN}{dP}. \quad (6.35)$$

Poměrné přírůstky nákladů v pracovních bodech na charakteristice nákladů jsou tedy dány tečnami k charakteristice nákladů v těchto bodech. Platí proto vztah

$$b_i = \left. \frac{dN}{dP} \right|_{P=P_i} = \operatorname{tg} \beta_i. \quad (6.36)$$

Obrázek 58 - charakteristika měrných nákladů a poměrných přírůstků  $b$



Obrázek 59 - spotřební charakteristika resp. grafická definice poměrných přírůstkových nákladů

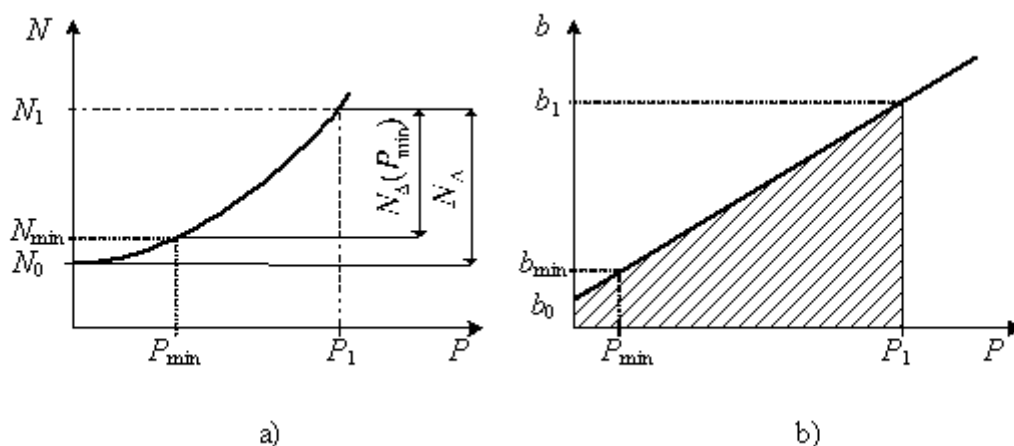
Z porovnání Obrázek 59 a Obrázek 57 je zřejmé, že měrné náklady  $n_i$  a poměrný přírůstek nákladů  $\beta_i$  se liší ve všech pracovních bodech, kromě pracovního bodu, ve kterém

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \operatorname{tg} \beta_i \quad (6.37)$$

jsou stejné. Je to pracovní bod daný tečnou vedenou z počátku k charakteristice nákladů (provoz s nejmenšími měrnými náklady). V tomto pracovním bodu se musí protnout charakteristika měrných nákladů a charakteristika poměrných přírůstků (Obrázek 58).

Charakteristiky poměrných přírůstků nákladů elektrárenských bloků se nejčastěji používají při výpočtech hospodárného rozdělení zatížení mezi paralelně pracující elektrárenské bloky. Při některých výpočtech se vyskytuje ještě další použití těchto charakteristik, a sice stanovení nákladů na výrobu elektrické energie daného bloku pomocí jeho známé charakteristiky poměrných přírůstků.

Jelikož charakteristika poměrných přírůstků je derivační čarou charakteristiky nákladů, je plocha pod charakteristikou poměrných přírůstků rovna přírůstku nákladů při zvýšení výkonu bloku z chodu naprázdno do daného provozního bodu (Obrázek 60):



Obrázek 60 - kalkulace nákladů z poměrných přírůstků nákladů

$$\int_0^{P_1} b(P) dP = N_{\Delta} \quad (6.38)$$

Celkové náklady na provoz bloku s výkonem  $P_1$  jsou dány součtem nákladů na chod naprázdno nákladů naprázdno a nákladů  $N_{\Delta}$ :

$$N_1 = N_0 + N_{\Delta} \quad (6.39)$$

Chod bloku s nulovým výkonem nepřichází v praxi v úvahu. Každý elektrárenský blok má zadaný svůj minimální provozní výkon (většinou je tento výkon limitován minimálním výkonem kotle). Proto vzhledem k tomuto omezení stanovujeme celkové náklady na provoz bloku s výkonem  $P_1$  ze vztahu (6.38), takto

$$N_1 = N_{\min} + N_{\Delta}(P_{\min}) = N_{\min} + \int_{P_{\min}}^{P_1} b(P) \cdot dP \quad (6.40)$$

Mnohdy při výpočtech linearizujeme průběh charakteristiky poměrných přírůstků a upravujeme vzorec (6.40) na (6.41)

$$N_1 = N_{\min} + N_{\Delta}(P_{\min}) \approx N_{\min} + \frac{b_{\min} + b_1}{2} \cdot (P_1 - P_{\min}), \quad (6.41)$$

ve kterém jsme  $N_{\Delta}(P_{\min})$  vypočetli přibližně, a sice jako plochu lichoběžníku ( $P_{\min}$ ,  $P_1$ ,  $b_1$ ,  $b_{\min}$ ) na Obrázek 60. V případě, že chceme stanovit náklady za období  $\tau$  při měnícím se výkonu bloku během tohoto období, použijeme vzorec (6.42).

$$N(\tau) = N_{\min} \cdot \tau + \int_0^{\tau} \int_{P_{\min}}^{P(t)} b(P) \cdot dt \cdot dP \quad (6.42)$$



Pokud bychom hledali výkon bloku, při kterém je z ekonomického hlediska výhodné blok odstavit s přihlédnutím pouze k nákladům na jeho provoz a ke změně nákladů na provoz všech zdrojů, bylo by rozhodovací kritérium jednoduché. Ekonomicky je výhodné odstavit blok tehdy, kdy jsou náklady na jeho provoz větší než náklady na zvýšení zatížení ostatních elektráren při odstaveném bloku:

$$N_1(P_1) - N_{\Delta}(P_1) \geq 0. \quad (6.43)$$

Kde:

$P_1$  je výkon odstaveného bloku,

$N_1(P_1)$  jsou náklady na provoz odstaveného bloku s výkonem  $P_1$ ,

$N_{\Delta}(P_1)$  je zvýšení nákladů při vzrůstu výkonu elektráren, které zůstaly v provozu, o výkon odstavovaného bloku  $P_1$ . Náklady  $N_1$  jsou dány měrnými náklady odstavovaného bloku  $n_1(P_1)$ , tj.

$$N_1(P_1) = n(P_1) \cdot P_1. \quad (6.44)$$

Zatížení  $(n-1)$  elektrárenských bloků musí po odstavení bloku vzrůst o výkon tohoto bloku  $P_1$ , tj. v soulase s Obrázek 61 z hodnoty zatížení  $P_s'$ , které nesly tyto elektrárny před odstavením bloku, na hodnotu zatížení  $P_s$ , které musí elektrárny dodat po odstavení bloku, aby byla opět v ES vyrovnaná výkonová bilance. Pro provoz  $(n-1)$  elektrárenských bloků platí nová charakteristika poměrných přírůstků, kterou získáme z celkové charakteristiky poměrných přírůstků všech  $n$  elektrárenských bloků, odečtením charakteristiky poměrných přírůstků odstavovaného elektrárenského bloku.

Na Obrázek 61 je původní charakteristika poměrných přírůstků označena „n“ nová charakteristika poměrných přírůstků jako „c“.

Zvýšení nákladů  $(n-1)$  bloků je v soulase s (6.38) dáno výrazem

$$N_{\Delta}(P_1) = \int_{P_s'}^{P_s} b_c(P) dP \quad (6.45)$$

nebo podle přibližného vzorce (6.39)

$$N_{\Delta}(P_1) = \frac{b_{sc}' + b_{sc}}{2} \cdot P_1. \quad (6.46)$$

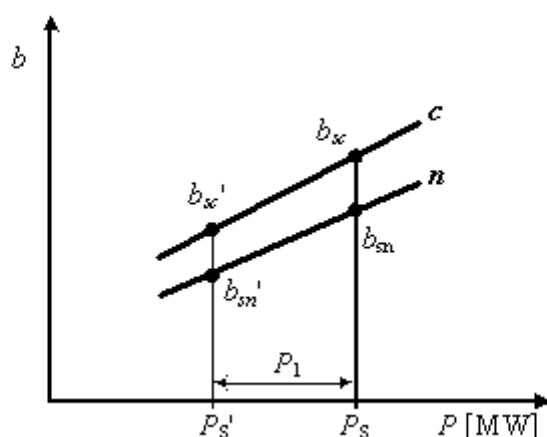
Dosazením z (6.44) a (6.45) do (6.43) získáme kritérium pro odstavení bloku

$$n_1(P_1) \cdot P_1 \geq \int_{P_s'}^{P_s} b_c(P) dP \quad (6.47)$$

nebo zjednodušené kritérium, použijeme-li vzorec (6.46)

$$n_1(P_1) \cdot P_1 \geq \frac{b_{sc}' + b_{sc}}{2} \cdot P_1. \quad (6.48)$$

Odkud získáme vztah  $n_1(P_1) \geq \frac{b_{sc}' + b_{sc}}{2}$ .



Obrázek 61 - příklad nárůstu celkových nákladů při výpadku bloku

Kritérium (6.47) resp. (6.48) bylo odvozeno za předpokladu, že odstavení bloku nemá vliv na velikost ztrát v přenosové a rozvodné soustavě. Vliv ztrát v ES nebudu v této práci rozebírat, neboť nemají vliv na řízení výroby elektrické energie z hlediska výrobce.

V reálných provozních podmínkách kromě nákladů na provoz bloku  $N_1(P_1)$  při krátkodobém odstavení bloku a nákladů na zvýšení výkonů ostatních elektráren  $N_\Delta(P_1)$  musíme brát v úvahu ještě celou řadu faktorů, prodražujících odstavení bloku. Jsou to vícenáklady, vznikající během odstavení a stejně tak při opětovném najíždění bloku.

Náklady na spuštění bloku po jeho krátkodobém odstavení na dobu  $T_{odst}$ , jsou závislé na této době. Označme je proto  $N_{start}(T_{odst})$ . Jedna z jejich složek je dána tím, že odstavené zařízení odevzdá do okolí akumulované teplo, které bylo nutné pro jeho normální provoz a které při spuštění odstaveného bloku budeme muset všem zařízením opět dodat, aby blok mohl normálně pracovat. To je také příčinou toho, že zařízení po nějakou dobu po spuštění pracuje se sníženou účinností. Další složky nákladů  $N_{start}$  jsou uvedeny v kapitole 6.8.1 věnované dělení nákladů.

Takže kritérium pro odstavení bloku (6.43) nutno minimálně doplnit o vícenáklady na opětné jeho spuštění nebo při pohledu z opačné strany náklady na spuštění zohlednit při rozhodování o najetí daného bloku.

$$N_1(P_1) - N_{\Delta}(P_1) - N_{start}(T_{odst}) \geq 0 \quad (6.49)$$

Další vícenáklady, které by bylo zapotřebí uplatnit v ekonomickém kritériu pro odstavení elektrárenského bloku, jsou spojeny se snížením spolehlivosti vyrábět sjednaný celkový činný výkon, neboť snižujeme točící se výkonovou rezervu zdrojů a tím vzrůstá pravděpodobnost platby za zápornou odchylku. Dále je to velmi závažný faktor zvýšeného opotřebení zařízení, který by se měl respektovat zvláště při častém odstavování a najíždění elektrárenských zařízení. Také zvýšená pravděpodobnost, že dojde během spouštění k poruše některého zařízení by se měla vhodným způsobem uplatnit. Ovšem respektovat všechny tyto faktory při výpočtu je velice obtížné, zejména z toho důvodu, že není dostatek informací pro jejich exaktní vyjádření.

Nákladovými rovnicemi lze popsat všechny téměř všechny bloky portfolia. Některé typy elektráren se popisují trochu složitěji zejména díky mixu v primárním palivu a návaznosti na kontrakty dodávky primárního paliva, jenž jsou často svazovány se současnými tržními podmínkami (např. plynové a kombinované cykly CCGT).

V literatuře jsou poté uváděny metody pro optimální výpočet zatížení mezi jednotlivé elektrárny právě na základě jejich nákladových charakteristik. Jak již bylo naznačeno na začátku této kapitoly, na úlohu se můžeme dívat dvojím způsobem dle smyslu dané optimalizace. Prvním způsobem řešeným v této kapitole je optimální výkonové rozdělení na základě minimalizace výkonové odchylky vůči obchodnímu diagramu. Tato optimalizace je záležitostí zejména dispečerského řízení. Výpočetně jsou kladeny požadavky na rychlost a pružnost výpočtu optimálního provozu díky reálnému řízení a nejsou přípustné výpadky v řízení.

Výpočetně si lze tuto úlohu určit jako úlohu tzv. Lineárního programování, kdy hledáme minimum nákladové resp. účelové funkce.

## 6.10 Lineární optimalizace

Lineární programování je formou matematického programování a s nástroji podporující tento druh optimalizace se lze setkat ve více programovacích jazycích, uživatelsky nejrozšířenější prostředí pro vývoj matematických modelů je bezpochyby

program Matlab, který tímto nástrojem disponuje a automaticky sestavuje a řeší úlohu LP na základě definovaných omezujících podmínek a vektoru řešení.

Matematický model se tedy skládá z účelové funkce a omezujících podmínek. Vektor řešení (6.50), který označuje možnosti řešení optimalizačního problému.

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (6.50)$$

Optimální je tedy taková struktura výroby, při níž rozhodující veličina nabývá extrémních hodnot (v našem případě hledáme tedy minimum nákladového rozložení). Rozhodující veličinu vyjadřujeme pomocí účelové funkce. Účelová funkce je funkce vektoru řešení v závislosti na určené veličině. Opět lze interpretovat tuto účelovou funkci jako závislost výkonu nákladů na velikosti dodávaného výkonu, kde hledáme taková nastavení výkonových hladin zdrojů při kterých jsou náklady minimální. Pro výkonové rozsahy zdrojů existuje mnoho omezení (např.  $P_{\min}$ ,  $P_{\max}$ , omezení výkonových pásem pro najíždění technologických celků, PpS, vlastní spotřeba atd.). Tyto omezení jsou důležité pro samotný výpočet a nazveme je omezující podmínky vlastní. Jejich obecný zápis lze definovat jako:

$$g_i(\mathbf{x}) \leq b_i, g_i(\mathbf{x}) \geq b_i, g_i(\mathbf{x}) = b_i \quad (6.51)$$

V návaznosti na námi řešenou úlohu funkce  $g_i(\mathbf{x})$  vyjadřuje závislost výkonu na technických omezeních a určuje vnější podmínky řešení optimalizace (6.52).

$$\sum_{i=1}^n P_i \geq P_{\min}, \sum_{i=1}^n P_i \leq P_{\max} \quad (6.52)$$

Matematickou formulaci LP lze zapsat následovně.

$$\begin{pmatrix} a_{11}x_1 & \cdots & a_{1n}x_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1}x_1 & \cdots & a_{mn}x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix} \quad (6.53)$$

Ve vztahu k výkonu lze interpretovat jako

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12}P_1 & a_{13}P_1^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2}P_m & a_{m3}P_m^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_1 \\ \vdots \\ N_m \end{pmatrix} \quad (6.54)$$

Zde hledáme extrém kvadratické funkce

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_mx_m \quad (6.55)$$

Po dosazení výkonů a marginálních přírůstků

$$z = \Delta N_1(P_1)/P_{Load} + \Delta N_2(P_2)/P_{Load} + \cdots + \Delta N_m(P_m)/P_{Load} \quad (6.56)$$

$$z = \Delta \mathbf{N}^T \cdot \mathbf{P} \rightarrow \text{extrém (min)} \quad (6.57)$$

Takto definované matice již lze vypočítat matematickými metodami a nástroji. Nejznámějším algoritmem řešícím tuto úlohu je algoritmus Simplexový, jeho vnitřní proces nebude v této

práci dále probírá, tento řešič lze využít v programu Matlab, pro jeho volání existuje funkce  $x=\text{linprog}(f,A,b)$ , kde za input parametry dosadíme výše specifikované matice.

## 6.11 Modelování a predikce cen elektřiny

Všechna fakta řešená a určená v předchozí kapitole ve své podstatě zahrnují technický dispečink zdrojů. Jak již bylo dříve řečeno snaha o maximalizace marže a vznik tržního prostředí v oblasti obchodu s elektřinou daly podklady k obchodnímu pojetí řízení a optimalizaci. Ta se stala podstatnou zejména v době, kdy díky poklesu velkoobchodních cen elektřiny se hodnota marginálních nákladů výrobních zdrojů přiblížila cenové křivce spotových cen elektřiny, zvyšuje se podíl obnovitelných zdrojů na produkci elektřiny a tím zvyšují regulační požadavky na řízení přenosové soustavy. Zvýšená poptávka a rozvoj v oblasti energetiky zapříčinil vznik obchodních oblastí a trhů, kde je cenotvorba určena různorodými fundamentálními rysy, které jsou charakteristické pro danou oblast (disponibilita přenosových přeshraničních kapacit, velikost instalovaného výkonu v obnovitelných zdrojích, disponibilita konvenčních zdrojů, teplota, počasí, množství srážek atd.). Velice jednoduše lze konstatovat, že při prodeji a dispečinku vlastní výroby je vhodné pro maximalizaci marže vybrat trh s nejvyšším předpokladem vlastního zisku z prodeje. Pro toto pojetí je nezbytným předpokladem dobrá energetická infrastruktura a dostatečně rozvinuté tržní prostředí v daných zemích.

Jestliže chceme úspěšně tržně optimalizovat provoz musíme mít možnost nějakým způsobem přistupovat k trhu s elektřinou. Jak již bylo řečeno, tržní prostředí v tomto ohledu je obecně specifické pro danou tržní oblast. Vlastní trhy se za účelem zvýšení vnější atraktivity a hledání potencionálně nových účastníků snaží určitým způsobem a co možná nejvíce zatraktivnit a zjednodušit podmínky účasti na trhu. Svoji roli v tomto ohledu hrají faktory jako přeshraniční propojení soustavy a kapacity na něm dostupné, ceny těchto kapacit (obecně dvoustranné aukce), existence třetích stran (bank) pro převzetí platební zodpovědnosti účastníků, princip clearingů, stabilita chodu atd.

Lze říci, že co se týče rozvoje a úrovně trhů z historického hlediska můžeme hovořit o dvou hlavních Evropských trzích s elektřinou:

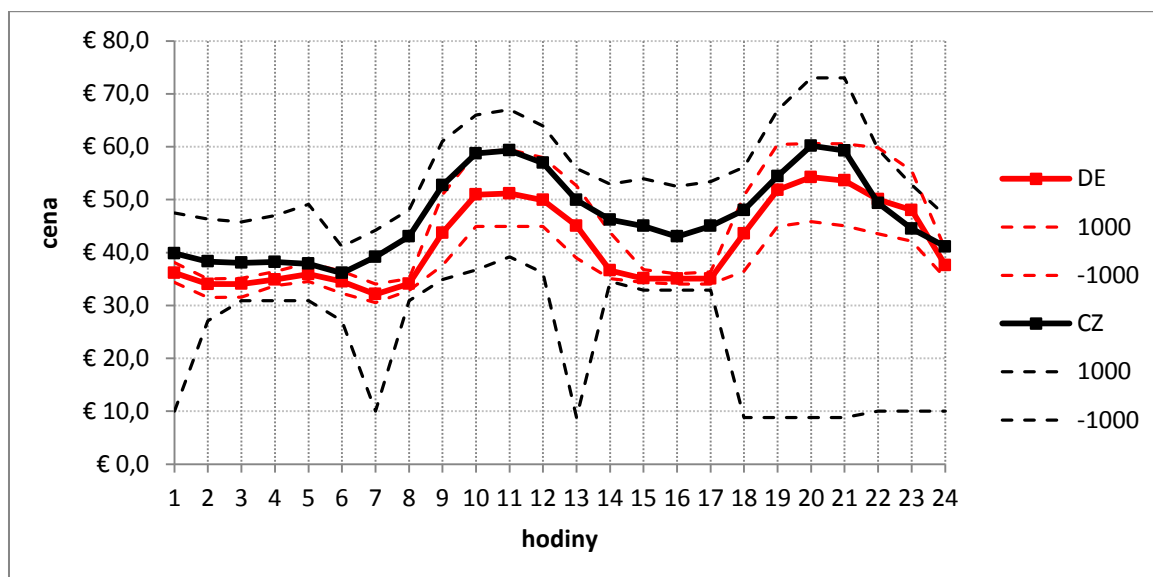
- **EEX (EuropeEnergyExchange)**

Tento Německý trh je v současnosti největším evropským trhem s elektřinou na mezinárodní úrovni. Trh je, jak na futures produkty s dodávkou do 6 let, tak pro spot na day-ahead bázi v hodinových a blokových (peak, offpeak, base, weekend atd.) intervalech. Pro dodávku existuje 5 zón (TSO). EEX též zajišťuje trh se zemním plynem (TTF, NCG) a polenkami CO<sub>2</sub>.

- **NordPool**

První mezinárodní trh s elektřinou, společně se skandinávskými zeměmi mohou přistoupit v rovném měřítku i zahraniční účastníci. V současné době se trhu účastní již přes 300 účastníků z více jak 10 zemí. Ceny stanovovány elektronicky formou dvoustranné aukce s centrálním vyhodnocením nashromážděných bid a ask nabídek jednotlivých účastníků pro 24 hodinových intervalů. Název trhu pro spotové obchody s fyzickou dodávkou je Elspot. Nordpool se stal prvním trhem pro obchod s CO<sub>2</sub> povolenkami (EUA).

Z hlediska spotového obchodu existují samozřejmě i další trhy, které buď již prožily své nejlepší roky a jsou nyní v útlumu (APX) nebo trhy, které jsou nyní v rozvoji (východní trhy). V případě, že budeme uvažovat výrobní na území ČR lze říci, že pro potřeby optimalizace tohoto výrobního portfolia je velice příhodné zvolit jako centrální místo pro obchodní optimalizaci trh EEX, jakožto nynější největší trh s elektřinou v Evropě. Při krátkodobé optimalizaci tedy majoritně využijeme EEX spotového trhu, jenž vytváří cenu elektřiny v daném regionu a je trhem velice likvidním (cca 600GWh/den) tzn. nehrozí v něm takovým způsobem dosažení extrémních cenových výkyvů. Prozatím minoritně budeme využívat domácího krátkodobého trhu, který by nemusel jednotlivé hodinové výkonové objemy v plné míře akceptovat resp. větší objemy by mohly dosti ovlivnit sensitivitu dané ceny. Abychom tuto hypotézu mohli prakticky dokázat musel být navrhnut simulační model, který na základě vstupních křivek nabídky a poptávky simuluje vlastní mechanismus sesouhlasení. Pro získání sensitivity vkládáme do takto vytvořeného modelu variabilní vstupní data a zkoumáme vliv vstupních výkyvů na finální cenu viz Obrázek 62, kde je simulována sensitivity na hodinová přírůstek/nedostatek o  $\pm 1000\text{MW/h}$  a je také jasně vidět rozdílná likvidita obou trhu, tedy tuzemského a německého. Poptávková a nabídková křivka jsou veřejnou záležitostí a jejich modifikace se tedy provádí na reálných datech jejich posunem po výkonové ose, tím je docíleno simulace větších vstupních výkonových objemů do/z trhu. Modelace sensitivity a tedy proces samotného sesouhlasení bude více rozebrána v pozdější kapitole v souvislosti s návrhem a kalibrací predikčního cenového modelu.



Obrázek 62 - objemová sensitivita českého a německého spotového trhu (data platná pro 6.4.2013)

Díky tomu, že EEX je centrálním evropským trhem, soustředí se na jeho pozorování celá řada institucí nejen z řad účastníků, ale také privátní analytické firmy. Toto pozorování má za úkol modelovat a simulovat chování trhu. Bohužel prozatím neexistuje instituce, která dokáže s dostatečnou přesností predikovat tu pro účastníka trhu nejcennější informace a to hodinovou predikci cen elektřiny. Tato predikce se může v budoucnu uplatnit pro účely čistě spekulativního charakteru nebo zejména pro účely tržní krátkodobé optimalizace výroby portfolia. Vývoj tohoto predikčního modelu bude také hlavní vědecká část této práce.

Do krátkodobé optimalizace zařadíme modelování na bázi day-ahead a intraday predikce. Oba druhy predikce jsou v mnou navrženém modelu velice charakteristické a dá se říci na sobě závislé. Cena na intradenním trhu velice úzce koreluje se spotovými cenami předchozího dne. Jejich vztah lze statisticky popsat korelačním koeficientem.

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = 0,86$$

(6.58)

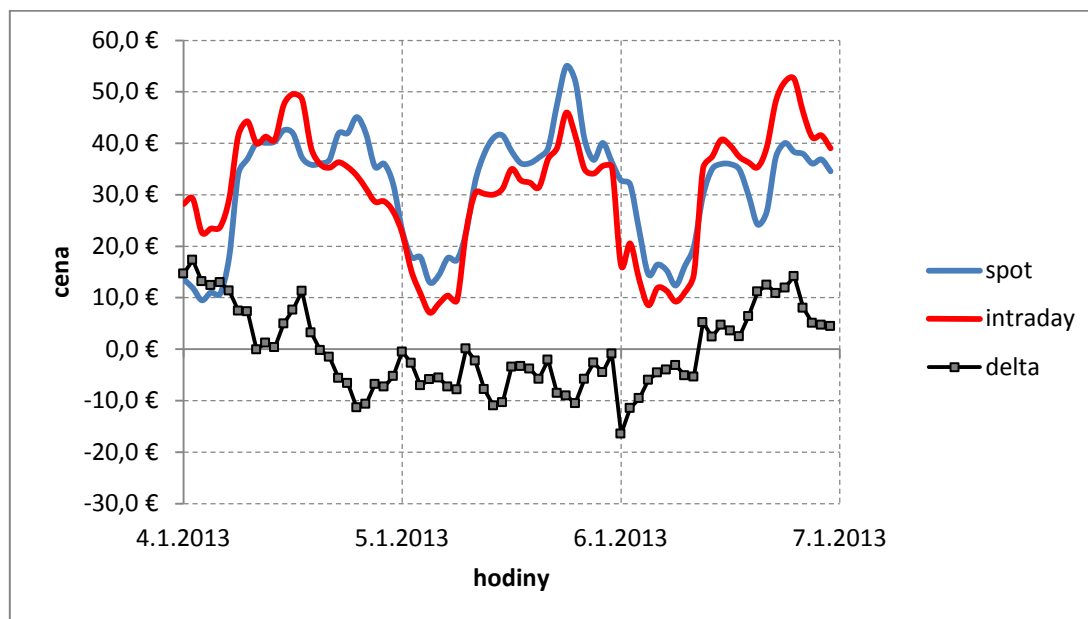
kde  $s_x$  je směrodatná odchylka proměnné X (intraday),  $s_y$  směrodatná odchylka proměnné Y (day-ahead) a  $s_{xy}$  je takzvaná kovariance proměnných X a Y.

$$s_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (6.59)$$

Na zkoumané množině dat X a Y, byly dále počítány průměrné ceny a směrodatné odchylky:

- pro day-ahead cenový průměr 43,6 euro se směrodatnou odchylkou 15,8 euro

- pro intraday cenový průměr 44,5 euro se směrodatnou odchylkou 17,3 euro



Obrázek 63 – ukázka day-ahead a intraday cenových křivek pro tři náhodné vybrané dny v roce 2013

Obecné cenové modely vytvářené za účelem predikce jsou úzce spjaty s příslušným trhem, pro který jsou vytvářeny (geografická poloha, struktura, legislativa, metodika funkce trhu a další externí fundamenty). Obecně lze definovat několik základních principů pojetí predikce z modelů již vědecky publikovaných.

**Model založený na počítání provozních nákladů**, který vychází z algoritmu vlastního sesouhlasení poptávkové a nabídkové křivky. Princip spočívá v simulaci a sledování výrobních jednotek vyskytujících se v dané tržní oblasti a modelace nabídkové křivky „stuck curve“ dle velikosti provozních nákladů na výrobních zařízeních. Cílem celého modelu je uspokojit poptávku za minimální náklady, tímto vznikne bod sesouhlasení, který nese informaci o výsledné ceně daného trhu. Označení modelu je PCM (= production cost model). Tento typ modelů je velice náročný na monitoring a dostupnost informací od jednotlivých výroben jelikož prakticky modeluje a uvažuje pouze disponibilní zdroje. Vylepšením tohoto modelu je tzv. strategic production cost model (SPCM), který již uvažuje také bidovací strategie při vytváření nabídkové křivky.

**Fundamentální modely** založené na vymezení ekonomických a fyzických faktorů (kurz eura, podmínky počasí, spotřeba, disponibilní přenosové kapacity atd.) přímo ovlivňujících dynamiku vývoje cen elektřiny.

**Stochastické modely** popisující ceny na základě statistického pojetí modelu (lineární modely, korelace, regrese, lokální průměry, rozdělení, vyhlazení, atd.). Často vychází

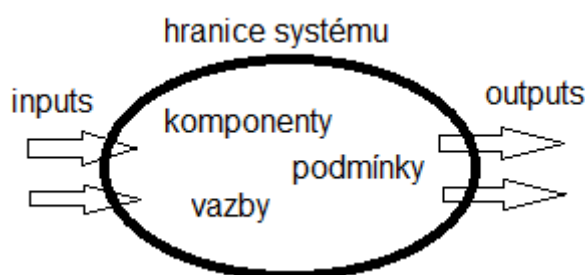


z historických cenových dat. Snaží se nastavit trendy, sezónnosti, šum atd. Základním výstupem jsou predikční scénáře, které disponují pravděpodobnostním rozdělením.

**Modely na bázi umělé inteligence (fuzzy logika, neuronové sítě).** Tyto modely nejsou prozatím v této oblasti blíže popisovány, a proto bude oblast vývoje zaměřena na tuto oblast modelování, kde lze učinit nové vědecké poznatky.

### 6.11.1 Matematické modelování na bázi fundamentálního konceptu

V případě fundamentálního konceptu obecně popisujeme určitý ohraničený systém ovlivňovaný okolními podmínkami a komponentami, které mezi sebou vzájemně reagují a vytvářejí vazby, jež následně daný systém ovlivňují. Úkolem fundamentálního modelování je tyto komponenty, podmínky a vazby najít, specifikovat a matematicky formulovat do takové podoby, podle které je možno při rozdílnosti těchto vstupních prvků a okolních podmínek určit následek této změny. Selektované prvky, z nichž je provedena matematická formulace problému nazýváme fundamenty.



Obrázek 64 - grafická abstrakce fundamentálního systému

Abychom mohli popisné fundamenty vybrat musíme nejprve udělat proces jejich prozkoumání vzhledem k očekávanému výsledku, tzn. hledáme jisté souvislosti přímo asociované se změnou výstupu popisného systému. Vhodným prvkem, pomocí kterého výsledek těchto analýz budeme popisovat a hodnotit je korelační koeficient  $r$  nabývající hodnot v intervalu  $<-1, 1>$  (okrajové hodnoty  $-1$  a  $1$  značí perfektní korelační vztah záporný a kladný, čím více se hodnota  $r$  blíží nulové hodnotě, tím menší je lineární závislost těchto dvou popisovaných veličin).

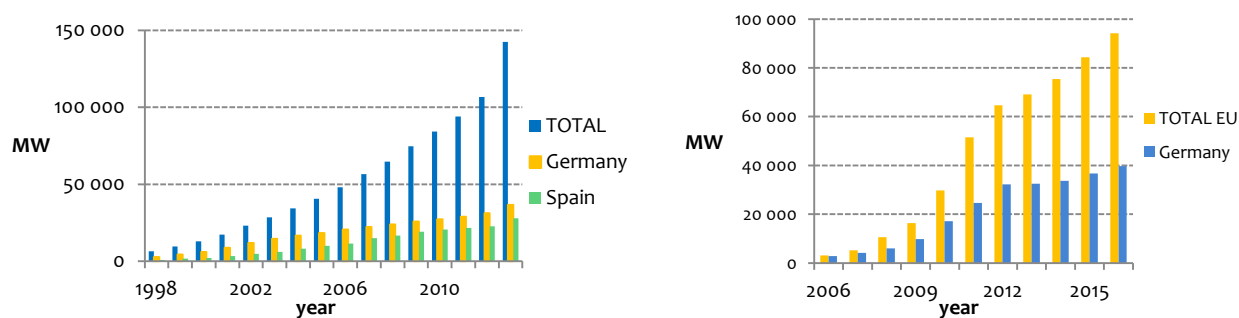
#### 6.11.1.1 Analytická selekce cenových fundamentů

Pro stanovení predikované ceny je potřeba najít faktory, které cenu ovlivňují a jenž lze fakticky monitorovat, tudíž pro další selekci těchto fundamentů využijeme XY graf, kde budeme zkoumat historická data fundamentů ve výkonových jednotkách a budeme hledat jejich souvislost resp. jejich vliv na změny ceny elektřiny.

Selekci fundamentů provedeme po analýze poptávkové a nabídkové strany trhu. Nejvýraznějším faktorem na straně nabídky je samozřejmě výrobní produkce. Tato strana prošla poslední dobou poměrně značnou restrukturalizací díky začleňování OZE do výrobních portfolií. Narůstal také jejich podíl na výrobě vzhledem k instalovanému výkonu klasických konvenčních elektráren s nižší účinností. Konvenční zdroje byly díky vyšším provozním nákladům vytlačovány z výroby. Druhy OZE jež zaznamenaly nejvyšší rozmach, byly dány zejména vnitropolitickým stavem a fiskálními finančními prostředky, které byly individuálně nastaveny ve členských státech EU se vznikem zelené knihy. Prudký nárůst produkce nastal zejména v oblasti fotovoltaických a větrných elektráren, kde se jako vůdčí zemí projevilo zejména Německo, které přistoupilo k radikálnímu kroku pomalého ustoupení od jaderné energetiky po nehodě na Fukušimském reaktoru a nahrazení jaderné výroby právě pomocí OZE. Lze tedy tvrdit, že relevantním primárním zdrojem vzhledem k predikci ceny je větrná situace a osvit/oblačnost na daném území. Analyticky při znalosti fyzického rozmístění OZE v dané bilanční oblasti a dle metodiky popisované v 3.2.1 resp. 3.3.3, která se blíže zabývá problematikou PV článků a větrných turbín, lze provést kalibraci produkce těchto zdrojů na základě predikce počasí.

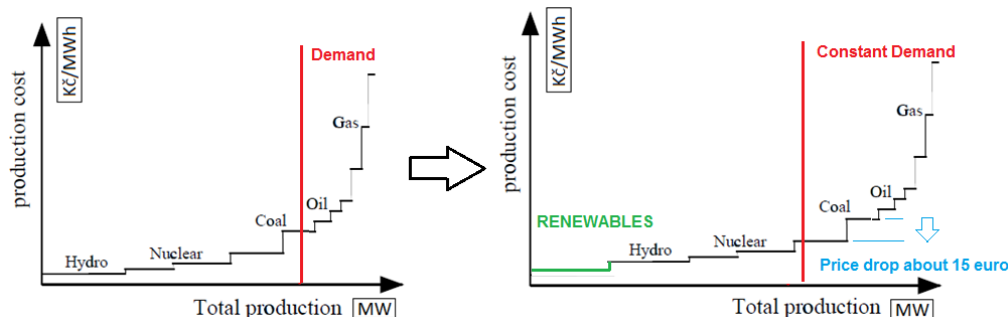
Prozatím provedené analýzy budou cílené na bilanční oblast Německa, jež je prostředím se silným a likvidním trhem, existuje zde dostatečné datová základna a je tedy určeným místem, kde zkoumáme fundamentální vlivy na cenovou křivku trhu.

Masivní nárůst instalovaného výkonu z PV a větru definuje následující obrázek 65.



Obrázek 65 - nárůst instalovaného výkonu solárních a větrných elektráren

Pro představu celkové tržní změny a vlivu OZE vznikl Obrázek 66, kde je vidět stagnace poptávky a naopak navýšení celkové produkce elektřiny v EU. Jako konsekvence došlo k poměrně značné změně velkoobchodní ceny elektřiny až o třetinu (z 60 euro/MWh na 40 euro/MWh) díky posunutí křivky závěrných nákladů.



**Obrázek 66 - masivní nárůst OZE a jejich podílu na celkové výrobě**

Logicky tedy lze přistoupit k tezi, že mezi fundamenty silně ovlivňující hodinovou cenu spotové elektřiny patří výkon solárních a větrných elektráren. Obrázek 67 znázorňuje závislost kalibrovaného produkovaného výkonu z fotovoltaických článků, větrných turbín a cenovou deltu mezi dvěma skupinově totožnými dny. Skupiny prozatím určíme tři – pracovní dny, nepracovní dny a pondělky. Toto skupinové uspořádání je voleno vzhledem k charakteru spotřeby resp. tvaru poptávkové křivky, jenž je pro tyto tři skupiny klíčovým ukazatelem – novou predikci navazujeme na nejpodobnější poptávkovou křivku.

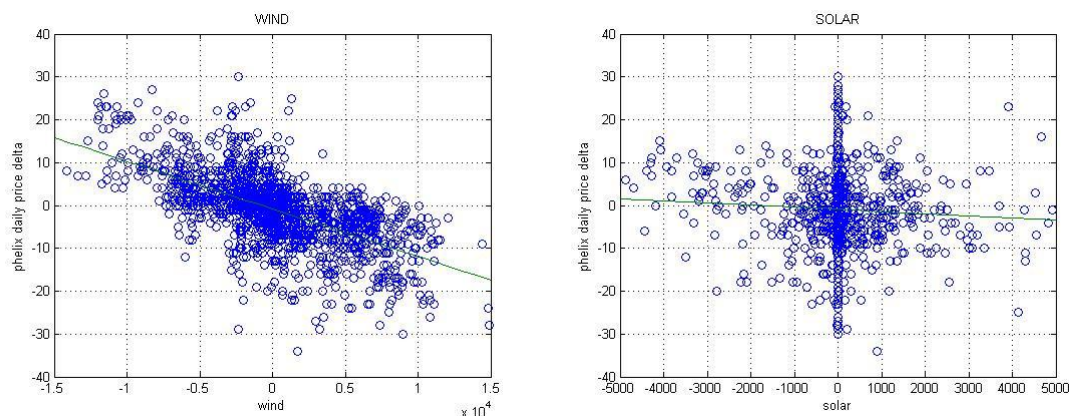
Výkonové delty mezi pracovními dny (celkem 4 případy) určujeme porovnáním nabídkových křivek po sobě jdoucích dní v týdnu:

- úterý - pondělí
- středa - úterý
- čtvrtek - středa
- pátek - čtvrtek

Delty mezi víkendovými dny určujeme také jednoduše s tím, že využijeme ceny předešlé neděle:

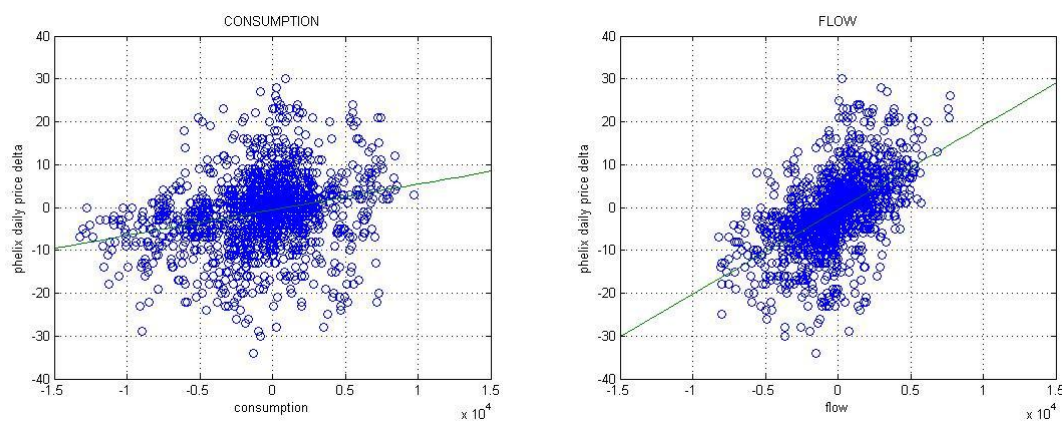
- sobota – neděle [week-1]
- neděle – sobota

Pondělní delty (pondělí [week-1] - pondělí) jsou zvláštním případem, který byl určen spíše obchodní praxí a sensitivitou trhů na začátku pracovního týdne, technicky lze tento krok uvažování zvláštní skupiny vysvětlit a přičíst např. ke spouštění větších výrobních jednotek po víkendovém omezeném režimu a tím zákonitě větší spotřeby při startu těchto jednotek.



**Obrázek 67 - vliv výkonu z větrných a fotovoltaických elektráren na systémovou cenu hodinové elektřiny**

Na grafech je dobře pozorovatelná existence závislosti na zkoušených fundamentech. Selektce fundamentů byla volena z hlediska tvorby finální ceny elektřiny na day-ahead trhu, kde se projevuje obrovský nárůst variabilních OZE (zejména solární a větrná energie), resp. v nabídkových křivkách se projevují OZE, které danou cenu srážejí k nižším hodnotám díky nízkým vlastním provozním nákladům. Prudkým nárůstem OZE ve výrobě se také radikálně změnil normalizovaný cenový profil a kvartální sensitivita.



**Obrázek 68 - vliv variace spotřeby a přeshraničních toků na systémovou cenu hodinové elektřiny**

Dalšími dvěma fundamenty, jež vycházely statisticky relevantní pro zahrnutí do budoucího matematického modelu je přeshraniční výkonový tok (Obrázek 68 vpravo), který je na daný trh exportován/importován v důsledku tržní optimalizace zdrojů. Tento fundament závisí na denní dostupnosti přenosových kapacit na jednotlivých přeshraničních profilech bilanční oblasti a je plně v kompetenci daného TSO, který dle vlastních zátěžných predikcí rozhoduje o dotěžování přenosové soustavy. Velký vliv na dostupnost mají také vlastní technické servisní úkony související se správou přenosových přeshraničních linek (odstávka a tím redukce denních kapacit).

Prozatím jsme popisovali fundamenty na straně dodávky, nyní se přesuneme na stranu poptávky, kde na velkoobchodní bázi bezesporu dominuje koncová spotřeba (Obrázek 68 vlevo). Velikost spotřeby úzce souvisí se změnou teploty, díky tomu, že mezidenní změna teplot není nikterak výrazná, je možné pro denní uvažování spotřeby teplotní vliv vynechat.

Lze uvést hypotézu, že tedy pro jednotlivé fundamenty vykazující dle grafické analýzy určitou míru závislosti, platí následující matematický zápis, z něhož se bude později vycházet při návrhu přesného cenového modelu pro hodinové predikce cen elektřiny na denním a vnitrodenním trhu.

$$\Delta C = \sum_{i=1}^n v_i \cdot \Delta F_i + \varepsilon \quad (6.60)$$

$\varepsilon$	chyba modelu [euro]
$v_i$	váha změny podílu na finální ceně [-]
$\Delta F_i$	výkonová delta fundamentu [MW/hod]
$\Delta C$	predikovaná hodinová cena elektrické energie [euro]

### 6.11.1.2 Lineární model a vazba mezi vnitrodenním a denním trhem s elektřinou

V předcházejících kapitolách byla zmíněna a statisticky dokázána vazba mezi intraday a day-ahead cenami. Následující tabulka ukazuje základní statistické ukazatele pro intraday a day-ahead tržní ceny.

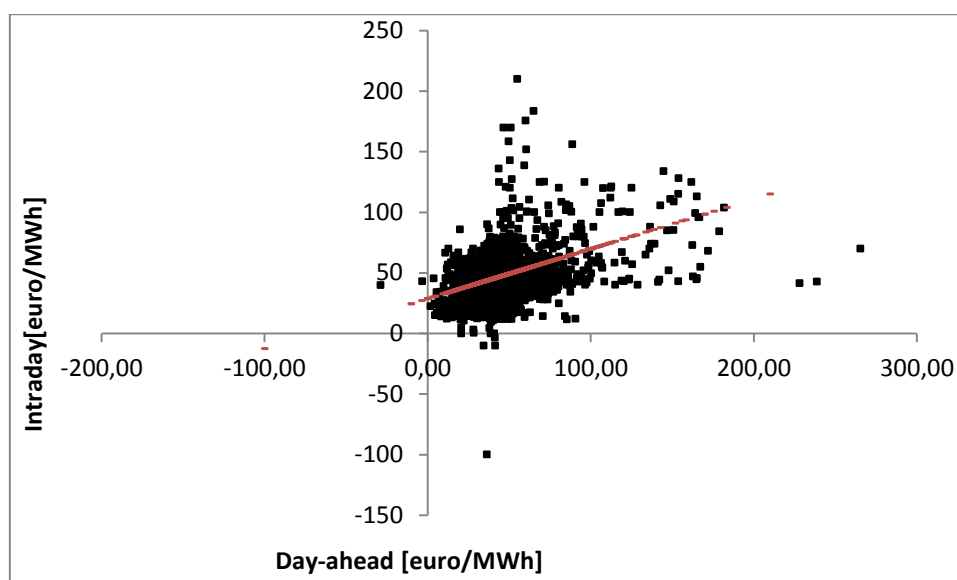
Tabulka 11 – statické ukazatele intraday a day-ahead trhů

Druh trhu	Směrodatná odchylka [€]	Průměr [€]	Minimum [€]	Maximum [€]
Day-ahead	11,66	45,61	-100	210,00
Delta	15,96	-1,57	-195,91	155,04
Intraday	13,63	47,18	-28,96	265,30

Z hlediska modelování lze pro popis vazby mezi objemy trhy formulovat lineární model predikce intraday cen založený na znalosti denních cen příslušného dne. Pro linearizovaný problém (aproximace přímkou) platí následující rovnice:

$$f(x) = ax + b \quad (6.61)$$

Jedná se o lineární regresi, kdy na zkoumané množině dat  $[X_i, Y_i]$  (první kvartál 2012) provádíme aproximaci polynomem prvního řádu (přímkou) metodou nejmenších čtverců, lze tedy říci, že prokládáme několik bodů grafu takovou přímkou, aby součet druhých mocnin odchylek jednotlivých bodů od přímky byl minimální, viz Obrázek 69.



Obrázek 69 - lineární korelace mezi denním a vnitrodenním trhem (data pro DE trh 1,Q2012)

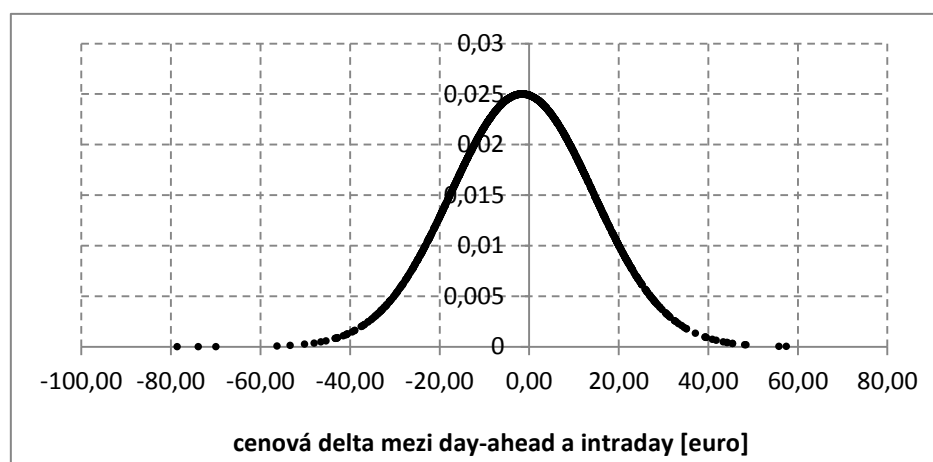
Součet čtverců poté tedy vypadá následovně:

$$S(a, b) = \sum_{i=1}^n [f(x_i) - y_i]^2 = \sum_{i=1}^n [ax_i + b - y_i]^2, \quad (6.62)$$

kde  $[x_i, y_i]$  jsou souřadnice aproximovaných bodů a koeficienty  $a, b$  dostáváme tím, že parciální derivace součtu čtverců položíme rovny nule. Výsledkem matematického řešení koeficientů je obecný tvar pro predikci intraday cen založený na day-ahead cenovém settlementu.

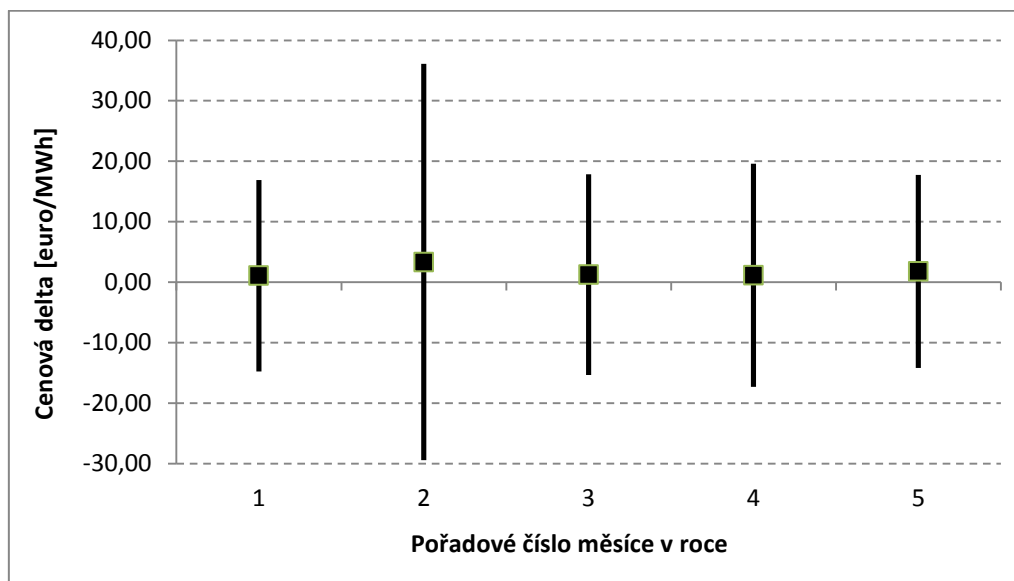
$$P_{\text{intra}} = 0,42, P_{\text{day-ahead}} + 28,42 \text{€}[\text{€/MWh}] \quad (6.63)$$

Takto stanovený model je vhodný pro základní popis a specifikaci vazby mezi oběma trhy. Uvažujeme tedy lineární charakter problému. Na následujícím Obrázek 70 je vykreslena distribuční funkce náhodného rozdělení pro cenovou deltu mezi oběma trhy.



Obrázek 70 - náhodné rozdělení cenové delty mezi denním a vnitrodenním trhem na celé množině dat

Pro bližší prozkoumání distribučních funkcí (normální rozdělení) cenových delt uvnitř kalendářního roku, resp. v jednotlivých měsících roku, byl zkonstruován následující graf, který ukazuje na skutečnost, že charakter rozdělení v jednotlivých měsících roku je stejný, Anomálie se ukazuje v měsíci únoru, kde je rozptyl hodnot cenových delt podstatně vyšší než průměry v ostatních měsících roku a nachází se v něm tedy i více odlehlých hodnot. Tato anomálie může být z velké míry způsobena tím, že tento měsíc byl extrémně chladným v porovnání teplot měsíce únoru během předcházejících let.



Obrázek 71 - distribuční funkce pro jednotlivé měsíce roku

Tabulka 12 - měsíční hodnoty pro distribuční funkce

	leden	únor	březen	duben	květen
<b>downside</b>	-14,79	-29,45	-15,36	-17,29	-14,19
<b>upside</b>	16,91	36,09	17,82	19,59	17,73
<b>průměr</b>	1,06	3,32	1,23	1,15	1,77

### 6.11.1.3 Autokorelační model vytvořený pro rozpoznání aditivního šumu

Při postupném vytváření modelů založených na rozdílných matematických principech (neuronové modely [47], statistické modely [44], exogenní modely, atd.) jsme dosahovali matematicky relevantní přesnosti, obecně jsme se kalibrací modelů dostali do stavu, kdy již nebylo možno danou přesnost zlepšit, resp. bylo vyžadováno odfiltrování soustavné odchylky modelu způsobenou nepřesností vstupních dat. Za tímto účelem byl navržen model založený na ARMA (AutoRegressiveMovingAverage) metodice. Autoregresní model (AR) popisuje námi generovanou časovou řadu (24 hodin predikce) na základě funkce několika rozdílných pozorování (rozdílné cenové modely) a model klouzavých průměrů (MA), který je založen na

klouzavém průměru několika předešlých pozorování (klouzavý cenový průměr pro jednotlivé časové intervaly predikce). Model ARMA (p, q) je poté popisován dvěma parametry p a q. Parametr q vyjadřuje počet vzorků pro průměr a parametr p vyjadřuje počet cenových modelů podílejících se na finální predikci.

$$b + x_{1t} \cdot c_{1t} + \left(\frac{1}{q} \sum_{i=1}^q x_{2t-i}\right) \cdot c_{2t} + \dots + x_{pt} \cdot c_{pt} = P_t \quad (6.64)$$

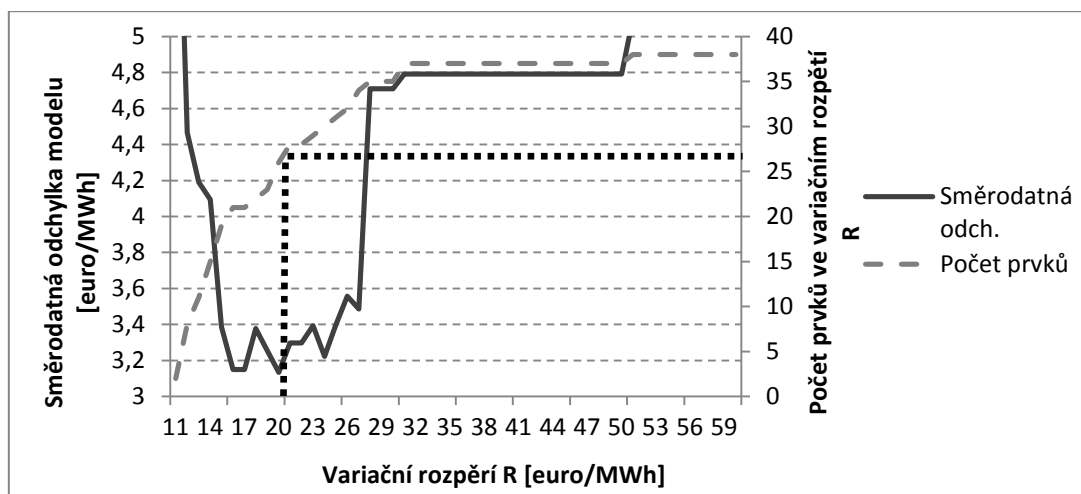
Pro vylepšení výsledků modelu bylo též nutné provést aditivní úpravu vstupní množiny dat. Proto byla provedena filtrace vstupní množiny na odlehlé hodnoty. Pro případ 24 hodinové predikce šlo tedy o vyloučení vzorků obsahujících alespoň v jedné hodině odlehlou hodnotu.

$$R = P_{max} - P_{min} \quad (6.65)$$

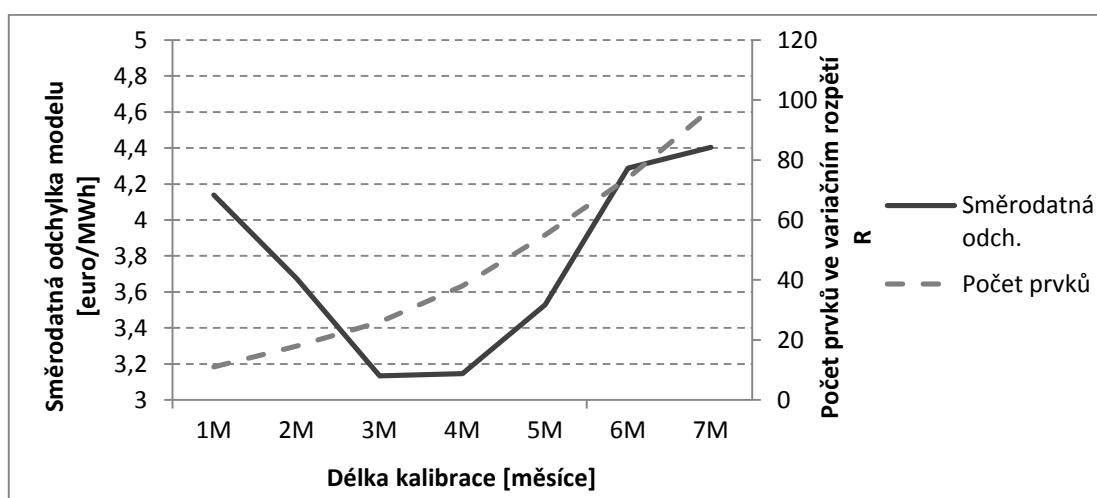
Variační rozpětí se určí tak, aby i po provedení separace odlehlých hodnot stále zůstal ve vstupní množině dostatečný počet vstupních vzorků. Nelze tedy striktně využít testovacího kritéria Dixonova, které se obecně pro vylučování extrémních hodnot využívá. Souvislost velikosti variačního rozpětí R s velikostí kalibrační množiny a s tím související přesností modelu resp. velikost směrodatné odchylky je vidět na následujícím Obrázek 72. Z obrázku lze stanovit důležitý závěr a to ten, že nejvyšší přesnost predikce je při variačním rozpětí R=20euro/MWh. Z tohoto lze také odvodit, že pro relevantní výstup z modelu je potřeba vstupní množina vzorků (časových řad) o počtu minimálně 25 členů.

Při variaci délky kalibrace se jako nejvhodnější interval ukázala tří měsíční kalibrace, kde při fixním variačním rozpětí R=20euro/MWh projde dostatečný počet vzorků (více než stanovené minimum 20 členů) pro výpočet modelu.





Obrázek 72 - závislost přesnosti predikce na variačním rozpětí R



Obrázek 73 - závislost přesnosti na zvolené době kalibrace (při fixaci variačního rozpětí na úrovni 20 euro/MWh)

Jak již bylo řečeno ARMA model je popisován dvěma parametry  $p$  a  $q$ , jestliže vyžadujeme maximální přesnost resp. správnou kalibraci, potřebujeme oba parametry optimálně nastavit. Nastavení parametru  $q$  resp. počtu vzorků pro výpočet průměru provedeme pomocí analýzy setrvačnosti a periodicity hodinových vzorků, kde je zkoumán vliv počtu vzorků na cenovou deltu mezi realitou a predikcí v hodinovém rozlišení. Pomocí těchto dvou analýz bylo dosaženo výsledků shrnutých v

---

Tabulka 13, které rovněž pomohly ke zvýšení celkové spolehlivosti/přesnosti modelu.

**Tabulka 13 - závislost chybovosti modelu (výpočet pro cenovou deltu mezi realitou a predikcí) na počtu dnů v kalkulaci klouzavého průměru – vstupní množina separována do dvou skupin pracovních a nepracovních dní**

všechny dny týdne (separace workdays/weekend)	$\sigma$ [euro/MWh]	$\sigma^2$ [euro/MWh]
d=2	3,78	14,30
d=4	5,21	27,15
d=6	4,49	20,13
d=8	4,35	18,89
d=10	4,43	19,58
d=12	4,40	19,32
d=15	4,62	21,37
d=20	2,77	7,67
d=25	2,15	4,62
d=30	2,94	8,65

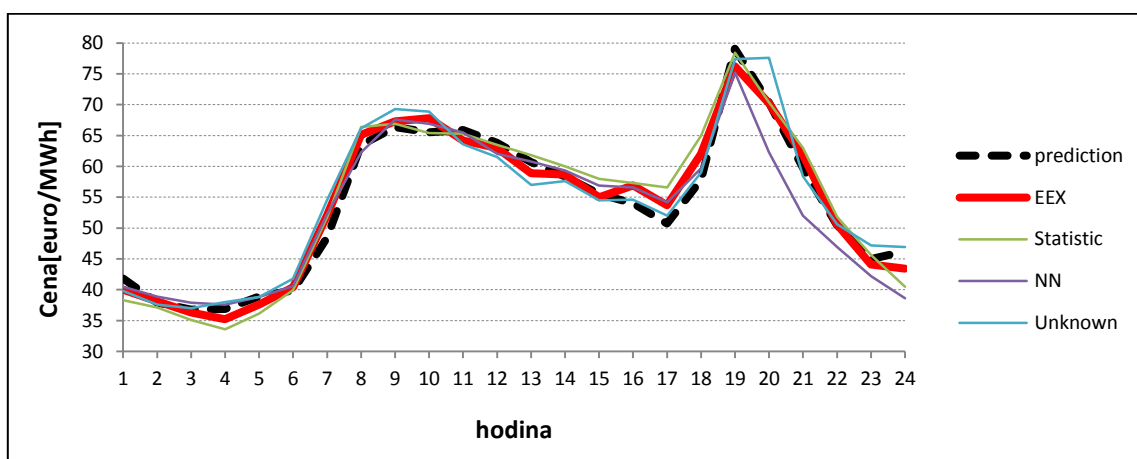
Prvotně byly všechny dny rozděleny na dvě množiny pracovních a nepracovních dnů. Poté bylo zkoumáno optimální nastavení počtu prvků klouzavého průměru, kde se jako nejvhodnější varianta projevuje hodnota 25 dnů (díky většímu počtu dnů je průměr dostatečně masivní a i přes nižší sensitivitu je cenový rozptyl i směrodatná odchylka na nejnižších hodnotách).

Druhou zkoumanou záležitostí z hlediska periodicity byla bližší analýza vlivu pořadového čísla příslušného dne na cenovou deltu mezi průměrem minulosti a reálnou cenou. Konvergence k nejnižší deltě je na hladině 4 až 5 dní, tzn. optimální kalibrace modelu z hlediska průměru dnů se stejným pořadovým číslem je na pěti kategoricky stejných dnech. Při zkoumání minima průměrů při kalkulaci dnů o stejném pořadovém čísle a dnů separovaných pouze rozdělením na pracovní a nepracovní den je vidět, že přesnějších výsledků dosahujeme při aplikaci pořadových průměrů (

Tabulka 14).

**Tabulka 14 - chybovost průměru pro rozdílné počty dní (kategorizováno pro den se stejným pořadovým číslem)**

stejný den týdne (pondělí)	směrodatná odchylka [euro/MWh]	rozptyl [euro/MWh]
d=1	2,11	4,47
d=2	4,68	21,94
d=3	2,54	6,44
d=4	1,80	3,24
d=5	1,51	2,29
d=6	2,21	4,89



**Obrázek 74 - výsledná hodinová predikce po provedení kalibrace modelu dle navržené metodiky**

Finální predikce modelu po provedení kalibrace je na Obrázek 74. Nastavení parametrů bylo nastaveno na hodnoty  $q=5$  (metodika jednotného pořadového dne),  $R=20\text{€/MWh}$ ;  $d=3$ . Parametr  $p$  byl vynucen dostupnými predikčními modely na  $p=3$  (neuronový model [47], statistický [44] a neznámý komerční model).

Navržený hodinový model je vhodný pro krátkodobý trh s elektřinou (day-ahead), kde se jako sledovaný naceněný interval uvažuje jedna hodina. Směrodatná odchylka modelu po provedení kalibrace kolísala kolem hodnoty  $2\text{€/MWh}$ .

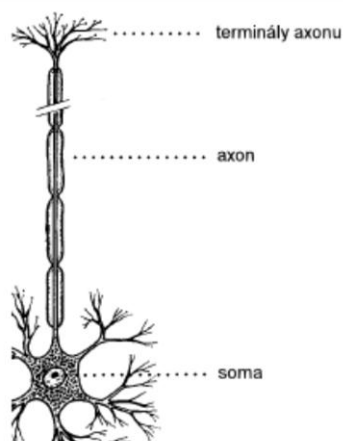
### 6.11.2 Modelování nelineárních problémů s využitím neuronových sítí

Modely na bázi umělé inteligence jsou, jak již bylo vysvětleno, velice slibným vědním směrem z hlediska predikčních systémů. Jelikož krátkodobé trhy vykazují velice dynamické a nelineární chování je tento typ modelování perspektivním v této oblasti. Proto bude dále probíráno právě modelování na bázi neuronových sítí, bude proveden jejich základní

teoretický rozbor, metodický návrh modelu a též prezentace výsledků dosaženým samotným experimentálním modelem.

### 6.11.2.1 Základní podoba neuronových sítí

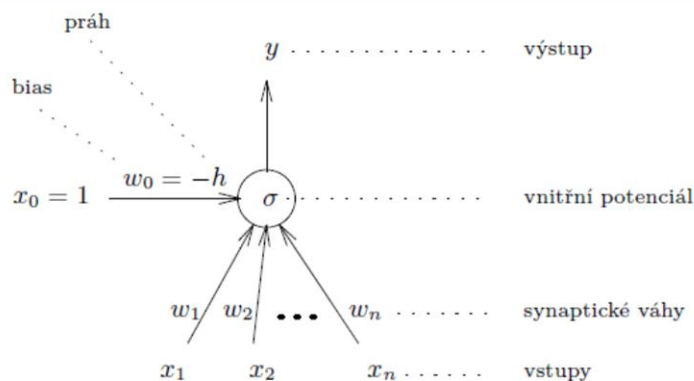
Původ neuronových sítí jakožto matematicky relevantních prvků je datován k začátkům 80.let minulého století. Hlavním účelem vzniku byla bezpochyby snaha simulovat funkci lidského mozku. Tudiž základním oborem, kde byla čerpána inspirace, je oblast neurologie resp. samotného neuronu a síť, jenž je v mozku navzájem spojuje. Neuron se skládá z těla (soma) a dále výstupního axonu a vstupních dendritů. Axon je zakončen terminály, které jej spojují s dendrity ostatních neuronů. Takto může být neuron spojen až s 5 000 dalšími neurony. Vrstvu mezi terminály a dendrity nazýváme synapsí. Míra propustnosti synapse ovlivňuje přenos vzruchu od terminálů k následným dendritům. Schopnost synaptické vrstvy přenášet vzruch nazýváme excitací a naopak tlumící schopnost inhibicí. Jednoduché schéma neuronu je na Obrázek 75. Šíření vzruchu v nervové soustavě probíhá zhruba takto. Dendrity neuronu jsou podrážděny a neuron po dosažení určitého stupně podráždění sám produkuje vzruch, který předává terminály axonu přes synaptickou vrstvu na dendrity dalších neuronů. Právě míra synaptické propustnosti, tj. schopnosti předávat vzruch, hraje významnou roli při vytváření paměťových stop. Její změnou je vysvětlována schopnost učení. Dendrity neuronu jsou podrážděny a neuron po dosažení určitého stupně podráždění sám produkuje vzruch, který předává terminály axonu přes synaptickou vrstvu na dendrity dalších neuronů, atd. Právě míra synaptické propustnosti, tj. schopnosti předávat vzruch, hraje významnou roli při vytváření paměťových stop. Její změnou je vysvětlována schopnost učení.



Obrázek 75 – schéma neuronu

### 6.11.2.2 Matematický model neuronu

Pro získání matematicky správné podoby neuronu provedeme popis hlavních

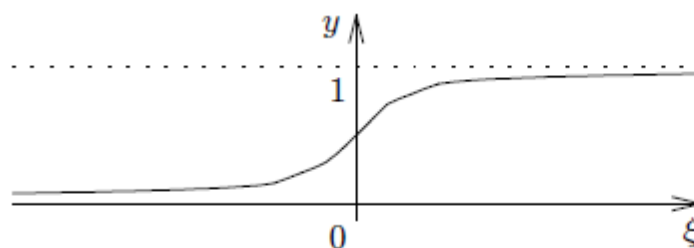


Obrázek 76 - matematická podoba neuronu

principiálních částí samotného neuronu, viz Obrázek 76. Neuron sčítá vstupní podněty vynásobené vahami (odpovídá podráždění dendritů neuronu), pokud tento součet přesáhne určitou mez (práh) vystřelí, tj. vrátí na výstup hodnotu 1 (předává vzruch/podráždění na další dendrity). V opačném případě vrátí hodnotu 0. Matematicky bychom to mohli vyjádřit takto:

$$y = \sigma(\sum_{i=1}^n w_i x_i + w_0) \quad (6.66)$$

kde  $x_i$  jsou hodnoty vstupních parametrů a  $w_i$  hodnoty přidružených vah. Hodnota  $w_0$  určuje hranice vážené vstupní sumy, při které má neuron vyprodukovat vzruch. Vzruch se poté převádí na výstup pomocí signální  $\sigma$  (= aktivační) funkce, která určuje hranici reakce na vzruch.



Obrázek 77 – podoba aktivační funkce sigmoida (logická 1 a 0 určená spojitou funkcí)

### 6.11.2.3 Perceptrony

Samotný neuron netvoří matematicky silný aparát (AND, OR, NOR, NAND), resp. řeší lineárně separabilní problémy formou separující nadroviny, jenž separuje prostor na dva poloprostory. Proto, aby mohl perceptron řešit také nelineárně separabilní problémy, jsou perceptrony skládány do vrstev, pomocí nichž lze vymezit libovolný počet konvexních útvarů. Perceptrony z hlediska aktivační funkce mohou být lineární, pomocí nichž se realizují lineární

zobrazení a nelineární, které je z hlediska modelování daleko důležitější a využívanější i z hlediska modelování našeho problému cenových fundamentálních predikcí. Aktivační funkce u nelineárních perceptronů je tzv. saturační fce. Tato funkce provádí transformaci vstupů perceptronu na výstupní interval  $\langle 0, 1 \rangle$ . Samotný přechod mezi oběma hranicemi tedy hodnotou 0 a 1 je dle použité aktivační funkce obvykle spojitý a snaží se simulovat biologický projev a chování neuronu, který v okolí nulové hodnoty prudce stoupá, zatímco v okolí jednotky je nárůst funkce mírnější. Toto zobrazení dobře popisuje funkce sigmoidy (existují i další druhy aktivačních funkcí, které již nejsou tak často využívané - ostrá nelinearita, hyperbolitský tangens, atd.).

$$g(x) = \frac{1}{1+e^{-\lambda x}} \quad (6.67)$$

#### 6.11.2.4 Optimální nastavení perceptronové sítě

Jak již bylo řečeno v předchozím odstavci pomocí perceptronové sítě o více vrstvách lze řešit jakékoli zobrazení resp. výpočet (lze vymezit libovolný počet konvexních útvarů) a existuje tedy perceptronová řešící síť tohoto problému. Nyní ovšem nastává další část problému – nalezení této řešící struktury a vah perceptronů. Přímý výpočet optimálního nastavení vah jednotlivých neuronů je neexistující, doposud známé metody jsou postaveny na metodice vkládání vzorových příkladů na vstup perceptronové sítě o  $n$  neuronech a výstup o  $m$  neuronech. Množinu vzorových příkladů o  $p$  prvcích nazveme trénovací množinou, prakticky je to množina dvojic vektorů vstupních a výstupních.

$$T = \{[\vec{x}^1, \vec{y}^1], \dots, [\vec{x}^p, \vec{y}^p]\} \quad (6.68)$$

Pro každý vektor  $l$  uvnitř této množiny platí následující tvar, jenž respektuje počet vstupních  $n$  a výstupních  $m$  hodnot.

$$\vec{x}^l = (x_1, \dots, x_n) \quad (6.69)$$

$$\vec{y}^l = (y_1, \dots, y_m) \quad (6.70)$$

Takto definovaný proces učení za příkládání vzorových příkladů nazýváme proces učení s učitelem (existuje také proces učení bez učitele viz pozdější kapitoly). Pro rozpoznání hranice, kdy je NN síť již optimálně nastavena bude zvolena definice chyby sítě  $E$ .

$$E = \frac{1}{2} \sum_{v=1}^p \sum_{i=1}^m (Y_i^p - y_i^p)^2 \quad (6.71)$$

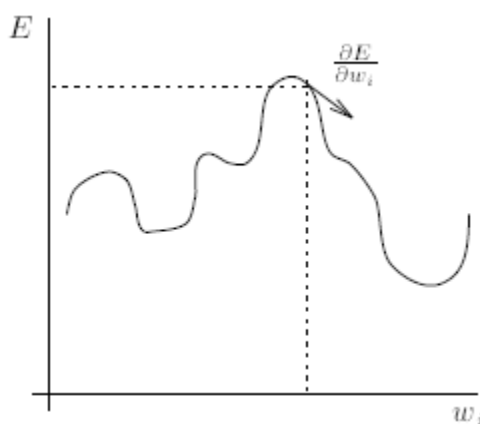
Proměnná  $Y_i^p$  vyjadřuje výstup neuronové sítě  $i$ -tého výstupního neuronu,  $y_i^p$  ukazuje vzorovou hodnotu příkladu pro  $i$ -tý neuron. Suma vyjadřuje na jakém rozsahu se chyba počítá



(pro všechny výstupní neurony  $m$  a pro celou trénovací množinu  $p$ ) v našem případě se tedy postupně počítá kvadratická chyba mezi výstupní vzorovou hodnotou a hodnotou aktuálního nastavení neuronové sítě. Hodnota chyby se mění po každém kroku resp. každém novém přiloženém vzoru.

### 6.11.2.5 Gradientní postup učení

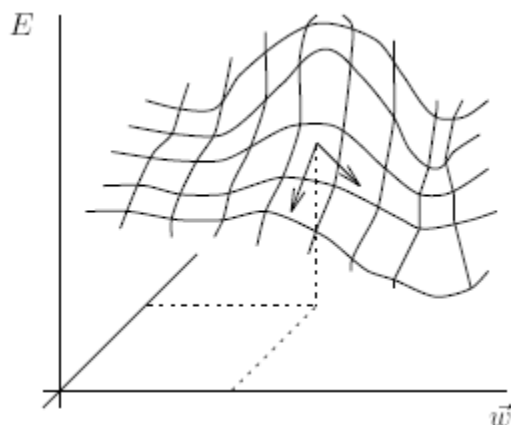
Princip učení sítě tedy vychází z myšlenky postupného přikládání vstupních hodnot  $\vec{x}^l$ , chyba sítě  $E$  (jelikož je definovaná jako diference vzoru a současné výstupní hodnoty) je poté funkcí všech synaptických vah neuronů a jelikož aktivační funkce je derivovatelná je i  $E$  derivovatelné podle jednotlivých vah viz Obrázek 78.



Obrázek 78 - závislost výstupní chyby na nastavení synaptické váhy

Důležitým poznatkem vycházejícím z Obrázek 78 je, že pro minimalizaci chyby hledáme minimum zkoumáním derivace v pracovním bodě. Zdánlivě je postup jednoduchý – vypočteme derivaci v pracovním bodě, měníme nastavení váhy o určitý krok a výpočet opakujeme, jestliže je výsledek výpočtu derivace po změně váhy nižší než před změnou postupujeme správným směrem a našli jsme nové nastavení váhy s nižší výslednou chybou. Takto cyklicky přidáváme krok a počítáme, jakým směrem oproti předchozímu stavu se výsledek výpočtu změní – tímto způsobem dojdeme do stavu minima. Nebezpečí, které v tomto způsobu výpočtu a hledání minima hrozí, je nalezení pouze lokálního minima. Proto povětšinou kalibraci několikrát opakujeme a zkoumáme, do jakého minima se výpočtově vždy dostáváme.

Podle počtu vstupních vah neuronu nemusí být pohled na závislost chyby a váhy jen 2D, ale se zvýšením počtu vstupů neuronu resp. jeho vstupních vah přecházíme do několikadimenzionálního prostoru chyb tzv. „ERROR LANDSCAPE“ (Obrázek 79).



Obrázek 79 – „Error landscape“ (vícedimenzionální vektor vah)

Kdybychom proces změny váhy definovali pomocí matematického aparátu, definice by vypadala následovně.

$$\Delta w_i = -\eta \frac{dE}{dw_i} + \alpha [w_i - w_i^{old}] \quad (6.71)$$

Délka uvažovaného kroku je značena  $\eta$ . Navíc je obvyklý ještě tzv. setrvačný člen  $\alpha$ , který eliminuje houpání a malé nerovnosti terénu tak, že nám normuje výsledný výpočet změny.

### 6.11.2.6 Backpropagation

Správné nastavení samotné váhy a tedy minimalizace chyb je záležitostí gradientního postupu učení, co ovšem není jasné je v jakém pořadí a jakým algoritmem máme zmíněné synaptické váhy měnit. Jako obecně vhodnou metodu pro perceptronové sítě se ukázala metoda zpětného šíření chyb (= Backpropagation).

Praktické učení bude předvedeno pro jednoduchost pouze na dvouvrstevné síti. Uvažujeme trénovací množinu  $T = \{[\vec{x}^1, \vec{y}^1], \dots, [\vec{x}^p, \vec{y}^p]\}$ ,  $\vec{x}^l = (x_1, \dots, x_n)$ ,  $\vec{y}^l = (y_1, \dots, y_m)$ , označení výstupních neuronů  $Y_i$ , skryté neurony  $V_j$ , vstupní neurony ponecháme v označení  $x_k$ . Značení spojů mezi vstupními neurony a skrytou vrstvou  $w_{jk}$ , mezi skrytou a výstupní  $W_{ij}$ . Indexování spojů je v konvenci první – kam vazba vede, druhý – odkud vazba vede. Příklady na vstup budeme indexovat písmenem  $l$  tzn. pro porozumění při zadání vzoru  $\vec{x}^l$  se na libovolném neuronu skryté vrstvy objeví vstup.

$$h_j^l = \sum_k w_{jk} x_k^l \quad (6.72)$$

Tento vstup je též vstupem pro aktivační sigmodiální funkci, která již předává hodnotu na výstup neuronu skryté vrstvy.

$$V_j^l = g(h_j^l) = g(\sum_k w_{jk} x_k^l) \quad (6.73)$$

Výstup neuronu skryté vrstvy slouží též jako vstup následující vrstvy (výstupní).

$$h_i^l = \sum_j W_{ij} V_j^l = \sum_j W_{ij} g(h_j^l) = \sum_j W_{ij} g(\sum_k w_{jk} x_k^l) \quad (6.74)$$

Opět transformujeme aktivační funkcí a obdržíme výstupní hodnotu.

$$Y_i^l = g(h_i^l) = g(\sum_j W_{ij} g(\sum_k w_{jk} x_k^l)) \quad (6.75)$$

Hodnotu chyby pro vstup  $\vec{x}^l$  již můžeme valuovat jako

$$E = \frac{1}{2} \sum_l (Y_i^l - y_i^l)^2 = \frac{1}{2} \sum_l (g(\sum_j W_{ij} g(\sum_k w_{jk} x_k^l)) - y_i^l)^2 \quad (6.76)$$

Bylo tedy dokázáno, že chyba perceptronové sítě  $E$  je funkcí synaptických vah a je diferencovatelná podle jednotlivých vah a můžeme tedy dále pro řešení použít gradientní metodu.

$$\Delta W_{ij} = -\eta \frac{dE}{dW_{ij}} = -\eta \sum_l [y_i^l Y_i^l] g'(h_i^l) V_j^l = \eta \sum_l \delta_i^l V_j^l \quad (6.77)$$

Koeficient  $\delta_i^l$  je chyba  $i$ -tého neuronu. Změnu vah potřebujeme provést také pro neurony mezi vstupní a skrytou vrstvou.

$$\begin{aligned} \Delta w_{jk} &= -\eta \frac{dE}{dw_{jk}} = -\eta \sum_l \frac{dE}{dV_j^l} \frac{dV_j^l}{dw_{jk}} = -\eta \sum_l i [y_i^l - Y_i^l] g'(h_i^l) W_{ij} g'(h_j^l) x_k^l = \\ &= \eta \sum_l i \delta_i^l W_{ij} g'(h_j^l) x_k^l = \eta \sum_l \delta_j^l x_k^l \end{aligned} \quad (6.78)$$

Opět je zaveden pomocný koef. pro chybu  $j$ -tého neuronu  $\delta_j^l$ . Předpisy pro změnu váhy jsou tedy stejné, vždy v něm vystupuje vstupní hodnota, kde spoj začíná, rozdílná je pouze definice koeficientu  $\delta$ .

Princip backpropagation funguje dvěma směry nejdříve postupujeme s výpočtem od vstupu na výstup, kde odečteme chybu modelu dle zadaného vzoru, kterou poté propaguje zpět na výstup tak, že postupně pronásobujeme chybu váhami spojů, tzn. propaguje ji zpět na začátek.

Finálně můžeme tedy stanovit iterativní back-propagation algoritmus pro obecnou síť o  $I$  až  $v$  vrstvách a značíme  $V_i^v$  výstup  $i$ -tého neuronu ve  $v$ -té vrstvě. Nultá vrstva představuje vstupní neurony tedy pro  $V_i^0$  je prakticky vstup  $x_i$ . Značení synaptických vah bude  $w_{ij}^v$  tedy vazba mezi výstupem  $i$ -tého neuronu vrstvy  $v-1$   $V_i^{v-1}$  a vstupem  $j$ -tého neuronu vrstvy  $v$   $V_j^v$ :

1. inicializace sítě - nastavení prahů a synaptických vah  $w$  na malá náhodná čísla
2. vlož vzorové hodnoty  $\vec{x}^l$  na vstup do nulové vrstvy  $v=0$

3. ponech šířit signál sítí

$$V_i^v = g(h_i^v) = g(\sum_j w_{ij}^v V_j^{v-1}) \quad (6.79)$$

4. vypočítej delty pro výstupní vrstvu

$$\delta_i^M = g'(h_i^M)[y_i^v - Y_i^M] \quad (6.80)$$

5. vypočítej delty pro předcházející vrstvy zpětným šířením chyby

$$\delta_i^{v-1} = g'(h_i^{l-1}) \sum_j w_{ji}^v \delta_j^v \quad (6.81)$$

6. změň váhy podle pravidla

$$\Delta w_{ij}' = \eta \delta_i^v V_j^{v-1} \quad (6.82)$$

$$w_{ij}^{new} = w_{ij}^{old} + \Delta w_{ij} \quad (6.83)$$

7. jdi zpět na bod 2 a opakuj smyčku

Tento algoritmus reprezentuje minimalizaci střední kvadratické chyby gradientovým hledáním.

### 6.11.2.7 Praktická realizace experimentálního modelu a formulace proměnných

Základ celého neuronového modelu pro predikci cen vychází z modelu fundamentálního. Jako první krok při sestavování takového druhu modelu potřebujeme provést analýzu dostupných fundamentálních dat v souvislosti se změnou hodinových cen, tzn. analyzujeme cenovou deltu a deltu příslušného fundamentu (analýzy provedeny již v části 6.11.1.1). Jestliže daný fundament vykazuje patřičnou míru korelačního koeficientu, je pro další uvažování relevantním prvkem a má z hlediska důvěryhodnosti cenu s ním dále kalkulovat. Korelační koeficienty pro jednotlivé cenové fundamenty jsou v Tabulka 15.

Tabulka 15 - zkoumané fundamenty a jejich korelační koeficienty

fundament	korelační koeficient
Vítr	0,371531
Slunce	-0,25064
Spotřeba	0,452882
Teplota	-0,13392
Přeshraniční import/export	-0,18791
Disponabilita uhelných elektráren	0,131499
Disponabilita plynových elektráren	-0,48839
Disponabilita jaderných elektráren	0,112274

Blokové uspořádání celého modelu je na Obrázek 80 vlevo. Jádro celého modelu má fundamentální charakter, kde jako stěžejní fundamenty uvažujeme energii slunce, větru, spotřebu a dostupnost zdrojů a přeshraniční toky. Důležitým prvkem je také sjednocení sbíraných dat na stejné výkonové jednotky [MW/h]. Metodika přepočtu sledovaných dat u OZE je popsána v 3.2.2 resp. 3.3.3, kde při znalosti rozmístění zdrojů v jednotlivých oblastech a znalostech osvitů a větrnosti, již jsme schopni predikovat produkci těchto OZE v energetických jednotkách. Kalibrace tohoto sběru může být vedena na datech publikovaných samotnými výrobci, která hromadně shromažďuje EEX. Uveřejnění těchto dat spadá do povinnosti výrobce v souladu s Nařízením Evropského Parlamentu a Rady (EU) č. 1227/2011 „O integritě a transparentnosti velkoobchodního trhu s energií“ (též známo pod pojmem REMIT).

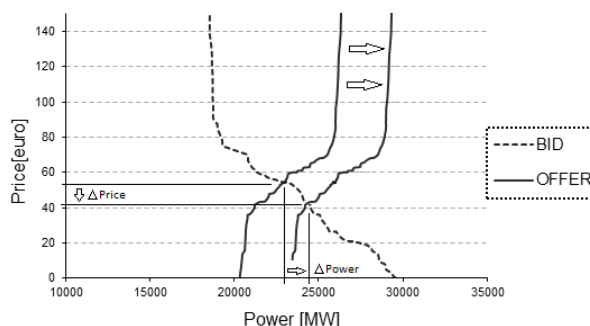
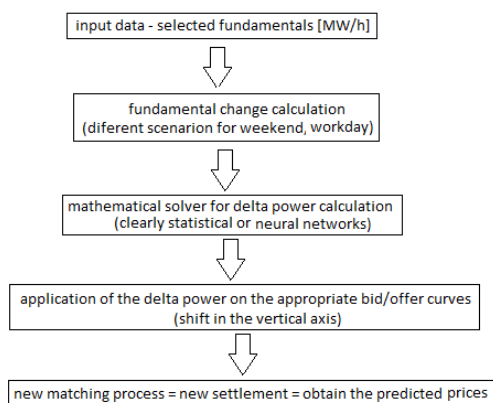
Předpokladem při vytváření modelu je vytvoření hypotézy, že hodinové ceny dne D+1 souvisí s posunem nabídkové/poptávkové křivky dne D (den D může být den předešlý nebo den s podobným charakterem jako den D+1 viz 6.11.1.2 - existují rozdílné scénáře pro špičkové a nešpičkové zatížení, víkendy a pracovní dny). Lze tvrdit, že zmíněný posun je poté proporcionalní vzhledem ke změně sledovaných fundamentů vypočítaných dle rovnice 6.84.

$$\Delta P_i = \Delta W_i \cdot c_{W_i} + \Delta S_i \cdot c_{S_i} + \Delta A_i \cdot c_{A_i} + \Delta C_i \cdot c_{C_i} \quad (6.84)$$

$\Delta P_i$	celková mezidenní změna výkonu pro příslušnou hodinu $i$ [MW/h]
$\Delta W_i$	mezidenní změna produkce větrných elektráren v hodině $i$ [MW/h]
$c_{W_i}$	vliv změny větrné produkce na mezidenní změna výkonu $\Delta P_i$ [-]

$\Delta S_i$	mezidenní změna produkce solárních elektráren v hodině $i$ [MW/h]
$c_{S_i}$	vliv změny solární produkce na mezidenní změna výkonu $\Delta P_i$ [-]
$\Delta A_i$	mezidenní změna dostupnosti uhelných, plynových a jaderných elektráren v hodině $i$ [MW/h]
$c_{A_i}$	vliv změny dostupnosti zdrojů na mezidenní změna výkonu $\Delta P_i$ [-]
$\Delta C_i$	mezidenní změna celkové spotřeby v hodině $i$ [MW/h]
$c_{C_i}$	vliv změny spotřeby na mezidenní změna výkonu $\Delta P_i$ [-]

Po aplikaci výsledného  $\Delta P_i$  na křivku nabídky podobného dne dostáváme nový bod sesouhlasení a tedy i novou hodinovou cenu (Obrázek 80 vpravo). Při pohledu na rovnici (6.84) vidíme obecně jednotlivé fundamenty, jež jsou násobeny proměnnou  $c_{X_i}$ , která představuje váhu resp. vliv daného fundamentu na konečnou predikovanou cenu. Určení těchto vah je asi nejobtížnější věcí celého modelu. Kdyby daný problém byl lineárního charakteru, řešení by bylo jednoduché při využití některé ze statistických metod např. lineární regrese (6.85), (6.86), (6.87) a (6.88). Kde pravá strana rovnice představuje právě změny fundamentů (6.85) násobené příslušným váhovým koeficientem (6.87) a levá strana rovnice vyjadřuje výslednou výkonovou deltu (6.86) mezi dvěma asociovanými dny. Účelem je tedy výpočet příslušných vlivů/vah ke každému fundamentu při znalosti historických podílů na výkonové mezidenní deltě příslušné hodiny  $i$  (6.88).



Obrázek 80 - posun křivek o fundamentální deltu (vpravo); blokové uspořádání neuronového modelu (vlevo)

$$\Delta f = \left[ \begin{array}{ccc} f_1(x_1) & \cdots & f_k(x_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_1(x_n) & \cdots & f_k(x_n) \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{ccc} \Delta f_{1,1} & \cdots & \Delta f_{1,k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta f_{n,1} & \cdots & \Delta f_{n,k} \end{array} \right] \quad (6.85)$$

$$\{\Delta p\} = \{\Delta P_1 \ \Delta P_2 \ \dots \ \Delta P_n\}^T \quad (6.86)$$

$$\{C\} = \{c_1 \ c_2 \ \dots \ c_k\}^T \quad (6.87)$$

$$C = \Delta f \setminus \Delta p \left( \frac{MW}{h}; -, \frac{MW}{h} \right) \quad k < n \quad (6.88)$$

Dalším možným tvarem rovnice resp. popisu modelu jako lineárního je vložení kvadratických členů, jelikož při analytickém zkoumání fundamentů jsme některé fundamenty vyhodnotili jako více důležité (větrnost, sluneční svit), těmto fundamentům poté v rovnici přiřadíme kvadratický charakter a dostáváme modifikovaný tvar rovnice předešlé (6.89)

$$\Delta P_i = \Delta W_i \cdot c_{W_i} + \Delta W_i^2 \cdot c_{W_i^2} + \Delta S_i \cdot c_{S_i} + \Delta S_i^2 \cdot c_{S_i^2} + c_{0_i} \quad (6.89)$$

Fyzický model a řešení lineárními metodami bohužel nevykazuje patřičnou přesnost a efektivitu, hlavním důvodem je nelinearitu řešeného problému. Jako velmi silný nástroj pro modelování nelineárních problémů a predikčním matematických modelů obecně je aplikace Neuronové sítě, což je také hlavní vědeckou částí této práce. Je vyvinuta hybridní neuronová síť, která je postupně kalibrována až do dosáhnutí patřičné míry spolehlivosti a přesnosti, programově bude vyvinuto řešení podporující a zjednodušující samotnou kalibraci a sběr vstupních dat modelu.

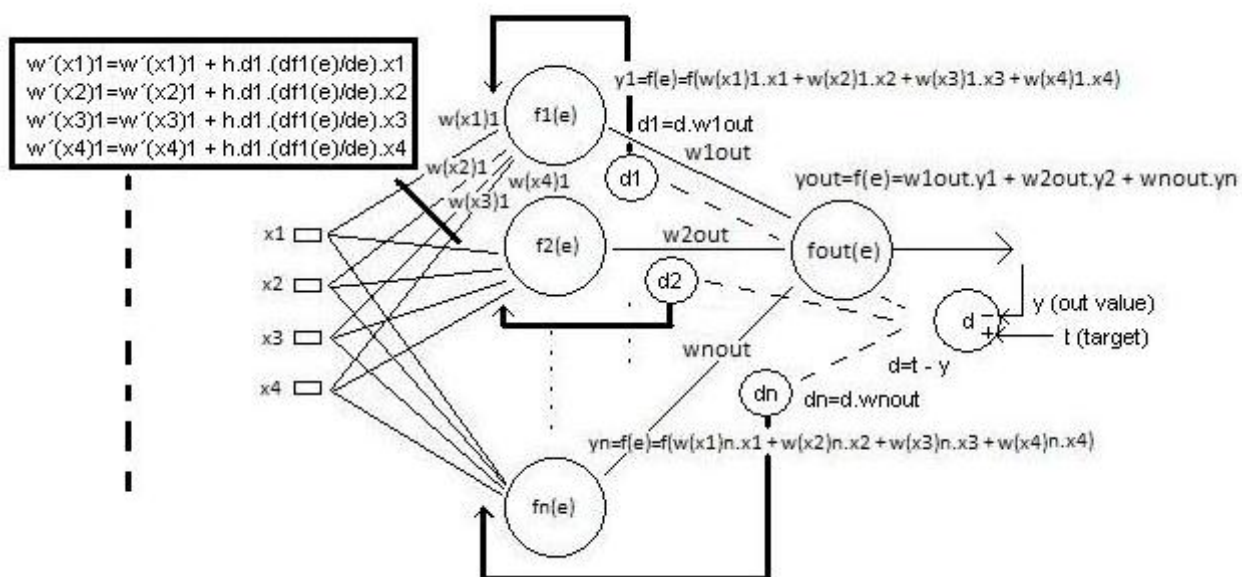
#### 6.11.2.7.1 Výběr neuronové sítě a aplikace výkonové delty

Obecná architektura a matematická podstata neuronové sítě byla již vysvětlena v předchozích kapitolách při hlubším popisu modelu neuronu a nyní bude důraz kladen na metodiku využití sítě. Z vědeckých prací věnovaných neuronovým sítím se ukazuje jako obecně nejvhodnější varianta využití perceptronové sítě se dvěma skrytými vrstvami neuronů [46][47] společně s využitím metody backpropagation. Tento typ neuronové sítě je charakterizován mezivrstvými spoji více známými jako synaptické váhy, které jsou využity k uchování informace skryté uvnitř perceptronu. Struktura samotného propojení a zpětné šíření chyby je ukázána na Obrázek 81, kde jako fundamentální delty vystupují proměnné  $X_1, \dots, X_n$  (4 neurony vstupní vrstvy) a výstupní hodnota výkonové delty je značena  $y$  neboli  $\Delta p$  (1 neuron výstupní vrstvy).

Metodické využití neuronové sítě v praxi se skládá z několika fází, pro které potřebujeme rozdílné množiny dat, obecně největší počet vzorových dat potřebujeme u modelu ve fázi učící, kde je nutno velice dobře definovat množinu vstupních dat (separace víkendů, přechodů času, svátků a jinak nestandardních dnů, které by kalibraci znehodnocovaly).

Jak již bylo blíže popsáno v předcházejících kapitolách věnovaných NN proces učení sítě během kalibrace je obecně dvojího typu s učitelem a bez učitele – použití závisí na druhu účelu tvořené aplikace. Jestliže chceme deltové fundamenty pouze separovat do určitých sobě podobných skupin (zkoumání charakteristických vlastností skupiny/podobnost) poté metodu s učitelem nevyužíváme, jestliže deltové fundamenty řeší nelineární problém kalkulace výsledné výkonové delty, tak učitele potřebujeme a tedy na výstup sítě pokládáme mezidenní výkonové delty dle nabídkových a poptávkových křivek. To znamená, že musíme připravit vstupní data takovým způsobem, abychom v  $\Delta p$  měli tzv. implikovanou deltu neboli deltu konverzní určenou posunem křivek dle mezidenních hodinových cen elektřiny.

Nyní dochází k využití modelace iterativního procesu sesouhlasení resp. k posunu křivek o implikovanou deltu a získání nového bodu sesouhlasení. Model nalezne v každé iteraci pro nabídkovou cenu příslušnou hodnotu nabízeného a poptávaného výkonů - provede kalkulaci jejich difference, jestliže difference  $\leq 0$  jedná se o uspokojenou nabídku. Otočení znaménkové konvence indikuje bod sesouhlasení a překlopení na neuspokojenou nabídku

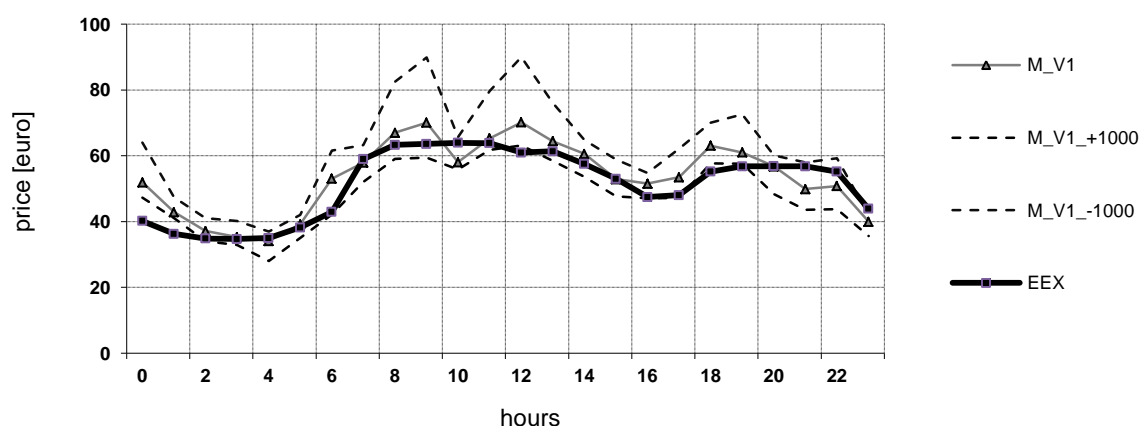


Obrázek 81 - kompozice neuronové sítě s fundamentálními vstupy



a poptávku. Při posunu bid&ask křivek „podobného“ dne (podobnost dnů je blíže popsána v kapitole 6.11.1.1) o  $\Delta p$  odečítáme novou predikovanou cenu elektřiny v příslušné hodině  $i$  (Obrázek 80 - vlevo). Obecně tedy předpokládáme, že fundamentální delta výkonu  $\Delta p$  navazuje na křivky vybraného dne a mění výkonové rozložení nabídky a poptávky.

Z hlediska obchodního využití dané predikce je potřeba zmínit, že vstupní data sama o sobě jsou pouze predikcemi a podléhají určitým vlastním zkreslením a chybám. Pro objasnění, jak velký dopad může mít nepřesnost vstupních dat a tedy i výstupního  $\Delta p$  na predikovanou cenu, jsou sestrojeny citlivostní charakteristiky, které vypovídají o spolehlivosti a důvěryhodnosti finální cenové predikce. Vzhledem k finálnímu  $\Delta p$ , které vychází v jednotkách až desítkách tis. MW/h byl zvolen sensitivní posun o  $\pm 1000$  MW/h. Jestliže vzniklé obalové křivky vytvářejí úzký cenový trychtýř, predikci lze označit za důvěryhodnou a vysoce spolehlivou, jestliže naopak jsou sensitivní křivky značně odchýlené, predikovaná cena je velice sensitivní na výkonou deltu a tedy i nepřesná.



Obrázek 82 - finální cenová predikce i s příslušnou obalovou křivkou sensitivity (+-1000MW/h)

### 6.11.2.7.2 Aplikace SOM

V klasických perceptronových sítích je NN trénovaná na široké trénovací množině, kde je velká variace vstupních dat. Prvotní ideou je tedy separace jedné variabilní vstupní množiny do více menších množin o nižší variabilitě a rozdílnosti vzorků a tím tedy větší podobnosti. Pro takovéto účely je relevantní použít dalšího typu NN tzv. Samoorganizační Kohonenovy mapy (= SOM), které se dle způsobu učení řadí do skupiny neuronových sítí, kde proces učení probíhá bez učitele a výsledkem je kategorizace na skupiny dle výskytu v Kohonenově mapě. účelově jde tedy o typ naprosto vyhovující pro záměry separace velké vstupní datové množiny do více množin menší variability.

Trénovací proces je tedy prakticky realizován podle následující procedury:

- vstupní vzor je přiložen na vstup
- kalkulace vzdálenosti vektoru vah  $c$  od jednotlivých neuronů v topologii (6.90)

$$\|input - c_k\| = \Delta_k, \quad k = 1 \div n \quad (6.90)$$

- vybrání neuronu  $i$ , pro který platí, že vzdálenost vektoru vahy  $c$  a vstupního vzoru je v topologii nejmenší resp. je zde nejmenší hodnota kalkulované distance, tento neuron se stává aktivní (6.91)

$$\|input - c_i\| \leq \|input - c_k\| \quad \forall k \neq i \quad (6.91)$$

- adaptace vah vítězného neuronu a jeho okolí tak, aby tyto neurony ještě více vylepšily svou pozici vůči novému tréninkovému vzoru (6.92)

$$\Delta_{c_k} = \eta(t) \cdot h(i, k, t) \cdot (input - c_k) \quad (6.92)$$

, kde hodnota  $\Delta_{c_k}$  je jednoduše přičtena do již existujícího centra (neuronu). Faktor  $(input - c_k)$  ukazuje změnu váhy odpovídající velikosti distance mezi vzorem a současným stavem.  $\eta(t)$  označuje časově proměnnou úroveň učení. Funkce  $h(i, k, t)$  popisuje vztah mezi sousedními neurony, tato funkce dosahuje maxima pro  $k = i$ .

- Tato výpočtová a adaptivní procedura se provádí pro celou trénovací množinu.

Z hlediska variability ve vstupní množině vykazuje nejvyšší míru variability produkce z OZE a tím pádem budeme tedy klasifikovat výkonové křivky složené z hodinových predikcí OZE o rozměru 1x48 hodnot (24 hodin fotovoltaické elektrárny a 24 hodin větrné elektrárny), uvažujeme tedy i se zachováním hodinového pořadí ve dni.

### 6.11.2.7.3 Dosažené výsledky experimentálního modelu ve fázi produkce

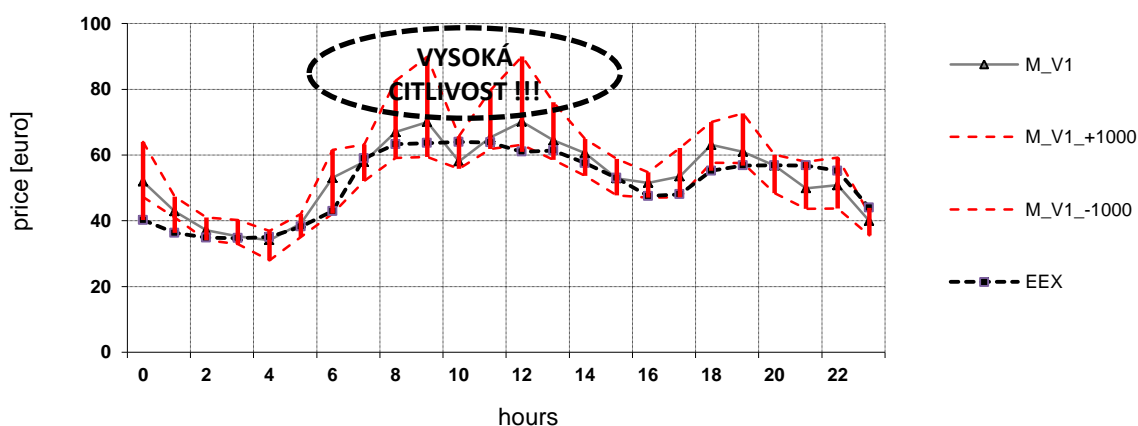
Predikční model byl navržen pro tržní účely EEX. Pro demonstraci výsledků a spolehlivosti modelu byla zvolena metoda MAPE (mean absolute percentage error), která je užitečným ukazatelem vzhledem k poměrovému vyjádření chyby predikce a reálné ceny - MAPE reprezentuje průměrnou chybu predikce  $P_f$  a skutečnou hodnotou  $P_r$  (6.93).

$$MAPE = \left( \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{|P_f - P_r|}{P_f} \right) \cdot 100\% \quad (6.93)$$

Tabulka 16 – Srovnání výsledků modelu pomocí MAPE

TESTOVACÍ TÝDEN (25.9. - 1.10.2012)				
DATUM	DENNÍ MAPE	MAX. MAPE	MIN. MAPE	CHYBA
25.9.2012	20,3%	87,38%	1,32%	6,56 €
26.9.2012	10,0%	32,81%	1,90%	4,75 €
27.9.2012	5,7%	13,19%	1,31%	3,55 €
28.9.2012	3,6%	12,05%	0,03%	2,06 €
29.9.2012	4,2%	16,03%	0,15%	2,47 €
30.9.2012	4,4%	17,08%	0,14%	2,34 €
1.10.2012	7,4%	17,16%	0,13%	3,84 €
<b>TYDENNÍ PRŮMĚR</b>	<b>7,9%</b>	<b>27,96%</b>	<b>0,71%</b>	<b>3,65 €</b>

Obrázek 82 ukazuje srovnání predikčního NN modelu (klasický perceptronový bez SOM) a reálných cen elektřiny na EEX. Z prvního pohledu lze tvrdit, že model je realitně spolehlivý a koreluje s reálnou cenou, MAPE se pohybuje v rozsahu 0÷10% pro dny s nižší fundamentální deltou (bližší srovnání v Tabulka 16). V praxi tedy nelze takto navržený model při vyšší fundamentální deltě využít – není vhodný pro dynamické změny, které není schopna NN zachytit v učící fázi, pro odstranění této vady a lepší klasifikaci podobných dní z hlediska změnových fundamentů, byla aplikována SOM, jejíž aplikace je zejména pro kvantifikační účely. Po aplikaci SOM do modelu došlo tedy k variaci a zkoumání počtu klasifikovaných shluků, nebylo možno volit velké množství shluků s ohledem na následnou velikost trénovací množiny pro perceptronovou síť. Z hlediska výsledků docházelo k neoptimálnějším výsledkům při použití 4 klasifikačních skupin (zlepšení MAPE o cca 2 %).



Obrázek 83 – šířka citlivostního intervalu a její souvislost s likviditou trhu

Jak již bylo řečeno velice užitečným nástrojem je také užívání modelu cenových křivek a sledování citlivosti jednotlivých hodinových cen, nyní v krátkosti zpětným

testováním tento přínos vyčíslíme na praktických příkladech. Po anlyzách dat lze tvrdit, že skutečná hodinová cena leží v sensitivním intervalu  $\pm 1000\text{MW}$  s 95% pravděpodobností a důvěryhodnost značně závisí na likviditě trhu (Tabulka 17), která se zejména odvíjí od fundamentální delty do které z velké části dynamicky promlouvají OZE - velká dynamika v šířce citlivostního intervalu v době náběhových hran solárních elektráren a peaku produkce.

**Tabulka 17 – příklad cenové predikce s ukázkou šířky citlivostního intervalu**

24.4.2012				
HODINA	M_V1 [euro]	+1000MW [euro]	-1000MW [euro]	VĚROHODNOST [%]
1	51,92	47,26	63,99	16,73
2	42,90	41,05	47,35	6,30
3	37,14	34,04	41,05	7,01
4	35,30	32,90	40,20	7,30
5	34,13	28,00	36,95	8,95
6	39,17	35,04	42,07	7,03
7	53,07	42,17	61,60	19,43
8	57,94	52,10	63,22	11,12
9	67,00	59,11	82,55	23,44
10	70,06	59,43	89,90	30,47
11	58,07	55,82	65,72	9,90
12	65,31	61,81	79,68	17,87
13	70,17	63,14	89,96	26,82
14	64,46	58,52	76,08	17,56
15	60,61	53,66	64,85	11,19
16	52,93	47,69	58,87	11,18
17	51,54	47,05	54,78	7,73
18	53,51	47,17	62,13	14,96
19	63,08	57,68	70,07	12,39
20	61,01	57,56	72,63	15,07
21	56,79	48,37	60,10	11,73
22	49,90	43,59	57,95	14,36
23	50,80	43,74	59,26	15,52
24	39,95	35,57	42,02	6,45

## **7. Náměty na další rozvoj - Neuronové sítě při zahrnutí market couplingu pro dva státy CWE regionu (DE a FR)**

Díky liberalizaci trhu s elektřinou dochází k vyššímu využívání přenosových linek mezi jednotlivými TSO. Prvotně byly tyto přenosové linky konstruovány hlavně za účelem synchronizace sítí a přeshraniční výpomoc v havarijních stavech TSO. Liberální přístup k trhu přispěl k využívání těchto linek i formou komerční tzn. jako médium k fyzickým přetokům elektřiny při přeshraničních obchodech. Rozvoj tržních prostředí zvýšil aktivitu obchodování na přeshraničních profilech a donutil jednotlivá TSO zavést opatření pro prevenci přetížení a ochrany těchto linek. Souhrn opatření a procedur vedoucích k této prevenci je znám pod jménem „Congestion Management“. Obecně nejrozšířenější formou přidělování přenosových práv je explicitní aukce, kde jsou nejprve TSO zveřejní zbylou fyzicky využitelnou přenosovou kapacitu pro alokaci, poté jsou po určitý čas shromažďovány tržní poptávky. Vyhodnocení a konečné přidělení začíná od poptávek s nejvyšší poptávanou cenou resp. uspokojeny jsou nejdříve dražší poptávky tento cyklus pokračuje postupně k levnějším poptávkám až do doby, kdy je disponibilní kapacita nulová, tento okamžik určuje konečnou hodinovou cenu přeshraniční kapacity (cena je určena dle nejlevnější uspokojené poptávky). Tuto cenu mají povinnost uspokojení poptavatelé zaplatit TSO za přidělená kapacitní práva. I přes aukční formu přidělování alokačních práv nedochází k naprosto efektivnímu využití přidělených kapacit tzn. nedochází k praktickému využití všech přidělených kapacitních práv. Proto se přistupuje k jiné formě rozdělování kapacitních práv a to formou tzv. implicitní aukce, kde je proces rozdělení kapacitních práv plně spojen s vlastním vnitrooblastním trhem, kde poptavatelé zadají nabídky a poptávky na prodej a nákup elektřiny, provede se proces sesouhlasení s výslednou cenou pro každou z bilančních oblastí. Dále dochází k procesu Market Couplingu (MC) tzn. nejprve se provedou regionální implicitní procesy sesouhlasení dle nahromaděných nabídek a poptávek – výsledkem procesu jsou hodinové ceny a příslušné uspokojené nabídky. Nyní se zapojuje implicitní kapacitní aukce a využití volných tranzitních kapacit. Směr samotných tranzitních toků je určen dle příslušných hodinových cen tak abychom minimalizovali cenové diference v jednotlivých tržních oblastech a zároveň maximalizovali fyzické využití přenosových linek. Dochází k výkonovému přetoku z nejdražší oblasti do nejlevnější (simulace posunu bid&ask křivek) až do doby srovnání cen nebo doby plného využití tranzitních kapacit. Stavů kdy nedochází k plnému cenovému srovnání (není plný MC) říkáme „decoupling oblastí“.

Popsaný proces samozřejmě plně metodicky zasahuje do predikčních cenových modelů a je jedním z námětů pro další rozvoj, který vyžaduje masivní datovou základnu, náročné analytické zpracování a následné zapracování do existujících modelů. Hypoteticky může poté docházet ke zvýšení zisku zejména tím, že budeme schopni odhalit decouplingové stavy a vysoce tím zefektivnit vlastní tržní optimalizaci.

Podoba MC není prozatím legislativně jednotná, nicméně existují již určité bilanční oblasti, které na model MC přistoupily ať již je to MC pro CWE (Central West Europe) region nebo CEE (Central East Europe) region. Pro predikční modely tato skutečnost znamená značnou úpravu algoritmu zahrnující MC do matematického modelu jednotlivých regionů. Obecně lze úlohu MC řešit jako MILP (Mixed Integer Linear Programming) optimalizační úlohu. Možný postup je následující:

- Simulace jednotlivých tržních oblastí zahrnutých v MC (implicitní aukce)
- Kalkulace Flow Base (FB) kapacity na dotčených hraničních profilech (speciální výpočet dostupné kapacity pro celý region)
- Optimalizační úloha pro celou oblast – využívající dostupné přeshraniční kapacity FB
- Aplikace výsledků a určení nových tržních cen

## 8. Vlastní přínos

Praktický přínos první části práce je vlastní návrh hybridního systému VTE, BPE se začleněním plynového zásobníku, který vnáší určitou míru regulační flexibility celého modelu i možnosti využití zbytkového tepla. Došlo k nastavení metodiky pro návrh systémových komponent a ekonomické valuaci projektu. Návrh a kalkulace vztažené k tomuto modelu byly publikovány v [5][6][7][8].

V druhé části práce byla vědecká činnost cílena zejména do oblasti krátkodobých cenových modelů elektřiny pro využití při tržní optimalizaci výrobního portfolia. Pro analýzu dat bylo využito obvyklých statistických metod a byly vysledovány fundamentální vlivy, které ovlivňují hodinovou cenu elektřiny na krátkodobých trzích. Byl též zvolen matematický popis cenotvorby hodinových cen elektřiny. Fundamenty byly nejdříve teoreticky vytipovány z analýzy obecné poptávkové a nabídkové křivky, poté došlo k ověření na cenovou vazbu a následně ke kontinuálnímu sledování daných fundamentů v čase. Po vytvoření dostatečné datové základny bylo přistoupeno k vlastním teoretickým pokusům a tvorbě modelu, kde došlo prvotně k navázání na již existující vědecké práce věnované této problematice [45][49][50] a k postupnému vývoji vlastních modelů na bázi statistické a fundamentální.

Pro zpětné testování kvality predikce byl zvolen parametr MAPE (**M**ean **A**bsolute **P**ercentage **E**rror), který byl převzat z již publikovaných prací a na jehož základě bylo možné srovnat kvalitu modelu s modely již pracujícími a zároveň samotné modely mezi sebou. Jako vývojový nástroj byl zvolen program MATLAB vizualizační vrstva a databáze dat byla poté vytvářena jednoduše pomocí VBA.

Statistické modely byly prvotně vyvinuty na korelační a aproximační bázi s využitím klouzavých průměrů, sezónnosti a normalizovaných historických průměrech. Obecně nedosahovali dostatečně spolehlivých výsledků.

Alternativou byla aplikace neuronových sítí. Na predikci jsme se dívali z pohledu uzavřeného problému s definovanými vstupními veličinami převzatými ze statistických analýz. Nastavili jsme metodiku normování jednotlivých fundamentů. Vycházíme vždy ze známého dne resp. křivek sesouhlasení a zaměřujeme se na změnu okolních podmínek (fundamentů), která mají korelační vazbu na cenu. Hledáme výkonové hodinové delty mezi skupinově podobnými dny, která vytvářejí určitou matematickou vazbu rovnající se implikované deltě mezi tytéž dny.

Po komplexním datovém zpracování jsme přistoupeni k návrhu perceptronové sítě se zpětným šířením chyby, kterou jsme v učící fázi kalibrovali pomocí fundamentálních vzorků

zaznamenaných do databáze (input) a implikovanými výkonovými deltami (output). Pro odstranění prvotního šumu jsme aplikovali separaci vstupní množiny na sezónní podmnožiny a množinu posledních měsíců. Dalším pokusem o zlepšení přesnosti modelu byla myšlenka zvýraznění vlivu obnovitelných zdrojů (slunce, vítr) při cenotvorbě, proto byly tyto delty převedeny kvadráty (exponenciální tvar).

Při bližším zaměření na datovou množinu vzorů, došlo k pokusu separace odlehlých hodnot a myšlence vytvoření rozdílných neuronových sítí pro sobě podobné dny, zde byl použit další typ neuronové sítě SOM (**S**elf-**O**rganized **K**ohonen **M**aps) pro kategorizaci vstupní množiny dat do shluků. Ve finální podobě užívání modelu byl tedy jako třídič využit SOM (každá skupina obsahovala několik neuronových perceptronových sítí) odkud data putovala do příslušných neuronových perceptronových sítí (10 neuronových sítí). Jako absolutní výstup byl zvolen medián 10 výstupních křivek. Výkonová delta byla navázána na podobný den (došlo k posunu křivek sesouhlasení) a byl spuštěn vyvinutý simulační nástroj procesu sesouhlasení, který produkoval finální predikci hodinové ceny elektřiny. MAPE dosaženo na 7,9% s chybou cca. 3,65 euro/MWh. Práce postupně publikována v [1][2][11][10][9].



## 9. Závěr

V předkládané práci byl popsán metodický popis výpočtů pro hybridní výrobní jednotku VTE-BPE. Výpočty jsou jak provozního, tak ekonomického charakteru. Následně byl pro dané matematické jádro navržen programový počítačový model vyhodnocující ekonomickou efektivitu investice a umožňující simulaci provozu jednotky.

Vytvořeným uživatelským modelem „MODEL“ byla provedena simulace běhu popisovaného systému v délce jednoho roku (roční vzorky rychlosti větru) s následným ekonomickým vyhodnocením celého projektu. Simulace byla tvořena při regulaci na nejvyšší možnou dosažitelnou hladinu kompenzace (dáno dimenzováním PM), kdy spolupráce mezi zásobníkem bioplynu, PM a zplyňovacím zařízením při navrženém systému řízení fungovala bezchybně. Pro správnou funkci celého systému je velice důležitá alespoň částečná predikce produkce větrné energie. Při modelaci bylo zjištěno, že pro potřeby kompenzace se nevyužije celý objem produkovaného bioplynu a jeho část zůstává nevyužita. Generovaný přebytek je zamýšleno využít pro výrobu tepla a spojení této produkce jako doplňkového zdroje ke klasické konvenční teplárně. Bližší specifikace využití tepla již nebyla v této práci diskutována.

Pro tržní optimalizaci byly vyvinuty obecné predikční modely, které lze aplikovat pro jednotlivé tržní oblasti a tím zabezpečit optimální návratnost jednotlivých investičních projektů a vyšší rentabilitu zamýšlené investice. Nejpřesnějších výsledků dosahuje hybridní neuronový model kombinující výhody SOM (hlubší klasifikace dynamických fundamentů – vítr, slunce) a klasické perceptronové sítě. NN model využívá výkonovou mezi-denní deltu, kterou aplikuje na cenové křivky podobného dne (vyvinuty 4 denní scénáře – pondělí, ostatní pracovní dny, víkendy a svátky). Samostatný model cenových křivek simuluje algoritmus EEX. Využívá křivky poptávky a nabídky, které posouvá o kalkulovanou deltu a spouští nový proces sesouhlasení, díky kterému jsme schopni jednak přesně simulovat chování trhu a také sestavit citlivostní obalovou křivku vykreslující sensitivitu jednotlivých hodin na změnu výkonové delty v příslušné hodině. Navržený predikční model je již prakticky využíván na mapování a predikci denního trhu EEX, jeho vývoj, kalibrace a praktické testování funkčnosti byly hlavním vědeckým přínosem práce.

Ekonomická povaha projektu je samozřejmě velice citlivá na aktuální výši podpory OZE ze strany státu resp. cenovými rozhodnutí ERU.

## Seznam použité literatury

- [1] Beranovský, J.: *Metody hodnocení vhodnosti a výtěžnosti OZE pro účely energetických bilancí a energetické statistiky a pro účely regionálního územního plánování a energetických generelů*, EkoWATT Praha 2000
- [2] Motlík, J., Šamánek, L., Štekl, J., Pařízek, T., Bébar, L., Lisý, M., Pavlas, M., Bařinka, M., Klimek, P., Knápek, J., Vašíček, J.: *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice*, ČEZ Praha 2007
- [3] Bufka, A.: *Obnovitelné zdroje energie v roce 2008 – surovinová analýza*, MPO Praha 2008
- [4] Bufka, A.: *Aktualizovaná státní energetická koncepce České republiky*, MPO Praha 2009
- [5] Srdečný, K., Beranovský, J.: *Technologie vhodné pro decentralizovanou energetiku*, EkoWATT Praha 2008
- [6] Dvořák, L., Klazar, J., Petrák, J.: *Tepelná čerpadla*, SNTL Praha 1987
- [7] Vaníček, K. a kol.: *Popis pole globálního záření na území České republiky v období 1984 -1993*, Národní klimatický program české republiky, Praha, 1994
- [8] Vaníček, K., Čeněk, J., Reichrt, J.: *Sluneční záření na území ČSSR*, MLVH ČSR ve spolupráci a DT ČSVTS Pardubice, Pardubice 1985
- [9] Cihelka, J.: *Solární tepelná technika*, T, Malina, Praha, 1994
- [10] Beranovský, J.: *Renewable Energy Resources in the Czech Republic*, Kurs Academia Istropolitana Nova, EEDEC – The Final Examination Topic: *World Energy Resources – Renewable Fuels*, EkoWATT, Praha, 1999
- [11] Bednář, J.: *Pozoruhodné jevy v atmosféře, Atmosférická optika, akustika a elektřina*, Academia, Praha, 1989
- [12] Vaníček, K. a kol.: *Popis pole globálního záření na území České republiky v období 1984 -1993*, Národní klimatický program České republiky, Praha, 1994
- [13] Huth, R., Štekl, J.: *Struktura pole větru při zemi*, Práce a štúdie 41, Bratislava, s. 115-125, 1989
- [14] Nosek, M.: *Metody v klimatologii*, Academia, Praha, s. 433, 1972
- [15] Rychetník, V., Pavelka, J., Janoušek, J.: *Větrné motory a elektrárny*, ČVUT, Praha, 1997

- [16] Tůma, J., Rusek, S., Martínek, Z., Chemišinec, I., Goňo, R.: *Spolehlivost v elektroenergetice* (monografie), CONTE spol., s.r.o., ČVUT Praha 2006, ISBN 80-239-6483-6 (+SW zpracování monografie pro PC)
- [17] Tůma, J., Tesařová, M., Martínek, Z., Chemišinec, I.: *Security, Quality and Reliability of Electrical Energy* (monografie v AJ), CONTE spol., s.r.o., ČVUT Praha, ZČU v Plzni 2007, ISBN 978-80-239-9056-0 (+SW zpracování monografie pro PC)
- [18] stránky společnosti ČEZ, a.s.
- [19] cenové rozhodnutí ERU č. 4/2009 ze dne 3.11.2009
- [20] stránky operátora trhu s elektřinou OTE
- [21] Stevens, D.J.: *Hot Gas Conditioning: Recent Progress With Larger-Scale Biomass Gasification Systems*, NREL/SR-510-29952, Colorado, USA, 2001
- [22] Lisý, M., Baláš, M., Kohout, P., Skála, Z.: *Fluidní zplyňování vybraných druhů biomasy*, Sborník z konference „Kotle a energetická zařízení“, Brno, 13.-15.3.2006, ISSN 1801-1306
- [23] Motlík, J., Váňa, J.: *Biomasa pro energii*, Biom.cz 2010
- [24] Línková, E.: *Biolíh pomůže regionům*, 26.7.2005 Zemědělec, www.agronavigator.cz
- [25] Bílý, M.: *ORC technologie v Trhových Svinech*, 26, 12, 2005, www.tzb-info.cz
- [26] Škorpík, J.: *Příspěvek k návrhu Stirlingova motoru*, VUT v Brně, Edice PhD Thesis, 2008, ISBN 978-80-214-3763-0
- [27] Dvorský, E.: *Management a marketing v elektroenergetice*, ZČU Plzeň, učební materiály
- [28] Kol. autorů: *Využití biomasy pro energetické účely*, Česká energetická agentura, Praha 1997
- [29] vyhláška č. 140/2009 Sb., příloha č. 6 ERU pro stanovení ceny elektrické energie
- [30] vyhláška MŽP č. 482/2005 Sb.: *Druhy, způsoby využití a parametry biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy*
- [31] Pohořelý, M., Jeremiáš, M., Skoblia, S., Kameníková, P., Svoboda, K., Tošnarová, M., Šyc, M., Punčochář, M., Gál, L.: *Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění*, Ústav chemických procesů AVČR a VSCHT Praha 2007
- [32] OTE – operátor trhu s elektřinou
- [33] ČEPS – provozovatel české přenosové soustavy
- [34] Velek, V.: *První zkušenosti z provozu větrného parku 21 x 2 MW Kryštofovy Hamry*, konference ČK CIRED, Tábor 2008

- [35] Ptáček, J.: *Současný stav a očekávaný rozvoj větrné elektrárny v Evropě a v ES ČR, jejich vliv na rozvoj soustavy*, konference ČK CIRED, Tábor 2008
- [36] Alfonso, D., Perpina, C., Pérez-Navarro, A., Penalvo, E., Vargas, C.: *Methodology for optimization of distributed biomass resources evaluation, management and final energy use*, Biomass and Bioenergy 2009, 33:1070-9
- [37] Mužík, O., Abraham, Z.: *Využití a ekonomika bioplynových stanic v zemědělství a podniku*, VÚZT Praha 2006, výzkumný záměr MZE 0002703101
- [38] Marková, H.: *Daňové zákony 2010*, Grada Publishing 2010
- [39] Walkenbach, J.: *Microsoft Excel 2003 Programming VBA*, Computer Press 2006
- [40] Kodex přenosové soustavy, část B – podmínky pro užívání přenosové soustavy, ČEPS, a.s., Praha, 1999
- [41] Kolektiv: *Návrh „Energetického zákona“*, Vláda ČR (tisk č. 535/0 Poslanecké sněmovny ČR ze dne 10.2.2000), Praha, únor 2000
- [42] Kolektiv: *„Podmínky organizace a realizace trhu s elektřinou v české republice“*, sborník semináře pořádané EGÚ Brno ve dnech 27. a 28.9.1999
- [43] Findura, M., Jäger, R.: *Filosofie návrhu Dispečinku ČEZ*, Studie (verze V2.0), Technická zpráva ev,č, TZ 1183/3000, ORGREZ SC, a.s., Brno, únor 2000
- [44] Weron, R.: *Modelling and Forecasting Electricity Loads and Prices a Statistical Approach*. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester 2006, England. ISBN 10 0-470-05753-X .
- [45] Lei, W., Shahidehpour, M.: *A hybrid model for day-ahead price forecastin*. Manuscript in Chicago, IL 60616 USA, Illinois institut of Technology 2008
- [46] Kisel. D: *A Brief Introduction to Neural Networks*, EPSILON-EN, 2010
- [47] Hagan. T, Dcmuth. B, Beale. M: *Neural Network Design*, Publishing Company 1996, ISBN 7-111-10841-8/TP
- [48] Zetka, J.: *Návrh optimálního způsobu řízení výroby elektrické energie ve skupině B*, Disertační práce, ČVUT, Praha 2008
- [49] Catalao. J, Mariano. S, Mendes. V, Ferreira. L: *Short-term electricity prices forecasting in a competitive market: A neural network approach*, Electric power systems research 77 (2007) 1297-1304
- [50] Jun Zhao. H, Zhao Dong. Y, Zhao. X, Kit Wong. P: *A statistical approach for interval forecasting of the electricity prices*, Power systems, IEEE Transactions on (Volume 23, Issue: 2), 2008, 0885-8950



## Príloha 1. Skript vytvářející samotnou hybridní (perceptronové a SOM) neuronovou síť (10 x NN), její kalibraci a finální nastavení pro produkční využití (MatLab)

```

PRICE CURVES MODEL DE - SOM clustering
% model for clustering of the input values (input is vector 48x1 - one day
% solar (24x1) and wind deltas (24x1))
% CONSTANTS
PATH_INPUT = 'E:\calibrace\m_input_dataSOM.csv';
PATH_INPUT1 = 'E:\calibrace\m_input_data.csv';
PATH_INPUT_SOM_WRK = 'E:\calibrace\Run\wrk.mat';
PATH_INPUT_SOM_WKD = 'E:\calibrace\Run\wkd.mat';
PATH_INPUT1_1 = 'E:\calibrace\V1\net_1_1_v1_';
PATH_INPUT1_1p = 'E:\calibrace\V1\net_1_1_vlp_';
PATH_INPUT1_1op = 'E:\calibrace\V1\net_1_1_vlop_';
PATH_INPUT1_2 = 'E:\calibrace\V1\net_1_2_v1_';
PATH_INPUT1_2p = 'E:\calibrace\V1\net_1_2_vlp_';
PATH_INPUT1_2op = 'E:\calibrace\V1\net_1_2_vlop_';
PATH_INPUT1_3 = 'E:\calibrace\V1\net_1_3_v1_';
PATH_INPUT1_3p = 'E:\calibrace\V1\net_1_3_vlp_';
PATH_INPUT1_3op = 'E:\calibrace\V1\net_1_3_vlop_';
PATH_INPUT1_4 = 'E:\calibrace\V1\net_1_4_v1_';
PATH_INPUT1_4p = 'E:\calibrace\V1\net_1_4_vlp_';
PATH_INPUT1_4op = 'E:\calibrace\V1\net_1_4_vlop_';
PATH_INPUT1_5 = 'E:\calibrace\V1\net_1_5_v1_';
PATH_INPUT1_5p = 'E:\calibrace\V1\net_1_5_vlp_';
PATH_INPUT1_5op = 'E:\calibrace\V1\net_1_5_vlop_';

PATH_INPUT2_1 = 'E:\calibrace\V2\net_2_1_v1_';
PATH_INPUT2_1p = 'E:\calibrace\V2\net_2_1_vlp_';
PATH_INPUT2_1op = 'E:\calibrace\V2\net_2_1_vlop_';
PATH_INPUT2_2 = 'E:\calibrace\V2\net_2_2_v1_';
PATH_INPUT2_2p = 'E:\calibrace\V2\net_2_2_vlp_';
PATH_INPUT2_2op = 'E:\calibrace\V2\net_2_2_vlop_';
PATH_INPUT2_3 = 'E:\calibrace\V2\net_2_3_v1_';
PATH_INPUT2_3p = 'E:\calibrace\V2\net_2_3_vlp_';
PATH_INPUT2_3op = 'E:\calibrace\V2\net_2_3_vlop_';
PATH_INPUT2_4 = 'E:\calibrace\V2\net_2_4_v1_';
PATH_INPUT2_4p = 'E:\calibrace\V2\net_2_4_vlp_';
PATH_INPUT2_4op = 'E:\calibrace\V2\net_2_4_vlop_';
PATH_INPUT2_5 = 'E:\calibrace\V2\net_2_5_v1_';
PATH_INPUT2_5p = 'E:\calibrace\V2\net_2_5_vlp_';
PATH_INPUT2_5op = 'E:\calibrace\V2\net_2_5_vlop_';

%% PREP. DATA
S = csv2struct1(PATH_INPUT, ','); % Create the structure for the
raw data (as string) % Length of the structure
lgt = size(S, 1);
% fieldnames(S)
% reading of the column vector - necessity to transpose all vectors
%solar
dt = arrayfun(@(x) datenum(x.Datum, 'dd/mm/yyyy'), S);
wkd=arrayfun(@(x) str2num(x.CisloDne), S);
ign=arrayfun(@(x) str2num(x.Ignore), S);
sol1 = arrayfun(@(x) str2num(x.s1), S); % 1.hod
sol2 = arrayfun(@(x) str2num(x.s2), S); % 2.hod
sol3 = arrayfun(@(x) str2num(x.s3), S); % 3.hod
sol4 = arrayfun(@(x) str2num(x.s4), S); % 4.hod
sol5 = arrayfun(@(x) str2num(x.s5), S); % 5.hod
sol6 = arrayfun(@(x) str2num(x.s6), S); % 6.hod
sol7 = arrayfun(@(x) str2num(x.s7), S); % 7.hod
sol8 = arrayfun(@(x) str2num(x.s8), S); % 8.hod
sol9 = arrayfun(@(x) str2num(x.s9), S); % 9.hod
sol10 = arrayfun(@(x) str2num(x.s10), S); % 10.hod
sol11 = arrayfun(@(x) str2num(x.s11), S); % 11.hod
sol12 = arrayfun(@(x) str2num(x.s12), S); % 12.hod
sol13 = arrayfun(@(x) str2num(x.s13), S); % 13.hod
sol14 = arrayfun(@(x) str2num(x.s14), S); % 14.hod
sol15 = arrayfun(@(x) str2num(x.s15), S); % 15.hod
sol16 = arrayfun(@(x) str2num(x.s16), S); % 16.hod
sol17 = arrayfun(@(x) str2num(x.s17), S); % 17.hod
sol18 = arrayfun(@(x) str2num(x.s18), S); % 18.hod
sol19 = arrayfun(@(x) str2num(x.s19), S); % 19.hod
sol20 = arrayfun(@(x) str2num(x.s20), S); % 20.hod
sol21 = arrayfun(@(x) str2num(x.s21), S); % 21.hod
sol22 = arrayfun(@(x) str2num(x.s22), S); % 22.hod
sol23 = arrayfun(@(x) str2num(x.s23), S); % 23.hod
sol24 = arrayfun(@(x) str2num(x.s24), S); % 24.hod
%wind
win1 = arrayfun(@(x) str2num(x.w1), S); % 1.hod
win2 = arrayfun(@(x) str2num(x.w2), S); % 2.hod
win3 = arrayfun(@(x) str2num(x.w3), S); % 3.hod
win4 = arrayfun(@(x) str2num(x.w4), S); % 4.hod
win5 = arrayfun(@(x) str2num(x.w5), S); % 5.hod
win6 = arrayfun(@(x) str2num(x.w6), S); % 6.hod
win7 = arrayfun(@(x) str2num(x.w7), S); % 7.hod

```

```

win8 = arrayfun(@(x)str2num(x.w8), S); % 8.hod
win9 = arrayfun(@(x)str2num(x.w9), S); % 9.hod
win10 = arrayfun(@(x)str2num(x.w10), S); % 10.hod
win11 = arrayfun(@(x)str2num(x.w11), S); % 11.hod
win12 = arrayfun(@(x)str2num(x.w12), S); % 12.hod
win13 = arrayfun(@(x)str2num(x.w13), S); % 13.hod
win14 = arrayfun(@(x)str2num(x.w14), S); % 14.hod
win15 = arrayfun(@(x)str2num(x.w15), S); % 15.hod
win16 = arrayfun(@(x)str2num(x.w16), S); % 16.hod
win17 = arrayfun(@(x)str2num(x.w17), S); % 17.hod
win18 = arrayfun(@(x)str2num(x.w18), S); % 18.hod
win19 = arrayfun(@(x)str2num(x.w19), S); % 19.hod
win20 = arrayfun(@(x)str2num(x.w20), S); % 20.hod
win21 = arrayfun(@(x)str2num(x.w21), S); % 21.hod
win22 = arrayfun(@(x)str2num(x.w22), S); % 22.hod
win23 = arrayfun(@(x)str2num(x.w23), S); % 23.hod
win24 = arrayfun(@(x)str2num(x.w24), S); % 24.hod

wk_dummies = zeros(lgt, 7); % Dummy time series for
weekdays, as binary
for i=1:7
    wk_dummies(wkd==i, i) = 1;
end
clear i lgt S;

%% DATA PRE-PROCESSING
%Y = delta;
%imput dummies
X = [wk_dummies wkd dt ign sol1 sol2 sol3 sol4 sol5 sol6 sol7 sol8 sol9 sol10 sol11 sol12 sol13 sol14 sol15
sol16 sol17 sol18 sol19 sol20 sol21 sol22 sol23 sol24 win1 win2 win3 win4 win5 win6 win7 win8 win9 win10
win11 win12 win13 win14 win15 win16 win17 win18 win19 win20 win21 win22 win23 win24];
% Treatment of imports!!!
clear sol1 sol2 sol3 sol4 sol5 sol6 sol7 sol8 sol9 sol10 sol11 sol12 sol13 sol14 sol15 sol16 sol17 sol18
sol19 sol20 sol21 sol22 sol23 sol24 win1 win2 win3 win4 win5 win6 win7 win8 win9 win10 win11 win12 win13
win14 win15 win16 win17 win18 win19 win20 win21 win22 win23 win24;

%%
% workdays only
X_wrk = X(wkd<6 & ign==0, :);
X_wrk_datum=X_wrk(:, 8:9); %zapis datumu a cisla dne
X_wrk(:, 6:7) = [];

% weekends only
X_wke = X(wkd>5 & ign==0, :);
X_wke_datum=X_wke(:, 8:9);
X_wke(:, 1:5) = [];

%% CALCULATION - NEURAL NETWORK

% This script assumes these variables are defined:
% X - input data.
%workdays only
inputs = X_wrk';
% Create a Self-Organizing Map
dimension1 = 2;
dimension2 = 2;
net = selforgmap([dimension1 dimension2]);
% Train the Network
[net,tr] = train(net,inputs);
% Test the Network
output1 = net(inputs);
save(PATH_INPUT_SOM_WRK, 'net');
% View the Network
% This script assumes these variables are defined:
% X - input data.
%workdays only
inputs = X_wke';
% Create a Self-Organizing Map
dimension1 = 2;
dimension2 = 2;
net = selforgmap([dimension1 dimension2]);
% Train the Network
[net,tr] = train(net,inputs);
% Test the Network
output2 = net(inputs);
save(PATH_INPUT_SOM_WKD, 'net');
% View the Network
%view(net);
% Plots
% Uncomment these lines to enable various plots.
%figure, plotsomhits(net,inputs)

```

```

%% USING SOM NEURAL NETWORK

%input data sorting according the SOM
% workday
output1=[output1' X_wrk_datum];
lng1=size(output1);
groups1=zeros(lng1(1),1);
for i=1:lng1(1)
    for j=1:lng1(2)
        if output1(i,j)==1
            groups1(i)=j;
        end;
    end;
end
output1(:,1:4)=[ ];
output1=[groups1 output1];
out1_1 = output1(groups1==1, 3);lng1_1=size(out1_1);
out1_2 = output1(groups1==2, 3);lng1_2=size(out1_2);
out1_3 = output1(groups1==3, 3);lng1_3=size(out1_3);
out1_4 = output1(groups1==4, 3);lng1_4=size(out1_4);
out1_5 = output1(groups1==5, 3); lng1_5=size(out1_5);

%weekend
output2=[output2' X_wke_datum];
lng2=size(output2);
groups2=zeros(lng2(1),1);
for i=1:lng2(1)
    for j=1:lng2(2)
        if output2(i,j)==1
            groups2(i)=j;
        end;
    end;
end
output2(:,1:4)=[ ];
output2=[groups2 output2];
out2_1 = output2(groups2==1, 3);lng2_1=size(out2_1);
out2_2 = output2(groups2==2, 3); lng2_2=size(out2_2);
out2_3 = output2(groups2==3, 3); lng2_3=size(out2_3);
out2_4 = output2(groups2==4, 3); lng2_4=size(out2_4);
out2_5 = output2(groups2==5, 3); lng2_5=size(out2_5);

S = csv2struct1(PATH_INPUT, ','); % Create the structure for the
raw data (as string) % Length of the structure
lgt = size(S, 1);
% fieldnames(S)
% reading of the column vector - necessity to transpose all vectors
%solar
dt = arrayfun(@(x) datenum(x.Datum, 'dd/mm/yyyy'), S);

%reading whole set
S = csv2struct1(PATH_INPUT1, ',');
lgt = size(S, 1);
dt = arrayfun(@(x) datenum(x.DATE, 'dd/mm/yyyy'), S); % Date, as numeric
hr = arrayfun(@(x) str2num(x.HOUR), S); % Hour, as numeric
wkd = arrayfun(@(x) str2num(x.WEEKDAY), S); % Weekday (1-7), as numeric
cons2 = arrayfun(@(x) str2num(x.CON2), S); % Consumption by NENA, as
numeric
nuc = arrayfun(@(x) str2num(x.NUC), S); % Nuclear availability, as
numeric
lig = arrayfun(@(x) str2num(x.LIG), S); % Lignite availability, as
numeric
coa = arrayfun(@(x) str2num(x.COA), S); % Coal availability, as numeric
gas = arrayfun(@(x) str2num(x.GAS), S); % Gas availability, as numeric
win = arrayfun(@(x) str2num(x.WIN), S); % Wind production, as numeric
sol = arrayfun(@(x) str2num(x.SOL), S); % Solar production, as numeric
delta = arrayfun(@(x) str2num(x.DELTA), S); % Implied deltas (1 - Tue-Fri, 2 - Mon,
3 - Sat-Sun), as numeric
ignore = arrayfun(@(x) str2num(x.IGNORE), S);

offpeak = zeros(lgt, 1); offpeak(hr<8 | hr>19) = 1; % Off-peak, as binary
peak = ones(lgt, 1); peak = peak-offpeak; % Peak, as binary

A=[dt wkd cons2 nuc lig coa gas win sol delta ignore peak];

%final neural network input - workdays
% net_input.....whole row of fundamentals and deltas (reduced by SOM)
% X.....fundamentals deltas (left side of the equations)
% Y.....power deltas (takgets = right side of the equation)
net_input1_1=search(A, out1_1); X_1_1=net_input1_1(:,3:9); Y_1_1=net_input1_1(:,10);
X_1_1p=net_input1_1(net_input1_1(:,12)==1,3:9); Y_1_1p=net_input1_1(net_input1_1(:,12)==1,10);
X_1_1op=net_input1_1(net_input1_1(:,12)==0,3:9); Y_1_1op=net_input1_1(net_input1_1(:,12)==0,10);
%separation on the offpeak and peak
net_input1_2=search(A, out1_2);X_1_2=net_input1_2(:,3:9);Y_1_2=net_input1_2(:,10);
X_1_2p=net_input1_2(net_input1_2(:,12)==1,3:9);Y_1_2p=net_input1_2(net_input1_2(:,12)==1,10);
X_1_2op=net_input1_2(net_input1_2(:,12)==0,3:9); Y_1_2op=net_input1_2(net_input1_2(:,12)==0,10);
%separation on the offpeak and peak
net_input1_3=search(A, out1_3);X_1_3=net_input1_3(:,3:9);Y_1_3=net_input1_3(:,10);

```



```

X_1_3p=net_input1_3(net_input1_3(:,12)==1,3:9);Y_1_3p=net_input1_3(net_input1_3(:,12)==1,10);
X_1_3op=net_input1_3(net_input1_3(:,12)==0,3:9); Y_1_3op=net_input1_3(net_input1_3(:,12)==0,10);
%separation on the offpeak and peak
net_input1_4=search(A, out1_4);X_1_4=net_input1_4(:,3:9);Y_1_4=net_input1_4(:,10);
X_1_4p=net_input1_4(net_input1_4(:,12)==1,3:9);Y_1_4p=net_input1_4(net_input1_4(:,12)==1,10);
X_1_4op=net_input1_4(net_input1_4(:,12)==0,3:9); Y_1_4op=net_input1_4(net_input1_4(:,12)==0,10);
%separation on the offpeak and peak
net_input1_5=search(A, out1_5);X_1_5=net_input1_5(:,3:9);Y_1_5=net_input1_5(:,10);
X_1_5p=net_input1_5(net_input1_5(:,12)==1,3:9);Y_1_5p=net_input1_5(net_input1_5(:,12)==1,10);
X_1_5op=net_input1_5(net_input1_5(:,12)==0,3:9); Y_1_5op=net_input1_5(net_input1_5(:,12)==0,10);
%separation on the offpeak and peak
%final neural network input - weekends
net_input2_1=search(A, out2_1);X_2_1=net_input2_1(:,3:9);Y_2_1=net_input2_1(:,10);
X_2_1p=net_input2_1(net_input2_1(:,12)==1,3:9);Y_2_1p=net_input2_1(net_input2_1(:,12)==1,10);
X_2_1op=net_input2_1(net_input2_1(:,12)==0,3:9); Y_2_1op=net_input2_1(net_input2_1(:,12)==0,10);
%separation on the offpeak and peak
net_input2_2=search(A, out2_2);X_2_2=net_input2_2(:,3:9);Y_2_2=net_input2_2(:,10);
X_2_2p=net_input2_2(net_input2_2(:,12)==1,3:9);Y_2_2p=net_input2_2(net_input2_2(:,12)==1,10);
X_2_2op=net_input2_2(net_input2_2(:,12)==0,3:9); Y_2_2op=net_input2_2(net_input2_2(:,12)==0,10);
%separation on the offpeak and peak
net_input2_3=search(A, out2_3);X_2_3=net_input2_3(:,3:9);Y_2_3=net_input2_3(:,10);
X_2_3p=net_input2_3(net_input2_3(:,12)==1,3:9);Y_2_3p=net_input2_3(net_input2_3(:,12)==1,10);
X_2_3op=net_input2_3(net_input2_3(:,12)==0,3:9); Y_2_3op=net_input2_3(net_input2_3(:,12)==0,10);
%separation on the offpeak and peak
net_input2_4=search(A, out2_4);X_2_4=net_input2_4(:,3:9);Y_2_4=net_input2_4(:,10);
X_2_4p=net_input2_4(net_input2_4(:,12)==1,3:9);Y_2_4p=net_input2_4(net_input2_4(:,12)==1,10);
X_2_4op=net_input2_4(net_input2_4(:,12)==0,3:9); Y_2_4op=net_input2_4(net_input2_4(:,12)==0,10);
%separation on the offpeak and peak

%temporary empty
net_input2_5=search(A, out2_5);X_2_5=net_input2_5(:,3:9);Y_2_5=net_input2_5(:,10);
X_2_5p=net_input2_5(net_input2_5(:,12)==1,3:9);Y_2_5p=net_input2_5(net_input2_5(:,12)==1,10);
X_2_5op=net_input2_5(net_input2_5(:,12)==0,3:9); Y_2_5op=net_input2_5(net_input2_5(:,12)==0,10);
%separation on the offpeak and peak

%% USING FEED-FORWARD NEURAL NETWORK
% feedforward neural network WORKDAYS
% 1. SOM group
net_1_1 = feedforwardnet;
net_1_1.layers{1}.size = 6;
net_1_1 = configure(net_1_1, X_1_1', Y_1_1'); %view(net_1_1)
net_1_1= init(net_1_1);
for i=1:10
    [net_1_1, tr_1_1, Y_hat_1_1, E_1_1] = train(net_1_1, X_1_1', Y_1_1');
    save([PATH_INPUT1_1 num2str(i) '.mat'], 'net_1_1');
end

% 1. SOM group peak
net_1_1p = feedforwardnet;
net_1_1p.layers{1}.size = 6;
net_1_1p = configure(net_1_1p, X_1_1p', Y_1_1p'); % view(net_1_1p)
net_1_1p= init(net_1_1p);
for i=1:10
    [net_1_1p, tr_1_1p, Y_hat_1_1p, E_1_1p] = train(net_1_1p, X_1_1p', Y_1_1p');
    save([PATH_INPUT1_1p num2str(i) '.mat'], 'net_1_1p');
end

% 1. SOM group offpeak
net_1_1op = feedforwardnet;
net_1_1op.layers{1}.size = 6;
net_1_1op = configure(net_1_1op, X_1_1op', Y_1_1op'); % view(net_1_1op)
net_1_1op= init(net_1_1op);
for i=1:10
    [net_1_1op, tr_1_1op, Y_hat_1_1op, E_1_1op] = train(net_1_1op, X_1_1op', Y_1_1op');
    save([PATH_INPUT1_1op num2str(i) '.mat'], 'net_1_1op');
end

% 2. SOM group
net_1_2 = feedforwardnet;
net_1_2.layers{1}.size = 6;
net_1_2 = configure(net_1_2, X_1_2', Y_1_2'); % view(net_1_2)
net_1_2= init(net_1_2);
for i=1:10
    [net_1_2, tr_1_2, Y_hat_1_2, E_1_2] = train(net_1_2, X_1_2', Y_1_2');
    save([PATH_INPUT1_2 num2str(i) '.mat'], 'net_1_2');
end

% 2. SOM group peak
net_1_2p = feedforwardnet;
net_1_2p.layers{1}.size = 6;
net_1_2p = configure(net_1_2p, X_1_2p', Y_1_2p'); % view(net_1_2p)
net_1_2p= init(net_1_2p);
for i=1:10
    [net_1_2p, tr_1_2p, Y_hat_1_2p, E_1_2p] = train(net_1_2p, X_1_2p', Y_1_2p');
    save([PATH_INPUT1_2p num2str(i) '.mat'], 'net_1_2p');
end

% 2. SOM group offpeak
net_1_2op = feedforwardnet;

```

```

net_1_2op.layers{1}.size = 6;
net_1_2op = configure(net_1_2op, X_1_2op', Y_1_2op');% view(net_1_2op)
net_1_2op= init(net_1_2op);
for i=1:10
    [net_1_2op, tr_1_2op, Y_hat_1_2op, E_1_2op] = train(net_1_2op, X_1_2op', Y_1_2op');
    save([PATH_INPUT1_2op num2str(i) '.mat'], 'net_1_2op');
end
% 3. SOM group
net_1_3 = feedforwardnet;
net_1_3.layers{1}.size = 6;
net_1_3 = configure(net_1_3, X_1_3', Y_1_3'); % view(net_1_3)
net_1_3= init(net_1_3);
for i=1:10
    [net_1_3, tr_1_3, Y_hat_1_3, E_1_3] = train(net_1_3, X_1_3', Y_1_3');
    save([PATH_INPUT1_3 num2str(i) '.mat'], 'net_1_3');
end
% 3. SOM group peak
net_1_3p = feedforwardnet;
net_1_3p.layers{1}.size = 6;
net_1_3p = configure(net_1_3p, X_1_3p', Y_1_3p'); % view(net_1_3p)
net_1_3p= init(net_1_3p);
for i=1:10
    [net_1_3p, tr_1_3p, Y_hat_1_3p, E_1_3p] = train(net_1_3p, X_1_3p', Y_1_3p');
    save([PATH_INPUT1_3p num2str(i) '.mat'], 'net_1_3p');
end
% 3. SOM group offpeak
net_1_3op = feedforwardnet;
net_1_3op.layers{1}.size = 6;
net_1_3op = configure(net_1_3op, X_1_3op', Y_1_3op'); % view(net_1_3op)
net_1_3op= init(net_1_3op);
for i=1:10
    [net_1_3op, tr_1_3op, Y_hat_1_3op, E_1_3op] = train(net_1_3op, X_1_3op', Y_1_3op');
    save([PATH_INPUT1_3op num2str(i) '.mat'], 'net_1_3op');
end
% 4. SOM group
net_1_4 = feedforwardnet;
net_1_4.layers{1}.size = 6;
net_1_4 = configure(net_1_4, X_1_4', Y_1_4'); % view(net_1_4)
net_1_4= init(net_1_4);
for i=1:10
    [net_1_4, tr_1_4, Y_hat_1_4, E_1_4] = train(net_1_4, X_1_4', Y_1_4');
    save([PATH_INPUT1_4 num2str(i) '.mat'], 'net_1_4');
end
% 4. SOM group peak
net_1_4p = feedforwardnet;
net_1_4p.layers{1}.size = 6;
net_1_4p = configure(net_1_4p, X_1_4p', Y_1_4p'); % view(net_1_4p)
net_1_4p= init(net_1_4p);
for i=1:10
    [net_1_4p, tr_1_4p, Y_hat_1_4p, E_1_4p] = train(net_1_4p, X_1_4p', Y_1_4p');
    save([PATH_INPUT1_4p num2str(i) '.mat'], 'net_1_4p');
end
% 4. SOM group offpeak
net_1_4op = feedforwardnet;
net_1_4op.layers{1}.size = 6;
net_1_4op = configure(net_1_4op, X_1_4op', Y_1_4op'); % view(net_1_4op)
net_1_4op= init(net_1_4op);
for i=1:10
    [net_1_4op, tr_1_4op, Y_hat_1_4op, E_1_4op] = train(net_1_4op, X_1_4op', Y_1_4op');
    save([PATH_INPUT1_4op num2str(i) '.mat'], 'net_1_4op');
end
% 5. SOM group
net_1_5 = feedforwardnet;
net_1_5.layers{1}.size = 6;
net_1_5 = configure(net_1_5, X_1_5', Y_1_5'); % view(net_1_5)
net_1_5= init(net_1_5);
for i=1:10
    [net_1_5, tr_1_5, Y_hat_1_5, E_1_5] = train(net_1_5, X_1_5', Y_1_5');
    save([PATH_INPUT1_5 num2str(i) '.mat'], 'net_1_5');
end
% 5. SOM group peak
net_1_5p = feedforwardnet;
net_1_5p.layers{1}.size = 6;
net_1_5p = configure(net_1_5p, X_1_5p', Y_1_5p');% view(net_1_5p)
net_1_5p= init(net_1_5p);
for i=1:10
    [net_1_5p, tr_1_5p, Y_hat_1_5p, E_1_5p] = train(net_1_5p, X_1_5p', Y_1_5p');
    save([PATH_INPUT1_5p num2str(i) '.mat'], 'net_1_5p');
end
% 5. SOM group offpeak
net_1_5op = feedforwardnet;
net_1_5op.layers{1}.size = 6;
net_1_5op = configure(net_1_5op, X_1_5op', Y_1_5op'); % view(net_1_5op)
net_1_5op= init(net_1_5op);
for i=1:10
    [net_1_5op, tr_1_5op, Y_hat_1_5op, E_1_5op] = train(net_1_5op, X_1_5op', Y_1_5op');
    save([PATH_INPUT1_5op num2str(i) '.mat'], 'net_1_5op');
end

```

```

end

% feedforward neural network WEEKENDS
% 1. SOM group
net_2_1 = feedforwardnet;
net_2_1.layers{1}.size = 6;
net_2_1 = configure(net_2_1, X_2_1', Y_2_1'); % view(net_2_1)
net_2_1= init(net_2_1);
for i=1:10
    [net_2_1, tr_2_1, Y_hat_2_1, E_2_1] = train(net_2_1, X_2_1', Y_2_1');
    save([PATH_INPUT2_1 num2str(i) '.mat'], 'net_2_1');
end
% 1. SOM group peak
net_2_1p = feedforwardnet;
net_2_1p.layers{1}.size = 6;
net_2_1p = configure(net_2_1p, X_2_1p', Y_2_1p'); % view(net_2_1p)
net_2_1p= init(net_2_1p);
for i=1:10
    [net_2_1p, tr_2_1p, Y_hat_2_1p, E_2_1p] = train(net_2_1p, X_2_1p', Y_2_1p');
    save([PATH_INPUT2_1p num2str(i) '.mat'], 'net_2_1p');
end
% 1. SOM group offpeak
net_2_1op = feedforwardnet;
net_2_1op.layers{1}.size = 6;
net_2_1op = configure(net_2_1op, X_2_1op', Y_2_1op'); % view(net_2_1op)
net_2_1op= init(net_2_1op);
for i=1:10
    [net_2_1op, tr_2_1op, Y_hat_2_1op, E_2_1op] = train(net_2_1op, X_2_1op', Y_2_1op');
    save([PATH_INPUT2_1op num2str(i) '.mat'], 'net_2_1op');
end
% 2. SOM group
net_2_2 = feedforwardnet;
net_2_2.layers{1}.size = 6;
net_2_2 = configure(net_2_2, X_2_2', Y_2_2'); % view(net_2_2)
net_2_2= init(net_2_2);
for i=1:10
    [net_2_2, tr_2_2, Y_hat_2_2, E_2_2] = train(net_2_2, X_2_2', Y_2_2');
    save([PATH_INPUT2_2 num2str(i) '.mat'], 'net_2_2');
end
% 2. SOM group peak
net_2_2p = feedforwardnet;
net_2_2p.layers{1}.size = 6;
net_2_2p = configure(net_2_2p, X_2_2p', Y_2_2p'); % view(net_2_2p)
net_2_2p= init(net_2_2p);
for i=1:10
    [net_2_2p, tr_2_2p, Y_hat_2_2p, E_2_2p] = train(net_2_2p, X_2_2p', Y_2_2p');
    save([PATH_INPUT2_2p num2str(i) '.mat'], 'net_2_2p');
end
% 2. SOM group offpeak
net_2_2op = feedforwardnet;
net_2_2op.layers{1}.size = 6;
net_2_2op = configure(net_2_2op, X_2_2op', Y_2_2op'); % view(net_2_2op)
net_2_2op= init(net_2_2op);
for i=1:10
    [net_2_2op, tr_2_2op, Y_hat_2_2op, E_2_2op] = train(net_2_2op, X_2_2op', Y_2_2op');
    save([PATH_INPUT2_2op num2str(i) '.mat'], 'net_2_2op');
end
% 3. SOM group
net_2_3 = feedforwardnet;
net_2_3.layers{1}.size = 6;
net_2_3 = configure(net_2_3, X_2_3', Y_2_3'); % view(net_2_3)
net_2_3= init(net_2_3);
for i=1:10
    [net_2_3, tr_2_3, Y_hat_2_3, E_2_3] = train(net_2_3, X_2_3', Y_2_3');
    save([PATH_INPUT2_3 num2str(i) '.mat'], 'net_2_3');
end
% 3. SOM group peak
net_2_3p = feedforwardnet;
net_2_3p.layers{1}.size = 6;
net_2_3p = configure(net_2_3p, X_2_3p', Y_2_3p'); % view(net_2_3p)
net_2_3p= init(net_2_3p);
for i=1:10
    [net_2_3p, tr_2_3p, Y_hat_2_3p, E_2_3p] = train(net_2_3p, X_2_3p', Y_2_3p');
    save([PATH_INPUT2_3p num2str(i) '.mat'], 'net_2_3p');
end
% 3. SOM group offpeak
net_2_3op = feedforwardnet;
net_2_3op.layers{1}.size = 6;
net_2_3op = configure(net_2_3op, X_2_3op', Y_2_3op'); % view(net_2_3op)
net_2_3op= init(net_2_3op);
for i=1:10
    [net_2_3op, tr_2_3op, Y_hat_2_3op, E_2_3op] = train(net_2_3op, X_2_3op', Y_2_3op');
    save([PATH_INPUT2_3op num2str(i) '.mat'], 'net_2_3op');
end
% 4. SOM group
net_2_4 = feedforwardnet;

```

```

net_2_4.layers{1}.size = 6;
net_2_4 = configure(net_2_4, X_2_4', Y_2_4'); % view(net_2_4)
net_2_4= init(net_2_4);
for i=1:10
    [net_2_4, tr_2_4, Y_hat_2_4, E_2_4] = train(net_2_4, X_2_4', Y_2_4');
    save([PATH_INPUT2_4 num2str(i) '.mat'], 'net_2_4');
end
% 4. SOM group peak
net_2_4p = feedforwardnet;
net_2_4p.layers{1}.size = 6;
net_2_4p = configure(net_2_4p, X_2_4p', Y_2_4p'); % view(net_2_4p)
net_2_4p= init(net_2_4p);
for i=1:10
    [net_2_4p, tr_2_4p, Y_hat_2_4p, E_2_4p] = train(net_2_4p, X_2_4p', Y_2_4p');
    save([PATH_INPUT2_4p num2str(i) '.mat'], 'net_2_4p');
end
% 4. SOM group offpeak
net_2_4op = feedforwardnet;
net_2_4op.layers{1}.size = 6;
net_2_4op = configure(net_2_4op, X_2_4op', Y_2_4op'); % view(net_2_4op)
net_2_4op= init(net_2_4op);
for i=1:10
    [net_2_4op, tr_2_4op, Y_hat_2_4op, E_2_4op] = train(net_2_4op, X_2_4op', Y_2_4op');
    save([PATH_INPUT2_4op num2str(i) '.mat'], 'net_2_4op');
end
% 5. SOM group temporary empty
%net_2_5 = feedforwardnet;
%net_2_5.layers{1}.size = 6;
%net_2_5 = configure(net_2_5, X_2_5', Y_2_5'); view(net_2_5)
%net_2_5= init(net_2_5);
%[net_2_5, tr_2_5, Y_hat_2_5, E_2_5] = train(net_2_5, X_2_5', Y_2_5');
%save(PATH_INPUT2_5, 'net_2_5');
% 5. SOM group peak
%net_2_5p = feedforwardnet;
%net_2_5p.layers{1}.size = 6;
%net_2_5p = configure(net_2_5p, X_2_5p', Y_2_5p'); view(net_2_5p)
%net_2_5p= init(net_2_5p);
%[net_2_5p, tr_2_5p, Y_hat_2_5p, E_2_5p] = train(net_2_5p, X_2_5p', Y_2_5p');
%save(PATH_INPUT2_5p, 'net_2_5p');
% 5. SOM group offpeak
%net_2_5op = feedforwardnet;
%net_2_5op.layers{1}.size = 6;
%net_2_5op = configure(net_2_5op, X_2_5op', Y_2_5op'); view(net_2_5op)
%net_2_5op= init(net_2_5op);
%[net_2_5op, tr_2_5op, Y_hat_2_5op, E_2_5op] = train(net_2_5op, X_2_5op', Y_2_5op');
%save(PATH_INPUT2_5op, 'net_2_5op');

%% RESULTS
%[mean(abs(E_1_1')) mean(abs(E_1_2')) mean(abs(E_1_3')) mean(abs(E_1_4')) mean(abs(E_1_5'))]
% Mean residual

%[Rsqr(Y_1_1, E_1_1) Rsqr(Y_1_2, E_1_2) Rsqr(Y_1_3, E_1_3) Rsqr(Y_1_4, E_1_4) Rsqr(Y_1_5, E_1_5)]
% Goodfit in terms of R2

%WORKDAYS
%1.group
%figure(1)
%subplot(1, 3, 1)
%plot(Y_1_1, Y_hat_1_1', '.')
%title('goodfit of the model: SOM1')
%xlabel('implied delta')
%ylabel('calculated delta')
%axis([-4000 4000 -4000 4000])
%grid on
%subplot(1, 3, 2)
%1.group - peak
%plot(Y_1_1p, Y_hat_1_1p', '.')
%title('goodfit of the model: SOM1peak')
%xlabel('implied delta')
%ylabel('calculated delta')
%axis([-4000 4000 -4000 4000])
%grid on
%1.group - off-peak
%subplot(1, 3, 3)
%plot(Y_1_1op, Y_hat_1_1op', '.')
%title('goodfit of the model: SOM1offpeak')
%xlabel('implied delta')
%ylabel('calculated delta')
%axis([-4000 4000 -4000 4000])
%grid on

%2.group
%figure(2)
%subplot(1, 3, 1)
%plot(Y_1_2, Y_hat_1_2', '.')

```

```
title('goodfit of the model: SOM2')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on
%2.group - peak
subplot(1, 3, 2)
plot(Y_1_2p, Y_hat_1_2p, '.')
title('goodfit of the model: SOM2peak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on
%2.group - off-peak
subplot(1, 3, 3)
plot(Y_1_2op, Y_hat_1_2op, '.')
title('goodfit of the model: SOM2offpeak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on

%3.group
figure(3)
subplot(1, 3, 1)
plot(Y_1_3, Y_hat_1_3, '.')
title('goodfit of the model: SOM3')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on
%3.group - peak
subplot(1, 3, 2)
plot(Y_1_3p, Y_hat_1_3p, '.')
title('goodfit of the model: SOM3peak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on
%3.group - off-peak
subplot(1, 3, 3)
plot(Y_1_3op, Y_hat_1_3op, '.')
title('goodfit of the model: SOM3offpeak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on

%4.group
figure(4)
subplot(1, 3, 1)
plot(Y_1_4, Y_hat_1_4, '.')
title('goodfit of the model: SOM4')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on
%4.group - peak
subplot(1, 3, 2)
plot(Y_1_4p, Y_hat_1_4p, '.')
title('goodfit of the model: SOM4peak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on
%4.group - off-peak
subplot(1, 3, 3)
plot(Y_1_4op, Y_hat_1_4op, '.')
title('goodfit of the model: SOM4offpeak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on

%5.group
figure(5)
subplot(1, 3, 1)
plot(Y_1_5, Y_hat_1_5, '.')
title('goodfit of the model: SOM5')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on
%5.group - peak
subplot(1, 3, 2)
plot(Y_1_5p, Y_hat_1_5p, '.')
title('goodfit of the model: SOM5peak')
```

```

xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on
%5.group - off-peak
subplot(1, 3, 3)
plot(Y_1_5op, Y_hat_1_5op, '.')
title('goodfit of the model: SOM5offpeak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on

% WEEKENDS

%1.group
figure(6)
subplot(1, 3, 1)
plot(Y_2_1, Y_hat_2_1, '.')
title('goodfit of the model: SOM1 - weekends')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on
%1.group - peak
subplot(1, 3, 2)
plot(Y_2_1p, Y_hat_2_1p, '.')
title('goodfit of the model: SOM1 - weekends - peak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on
%1.group - off-peak
subplot(1, 3, 3)
plot(Y_2_1op, Y_hat_2_1op, '.')
title('goodfit of the model: SOM1 - weekends - offpeak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on

%2.group
figure(7)
subplot(1, 3, 1)
plot(Y_2_2, Y_hat_2_2, '.')
title('goodfit of the model: SOM2 - weekends')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on
%2.group - peak
subplot(1, 3, 2)
plot(Y_2_2p, Y_hat_2_2p, '.')
title('goodfit of the model: SOM2 - weekends - peak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on
%2.group - off-peak
subplot(1, 3, 3)
plot(Y_2_2op, Y_hat_2_2op, '.')
title('goodfit of the model: SOM2 - weekends - offpeak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on

%3.group
figure(8)
subplot(1, 3, 1)
plot(Y_2_3, Y_hat_2_3, '.')
title('goodfit of the model: SOM3 - weekends')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on
%3.group - weekends - peak
subplot(1, 3, 2)
plot(Y_2_3p, Y_hat_2_3p, '.')
title('goodfit of the model: SOM3 - weekends - peak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on
%3.group - weekends - off-peak
subplot(1, 3, 3)
plot(Y_2_3op, Y_hat_2_3op, '.')

```

```

title('goodfit of the model: SOM3 - weekends - offpeak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on

%4.group
figure(9)
subplot(1, 3, 1)
plot(Y_2_4, Y_hat_2_4, '.')
title('goodfit of the model: SOM4 - weekends')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on

%4.group - peak
subplot(1, 3, 2)
plot(Y_2_4p, Y_hat_2_4p, '.')
title('goodfit of the model: SOM4- weekends-peak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on

%4.group - off-peak
subplot(1, 3, 3)
plot(Y_2_4op, Y_hat_2_4op, '.')
title('goodfit of the model: SOM4 - weekends - offpeak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on

%5.group temporary empty
figure(10)
subplot(1, 3, 1)
plot(Y_2_5, Y_hat_2_5, '.')
title('goodfit of the model: SOM5 - weekends')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on

%5.group - peak
subplot(1, 3, 2)
plot(Y_2_5p, Y_hat_2_5p, '.')
title('goodfit of the model: SOM5 - weekends - peak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on

%5.group - off-peak
subplot(1, 3, 3)
plot(Y_2_5op, Y_hat_2_5op, '.')
title('goodfit of the model: SOM5 - weekends - offpeak')
xlabel('implied delta')
ylabel('calculated delta')
axis([-4000 4000 -4000 4000])
grid on

%% WRITE OFF THE RESULTS
% filename = 'pc_model_de_results_v1.csv';
%
% dummy1 = zeros(size(delta, 1),1); dummy1(wkd<6 & ignore==0, 1) = 1;
% dummy2 = zeros(size(delta, 1),1); dummy2(wkd>5 & ignore==0, 1) = 1;
% result_Y = zeros(size(delta, 1),1); result_Y(wkd<6 & ignore==0, 1) = Y_wrk; result_Y(wkd>5 & ignore==0,
1) = Y_wke;
% result_Y_hat = zeros(size(delta, 1),1);
% dummy_op = op; dummy_op(op==1) = Y_hat_op'; result_Y_hat(wkd<6 & ignore==0, 1) = dummy_op +
result_Y_hat(wkd<6 & ignore==0, 1);
% dummy_p = p; dummy_p(p==1) = Y_hat_p'; result_Y_hat(wkd<6 & ignore==0, 1) = dummy_p + result_Y_hat(wkd<6
& ignore==0, 1);
% result_Y_hat(wkd>5 & ignore==0) = Y_hat_wke;
%
% dlmwrite(filename,[dummy1 dummy2 yr mt dy result_Y result_Y_hat], 'delimiter', ';', 'newline', 'pc');

```

## Příloha 2. Skript sloužící ke spouštění již nakalibrovaného hybridního modelu a výpočtu finální výkonové delty pro aplikaci na cenovou křivku podobného dne (MatLab)

```

%% RUN MODEL - SOM and FF NN
% model for clustering of the input values (input is vector 48x1 - one day winar (24x1) and wind deltas
(24x1))
%

% CONSTANTS
PATH_INPUT = 'E:\calibrace\m_input_dataSOM.csv';
PATH_INPUT1 = 'E:\calibrace\m_input_data.csv';
%PATH_INPUT_SOM_WRK = 'E:\calibrace\SOM\wrk.mat';
%PATH_INPUT_SOM_WKD = 'E:\calibrace\SOM\wkd.mat';
PATH_OUTPUT = 'E:\calibrace\Results\pc_run_de_results_vSOM_';
PATH_INPUT_RUN = 'E:\calibrace\Run\m_input_run.csv'; %ACTUAL deltas které dostávám ráno před
burzou

%% PREPARE DATA

clear dt yr mt dy wkd hr cons2 nuc lig coa gas sol win imp ign group_wkd group_wrk

ENSAMBLES=10;

S = csv2struct(PATH_INPUT_RUN, ','); % Create the structure for
the raw data (as string)
%fieldnames(S)
dt = arrayfun(@(x) datenum(x.DATE, 'dd.mm.yyyy'), S); % Date, as numeric
yr = arrayfun(@(x) str2num(x.YEAR), S); % Year, as numeric
mt = arrayfun(@(x) str2num(x.MONTH), S); % Month, as numeric
dy = arrayfun(@(x) str2num(x.DAY), S); % Day, as numeric
wkd = arrayfun(@(x) str2num(x.WEEKDAY), S); % Weekday (1-7), as numeric
hr = arrayfun(@(x) str2num(x.HOUR), S); % Hour, as numeric
cons2 = arrayfun(@(x) str2num(x.CON2), S); % Consumption by NENA, as
numeric
nuc = arrayfun(@(x) str2num(x.NUC), S); % Nuclear availability, as
numeric
lig = arrayfun(@(x) str2num(x.LIG), S); % Lignite availability, as
numeric
coa = arrayfun(@(x) str2num(x.COA), S); % Coal availability, as numeric
gas = arrayfun(@(x) str2num(x.GAS), S); % Gas availability, as numeric
win = arrayfun(@(x) str2num(x.WIN), S); % Wind production, as numeric
sol = arrayfun(@(x) str2num(x.SOL), S); % Solar production, as numeric
imp = arrayfun(@(x) str2num(x.IMP), S); % Imports, as numeric
ign(1,1)=0;

dumml=zeros(1,7);
dumml(1, wkd(4,1)) =1;
if wkd(1)>5 %weekends
    dumml(:,1:5)=[];
    input_run=[dumml wkd(1,1) dt(1,1) ign sol' win'];
    load ('wkd')
    group_wkd= net(input_run);
    for i=1:4
        if group_wkd(i,1)==1
            group=i;
        end
    end
end

% feed-forward neural network

%input data
peak = [zeros(8, 1); ones(12, 1); zeros(4, 1)];
A=[dt wkd cons2 nuc lig coa gas win sol peak]; %input dummies
input_wkd=A(:,3:9);
input_wkd_p=A(peak==1,3:9);
input_wkd_op=A(peak==0,3:9);
%running ff nets
delta_wkd = zeros(24, ENSAMBLES); %without separation on peak and offpeak nets
delta_wkd_sep= zeros(24, ENSAMBLES); %separation on peak and offpeak nets
switch group
case 1
    for i=1:ENSAMBLES
        load (['net_2_' num2str(group) '_v1_' num2str(i)]);
        delta_wkd(:, i) = net_2_1(input_wkd');
        load (['net_2_' num2str(group) '_v1p_' num2str(i)]);
        delta_wkd_sep(peak==1, i) = net_2_1p( input_wkd_p');
        load (['net_2_' num2str(group) '_v1op_' num2str(i)]);
        delta_wkd_sep(peak==0, i) = net_2_1op(input_wkd_op');
    end
    clear i
case 2
    for i=1:ENSAMBLES
        load (['net_2_' num2str(group) '_v1_' num2str(i)]);
        delta_wkd(:, i) = net_2_2(input_wkd');
    end
end

```



```

        load(['net_2_' num2str(group) '_vlp_' num2str(i)]);
        delta_wkd_sep(peak==1, i) = net_2_2p(input_wkd_p');
        load(['net_2_' num2str(group) '_vlop_' num2str(i)]);
        delta_wkd_sep(peak==0, i) = net_2_2op(input_wkd_op');
    end
    clear i
    case 3
        for i=1:ENSAMBLES
            load(['net_2_' num2str(group) '_v1_' num2str(i)]);
            delta_wkd(:, i) = net_2_3(input_wkd');
            load(['net_2_' num2str(group) '_vlp_' num2str(i)]);
            delta_wkd_sep(peak==1, i) = net_2_3p(input_wkd_p');
            load(['net_2_' num2str(group) '_vlop_' num2str(i)]);
            delta_wkd_sep(peak==0, i) = net_2_3op(input_wkd_op');
        end
        clear i
    case 4
        for i=1:ENSAMBLES
            load(['net_2_' num2str(group) '_v1_' num2str(i)]);
            delta_wkd(:, i) = net_2_4(input_wkd');
            load(['net_2_' num2str(group) '_vlp_' num2str(i)]);
            delta_wkd_sep(peak==1, i) = net_2_4p(input_wkd_p');
            load(['net_2_' num2str(group) '_vlop_' num2str(i)]);
            delta_wkd_sep(peak==0, i) = net_2_4op(input_wkd_op');
        end
        clear i
    otherwise
        for i=1:ENSAMBLES
            load(['net_2_' num2str(group) '_v1_' num2str(i)]);
            delta_wkd(:, i) = net_2_5(input_wkd');
            load(['net_2_' num2str(group) '_vlp_' num2str(i)]);
            delta_wkd_sep(peak==1, i) = net_2_5p(input_wkd_p');
            load(['net_2_' num2str(group) '_vlop_' num2str(i)]);
            delta_wkd_sep(peak==0, i) = net_2_5op(input_wkd_op');
        end
        clear i
    end

    %% RESULT
    delta_avg = mean(delta_wkd,2);
    delta_med = median(delta_wkd,2);
    delta_avg_sep = mean(delta_wkd_sep,2);
    delta_med_sep = median(delta_wkd_sep,2);
else
    %workdays
    dumml(:,6:7)=[];
    input_run=[dumml wkd(1,1) dt(1,1) ign sol' win']; %group selection (1. - 5.group)
    load('wrk');
    group_wrk = net(input_run);
    for i=1:4
        if group_wrk(i,1)==1
            group=i;
        end
    end
end

% feed-forward neural network

%input data
peak = [zeros(8, 1); ones(12, 1); zeros(4, 1)];
A=[dt wkd cons2 nuc lig coa gas win sol peak]; %input dummies
input_wrk=A(:,3:9);
input_wrk_p=A(peak==1,3:9);
input_wrk_op=A(peak==0,3:9);
%running ff nets
delta_wrk = zeros(24, ENSAMBLES); %without separation on peak and offpeak nets
delta_wrk_sep = zeros(24, ENSAMBLES); %separation on peak and offpeak nets
switch group
    case 1
        for i=1:ENSAMBLES
            load(['net_1_' num2str(group) '_v1_' num2str(i)]);
            delta_wrk(:, i) = net_1_1(input_wrk');
            load(['net_1_' num2str(group) '_vlp_' num2str(i)]);
            delta_wrk_sep(peak==1, i) = net_1_1p(input_wrk_p');
            load(['net_1_' num2str(group) '_vlop_' num2str(i)]);
            delta_wrk_sep(peak==0, i) = net_1_1op(input_wrk_op');
        end
        clear i
    case 2
        for i=1:ENSAMBLES
            load(['net_1_' num2str(group) '_v1_' num2str(i)]);
            delta_wrk(:, i) = net_1_2(input_wrk');
            load(['net_1_' num2str(group) '_vlp_' num2str(i)]);
            delta_wrk_sep(peak==1, i) = net_1_2p(input_wrk_p');
            load(['net_1_' num2str(group) '_vlop_' num2str(i)]);
            delta_wrk_sep(peak==0, i) = net_1_2op(input_wrk_op');
        end
        clear i
    case 3

```

```

    for i=1:ENSAMBLES
        load(['net_1_' num2str(group) '_v1_' num2str(i)]);
        delta_wrk(:, i) = net_1_3(input_wrk');
        load(['net_1_' num2str(group) '_v1p_' num2str(i)]);
        delta_wrk_sep(peak==1, i) = net_1_3p(input_wrk_p');
        load(['net_1_' num2str(group) '_v1op_' num2str(i)]);
        delta_wrk_sep(peak==0, i) = net_1_3op(input_wrk_op');
    end
    clear i
case 4
    for i=1:ENSAMBLES
        load(['net_1_' num2str(group) '_v1_' num2str(i)]);
        delta_wrk(:, i) = net_1_4(input_wrk');
        load(['net_1_' num2str(group) '_v1p_' num2str(i)]);
        delta_wrk_sep(peak==1, i) = net_1_4p(input_wrk_p');
        load(['net_1_' num2str(group) '_v1op_' num2str(i)]);
        delta_wrk_sep(peak==0, i) = net_1_4op(input_wrk_op');
    end
    clear i
otherwise
    for i=1:ENSAMBLES
        load(['net_1_' num2str(group) '_v1_' num2str(i)]);
        delta_wrk(:, i) = net_1_5(input_wrk');
        load(['net_1_' num2str(group) '_v1p_' num2str(i)]);
        delta_wrk_sep(peak==1, i) = net_1_5p(input_wrk_p');
        load(['net_1_' num2str(group) '_v1op_' num2str(i)]);
        delta_wrk_sep(peak==0, i) = net_1_5op(input_wrk_op');
    end
    clear i
end
%% RESULT
delta_avg = mean(delta_wrk,2);
delta_med = median(delta_wrk,2);
delta_avg_sep = mean(delta_wrk_sep,2);
delta_med_sep = median(delta_wrk_sep,2);

end
%% delta P WRITING TO FILE

filename = [PATH_OUTPUT datestr(dt(1), 'yyyymmdd') '.csv'];
dlmwrite(filename,[hr delta_med delta_med_sep], 'delimiter', ';', 'newline', 'pc');
```

### Příloha 3. Pomocný skript realizující obecný převod csv. souboru vstupních dat (fundamentální delty) do strukturální podoby (MatLab)

```
function [ S ] = csv2struct_own( filename, delimiter)
%% FUNCTION READS A CSV FILE INTO THE STRUCTURE

% filename: path and the name of the csv file, as string
% delimiter: delimiter of the data within the line, as string

fid = fopen(filename, 'r');
tline = fgetl(fid);

% Split the header
A(1,:) = regexp(tline, delimiter, 'split');

% Parse and read the rest of the file
act = 1;
while(~feof(fid))
    if ischar(tline)
        act = act + 1;
        tline = fgetl(fid);
        A(act,:) = regexp(tline, delimiter, 'split');
    else
        break;
    end
end
fclose(fid);

% Create structure
S = A;
```

## Příloha 4.: Realizace statistického modelu na odstranění aditivního šumu (VBA)

```

Const PATH1 As String = "U:\Trading\G-DATA\Morning meeting\"
Const PATH2 As String = "C:\Users\mezerajan\Desktop\PC_MODEL_DE\Run\run.xls"
Const SHEET1 As String = "PCB"
Const SHEET2 As String = "Nena"
Const SHEET3 As String = "Vltava"
Const SHEET4 As String = "Gen"
Const SHEET5 As String = "EEX"
Const SHEET6 As String = "Run"
Const SHEET7 As String = "Linearni regrese"
Const START_DATE As Date = "1.1.2013"
Const STOP_DATE As Date = "27.1.2013"
Const START_ROW As Integer = 368
Const EEX_ROW As Integer = 45
Const HISTORY_START As Date = "1.1.2012"
Const HISTORY_ROW As Integer = "2"

Function NacteniPole(MAX_DELTA As Integer) As Integer      'nacteni celé struktury cen do toidimenzionálního pole + výpis predikcí s testováním chyby
    Dim wb_temp As Workbook
    Dim p(1 To 5000, 1 To 5, 1 To 24) As Variant
    Dim hodina As Integer
    Dim Zacatek_datum As Date
    Dim Konec_datum As Date
    Dim radek As Integer
    Dim vysoka_odch As Integer
    Dim act_row As Integer

    Set wb_temp = ThisWorkbook
    wb_temp.Sheets(SHEET6).Activate

    act_row = 1
    radek = 0

    Zacatek_mark = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(7, 10)
    While Not ((Zacatek_mark = predic_mark) And (wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(7, 9) = 0))
        wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(7, 8) = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(7, 8) + 1
        Zacatek_mark = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(7, 10)
    Wend
    Zacatek_datum = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(7, 8)

    Konec_mark = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(8, 10)
    While Not ((Konec_mark = predic_mark) And (wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(8, 9) = 0))
        wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(8, 8) = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(8, 8) - 1
        Konec_mark = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(8, 10)
    Wend
    Konec_datum = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(8, 8)

    today_date = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(9, 8)
    predic_mark = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(9, 10) 'určení zda budu predikovat pro vikend nebo pracovní den

    While Not IsEmpty(wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(act_row + 1, 18))
        If wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(act_row + 1, 23) = 0 And wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(act_row + 1, 24) = predic_mark And wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(act_row + 1, 18) <= Konec_datum And
        wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(act_row + 1, 18) >= Zacatek_datum Then
            vysoka_odch = 0
            For hodina = 1 To 24
                eex = wb_temp.Sheets(SHEET5).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'EEX
                PCB = wb_temp.Sheets(SHEET1).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'PCB
                VLTAVA = wb_temp.Sheets(SHEET3).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'VLTAVA
                NENA = wb_temp.Sheets(SHEET2).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'NENA
                datum = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(act_row + 1, 18) 'datum
                If Abs(PCB - eex) > MAX_DELTA Or Abs(NENA - eex) > MAX_DELTA Or Abs(VLTAVA - eex) > MAX_DELTA Then
                    vysoka_odch = 1
                End If
            Next
            If vysoka_odch = 0 Then
                radek = radek + 1
                For hodina = 1 To 24
                    p(radek, 4, hodina) = wb_temp.Sheets(SHEET5).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'EEX
                    p(radek, 1, hodina) = wb_temp.Sheets(SHEET1).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'PCB
                    p(radek, 2, hodina) = wb_temp.Sheets(SHEET3).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'VLTAVA
                    p(radek, 3, hodina) = wb_temp.Sheets(SHEET2).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'NENA
                    p(radek, 5, 1) = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(act_row + 1, 18) 'datum
                Next
            End If
        End If
        act_row = act_row + 1
    Wend
End Function

```

```

TEST NALEZENI MNOZINY
If IsEmpty(Zacatek_datum) Or IsEmpty(Konec_datum) Or radek = 0 Then
    NacteniPole = 0
Else
    Call VypisPole(p, Zacatek_datum, Konec_datum, radek)
    NacteniPole = radek
End If

End Function

Sub VypisPole(p As Variant, Zacatek_datum As Date, Konec_datum As Date, radek As Integer)
    Dim wb_temp As Workbook
    Dim rY As Range, rX As Range
    Dim i As Integer
    Set wb_temp = ThisWorkbook
    wb_temp.Sheets(SHEET7).Activate

    'vyhledani intervalu v poli pro který chceme provést výpočet lin. regrese
    For i = 1 To radek
        ' If p(i, 5, 1) = Zacatek_datum Then
        '     zacatek_pos = i
        ' End If
        ' If p(i, 5, 1) = Konec_datum Then
        '     konec_pos = i
        ' End If
    Next
    'vycistení starých výpočtů
    wb_temp.Sheets(SHEET7).Range("A3:ZZ3000").Clear

    'vypis predikovaných oad do listu lineární regrese
    sheet_row = 3 'zacatek vypisu na listu

    For i = 1 To radek
        wb_temp.Sheets(SHEET7).Cells(sheet_row, 1) = p(i, 5, 1) 'datum
        For hodina = 0 To 23
            wb_temp.Sheets(SHEET7).Cells(sheet_row, 2 + (hodina * 4)) = p(i, 1, hodina + 1) 'PCB
            wb_temp.Sheets(SHEET7).Cells(sheet_row, 3 + (hodina * 4)) = p(i, 2, hodina + 1) 'Vltava
            wb_temp.Sheets(SHEET7).Cells(sheet_row, 4 + (hodina * 4)) = p(i, 3, hodina + 1) 'Nena
            wb_temp.Sheets(SHEET7).Cells(sheet_row, 5 + (hodina * 4)) = p(i, 4, hodina + 1) 'EEX
        Next
        sheet_row = sheet_row + 1
    Next

    'určení rozsahu range pro výpočet LINREG
    For i = 1 To 24
        Call MyLinest(i, radek - 1)
    Next

    wb_temp.Sheets(SHEET6).Activate

End Sub

Sub MyLinest(hodina As Integer, pocet_dnu As Integer)
    Dim rozsahX As Range, rozsahY As Range
    Dim wb_temp As Workbook
    Set wb_temp = ThisWorkbook

    Select Case hodina
    Case 1
        rX = "B3:D" & 3 + pocet_dnu
        rY = "E3:E" & 3 + pocet_dnu
    Case 2
        rX = "F3:H" & 3 + pocet_dnu
        rY = "I3:I" & 3 + pocet_dnu
    Case 3
        rX = "J3:L" & 3 + pocet_dnu
        rY = "M3:M" & 3 + pocet_dnu
    Case 4
        rX = "N3:P" & 3 + pocet_dnu
        rY = "Q3:Q" & 3 + pocet_dnu
    Case 5
        rX = "R3:T" & 3 + pocet_dnu
        rY = "U3:U" & 3 + pocet_dnu
    Case 6
        rX = "V3:X" & 3 + pocet_dnu
        rY = "Y3:Y" & 3 + pocet_dnu
    Case 7
        rX = "Z3:AB" & 3 + pocet_dnu
        rY = "AC3:AC" & 3 + pocet_dnu
    End Select

```

```
Case 8
rX = "AD3:AF" & 3 + pocet_dnu
rY = "AG3:AG" & 3 + pocet_dnu
Case 9
rX = "AH3:AJ" & 3 + pocet_dnu
rY = "AK3:AK" & 3 + pocet_dnu
Case 10
rX = "AL3:AN" & 3 + pocet_dnu
rY = "AO3:AO" & 3 + pocet_dnu
Case 11
rX = "AP3:AR" & 3 + pocet_dnu
rY = "AS3:AS" & 3 + pocet_dnu
Case 12
rX = "AT3:AV" & 3 + pocet_dnu
rY = "AW3:AW" & 3 + pocet_dnu
Case 13
rX = "AX3:AZ" & 3 + pocet_dnu
rY = "BA3:BA" & 3 + pocet_dnu
Case 14
rX = "BB3:BD" & 3 + pocet_dnu
rY = "BE3:BE" & 3 + pocet_dnu
Case 15
rX = "BF3:BH" & 3 + pocet_dnu
rY = "BI3:BI" & 3 + pocet_dnu
Case 16
rX = "BJ3:BL" & 3 + pocet_dnu
rY = "BM3:BM" & 3 + pocet_dnu
Case 17
rX = "BN3:BP" & 3 + pocet_dnu
rY = "BQ3:BQ" & 3 + pocet_dnu
Case 18
rX = "BR3:BT" & 3 + pocet_dnu
rY = "BU3:BU" & 3 + pocet_dnu
Case 19
rX = "BV3:BX" & 3 + pocet_dnu
rY = "BY3:BY" & 3 + pocet_dnu
Case 20
rX = "BZ3:CB" & 3 + pocet_dnu
rY = "CC3:CC" & 3 + pocet_dnu
Case 21
rX = "CD3:CF" & 3 + pocet_dnu
rY = "CG3:CG" & 3 + pocet_dnu
Case 22
rX = "CH3:CJ" & 3 + pocet_dnu
rY = "CK3:CK" & 3 + pocet_dnu
Case 23
rX = "CL3:CN" & 3 + pocet_dnu
rY = "CO3:CO" & 3 + pocet_dnu
Case 24
rX = "CP3:CR" & 3 + pocet_dnu
rY = "CS3:CS" & 3 + pocet_dnu
End Select

Set rozsahX = Range(rX)
Set rozsahY = Range(rY)
wb_temp1.Sheets(SHEET6).Range("H" & hodina + 11 & ":K" & hodina + 11) = Application.WorksheetFunction.LinEst(rozsahY, rozsahX)

End Sub

Sub ZapisDatumu()
    'vypsani datumu od 1.1.2012 do datumu aktuálního pro vyhodnocení finální ignorace
    Dim wb_temp As Workbook
    Set wb_temp = ThisWorkbook

    actual_rada = HISTORY_ROW
    history_datum = HISTORY_START
    actual_datum = Date
    While (history_datum <= actual_datum)
        wb_temp.Sheets(SHEET6).Range("R" & actual_rada) = history_datum
        actual_rada = actual_rada + 1
        history_datum = history_datum + 1
    Wend
End Sub

Sub propis()
    'propsani predikce cen NENA, PCB, VLTAVA z morning meetings

    Dim wb_temp1 As Workbook
    Dim wb_temp2 As Workbook
    Dim temp As Range
```

```
Application.ScreenUpdating = False
Application.DisplayAlerts = False

'//////////
'otevreni sheetu v morning meetings a zapsani do prislusneho pole vektoru

Set wb_temp1 = ThisWorkbook

konec_day = Date
actden = START_DATE
ActRow = START_ROW

While actden <= konec_day

If wb_temp1.Sheets(SHEET1).Cells(ActRow, 2) = "" Then
    S = Split(actden, ",")
    mesic = S(1)
    If S(0) < 10 Then S(0) = "0" & S(0)
    den = S(0)

    For radek = 37 To 39

        sc = "B" & radek & ":Y" & radek

        Select Case mesic
            Case 1
                Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Jan\jan" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
            Case 2
                Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Feb\feb" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
            Case 3
                Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Mar\mar" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
            Case 4
                Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Apr\apr" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
            Case 5
                Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "May\may" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
            Case 6
                Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Jun\jun" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
            Case 7
                Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Jul\jul" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
            Case 8
                Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Aug\aug" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
            Case 9
                Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Sep\sep" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
            Case 10
                Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Oct\oct" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
            Case 11
                Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Nov\nov" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
            Case 12
                Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Dec\dec" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
        End Select

        Select Case radek
            Case 37 'PCB
                wb_temp1.Sheets(SHEET1).Activate
                wb_temp1.Sheets(SHEET1).Range("B" & ActRow & ":Y" & ActRow).Value = wb_temp2.Sheets(SHEET4).Range(sc).Value
            Case 38 'Nena
                wb_temp1.Sheets(SHEET2).Activate
                wb_temp1.Sheets(SHEET2).Range("B" & ActRow & ":Y" & ActRow).Value = wb_temp2.Sheets(SHEET4).Range(sc).Value
            Case 39 'Vltava
                wb_temp1.Sheets(SHEET3).Activate
                wb_temp1.Sheets(SHEET3).Range("B" & ActRow & ":Y" & ActRow).Value = wb_temp2.Sheets(SHEET4).Range(sc).Value
        End Select

        wb_temp1.Save
        wb_temp2.Close

    Next
End If

actden = actden + 1
ActRow = ActRow + 1

Wend

'//////////

End Sub
```

```
Sub propisEEX() 'propsani predikcien EEX z morning meetings

Dim wb_temp1 As Workbook
Dim wb_temp2 As Workbook
Dim temp As Range

Application.ScreenUpdating = False
Application.DisplayAlerts = False

'//////////
'otvoreni sheetu v morning meetings a zapsani do prislusneho pole vektoru

Set wb_temp1 = ThisWorkbook

konec_day = Date
actden = START_DATE
ActRow = START_ROW
radek = EEX_ROW

While actden <= konec_day

If wb_temp1.Sheets(SHEET5).Cells(ActRow, 2) = "" Then

S = Split(actden, ".")
mesic = S(1)
If S(0) < 10 Then S(0) = "0" & S(0)
den = S(0)

sc = "B" & radek & ":" & Y & radek

Select Case mesic
Case 1
If Weekday(actden) = 7 Or Weekday(actden) = 1 Then
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Jan|jan" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
Else
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Jan|jan" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
End If
Case 2
If Weekday(actden) = 7 Or Weekday(actden) = 1 Then
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Feb|feb" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
Else
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Feb|feb" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
End If
Case 3
If Weekday(actden) = 7 Or Weekday(actden) = 1 Then
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Mar|mar" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
Else
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Mar|mar" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
End If
Case 4
If Weekday(actden) = 7 Or Weekday(actden) = 1 Then
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Apr|apr" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
Else
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Apr|apr" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
End If
Case 5
If Weekday(actden) = 7 Or Weekday(actden) = 1 Then
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "May|may" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
Else
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "May|may" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
End If
Case 6
If Weekday(actden) = 7 Or Weekday(actden) = 1 Then
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Jun|jun" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
Else
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Jun|jun" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
End If
Case 7
If Weekday(actden) = 7 Or Weekday(actden) = 1 Then
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Jul|jul" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
Else
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Jul|jul" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
End If
Case 8
If Weekday(actden) = 7 Or Weekday(actden) = 1 Then
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Aug|aug" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
Else
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Aug|aug" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
End If
End While
```



```
End If
Case 9
If Weekday(actden) = 7 Or Weekday(actden) = 1 Then
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Sep\sep" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
Else
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Sep\sep" & den & ".xlm", 2, True, 5)
End If
Case 10
If Weekday(actden) = 7 Or Weekday(actden) = 1 Then
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Oct\oct" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
Else
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Oct\oct" & den & ".xlm", 2, True, 5)
End If
Case 11
If Weekday(actden) = 7 Or Weekday(actden) = 1 Then
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Nov\nov" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
Else
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Nov\nov" & den & ".xlm", 2, True, 5)
End If
Case 12
If Weekday(actden) = 7 Or Weekday(actden) = 1 Then
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Dec\dec" & den & ".xlsm", 2, True, 5)
Else
Set wb_temp2 = Application.Workbooks.Open(PATH1 & "Dec\dec" & den & ".xlm", 2, True, 5)
End If
End Select

wb_temp1.Sheets(SHEET5).Activate
wb_temp1.Sheets(SHEET5).Range("B" & ActRow & ":Y" & ActRow).Value = wb_temp2.Sheets(SHEET4).Range(sc).Value

wb_temp1.Save
wb_temp2.Close

End If

actden = actden + 1
ActRow = ActRow + 1

Wend

End Sub
Sub NacteniPoleF() 'nacteni celé struktury cen do tořdimenzionálního pole + výpis predikci
Dim wb_temp As Workbook
Dim p(1 To 5000, 1 To 5, 1 To 24) As Variant
Dim hodina As Integer
Dim Zacatek_datum As Date
Dim Konec_datum As Date
Dim radek As Integer
Dim vysoka_odch As Integer
Dim act_row As Integer

Set wb_temp = ThisWorkbook
wb_temp.Sheets(SHEET6).Activate

act_row = 1
radek = 0

Zacatek_mark = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(7, 10)
While Not ((Zacatek_mark = predic_mark) And (wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(7, 9) = 0))
wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(7, 8) = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(7, 8) + 1
Zacatek_mark = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(7, 10)
Wend
Zacatek_datum = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(7, 8)

Konec_mark = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(8, 10)
While Not ((Konec_mark = predic_mark) And (wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(8, 9) = 0))
wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(8, 8) = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(8, 8) - 1
Konec_mark = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(8, 10)
Wend
Konec_datum = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(8, 8)

today_date = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(9, 8)
predic_mark = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(9, 10) 'určení zda budu predikovat pro vikend nebo pracovni den

While Not IsEmpty(wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(act_row + 1, 18))
If wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(act_row + 1, 23) = 0 And wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(act_row + 1, 24) = predic_mark And wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(act_row + 1, 18) <= Konec_datum And
wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(act_row + 1, 18) >= Zacatek_datum Then
vysoka_odch = 0
For hodina = 1 To 24
```

```

eex = wb_temp.Sheets(SHEET5).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'EEX
PCB = wb_temp.Sheets(SHEET1).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'PCB
VLTAVA = wb_temp.Sheets(SHEET3).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'VLTAVA
NENA = wb_temp.Sheets(SHEET2).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'NENA
datum = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(act_row + 1, 18) 'datum
If Abs(PCB - eex) > MAX_DELTA Or Abs(NENA - eex) > MAX_DELTA Or Abs(VLTAVA - eex) > MAX_DELTA Then
    vysoka_odch = 1
End If
Next
If vysoka_odch = 0 Then
    radek = radek + 1
    For hodina = 1 To 24
        p(radek, 4, hodina) = wb_temp.Sheets(SHEET5).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'EEX
        p(radek, 1, hodina) = wb_temp.Sheets(SHEET1).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'PCB
        p(radek, 2, hodina) = wb_temp.Sheets(SHEET3).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'VLTAVA
        p(radek, 3, hodina) = wb_temp.Sheets(SHEET2).Cells(act_row + 1, hodina + 1) 'NENA
        p(radek, 5, 1) = wb_temp.Sheets(SHEET6).Cells(act_row + 1, 18) 'datum
    Next
End If

End If
act_row = act_row + 1
Wend

TEST NALEZENI MNOZINY
If IsEmpty(Zacatek_datum) Or IsEmpty(Konec_datum) Or radek = 0 Then
    NacteniPole = 0
Else
    Call VypisPole(p, Zacatek_datum, Konec_datum, radek)
    NacteniPole = radek
End If

End Sub

Sub VypisPole(p As Variant, Zacatek_datum As Date, Konec_datum As Date, radek As Integer)
    Dim wb_temp As Workbook
    Dim rY As Range, rX As Range
    Dim i As Integer
    Set wb_temp = ThisWorkbook
    wb_temp.Sheets(SHEET7).Activate

    'vyhledani intervalu v poli pro který chceme provést výpočet lin. regrese
    For i = 1 To radek
        ' If p(i, 5, 1) = Zacatek_datum Then
        '     zacatek_pos = i
        ' End If
        ' If p(i, 5, 1) = Konec_datum Then
        '     konec_pos = i
        ' End If
    Next
    'vycistení starých výpočtů
    wb_temp.Sheets(SHEET7).Range("A3:ZZ3000").Clear

    'vypis predikovaných oad do listu lineární regrese
    sheet_row = 3 'zacatek vypisu na listu

    For i = 1 To radek
        wb_temp.Sheets(SHEET7).Cells(sheet_row, 1) = p(i, 5, 1) 'datum
        For hodina = 0 To 23
            wb_temp.Sheets(SHEET7).Cells(sheet_row, 2 + (hodina * 4)) = p(i, 1, hodina + 1) 'PCB
            wb_temp.Sheets(SHEET7).Cells(sheet_row, 3 + (hodina * 4)) = p(i, 2, hodina + 1) 'Vltava
            wb_temp.Sheets(SHEET7).Cells(sheet_row, 4 + (hodina * 4)) = p(i, 3, hodina + 1) 'Nena
            wb_temp.Sheets(SHEET7).Cells(sheet_row, 5 + (hodina * 4)) = p(i, 4, hodina + 1) 'EEX
        Next
        sheet_row = sheet_row + 1
    Next

    'určení rozsahu range pro výpočet LINREG
    For i = 1 To 24
        Call MyLinest(i, radek - 1)
    Next

    wb_temp.Sheets(SHEET6).Activate

End Sub

Sub MyLinest(hodina As Integer, pocet_dnu As Integer)
    Dim rozsahX As Range, rozsahY As Range
    Dim wb_temp As Workbook
    Set wb_temp1 = ThisWorkbook

```

Select Case hodina

Case 1

rX = "B3:D" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "E3:E" & 3 + pocet\_dnu

Case 2

rX = "F3:H" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "I3:I" & 3 + pocet\_dnu

Case 3

rX = "J3:L" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "M3:M" & 3 + pocet\_dnu

Case 4

rX = "N3:P" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "Q3:Q" & 3 + pocet\_dnu

Case 5

rX = "R3:T" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "U3:U" & 3 + pocet\_dnu

Case 6

rX = "V3:X" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "Y3:Y" & 3 + pocet\_dnu

Case 7

rX = "Z3:AB" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "AC3:AC" & 3 + pocet\_dnu

Case 8

rX = "AD3:AF" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "AG3:AG" & 3 + pocet\_dnu

Case 9

rX = "AH3:AJ" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "AK3:AK" & 3 + pocet\_dnu

Case 10

rX = "AL3:AN" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "AO3:AO" & 3 + pocet\_dnu

Case 11

rX = "AP3:AR" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "AS3:AS" & 3 + pocet\_dnu

Case 12

rX = "AT3:AV" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "AW3:AW" & 3 + pocet\_dnu

Case 13

rX = "AX3:AZ" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "BA3:BA" & 3 + pocet\_dnu

Case 14

rX = "BB3:BD" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "BE3:BE" & 3 + pocet\_dnu

Case 15

rX = "BF3:BH" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "BI3:BI" & 3 + pocet\_dnu

Case 16

rX = "BJ3:BL" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "BM3:BM" & 3 + pocet\_dnu

Case 17

rX = "BN3:BP" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "BQ3:BQ" & 3 + pocet\_dnu

Case 18

rX = "BR3:BT" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "BU3:BU" & 3 + pocet\_dnu

Case 19

rX = "BV3:BX" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "BY3:BY" & 3 + pocet\_dnu

Case 20

rX = "BZ3:CB" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "CC3:CC" & 3 + pocet\_dnu

Case 21

rX = "CD3:CF" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "CG3:CG" & 3 + pocet\_dnu

Case 22

rX = "CH3:CJ" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "CK3:CK" & 3 + pocet\_dnu

Case 23

rX = "CL3:CN" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "CO3:CO" & 3 + pocet\_dnu

Case 24

rX = "CP3:CR" & 3 + pocet\_dnu  
rY = "CS3:CS" & 3 + pocet\_dnu

End Select

Set rozsahX = Range(rX)

Set rozsahY = Range(rY)

wb\_temp1.Sheets(SHEET6).Range("H" & hodina + 11 & ":K" & hodina + 11) = Application.WorksheetFunction.LinEst(rozsahY, rozsahX)

```

End Sub
Sub NacteniFundamentu(fundament_sheet As String)
    Dim vect As TTS
    Dim wb_temp As Workbook
    Dim DateS As Date
    Dim dateK As Date
    Dim row_s As Integer
    Dim row_e As Integer

    Set wb_temp = ThisWorkbook

    i = 0
    'nalezení posledního updatu
    While IsEmpty(wb_temp.Sheets(fundament_sheet).Cells(2 + i, 1)) Or (wb_temp.Sheets(fundament_sheet).Cells(2 + i, 26))
        i = i + 1
    Wend
    row_s = i + 2
    DateS = wb_temp.Sheets(fundament_sheet).Cells(2 + i, 1)

    i = 0
    'nalezení kolik dat má být updatováno
    While Not (wb_temp.Sheets(fundament_sheet).Cells(2 + i, 1) = "")
        i = i + 1
    Wend
    row_e = i + 1
    dateK = wb_temp.Sheets(fundament_sheet).Cells(1 + i, 1)

    Select Case fundament_sheet
        Case "Wind"
            Call tdms_reading("mp.win.fct.de.a", DateS, dateK + 2, 3600, vect, fundament_sheet, row_s, row_e)
        Case "Solar"
            Call tdms_reading("mp.sol.fct.de.a", DateS, dateK + 2, 3600, vect, fundament_sheet, row_s, row_e)
        Case "Consumption"
            Call tdms_reading("nena.cons.fct.a", DateS, dateK + 2, 3600, vect, fundament_sheet, row_s, row_e)
    End Select

    'ignore = 1 pro prechody casu
    wb_temp.Sheets(fundament_sheet).Cells(86, 26) = 1
    wb_temp.Sheets(fundament_sheet).Cells(303, 26) = 1

    'phelix
    'Call tdms_reading("eex.pwr.spot.price.de", Date - 60, Date + 1, 3600, vect, "G")
    'availability
    'd1 = pars_string(Date - 15) 'kvuli volani vektoru z databaze
    'Call tdms_reading("eex.pwr.gen.avail.fct.de.nuc." & d1, DateS, DateK, 3600, vect,)
    'Call tdms_reading("eex.pwr.gen.avail.fct.de.fig." & d1, DateS, DateK, 3600, vect, "K")
    'Call tdms_reading("eex.pwr.gen.avail.fct.de.coa." & d1, DateS, DateK, 3600, vect, "L")
    'Call tdms_reading("eex.pwr.gen.avail.fct.de.gas." & d1, DDateS, DateK, 3600, vect, "M")
    'eex actual solar
    'Call tdms_reading("eex.pwr.gen.sol.eon", DateS, DateK, 3600, vect, "BB")
    'Call tdms_reading("eex.pwr.gen.sol.ve", DateS, DateK, 3600, vect, "BC")
    'Call tdms_reading("eex.pwr.gen.sol.rwe", DateS, DateK, 3600, vect, "BD")
    'Call tdms_reading("eex.pwr.gen.sol.enbw", DateS, DateK, 3600, vect, "BE")
    'sumarise
    'eex actual wind
    'Call tdms_reading("eex.pwr.gen.win.eon", Date - 60, Date, 3600, vect, "BF")
    'Call tdms_reading("eex.pwr.gen.win.ve", Date - 60, Date, 3600, vect, "BG")
    'Call tdms_reading("eex.pwr.gen.win.rwe", Date - 60, Date, 3600, vect, "BH")
    'Call tdms_reading("eex.pwr.gen.win.enbw", Date - 60, Date, 3600, vect, "BI")
    'metepower actual wind
    'Call tdms_reading("mp.win.fct.de.a", Date - 60, Date + 2, 3600, vect, "N")
    'metepower actual sol
    'Call tdms_reading("mp.sol.fct.de.a", Date - 60, Date + 2, 3600, vect, "O")
    'nena consumption
    'Call tdms_reading("nena.cons.fct.a", Date - 60, Date + 2, 3600, vect, "I")

End Sub

Sub tdms_reading(code As String, sDate As Date, eDate As Date, ts As Long, vect As TTS, sheet_name As String, row_start As Integer, row_stop As Integer)

    Dim wb_temp As Workbook

    Dim i As Long
    Set wb_temp = ThisWorkbook

    wb_temp.Sheets(sheet_name).Activate

    sc = "B" & row_start & ":" & "Y" & row_stop

```

```
Dim err As Integer
err = TDMS_read_vector(code, sDate, eDate, ts, vect)

If err <> ERR_NO_ERROR Then
    Call MsgBox("Error reading from TDMS/EDA!", vbCritical + vbOKOnly, "Error")
    For i = LBound(vect.DateTime) To (UBound(vect.DateTime) - 1)
        wb_temp.Sheets(sheet_name).Range(sc).Cells(LBound(vect.DateTime) + i - 1, 1) = vect.Value(i)
    Next i
Else
    radek = 1
    sloupec = 1
    For i = LBound(vect.DateTime) To (UBound(vect.DateTime) - 1)
        wb_temp.Sheets(sheet_name).Range(sc).Cells(radek, sloupec) = vect.Value(i)
        sloupec = sloupec + 1
        If Day(vect.DateTime(i + 1)) <> Day(vect.DateTime(i)) Then
            radek = radek + 1
            sloupec = 1
        End If
    Next i
End If

End Sub
```

## Publikace

- [1] Mezera, J., Martínek, Z., Sokol, R.: *FUNDAMENTAL APPROACH FOR DAY-AHEAD PRICE FORECASTING WITH USING NEURAL NETWORKS*. Acta Elektrotechnica et Informatica. Košice, Slovak Republic, No. 4, Vol. 12, 2012, pp. 24-27, TU v Košicích. ISSN 1335-8243
- [2] Noháčová, L., Mertlová, J., Noháč, K. a kolektiv : *ELECTRIC POWER ENGINEERING AND ECOLOGY – SELECTED PARTS IV*. Kapitola 10: Mezera, J., Martínek, Z.: *ELECTRICITY PRICE FORECASTING BY USING SELF-ORGANIZING MAPS (SOM) AND FEEDFORWARD NEURAL NETWORK*. Str. 62-74. BEN-technická literatura, Praha 2012, ISBN 978-80-7300-461-3 (Printed book), ISBN 978-80-7300-464-4 (Book in PDF).
- [3] Mezera, J., Martínek, Z.: *Zefektivnění provozu primárního ventilátoru vzduchu na fluidním kotli v energetické výrobě*. Poděbrady, Lázeňská kolonáda, 23. - 24. listopadu 2010 - 15. ročník, odborný seminář, Aktuální otázky a vybrané problémy řízení elektrizační soustavy. EGÚ Praha Engineering, a.s.
- [4] Mezera, J., Martínek, Z., Kůs, D., Zborník, J.: *Development of future energy networks and new possibilities for transmission of energy*. Proceedings of the 12th International Scientific Conference EPE 2011, Electric Power Engineering 2011, 17.- 19.5. 2011 hotel Dlouhé Stráně, Kouty nad Desnou, Czech Republic, VSB – Technical University of Ostrava, IEEE, ISBN 978-80-248-2393-5
- [5] Mezera, J., Martínek, Z., Kůs, D., Zborník, J.: *Continuous supply of electricity from biogas and wind power plant - basic formulation*. Proceedings of the 12th International Scientific Conference EPE 2011, Electric Power Engineering 2011, 17.- 19.5. 2011 hotel Dlouhé Stráně, Kouty nad Desnou, Czech Republic, VSB – Technical University of Ostrava, IEEE, ISBN 978-80-248-2393-5
- [6] Mezera, J., Martínek, Z.: *Continuous supply of electricity from biogas and wind power plant – proposal of the system components, system dynamic and economic calculation*. Proceedings of the 12th International Scientific Conference EPE 2011, Electric Power Engineering 2011, 17.- 19.5. 2011 hotel Dlouhé Stráně, Kouty nad Desnou, Czech Republic, VSB – Technical University of Ostrava, IEEE, ISBN 978-80-248-2393-5
- [7] Mezera, J., Martínek, Z.: *Continuous supply of electricity from biogas and wind power plant – economical calculation*. Proceedings of the 12th International Scientific Conference EPE 2011, Electric Power Engineering 2011, 17.- 19.5. 2011 hotel Dlouhé

- Stráně, Kouty nad Desnou, Czech Republic, VSB – Technical University of Ostrava, IEEE, ISBN 978-80-248-2393-5
- [8] Mezera, J., Martínek, Z.: *Návrh hybridního výrobního zdroje za použití OZE jako primárního zdroje*. Poděbrady, Lázeňská kolonáda, 22. - 23. listopadu 2011 - 16. ročník, odborný seminář, Aktuální otázky a vybrané problémy řízení elektrizační soustavy. EGÚ Praha Engineering, a.s., ISBN 978-80-260-1584-0
- [9] Mezera, J., Martínek, Z., Majer, V., Královcová, V.: *The Nonlinear Model by Using Neural Networks for Day-Ahead Price Forecasting*. Proceedings of the 13th International Scientific Conference EPE 2012, Electric Power Engineering 2012, 23.- 25.5. 2012 hotel SANTON – Brno, Czech Republic, University of Technology Brno. IEEE, ISBN 978-80-214-4514-7
- [10] Majer, V., Mezera, J.: *Prediction Possibilities of Electricity Production from Photovoltaic Systems*. Proceedings of the 13th International Scientific Conference EPE 2012, Electric Power Engineering 2012, 23.- 25.5. 2012 hotel SANTON – Brno, Czech Republic, University of Technology Brno. IEEE, ISBN 978-80-214-4514-7
- [11] Mezera, J., Martínek, Z.: *Predikce Day-ahead cen elektřiny za použití neuronových sítí*. Poděbrady, Lázeňská kolonáda, 22. - 23. listopadu 2012 - 17. ročník, odborný seminář, Aktuální otázky a vybrané problémy řízení elektrizační soustavy. EGÚ Praha Engineering, a.s., ISBN 978-80-260-3394-3
- [12] Mezera, J., Martínek, Z.: *The Autoregressive Moving Average Model for Separation of The Additional Noise*. Proceedings of the 14th International Scientific Conference EPE 2013, Electric Power Engineering 2013, 28.- 30.5. 2013 hotel Dlouhé Stráně, Kouty nad Desnou, Czech Republic, VSB – Technical University of Ostrava, IEEE, ISBN 978-80-248-2393-5
- [13] Mezera, J., Martínek, Z.: *Autokorelační model vytvořený pro rozpoznání aditivní chyby v predikčních modelech cen elektřiny*. Poděbrady, Lázeňská kolonáda, 19. - 20. listopadu 2013 - 18. ročník, odborný seminář, Aktuální otázky a vybrané problémy řízení elektrizační soustavy. EGÚ Praha Engineering, a.s., ISBN 978-80-260-3394-3