



---

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

# **Využití přečerpávací vodní elektrárny v krátkodobé přípravě a operativním provozu**

**Diplomová práce**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

Vedoucí práce: Ing. Martin Valent

**Bc. Vít Koška**

---

**Praha 2015**



České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Vít Koška

Studijní program: elektrotechnika, energetika a management  
Obor: ekonomika a řízení energetiky

Název tématu: Využití přečerpávací vodní elektrárny v krátkodobé přípravě a operativním provozu

Pokyny pro vypracování:

- popis přečerpávací vodní elektrárny, princip fungování PVE, typy provedení PVE, PVE v ČR
- možnosti obchodování v ČR a v zahraničí
- problematika odchylek, možnosti odstranění odchylek pomocí PVE
- optimální provoz PVE, omezující podmínky optimalizační úlohy

Seznam odborné literatury:

Hrabal, Michal: Posouzení rentability rekonstrukce elektrárny Orlik, DP, 2014  
Kolektiv autorů: Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně, 1997

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Valent – ČEZ, a.s. - Dispečink

Platnost zadání: do konce letního semestru akademického roku 2015/2016

Doc. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.  
vedoucí katedry



Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 10.2.2015



## **ABSTRAKT**

Cílem práce je vytvořit výpočetní aplikaci, která bude dispečerům ve společnosti ČEZ, a.s. pomáhat při návrhu turbínových a čerpadlových chodů přečerpávacích vodních elektráren. V první části je popsán princip fungování přečerpávacích vodních elektráren, včetně popisu všech elektráren tohoto typu u nás. Dále se práce věnuje tuzemským trhům s elektřinou a energetické burze EEX v Německu, která české trhy výrazně ovlivňuje. Poslední popisná část práce čtenáři přibližuje problematiku výkonových odchylek u výrobců elektrické energie a jejich regulaci. V závěrečné kapitole je pak popsáno fungování samotné aplikace, omezující podmínky při navrhování nasazení a manuál k jejímu ovládání.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Přečerpávací vodní elektrárna, PVE, Dlouhé Stráně, Dalešice, Štěchovice II, denní trh, vnitrodenní trh, vyrovnávací trh, odchylka, přenosové kapacity, návrh výkonu PVE

## **ABSTRACT**

The goal of this diploma thesis is to create a computer application that will help dispatchers in the company ČEZ, to assist in draft of turbine and pump running of pumped storage power plants. The first part describes the principle of pumped storage power plants, including a description of all the plants of this type in the country. In second chapter, a domestic electricity market and the power exchange EEX in Germany are described, because of their significant influence in Czech markets. Last part of research identifies the issues of power imbalances among electricity producers and their regulation. The final chapter introduces the new application, constraints in designing and deploying as well as manual for its control.

## **KEYWORDS**

Pumped storage power plant, Dlouhé Stráně, Dalešice, Štěchovice II, daily market, intraday market, balancing market, deflection, bandwidth

**Odkaz na tuto práci:**

Koška, V. *Využití přečerpávací vodní elektrárny v krátkodobé přípravě a operativním provozu*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická. 2015. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Martin Valent.





## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Využití přečerpávací vodní elektrárny v krátkodobé přípravě a operativním provozu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Praze dne .....

.....

(podpis autora)

## **PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou bych velice rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Martinu Valentovi, za jeho vstřícnost, ochotu, odborné rady, cenné připomínky a množství času, který mi věnoval během zpracování této diplomové práce.

Také bych chtěl poděkovat doc. Ing. Jaromíru Vastlovi, CSc. za jeho cenné rady a nápady pro vylepšení.

Velké poděkování si zaslouží moji rodiče i sourozenci, kteří mě podporovali po celou dobu studia, ve všech těžkých chvílích.

# OBSAH

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Historie získávání energie z vody</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Přečerpávací vodní elektrárna</b>	<b>5</b>
3.1	<i>Princip fungování PVE</i>	7
3.2	<i>Typy provedení PVE</i>	8
3.3	<i>Přečerpávací vodní elektrárny v ČR</i>	10
3.3.1	PVE Dlouhé stráně	10
3.3.2	PVE Dalešice	13
3.3.3	PVE Štěchovice II	14
<b>4</b>	<b>Možnosti obchodování v ČR a v zahraničí</b>	<b>16</b>
4.1	<i>Forward a futures</i>	16
4.2	<i>Tvorba ceny silové elektrické energie</i>	17
4.3	<i>Denní trh</i>	19
4.4	<i>Vnitrodenní trh</i>	21
4.5	<i>Bilaterální (dvoustranné) obchody</i>	22
4.6	<i>EEX (Evropská energetická burza)</i>	22
4.7	<i>Přenosové kapacity</i>	23
<b>5</b>	<b>Odchytky</b>	<b>25</b>
5.1	<i>Výkonová bilance a DDZ</i>	25
5.2	<i>Podpůrné služby</i>	27
5.3	<i>Vyrovňovací trh</i>	29
5.4	<i>Možnosti regulace odchylek pomocí PVE</i>	30
<b>6</b>	<b>Model nasazování PVE</b>	<b>31</b>
6.1	<i>Struktura databáze</i>	33
6.2	<i>Popis databáze</i>	34
6.2.1	Tabulka Ceny	35
6.2.2	Tabulka Profily	36
6.2.3	Tabulka PVE	37
6.2.4	Tabulka Nastavení	38
6.3	<i>Omezující podmínky nasazování zdrojů</i>	39
6.4	<i>Funkce a procedury</i>	42
6.5	<i>Instalace programu a manuál k ovládání</i>	48
6.6	<i>Využití programu VVPVE</i>	49
6.7	<i>Příklad průběhu programu</i>	50
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>57</b>
	<b>Seznam zkratk</b>	<b>60</b>
<b>9</b>	<b>Přílohy</b>	<b>61</b>
9.1	<i>Příloha 1 - Příkaz SELECT vybírající nejlepší návrh zapnutí bloků pro pokrytí odchylek a vynucených výkonů.</i>	61
9.2	<i>Příloha 2 - Příkaz UPDATE navrhující výkony v PVE Dalešice</i>	62



# 1 ÚVOD

Navrhování čerpadlového nebo generátorového chodu přečerpávacích vodních elektráren (PVE) je na dispečerském řízení společnosti ČEZ, a.s. každodenním úkolem. Je při něm zkoumáno mnoho údajů, jako jsou hladiny vody v horní a dolní nádrži, ceny elektrické energie na trzích, počet disponibilních strojů a další. Cílem této diplomové práce bude vytvořit aplikaci, která dispečerům s tímto procesem pomůže vlastním výpočtem návrhu nasazení jednotlivých PVE v ČR a ušetří jim čas pro plnění dalších povinností. V ČR se v současné době vyskytují 3 přečerpávací vodní elektrárny a všechny jsou ve vlastnictví společnosti ČEZ. V úvodních kapitolách se bude práce věnovat jejich popisu.

PVE „novou“ elektrickou energii nevyrábí a pro svůj běh používají elektřinu vyrobenou v jiných výrobních zdrojích. Jejich důležitou funkcí je možnost přenést energii vyrobenou v době jejího dostatku do doby, kdy je po ní zvýšená poptávka. Toho dosahují načerpáním vody do horní nádrže, kde voda získá potenciální energii a tu následně dokážou opět přeměnit prouděním vody na turbínu s generátorem, na energii elektrickou. Elektrárna tedy funguje jako velký akumulátor energie, přestože více energie pro načerpání spotřebují, než následně dokáží, z načerpané vody, vyrobit.

Aby nebyl provoz přečerpávací vodní elektrárny ekonomicky ztrátový, musí obchodníci na trzích s elektřinou nakupovat energii co nejlevněji a následně ji v energetických špičkách draze prodávat. V práci budou popsány nejdůležitější české trhy s elektřinou a německá burza EEX, na které se obchoduje daleko větší množství elektrické energie, než na tuzemských trzích a z hlediska cen elektrické energie je pro naše trhy důležitá.

PVE má oproti běžným zdrojům elektrické energie (př. tepelné elektrárny) vlastnosti, díky nimž se stává důležitou součástí výroby elektrické energie společnosti ČEZ, a.s.. V praxi nastávají situace, kdy navržené výrobní zdroje nesplní požadovaný výkon a v přenosové soustavě tím vzniká výkonová odchylka, za kterou se v případě jejího nepokrytí platí pokuty. K odchylkám dochází nejčastěji neplánovanou odstávkou některého ze zdrojů, např. vinou poruchy. Právě pokrytí této nežádoucí odchylky od plánované výroby je PVE schopna, svým rychlým

startem, dosáhnout. Protože výkonovou odchylku v přenosové soustavě mohou způsobit i jiné výrobní společnosti, jež nemají k dispozici žádnou PVE, ani jinou možnost odstranění odchylky (např. obchodem na trzích s elektřinou), rezervuje si provozovatel přenosové sítě (PPS) výkon v PVE od společnosti ČEZ, a.s.. Regulaci odchylek budou věnovány kapitoly v třetí části práce.

Poslední část práce bude věnována popisu fungování aplikace, a čím je nasazování čerpadlových a turbínových chodů do jednotlivých PVE omezováno. V dalších kapitolách bude uveden manuál k ovládání a podrobnější využití tohoto programu v praxi. Program bude pojmenován VVPVE, což je zkráceně Výpočet výkonů přečerpávacích vodních elektráren.

Ještě před popisem a řešením problému bude v následující kapitole stručně uveden vývoj vodních i přečerpávacích vodních elektráren a problematika jejich výstavby v ČR.

## 2 HISTORIE ZÍSKÁVÁNÍ ENERGIE Z VODY

Nejstarším známým prostředkem k získávání energie je využití vodních toků. První Nejstarším známým prostředkem k získávání energie je využití vodních toků. První zmínky o jejím používání sahají až do dob před naším letopočtem. Jedním z prvních využití bylo mlynářské kolo používané k mletí obilí. Vodní kola se postupem času vyvíjela za účelem zvyšování účinnosti přeměny vodní energie na mechanickou a postupem času na elektrickou energii.

První vodní elektrárna (VE) byla postavena v roce 1881 v Godalmingu na území Anglie [1]. Vyráběla stejnosměrný proud a městu sloužila pro napájení osvětlení. Dnes je již nejčastějším využitím vodní energie přeměna na energii elektrickou, která se může dále využívat k jiným účelům. Výroba elektřiny z VE může být použita k pokrytí vlastní spotřeby nebo u velkých VE elektřinu můžeme dodávat do veřejné rozvodné sítě. Vodní elektrárny mají mnoho kladných vlastností, jako je šetrnost k životnímu prostředí, spolehlivost, bezpečnost a také neprodukuje žádný odpad. Jejich výkon je ale silně ovlivňován množstvím proudící vody (povodně nebo naopak sucha).

Ve vodních elektrárnách proudící voda roztáčí turbínu, která je na společné hřídeli s elektrickým generátorem (společně nazýváno turbogenerátor). V generátoru dochází ke změně mechanické energie na energii elektrickou, ta se dále vedením dodává do míst spotřeby. Nejčastějšími typy používaných turbín jsou Peltonova a Francisova.

Vodní turbíny se dlouholetým technickým vývojem motorů dostaly k vysokým účinnostem. Podle množství vody a terénu rozdělujeme vodní elektrárny do těchto 3 hlavních kategorií:

- malé vodní elektrárny
- akumulární vodní elektrárny
- přečerpávací vodní elektrárny

V ČR není mnoho řek vhodných pro stavbu VE, ale většina z nich je pro výrobu elektrické energie již využita. Řeky v ČR nemají nejčastěji dostatečný

spád nebo v nich není dostatečné množství vody. Přestože je většina vhodných míst využita, tak je podíl VE na celkové výrobě pouhá 4 %. V našich podmínkách nedosáhne vodní energie nikdy významného podílu, ale stále je nezanedbatelným obnovitelným zdrojem energie (OZE). Nejvíce využitou řekou u nás je Vltava, na které se nachází mnoho přehrad s VE (Vltavská kaskáda).

Hlavním úkolem VE již není vyrábět velké množství energie, jako tomu bylo dříve, ale využívat specifických vlastností jejich provozu. Výkon vodních elektráren lze totiž snadno regulovat a tím rychle reagovat na potřebu elektrické energie. Spotřeba energie v průběhu dne kolísá a VE jsou důležité v dobách nejvyšší spotřeby. Stálým problémem zůstává neskladovatelnost elektrické energie, který zatím nejlépe řeší přečerpávací vodní elektrárny. Ty jsou kvůli možnému rychlému najetí výkonu z hlediska stabilizace sítě velmi důležité, a proto se jim věnuje stále větší pozornost.

Nejstarší přečerpávací elektrárnou na českém území je vodní elektrárna Černé jezero (v provozu 1930-1960). V ČR je zároveň vytipováno několik dalších vhodných lokalit, kde by bylo možné postavit nové PVE. Jejich realizace je ovšem spojena s velice vysokými investičními náklady. Dalším problémem jsou také ochránci přírody. Ti jsou proti těmto výstavbám, které je nutné realizovat v horách a mnohdy na chráněných územích. Hlavně z těchto důvodů zatím není výstavba nové PVE plánována.

Elektráren tohoto typu se dnes na světě nachází stovky a jen v Německu jich je 35. S instalovaným výkonem přes 1000 MW je jich 61 [3]. Více o fungování PVE a jejich výskytu v ČR je uvedeno v následující kapitole.



### 3 PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNA

Přečerpávací vodní elektrárna (PVE), je druhem vodní elektrárny, která dokáže energii uchovat v podobě naakumulované vody ve vodní nádrži. Umělou akumulaci vody provádí v době, kdy je elektrické energie přebytek a tím je její cena nízká (např. v noci). [15] Akumulovaná energie se pak v době energetické špičky využívá k výrobě elektrické energie. Přečerpávací vodní elektrárny jsou jedním z mála prostředků jak uchovat velké množství elektrické energie. Baterie jsou prozatím nedostačující svou kapacitou a další způsoby nenabízejí takové možnosti. V posledních týdnech se ovšem objevují informace o novém typu baterie od americké společnosti Tesla, která by mohla být svou kapacitou a možností akumulace v dobách levné energie novým prostředkem pro ukládání velkého množství levné energie. Nové baterie by se nacházely v domácnostech a využívaly by se, mimo ukládání levné energie, pro přechování energie z decentrální výroby, která je často původem z OZE. Ale v současné době PVE stále jsou technicky nejschůdnějším prostředkem, jak využít „přebývajících“ noční energii (hlavně z jaderných elektráren, které je z důvodu nízkých provozních nákladů nevýhodné regulovat) a jak předejít problémům s výkyvy ve spotřebě elektrické energie. Výkyvy je možné dobře pomocí PVE regulovat díky možnosti rychlého najetí elektrárny na požadovaný výkon. [13]

PVE byly stavěny již před jadernými elektrárnami, ale jejich důležitost narostla až s těmi jadernými. Jaderná elektrárna není vhodná pro vykrývání okamžitých výkyvů v poptávce po elektrické energii. Ta běží po většinu času na co nejvyšší výkon, jelikož její provozní náklady jsou velice nízké oproti např. uhelným nebo plynovým elektrárnám. Z tohoto důvodu se vyplatí vyrábět právě zmíněnou noční „nevyužitou“ energii, kterou PVE akumulují v podobě potenciální energie vody do svých horních nádrží na dobu energetické špičky. Ve špičce pak vyrobenou energii prodají „draze“ a běh PVE se stává ekonomicky efektivní. Výhodná je elektrárna i přesto, že spotřebuje na načerpání vody více elektrické energie, než následně dokáže z vody vyrobit (to je způsobeno účinnostmi elektrických strojů). Ovšem rozdíl cen ve špičce a mimo špičku tyto ztráty pokryje. [12]

Největší předností PVE je možnost rychle reagovat na výkyvy ve spotřebě

energie. Navíc její životnost při dobré výstavbě a provedení může být až úctyhodných 100 let. Ovšem výstavba PVE je velmi drahá a to především kvůli specifickým místům, kde může být elektrárna vystavěna. To je u nás v ČR většinou v kopcích, kde je v údolí umístěna dolní nádrž a na kopci vybudována nádrž horní. Takových míst u nás není mnoho a další stavby by se jistě potýkaly s odporem ze strany ochránců životního prostředí. Dobrou možností kde stavět jsou přímořské oblasti, ale to v našich lokalitách není třeba rozebírat. [14]

Výkon jaderných a jiných výroben elektrické energie je možné během dne měnit jen omezeně. Navíc je ekonomicky nevýhodné vystavět velké energetické zdroje, které by nevyráběly elektřinu po celý den. Elektřina z takového zdroje by pro pokrytí nákladů byla velice drahá. Jaderné elektrárny a velké tepelné elektrárny jsou proto téměř vždy provozovány pro pokrytí základní spotřeby elektrické energie, kdežto PVE a jiné zdroje, většinou menšího charakteru, pro pokrytí špičkových odběrů. Důležitost špičkových zdrojů navíc nadále stoupá kvůli nevyzpytatelnosti obnovitelných zdrojů elektřiny (OZE) a jejich obtížné regulaci. Podíl OZE na výrobě v posledních letech výrazně stoupl hlavně díky fotovoltaickému „boomu“, který proběhl v roce 2009 z důvodu nastavení vysokých výkupních cen a povinnosti elektřinu z OZE vykupovat. Instalovaný výkon fotovoltaických elektráren se na území ČR zvýšil o tisíce MW.

Podle [13] odpovídá výkon přečerpávací vodní elektrárny, při zanedbání ztrát, vztahu:

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H$$

kde

$P$  je teoretický výkon [W],

$Q$  je průtok turbínou [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

$\rho$  je hustota vody [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],

$g$  je tíhové zrychlení [ $\text{m}/\text{s}^2$ ],

$H$  je střední spád [m].

Celkovou energetickou kapacitu PVE (při zanedbání ztrát) lze vypočítat vztahem:

$$E = P \cdot t = V \cdot \rho \cdot g \cdot H$$

kde

E je teoretická energie vody [J, W·s],

V je využitelný objem vody [m<sup>3</sup>].

### 3.1 Princip fungování PVE

PVE tvoří tyto základní části: dolní nádrž, horní nádrž, přivaděč a elektrárna. Elektrárna se může nacházet ve 2 režimech, turbínovém a čerpadlovém. V době, kdy je horní nádrž prázdná a cena elektřiny je nízká, se pak elektrárna uvádí do čerpadlového režimu. V jeho první fázi proběhne zavzdušnění oběžného kola čerpadla. Tato operace je nutná, aby bylo vůbec možné uvést čerpadlo do pohybu (využívá se nižšího odporu vzduchu proti vodě). V druhé fázi dochází k roztáčení čerpadla rozběhovým motorem, přičemž probíhá otevírání kulového uzávěru a rozváděcích lopatek. Po rozběhu se čerpadlo udržuje v pohybu motorgenerátorem. Dochází tedy k čerpání vody ze spodní nádrže do horní a PVE v tomto režimu elektrickou energii spotřebovává. [19]

Pokud začnou být velké odběry ze sítě a je nedostatek elektrické energie, tj. nastala energetická špička, přepíná se elektrárna do turbínového režimu. Při něm se otevře kulový uzávěr horní nádrže, z níž začne proudit voda, která roztáčí turbínu a zároveň i motorgenerátor. Tím PVE začne vyrábět elektrickou energii a dodává do sítě „drahou“ elektřinu. V tomto režimu voda postupně přetéká z horní nádrže do dolní nádrže.

#### **Funkce v soustavě [14]:**

- **Statická**

Statickou funkci tvoří přeměna levné a nadbytečné energie v době nízkých odběrů (noc, víkend) na drahou a nedostatečnou energii ve špičkách (ráno, večer).

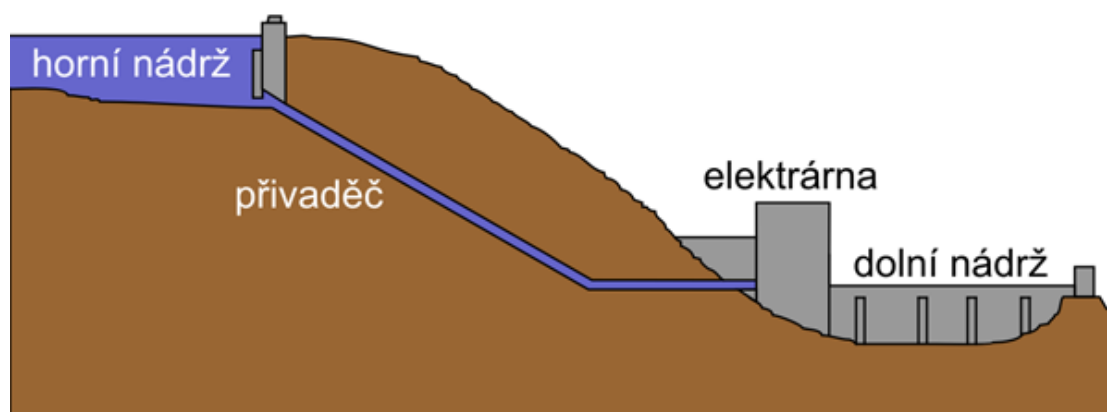
- **Dynamická**

Dynamická rezerva energie v systému, vyrábí kompenzační proud, který řídí kmitočet systému.

- **Kompenzační**

Podílí se na udržení předepsaného napětí v celé elektrifikační soustavě.

### Schéma přečerpávací vodní elektrárny



Obrázek 1 – Obecné schéma PVE, Zdroj: Nazeleno

Dle velikosti nádrže mohou PVE uplatňovat denní přečerpávací cyklus nebo týdenní přečerpávací cyklus. Pro všechny PVE v ČR se ale používá denní přečerpávací cyklus, využívající levnou noční energii.

## 3.2 Typy provedení PVE

Podle [14] PVE mohou být se smíšenou akumulací nebo s čistě umělou akumulací vody. Podle způsobu akumulace vody používáme různé druhy nádrží. Pokud elektrárna využívá čistě umělou akumulaci vody, znamená to, že je horní nádrž uměle vytvořena a nemá žádný přirozený přítok. Pokud je horní nádrž umělá, je výhodné, aby byla dolní nádrž postavena na vodním toku. To protože v nádržích dochází stále k odpařování a nelze vyloučit ani částečné vsakování vody. Ty se jednoduše nahradí přirozeným přítokem z vodního toku. V těchto elektrárnách je tzv. uzavřený koloběh vody. Protože se horní umělá nádrž staví na kopcích, je většinou stavěna tak, aby příliš nezměnila tvar terénu. Pro výstavbu umělých nádrží se většinou používají sypané hráze. Aby nedocházelo ke zmíněnému vsakování, používá se asfaltový beton a plastové folie. Pro jistotu je pod nimi ještě vybudována drenáž, která případné vsakování odvede. Má ale také bezpečnostní důvody, a to

ochranu proti poškození těsnění. To by se mohlo poškodit přetlakem, pokud by hladina při turbínovém provozu klesala příliš rychle. Při stavbě PVE s umělou nádrží se využívá morfologie terénu, kdy horní nádrž je postavena na kopci a dolní naopak v údolí tak, aby spád byl co největší. PVE se smíšenou akumulací vody je řešena stavbou hráze v korytě řeky. Ta odděluje horní a dolní nádrž (přehrada). V tomto případě má PVE naopak přirozený přítok do horní nádrže. Možnosti realizace PVE je více, ale tyto 2 způsoby, spolu s PVE využívající mořskou vodu, jsou nejčastějším řešením. [12]

Horní a dolní nádrž spojují tlakové přivaděče, kterými spadá a stoupá voda podle aktuálního režimu PVE (turbínový a čerpadlový). U elektráren s umělou horní nádrží bývají přivaděče velmi dlouhé (způsobeno terénem) oproti typu PVE stavěných na řece. Tam stačí průtok „pouze“ skrz přehradu, a tudíž jsou přivaděče kratší.

U PVE s umělou nádrží je strojovna často postavena v podzemí v tzv. kaverně (v takovém případě je kaverna klimatizována), ale může být i nad zemí. Ve strojovnách může být více možností strojového uspořádání, přičemž nejčastější jsou:

- čtyř-strojové uspořádání – turbína, generátor, motor a čerpadlo
  - používá se většinou při čerpání do velké výšky
- tří-strojové uspořádání – turbína (Francis), čerpadlo, motorgenerátor
- dvou-strojové uspořádání – motorgenerátor, reverzní turbína

Stroje jsou obvykle za sebe postaveny směrem shora dolů. Spojení turbíny a čerpadla je buď pevnou spojkou, nebo vysouvatelnou spojkou, příp. hydrodynamickým měničem. Odvodnění a zavzdušnění oběžného kola (zmíněno dříve) je nutné při použití pevné spojky. Toto zapojení ale není moc vhodné, protože způsobuje ztráty na výkonu, a tudíž se moc nepoužívá. Větší zastoupení při realizaci má naopak vysouvatelná spojka. Před spuštěním turbínového režimu rozpojíme spojkou turbíny a čerpadla. Tím pádem kolo čerpadla stojí a nedochází k ztrátám na výkonu. Pokud chceme čerpat vodu jen na krátkou vzdálenost, používáme dvou-strojové uspořádání. V něm reverzní turbína po správném natočení

lopatky pracuje jako čerpadlo. Nejčastěji používaným typem reverzní turbíny je turbína dvousměrná. Ta jedním směrem pracuje jako čerpadlo a druhým jako turbína. Nevýhodou je ale prodloužení času při přechodu mezi provozními režimy, kdy trvá změna směru otáčení motorgenerátoru. Dvou-strojové uspořádání je pro výstavbu jednodušší, což snižuje náklady na výstavbu PVE. Postupem času a techniky se stále více používá právě dvou-strojové uspořádání s reverzní turbínou a čtyř-strojové a tří-strojové jsou na ústupu. [12]

Nejčastěji jsou PVE vysokotlaké a středotlaké. Ty se rozlišují podle spádu, kde vysokotlaké mají spád větší než 50 metrů a středotlaké 15-50 metrů. Spád do 15 metrů (nízkotlaké) je pro přečerpávání nevýhodný.

### **3.3 Přečerpávací vodní elektrárny v ČR**

V České republice jsou v současné době jen 3 významnější PVE a všechny spadají pod řízení společnosti ČEZ. Pod ni patří také obě jaderné elektrárny Dukovany a Temelín, a právě pro efektivní běh JE jsou PVE stavěny. Poblíž JE Dukovany je PVE Dalešice a další dvě se jmenují Dlouhé Stráně v Jeseníkách a PVE Štěchovice. V následujících kapitolách budou podrobněji popsány tyto 3 PVE.

#### **3.3.1 PVE Dlouhé stráně**

Dle [15] je PVE Dlouhé Stráně v okrese Šumperk součástí Chráněné krajinné oblasti Hrubý Jeseník. Je to největší elektrárna tohoto typu u nás a má umělou akumulaci, kterou jsme popisovali výše. Dolní nádrž leží na toku řeky Desná. Stavba probíhala od roku 1978 a dostavěna byla v roce 1996. Elektrárna nebyla nikdy zcela bezproblémová a prošla řadou rekonstrukcí. V roce 2007 bylo nutné vyměnit asfaltové těsnění, což byl asi největší zásah.

Horní nádrž leží ve výšce 1 350 m. n. m. a čerpá se do ní voda, která později roztáčí turbínu. Celkový objem činí až 2,730 mil. m<sup>3</sup>, ale provozní objem je 2,580 mil. m<sup>3</sup>. Zatopená plocha nádrže je 15,4 hektarů. Celý obvod nádrže je pokryt kameninovým podkladem, na který se pokládá mezerovitý vodohospodářský asfaltový beton v celkové tloušťce 10 cm. Na něm je položen hutný

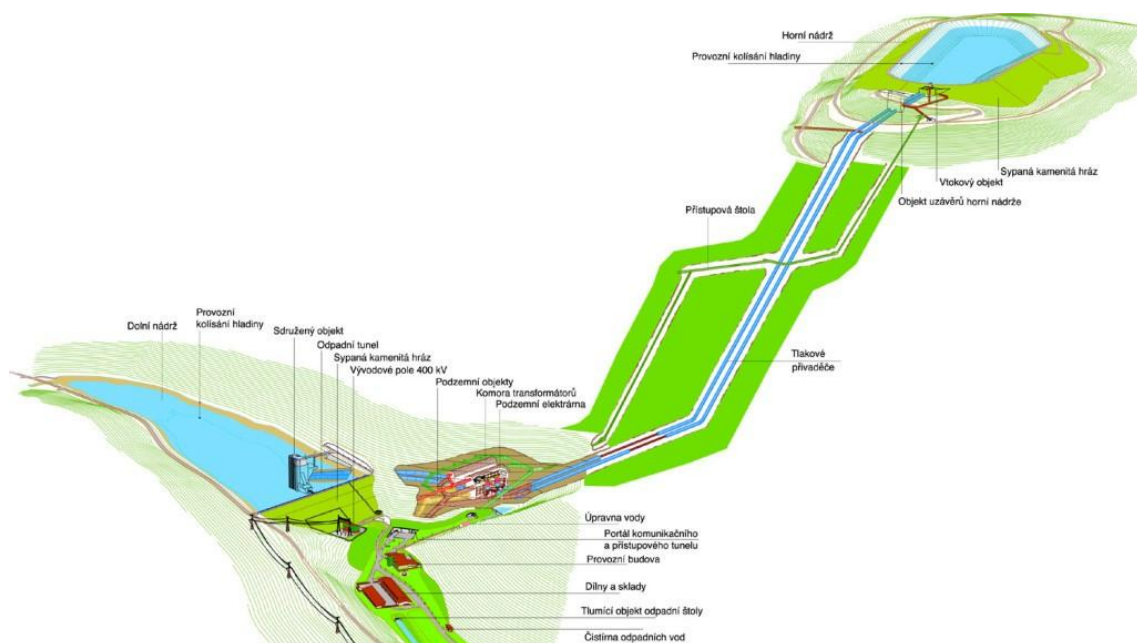
vodohospodářský asfaltový beton o tloušťce 8 cm. Těsnicí účinek této vrstvy je nejvyšší. Poslední vrstva je tvořena hydrofobním nátěrem, který má zhruba 2 cm.

Dolní nádrž v údolí leží na toku řeky Desná. Z horní nádrže přitéká podzemním potrubím voda průměrnou rychlostí 0,46 m<sup>3</sup>/s. Hráz nádrže je sypaná kamenná. Hlavní zádržnou vrstvu tvoří kamenivo frakce 40. Jinak jsou stěny a dno nádrže tvořeny podobně jako nádrž horní. Kolem obou nádrží je vysázena vegetace, aby elektrárna co nejméně zasahovala do CHKO Hrubý Jeseník. Z osobní zkušenosti lze potvrdit, že dopad na životní prostředí není na první pohled skoro vůbec viditelný. Celkový objem dolní nádrže je 3,405 mil. m<sup>3</sup> a provozní 2,580 mil. m<sup>3</sup>. [12]

PVE Dlouhé Stráně obsahuje dva tlakové převaděče. Pro chod elektrárny byly vyraženy celkem tři štoly (třetí slouží pro komunikační účely). Tlakové přivaděče se skládají z těchto částí:

- Párové:
  - horní a dolní ležaté části
  - horní a dolní lomová kolena
  - úklonné části
  - oblouky před kavernou
  - přímá část před kavernou
- Nepárové:
  - odpadní tunel – tím voda odtéká z kaverny do dolní nádrže.

Tlakové převaděče mají odlišnou délku, ale stejný profil. Průměr profilu je 3,6 metrů a délky mají 1547 a 1499 metrů. Odpadní tunel má profil 5,2 metrů.



Obrázek 2 – Uspořádání PVE Dlouhé Stráně. Zdroj: taurus.opole.pl

V PVE Dlouhé Stráně je kaverna se soustrojím pod zemským povrchem (popsáno výše). Při rozhodování, zda bude soustrojí pod zemí, sehrála klíčovou roli poloha PVE, která je v CHKO Hrubý Jeseník. V elektrárně pracují dvě Francisovy turbíny FR100 a společně mají výkon 650 MW, což je nejvíce na území ČR v kategorii PVE. Vodní energii při turbínovém režimu přeměňují na elektrickou dva generátory umístěné nad turbínou. V čerpadlovém režimu se generátory mění na vysoce výkonné motory, které pak pohánějí čerpadlo. Pro přechod mezi režimy se používá silný asynchronní motor. [16]

	Generátorový chod	Čerpadlový chod
Činný výkon [kW]	2 x 320 000	2 x 353 000
Jmenovité napětí [V]	22 000 ± 5%	22 000 ± 5%
Kmitočet [Hz]	50	-
Jmenovitý proud [A]	9 329	9 264

Tabulka 1 - Základní údaje o PVE Dlouhé Stráně



Při výstavbě bylo nutné vyřešit nejen mnoho stavebních a technických problémů, ale také kritiky ze strany ochránců přírody, kteří se báli o narušení ekosystému. Najít vhodné místo pro stavbu PVE není u nás v ČR jednoduché. V té době byla vytipována 4 místa, z nichž nejvhodnější byl právě skalní masiv Hrubého Jeseníku. To protože zdejší hornina splňovala důležité vlastnosti pro stavbu vodního díla. Stavba nejmladší PVE v ČR započala roku 1978 a než se začala poprvé napouštět, uplynulo 15 let. Při stavbě se vyrazily tři tunely s velkým průměrem pro tlakové převaděče a mnoho dalších menších tunelů a štol. Největší zásah do přírody představovala nutnost postavit dvě velké nádrže pro zadržení masy vody. V roce 1993 se začalo s napouštěním horní nádrže. Po krátkém čase se ale muselo s napouštěním přestat, protože těsnění nedokázalo pracovat podle předpokladů a voda na některých místech prosakovala. Po odstranění závady se s napouštěním mohlo začít znovu a elektrárna byla do provozu uvedena 20. června 1996. Konečné náklady na její výstavbu činily zhruba 6,5 miliardy korun.

### **3.3.2 PVE Dalešice**

Vodní dílo Dalešice (dále jen VD) bylo, podle [17], vybudováno v souvislosti s výstavbou blízké JE Dukovany. Součástí VD jsou:

- vodní elektrárna Mohelno
- nádrž Mohelno
- PVE Dalešice
- nádrž Dalešice

Jednou z funkcí VD Dalešice je tlumení povodní a zvyšování průtoku v řece v suchých obdobích. Další neméně důležitou funkcí je zajištění vody pro JE Dukovany, pro jejíž běh je nezbytná. Nádrž Dalešice vytváří spád a užitný objem vody pro běh PVE Dalešice a dlouhodobě vyrovnává průtok řeky Jihlavy. Snižuje povodňové špičky v dolním toku a sedimentaci nečistot z horního toku.

Přehradní hráz zadržuje vodu o objemu 127 mil. m<sup>3</sup> a celková plocha povodí je 1136 km<sup>2</sup>. Ta je tvořena rokfilovou hrází s jílovým těsněním a dosahuje výšky 100 m. Pro vypouštění nádrže a převádění vody je hráz vybavena hydrotechnickými

zařízeními. Na turbíny elektrárny, která je umístěna u paty hráze, přivádějí vodu 4 ocelová potrubí vedoucí z horní nádrže.

Nádrž Mohelno je postavena jako gravitační betonová hráz. Zadržuje objem vody 17,1 mil. m<sup>3</sup> a plocha vody má rozlohu 118 ha. Jejím hlavním účelem je plnění funkce dolní nádrže pro PVE Dalešice. Jelikož se jedná o poměrně malou nádrž, kolísá hladina vody během dne až o 12,5 m.

Základní údaje o PVE Dalešice:

<b>Strojovna</b>	<b>Generátorový chod</b>	<b>Čerpadlový chod</b>
Činný výkon [kW]	4 x 100 000	4 x 110 000
Jmenovité napětí [V]	22 000 ± 5%	22 000 ± 5%
Kmitočet [Hz]	50	-

Tabulka 2 - Základní údaje o PVE Dalešice

PVE Dalešice plní funkci akumulátoru energie, tzn. v případě přebytku elektrické energie čerpá vodu do nádrže a v energetických špičkách elektrickou energii vyrábí. Je často používána jako okamžitá poruchová záloha (=rezerva) a pro regulaci výkonu celostátního energetického systému. PVE Dalešice je na tyto účely vhodná zejména díky rychlosti najezení na plný výkon výroby elektrické energie během 60 vteřin.

Ve strojovně jsou instalovány 4 soustrojí s reverzními Francisovými turbínami o výkonu 115 MW, které jsou konstruovány pro spád 90 m. K běhu obou režimů (čerpadlový a turbínový) je v soustrojí synchronní generátor s obousměrným točením.

### 3.3.3 PVE Štěchovice II

Vodní dílo Štěchovice bylo postaveno v letech 1938 – 1944 a jeho součástí je PVE Štěchovice II (číslovka u názvu je z důvodu přítomnosti průtočné vodní elektrárny ve vodním díle). Horní nádrž byla postavena v roce 1947 na blízkém kopci Homole s objemem téměř 0,5 milionu m<sup>3</sup>. Nachází se v nadmořské výšce 420 m. n. m. a při její stavbě bylo vytěženo 0,348 m<sup>3</sup> skály. Hráz tvoří 73 bloků o šířce

2 m, které jsou zasypány zeminou a hráz celkem měří 868 m. Voda se do umělé horní nádrže čerpá rychlostí  $23 \text{ m}^3/\text{s}$  z blízké řeky Vltavy a na jedno plné napuštění může běžet až 4,5 hodiny. Spád vody zde činí až 220 m a pohání reverzní Francisovu turbínu s hltností  $24 \text{ m}^3$  za vteřinu. Celé soustrojí je umístěno v podzemní kaverně, kde vyrábí elektrickou energii motorgenerátor s výkonem 45 MW. V letech 1992 – 1996 proběhla rekonstrukce elektrárny a dosadila zmíněnou běžnější reverzní Francisovu turbínu namísto původních 2 soustrojí s výkonem 21 MW. Turbína byla při této rekonstrukci posunuta níže, čímž se zvýšil spád a s ním výkon z 42 MW na 45 MW. Vodu z horní nádrže Homole přivádějí ocelové přivaděče s délkou 590 m a průměrem až 2 m. Na svou dobu byla PVE Štěchovice II velice moderní a plně automatizovaná, a přestože má mnohem menší výkon než PVE Dlouhé Stráně a PVE Dalešice, funguje bezproblémově dál. [18]

<b>Strojovna</b>	<b>Generátorový chod</b>	<b>Čerpadlový chod</b>
Činný výkon [kW]	1 x 45 000	1 x 50 000
Jmenovité napětí [V]	$22\,000 \pm 5\%$	$22\,000 \pm 5\%$
Kmitočet [Hz]	50	-

Tabulka 3 - Základní údaje o PVE Štěchovice II

## 4 MOŽNOSTI OBCHODOVÁNÍ V ČR A V ZAHRANIČÍ

Běh přečerpávací vodní elektrárny velmi závisí na schopnostech provozovatele obstarávat levnou elektrickou energii pro čerpací režim a naopak umění ji prodat za co nejvyšší částku v době turbínového režimu. Pokud se to nedaří plnit, stává se PVE neekonomickou. V podmínkách ČR lze postupovat více způsoby jak optimalizovat provoz PVE. V dalších kapitolách se budeme věnovat některým z nich forward a futures obchodům, dennímu trhu, vnitrodennímu trhu a bilaterálním dohodám. Uvedeme také, jakým způsobem se stanovuje cena elektřiny na trhu. Nakonec se budeme věnovat německému trhu a jeho ovlivňování cen elektrické energie u nás.

### 4.1 Forward a futures

Forward a futures obchody patří mezi tzv. deriváty. Za deriváty se označují obchody, jejichž hodnota se odvozuje (derivuje) od kurzu určitého aktiva, např. elektrická energie, akcie, měny, komodity apod. Obchody s deriváty se často označují jako termínové obchody. [23]

Forwardový kontrakt (=forward) je dohoda mezi dvěma stranami o nákupu nebo prodeji aktiva ve specifikovaný čas v budoucnu za specifikovanou cenu stanovenou v současnosti. Opakem forwardových kontraktů jsou spotové kontrakty, které obchodují s aktivy v současnosti. Strana, která se zavazuje koupit aktivum v budoucnu, zaujímá tzv. dlouhou pozici a strana zavazující se k prodeji téhož aktiva v budoucnu se nachází v krátké pozici. Forwardová cena v čase uzavření kontraktu se nazývá dodací cena. Uzavření forwardových kontraktů je zdarma.

Spotová a forward cena se většinou liší a jejich rozdíl se označuje jako forwardová prémie (v případě zápornosti forwardová srážka). Tento typ obchodů se typicky používá např. k zajištění se proti riziku (nejčastěji měnovému kurzovnímu riziku, ale i tržním) nebo jako forma spekulace.

Velmi podobný kontraktem je kontrakt futures. Ale obchodování s futures probíhá vždy na burze a forward jsou obchodovány až na výjimky mimo burzu. Z toho vyplývají další rozdíly. Futures kontrakt je standardizovaný (předem domluvené podmínky) co se týče druhu komodity, objemu kontraktu, jeho splatnosti a na trhu se určí již jen cena. Naopak forward je vždy specifický a závisí jen na dohodě protistran. Futures kontrakty garantuje clearingové centrum, které zajistí dohodnuté vypořádání obou stran. To je největší výhodou futures kontraktů. U forward kontraktů dochází k převodu až na konci kontraktu, ale u futures se ujednává fyzický převod podkladového aktiva během kontraktu a průběžně se může měnit. [20]

Forward kontrakty jsou většinou využívány k zajištění proti riziku (=hedging) a futures ke spekulacím na trhu.

Jako příklad uvažujme firmu A, která chce za rok nakoupit elektrickou energii. Firma B v současnosti vlastní elektrickou energii za 100 tisíc Kč, kterou chce prodat. Obě firmy spolu uzavřou forward kontrakt a domluví se na ceně 104 tisíc Kč (tato cena je stanovena poté, co se vezme v úvahu možnost bezpečného zhodnocení a hodnota inflace). Po roce má cena elektrické energie firmy B cenu 110 tisíc Kč, ale protože je cena domluvená na 104 tisíc Kč, vydělá firma A 6 tisíc Kč (v případě, že nakoupenou elektrickou energii ihned prodá za cenu 110 tisíc Kč). [21]

## **4.2 Tvorba ceny silové elektrické energie**

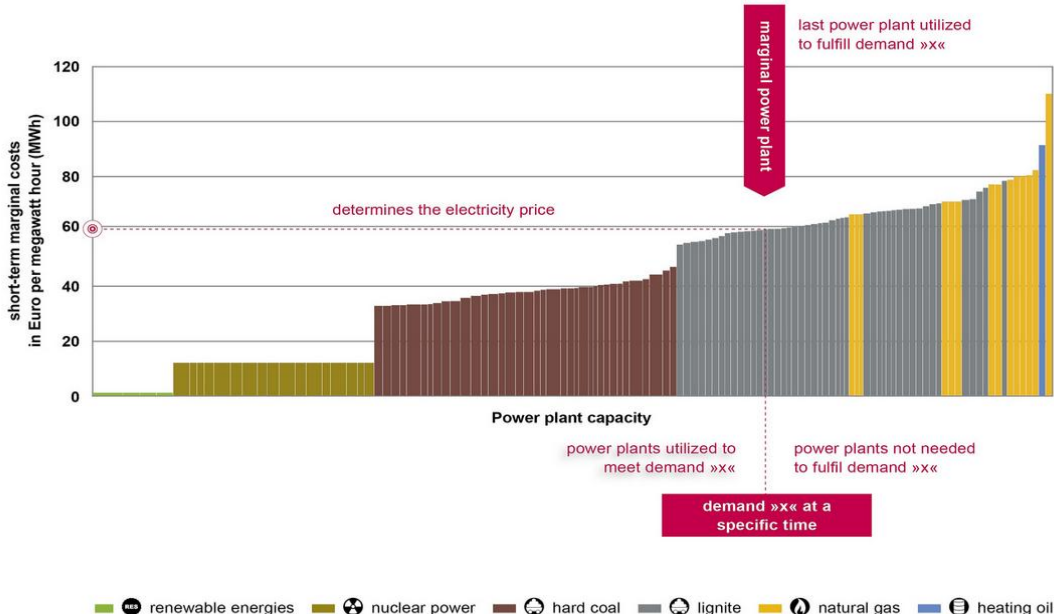
O ceně silové elektrické energie rozhoduje množství, které se jí vyrobí a kolik se jí spotřebuje. Je důležité brát na vědomí, že neumíme elektrickou energii efektivně skladovat, a proto je nutné udržovat výrobu a spotřebu v rovnováze. Jak přes den roste spotřeba, musíme spouštět více zdrojů výroby elektrické energie k pokrytí poptávky. Pokud je trh likvidní a zdroje v síti se provozují racionálně, odvíjí se cena od provozních nákladů „nejdražšího“ bloku výroby nebo od elektrické energie dovezené ze zahraničí. [22]

Výrobní náklady jednotlivých typů elektráren jsou často velmi podobné a

tím je předurčován k určitému režimu provozu. Jak vypadá portfolio zdrojů s výrobními náklady je znázorněno na grafu (Obrázek 2). Při takovémto portfolio provozovatel nasazuje výrobní bloky směrem zleva doprava tak, aby vyrovnal poptávku po energii v bodě X a zároveň měl co nejnižší provozní náklady na běh zdrojů. Takto nasazuje jednotlivé výrobní bloky až do okamžiku, kdy se po přičtení požadované marže (pro generování zisku) přiblíží marginální náklady cenám na trhu. Proto pro daný okamžik určuje cenu elektřiny na trhu zdroj s největšími marginálními náklady.

How supply and demand determine electricity prices  
The merit order principle

Öko-Institut e.V.



SOURCE: ÖKO-INSTITUT, 2013

Obrázek 3 Graf rozložení zdrojů v portfolio dle marginálních nákladů. Zdroj: Flickr

Z uvedeného grafu je patrné, že při obchodování se silovou elektřinou jsou obnovitelné zdroje provozovány s nejnižšími náklady, což je způsobeno téměř nulovými palivovými náklady. Obnovitelné zdroje jsou výhodné také především díky legislativou danými dotacemi a pevnými výkupními cenami. Proto se tyto zdroje elektrické energie kvůli jejich výhodnosti ani neregulují. Navíc jsou tyto zdroje těžko regulovatelné.

Mezi obnovitelné zdroje se u nás ale nezařazují velké vodní elektrárny (nad 10

MW), u kterých nejsou legislativou dané dotace a pevné výkupní ceny. U těchto elektráren se již vyplatí pro ekonomickou efektivnost regulovat jejich výkon. Zařazujeme je mezi špičkové zdroje a, jak už z názvu vyplývá, vyrábí elektrickou energii převážně ve špičkách, kdy je její cena nejvyšší.

Nízké provozní náklady ve výrobním portfoliu mají jaderné elektrárny. Protože jaderné elektrárny mají vzhledem ke svému výkonu nízké výrobní náklady (náklady za palivo), nevyplatí se je nikterak omezovat ve výrobě, podobně jako tomu bylo u OZE. JE zařazujeme mezi základní zdroje, které běží na svém optimálním výkonu.

Mezi lépe regulovatelné zdroje patří uhelné elektrárny. Jejich provozní náklady tvoří hlavně nákup emisních povolenek a samozřejmě cena paliva, jak tomu je i u většiny ostatních konvenčních zdrojů. Protože v současné době jsou ceny za emisní povolenky poměrně nízké (přibližně 7 euro/t), běží tento zdroj nejen v době špičky, ale i v nočních hodinách a o víkendech. I s tímto během je provozování uhelné elektrárny stále výhodné.

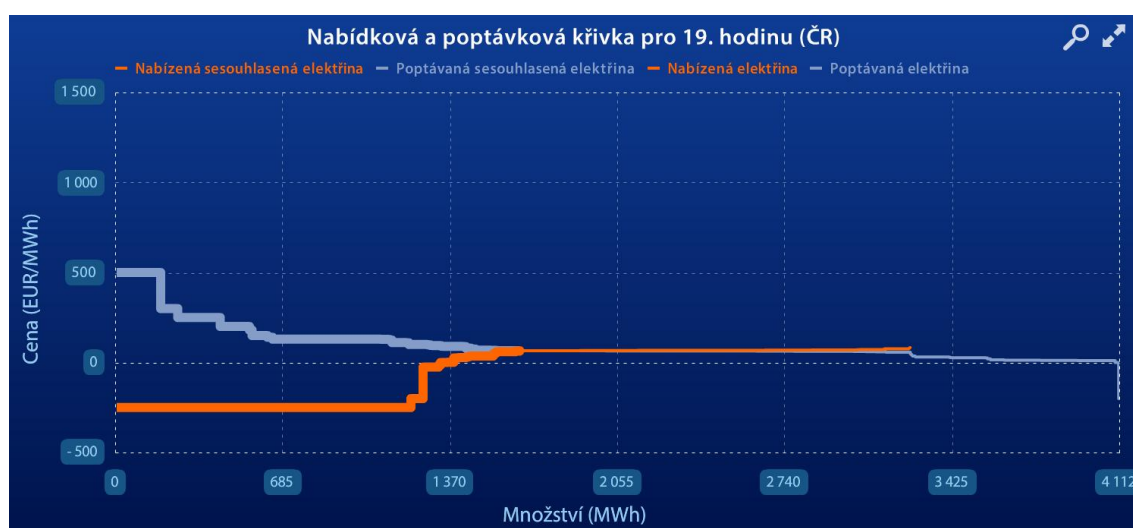
Nejvyšší provozní náklady najdeme u plynových a paroplynových elektráren, což je způsobeno hlavně cenou paliva. Na druhou stranu emise z těchto elektráren nejsou tak vysoké, jako je tomu u uhelných zdrojů. Na grafu jsou tyto zdroje umístěny nejvíce „vpravo“ s průměrnou cenou přes 87 euro/MWh. Znevýhodněny jsou PE a PPE také zmíněnou nízkou cenou emisních povolenek, díky nimž by měly proti uhelným elektrárnám cenovou výhodu. Kvůli neekonomickému běhu jsou tyto zdroje využívány jen jako špičkové, a protože predikce cen silové elektřiny není pro PE a PPE příznivá, jsou některé z nich konzervovány.

Obchodování s elektrickou energií lze rozdělit, z hlediska času, do tří skupin. Nejblíže fyzické dodávce je vnitrodenní trh (intraday), dále je denní obchodování (day ahead) a třetí je středně a dlouhodobé obchodování (forward). [22]

### **4.3 Denní trh**

Obchodování na denním trhu v ČR probíhá na burze OKO (organizovaný

krátkodobý obchod), kde se obchoduje anonymně anebo jako OTC do 13:30 předchozího dne. Obchodovaným produktem je obchodní hodina, kde je den rozdělený na 24 takovýchto hodin. Den začíná 1. obchodní hodinou. Nabídky na OKO se posílají v jednotný čas do 11:00 předešlého dne fyzické dodávky a do 11:45 jsou výsledky přístupné veřejnosti. [22] Na obrázku 3 je znázorněna křivka sesouhlasení, pomocí které se stanovuje cena pro každou hodinu. Zde je uvedena křivka sesouhlasení pro 19. hodinu. Ta je tvořena pomocí nabídkové a poptávkové křivky. Protože predikce ceny elektřiny je pouhá spekulace a obchodník potřebuje mít jistotu, že požadovaný výkon určitě zakoupí, musí poptávat cenu zaručeně vyšší, než jaká se předpokládá. Proto je v grafu prvních přibližně 120 MWh poptáváno za 500 euro. Obdobné je to i s prodejem. Pokud obchodník chce výkon určitě prodat, zadá cenu zaručeně nižší, než jaká je predikována. Na grafu je proto prvních 1200 MWh nabízeno za přibližně -250 euro. Po protnutí poptávkové a nabídkové křivky je určena výsledná cena pro všechny účastníky trhu. Nezáleží tedy s jakou cenou obchodník nabídku/poptávku podal.



Obrázek 4 – křivka sesouhlasení pro 19. hodinu, Zdroj: OTE

Na trhu s elektřinou se pohybují cenotvorní a cenu přijímající účastníci. Obecně platí, že cenotvorní účastníci jsou výrobci elektrické energie (ti ji stanovují na základě nákladů jednotlivých zdrojů v portfoliu) a také obchodníci, kteří stanovují cenu podle zahraničních trhů tak, aby vydělali právě prodejem či nákupem v zahraničí.



Naopak dodavatelé elektrické energie konečným zákazníkům náleží do skupiny účastníků cenu přijímajících, protože musí pokrýt svůj závazek.

Typický obchodník zadává několik pokynů. Pokud například prodává elektrickou energii z výrobního portfolia, tak zadává cenu a výkon k prodeji právě podle výrobních nákladů elektráren v portfoliu.

## 4.4 Vnitrodenní trh

Další možností pro obchodování je vnitrodenní trh (VDT). Trh je organizován pro hodiny v rámci jednoho dne, což znamená, že se obchoduje ještě v den, kdy dochází k fyzické dodávce a odběru elektřiny. Pro popis trhu budeme tento den nazývat dnem D.

Trh se otevírá v 15:00 hodin v den předcházející dni D, tedy D-1, pro všechny jeho obchodní hodiny. VDT je uzavírán postupně po jednotlivých hodinách a nabídky/poptávky musí být, pro danou obchodní hodinu, poslány nejpozději 1,5 hodiny předem. Účastníci VDT nejsou nijak omezeni počtem nabídek/poptávek, které mohou do systému poslat. Množství obchodované elektrické energie účastníci zadávají v MWh.

Hlavní úlohou vnitrodenního trhu je poskytnout účastníkům možnost minimalizovat odchylku od předpokládané výroby/odběru. Odchylka vzniká např. výpadkem spotřeby elektřiny na straně významných odběratelů nebo nesprávnou výší uzavřených kontraktů (přebytek či nedostatek na straně odběratele). V případě přebytku i nedostatku je společnost ČEPS, a.s. povinná tuto odchylku zregulovat (tj. energii

ze sítě odebrat nebo naopak dodat). Regulace odchylek je ovšem ekonomicky náročný proces, a proto jsou subjekty za její způsobení pokutovány. Výše pokut je stanovena tak, aby se subjektům vyplatilo přebytečnou či chybějící elektřinu zobchodovat na intraday trzích. [22]

Na VDT se obchoduje kontinuálně 24 hodin denně. Na rozdíl od denního trhu, kde se cena určuje křivkou sesouhlasení, určují cenu nabídkové a poptávkové vývěsky. Systém pak jednotlivé nabídky a poptávky „spáruje“ a vznikne

oboustranná dohoda. K finančnímu vypořádání mezi prodávajícím a kupujícím dochází následující den, v čase dne D+1.

## **4.5 Bilaterální (dvoustranné) obchody**

Se silovou elektřinou je dále možné obchodovat pomocí bilaterálních obchodů, kdy mezi sebou uzavírají smlouvu o dodávce dva účastníci trhu. Obchody probíhají podle pravidel a obchodních podmínek, které stanovuje OTE. Operátorovi trhu účastníci předávají informace o uzavřené smlouvě včetně množství obchodované elektřiny. Tyto informace předávají do 13:30 hodin v den předcházející dni dodávky elektřiny (v terminologii předcházející kapitoly o VDT je to den D-1). Tento čas je také uzavírkou pro bilaterální obchodování ve dni D. Uzavřením dohody je účastník trhu povinen v nasmlouvaných hodinách dodat nebo odebrat sjednané množství elektřiny do/z elektrické sítě.

## **4.6 EEX (Evropská energetická burza)**

V posledních letech cena elektrické energie na tuzemských trzích silně koresponduje s cenou na Evropské energetické burze (EEX), která sídlí v německém Lipsku. Na ní jsou obchodovány všechny klíčové energetické produkty v Evropě a ve značné míře na ní obchoduje také společnost ČEZ, čímž jsou ovlivněny ceny elektřiny u nás. S cenami na této burze rovněž velmi silně koreluje Pražská energetická burza. EEX je jedním z největších obchodních míst ve střední Evropě a probíhají na ní jak spotové obchody, tak obchody s deriváty (futures). [3] [23]

Na burze EEX v současné době obchoduje více než 200 účastníků nejen z Evropy, ale také z USA. Tato burza je pro vývoj aplikace v rámci diplomové práce velice důležitá, protože podle ceny elektrické energie na této burze se navrhuje čerpání a turbínový provoz v přečerpávacích vodních elektrárnách vlastněných společností ČEZ.

## 4.7 Přenosové kapacity

Přenosová kapacita vedení (profil vedení) udává, kolik elektrické energie v MWh je možné bezpečně přenést za určité období. Tento ukazatel je považován za nepřekročitelnou bezpečnostní hranici (přestože ve skutečnosti by bylo možné přenést po vedení větší množství energie). S tím, jak roste mezinárodní obchod, začínají být kapacity přeshraničních vedení nedostatečné. To je způsobeno historickou výstavbou, kdy se jednotlivé státy soustředily na výstavbu vedení ve vnitrozemí

a přeshraničních vedení nebylo zapotřebí. V současné době je předmětem zájmu navýšení přenosových kapacit mezi evropskými zeměmi a vytvořit technicky neomezovaný evropský trh s elektřinou. Další velkou výhodou propojování přenosových soustav je různá doba energetických špiček (největších poptávek po elektřině). Na západě Francie začíná špička o hodinu dříve než u nás, kdežto na Ukrajině začne nejdříve za hodinu. Tím není nutné tolik regulovat právě spuštěné zdroje, což je ve výsledku ekonomicky výhodné. [4]

Přenosová soustava ČR, která je vlastněna společností ČEPS, a.s. sousedí s 5 přenosovými soustavami okolních států: Tennet, 50Hertz (Německo), SEPS (Slovensko), APG (Rakousko) a PSE (Polsko.)



Obrázek 5 - Přenosové soustavy sousedních zemí; zdroj: ČEPS, a.s.

Česká přenosová soustava je svou polohou ve střední Evropě značně zatížena přenášenými výkony. V posledních letech dochází na severu Německa k velikému

nárůstu obnovitelných zdrojů energie. Vznikají zde nové solární elektrárny, ale největší nárůst v oblasti Baltského a Severního moře zaznamenávají větrné elektrárny. Protože je ale v Německu nedostatečná kapacita vnitrozemních vedení, nastávají neplánované přetoky přes PS České republiky. Přetoky způsobují nestabilitu v naší síti, a proto se společnost ČEPS, a.s. v současné době zaměřuje na posílení nejvytíženějších vedení sousedících s Německem. K posílení jsou stavěny nové rozvodny, vedení a transformátory. Současně jsou budovány nové transformátory s řízeným posuvem fáze (phase-shifting transformer, PST). Tento typ transformátoru je schopen omezit tok v jedné větvi vedení, čímž dojde k přerozdělení toků (elektřina jde cestou nejmenšího odporu) a k přesunu jejich části na okolní méně vytížená vedení. [5]

Přidělování práva využití volných obchodovatelných přenosových kapacit pro naše hranice provádí aukční kancelář CAO. Výjimku na českém denním trhu tvoří přenosová kapacita se Slovenskem, kde probíhají implicitní aukce a přenosová kapacita je součástí dohody o zobchodované elektřině. Tento propojený denní trh se nazývá Market Coupling a kromě ČR a Slovenska do něj patří také Maďarsko. V současné době se také chystá připojení Rumunska a Polska s cílem vytvořit jednotný evropský trh s elektřinou. [6]

Jelikož budeme obchodovat na německé burze EEX a podle cen na ní navrhovat čerpání a výrobu v našich PVE, musíme uvažovat, zda jsou v obchodní hodině dostatečně velké přeshraniční kapacity.

## 5 ODCHYLKY

Operátor trhu (OTE) má za úkol vyhodnocovat odchylky mezi smluvenými a skutečně realizovanými odběry/dodávkami. Odchylky se rozdělují na kladné a záporné. Kladná odchylka nastává v situaci, kdy je z elektrizační soustavy (ES) odebráno větší množství elektrické energie, než je nasmlouváno, nebo naopak je větší množství elektřiny do ES dodáno. Záporná odchylka nastává v opačných situacích. Součet všech odchylek tvoří tzv. systémovou odchylku.

Výrobci plánují výrobu předem, a proto jsou za nesplnění nasmlouvaných výrobních závazků dodávek elektrické energie pokutováni. Velikost této pokuty pro každý rok stanovuje Energetický regulační úřad (ERÚ). [8]

### 5.1 Výkonová bilance a DDZ

Podle [9] nazýváme vzájemně propojený soubor přenosových, distribučních, výrobních a spotřebních zařízení, kde se všechna zařízení vzájemně ovlivňují, elektrizační soustavou. Při řízení ES je nutné dodržet nejen kvalitu dodávané elektřiny, ale také výkonovou bilanci mezi dodávkou a spotřebou. Tuto bilanci zajišťuje dispečerské řízení nasazováním zdrojů elektrické energie tak, aby byly dodávky a odběry elektřiny z ES v rovnováze. Při vychýlení z rovnováhy by docházelo k zhoršování požadované frekvence 50 Hz, což by v případě pozdního zásahu mohlo vyústit až v kolaps soustavy.

Jakékoliv poruchy se v síti šíří téměř okamžitě, takže neplánovaný výpadek výrobního bloku (či velké spotřeby) v jednom místě ES způsobí nedostatek elektrické energie (či přebytek) a zhoršení jejích parametrů v celé ES pro všechny odběratele. Ve všech místech odběru z ES se v jeden moment odebírá stejná dodávka elektřiny se stejnou kvalitou. Z technických důvodů není regulace kmitočtu na straně odběratelů vhodným řešením. Také by tím byla omezena důležitá vlastnost elektřiny, kterou je její okamžitá dostupnost.

Na straně odběratele se udržuje správný kmitočet a hladina napětí. Od těchto hodnot jsou povoleny stanovené odchylky a např. u napětí je to až 10% (u kmitočtu je to 1%). Tento limit by ale pokles napětí v ES nikdy neměl

přesáhnout, protože tím mohou být ohroženy některé spotřebiče. [10]

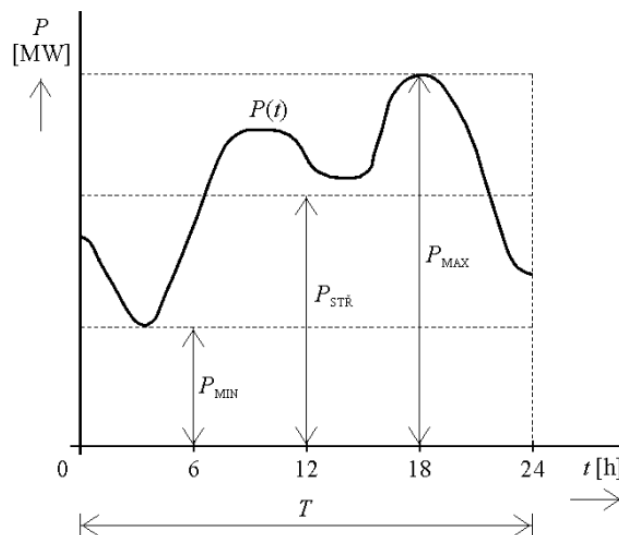
Řízení ES se odehrává na straně výroby a vyžaduje, aby část elektráren (musí mít dobré vlastnosti pro regulaci) měla k dispozici rezervní výkony a na základě povelů z dispečerského řízení společnosti ČEPS snižovala či zvyšovala dodávku elektrické energie k zajištění rovnováhy výroby a spotřeby. Čím je větší ES, a tím také více spotřebitelů a výrobních zdrojů, tím je větší stabilita sítě a relativně menší nároky na řízení rovnováhy a udržování regulačních rezerv. Kolísání dodávek a odběru se částečně vzájemně vyrovnává. To je dalším důvodem, proč se státy v Evropě snaží o propojení svých přenosových soustav. Problémy s udržováním rovnováhy nastávají, protože zatím neumíme, mimo PVE, elektrickou energii ve větším měřítku skladovat. [9]

Proto se řízení odehrává převážně na straně výroby a vyžaduje, aby část elektráren měla k dispozici rezervní výkony a na základě povelů z dispečinku zvyšovala či snižovala dodávku elektrické energie k zajištění rovnováhy. Toto řízení se děje v řádu sekund. Čím větší soustava a více spotřebitelů a výrobních zdrojů, tím větší stabilita a relativně menší nároky na řízení rovnováhy a udržování regulačních rezerv – kolísání odběrů a dodávek se částečně vzájemně vyrovnává. Elektřinu zatím nelze ve větším měřítku skladovat.

Elektřina sítěmi proudí vždy cestou nejmenšího odporu (tou nemusí být vždy nejkratší cesta, ale také záleží na materiálech a průřezích vedení). Mezi místem výroby a spotřeby protéká současně všemi dostupnými cestami, které odpovídají fyzikálním zákonům. V síti se elektřina řídí Kirchhoffovými zákony. Protože jsou na sobě výrobci a spotřebitelé závislí, mohl by výpadek většího výrobního bloku nebo velkého množství odběrných míst způsobit přetížení až kolaps ES. Tento kolaps by mohl nastat i ve vzdálených lokalitách téměř okamžitě.

Z toho důvodu je odběr elektrické energie plánován formou diagramu zatížení (DZ) elektrizační soustavy, který vyjadřuje průběh spotřeby (výroby) elektrické energie za určité sledovací období T. Na obrázku 5 je znázorněn denní diagram zatížení (DDZ). [10]

Výroba elektrické energie musí odpovídat tomuto předpokládanému diagramu zatížení ES. Podle DDZ je odběr elektrické energie plánován a zahrnuje zpravidla přípravu hodinových intervalů s přesností 1,5% až 3% maximálního výkonu soustavy. DDZ rozdělujeme na 3 charakteristické části zatížení: základní, pološpičkové a špičkové. Dolní část diagramu (=základní) je pokrývána základními tepelnými elektrárnami největších jednotkových výkonů (jaderné, uhelné), které mají nízké provozní náklady a během dne se zpravidla neodstavují. Neodstavují se ani v noci a jen v dobách nejnižší poptávky po elektrické energii klesají na hodnotu technického minima. Pro pokrytí této základní poptávky se, jak už bylo nastíněno v kapitole 4.2., používají také OZE. Pološpičková část diagramu se pokrývá také tepelnými elektrárnami, ale s dobrou možností regulace výkonu.



Pro pokrytí horní části diagramu (=energetická špička) se využívají hlavně vodní elektrárny, u kterých je možné velice rychle regulovat výrobní výkon. Mezi tyto zdroje patří také PVE. Průběh DDZ přibližně kopíruje také stoupání a klesání cen elektrické energie na trzích.

Obrázek 6 - DDZ elektrizační soustavy [10]

## 5.2 Podpůrné služby

Aktivace podpůrných služeb (PpS) je jedním z možných způsobů, jak zajistit výkonovou rovnováhu. Provozovatel PS ze zákona nemůže provozovat ani vlastnit zařízení na výrobu elektřiny, proto si musí podpůrné služby u ostatních subjektů pronajímat. PpS jsou definovány jako: „výkonové rezervy na certifikovaných výrobních zařízeních a závazky subjektů se schopností regulovat svoji spotřebu na povel dispečinku ČEPS“ [7]. Provozovatel přenosové soustavy zajišťuje, prostřednictvím podpůrných služeb, systémové služby (SyS). Mezi nejdůležitější

systemové služby patří:

- Kvalita a spolehlivost dodávky elektrické energie
- Udržování stabilní napěťové hladiny v PS
- Udržování frekvence
- Nepřerušenosť dodávky v odběrných místech

Zařízení na výrobu elektrické energie musí splňovat určité technické předpoklady, aby mohlo být poskytovatelem PpS. Podpůrné služby dělíme na 2 základní kategorie, podle způsobu jejich zajištění společností ČEPS. Tyto 2 kategorie dělíme do dalších podkategorií podpůrných služeb, které mají různé funkce při podpoře SyS a vyžadují různé vlastnosti výroben elektrické energie [11].:

- zajištěné skrze přímé smlouvy s poskytovatelem
  - snížení výkonu do 30 minut
  - možné snížení výkonu MSV
  - sekundární regulace U/Q
  - schopnost ostrovního provozu
  - start ze tmy
  - redispečink = rekonfigurace - přerozdělení výkonu mezi elektrárnami
- zajištěné na základě výběrového řízení
  - primární regulace bloku
  - sekundární regulace bloku
  - terciární regulace výkonu bloku
  - rychle startující 5minutová záloha
  - rychle startující 10minutová záloha
  - rychle startující 15minutová záloha
  - dispečerská záloha

Jednotlivé kategorie podpůrných služeb a podmínky, jež musí elektrárny splňovat, jsou popsány na webových stránkách společnosti ČEPS [11].



Nejdůležitějšími podpůrnými službami jsou primární regulace, sekundární regulace a terciární regulace (kladná a záporná).

Za poskytování primární regulace přijímá poskytovatel služby od PPS příjem pouze za rezervaci výkonu (výhoda stálého příjmu) a samotná dodávka elektřiny je již zdarma. Do této kategorie patří bloky s možností rychlé regulace a s velkým instalovaným výkonem. Dobře regulovatelné jsou většinou zařízení s parní turbínou a velké vodní elektrárny. Za poskytování sekundární a terciární regulace přijímá poskytovatel rovněž platby za rezervaci, a navíc je samotná dodávka silové elektřiny do ES zaplacená.

Společnost ČEZ byla v roce 2011 největším poskytovatelem podpůrných služeb. Její podíl na primární i sekundární regulaci v posledních letech důsledkem tržního prostředí klesá a v současné době již není natolik dominantním poskytovatelem PpS.

### **5.3 Vyrovnávací trh**

Operátor trhu s elektřinou (OTE) organizuje tzv. vyrovnávací trh (VT). Na tomto trhu je kupující stranou vždy provozovatel české přenosové soustavy, tedy společnost ČEPS. Jeho snahou na trhu je získání regulační energie, kterou potřebuje k vyrovnání systémové odchylky, kterou způsobil neplánovaný výpadek výroby elektrické energie nebo prudká změna na straně odběrů z ES. Každý provedený obchod na VT zapisuje OTE do systému pro vyhodnocování a vyúčtování odchylek. Každý účastník trhu může nabízet regulační energii v čase 1 hodina až 30 minut před dodávkou v rámci obchodní hodiny. [24]

Primárně je VT určen pro subjekty zúčtování (SZ), kteří odpovídají za svou vlastní odchylku, ale se souhlasem SZ mají přístup i účastníci trhu s přenesenou odchylkou. Na vyrovnávacím trhu lze nabízet regulační energii kladnou (snížení spotřeby nebo zvýšení dodávky) i zápornou (zvýšení spotřeby nebo snížení dodávky). Regulační energii mohou nabízet výrobci i spotřebitelé.

Na tomto trhu obchodují také malí výrobci elektrické energie, jejichž zařízení

většinou nesplňují technické parametry pro poskytování PpS. Za regulační energii jsou ale na trhu poměrně dobré ceny (oproti běžným trhům s elektřinou) a svými malými výkony se podílí na regulaci soustavy. [7]

Na tomto trhu ale ČEPS většinou nepoptává velké množství elektrické energie a většinou nepřekročí 100 MWh. To je způsobeno tím, že ve většině případů má dostatek levnější regulační energie od poskytovatelů PpS, kterým za ně platí paušálně. Dlouhodobější odchylky pak společnost ČEPS řeší na velkoobchodních trzích. Nevýhodou trhu pro ČEPS je, že nabídka není garantována, a tedy nemusí být v kritickém okamžiku k dispozici.

## **5.4 Možnosti regulace odchylek pomocí PVE**

PVE je vhodná k regulaci odchylek v elektrické síti a odchylek způsobených výrobcem hlavně díky jejím specifickým vlastnostem, z nichž nejdůležitější je možnost začít vyrábět elektrickou energii, během turbínového režimu, během několika desítek sekund. Tím může splňovat podpůrné služby hned několika kategorií, z nichž nejdůležitější je rychle startující 5ti minutová záloha. Důležitá ale není jen možnost výroby, ale také možnost velkého odběru elektrické energie ze sítě v časech, kdy je energie přebytek. PVE proto může být použita k regulaci kladné i záporné odchylky, čímž se stává důležitým regulačním zdrojem, který na své důležitosti roste se zvyšováním podílu OZE, u nichž velikost výroby rychle kolísá a nejde přesně predikovat.

Jak bylo zmíněno v kapitole 3.3., vlastníkem všech 3 PVE v ČR je společnost ČEZ, a.s. Pomocí nich může v případě potřeby pokrýt většinu odchylek, které by jinak výpadkem některých svých zdrojů způsobila. Některé odchylky ale může stejně jako jiní výrobci pokrýt obchodováním na trhu.

Protože ČEPS nesmí být vlastníkem vlastního zdroje elektrické energie, rezervuje si v PVE od společnosti ČEZ výkon, který může v případě potřeby využít.

## 6 MODEL NASAZOVÁNÍ PVE

Cílem této práce je, jak už bylo řečeno v úvodu, vytvoření aplikace (=programu), která z údajů obsažených v databázi dokáže navrhnout, v jakých hodinách a na jaký výkon se má daná PVE (Dalešice, Dlouhé Stráně a Štěchovice II) spustit. Jméno programu jsem zvolil VVPVE, které tvoří první písmena z delšího názvu: Výpočet výkonů přečerpávacích vodních elektráren. V současné době je návrh výkonů elektrárny prováděn dispečery, kteří musí před spuštěním sledovat a vyhodnocovat řadu údajů. Mnou vyvíjený program by měl tento úkol značně ulehčit a dispečer by jeho návrh pouze zkontroloval či upravil. V praxi totiž nastávají situace, u kterých program zatím nemůže nahradit lidský faktor. Ale naopak může být v některých případech přesnější a efektivnější.

Pro implementační a testovací účely mi byla poskytnuta databáze s potřebnými údaji vedoucím práce Ing. Martinem Valentem. Databáze vznikla výňatkem z mnoha dalších, které společnost ČEZ používá k běžnému provozu. Tu jsem dále upravoval pro účely správného běhu programu. V poskytnuté databázi jsou stará data z předchozího roku 2014 a začátku roku 2015, která ale pro implementaci programu zcela postačují. V případě využití tohoto programu v praxi, by ale data byla do databáze přidávána online, tj. nové údaje by byly doplňovány v pravidelných krátkodobých intervalech. Délka těchto intervalů by pravděpodobně byla v řádu 5 až 10 minut.

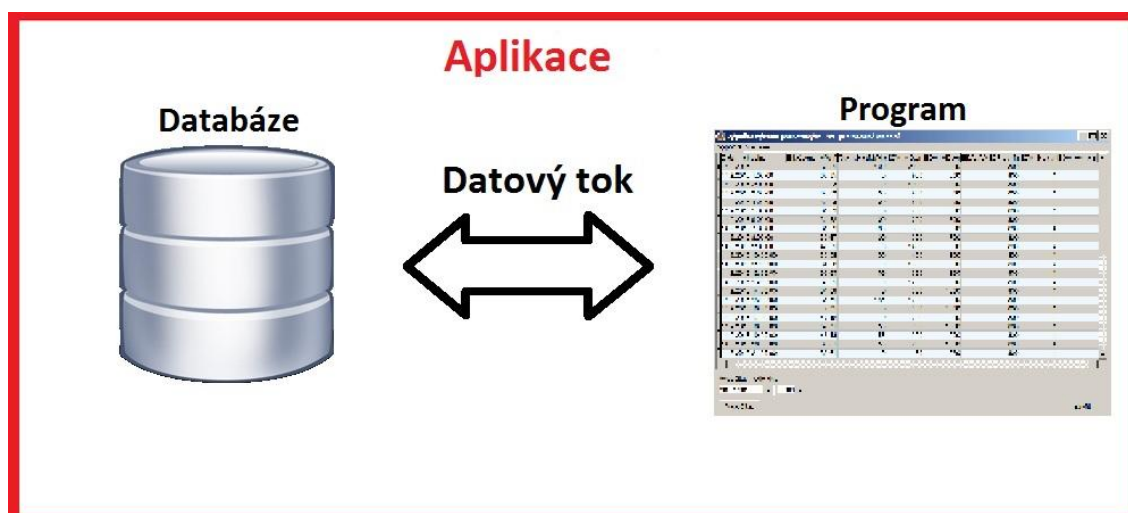
Tento program by v praxi mohl využívat převážně dispečink společnosti ČEZ ve spolupráci s firemními obchodníky na trhu s elektřinou. Program by doporučil nasazení elektrárny podle potřebného výkonu zadaného obsluhou programu, velikosti odchylek způsobených společnostmi ČEZ a podle aktuální ceny elektřiny na burze EEX. Ekonomickou efektivnost navrženého nasazení by následně mohl zkontrolovat obchodník, popř. přehodnotit některé výsledky výpočtu.

Program se skládá ze dvou částí:

- **Formulář a program vyvíjený v programovacím jazyce Delphi**
  - Pro zadávání časového období, na které se má model nasazení

jednotlivých PVE vypočítat

- K nastavení maximálních a minimálních výkonů elektráren, ceny vody v nádržích, požadované marže na MWh a dalších údajů
- Pro prezentaci výsledků výpočtu
- **Databáze typu MS SQL Server 2012**
  - Obsahuje data potřebná k výpočtu
  - Na její úrovni jsou prováděny veškeré výpočty, jejichž výsledky se následně odešlou do programu



Obrázek 7 - Na obrázku je znázorněn přenos dat uvnitř aplikace

Při výpočtech nasazení jednotlivých PVE dochází v aplikaci k výměně dat mezi databází a programem. Jelikož jsou ale výpočty prováděny na databázové úrovni, proudí většina datových toků do programu. Pro manipulaci s daty v databázi používám programovací jazyk SQL (Structured Query Language), což je strukturovaný dotazovací jazyk vytvořený právě za tímto účelem.

Okno s formulářem vypadá ihned po otevření programu takto:

Výpočet výkonu jednotlivých PVE pro zadané období

Výpočet    Nastavení

Datum	EE(X)E	Odchyška(MWh)	ProfilExp(MWh)	ProfilImp(MWh)	EDA výkon(MW)	EDA vynucený výkon(MW)	EDA ADtur(MWh)	EDA ADcer(
6. 11. 2014 8:00:00	59,58	0	3512	3928	0	0	1305	
6. 11. 2014 9:00:00	61,68	18	3532	4176	0	0	1305	
6. 11. 2014 10:00:00	58,32	0	4094	3766	0	0	1305	
6. 11. 2014 11:00:00	52,34	0	4082	3988	0	0	1305	
6. 11. 2014 12:00:00	48,3	57	4584	3624	0	0	1305	
6. 11. 2014 13:00:00	44,21	56	4650	3400	0	0	1305	
6. 11. 2014 14:00:00	43,48	56	4700	3550	0	0	1305	
6. 11. 2014 15:00:00	43,76	0	4924	3312	0	0	1305	
6. 11. 2014 16:00:00	44,12	56	5068	3162	0	0	1305	
6. 11. 2014 17:00:00	54,18	56	5208	3183	0	0	1305	
6. 11. 2014 18:00:00	66,64	0	5114	3043	0	0	1305	
6. 11. 2014 19:00:00	49,21	0	4076	3864	0	0	1305	
6. 11. 2014 20:00:00	41,75	0	4126	3987	0	0	1305	
6. 11. 2014 21:00:00	37,68	0	4642	3044	0	0	1305	
6. 11. 2014 22:00:00	33,43	57	3616	3717	0	0	1305	
6. 11. 2014 23:00:00	28,41	0	2852	4389	0	0	1305	
7. 11. 2014	25,3	0	2502	5131	0	0	1305	
7. 11. 2014 1:00:00	19,31	0	3140	5260	0	0	1305	
7. 11. 2014 2:00:00	18,65	250	4382	4018	0	0	1305	
7. 11. 2014 3:00:00	15,29	0	4252	4148	0	0	1305	
7. 11. 2014 4:00:00	15,41	0	3836	4564	0	0	1305	
7. 11. 2014 5:00:00	19,28	278	4090	4310	0	0	1305	
7. 11. 2014 6:00:00	32,36	54	3658	4742	0	0	1305	
7. 11. 2014 7:00:00	40,38	263	4040	4360	0	0	1305	

Vypočítat    Obnovit    Od: 6. 11. 2014 8:00:00 do: 7. 11. 2014 8:00:00    Zavřít

Obrázek 8 - Zadávací okno s formulářem po spuštění programu

## 6.1 Struktura databáze

Databáze je velmi zjednodušeně řečeno úložiště dat. Kolem databází je velké množství teoretických informací a správný návrh databáze je složitou záležitostí. Existuje mnoho typů databází, ale pro účely aplikace je použita relační databáze. Základem každé relační databáze jsou tabulky, které obsahují data. Některé databázové systémy mají pouze jednu tabulku, ale u relačních databází jich můžeme mít více a pomocí identifikačních sloupců tyto tabulky k sobě spojovat. Tabulka se dále skládá ze sloupců a řádků:

- **Sloupce**

- Pro každý sloupec musí být zadán jedinečný název a datový typ. Datový typ se určuje podle charakteru dat, která budeme do sloupce ukládat. Pokud například chceme do sloupce ukládat pouze jeden znak, je zbytečné používat datový typ TEXT, ale postačí BIT.

- **Řádky**

- Každý řádek tabulky představuje jeden záznam (jednu hodinu dne) a většinou obsahuje jedinečný identifikátor značený ID. V našich tabulkách je tímto jednoznačným identifikátorem sloupec s názvem DateTime, ve kterém je obsažen vždy jedinečný datum a hodina. K němu patří všechna ostatní data obsažená ve stejném řádku.

V databázi jsem také vytvořil několik funkcí a procedur, jež slouží k manipulaci s daty, výpočtům a také prezentaci výsledků. Jejich bližšímu popisu se budu věnovat v dalších kapitolách.

## 6.2 Popis databáze

V databázi poskytnuté vedoucím se nacházely 3 tabulky, které obsahují základní data potřebná k výpočtu. Aby šlo data z různých tabulek k sobě správně přiřazovat, je v každé z nich obsažený zmíněný sloupec s názvem DateTime, ve kterém je vždy obsažen datum a hodina. Údaje se stejnou hodnotou sloupce k sobě jde přiřadit i napříč tabulkami.

V průběhu práce jsem přidával do stávajících tabulek nové sloupce a vytvořil další tabulky. V této kapitole popíšu strukturu a význam tabulek v databázi:

Název tabulky	Obecný popis obsahu tabulek
Ceny	V tabulce jsou data o odchylkách, cenách elektřiny a kurzu.
Profily	Zde jsou obsažena data o přeshraničních kapacitách.
PVE	Nejrozsáhlejší tabulka s údaji o všech 3 PVE (disponibilní energie, počet použitelných strojů).
Nastavení	V této tabulce jsou obsaženy zadávané údaje obsluhou tohoto programu pomocí formuláře.
NasazeníTurCer	Pomocná tabulka, do které se ukládají mezivýpočty.

Tabulka 4 - Popis tabulek obsažených v databázi

### 6.2.1 Tabulka Ceny

V tabulce Ceny jsou, jak už z názvu vyplývá, uvedeny ceny elektrické energie na různých trzích s elektřinou a také sloupec Odchylka. Ten obsahuje údaj o odchylce pro danou hodinu (jedná se o predikci této odchylky), kterou by způsobila společnost ČEZ neplánovaným výpadkem nebo nespouštěním zdroje. Za způsobení odchylky v přenosové soustavě by, v případě jejího neodstranění např. pomocí PVE, byla pokutována. Jednotlivé sloupce jsou popsány v následující tabulce:

Název sloupce	Popis sloupce
DateTime	Datum a hodina
Odchylka	Predikce odchylky způsobené společností ČEZ, kterou je nutné pokrýt. Podle odchylky se navrhuje nasazení PVE.
Kurz	Kurz koruny vůči euru
EEX	Cena elektřiny na burze EEX, podle níž se navrhuje nasazování PVE.
VDT	Sloupec obsahující informaci kolik výkonu je poptáváno na vnitrodenním trhu v MWh.
VDTcena	Cena na vnitrodenním trhu v českých korunách za 1 MWh.
VTp	Poptávaný záporný výkon v MWh na vyrovnávacím trhu.
VTpCena	Cena na vyrovnávacím trhu v eurech za 1 MWh
VTm	Poptávaný kladný výkon v MWh na vyrovnávacím trhu.
VTmCena	Cena na vyrovnávacím trhu v eurech za 1 MWh

Tabulka 5 - Popis sloupců v tabulce Ceny

Z této tabulky jsou pro výpočetní model nejdůležitější sloupce Odchylka a EEX. Právě podle velikosti odchylky a příznivosti cen elektrické energie na německé burze bude program navrhovat nasazení PVE, tj. kdy spustit výrobu a kdy spustit čerpání. České trhy, které jsou v tabulce také obsaženy, nebudou při výpočtech zatím brány v úvahu a jejich zahrnutí do výpočtu může být jednou

z možností, jak rozšířit program v budoucnu. S vedoucím práce jsme se ovšem shodli na malé důležitosti těchto trhů, protože poptávaný výkon je ve více než 80% případů menší než 100 MWh a cena na vnitrodenním trhu je silně závislá na cenách německých trhů. Vyrovnávací trh sice takto závislý není, ale poptávaný výkon téměř nikdy nepřekročí 30 MWh. Zahrnutí těchto trhů do výpočtu může být jedním z cílů programátorů, kteří budou případně pokračovat ve vývoji této aplikace.

Z těchto důvodů se zaměříme na německou burzu EEX, která ovšem nemá v tabulce Ceny poptávaný výkon, jako tomu bylo u českých trhů. To je z důvodu velice vysokých poptávek a nabídek na této burze, které téměř vždy přesahují maximální instalované výkony všech našich PVE dohromady. Tím jsme omezeni pouze přeshraničními kapacitami, které se nacházejí v tabulce Profily.

### 6.2.2 Tabulka Profily

Tabulka Profily je poměrně rozsáhlá a obsahuje přeshraniční kapacity mezi provozovateli přenosových soustav v zahraničí a provozovatelem u nás v ČR (společnost ČEPS). Protože ale obchodujeme pouze na německé burze EEX, zajímají nás pouze přenosové kapacity mezi ČR a Německem. Nejdůležitější sloupce v této tabulce vypadají takto:

Název sloupce	Popis sloupce
DateTime	Datum a hodina
CEPS_EON	Udává přenosovou kapacitu mezi společností ČEPS a německou společností TenneT (z ČR do Německa)
CEPS_VET	Udává přenosovou kapacitu mezi společností ČEPS a německou společností 50Hertz (z ČR do Německa)
EON_CEPS	Udává přenosovou kapacitu mezi společností TenneT a českou společností ČEPS (z Německa do ČR)
VET_CEPS	Udává přenosovou kapacitu mezi společností 50Hertz a českou společností ČEPS (z Německa do ČR)

Tabulka 6 - Popis důležitých sloupců v tabulce Profily



Dalšími uvedenými provozovateli v tabulce jsou například maďarská společnost MAVIR nebo slovenský SEPS. Ale obchodování na těchto „malých“ trzích oproti tomu německému nemá zatím větší přínos.

### 6.2.3 Tabulka PVE

Tabulka PVE obsahuje informace o všech 3 přečerpávacích vodních elektrárnách a pro výpočty modelu jsou v ní obsažena důležitá data. Jedná se o nejrozsáhlejší tabulku databáze, do které jsem přidával další sloupce k zajištění funkcionality programu. V názvu sloupců této tabulky se téměř vždy objevuje prefix, který slouží k odlišení jednotlivých elektráren:

- Dalešice = EDA
- Dlouhé Stráně = EDS
- Štěchovice II = EST2

V následující přehledové tabulce uvedu jen nejdůležitější sloupce pro elektrárnu Dalešice, jež jsou v tabulce obsaženy (pro další 2 elektrárny jsou v tabulce identické sloupce, jen mají jiný prefix):

Název sloupce	Popis sloupce
DateTime	Datum a hodina
EDA_ADTur	Číslo v tomto sloupci vyjadřuje kolik výkonu v MW je obsaženo v horní nádrži elektrárny v Dalešicích pro turbínový provoz.
EDA_ADCer	Číslo v tomto sloupci vyjadřuje kolik výkonu v MW je obsaženo v dolní nádrži elektrárny v Dalešicích pro čerpadlový provoz.
EDA_AMZ5Prdy	Údaj v tomto sloupci udává, kolik výkonu (v MW) v horní nádrži elektrárny Dalešice je rezervováno společností ČEPS pro pokrývání odchylek v přenosové síti.

EDA_NDisp	Hodnota sloupce udává kolik strojů je pro danou hodinu k dispozici pro spuštění výroby/čerpání. V Dalešicích se hodnota může pohybovat od 0 do 4.
EDA_NavrhovanyVýkon	Mnou přidáný sloupec, do kterého výpočetní algoritmus uloží výsledné navržené čerpání pro PVE Dalešice. Z tohoto sloupce se pak údaj převezme pro prezentaci výsledku uživateli programu.
EDA_VynucenyVýkon	Tento sloupec bude pro uživatele programu editovatelný přes formulář a jeho hodnotu výpočetní program zahrne do výsledků. Uživatel do něj zadává, pokud chce v dané hodině mít zaručený výkon z elektrárny Dalešice.

Tabulka 7 - Popis nejdůležitějších sloupců v tabulce PVE

#### 6.2.4 Tabulka Nastavení

Jedná se o jednoduchou jednořádkovou tabulku, kterou jsem vytvořil pro možnost zadávání některých globálních proměnných uživatelem programu. Změnou těchto nastavení se může měnit výsledek výpočtu navržených výkonů. Pro zachování integrity databáze jsem u sloupců stejných významů pro dané PVE používal prefixy.

Název sloupce	Popis sloupce
EDA_MIN_Výkon	Sloupec udává minimální výkon v MW, na který může 1 stroj, v PVE Dalešice, pracovat při turbínovém provozu.
EDA_MAX_Výkon	Sloupec udává maximální výkon v MW, na který může 1 stroj, v PVE Dalešice, pracovat při turbínovém provozu.
EDA_Učinnost	Hodnota ukazuje s jakou účinností dokáže stroj

	pracovat při čerpadlovém provozu.
EDA_CenaVody	Sloupec vyjadřuje cenu vody v horní nádrži za 1 MW v eurech. Tato cena platí jen pro první čerpání/výrobu a dále už se cena přepočítává.
EDA_CerVykon	Údaj o výkonu 1 stroje v PVE Dalešice při čerpání v MW.
PovolenaOdchylka	Uživatel zadává tento údaj v případě, že není potřeba regulovat odchylky menší, než uživatel určí.
MinimalniMarzeNaMWh	Při navrhování čerpání nebo výroby musí být cena vody v nádrži menší/větší než cena na burze EEX o víc než je hodnota tohoto sloupce

Tabulka 8 - Popis sloupců v tabulce Nastavení

Poslední tabulku NasazeníTurCer jsem vytvořil hlavně pro výpočetní účely a jsou do ní vytaženy některé sloupce z uvedených tabulek, které jsou potřebné pro výpočet. Dále jsem do ní přidal pomocné sloupce pro ukládání mezivýpočtů. Do této tabulky údaje natahuji proto, abych neměnil při výpočtech údaje v původních tabulkách a mohl se k nim, v případě potřeby, vracet.

Nyní, když jsou známy základní údaje, obsažené v uvedených tabulkách, budu se věnovat omezujícím podmínkám při nasazování jednotlivých zdrojů.

### 6.3 Omezující podmínky nasazování zdrojů

Při návrhu nasazení mají pro aplikaci různou prioritu 3 údaje z dané obchodní hodiny. Nejdůležitější je „pokrýt“ nasazením vynucený výkon zadaný uživatelem programu, dále odstranit odchylku výroby společnosti ČEZ a až nakonec navrhovat nasazení podle ceny elektrické energie na německé burze. V této kapitole se zaměřím na skutečnosti, které je potřeba při nasazování jednotlivých bloků respektovat.

Při hledání řešení je nutné sledovat úroveň hladiny v horní nádrži, kterou nám představuje sloupec ADTur v podobě množství energie v ní „uložené“. Tento

ukazatel logicky nemůže nikdy klesnout pod nulu, a proto při nastavování výkonu elektrárny pro turbínový režim musíme sledovat, zda nám nedojde při jejím spuštění voda v horní nádrži. Obdobou je ukazatel ADCer, který určuje úroveň hladiny v dolní nádrži. ADCer nesmí klesnout pod hranici 0 při čerpadlovém režimu. V databázi jsou obsaženy také sloupce s přesným údajem stavu horní a dolní nádrže, které jsou zadány v nadmořské výšce. Maximální hodnota ukazatele ADTur se rovná maximálnímu objemu horní nádrže elektrárny a pro účely aplikace stačí, při sledování hladin v nádržích, kontrolovat uvedené dva ukazatele. Po každém spuštění je nutné ADTur a ADCer přepočítat. Při turbínovém provozu ADTur klesá a opačně ADCer stoupá. Během čerpadlového provozu je tomu naopak, ale výkon stroje za hodinu je zmenšený účinností.

V souvislosti s ukazatelem ADTur je potřeba kontrolovat sloupec AMZ5Prdy. Ten představuje rezervu společnosti ČEPS na podpůrnou službu MZ5 (5minutová rychle startující záloha). Pokud je tedy v dané obchodní hodině tato rezerva zadána, pak dolní hranici pro ADTur již není 0, ale výše této rezervy výkonu.

Dalším sledovaným údajem je NDisp, jenž představuje počet aktuálně použitelných strojů v hodině. Jak bylo uvedeno na začátku práce, jsou např. v Dalešicích 4 stroje se jmenovitým výkonem 100 MW. Hodnota NDisp je tedy v běžném stavu rovna 4, ale v případě opravy jednoho ze strojů klesne hodnota NDisp na 3. V souvislosti s revizemi může hodnota klesnout až na 0, čímž se elektrárna stává pro aplikaci v dané hodině nepoužitelná k regulaci odchylek, ani k obchodům s elektřinou. Tímto ukazatelem se tedy také mění maximální výkon PVE v dané hodině.

Pokud navrhujeme čerpání, znamená to nakupování elektřiny na německé EEX burze, a proto je nutné sledovat přeshraniční kapacity směrem z Německa do ČR. V tabulce Profily jsou dva sloupce VET\_CEPS a EON\_CEPS, které tyto kapacity představují. Navrhovaný výkon čerpání u všech 3 PVE dohromady nesmí překročit součet těchto dvou sloupců. Obdobně je to při navrhování výroby elektrické energie, pouze součet navržených výrob ve všech 3 PVE nesmí překročit součet sloupců CEPS\_VET a CEPS\_EON, které představují exportní kapacity v obchodní hodině.

Sloupec CenaVody z tabulky Nastaveni představuje hodnotu vody v nádrži za 1 MW v eurech, kterou zadá před zahájením výpočtu uživatel programu. CenaVody se pak každým čerpáním mění. Pokud by např. v horní nádrži (ADTur) bylo 1000 MW s cenou 40 EURO/MW a přičerpali bychom dalších 1000 MW s cenou 20 EURO/MW, výsledná CenaVody pro 2000 MW by byla 30 EURO/MW (v programu je do přepočtu ceny vody zahrnuta účinnost čerpadlového stroje). Přepočítávat tuto cenu je důležité pro navrhování čerpání a výroby v dalších hodinách. Pokud je cena na trhu EEX menší než CenaVody zmenšená o požadovanou marži na 1 MWh z tabulky Nastaveni, pak je programem navrženo čerpání. Pokud je naopak cena EEX větší než CenaVody zvětšená o požadovanou marži, pak je navržena výroba a prodej v dané hodině.

Při navrhování zdrojů je zapotřebí se programem dívat do následujících hodin. Pokud by cena na trhu byla pozitivní a napovídala již zahájit výrobu, ale v dalších hodinách by se naskytly ještě příznivější ceny, pak tuto skutečnost musí program vzít v úvahu a v případě nenačerpání nové vody mezi touto a dalšími hodinami vodu pošetřit pro ekonomicky ještě výhodnější hodiny. Tento způsob postupu je velice důležitý, protože ceny dobré pro čerpání jsou většinou v noci a další čerpání většinou nejde přes den očekávat. Je proto vhodné, vodu šetřit pro nejvýhodnější ranní a večerní ceny elektrické energie na trhu a neplýtvat ji na „méně“ výhodné odpolední ceny. Ceny na burze v databázi jsou předpovídané (vypredikované), a proto můžeme pro neekonomičtější nasazování do „budoucnosti“ nahlížet. Toto šetření vody neplatí v případech, kdy máme pro danou hodinu od uživatele zadaný vynucený výkon, ani když pokrýváme odchylku.

V sloupci PovolenaOdchylka z tabulky Nastaveni je uvedeno, jak vysokou odchylku nemusíme pomocí některé z PVE regulovat. Její spuštění by se totiž na regulaci tak malé odchylky nevyplatilo. V případě, že ve sloupci je uvedeno např. 10 MWh a odchylka je 5 MWh, pracuje program s danou hodinou stejně jako s hodinou s nulovou odchylkou.

Pokud uživatel zadává vynucený výkon elektrárny, měl by si sám před spuštěním výpočtu ověřit, zda je v dané hodině k dispozici dostatek strojů a zda je v nádržích dostatek disponibilní energie.

Omezující podmínky nasazování zdrojů (pro podmínky, které platí pro

všechny 3 PVE, není uveden prefix):

$$\text{Navrhovaná výroba na prodej} * \text{Cena EEX} \rightarrow \text{MAX}$$

$$\text{Navrhované čerpání} * \text{Cena EEX} \rightarrow \text{MIN}$$

$$\text{CenaVody} - \text{MarzeNaMWh} \geq \text{Cena EEX} \rightarrow \text{Navrhnout čerpadlový chod}$$

$$\text{CenaVody} + \text{MarzeNaMWh} \leq \text{Cena EEX} \rightarrow \text{Navrhnout turbínový chod}$$

$$\text{Odchylka} \leq \text{PovolenaOdchylka} \rightarrow \text{Neregulovat odchylku}$$

$$\text{ADTur} \geq \text{AMZ5Prdy} \geq 0$$

$$\text{ADCer} \geq 0$$

$$4 \geq \text{EDA_NDisp} \geq 0$$

$$2 \geq \text{EDS_NDisp} \geq 0$$

$$1 \geq \text{EST2_NDisp} \geq 0$$

$$\begin{aligned} &\text{EDA\_NavrhovanáVýroba} + \text{EDS\_NavrhovanáVýroba} \\ &+ \text{EST2\_NavrhovanáVýroba} \leq \text{Přenosové exportní kapacity} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{EDA\_NavrhovanéČerpání} + \text{EDS\_NavrhovanéČerpání} \\ &+ \text{EST2\_NavrhovanéČerpání} \\ &\leq \text{Přenosové importní kapacity} \end{aligned}$$

## 6.4 Funkce a procedury

Jak bylo zmíněno výše, funkce a procedury jsou v rámci této práce vytvářeny za účelem výpočtů, manipulace s daty a pro jejich prezentaci. V této kapitole popíši nejdůležitější z nich.

### Procedura NasazeníTurCer\_GET

Jedná se o velice jednoduchou proceduru, která slouží k zobrazení potřebných dat uživateli v záložce Výpočet. V proceduře je upraveno pořadí dat, jejich zaokrouhlování a je zde možnost přejmenovat názvy sloupců (v databázi ale

název sloupce zůstává). Pomocí této procedury se také ukládá zadaný vynucený výkon do databáze, aby se s ním mohlo dále počítat. Na následujícím obrázku je výstřižek z okna formuláře pro výpočet. V levé části obrázku vidíme sloupce společné pro všechny PVE a napravo sloupce jen pro PVE Dalešice. Sloupce pro další 2 PVE jsou více napravo (mimo záběr obrazovky, ke kterým je možné se dostat posuvníkem) ve stejném pořadí jako pro Dalešice.

Výpočet		Nastavení							
Datum	EE(X[€])	Odchylka(MWh)	ProfilExp(MWh)	ProfilImp(MWh)	EDA výkon(MW)	EDA vynucený výkon(MW)	EDA ADtur(MWh)	EDA ADcer(	^
6. 11. 2014 8:00:00	59,58	0	3512	3928	0	0	1305		
6. 11. 2014 9:00:00	61,68	18	3532	4176	0	0	1305		
6. 11. 2014 10:00:00	58,32	0	4094	3766	0	0	1305		
6. 11. 2014 11:00:00	52,34	0	4082	3988	0	0	1305		
6. 11. 2014 12:00:00	48,3	57	4584	3624	0	0	1305		
6. 11. 2014 13:00:00	44,21	56	4650	3400	0	0	1305		
6. 11. 2014 14:00:00	43,48	56	4700	3550	0	0	1305		
6. 11. 2014 15:00:00	43,76	0	4924	3312	0	0	1305		
6. 11. 2014 16:00:00	44,12	56	5068	3162	0	0	1305		
6. 11. 2014 17:00:00	54,18	56	5208	3183	0	0	1305		
6. 11. 2014 18:00:00	66,64	0	5114	3043	0	0	1305		
6. 11. 2014 19:00:00	49,21	0	4076	3864	0	0	1305		
6. 11. 2014 20:00:00	41,75	0	4126	3987	0	0	1305		
6. 11. 2014 21:00:00	37,68	0	4642	3044	0	0	1305		
6. 11. 2014 22:00:00	33,43	57	3616	3717	0	0	1305		
6. 11. 2014 23:00:00	28,41	0	2852	4389	0	0	1305		
7. 11. 2014	25,3	0	2502	5131	0	0	1305		
7. 11. 2014 1:00:00	19,31	0	3140	5260	0	0	1305		
7. 11. 2014 2:00:00	18,65	250	4382	4018	0	0	1305		
7. 11. 2014 3:00:00	15,29	0	4252	4148	0	0	1305		
7. 11. 2014 4:00:00	15,41	0	3836	4564	0	0	1305		
7. 11. 2014 5:00:00	19,28	278	4090	4310	0	0	1305		
7. 11. 2014 6:00:00	32,36	54	3658	4742	0	0	1305		
7. 11. 2014 7:00:00	40,38	263	4040	4360	0	0	1305		

Obrázek 9 - Zadávací formulář - záložka Výpočet

## Procedura Nastaveni\_GET

Podobná procedura jako NasazeniTurCer\_GET ale zobrazuje a opravuje data v záložce Nastavení na formuláři programu. Procedura zobrazuje data do formuláře a v případě jejich přepsání a po stisku tlačítka Nastav, přepíše údaje v tabulce.

Výpočet		Nastavení	
<b>Účinnosti:</b>			
PVE Dalešice:	PVE Dlouhé Stráně:	PVE Štěchovice 2:	
<input type="text" value="80"/> %	<input type="text" value="80"/> %	<input type="text" value="80"/> %	
<b>Minimální výkon jednoho bloku elektrárny:</b>			
PVE Dalešice:	PVE Dlouhé Stráně:	PVE Štěchovice 2:	
<input type="text" value="70"/> MW	<input type="text" value="160"/> MW	<input type="text" value="35"/> MW	
<b>Maximální výkon jednoho bloku elektrárny:</b>			
PVE Dalešice:	PVE Dlouhé Stráně:	PVE Štěchovice 2:	
<input type="text" value="100"/> MW	<input type="text" value="325"/> MW	<input type="text" value="45"/> MW	
<b>Výkon jednoho bloku elektrárny při čerpání:</b>			
PVE Dalešice:	PVE Dlouhé Stráně:	PVE Štěchovice 2:	
<input type="text" value="110"/> MW	<input type="text" value="300"/> MW	<input type="text" value="50"/> MW	
			<b>Citlivost na odchylku:</b> <input type="text" value="10"/> MW
			<b>Minimální zisk za MWh:</b> <input type="text" value="3"/> EURO
			<b>Cena vody v nádrži:</b> <input type="text" value="40"/> EURO
			<b>Datum od:</b> 6. 11. 2014 <input type="text" value="08"/> <input type="checkbox"/> Nyní
			<b>Datum do:</b> 16. 2. 2015 <input type="text" value="4"/> <input checked="" type="checkbox"/> 24 hod
			<input type="button" value="Uložit nastavení"/>

Obrázek 10 - Zadávací formulář - záložka nastavení

## Funkce NavrhovaneVykony

Funkce NavrhovaneVykony je jednou z nejdůležitějších funkcí v databázi. Určuje se s ní, jakým způsobem má být pokryta v dané hodině odchylka a vynucené výkony, které uživatel zadá. Tedy které elektrárny zapnout, kolik bloků v nich a na jaký výkon. Při spuštění výpočtu funkce nejprve přijímá tyto údaje z databáze (v programátorské terminologii argumenty), se kterými dále pracuje:

- @Odchylka
- @PovolenaOdchylka
- @EDA\_DostupneBloky
- @EDA\_MINVykonBloku
- @EDA\_MAXVykonBloku
- @EDA\_ADtur
- @EDA\_AMZ5Prdy
- @EDA\_VynucenyVykony



- @EDS\_DostupneBloky
  - @EDS\_MINVykonBloku
  - @EDS\_MAXVykonBloku
  - @EDS\_ADtur
  - @EDS\_AMZ5Prdy
  - @EDS\_VynucenyVykon
- 
- @EST2\_DostupneBloky
  - @EST2\_MINVykonBloku
  - @EST2\_MAXVykonBloku
  - @EST2\_ADtur
  - @EST2\_AMZ5Prdy
  - @EST2\_VynucenyVykon

Jako první krok funkce zkontroluje, zda je @Odchylka menší než uživatelem @PovolenaOdchylka. Pokud ano, přepíše se @Odchylka na 0, aby se ji program nesnažil dále regulovat.

V dalším průběhu funkce zkontroluje, jestli je uživatelem zadán záporný @VynucenyVykon, tj. je zadáno čerpání (v jednu dobu nelze čerpat a vyrábět zároveň). V případě, že je vynuceno v dané hodině čerpání, přenastaví funkce pro danou hodinu počet disponibilních strojů na 0, aby nemohla být případná odchylka pokryta touto PVE. Vynucený výkon na čerpání se do návrhu nasazení pro PVE, ke které byl zadán, přepíše.

Při regulaci odchylky a kladných vynucených výkonů je nejprve nutné určit, kolik bloků, v kterých elektrárnách se má spustit. To je řešeno správným výběrem navrhovaných bloků, ze všech možných kombinací spuštění. Tj. pokud je @EDA\_Dostupne bloky = 4, @EDS\_Dostupne bloky = 2 a @EDA\_Dostupne bloky = 1 (maximum strojů) existuje 30 možných spuštění elektráren. Pro dosažení lepších výsledků výpočtu je ještě pracováno s maximálními a minimálními výkony bloků obsažených v @EDA\_MAXVykonBloku a @EDA\_MINVykonBloku (pro další 2 PVE jiný prefix). Tím se nám zdvojnásobí počet možných kombinací jak spustit jednotlivé PVE.

Nakonec se z nich vybere sofistikovaným příkazem SELECT taková varianta, která splňuje omezující podmínky popsané v kapitole 6.3. a zároveň je co nejmenší rozdíl mezi požadovaným výkonem ( $@\text{Odchylka} + \text{kladné vynucené výkony všech 3 elektráren}$ ) a výkonem při navrženém počtu bloků. Tento výkon musí být vždy větší nebo roven požadovanému výkonu. Příkaz SELECT, který správně nasazení bloků ze všech možných kombinací vybere, je k nahlédnutí v příloze 1.

S tímto vybraným návrhem nasazení bloků počítá funkce v dalším kroku. Zde se opět udělají všechny kombinace možného spuštění, ale tentokrát již výkonu samotného bloku. Např. u PVE Dalešice je minimální výkon jednoho bloku 70 MW a maximální 100 MW. Výkon bloku je možné v tomto rozmezí určit na jednotky MW, a proto je pouze z jednoho bloku 30 možných nastavení výkonu bloku. Při spuštění 2 bloků je toto rozmezí již 140 ( $2 \cdot 70$ ) až 200 ( $2 \cdot 100$ ) a tedy 60 možných nastavení. Tato nastavení se navíc kombinují s možným spuštěním bloků v dalších 2 PVE a tím se dostáváme již do tisíců možných spuštění.

Ze všech těchto kombinací opět vyberu příkazem SELECT to nejlepší možné nasazení bloků, ale tentokrát již s přesným výkonem. Tento SELECT je řešen velice podobným způsobem jako ten předchozí, který slouží k výběru počtu spuštěných bloků.

Nakonec se již jen ošetřují některé extrémní případy, jako je např. situace, kdy odchylka a všechny vynucené výkony dohromady přesahují instalovaný výkon našich PVE. Pro takový případ se vrátí maximální možné spuštění (na plný výrobní výkon) elektráren, které nám dovolují omezující podmínky.

Vypočtený návrh nasazení je pak výsledkem funkce, který se vrací na místo, odkud byla funkce zavolána.

### **Procedura NasazeníTurCer\_INSERT**

Jedná se o jednoduchou proceduru, při jejímž spuštění se daty naplní tabulka NasazeníTurCer. Data se vybírají z jednotlivých tabulek popsaných v kapitolách 6.2.(X) a vloží se do této jedné tabulky. Tento postup je navržen jednak, aby se neměnila data v původních tabulkách a také, abych si nemusel opakovaně načítat data potřebná k výpočtu z jiných tabulek.

## **Procedura NasazeniTurCerEDA\_UPDATE**

Jedná se o nejkompexnější proceduru v databázi, která přebírá navrhované výkony k pokrytí odchylek z funkce NavrhovaneVykony a toto navržení se snaží navýšit nebo naopak navrhnout čerpání (v místech, kde se danou PVE nemusí regulovat odchylka) podle cen elektrické energie na burze EEX. Jak už z názvu procedury vyplývá, počítají se pouze výkony pro PVE Dalešice.

V první fázi se nejdříve určí, v jakém pořadí se mají jednotlivé řádky z datového rozsahu vykonávat a co se musí vyhodnocovat jako první. Pořadí podle priorit při nasazování je seřazeno následovně:

1. Vynucené výkony na čerpání
2. Vynucené výkony na výrobu elektrické energie
3. Regulace odchylek
4. Nasazování v nejlepších cenách pro čerpání se střídá s nasazováním pro nejlepší ceny na prodej

Po určení tohoto pořadí program vstoupí do cyklu navrhování výkonů. V cyklu program „skáče“ po řádcích dle stanoveného pořadí a navrhuje do nich složitým příkazem UPDATE výkony. Tento UPDATE bere v potaz navržené výkony na regulaci odchylek z funkce NavrhovaneVykony, vynucené výkony zadané uživatelem, odchylky, čerpadlový i turbínový provoz, hladiny nádrží v podobě ADTur a ADCer, rezervu na 5ti minutovou zálohu, přenosové kapacity pro export i pro import a mnoho dalších hodnot. Zároveň je v něm zkoumáno a řešeno „šetření“ vody pro cenově výhodnější hodiny, ať už pro čerpání nebo výrobu elektrické energie. Celý tento dlouhý příkaz, který je ve výpočtech klíčový, je k nahlédnutí v příloze 2.

## **Procedury NasazeniTurCerEDS\_UPDATE a NasazeniTurCerEST2\_UPDATE**

Fungují stejným způsobem jako právě uvedená procedura pro výpočet výkonů v Dalešicích, ale jsou v nich pozměněny podmínky, které souvisejí s 2 PVE, které nejsou právě počítány (pokud počítám PVE Dlouhé Stráně, tak se musím stále koukat na PVE Dalešice a Štěchovice). To platí například pro kontrolu přenosových

kapacit nebo zjišťování, zda některá z dalších PVE již pokrývá odchylku.

Všechny zdrojové kódy popisovaných funkcí a procedur v této kapitole jsou na DVD, přiloženém na zadní straně desek diplomové práce. Jsou uloženy jako \*.sql soubory a pojmenovány dle názvu funkcí a procedur.

## **6.5 Instalace programu a manuál k ovládání**

Pro správný běh programu se nejprve databáze, naplněná potřebnými daty, nainstaluje na Microsoft SQL Server. Aplikaci jsem vyvíjel právě na tomto typu serveru a k jejímu bezproblémovému používání je proto vhodné typ serveru zachovat. K propojení programu a databáze jsem vytvořil konfigurační soubor VVPVE.ini. Do něj uživatel zadává údaje, které program k spojení s databází používá. Výhodou tohoto konfiguračního souboru je možnost změnit databázi nebo jen její název (k tomu dojde např. instalací nového MS SQL Serveru), bez nutnosti zasahovat do zdrojového kódu programu. Soubor VVPVE.ini musí být vyplněn ještě před prvním spuštěním aplikace.

Samotný program nevyžaduje žádnou instalaci, pouze se dvojitým kliknutím spustí soubor VVPVE.exe. Po jeho spuštění se v případě korektního propojení s databází (v případě problémů se spuštěním zkontrolovat správnost údajů v souboru VVPVE.ini) objeví okno programu, se kterým uživatel dále pracuje.

V okně programu se nacházejí 2 záložky s názvem Výpočet a Nastavení. Ihned po spuštění nahlíží uživatel do záložky Výpočet a zobrazují se mu údaje o trzích, přenosových kapacitách a jednotlivých PVE, které platí pro následujících 24 hodin od spuštění programu. Tento rozsah si může uživatel změnit přenastavením data v záložce nastavení. Pro každou elektrárnu je v tomto přehledu přítomen sloupec Vynucený výkon, kam uživatel může zadávat čerpání či výrobu, která se pak v programově počítaném sloupci Navrhovaný výkon projeví. Využití sloupce Vynucený výkon bude popsáno v následující kapitole 6.6. Kliknutím na tlačítko Vypočítat, v levé dolní části obrazovky, se spustí výpočet pro návrh výkonů jednotlivých PVE v hodinách zadaného rozsahu.

Ještě před spuštěním výpočtu by ale uživatel měl zkontrolovat údaje v záložce

Nastavení. Zde je možné zadávat maximální i minimální turbínové výkony a čerpadlové příkony (přestože příkon čerpání ve skutečnosti v našich PVE zatím nelze regulovat). V záložce je dobré vždy před spuštěním nastavit cenu vody v nádrži, která se zadává v eurech za MWh. Jedná se o rozhodující sloupec při návrhu čerpání vody do horní nádrže, či spuštění výroby elektrické energie. Dalším důležitým údajem pro výpočet je, v záložce Nastavení nastavitelná, citlivost na odchylku, která udává, do jaké výše není nutné odchylku regulovat (nevypatí se ji regulovat nasazením některé z PVE). Editovatelným údajem marže na MWh se zadává, o kolik musí být zadaná cena vody v nádrži nižší, než je cena elektrické energie na trhu, aby se do dané hodiny navrhl turbínový provoz (cena vody v nádrži se s každým přičerpáním mění). Naopak je tomu při návrhu čerpadlového provozu. Tato marže se zadává v eurech.

Po provedení změn v záložce Nastavení uživatel klikne na tlačítko Uložit nastavení, kterým změny nabydou platnosti a aplikace s nimi bude počítat.

Pro uzavření programu je možné kliknout na, v operačním systému Windows běžný, křížek v pravém horním rohu okna nebo použít tlačítko zavřít v pravém dolním rohu okna.

Celá aplikace je navržena tak, aby její obsluha byla co nejjednodušší a intuitivní.

## **6.6 Využití programu VVPVE**

Tato aplikace je určena především pro dispečery společnosti ČEZ, kteří řídí výkony vlastněných elektráren. Výkony dispečer nastavuje do té výše, aby ČEZ splnil nasmlouvané závazky, tj. aby vyrobil potřebné množství elektrické energie. Tyto závazky je dobré zodpovědně plnit, protože za odchylky od naplánovaného množství výroby se platí vysoké pokuty.

V současné době nejprve navrhují výkony elektráren obchodníci, kteří sledují „pouze“ ceny elektřiny na trzích a podle nich doporučí pro danou hodinu čerpání nebo výrobu. Tento návrh obchodníci vytvářejí minimálně na příštích 24 hodin a po zhotovení ho předávají dispečerovi. Ten se snaží návrhu co nejlépe vyhovět, ale musí brát v úvahu velké množství omezujících podmínek. Těmi mohou

být disponibilní stroje v elektrárně, množství vody v horní nádrži, rezervovaný výkon společností ČEPS, a.s. a další omezující podmínky, které jsou popsány v kapitole 6.3. Tyto údaje musí dispečer vyhodnocovat tzv. „z hlavy“ nahlížením do přehledů a počítat, zda je možné takto navržené výkony realizovat. Právě v tomto vyhodnocování by dispečerovi měl pomoci mnou vytvářený program. Dispečer do sloupce Vynucený výkon zadává výkony doporučené obchodníkem a popř. výkony, které bude potřebovat pro jiné účely (např. start nového výrobního zdroje elektrické energie). Po vyplnění vynucených výkonů a dalších údajů v programové záložce Nastavení mu program vypočítá, v jakých hodinách je nejekonomičtější spouštět jednotlivé PVE a na jaké výkony. Navíc může program nalézt nová místa pro nasazení čerpání/výroby, která mohou vzniknout změnou ceny vody, která se mění načerpáním vody. Po prezentaci výsledku si dispečer v případě spokojenosti zaznamená doporučené výkony jednotlivých PVE a může se jimi v následujících hodinách, při nasazování zdrojů, řídit.

Tento program při správném používání ušetří svou výpočetní rychlostí dispečerovi čas, který může následně věnovat dalším záležitostem souvisejícím s jeho povinnostmi. Dalším přínosem je nalezení dalších ekonomicky výhodných hodin, které by člověk jinak mohl někdy přehlédnout, či nesprávně dopočítat.

## **6.7 Příklad průběhu programu**

V této kapitole si vyberu jeden konkrétní den z databáze a rozeberu programem navržené nasazení jednotlivých PVE. Proč navrhl výkony pro výrobu a čerpání v této výši a proč naopak v některých hodinách spuštění elektrárny nedoporučil.

Jako příklad uvedu den 14. 2. 2015, který po jeho načtení do programu vypadá jako na Obrázku 11. Přesně tentýž pohled jako na Obrázku 11 uvidí po spuštění také obsluhující dispečer.

Datum	EEQ	Odchylka(MWh)	ProfilExp(MWh)	ProfilImp(MWh)	EDA výkon(MWh)	EDA vyrucený výkon(MWh)	EDA ADTur(MWh)	EDA ADcer(MWh)	EDS výkon(MWh)	EDS vyrucený výkon(MWh)	EDS ADTur(MWh)	EDS ADcer(MWh)	EST2 výkon(MWh)	EST2 vyrucený výkon(MWh)	EST2 A
14. 2. 2015	33,21	100	2571	3374	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 1:00:00	33,85	0	328	4414	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 2:00:00	33,3	0	1717	5397	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 3:00:00	30,83	100	2531	5311	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 4:00:00	31,28	100	2822	5337	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 5:00:00	31,03	0	3420	4980	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 6:00:00	31,82	100	3572	4410	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 7:00:00	31,99	100	3292	3905	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 8:00:00	39,67	100	1895	4132	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 9:00:00	41,31	0	2442	4883	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 10:00:00	39,56	100	2743	4625	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 11:00:00	34,38	0	2027	5004	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 12:00:00	30,65	100	2179	5422	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 13:00:00	30,01	0	2617	5422	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 14:00:00	31,06	0	2576	5120	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 15:00:00	35,71	155	2810	5190	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 16:00:00	42,35	0	2786	5234	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 17:00:00	47,16	0	2810	4645	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 18:00:00	52,71	155	2226	5033	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 19:00:00	43,18	155	1720	4153	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 20:00:00	36,81	55	2154	4530	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 21:00:00	30,61	0	3204	4764	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 22:00:00	30,56	20	2974	5003	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0
14. 2. 2015 23:00:00	27,93	20	2414	5477	0	0	1098	1190	0	0	14	4060	0	0	0

Obrázek 11 – Datum 14. 2. 2015 po spuštění programu

V levé části obrázku jsou ve sloupci Odchylka(MWh) červeně podbarveny odchylky, které se program při výpočtu bude snažit regulovat. Velikost odchylek v tomto dni není nízká, ale ani příliš vysoká. Ve vedlejších sloupcích jsou k nahlédnutí přenosové kapacity pro export a import, které jsou po celý den poměrně vysoké a kromě exportní kapacity v 1:00:00 jsou vždy vyšší než instalované výkony všech našich PVE dohromady. Tyto hladiny by proto výpočet neměly příliš omezovat.

EDA\_ADTur je rovna poměrně vysoké hodnotě 1098 MWh, ale rezerva pro rychle startující 5 minutovou zálohu může být pro danou hodnotu např. 800 MWh a k pokrytí odchylek bychom před dočerpáním měli k dispozici pouze 298 MWh. Sloupce s hodnotami těchto rezerv jsou zobrazeny více napravo a dispečer je má k dispozici k nahlédnutí. Ve sloupcích EDS\_ADTur (resp. EST2\_ADTur) je pouze 14 MWh (resp. 4 MWh), což je velice málo a bez dočerpání nepůjde odchylky regulovat, natož vyrobenou elektrickou energii na burze EEX prodávat.

Na Obrázku 12 je zobrazena záložka Nastavení, ve které jsou již vyplněny hodnoty pro představovaný den. Nejdůležitější je sloupec Cena vody v nádrži, který je roven 45 euro a minimální zisk na 1 MWh, který je roven 3 euro. Aby se vypočítal návrh nasazení pouze na 24 hodin dopředu, je zaškrtnuto políčko 24 hod v pravé části obrazovky. Účinnosti jsou zde nastaveny na 100%, aby bylo možné dobře kontrolovat výsledky výpočtu. Jinak je ve výpočtech programu s menšími účinnostmi počítáno.

Výpočet výkonu jednotlivých PVE pro zadané období

Výpočet Nastavení

**Účinnosti:**  
PVE Dalešice: 100 % PVE Dlouhé Stráně: 100 % PVE Štěchovice 2: 100 %

**Minimální výkon jednoho bloku elektrárny:**  
PVE Dalešice: 70 MW PVE Dlouhé Stráně: 160 MW PVE Štěchovice 2: 35 MW

**Maximální výkon jednoho bloku elektrárny:**  
PVE Dalešice: 100 MW PVE Dlouhé Stráně: 325 MW PVE Štěchovice 2: 45 MW

**Výkon jednoho bloku elektrárny při čerpání:**  
PVE Dalešice: 110 MW PVE Dlouhé Stráně: 300 MW PVE Štěchovice 2: 50 MW

**Citlivost na odchylku:** 10 MW

**Minimální zisk za MWh:** 3 EURO

**Cena vody v nádrži:** 45 EURO

**Datum od:** 14. 2. 2015 00 ☐ Nyní

**Datum do:** 16. 2. 2015 4 ☒ 24 hod

Uložit nastavení

Vypočítat Obnovit Od: 14. 2. 2015 do: 15. 2. 2015 Zavřít

Obrázek 12 – Záložka Nastavení pro den 14. 2. 2015

Po vyplnění údajů je možné spustit výpočet programu. Jaké návrhy výkonů program doporučil je patrné na Obrázku 13:

Výpočet výkonu jednotlivých PVE pro zadané období

Datum	EE[%]	Odchylka(MWh)	ProfilExp(MWh)	ProfilImp(MWh)	EDA výkon(MWh)	EDA vnučený výkon(MWh)	EDA ADtu(MWh)	EDA ADce(MWh)	EDS výkon(MWh)	EDS vnučený výkon(MWh)	EDS ADtu(MWh)	EDS ADce(MWh)	EST2 výkon(MWh)	EST2 vnučený výkon(MWh)	EST2 A
14. 2. 2015	33,21	100	2571	3374	100	0	1098	1190	0	0	14	4060	-50	0	
14. 2. 2015 1:00:00	33,95	0	328	4414	-440	0	998	1290	0	0	14	4060	0	0	
14. 2. 2015 2:00:00	33,3	0	1717	5397	-440	0	1438	950	0	0	14	4060	0	0	
14. 2. 2015 3:00:00	30,83	100	2531	5311	100	0	1878	410	-600	0	14	4060	-50	0	
14. 2. 2015 4:00:00	31,28	100	2822	5337	100	0	1778	510	0	0	614	3460	0	0	
14. 2. 2015 5:00:00	31,03	0	3420	4980	-440	0	1678	610	-600	0	614	3460	0	0	
14. 2. 2015 6:00:00	31,82	100	3572	4410	100	0	2118	170	-600	0	1214	2860	0	0	
14. 2. 2015 7:00:00	31,99	100	3292	3905	100	0	2018	270	-600	0	1814	2260	0	0	
14. 2. 2015 8:00:00	39,67	100	1895	4132	100	0	1918	370	0	0	2414	1660	0	0	
14. 2. 2015 9:00:00	41,31	0	2442	4883	0	0	1818	470	650	0	2414	1660	0	0	
14. 2. 2015 10:00:00	39,56	100	2743	4625	100	0	1818	470	0	0	1764	2310	0	0	
14. 2. 2015 11:00:00	34,38	0	2027	5004	0	0	1718	570	0	0	1764	2310	0	0	
14. 2. 2015 12:00:00	30,65	100	2179	5422	100	0	1718	570	-600	0	1764	2310	-50	0	
14. 2. 2015 13:00:00	30,01	0	2617	5422	-440	0	1618	670	-600	0	2364	1710	-50	0	
14. 2. 2015 14:00:00	31,06	0	2576	5120	0	0	2058	230	-600	0	2364	1110	0	0	
14. 2. 2015 15:00:00	35,71	155	2810	5190	0	0	2058	230	160	0	3564	510	0	0	
14. 2. 2015 16:00:00	42,35	0	2786	5234	0	0	2058	230	650	0	3404	670	45	0	
14. 2. 2015 17:00:00	47,16	0	2810	4645	400	0	2058	230	650	0	2754	1320	45	0	
14. 2. 2015 18:00:00	52,71	155	2226	5033	400	0	1658	630	650	0	2104	1970	45	0	
14. 2. 2015 19:00:00	43,18	155	1720	4153	388	0	1258	1030	650	0	1454	2620	45	0	
14. 2. 2015 20:00:00	36,81	55	2154	4530	70	0	870	1418	204	0	804	3270	0	0	
14. 2. 2015 21:00:00	30,61	0	3204	4764	0	0	800	1488	-600	0	600	3474	-50	0	
14. 2. 2015 22:00:00	30,56	20	2974	5003	-440	0	800	1488	-600	0	1200	2874	35	0	
14. 2. 2015 23:00:00	27,93	20	2414	5477	-440	0	1240	1048	-600	0	1800	2274	35	0	

Vypočítat Obnovit Od: 14. 2. 2015 do: 15. 2. 2015 Zavřít

Obrázek 13 – Nasazení PVE pro den 14. 2. 2015 jak doporučil program VVPVE

Hned první hodinu zkoumaného rozsahu se odchylka 100 MWh zregulovala



spuštěním PVE Dalešice na výkon 100 MW. V PVE Dlouhé Stráně se nespouštělo čerpání ani výroba, pravděpodobně z důvodu čekání na lepší ceny pro čerpání („nevyplytvat“ vodu na méně ekonomicky výhodné hodiny). Ve Štěchovicích se navrhlo pro tuto hodinu čerpání.

V další hodině již tyto 2 PVE nečerpají, ale v Dalešicích se naopak čerpání spustilo, jelikož v následujících hodinách bude muset regulovat odchylky. V Dalešicích se čerpá navzdory tomu, že v následujících hodinách by byla ještě výhodnější cena, ale regulace odchylky má přednost.

Tímto postupem pokračují jednotlivé PVE dále a snaží se nejprve regulovat odchylky a v druhém sledu využívat pro čerpání a výrobu co nejvýhodnější ceny. Například pro vyšší odchylku 155 MWh v hodině 15:00:00 je pro její regulaci spuštěna PVE Dlouhé Stráně, která má minimální výkon bloku nastaven na 160 MW. Jinak se v této hodině nestane nic, jelikož cena elektřiny na burze EEX není vhodná ani pro čerpání, ani na prodej.

Přesuneme se na hodinu 18:00:00, kde je cena za elektřinu téměř 53 euro za 1 MWh a je nejvyšší z celého počítaného dne. Pro hodiny s nejlepšími cenami se program vždy snaží šetřit energií v nádržích a používá ji jen k regulaci odchylek a vynucených výkonů. Z obrázku lze vidět, že se mu to v tomto případě podařilo a všechny PVE spustil na maximum výkonu a navrhl prodej.

Opakem je hodina 23:00:00, kde je cena elektrické energie nejnižší a program navrhl do elektráren maximální čerpání. Ovšem ve Štěchovicích tak v této hodině učinit nemohl, protože bylo nutné zregulovat odchylku 20 MWh.

Pokud se podíváme zpětně na hodinu 19:00:00, kde je také na prodej velice příznivá cena, zjistíme, že je zde v PVE Dalešice navržen výkon 388 MW. Tento výkon byl v té hodině limitem, jelikož v hodině 21:00:00 by se dostal pod EDA\_ADTur 800 MWh a tento ukazatel v této hodině nesmí z důvodu rezervy na 5 minutovou rychle startující zálohu (EDA\_AMZ5Prdy), v hodnotě 800 MWh, pod tuto hranici klesnout.

Ve zkoumaném dni se podařilo zregulovat nasazením, některé z 3 PVE, všechny odchylky a navíc se využily nejlepší ceny jak pro čerpání, tak pro výrobu elektrické energie. Takovým spouštěním se provoz ovládaných PVE stává ekonomickým

a program by výpočty, jako je právě ten předvedený, měl dispečerům pomáhat k co nejlepšímu způsobu nasazování výkonů.

## 7 ZÁVĚR

Jako první krok před samotnou tvorbou aplikace pro navrhování nasazení výkonů PVE jsem se seznámil s jednotlivými výrobny v ČR a jejich parametry. Jejich přínos pro elektrizační soustavu ČR je s rozvojem OZE stále podstatnějším, což potvrzuje množství vyrobené elektřiny, které se každým rokem zvyšuje. Neméně důležitým tématem při nasazování PVE je cena elektřiny na energetických trzích. V práci jsem se věnoval českým trhům a německé burze EEX, která je z hlediska nákupu elektřiny pro čerpání vody a prodeji při výrobě nejdůležitější. Posledním tématem, kterému jsem se před implementací aplikace věnoval, jsou odchylky od plánované výroby společnosti ČEZ, a.s. PVE je svými vlastnostmi vhodná pro regulaci nejen těchto odchylek, ale také odchylek v přenosové soustavě, kterou v ČR spravuje společnost ČEPS, a.s. Proto si také český PPS rezervuje v PVE výkon, který v případě potřeby může využít k pokrytí výkonových odchylek v síti.

Pro efektivnost práce a možnost domýšlení praktických detailů je vhodné, pokud programátor plně rozumí účelům vytvářené aplikace a způsobu jejího použití. Proto jsem se před zahájením implementace aplikace pravidelně scházel s vedoucím práce Ing. Martinem Valentem a dobře se seznámil s fungováním procesů na dispečinku společnosti ČEZ, a.s. a principy nasazování zdrojů. Pochopením této problematiky jsem si uvědomil přínos aplikace, kterou jsem měl v této práci vyvíjet. Při její implementaci jsem se setkával s převážně programovacími problémy, které se ale nakonec vždy podařilo po konzultacích vyřešit.

Přestože aplikace navrhuje ve většině simulací při testování uspokojivé výsledky, je zde jistě prostor pro optimalizaci jejího algoritmu. Prvním úkolem by mohlo být zahrnutí českých trhů do výpočtu, které sice mají daleko menší poptávané výkony, než jsou na německé burze EEX, ale v případě výhodné ceny by se vyplatilo vyrobenou energii na nich prodat.

Po dokončení a důkladném testování aplikace si myslím, že zadání bylo splněno a program bude možné používat i v praxi. Věřím, že bude dispečerům ku prospěchu a ušetří jim drahocenný čas. Právě ušetřeným časem, který mohou věnovat jiným záležitostem, získává mnou vyvinutá aplikace na hodnotě.

V této práci jsem se naučil mnoha věcem z různých témat energetiky, a jelikož můj zájem o energetiku se s novými znalostmi prohlubuje, budou se mi do budoucna nabyté znalosti jistě hodit. Minimálně stejně velký podíl práce bylo také programování a implementace aplikace. V budoucnu se programování neplánuji více věnovat, ale znát alespoň základy se v současné počítačové době jistě hodí v mnoha oborech.

## 8 BIBLIOGRAFIE

- [1] Anonymus, První elektrárny. 2008. *EnergyWeb* [online]. [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: [http://www.energyweb.cz/web/index.php?display\\_page=2&subitem=1&ee\\_chapter=5.5.2](http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=5.5.2)
- [2] LAVIČKA, Petr. 2009. Alternativní zdroje energie ČR. *Energie vody* [online]. [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://absolventi.gymcheb.cz/2009/pelavic/zemak3.html>
- [3] Anonymus, *European Energy Exchange* [online]. 2012. [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <https://www.eex.com/en/about/eex>
- [4] VYSOUDILOVÁ, Adéla. 2014. *Obchod s přeshraničními kapacitami v Evropě*. Praha. Diplomová práce. ČVUT.
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ, 2015. PS v ČR pod vlivem výroby větrných parků v Německu. *ČEPS* [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: [http://www.ceps.cz/CZE/Media/Studie-analyzy/Documents/Analyza\\_mimoradna\\_situace\\_PSCR\\_2015.pdf](http://www.ceps.cz/CZE/Media/Studie-analyzy/Documents/Analyza_mimoradna_situace_PSCR_2015.pdf)
- [6] 4M Market Coupling. 2014. *ČEPS* [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: [https://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Zahranicni-spoluprace/Aktualni\\_projekty/Stranky/MarketCouplingCZ-SK-HU.aspx](https://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Zahranicni-spoluprace/Aktualni_projekty/Stranky/MarketCouplingCZ-SK-HU.aspx)
- [7] KREJČOVÁ, Šárka. 2012. *Jak funguje český trh elektřiny*. Brno. Balážská práce. Masarykova univerzita.
- [8] KOLEKTIV AUTORŮ, Energetický regulační věstník. 2014. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/613886/ERV\\_5\\_2014.pdf/07e2f39a-c098-4752-946b-9eb793ec4d36](http://www.eru.cz/documents/10540/613886/ERV_5_2014.pdf/07e2f39a-c098-4752-946b-9eb793ec4d36)
- [9] CHOTĚTICKÁ, Jana. 2013. *Vliv využívání regulační energie z tepelných elektráren na ekonomiku jejich provozu*. Plzeň. Diplomová práce. Západočeská univerzita.
- [10] TYRBACH, Jaromír. 2009. *Elektrárenské pojmy* [online]. [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: [http://web.telecom.cz/tyrbach/Zakladni\\_elektr\\_pojmy.pdf](http://web.telecom.cz/tyrbach/Zakladni_elektr_pojmy.pdf)
- [11] Anonymus, Podpůrné služby. 2014. *ČEPS - jednotlivé kategorie PpS* [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z:

<https://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Podpurne-sluzby/KategoriePpS/Stranky/default.aspx>

- [12] ŠIMEK, Petr. 2009. *Přečerpávací vodní elektrárna*. Brno. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [13] BUDÍN, Jan. 2015. Přečerpávací vodní elektrárna – princip a uspořádání. *O energetice* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/typy-elektraren/precerpavaci-vodni-elektrarna-princip-usporadani-2/>
- [14] ARCHALOUS, Jakub. 2009. *Posouzení problematiky přečerpávacích vodních elektráren*. Brno. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16843](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16843). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [15] KOLEKTIV AUTORŮ, 1997. *Přečerpávací vodní elektrárna dlouhé stráně* [online]. Vegaprint [cit. 2015].
- [16] KOLEKTIV AUTORŮ, Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně. 2013. *Skupina ČEZ - výroba elektřiny* [online]. [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/dlouhe-strane.html>
- [17] KOLEKTIV AUTORŮ, Přečerpávací vodní elektrárna Dalešice. 2013. *Skupina ČEZ - výroba elektřiny* [online]. [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/dalesice.html>
- [18] KOLEKTIV AUTORŮ, Přečerpávací vodní elektrárna Štěchovice. 2013. *Skupina ČEZ - výroba elektřiny* [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/stechovice.html>
- [19] KNÁPEK, Michal. 2012. *Posouzení výhodnosti výstavby přečerpávací vodní elektrárny velkého výkonu v lokalitě Cukrová bouda, okres Šumperk*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [20] PĚCHA, Jiří. 2011. *Trh a obchodování s elektřinou z obnovitelných zdrojů v EU*. Brno. Dostupné také z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=38018](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38018). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [21] KRACÍK, Lukáš. 2012. Obchodujeme s finančními deriváty. *Trhy měšec* [online]. [cit. 2015-03-25]. Dostupné z:

<http://trhy.mesec.cz/clanky/obchodujeme-s-financnimi-derivaty-co-jsou-forward-a-futures/>

- [22] HRABAL, Michal. 2014. *Posouzení rentability rekonstrukce elektrárny Orlík*. Praha. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [23] KRATOCHVÍL, Štěpán. 2012. *Oceňování derivátů na elektřinu na energetických burzách*. Praha. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [24] ŘÍHA, Jaroslav. 2011. *Trh s elektrickou energií a jeho regulace*. České Budějovice. Dostupné také z: [http://theses.cz/id/mp84zz/Trh\\_s\\_elektrickou\\_energi\\_\\_a\\_\\_jeho\\_regulace.pdf](http://theses.cz/id/mp84zz/Trh_s_elektrickou_energi__a__jeho_regulace.pdf). Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

# SEZNAM ZKRATEK

<b>CHKO</b>	<i>Chráněná krajinná oblast</i>
<b>DT</b>	<i>Denní trh</i>
<b>DDZ</b>	<i>Denní diagram zatížení</i>
<b>DVD</b>	<i>Digital versatile disc</i>
<b>DZ</b>	<i>Diagram zatížení</i>
<b>EDA</b>	<i>Elektrárna Dalešice</i>
<b>EDS</b>	<i>Elektrárna Dlouhé Stráně</i>
<b>EEX</b>	<i>Evropská energetická burza</i>
<b>ERÚ</b>	<i>Energetický regulační úřad</i>
<b>ES</b>	<i>Elektrizační soustava</i>
<b>EST2</b>	<i>Elektrárna Štěchovice II</i>
<b>JE</b>	<i>Jaderná elektrárna</i>
<b>MS</b>	<i>Microsoft</i>
<b>MZ5</b>	<i>5ti minutová záloha</i>
<b>OTE</b>	<i>Operátor trhu s elektřinou</i>
<b>OZE</b>	<i>Obnovitelné zdroje energie</i>
<b>PS</b>	<i>Přenosová soustava</i>
<b>PST</b>	<i>Phase-shifting transformer</i>
<b>PPS</b>	<i>Provozovatel přenosové soustavy</i>
<b>PpS</b>	<i>Podpůrné služby</i>
<b>PVE</b>	<i>Přečerpávací vodní elektrárna</i>
<b>PXE</b>	<i>Pražská energetická burza</i>
<b>JE</b>	<i>Jaderná elektrárna</i>
<b>SQL</b>	<i>Structured Query Language</i>
<b>SyS</b>	<i>Systémové služby</i>
<b>SZ</b>	<i>Subjekt zúčtování</i>
<b>VD</b>	<i>Vodní dílo</i>
<b>VE</b>	<i>Vodní elektrárna</i>
<b>VT</b>	<i>Vyrovnávací trh</i>



## 9 PŘÍLOHY

### 9.1 Příloha 1 - Příkaz SELECT vybírající nejlepší návrh zapnutí bloků pro pokrytí odchylek a vynucených výkonů.

```
SELECT TOP 1
    EDA_Vykon,
    EDA_ZapnuteBloky,
    EDS_Vykon,
    EDS_ZapnuteBloky,
    EST2_Vykon,
    EST2_ZapnuteBloky,
    VykonCelkem - @Odchylka
FROM
    @t
WHERE
    VykonCelkem >= @Odchylka
    AND EDA_ADtur >= 0
    AND EDS_ADtur >= 0
    AND EST2_ADtur >= 0

    AND EDA_ZapnuteBloky >=
        CASE WHEN EDA_VynucenyVykon > 0 THEN 1
              WHEN EDA_VynucenyVykon >= 2 * @EDA_MAXVykonBloku THEN 2
              WHEN EDA_VynucenyVykon >= 3 * @EDA_MAXVykonBloku THEN 3
              WHEN EDA_VynucenyVykon >= 4 * @EDA_MAXVykonBloku THEN 4
              ELSE 0 END

    AND EDS_ZapnuteBloky >=
        CASE WHEN EDS_VynucenyVykon > 0 THEN 1
              WHEN EDS_VynucenyVykon > 2 * @EDS_MAXVykonBloku THEN 2
              ELSE 0 END

    AND EST2_ZapnuteBloky >=
        CASE WHEN EST2_VynucenyVykon > 0 THEN 1 ELSE 0 END

    AND EDA_VynucenyVykon <= [@t].EDA_ZapnuteBloky * @EDA_MAXVykonBloku
    AND EDS_VynucenyVykon <= [@t].EDS_ZapnuteBloky * @EDS_MAXVykonBloku
    AND EST2_VynucenyVykon <= [@t].EST2_ZapnuteBloky * @EST2_MAXVykonBloku
    AND (@Odchylka + EDA_VynucenyVykon + EDS_VynucenyVykon +
        EST2_VynucenyVykon) > 0
ORDER BY
    VykonCelkem - @Odchylka
```

## 9.2 Příloha 2 - Příkaz UPDATE navrhuje výkony v PVE Dalešice

```

UPDATE
NTC
SET
EDA_NavrhovanyVykon =
CASE WHEN ISNULL(NTC.EDA_VynucenyVykon, 0) > 0
THEN dbo.InlineMax(NTC.EDA_VynucenyVykon,
CASE WHEN EDA_CoZapnout <> 2 THEN NULL
WHEN NTC.EDA_ADtur >= N.EDA_MAX_Vykon * NTC.EDA_Ndisp
THEN IIF(N.EDA_MAX_Vykon * NTC.EDA_Ndisp >
@VykonMax, IIF(N.EDA_CerVykon > @VykonMax, 0,
@VykonMax), N.EDA_MAX_Vykon * NTC.EDA_Ndisp)
WHEN NTC.EDA_ADtur >= N.EDA_MIN_Vykon THEN
IIF(NTC.EDA_ADtur > @VykonMax,
IIF(N.EDA_CerVykon > @VykonMax, 0, @VykonMax),
NTC.EDA_ADtur)
ELSE 0
END)
WHEN ISNULL(NTC.EDA_VynucenyVykon, 0) < 0
THEN dbo.InlineMin (NTC.EDA_VynucenyVykon,
CASE
WHEN EDA_CoZapnout <> 1 THEN NULL
WHEN NTC.EDA_ADcer >= N.EDA_CerVykon * (4) AND 4 <=
NTC.EDA_Ndisp THEN N.EDA_CerVykon * (-4)
WHEN NTC.EDA_ADcer >= N.EDA_CerVykon * (3) AND 3 <=
NTC.EDA_Ndisp THEN N.EDA_CerVykon * (-3)
WHEN NTC.EDA_ADcer >= N.EDA_CerVykon * (2) AND 2 <=
NTC.EDA_Ndisp THEN N.EDA_CerVykon * (-2)
WHEN NTC.EDA_ADcer >= N.EDA_CerVykon * (1) AND 1 <=
NTC.EDA_Ndisp THEN N.EDA_CerVykon * (-1)
ELSE 0
END)
ELSE
IIF(EDA_CoZapnout = 2, dbo.InlineMax(ODCH.EDA_NavrhovanyVykon,
CASE
WHEN EDA_CoZapnout <> 2 THEN NULL
WHEN NTC.EDA_ADtur >= N.EDA_MAX_Vykon * NTC.EDA_Ndisp THEN
IIF(N.EDA_MAX_Vykon * NTC.EDA_Ndisp > @VykonMax,
IIF(N.EDA_CerVykon > @VykonMax, 0, @VykonMax),
N.EDA_MAX_Vykon * NTC.EDA_Ndisp)
WHEN NTC.EDA_ADtur >= 70 THEN
IIF(NTC.EDA_ADtur > @VykonMax,
IIF(N.EDA_CerVykon > @VykonMax, 0, @VykonMax),
NTC.EDA_ADtur)
ELSE 0
END),
ISNULL(ODCH.EDA_NavrhovanyVykon,
CASE NTC.EDA_CoZapnout
WHEN 1 THEN CASE
WHEN NTC.EDA_ADcer >= N.EDA_CerVykon * (4) AND 4 <= NTC.EDA_Ndisp
THEN N.EDA_CerVykon * (-4)
WHEN NTC.EDA_ADcer >= N.EDA_CerVykon * (3) AND 3 <= NTC.EDA_Ndisp
THEN N.EDA_CerVykon * (-3)
WHEN NTC.EDA_ADcer >= N.EDA_CerVykon * (2) AND 2 <= NTC.EDA_Ndisp
THEN N.EDA_CerVykon * (-2)
WHEN NTC.EDA_ADcer >= N.EDA_CerVykon * (1) AND 1 <= NTC.EDA_Ndisp
THEN N.EDA_CerVykon * (-1)
ELSE 0
END)
END)

```

```

WHEN 2 THEN CASE
WHEN NTC.EDA_ADtur >= N.EDA_MAX_Vykon * NTC.EDA_Ndisp
THEN
    IIF(N.EDA_MAX_Vykon * NTC.EDA_Ndisp > @VykonMax,
    IIF(N.EDA_CerVykon > @VykonMax, 0, @VykonMax),
    N.EDA_MAX_Vykon * NTC.EDA_Ndisp)
WHEN NTC.EDA_ADtur >= N.EDA_MIN_Vykon
THEN
    IIF(NTC.EDA_ADtur > @VykonMax,
    IIF(N.EDA_CerVykon > @VykonMax, 0, @VykonMax),
    NTC.EDA_ADtur)
ELSE 0
END

ELSE NTC.EDA_NavrhovanyVykon

END
)
)
END

OUTPUT
INSERTED.EDA_NavrhovanyVykon,
INSERTED.EDA_CoZapnout,
DELETED.EDA_NavrhovanyVykon,
INSERTED.NasazeniTurCer_ID,
INSERTED.EEXCena,
INSERTED.EDA_ADtur,
INSERTED.EDA_CenaVody,
INSERTED.Poradi
INTO @Temp
FROM
NasazeniTurCer AS NTC
CROSS JOIN dbo.Nastaveni AS N
OUTER APPLY
( SELECT
EDA_NavrhovanyVykon = NULLIF(ft_PokrytiOdchylek.EDA_Vykon, 0)
FROM
    dbo.NasazeniTurCer AS NTC
    CROSS JOIN Nastaveni AS N
        OUTER APPLY dbo.NavrhovaneVykony (NTC.Odchylka,
            N.PovolenaOdchylka, NTC.EDA_Ndisp,
            N.EDA_MIN_Vykon, N.EDA_MAX_Vykon,
            NTC.EDA_ADtur, NTC.EDA_AMZ5Prdy_fq,
            ISNULL(NTC.EDA_VynucenyVykon,0), NTC.EDS_Ndisp,
            N.EDS_MIN_Vykon, N.EDS_MAX_Vykon,
            NTC.EDS_ADtur, NTC.EDS_AMZ5Prdy_fq,
            ISNULL(NTC.EDS_VynucenyVykon,0),
            NTC.EST2_Ndisp, N.EST2_MIN_Vykon,
            N.EST2_MAX_Vykon, NTC.EST2_ADtur,
            NTC.EST2_AMZ5Prdy_fq,
            ISNULL(NTC.EST2_VynucenyVykon,0)

        ) AS ft_PokrytiOdchylek

WHERE
    NTC.Datum = @DatumOd
    AND NTC.Odchylka > 0) AS ODCH
WHERE
[NTC].[Datum] = @DatumOd
AND (
    (NTC.EDA_ADcer + NTC.EDAADTurRez >= N.EDA_CerVykon AND
    NTC.EDA_CoZapnout IN (0,1))
    OR
    (NTC.EDA_ADtur + NTC.EDAADTurRez >= N.EDA_MIN_Vykon AND
    NTC.EDA_CoZapnout IN (0,2))
)
AND (

```

```

(NTC.EDA_NavrhovanyVykon >=
CASE
    WHEN NTC.EDA_ADcer >= N.EDA_CerVykon * (4) AND 4 <=
        NTC.EDA_Ndisp THEN N.EDA_CerVykon * (-4)
    WHEN NTC.EDA_ADCer >= N.EDA_CerVykon * (3) AND 3 <=
        NTC.EDA_Ndisp THEN N.EDA_CerVykon * (-3)
    WHEN NTC.EDA_ADCer >= N.EDA_CerVykon * (2) AND 2 <=
        NTC.EDA_Ndisp THEN N.EDA_CerVykon * (-2)
    WHEN NTC.EDA_ADCer >= N.EDA_CerVykon * (1) AND 1 <=
        NTC.EDA_Ndisp THEN N.EDA_CerVykon * (-1)
    ELSE 0
END AND NTC.EDA_NavrhovanyVykon <= 0)
OR
(NTC.EDA_NavrhovanyVykon <=
CASE
    WHEN NTC.EDA_ADtur >= N.EDA_MAX_Vykon * NTC.EDA_Ndisp
        THEN IIF(N.EDA_MAX_Vykon * NTC.EDA_Ndisp >
            @VykonMax,
                IIF(N.EDA_CerVykon > @VykonMax, 0, @VykonMax),
                N.EDA_MAX_Vykon * NTC.EDA_Ndisp)
    WHEN NTC.EDA_ADtur >= N.EDA_MIN_Vykon
        THEN IIF(NTC.EDA_ADtur > @VykonMax,
            IIF(N.EDA_CerVykon > @VykonMax, 0, @VykonMax),
            NTC.EDA_ADtur)
    ELSE 0
END AND NTC.EDA_NavrhovanyVykon >= 0)
)

```