



ZÁPADOČESKÁ  
UNIVERZITA  
V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

## DISERTAČNÍ PRÁCE

k získání akademického titulu doktor  
v oboru

Elektroenergetika

**Ing. Stanislav Průcha**

**Programování energetických procesů  
využitelných pro energetické simulátory**

-

**Simulace portfolia OZE**

*Školitel:* doc. Ing. Emil Dvorský, CSc.

*Datum státní doktorské zkoušky:*

*Datum odevzdání práce:* 28.2.2011

V Plzni, 2011

---

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

V Plzni 2011

.....  
Ing. Stanislav Průcha

---

## Anotace

Tato práce se zabývá aktuální problematikou rozvoje obnovitelných zdrojů v České republice. V první části je uveden současný stav a předpokládaný vývoj vybraných druhů obnovitelných zdrojů energie, dále pak charakter provozu těchto zdrojů s ohledem na průběh dodávaného výkonu. V další části je pak navržen jednoduchý model portfolia vybraných obnovitelných zdrojů a provedeny simulace denní výroby za různých předpokladů. V poslední části je nastíněna možnost spolupráce využít bioplynových stanic pro ovlivnění průběhu výkonu uvažovaného portfolia OZE včetně ekonomického vyhodnocení takového provozu.

## Klíčová slova

Obnovitelné zdroje energie, větrná elektrárna, bioplynové stanice, malá vodní elektrárna, fotovoltaická elektrárna, predikce výroby.

## Annotation

This Phd thesis describes actual questions about development of renewable resources in Czech Republic. Initial part summarizes actual state and expectations of future development of chosen renewable resources, as well as its specific operation in with regard to output power characteristic. Further there is described simplified simulation model of renewable resources portfolio designed to draw output power characteristic according to predefined conditions. Final part describes possibilities of particular scheduling output power of biogas power plants according to public power demands, including economical evaluation of presented concept.

## Key words

Renewable resources, wind power plant, biogas power plant, small- hydro plant, photovoltaic power plant, power prediction.

---

## Použité zkratky

BPS	bioplynová stanice
CZT	centrální zásobení teplem
DS	distribuční síť
ES	elektrická síť, elektrizační soustava
FVE	fotovoltaická elektrárna
MVE	malá vodní elektrárna
NAP	národní akční plán
OZE	obnovitelné zdroje energie, zařízení pro výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů
PDS	provozovatel distribuční sítě
PS	přenosová síť
PVE	přečerpávací vodní elektrárna
VTE	větrná elektrárna

---

## **Poděkování**

Touto cestou děkuji svému školiteli panu Doc. Ing. Emilovi Dvorskému, CSc. za odborné vedení mé práce, motivaci k jejímu dokončení a za jeho vstřícný přístup a podporu v době mého doktorandského studia na Katedře elektrotechniky a ekologie.

Dále bych chtěl poděkovat všem svým bývalým pedagogům působícím na Západočeské univerzitě v Plzni a svým bývalým zaměstnavatelům, zejména pak Ing. Karlu Procházkovi, CSc., kteří mi pomohli získat cenné znalosti a zkušenosti v oboru.

**Děkuji Vám!**

---

1	Úvod .....	- 1 -
1.1	Cíle disertační práce .....	- 2 -
2	Aktuální vývoj vybraných OZE na území ČR .....	- 3 -
2.1	Malé vodní elektrárny (MVE) .....	- 4 -
2.2	Větrné elektrárny (VTE) .....	- 5 -
2.3	Fotovoltaické elektrárny (FVE).....	- 6 -
2.4	Bioplynové stanice (BPS) .....	- 7 -
3	Charakteristika vybraných OZE.....	- 8 -
3.1	Malé vodní elektrárny (MVE) .....	- 8 -
3.1.1	Charakteristika provozu MVE .....	- 8 -
3.1.2	Možnosti predikce výroby MVE.....	- 10 -
3.2	Větrné elektrárny (VTE) .....	- 13 -
3.2.1	Charakteristika provozu VTE .....	- 13 -
3.2.2	Možnosti predikce výroby VTE .....	- 19 -
3.3	Fotovoltaické elektrárny (FVE).....	- 20 -
3.3.1	Charakteristika provozu FVE .....	- 20 -
3.3.2	Možnosti predikce výroby FVE .....	- 22 -
3.4	Bioplynové stanice (BPS) .....	- 23 -
3.4.1	Charakteristika provozu a možnosti regulace BPS.....	- 23 -
3.4.2	Možnosti predikce výroby BPS .....	- 25 -
3.5	Charakteristický průběh výroby portfolia OZE .....	- 25 -
4	Charakteristický průběh spotřeby elektřiny .....	- 26 -
4.1	Smart Grids .....	- 27 -
5	Model vybraného portfolia OZE.....	- 29 -
5.1	Model MVE .....	- 29 -
5.2	Model VTE.....	- 31 -
5.3	Model FVE.....	- 32 -
5.4	Model BPS .....	- 33 -
5.5	Model ES.....	- 33 -
5.6	Volba simulačního prostředí .....	- 33 -
5.7	Vstupní data a nastavení simulace .....	- 34 -
6	Simulace průběhu denní výroby OZE – současný stav (2010) .....	- 35 -
6.1	Lednové maximum spotřeby – pracovní den.....	- 36 -
6.2	Lednové maximum spotřeby – neděle .....	- 37 -
6.3	Srpnové minimum spotřeby – pracovní den.....	- 38 -
6.4	Srpnové minimum spotřeby – neděle.....	- 39 -
7	Simulace průběhu denní výroby OZE – stav dle NAP (2020) .....	- 40 -

---

7.1	Lednové maximum spotřeby – pracovní den.....	- 42 -
7.2	Lednové maximum spotřeby – neděle .....	- 43 -
7.3	Srpnové minimum spotřeby – pracovní den .....	- 44 -
7.4	Srpnové minimum spotřeby – neděle.....	- 45 -
8	Možnosti plánování výroby z BPS .....	- 46 -
9	Ekonomické vyhodnocení BPS .....	- 48 -
9.1	Stávající koncept BPS .....	- 49 -
9.2	Koncept polo-špičkové BPS.....	- 49 -
10	Simulace průběhu denní výroby OZE – koncept polo-špičkové BPS .....	- 51 -
10.1	Lednové maximum spotřeby – pracovní den .....	- 52 -
10.2	Srpnové minimum spotřeby – neděle .....	- 53 -
11	Nástroje pro optimalizaci portfolia OZE .....	- 54 -
11.1	Legislativní nástroje .....	- 54 -
11.2	Motivační ekonomické nástroje .....	- 54 -
12	Závěr.....	- 55 -
13	Literatura a další zdroje.....	- 56 -

---

# 1 Úvod

Tematickým zadáním mé disertační práce je Programování energetických procesů využitelných pro energetické simulátory. Vzhledem ke svému pracovnímu zaměření na obnovitelné zdroje energie jsem se při zpracování disertační práce zaměřil právě na tuto oblast, která je pro svůj dynamický rozvoj a s tím spojené technické a ekonomické dopady aktuálně diskutována.

Během roční praktické stáže v Regensburgu jsem měl možnost blíže se seznámit s tehdy probíhajícím projektem „virtuální elektrárny“. Cílem tohoto projektu bylo demonstrovat, zda lze plně pokrýt proměnlivou denní spotřebu elektřiny výhradně využitím obnovitelných zdrojů za pomoci akumulace energie ve vodních přečerpávacích elektrárnách. Pro tento účel bylo zvoleno portfolio obnovitelných zdrojů odpovídající 1/10.000 celkového potenciálu Německa. Vybrané portfolio obnovitelných zdrojů o celkovém výkonu 22,1MW bylo tvořeno výkonem 12,6MW několika větrných elektráren (61% podíl), několika desítkami fotovoltaických elektráren s výkonem 5,5MW (14% podíl) a několika bioplynovými stanicemi s výkonem 4MW (25% podíl). Doplňkově byla jako vyrovnávací zdroj uvažována přečerpávací elektrárna disponující výkonem 1,06MW a kapacitou akumulace na 80hodin plného výkonu, rovněž bylo uvažováno s možností exportu výkonu do výše 1MW. Souhrn celého portfolia pak na základě predikcí a skutečných hodnot zajišťovala centrální řídicí jednotka.

Podobných projektů a analýz zkoumajících možnosti řízení portfolia OZE nebo pouze akumulaci či řízení spotřeby elektřiny vyrobené z neřízených obnovitelných zdrojů bylo celosvětově, ale především v evropských zemích provedeno mnoho.

V České republice se podobným projektem, který je úzce zaměřený na možnosti využití kogeneračních jednotek, dlouhodobě zabývá právě jejich český výrobce spol. TEDOM. V roce 2010 uvedla tato společnost do provozu tzv. Rozptýlenou Elektrárnu, která virtuálně centralizuje vybrané kogenerační jednotky s pístovými spalovacími motory, které jsou zapojeny do tepelných systémů s možností akumulace tepla. Hlavním cílem tohoto projektu je zvýšení obchodní atraktivity nabízené elektřiny, tzn. garance dodávky elektřiny ve smlouveném množství a čase a od jednoho subjektu. Další možností, která je v současnosti po ročním provozu tohoto projektu projednávána, je nabídka systémových služeb pro ČEPS.

Myšlenkou využití možností decentralizovaných kogeneračních jednotek, využívajících zemní plyn či bioplyn, se rovněž zabývá spol. Skanska CZ. Ve svém prezentovaném návrhu principiálně vychází z potenciálu nadcházejících rekonstrukcí zdrojů CZT, které by využívali akumulace tepla, a kogenerační jednotky byly provozovány pouze v době vyšší spotřeby elektřiny. Podobně navrhuje řešení bioplynových stanic s vyšší skladovací kapacitou bioplynu a dvojnásobným instalovaným výkonem kogenerační jednotky, která by byla v provozu opět pouze v době vyšší spotřeby elektřiny, tzn. navrhovaných 12hodin oproti stávajícím 24hodinám provozu. Tento návrh znamená zvýšené náklady na investice, které by podle autorů bylo možné kompenzovat nepatrně vyšší výkupní cenou elektřiny z těchto zdrojů.



---

Události roku 2010 v oblasti OZE na území ČR, konkrétně dočasně pozastavené vyřizování nových žádostí o připojení zdrojů rozptýlené výroby elektřiny k distribuční síti, následované diskuzemi o dopadu enormního nárůstu nových instalací, zejména fotovoltaických elektráren, na bezpečný provoz ES a především rostoucí náklady na podporu OZE, ale i jejich provozem vyvolané vyšší náklady na systémové služby, vedly v závěru roku k rychlým částečným legislativním úpravám v oblasti OZE. Připravována je dále rozsáhlejší změna Zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů energie, který by měl být provázán s již schváleným Národním akčním plánem České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů (NAP).

Aktuální situaci tedy lze vnímat jako významnou příležitost k ovlivnění dalšího vývoje v oblasti obnovitelných zdrojů s cílem minimalizace jejich dopadu na provoz a řízení ES z pohledu technického i ekonomického.

Ovlivněn zmíněnými projekty, událostmi roku 2010 a diskuzemi nad dalším vývojem v oblasti OZE na území ČR si kladu otázky: Jaký je průběh výkonu dodávaného současným portfoliem OZE ve vztahu k průběhu spotřeby elektřiny? Jak bude vypadat v případě očekávaného složení portfolia OZE dle NAP? Jaké jsou možnosti samotného portfolia OZE přizpůsobit svou výrobu proměnlivé spotřebě? Lze případně využít připravované legislativní změny k „optimalizaci“ portfolia OZE tak, aby byly minimalizovány tolik diskutované technické a ekonomické dopady?

Rámcové téma mé disertační práce se tedy pokusím, s ohledem na požadovanou aktuálnost a přínos v oboru, využít k nalezení odpovědí na uvedené otázky.

## **1.1 Cíle disertační práce**

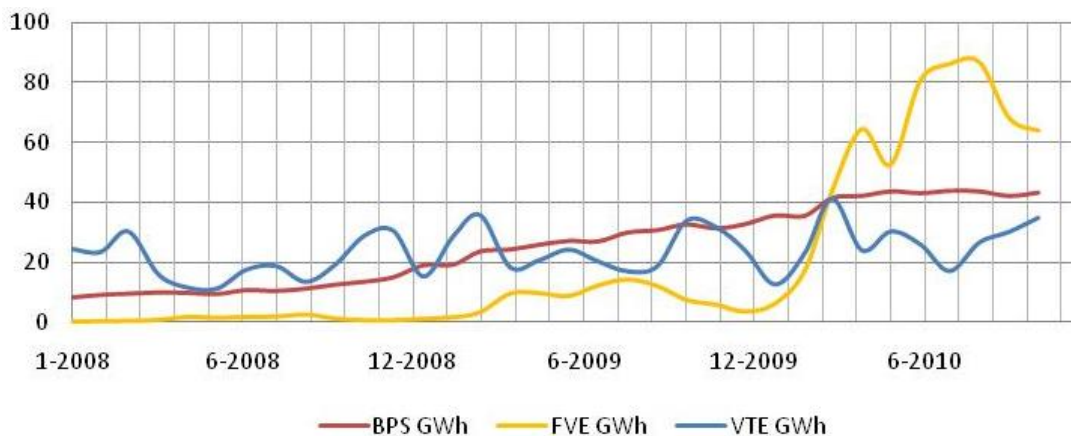
Pro práci jsem si stanovil následující cíle:

- 1) Charakterizovat provozní stavy vybraných druhů OZE s ohledem na průběh dodávaného výkonu, dále popsat možnosti predikce výroby, popř. možnosti řízení výroby z těchto zdrojů.
- 2) Vytvořit jednoduché uživatelsky přístupné modely vybraných druhů OZE pro simulaci průběhu výroby z vybraného portfolia OZE.
- 3) Simulovat denní průběh výroby stávajícího a očekávaného portfolia OZE na území ČR ve vztahu k charakteristickému dennímu průběhu spotřeby elektřiny.
- 4) Na základě provedených simulací vyhodnotit možnosti spolupráce portfolia OZE, popř. definovat optimální mix OZE

## 2 Aktuální vývoj vybraných OZE na území ČR

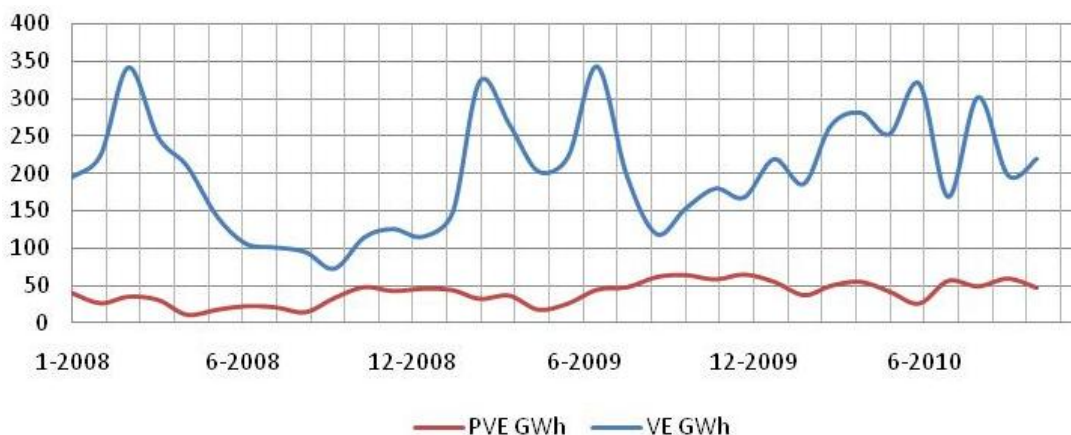
Pomyslnou startovní čarou pro využití OZE, ať už čistě pro výrobu elektrické energie nebo kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, bylo přijetí zákona 180/2005 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů. Účelem tohoto zákona je podpora využití všech forem obnovitelných zdrojů energie, dále trvalé zvyšování podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě primárních energetických zdrojů a zejména naplnění indikativního cíle podílu elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny v ČR ve výši 8% do roku 2010, pro rok 2020 je stanoven 13% podíl. Přičemž v roce 2004 činil podíl elektřiny z OZE na hrubé spotřebě 4,04%, v následujícím roce 2005 to bylo 4,48% a v roce 2009 bylo dosaženo již 6,81% podílu. Podle dosavadního vývoje lze odhadovat, že indikativní cíl 8% bude v roce 2010 naplněn.

Následující grafy ukazují nárůst výroby z vybraných OZE v posledních dvou letech a napovídají o proměnlivém průběhu dodávaného výkonu. Zcela zřejmá je závislost výroby z VE, FVE a VTE na proměnlivých klimatických podmínkách v průběhu roku.



**Obr. 1.** Měsíční výroba z vybraných druhů OZE (Bioplynové stanice, Fotovoltaické elektrárny, Větrné elektrárny).

Rostoucí podíl a realizovatelný potenciál zdrojů s nízkým využitím instalovaného výkonu, především FVE s průměrnými 900 až 1000 h/rok a VTE s průměrnými 2000 až 2500 h/rok, znamená určitý dopad na pánování a provoz ES a potřebu zabývat se možnostmi krátkodobé predikce výroby, popř. minimalizace negativního vlivu kolísavé dodávky z těchto zdrojů.



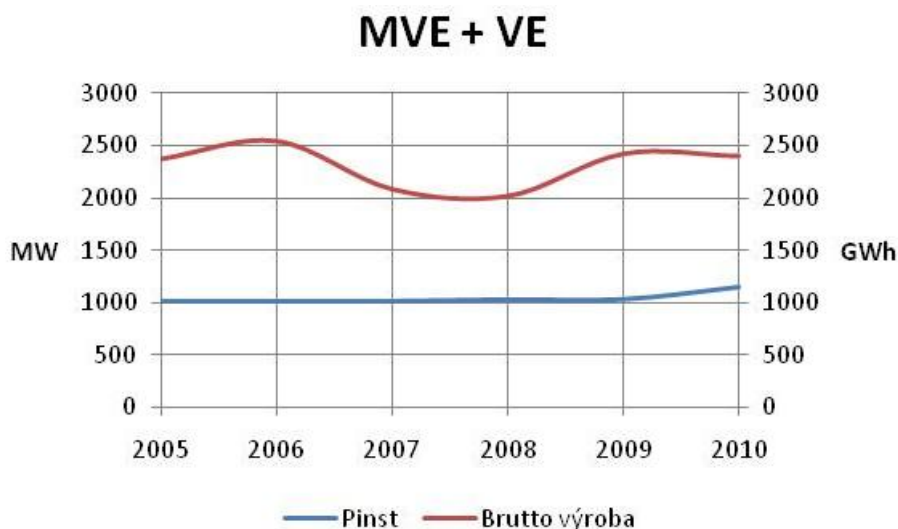
**Obr. 2.** Měsíční výroba z vybraných druhů OZE (Přečerpávací vodní elektrárny, Vodní elektrárny).

Nárůst výroby elektřiny v BPS na úroveň srovnatelnou s PVE, předpoklad dalších instalací v následujících letech napovídá o možnosti využít za určitých podmínek tyto zdroje právě pro vyrovnání kolísavé výroby ostatních OZE.

## 2.1 Malé vodní elektrárny (MVE)

Malé vodní elektrárny jsou druhem OZE s dlouhou historií a tradicí využití na území ČR. Možnost využití velkých vodních toků je v dnešní době téměř na svém maximu, potenciál dalšího rozvoje je minimální. Naopak menší toky disponují stále určitým potenciálem, který byl v minulosti více využit. Podle inventarizace z roku 1930 bylo v českých zemích v provozu více než 11,5 tisíc hydro-energetických děl s instalovaným výkonem téměř 200 MW. Od konce padesátých let došlo k postupnému rušení řady MVE, které po znárodnění zůstaly v držení některých průmyslových podniků či zemědělských družstev.

V osmdesátých letech došlo k určitému oživení v oblasti MVE, kdy byla stanovena určitá forma podpory výstavby zdrojů s výkonem řádově 10tek kilowatt jejich osvobozením od daně z příjmů po dobu 10 let od uvedení do provozu. Následně po uvolnění soukromého podnikání v roce 1990 začalo docházet především k postupné obnově zrušených či vysloužilých MVE. Podpora osvobozením od daně z příjmů pak byla stanovena na 5let pro zdroje s instalovaným výkonem do 1MW.



**Obr. 3.** Roční vývoj instalovaného výkonu a brutto výroby VE (pozn.: rok 2010 představují data z 10/2010, ke konci roku podle předpokladů beze změn).

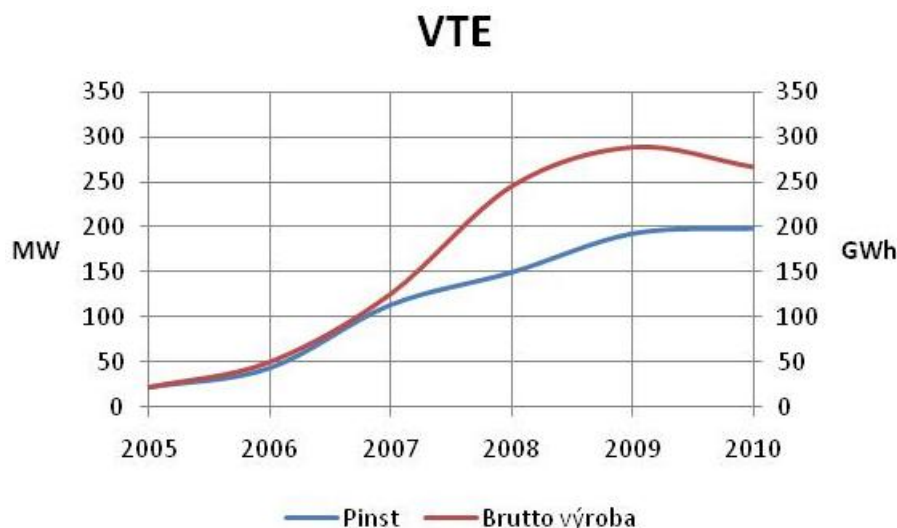
Od roku 2005, kdy byla ke stávajícímu daňovému zvýhodnění dále stanovena podpora MVE do výkonu 10MW formou pevných výkupních cen či zelených bonusů a především díky dotačním pobídkám z evropských fondů, přešel zájem investorů MVE i na doposud méně výhodné lokality.

Technicky využitelný potenciál výroby MVE je odhadován na 1600 GWh/rok, přitom brutto výroba se v posledních letech pohybuje kolem 1000 GWh/rok. Vyjdeme-li z předpokladu průměrného využití MVE 4000 h/rok, lze tedy do budoucna počítat s možnou realizací MVE s celkovým instalovaným výkonem 150MW a více. Vzhledem ke zmíněnému přechodu do méně vhodných lokalit je možné, že bude tento odhad výrazněji překročen.

## 2.2 Větrné elektrárny (VTE)

Větrné elektrárny představují OZE se značným technickým potenciálem, nicméně míra a tempo dalšího rozvoje jsou v našich podmínkách silně limitovány složitým, nákladným a zdoluhavým procesem povolovacího řízení. Doba od zahájení projektových příprav až do získání stavebního povolení dosahuje v průměru 5 až 6let. Dalším výrazným omezením je přetrvávající odpor k VTE ze strany krajských úřadů, jejichž povolení je k realizaci výstavby nezbytné. Tato byrokratická omezení v současnosti převažují nad limitujícími faktory technického rázu, jako je v letech minulých tolik diskutovaná omezená kapacita DS k připojení nových zdrojů v lokalitách vhodných k výstavbě VTE.

Pozvolný a rovnoměrný nárůst nových instalací VTE byl v letošním roce téměř pozastaven. Přestože bylo v letošním roce vydáno několik nových stavebních povolení, realizace se protahují či odkládají z různých důvodů. Výrobci VTE obvykle zahajují výrobu požadované technologie až po uzavření smlouvy a zaplacení zálohy ve výši min 30% pořizovací ceny, čekací doby na dodávku samotné VTE tak mohou být delší než jeden rok. Často také dochází k pozdržení realizace z důvodu změny vlastníků projektů. Jak již bylo zmíněno, proces získání stavebního povolení je časově i finančně náročný, následně výrobce požaduje zaplacení poměrně vysoké zálohy. Vezmeme-li v úvahu zmiňovanou průměrnou dobu 5 až 6let, za kterou je projekt přiveden do fáze stavebního povolení, dostáváme se zpětně do doby, kdy byl přijat zákon o podpoře OZE. Řada projektů tedy byla a stále je v držení finančně slabších investorů – místních „nadšenců pro VTE“, kteří vynaložili své veškeré volné prostředky v přípravné fázi a nezbývá jim potřebná equity pro zajištění financování samotné realizace (banky nabízejí financování VTE obvykle do výše max. 80% investičních nákladů).



**Obr. 4.** Roční vývoj instalovaného výkonu a brutto výroby VTE (pozn.: rok 2010 představují data z 10/2010, ke konci roku je odhadován instalovaný výkon přibližně 200 MW).

V následujících letech lze znovu očekávat nárůst nových instalací VTE, rychlost nárůstu bude dále limitována především povolovacími orgány a ve výhledu několika let, po provedení plánovaných investic do posílení přenosové i transformační kapacity v jednotlivých uzlových oblastech DS a PS, by se měla začít pozitivně projevat vzrůstající kapacita DS a tedy možnost připojení projektů doposud blokovaných právě z důvodu nedostatečné kapacity pro připojení k síti.

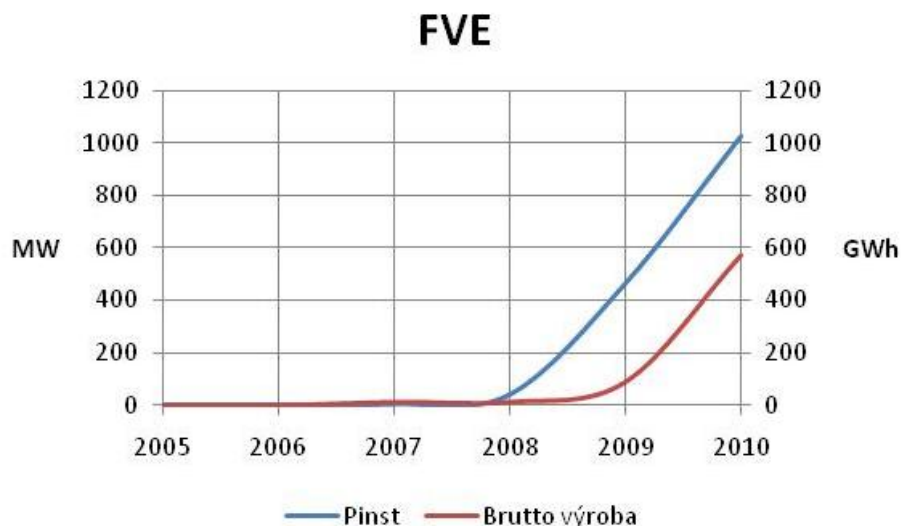
## 2.3 Fotovoltaické elektrárny (FVE)

Nejvýraznější a nejrychlejší nárůst instalovaného výkonu a tedy i výroby byl v posledních dvou letech jednoznačně u FVE. Vysoké investiční náklady, které v případě FVE tvoří až z 80% cena fotovoltaických panelů, měly za následek nastavení poměrně vysoké, ale daným poměrům odpovídající výkupní ceny pro nové budované zdroje. Celosvětově narůstající poptávka po technologii FVE pak v následujících letech zajistila výrazné navýšení výrobních kapacit. Pořizovací cena nejrozšířenější technologie (mono a polykrystalických modulů) pak zcela logicky začala i přes stále vzrůstající poptávku velmi rychle klesat. Naproti tomu příslušná legislativa v ČR omezovala meziroční pokles výkupní ceny o max. 5%.

Vzhledem k relativní jednoduchosti a rychlosti realizace FVE (včetně povolenáčního řízení), stejně tak minimálním nárokům na obsluhu a údržbu, přilákalo toto odvětví množství finančních investorů poohlížejících se v době finanční krize po „bezpečných“ investičních příležitostech.

Ačkoliv lze definovat regiony s vyšším zastoupením FVE, přírodní podmínky umožňují realizaci FVE de-facto na celém území ČR. Na rozdíl od VTE, které jsou koncentrovány do určitých regionů s vhodným větrným potenciálem, nedošlo v případě FVE k jejich výraznému omezení vlivem nedostatečné kapacity DS pro připojení těchto zdrojů.

Současná legislativa byla upravena právě na základě nepřiměřeně vysoké podpory výroby FVE a dále pak byla vládou přijata dočasná opatření jejichž cílem je určité narovnání podmínek u FVE realizovaných v posledních dvou letech, které na legislativních nedostacích „vydělaly“ nejvíce.



**Obr. 5.** Roční vývoj instalovaného výkonu a brutto výroby FVE (pozn.: rok 2010 představují data z 10/2010, ke konci roku je odhadován instalovaný výkon až 1,6 – 1,8 GW).

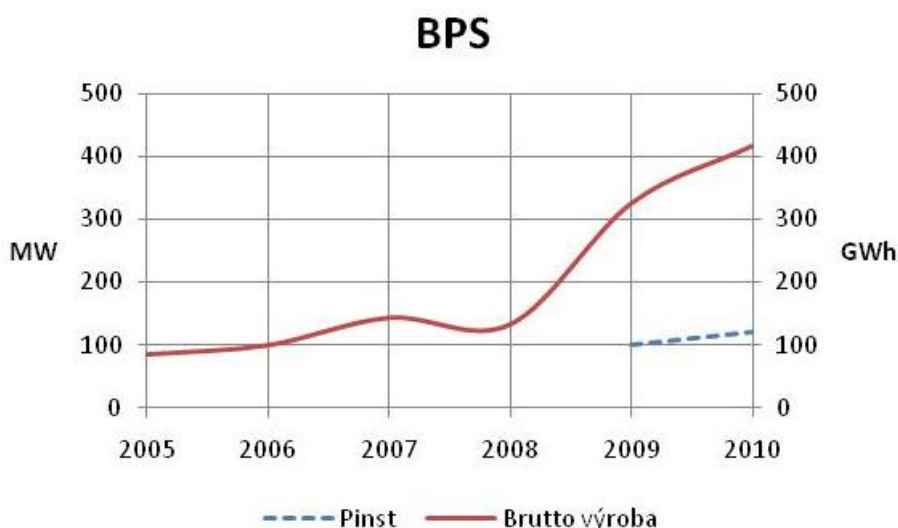
Ačkoli je účelnost především dočasných opatření diskutabilní, výkupní ceny již mohou podle upravené legislativy pružněji reagovat na změny na trhu s technologií OZE. Díky tomu od roku 2011 výrazně poklesne výkupní cena pro nově budované FVE, a to až o polovinu ve srovnání s rokem 2010. Tempo růstu posledních dvou let, které udávaly velké instalace FVE na volných plochách, by tedy mělo výrazně zvolnit právě s přechodem na drobné instalace na střechách či fasádách budov.

## 2.4 Bioplynové stanice (BPS)

Nárůst instalovaného výkonu a výroby elektřiny ve zdrojích spalujících bioplyn je způsoben významnou a dvojnásobnou podporou BPS. Základním hnacím motorem pro rozvoj v oblasti bioplynu je garance výkupu elektřiny za dotovanou cenu, která byla v roce 2009 výrazně navýšena s cílem rozlišení podpory pro BPS zpracovávající především cíleně pěstované plodiny od zdrojů zpracovávajících odpady. Další významnou podporou jsou finanční prostředky zejména z evropských fondů.

Dotace poskytované na realizaci BPS obvykle představují až 30% investičních nákladů, což v průměru snižuje návratnost investice pod hranici 10let. Pro subjekty zabývající se zemědělskou prvovýrobou pak má investice do BPS další významný efekt, jsou totiž závislí na kolísavém pohybu cen zemědělských komodit na burze a navíc takto inkasují tržby pouze jednou až dvakrát do roka. Zužitkují-li tedy v BPS část vlastní zemědělské produkce v předem daném množství, ceně a při měsíční fakturaci za dodanou elektrickou energii, stabilizují tak svou finanční situaci a celkové cashflow.

Finanční prostředky z evropských fondů musejí být rozděleny nejpozději do konce roku 2013 a následně po splnění podmínek poskytnutí dotace proplaceny nejpozději do roku 2015. Dá se tedy předpokládat zachování či další navýšení tempa růstu instalovaného výkonu a výroby z BPS až do konce roku 2015.



**Obr. 6.** Roční vývoj instalovaného výkonu a brutto výroby BPS (pozn.: rok 2010 představují data z 10/2010; statistiky zveřejňované ERÚ udávají samostatně pro bioplyn pouze výrobu – do roku 2008 společně s důlními plyny, instalovaný výkon pouze jako celkový plynových elektráren; různě dostupné statistiky či odhady se výrazně rozcházejí, aktuálně však lze uvažovat s hodnotou převyšující 120MW elektrického výkonu).

Ačkoliv je realizovatelný potenciál především zemědělských BPS značný, pak v porovnání s FVE je míra a rychlost rozvoje omezena. Jako limitní faktory zde působí složitější proces povolovacího řízení, náročnost a doba samotné realizace, dále pak sice dostatečná, ale kapacitně omezená základna dodavatelů staveb a technologie BPS. Dočasným, ale zásadním omezením je pozastavení povolování nově podaných žádostí o připojení OZE k DS. Opětovné vyřizování nových žádostí o připojení lze očekávat v průběhu roku 2011, kdy by se již měly projevit legislativní změny přijaté v roce 2010, které jsou cílené především na FVE.



### 3 Charakteristika vybraných OZE

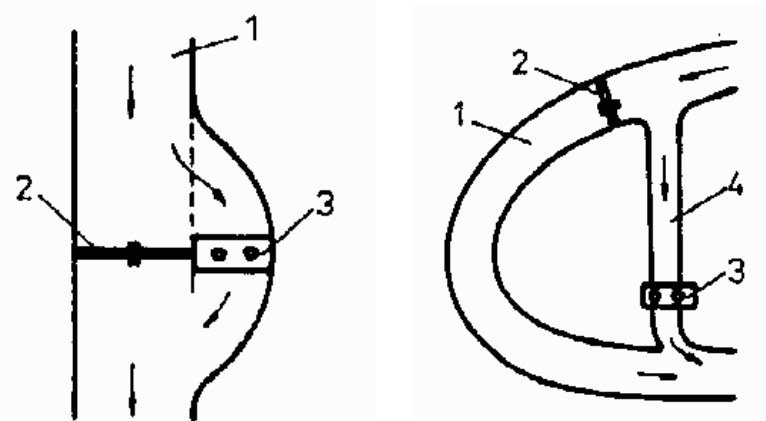
Cílem této části je charakterizovat typické instalace a průběh výroby, resp. dodávaného výkonu vybraných druhů OZE tak, aby bylo možné dále simulovat výrobu celého portfolia OZE ve vztahu k průběhu spotřeby elektřiny.

Dalším cílem je nastínit možnosti predikce výroby z jednotlivých druhů OZE, která je nezbytným předpokladem pro další úvahy směřované k možnostem regulace výkonu celkového portfolia OZE, ať už celorepublikově či pouze regionálně.

Přehled vývoje OZE uvedený v předchozí kapitole napovídá o zaměření na MVE, VTE, FVE a BPS. Jedná se o zdroje podporované dotovanými výkupními cenami, popř. dalšími investičními pobídkami, které již v současnosti nebo výhledově budou zastávat významný podíl na celém portfoliu OZE.

#### 3.1 Malé vodní elektrárny (MVE)

Technické řešení většiny MVE je dáno charakterem vodních toků v ČR. Většina stávajících i nově navrhovaných MVE jsou řešeny jako průtočné, dispozičně pak jako jezové (příjezové) nebo derivační.



*Obr. 7. Dispozice MVE – jezové (příjezové) vlevo, derivační vpravo.  
(1 – vodní tok, 2 – jez, 3 – MVE, 4 – přivaděč)*

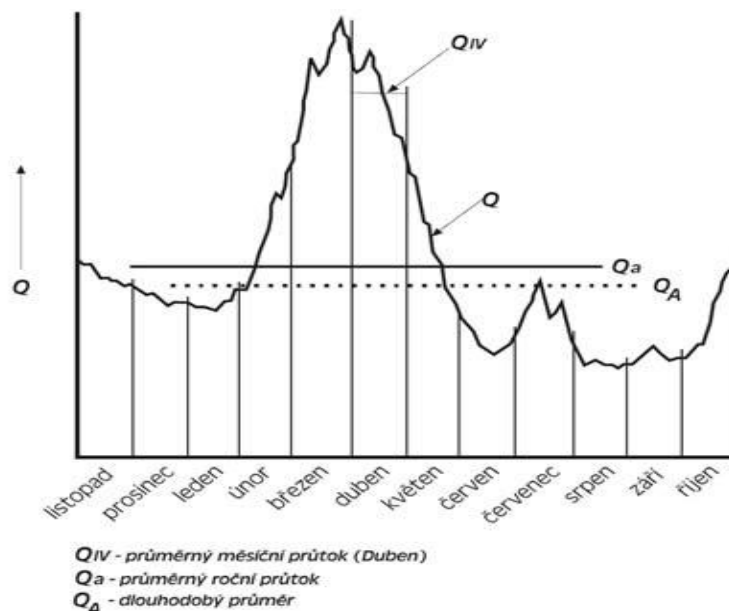
Potenciál přirozených toků s nízkými jezy (malým spádem) a značně proměnlivým průtokem v průběhu roku lze nejlépe využít s turbínami na principu Kaplan či SemiKaplan, Bánki a pro velmi malé výkony vrtulovou či šnekovou turbínou. Konkrétní volba je pak dána využitelným spádem, povoleným využitelným průtokem (resp. minimálním zůstatkovým průtokem vodního toku) a v neposlední řadě potřebami a finančními možnostmi investora.

##### 3.1.1 Charakteristika provozu MVE

Dodávaný výkon průtočných MVE závisí výhradně na okamžitém průtoku daného toku, který nejen že udává disponibilní průtok pro turbíny MVE, ale ovlivňuje další

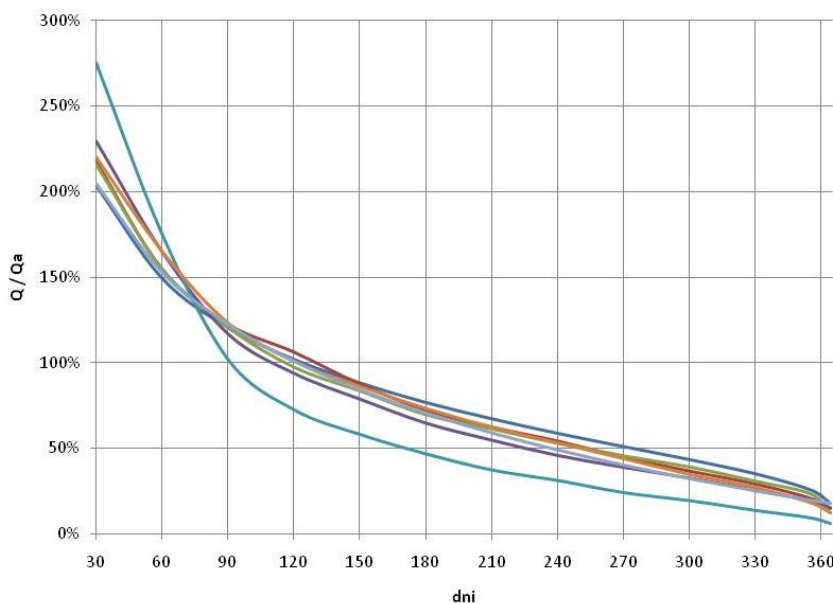
parametr – spád na turbíně. Pro charakterizaci provozu MVE v průběhu roku či kratším úseku v rámci měsíce či dne je tedy nutné vycházet z průběhu průtoku.

Z časového hlediska lze identifikovat periodické změny průtoku v rámci roku, které vhodně znázorňuje následující obrázek převzatý z publikace k využití vodní energie vydané spol. EkoWATT.



**Obr. 8.** Typický průběh průtoku v roce. Převzato z EkoWATT.

Typický nárůst průtoku až na své roční maximum nejčastěji dosahované v jarních měsících (březen, duben) je způsoben táním sněhové pokrývky, velkou intenzitou a četností dešťových srážek v tomto období a zároveň vysokým stupněm nasycenosti půdy, kdy téměř nedochází k vsakování. Naopak minimální průtoky jsou typické pro letní až podzimní měsíce (srpen až říjen), způsobené minimálním množstvím srážek, společně s vysokým výparem a nasákavostí půd.



**Obr. 9.** Charakteristické M-denní křivky průtoku několika různých toků v místech realizovaných MVE – pro možnost srovnání vztahené na svůj průměrný průtok.



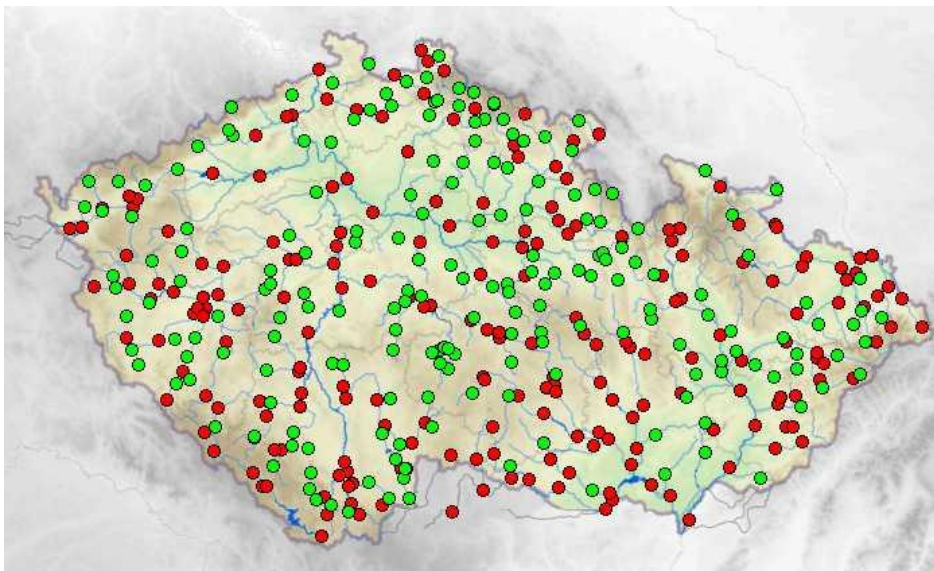
Četnost výskytu (počet dní) jednotlivých průtoků v průměrném vodním roce pak vyjadřuje tzv. křivka M-denních průtoků. Předchozí obrázek ukazuje několik takovýchto křivek, které jsou pro srovnání vyjádřeny relativně ve vztahu ke svému průměrnému průtoku. Znárodněny jsou profily průtoku v místě realizovaných MVE elektráren s různými parametry (průtok a spád). Z grafu je zřejmá jejich obecná shoda, pouze v jednom případě je křivka odlišná a svým charakterem odpovídá horským oblastem (krátkodobě několikanásobně vyšší průtoky ročního nízkého průměru).

Denní průběhy průtoků jsou bez periodických změn, většinou stabilní, s nárůstem či poklesem se strmostí odpovídající úhrnu srážek či rychlosti tání sněhu (blíže znázorněno v následující kapitole).

### 3.1.2 Možnosti predikce výroby MVE

Přestože MVE jsou realizovány na tocích s kolísavým průtokem závislým na ročním období a aktuálním počasí, lze výrobu MVE na týdenní či denní bázi poměrně úspěšně predikovat. Kvalita predikce výroby je závislá na kvalitě predikce průtoků a výšky hladiny na příslušném říčním profilu. Vzhledem k dlouholeté tradici organizované hydrologické služby, která na našem území vznikla již roku 1875, je systém sledování a predikce hydrologické situace provozovaný nyní CHMÚ a Správou povodí poměrně propracovaný a spolehlivý.

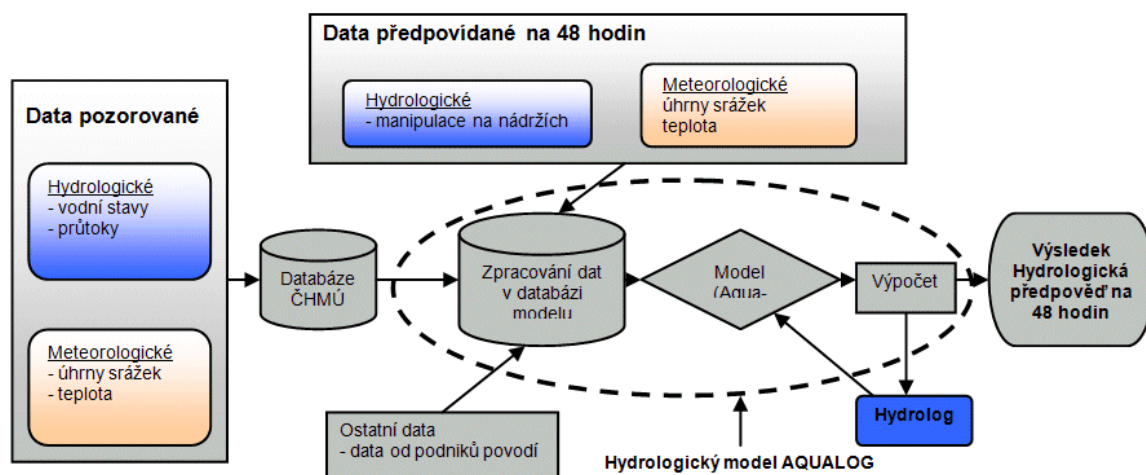
Standardizovaná předpovědní činnost je zavedena od roku 2002 v rámci předpovědní povodňové služby a zajišťuje ji CHMÚ. Sběrem dat ze stovek hlásných profilů zřízených na vodních tocích, údajů o srážkách na území jednotlivých povodí i průběžném vyhodnocování množství vody ve sněhové pokrývce jsou následně předpovídány hodinové průtoky pro následujících 48 hodin. Pro tento účel jsou využívány různé modely charakterizující jednotlivá povodí (např. AquaLog pro povodí Labe, HYDROG pro povodí Moravy a Odry, apod.).



**Obr. 10.** Hlásné profily – kategorie A (červeně), kategorie B (zeleně); liší se předepsanou vybaveností a četností sběru dat

Pravděpodobnost předpovědi klesá s prodlužujícím se časovým předstihem a obecně je menší pro zdrojové (pramenné) oblasti s menší plochou povodí, kde je větší nejistota daná převažujícím vlivem modelování srážek a odtoků, případně modelováním

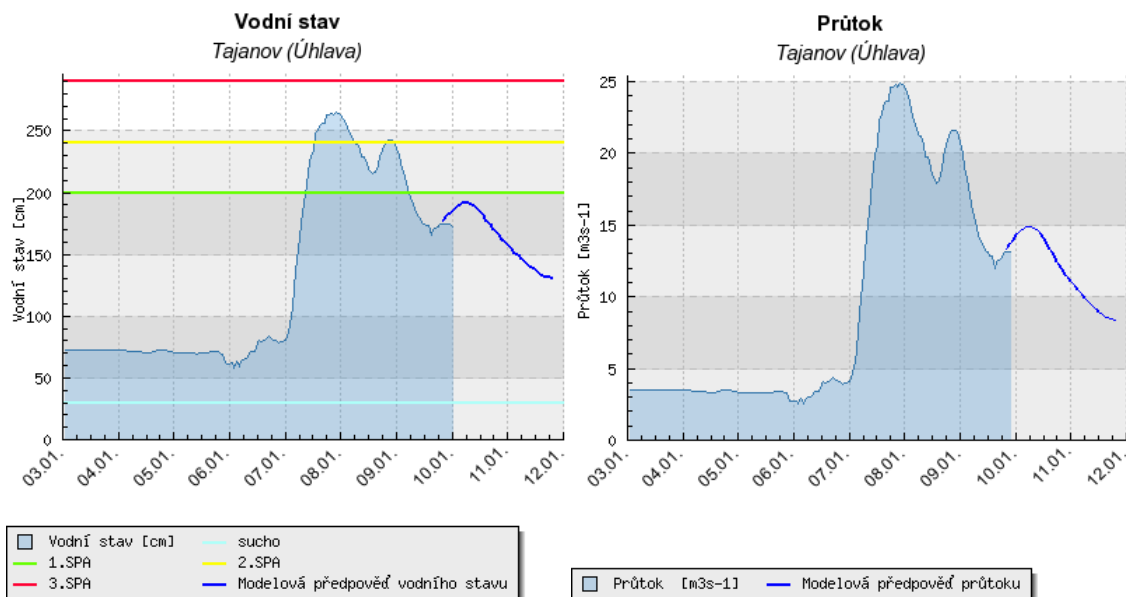
tání sněhové pokrývky. Kvalita predikce je tedy výrazně ovlivňována především meteorologickými vstupy, které jsou rovněž výsledky jiných predikčních modelů. Proto je při zvýšených průtocích zvýšena četnost sběru dat a modelování průtokových profilů s cílem postupného upřesňování predikce.



**Obr. 11.** Schéma hydrologického systému Aqualog

Na základě vyhodnocování úspěšnosti predikce povodňových situací lze říci, že predikce pro časový předstih do 12h dosahují pravděpodobnosti 70% a více pro zdrojové (pramenné) oblasti (malá plocha povodí), resp. 90% a více pro dolní části toků (velká plocha povodí).

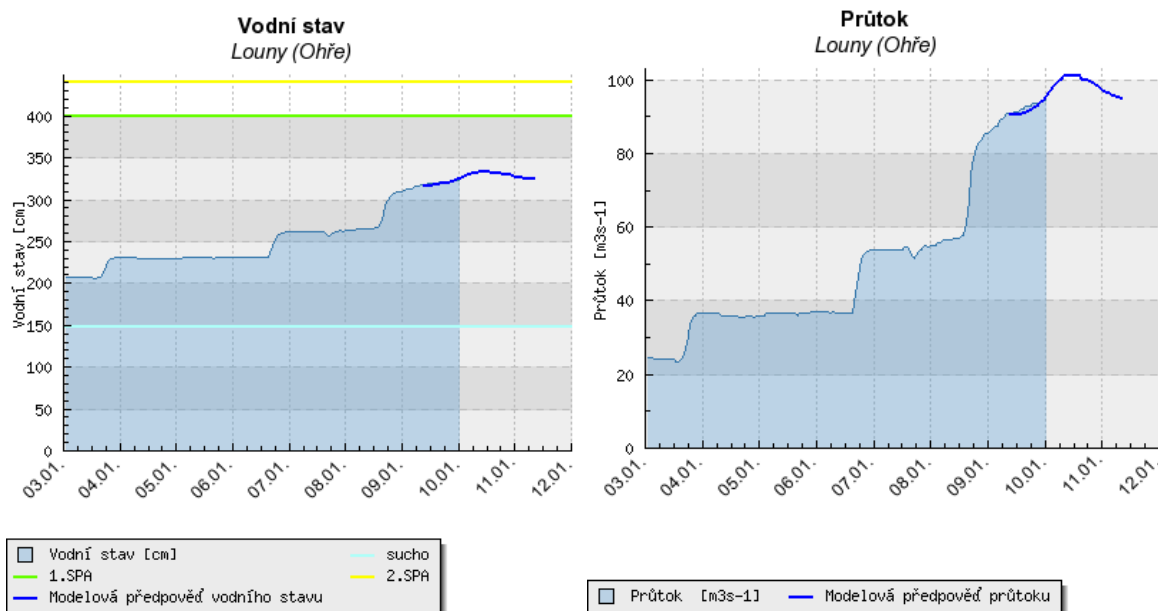
Následující obrázky ukazují grafický výstup aktuálních a predikovaných hodnot stavu hladiny a průtoku na vybraných profilech v době zvýšených průtoků s nástupem povodňového stavu.



**Obr. 12.** Grafický výstup profilu Tajanov– Úhlava – vlevo výška hladiny, vpravo průtok; tmavě modrá linie značí predikovaný stav na následujících 48 hodin.

Plynulé změny výšky hladiny a průtoků jsou charakteristické pro přirozené toky bez významného zásahu, i když v tomto případě (viz Tajanov) velmi strmé díky dešťům a

rychlému tání sněhu. Naopak stupňovité skokové změny jsou charakteristické pro toky ovlivněné řízeným odtokem z významných vodních děl, jako např. vodní nádrž Nechranice, jak dokládá následující grafický výstup ze sledovaného profilu na Ohři v Lounech.



**Obr. 13.** Grafický výstup profilu Louny – vlevo výška hladiny, vpravo průtok; tmavě modrá linie značí predikovaný stav na následujících 48 hodin.

Informace o stavech průtoků získávané v poměrně husté síti hlásných profilů v rámci předpovědní povodňové služby a pravidelně zpracovávané predikce pro vybrané profily jednotlivých povodí tedy lze využít pro krátkodobou predikci výroby elektřiny z MVE a VE.

Pro vytvoření predikčního modelu jsou zcela zřejmě nezbytné také informace o provozním stavu a dodávaném výkonu MVE. Moderní řídicí a monitorovací systémy nově budovaných MVE buď již jsou vybaveny možností bezdrátového přenosu dat, nebo je lze tímto systémem snadno dovybavit. Stejně možnosti jsou u rekonstruovaných starších MVE a VE, které jsou vybavovány moderními řídicími a monitorovacími systémy. Postupem času tak lze do predikčního modelu zapojit dostatečné množství MVE a zvyšovat tak kvalitu krátkodobé předpovědi výroby z těchto zdrojů.

## 3.2 Větrné elektrárny (VTE)

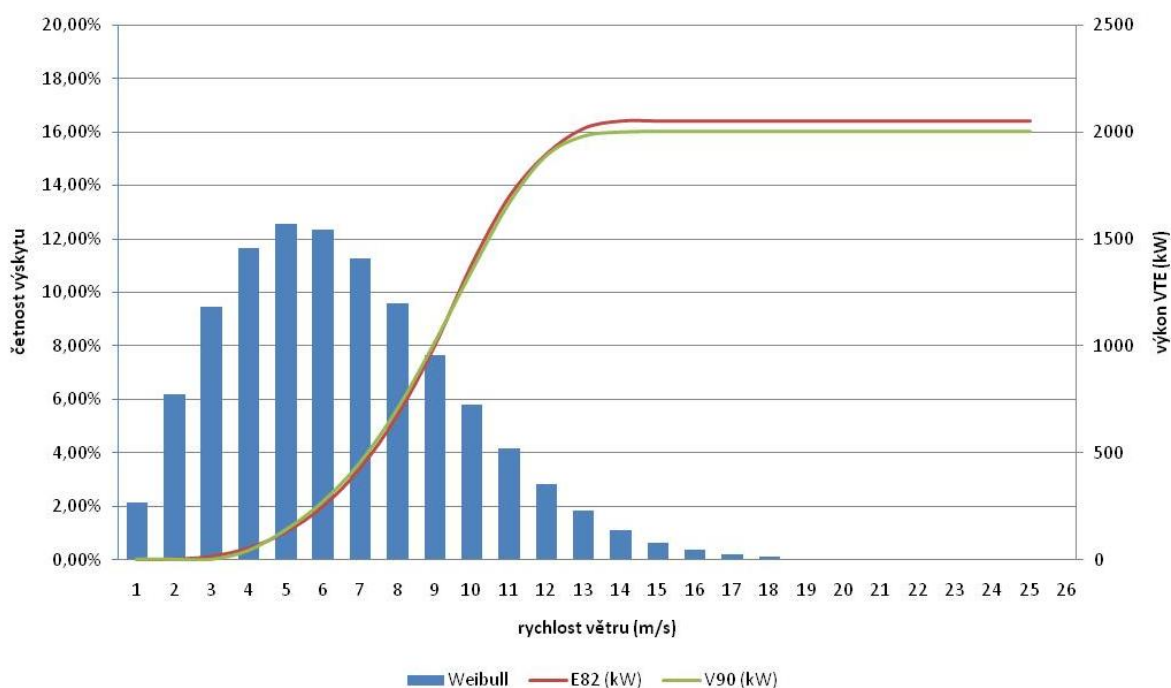
Rozvoj využívání větrné energie na výrobu energie elektrické přišel koncem 80. a začátkem 90. let 20. století, kdy bylo na našem území instalováno přibližně 20 větrných elektráren se jmenovitými výkony v řádu desítek kilowatt. Tyto stroje vesměs domácí výroby vykazovaly řadu nedostatků a jejich provoz často komplikovala řada technických problémů, nebo byly instalovány na nevhodných lokalitách. Postupně pak proto došlo k jejich odstavení z provozu či úplné demontáži. S technologickým rozvojem a legislativní podporou výroby elektrické energie v obnovitelných zdrojích energie OZE došlo na začátku 21. století k oživení využití větru pro výrobu elektrické energie na území ČR.

Zaměříme-li se na současnou technologii VTE větších výkonů, má v dnešní době význam rozdělení technologie VTE podle typu používaného generátoru (synchronní, asynchronní) současně s použitím či nepoužitím převodovky. Z hlediska rozměrů technologie současných VTE probíhá vývoj směrem ke zvyšování intenzity využití větrné energie na prostorově omezených lokalitách, tzn. výšky věží VTE se pohybují v rozmezí 70 až 130m a průměry rotorů 70 až 120m, tyto údaje platí pro VTE o jmenovitých výkonech 1,5 až 3,5 MW, nejběžněji zastoupené jsou výkony 2 MW, 2,3MW a 3MW. V podmínkách na území ČR připadá v úvahu nejpočetnější zastoupení 2MW strojů.

### 3.2.1 Charakteristika provozu VTE

Dodávaný výkon VTE je značně závislý především na rychlosti větru, dále pak na hustotě vzduchu, tzn. tlaku a teplotě. Na území ČR je rychlost větru v čase velmi proměnlivá, což je dáno geografickou polohou a charakteristickou orografií.

Následující graf znázorňuje typické rozložení četnosti rychlostí větru v roce a tomu odpovídající dodávaný výkon v současnosti i výhledově nepoužívanějších VTE o výkonu 2MW, Vestas V90 a Enercon E82.

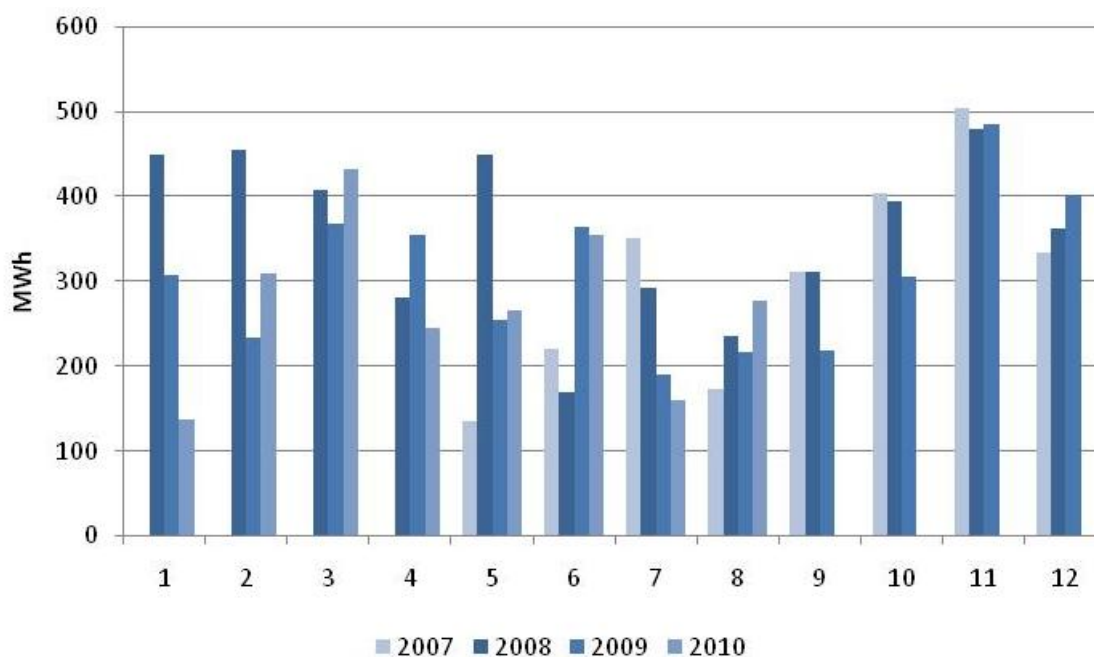


**Obr. 14.** Typická četnost výskytu rychlostí větru v lokalitě vhodné pro využití větrné energie na území ČR a tomu odpovídající výkony VTE (V90 a E82).

Při uvažované průměrné rychlosti větru 6,0 m/s ve výšce 100m nad zemí a uvedeném charakteristickém rozložení četnosti rychlostí větru vychází průměrná velikost dodávaného výkonu přibližně 570 kW pro Vestas V90, resp. 535 kW pro Enercon E82. Tomu odpovídá průměrná roční produkce 5000 MWh (V90), resp. 4700 MWh (E82).

Z časového hlediska lze obecně blíže charakterizovat periodické změny ročního a denního chodu větru (průměrných rychlostí větru). V rámci roku jsou maxima průměrných rychlostí větru v zimních měsících, minima pak v měsících letních. Velikost rozdílu závisí na nadmořské výšce a tvaru orografie konkrétní lokality, přičemž pro lokality vhodné pro realizaci VTE lze obecně uvažovat letní minima odpovídající 60-80% maxima zimních měsíců.

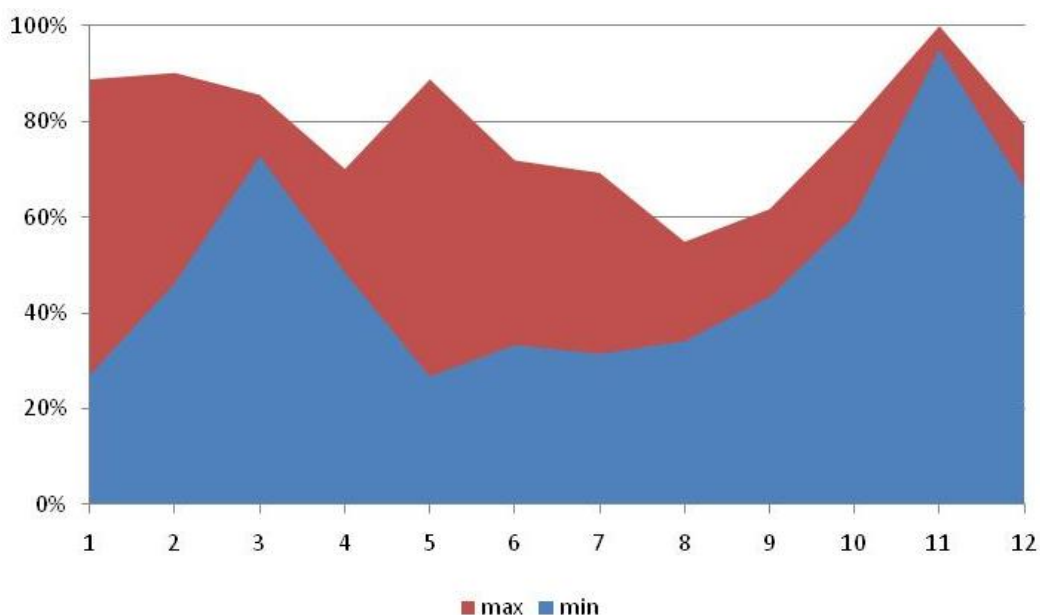
Závislost výkonu na hustotě vzduchu, která je dána tlakem, teplotou a vlhkostí, tento rozdíl dále zvětšuje. Rozdílná hustota výkonu větru ( $W/m^2$ ) tak výstižněji popisuje rozdíly mezi letním a zimním obdobím, kdy dlouhodobá letní minima jsou na úrovni 35-45% hodnot v zimních měsících.



**Obr. 15.** Měsíční výroba za období 5/2007 – 8/2010, VTE s výškou věže 80m a výkonem 2MW, lokalita s nadmořskou výškou 680m v Oderských horách.

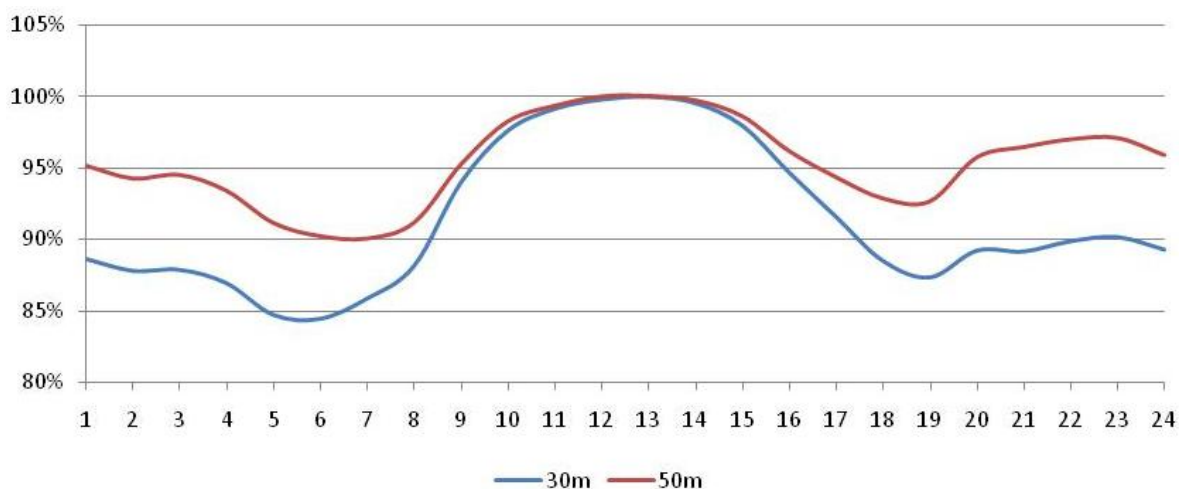
Jak ukazuje předchozí a zřetelněji následující graf, skutečná výroba může být ovlivněna dalším charakteristickým jevem – námrazou. Námraza vzniká za určitých podmínek nejčastěji v prosinci, lednu a únoru. Ledová vrstva narůstající na listech rotoru VTE mění jejich profil, což samo o sobě snižuje účinnost rotoru, dále pak způsobuje nepřípustné vibrace a řídicí systém VTE zastaví provoz. Někteří výrobci nabízejí pro některé typy VTE vyhřívání listů rotoru, které urychlí tání a opadání vzniklé námrazy. Tento komfort však znamená vyšší pořizovací cenu VTE a vyšší provozní náklady, celkový přínos je tak diskutabilní a většina provozovaných i připravovaných VTE bude a je bez vyhřívání listů rotoru. Skutečná výroba v zimních měsících tedy nekoresponduje vždy s hustotou výkonu větru.





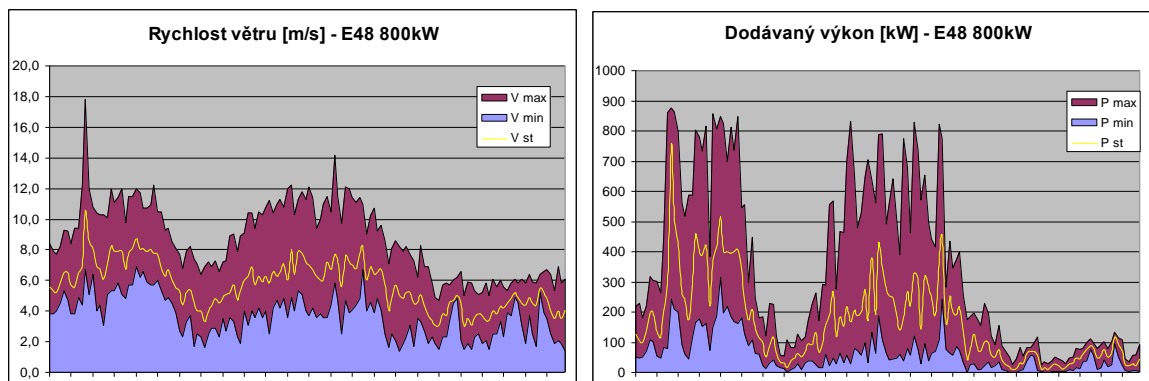
**Obr. 16.** Relativní měsíční maxima a minima výroby vztažená na maximální hodnotu ve sledovaném období. Lednová a únorová minima jsou způsobena výhradně omezením provozu VTE vlivem námrazy. (Data z lokality VTE za období 5/2007 – 8/2010)

Denní chod rychlosti větru charakterizuje následující graf, který znázorňuje roční průměrné hodnoty během dne, měřené ve 30 a 50m nad zemí v lokalitě plánované VTE. Z průběhů jsou zřejmá minima v ranních hodinách (mezi 5 až 7h), poté nárůst až na maxima v poledních a odpoledních hodinách (11-15h), znovu pokles téměř k ranním hodnotám (kolem 18-19h) a opět mírný nárůst až do půlnoci. S rostoucí výškou nad zemí se rozdíly v denním chodu rychlosti větru vyrovnávají, projevují se tak především u nižších VTE a výraznější jsou při nižších rychlostech větru. Denní chod rychlosti větru a tomu odpovídající průběh výkonu je patrný i z dalších obrázků 18 a 19.



**Obr. 17.** Relativní rychlost větru vztažená na maximální hodnotu, ve výšce 30m a 50m nad zemí. (data z ročního měření v lokalitě plánované VTE)

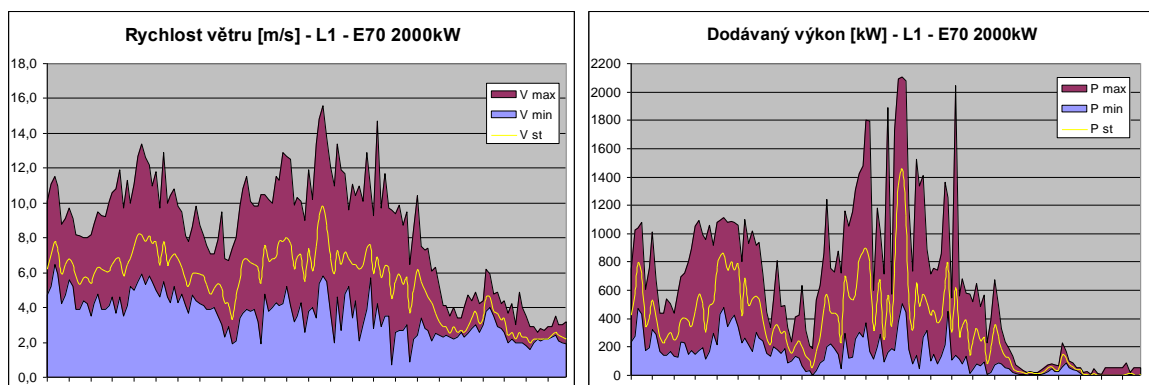
Důležitým aspektem je také rozdílné chování a kolísání výkonu během provozu VTE za průměrných větrných podmínek v porovnání s méně častými vyššími rychlostmi větru. Následující série obrázků ukazuje zaznamenané 10ti minutové údaje rychlosti větru a dodávaný výkon VTE za průměrných povětrnostních podmínek v blízkých lokalitách ve stejném časovém období.



**Obr. 18.** Minima, maxima a střední hodnoty rychlosti větru a dodávaného výkonu E48 800kW v desetiminutových intervalech zaznamenané 5. 3. 2008

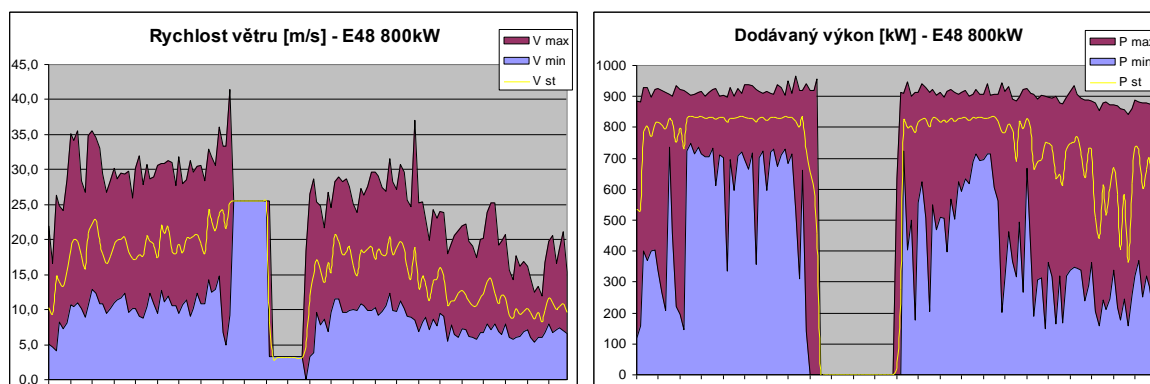
Z uvedených grafů je patrná výrazná fluktuace rychlosti větru a tomu příslušná změna výkonu VTE jednak během 24 hodin, ale zejména v rámci 10ti minutových intervalů. Zcela logicky dochází k největším změnám výkonu při kolísajících rychlostech větru, kterým odpovídá největší strmost výkonové charakteristiky VTE. Vzhledem k malému jmenovitému výkonu uvažované VTE nejsou změny výkonu v rozsahu 200 až 600 kW s vým vlivem na ES nijak zásadní.

Podíváme-li se na údaje ze stejného časového období zaznamenané na další VTE Enercon E70 o jmenovitém výkonu 2MW v jiné lokalitě, fluktuace výkonu stroje s větším jmenovitým výkonem je značná a dosahuje až 80% jmenovitého výkonu během 10ti minutového intervalu. Za povšimnutí stojí patrný rozdíl v dodávaném výkonu v poledne (uprostřed osy x) a v nočních a ranních hodinách (v levé části grafu), kdy je výkon stroje omezen na polovinu z důvodu dodržení noční hladiny hluku v nedaleké zástavbě.



**Obr. 19.** Minima, maxima a střední hodnoty rychlosti větru a dodávaného výkonu E70 2000kW v desetiminutových intervalech zaznamenané 5. 3. 2008

Zcela odlišné je chování strojů při vysokých rychlostech větru dosahujících limitních provozních hodnot VTE. Následující grafy znázorňují zaznamenané hodnoty během vichřice „Emma“ ze dne 1. 3. 2008 pro stejné stroje a lokality.



**Obr. 20.** Minima, maxima a střední hodnoty rychlosti větru a dodávaného výkonu E48 800kW v desetiminutových intervalech zaznamenané 1. 3. 2008 („Emma“)

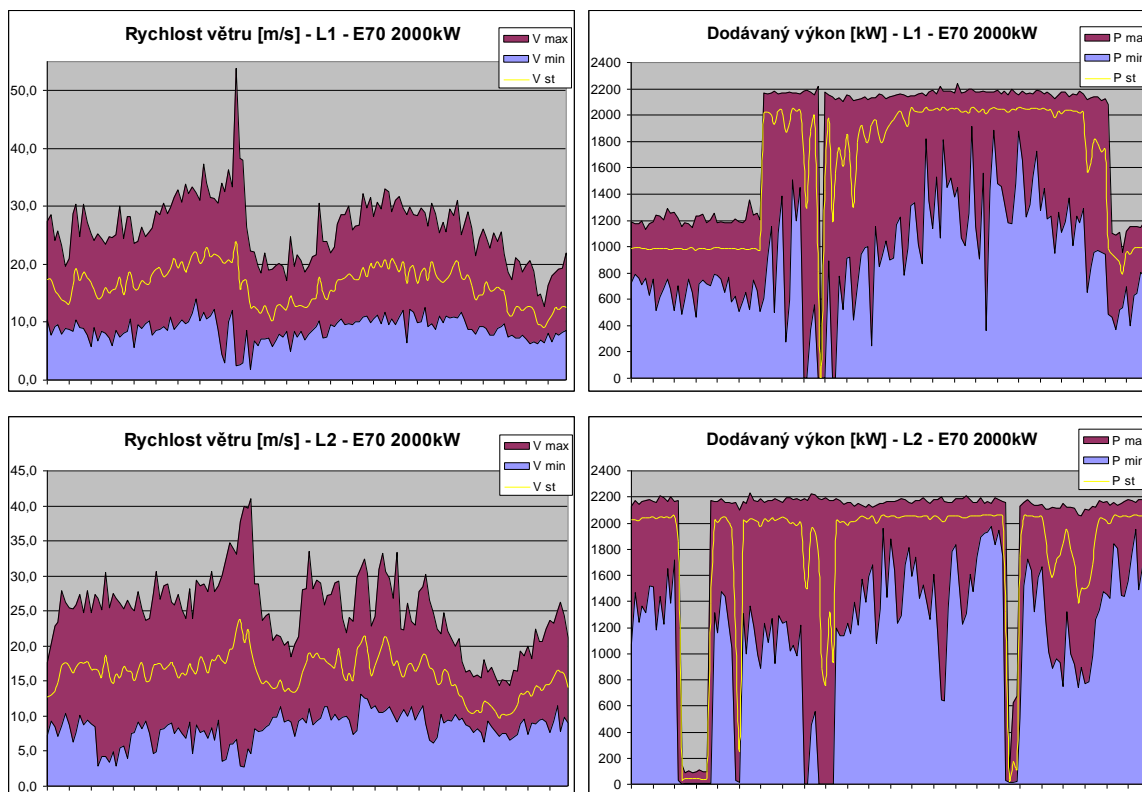
Limitní provozní, resp. „odpojovací“, rychlosti větru stroje E48 udává výrobce v rozmezí 28 až 34 m/s. Odpojování, či spíše zastavování, stroje při extrémních rychlostech větru kontroluje řídicí systém VTE, každý výrobce má svůj specifický (v případě Enerconu jde o software „ENERCON Storm control“). Cílem tohoto systému je snížit výkon, tzn. rychlost otáčení, natočením listů rotoru. Pokud extrémní porывы větru trvají velmi krátce, natočí se listy rotoru zpět do polohy optimálního výkonu, v opačném případě se natáčí do polohy, kdy působí jako brzda. Uvedené provozní hodnoty stroje E48 ukazují na podstatně nižší kolísání výkonu při jmenovitých rychlostech větru v rozsahu max. 200kW, přičemž střední hodnota výkonu v 10ti minutových intervalech je téměř konstantní. Dále v čase 8:20 až 8:30 došlo k zastavení stroje, resp. snížení otáček na 0 až 1 ot/min, průměrná rychlost větru ve sledovaném 10ti minutovém intervalu překročila hodnotu 25m/s a max. zaznamenaná hodnota byla 41,5 m/s. K obnově provozu došlo až po 4 hodinách vzhledem k chybovému hlášení a poruše anemometru.

Podobnou situaci můžeme pozorovat na dalších grafech zobrazujících 10ti minutové hodnoty zaznamenané v téže době, tj. 1.3.2008 0:00 až 23:50, na strojích E70 o jmenovitém výkonu 2MW v různých lokalitách (L1 a L2) připojených do stejného uzlového bodu ES. Stroj L1 je omezen na poloviční výkon z důvodu dodržení hlukových limitů pro noční provoz (22:00 až 6:00 hodin), jak je patrné z příslušného grafu. Během vichřic, či jiných méně častých označení výskytu extrémních rychlostí větru, dochází ke značnému kolísání rychlosti větru ( $\Delta v > 20$  až 30 m/s) v porovnání s „normálními“ podmínkami ( $\Delta v < 10$ m/s) v rámci sledovaných 10ti minutových intervalů. Při extrémních rychlostech větru se odpovídající kolísání výkonu většinou pohybuje v rozsahu 30 až 50% jmenovitého výkonu VTE, v porovnání s rychlými změnami dodávaného výkonu v rozsahu 10 až 80% jmenovitého výkonu za normálního provozu.

Enercon pro VTE typu E70 udává rychlost větru pro odpojení opět v rozsahu 28 až 34 m/s, nicméně rozhodující je limitní hodnota otáček rotoru, u sledovaného typu VTE je to 21,5 ot/min. Z posuzovaných případů je patrná zcela nemožná předpověď odstavení

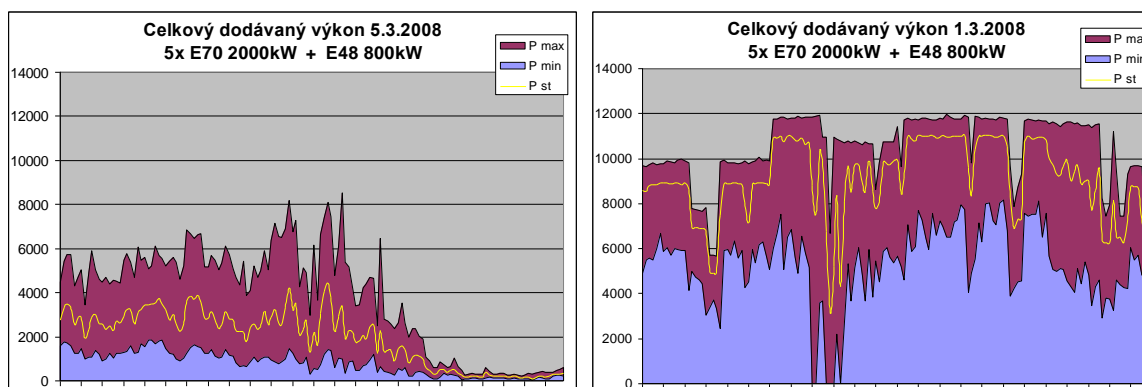


VTE z pohledu času a délky trvání, stejně tak četnosti odstávek při extrémních rychlostech větru.



**Obr. 21.** Minima, maxima a střední hodnoty rychlosti větru a dodávaného výkonu E70 2000kW v desetiminutových intervalech zaznamenané 1. 3. 2008 („Emma“) ve dvou různých lokalitách VTE.

Jak se projeví soudobost chování jednotlivých VTE zapojených do stejné uzlové oblasti při extrémních a normálních podmínkách ukazují následující grafy. Celkem 6 posuzovaných strojů v různých lokalitách s celkovým instalovaným výkonem 10,8 MW při provozu za průměrných větrných podmínek (viz. 5. 3. 2008) dodává do sítě přibližně 25% až 35% instalovaného výkonu, rozdíl mezi min. max. a hodnotou výkonu v rámci 10min. intervalů se většinou pohybuje kolem 50% až 60% instalovaného výkonu.



**Obr. 22.** Minima, maxima a střední hodnoty celkového dodávaného výkonu VTE 5x E70 2000kW + E48 800kW v desetiminutových intervalech zaznamenané 1. 3. 2008 („Emma“) a 5. 3. 2008.

Za extrémních povětrnostních podmínek (viz. 1. 3. 2008) odpovídal dodávaný výkon celkovému instalovanému výkonu a nastavenému provoznímu režimu VTE (omezení výkonu dvou strojů E70 v čase 22:00 až 6:00 z důvodu dodržení hlukových norem).

---

Odstavování jednotlivých VTE vlivem překročení limitních rychlostí větru se na průběhu dodávaného výkonu projevilo výraznými skokovými změnami. Nejvýraznější kolísání výkonu bylo způsobeno téměř současným krátkodobým odstavením celkem tří 2MW strojů a omezením výkonu ostatních VTE, kdy během 30 minut došlo k poklesu výkonu z původních 10MW na cca 3,5MW a v následujících 10 až 30 minutách opět nárůst na hodnotu blízkou celkovému instalovanému výkonu.

### 3.2.2 Možnosti predikce výroby VTE

Možnosti a kvalita predikce výroby VTE se odvíjí od meteorologické předpovědi počasí. Nejvyužívanějším nástrojem předpovědi počasí je numerický předpovědní model, jehož základ tvoří dynamické jádro, které numerickými metodami přibližně řeší soustavu rovnic popisujících fyzikální zákony vývoje atmosféry. Vstupními daty pro tento model jsou již zpracované naměřené údaje ze sítě meteorologických stanic. Český hydrometeorologický ústav (CHMÚ) využívá podobně jako okolní státy model ALADIN (Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Development International), což je numerický předpovědní model atmosférických procesů s prostorovým rozlišením cca 10km, určený pro krátkodobou předpověď (max. 2dny). Vzhledem k náročnosti výpočtů jsou výstupy numerických modelů k dispozici až po 4 hodinách od zadání a počítány jsou 4x denně. Pro predikce v řádu několika hodin jsou využívány statistické modely nebo lépe modely na principu neuronových sítí.

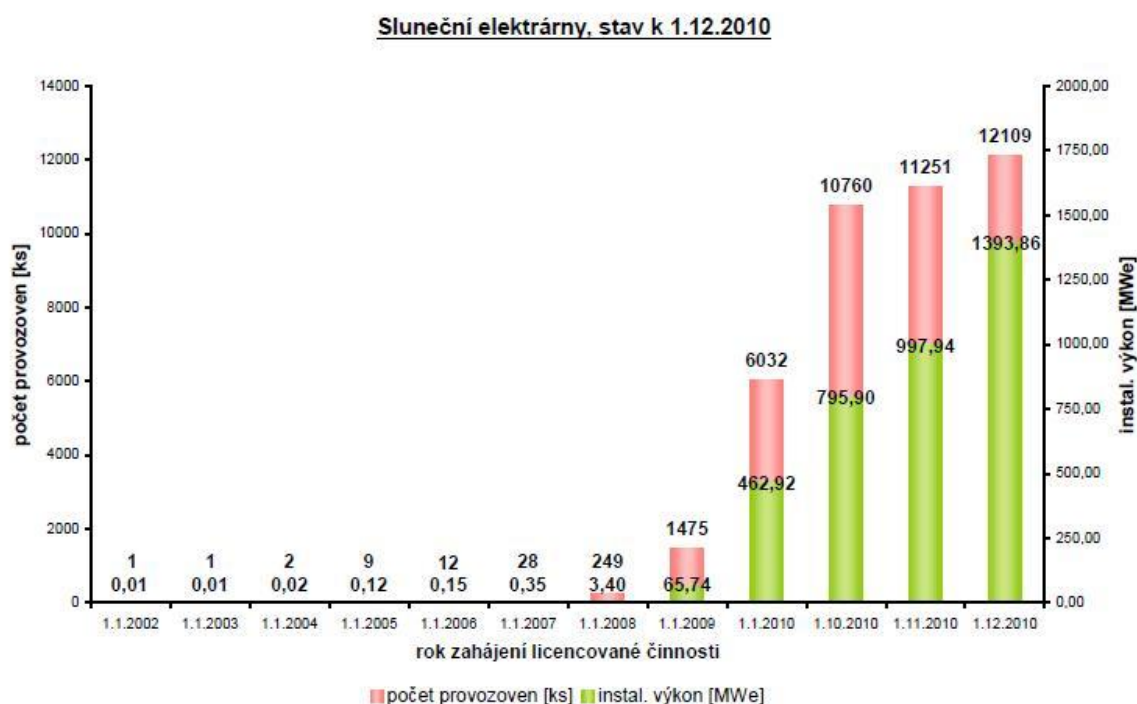
Kombinací obou přístupů lze dosáhnout kvalitní krátkodobé predikce, avšak za předpokladu dostatečného množství archivovaných dat (až 2 roky), které jsou nezbytné pro nastavení vazeb modelů využívajících umělé neuronové sítě. Stejně tak je nezbytné data dále v průběhu času aktualizovat, resp. starším datům přidělovat nižší váhu z důvodu změny podmínek v okolí VTE v čase (např. růst blízké vegetace, apod.)

Kvalitní současné predikční modely, používané v zemích západní Evropy s vysokým zastoupením výkonu ve VTE, dosahují průměrné relativní chyby kolem 4% pro předpověď do 4 hodin, pro delší časový odstup 24h přibližně 6%. Lze předpokládat, že predikce výroby VTE na našem území by vykazovala nepřesnosti větší, a to z důvodu vnitrozemské polohy a členitosti terénu – profil rychlosti větru se s výškou nad terénem výrazně mění oproti přímořským lokalitám VTE v západoevropských zemích.

S ohledem na náročnost predikce a očekávaný rozvoj VTE na území ČR by bylo vhodné zaměřit predikci výroby pouze na regiony s významným větrným potenciálem. V těchto lokalitách, jako např. Krušné hory, Oderské Vrchy či Vysočina, jsou již VTE současné technologie realizovány a lze tedy začít se sběrem dat nezbytných pro predikční modely, které jsou již vytvářeny např. v rámci projektu Integrace obnovitelných zdrojů do elektrizační soustavy na VŠB-TU v Ostravě.

### 3.3 Fotovoltaické elektrárny (FVE)

Fotovoltaické elektrárny (FVE) zaujaly posledních dvou letech první místo co do počtu i celkového výkonu nově budovaných OZE na území ČR. Masivní rozvoj a tempo nárůstu podílu FVE na celkovém portfoliu OZE bylo dáno, kromě již zmíněné legislativní podpory využívání OZE, především dvěma důvody. Prvním je jednoduchost a rychlost realizace FVE včetně stavebního řízení. Druhým důvodem byl výrazný pokles nutných investičních nákladů, kdy díky celosvětovému nárůstu výrobních kapacit technologických částí FVE (fotovoltaické články, moduly, ale i střídače) došlo zcela logicky k výraznému snížení cen technologie.



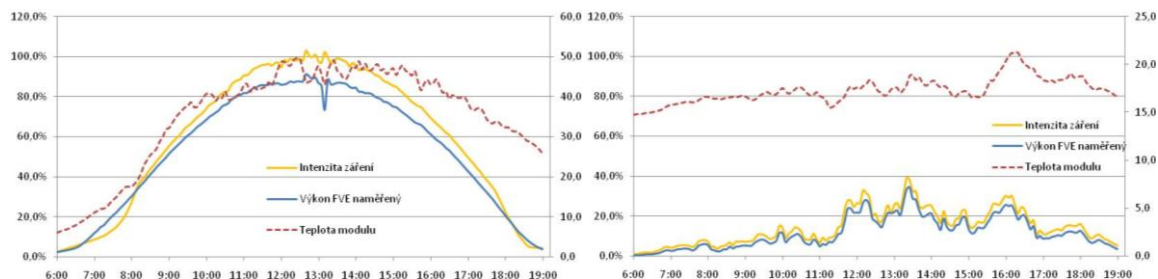
**Obr. 23.** Počet a instalovaný výkon aktivních FVE v ČR. Převzato z ERÚ.

Celkový instalovaný výkon FVE v ČR by měl ke konci roku 2010 podle odhadů dosáhnout až 1,6 GW. Vzhledem k tomu, že jde o zdroje dodávající výkon v závislosti na proměnlivé intenzitě slunečního záření, je tedy zřejmý jejich výrazný vliv na regulaci ES.

#### 3.3.1 Charakteristika provozu FVE

Instalovaný výkon FVE je definován jmenovitým (špičkovým) výkonem (Wp) fotovoltaických modulů. Jedná se o výkon naměřený při standardních testovacích podmínkách (Standard Test Conditions), tj. kolmo na plochu modulu dopadající záření o intenzitě 1000 W/m<sup>2</sup>, teplota modulu (spojů) 25°C a referenční spektrum 1,5. Skutečně dodávaný výkon FVE je tedy závislý především na intenzitě záření a teplotě – poměrně rychle se měnící a nesnadno predikovatelné údaje. Lze však charakterizovat typické provozní, resp. limitní stavy.

Letní jasný den je svým charakterem neblíží zmiňovaným parametrům STC vyjma teploty modulů, která v závislosti na povětrnostních podmínkách dosahuje 45 až 65°C. Mírně nižší účinnost při těchto vyšších teplotách může být kompenzována intenzitou záření, která v takovýchto dnech může po několik hodin dosahovat až 1300 W/m<sup>2</sup>.

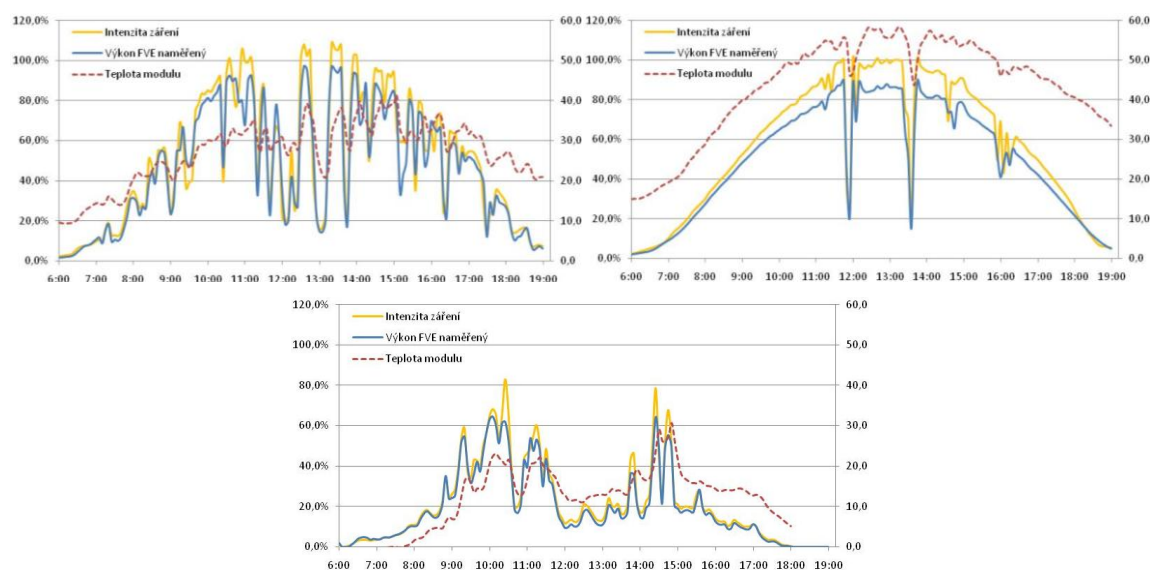


**Obr. 24.** Intenzita záření, teplota modulu a dodávaný výkon FVE v letní jasný den (vlevo) a letní zatažený den (vpravo).

Letní zatažený den obvykle dosahuje intenzita globálního záření hodnot blízkých maximálně 300 W/m<sup>2</sup>, což se projevuje na celkové účinnosti FVE, která právě díky nízké intenzitě záření klesá až o několik procent.

Zimní jasný den lze charakterizovat teplotou modulů do 20°C, intenzitou záření obvykle nepřesahující 700 W/m<sup>2</sup>. Zimní zatažený den nepřevyšuje intenzita záření hodnoty kolem 100 W/m<sup>2</sup> a teplota modulů je srovnatelná s teplotou okolí. Minimální intenzita záření pak zapříčiňuje pokles celkové účinnosti FVE až na 50% nominální hodnoty. Kromě nižší intenzity záření je zimní denní průběh ovlivněn časem východu a západu slunce, v porovnání s letními dny tedy výrazně kratší.

Den s proměnlivou oblačností, tzn. proměnlivou intenzitou záření, je v našich podmínkách s nejvyšší četností výskytu. Z následujícího grafu je zřejmá rychlost i rozsah změn výkonu FVE.



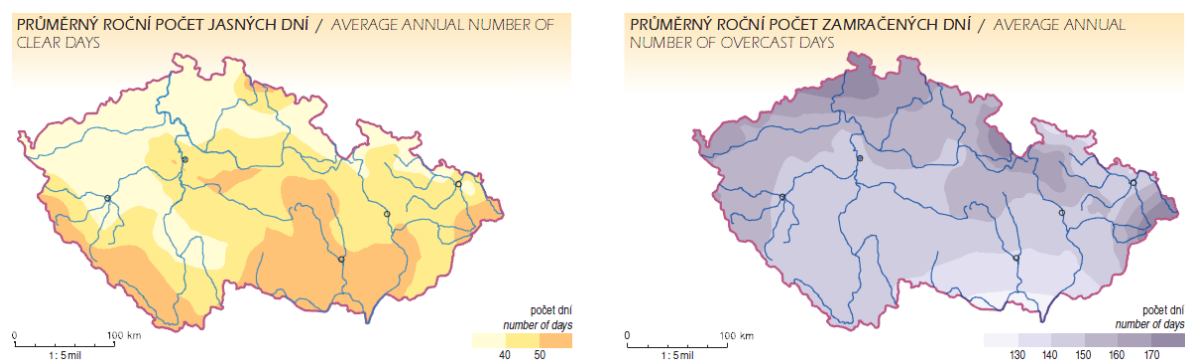
**Obr. 25.** Intenzita záření, teplota modulu a dodávaný výkon FVE v letní polojasný den (vlevo), letní skorejasný den (vpravo) a březnový proměnlivý den (dole).

### 3.3.2 Možnosti predikce výroby FVE

Charakteristika dodávek a grafy v předchozí části potvrzují, že denní průběh výroby poměrově vyjádřeno odpovídá intenzitě záření, vliv teploty je zanedbatelný. Pro účely základní predikce výroby FVE se tedy jako dostatečná jeví predikce intenzity globálního záření, resp. předpověď oblačnosti a srážek.

Předpověď slunečního svitu, resp. jasných či zatažených dní je jedním z parametrů predikce spotřeby elektřiny, a jako sledovaný údaj je již využíván i pro predikci výroby z FVE.

Podle statistik četnosti výskytu charakteristických klimatických podmínek lze říci, že v průměru 40 až 50 dní v roce lze predikovat denní průběh výroby FVE blízky jejímu maximu a podobně v průměru 150 dní v roce lze predikovat denní průběh výroby FVE nepřevyšující 10 – 20% instalovaného výkonu.



**Obr. 26.** Průměrný roční počet jasných a zamračených dní. Převzato z Atlas podnebí ČR, CHMÚ.

Predikovat denní průběh výroby FVE tedy lze s vysokou pravděpodobností téměř po polovinu roku. Ve dnech s proměnlivou oblačností lze zřejmě s určitou pravděpodobností predikovat denní průběh minimální výroby FVE. Z pohledu provozu ES je potom zásadní především zajištění dostatečného záporného regulačního výkonu.

### 3.4 Bioplynové stanice (BPS)

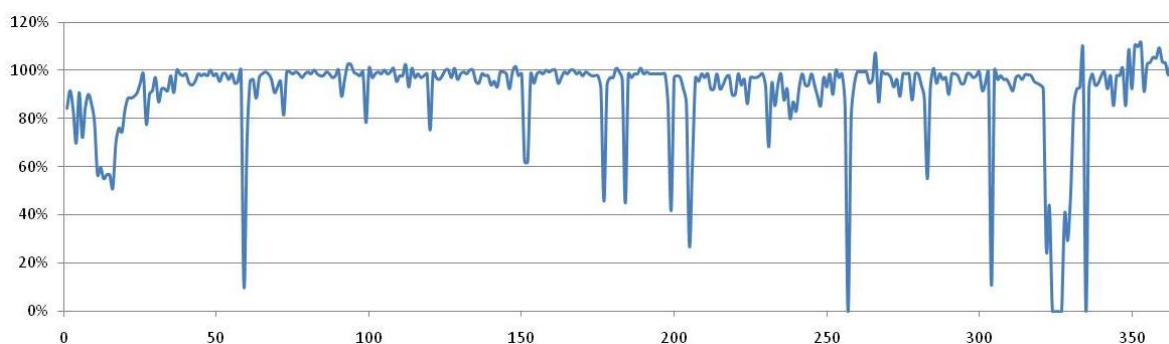
Bioplynové stanice mají v následujících několika letech značný potenciál dalšího rozvoje. Teoretický potenciál je obrovský, především u zemědělských BPS. Realizovatelný potenciál je těžko odhadnutelný a to jak vzhledem k omezeným schopnostem stávajícího managementu subjektů podnikajících v oblasti zemědělství, tak i vzhledem k současnému „finančnímu zdraví“ velkého množství potenciálních provozovatelů BPS. Významný vliv na celkový počet realizací tak budou mít i bankovní ústavy a jejich kriteria rozhodná pro další financování příliš zadlužených či ztrátových zemědělců, a to i přes jejich prokazatelnou finanční stabilizaci po realizaci BPS.

Technologicky lze zemědělské či jiné odpadové BPS zjednodušeně popsat jako soubor zařízení využívajících jednostupňový nebo dvoustupňový proces anaerobní fermentace biologicky rozložitelného substrátu. Vyprodukovaný bioplyn je pak spalován v kogeneračních jednotkách, ve většině případů bohužel bez dalšího využití tepla, které je bez užitku mařeno (v omezené míře využito pouze pro vlastní spotřebu – ohřev fermentorů). Výhřevnost bioplynu se obvykle pohybuje mezi 5 až 6 kWh/m<sup>3</sup> v závislosti na jeho složení, především obsahu metanu (obvykle 50 až 60% objemu bioplynu).

#### 3.4.1 Charakteristika provozu a možnosti regulace BPS

Na rozdíl od všech předchozích OZE, provoz BPS je ovlivněn výhradně lidským faktorem. Pro udržení optimálního biologického procesu, který probíhá uvnitř fermentor, je nutné zajistit kontinuální doplňování vstupního substrátu, pokud možno ve stále stejné kvalitě a stejném složení. Biologický proces lze případně upravovat změnou složení substrátu.

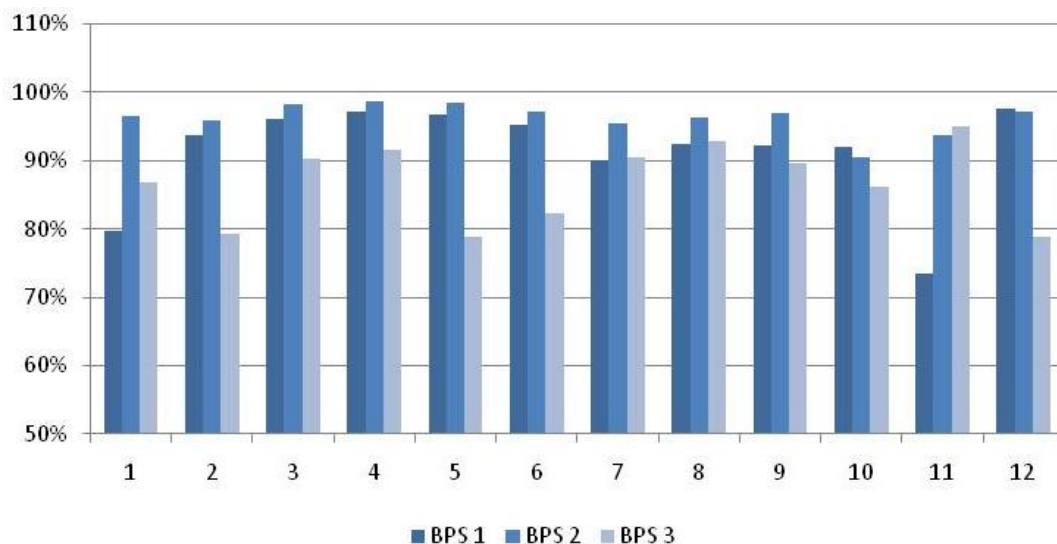
Produkce bioplynu je v rámci denního provozu mírně kolísavá, proto jsou BPS vybaveny plynojemy, které jsou obvykle dimenzovány na 1/8 až 1/4 denní produkce bioplynu. Nízkotlaké foliové zásobníky jsou pro svou jednoduchost a provozní nenáročnost nejpoužívanějším typem u nově budovaných zařízení. Folie je nejčastěji instalována přímo na fermentor (tvoří jeho zastřešení) a rozpíná se podle naplnění bioplynem. Nízkotlaké foliové zásobníky se obvykle dodávají ve velikosti do max. 4000m<sup>3</sup> s charakteristickým provozním přetlakem 5 až 100 mbar.



**Obr. 26.** *Roční průběh výroby elektrické energie KJ BPS (denní kWh vztaheny na jmen.hodnotu). Několika denní odstávka následovaná nárůstem výroby nad jmen. hodnoty v závěru roku byla způsobena pracemi na rozšíření BPS a navýšením instalovaného výkonu.*



Roční provozní charakteristika je z pohledu dodávaného výkonu stabilní, při bezporuchovém provozu ovlivněna pouze pravidelnými krátkodobými servisními odstávkami kogenerační jednotky (výměna filtrů, oleje, zapalovacích svíček, apod.). Výraznější kolísání výkonu, či dlouhodobé odstávky jsou pak často zapříčiněny nedodržením provozních předpisů, zejm. doporučeného dávkování, složení a kvality vstupního substrátu.



**Obr. 27.** Měsíční poměrná výroba třech různých zemědělských BPS, výrazně kolísavá výroba v BPS č.3 je způsobena především nekázní provozovatele.

Zemědělské či jiné odpadové BPS lze, díky svému provoznímu charakteru nezávislému na aktuálních klimatických podmínkách a zároveň možnosti skladování bioplynu, využít jako zdroje poskytující regulaci výkonu. Při dostatečné zásobě bioplynu, pak lze využít KJ s vyšším výkonem, které mohou do sítě dodávat výkon v době špičkového zatížení ES.

Dostatečnou skladovací kapacitu bioplynu, jako paliva pro kogenerační jednotky, lze lokálně řešit externími středotlakými (10tky barů) nebo vysokotlakými (100ky barů) plynojemy. Tyto zásobníky vyžadují svou údržbu a pro jejich plnění je potřeba počítat se spotřebou elektřiny přibližně 0,2 – 0,25 kWh/m<sup>3</sup> u středotlakých, resp. 0,3 – 0,4 kWh/m<sup>3</sup> u vysokotlakých zásobníků.

Další možností skladování bioplynu je možnost jeho úpravy a vtláčení do distribuční sítě zemního plynu. Pro zajištění vlastní spotřeby elektřiny a tepla pak postačuje kogenerační jednotka malého výkonu. Zavedení podpory pro tyto technologie je v současnosti projednáváno. Principiálně lze tímto způsobem získaný bioplyn spotřebovat, resp. vykázat jako palivo pro plánované velké špičkové zdroje a nemusí tak být koordinována činnost rozptýlených výroben.

---

### 3.4.2 Možnosti predikce výroby BPS

Za předpokladu optimálního provozu BPS, tj. maximálním dosažitelném výkonu, lze predikci výroby nejjednodušeji zajistit sběrem a vyhodnocováním informací o plánovaných servisních odstávkách KJ či případných poruchových stavech. Většina realizovaných a plánovaných BPS je také vybavena monitorovacím zařízením mimo jiné s analyzátozem produkovaného bioplynu či přímo měřením množství produkovaného bioplynu. Z obsahu metanu pak lze určit výhřevnost bioplynu, tedy i jeho spotřebu v KJ a tomu odpovídající dodávaný elektrický výkon. Samozřejmostí v dnešní době je možnost vzdáleného přístupu ke všem sledovaným údajům.

V případě využití možnosti dodávek vyššího výkonu ve špičkách zatížení ES, bylo by nutné dále sledovat stav plnění zásobníků bioplynu a stanovit dostupný výkon, resp. obsažené množství energie, které pak určuje dobu možného špičkového provozu.

### 3.5 Charakteristický průběh výroby portfolia OZE

Závislost dodávaného výkonu výhradně na okamžitých klimatických podmínkách spolu s omezenými možnostmi predikce výroby některých druhů OZE (především FVE a VTE) a naopak možnost akumulace energie před procesem přeměny na energii elektrickou (BPS a VE) vede k myšlence vzájemné spolupráce všech druhů OZE s cílem minimalizovat jejich negativní dopad na provoz ES.

Doba využití instalovaného výkonu (poměr roční výroby el.energie a instalovaného výkonu) charakterizuje dostupnost a proměnnost zdrojů v roce. FVE dosahují na území ČR využití přibližně 900 až 1000 hod, vhodně lokalizované VTE dosahují 2000 až 2500 hod. Nízká doba využití FVE a VTE značí omezený potenciál a vysokou variabilitu dodávaného výkonu v závislosti na obtížně predikovatelné intenzitě slunečního záření a rychlosti větru. Doba využití MVE kolem 4000 hod je dána proměnlivým průtokem malých toků ve zdrojových oblastech (četnost a intenzita dešťových srážek, tání sněhu) popř. možnosti využití akumulace. Doba využití BPS v optimálním provozu dosahuje až 8000 hod, což je dáno principem jejich fungování neboli jejich nezávislosti na okamžitých klimatických podmínkách.

Krátkodobá predikce výroby, která závisí na kvalitě meteorologických předpovědí, je pak nejproblematictější u VTE, FVE. Predikce výroby BPS naopak závisí pouze na plánovaných odstávkách pro údržbu zařízení. Predikce výroby MVE sice závisí na aktuálních klimatických podmínkách, ale časový odstup jejich projevu na průtoku vodního toku umožňuje poměrně úspěšnou predikci v řádu až několika desítek hodin. V podstatě jediným zdrojem z uvedeného portfolia s jednoznačnou predikcí výroby a navíc schopností plánované výroby jsou BPS.

Poměrné zastoupení instalovaného výkonu jednotlivých zdrojů pak udává průběh denní výroby celého portfolia OZE v závislosti na ročním období a aktuálních meteorologických podmínkách.

Jak vypadá průběh denní výroby portfolia OZE různého zastoupení dle současného stavu a předpokladu v budoucnu v předem definovaných podmínkách odpovídajících mezním stavům zatížení ES nebo její části, bude předmětem dalších úvah a kapitol této práce.

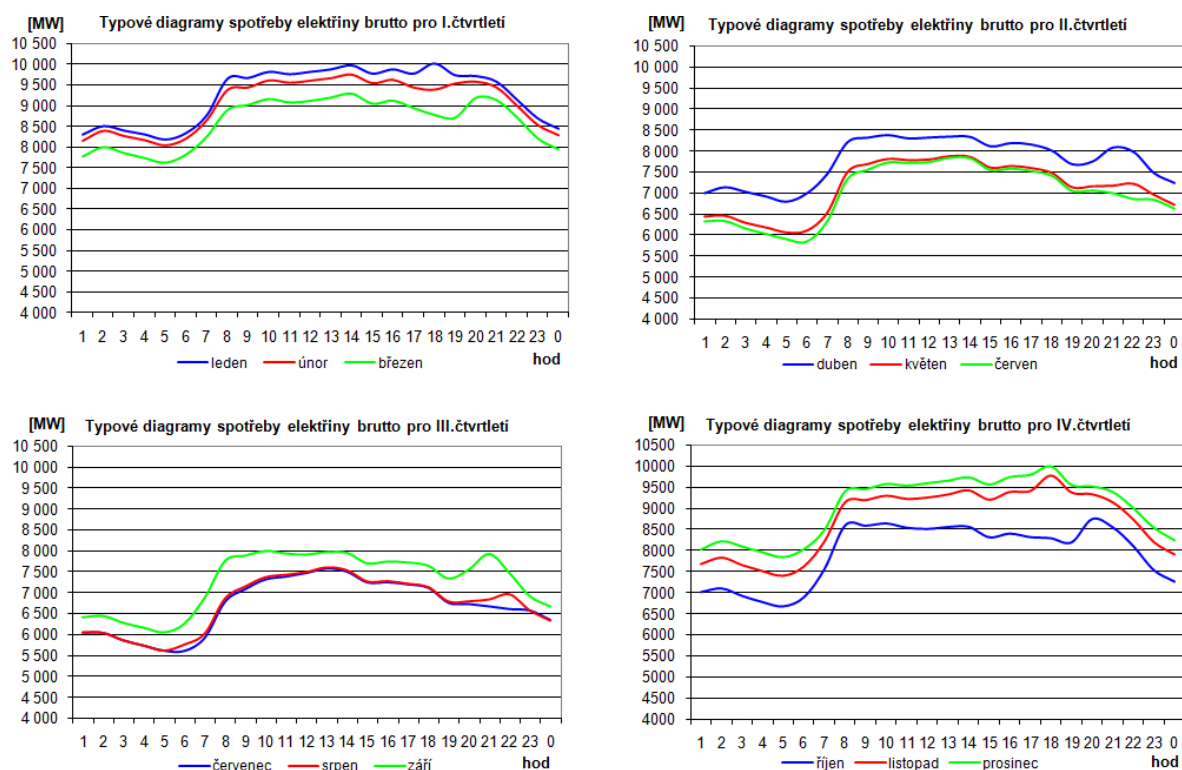


## 4 Charakteristický průběh spotřeby elektřiny

Spotřeba elektrické energie je v čase proměnná a její typický roční či denní průběh, podobně jako v předchozí části popisovaný průběh výroby elektřiny z OZE, lze charakterizovat pro různá roční období, měsíce i dny v týdnu.

V širším slova smyslu lze nalézt určitou paralelu mezi jinak na sobě nezávislým charakteristickým průběhem spotřeby elektřiny a průběhem výroby elektřiny z OZE.

Charakteristický průběh spotřeby elektřiny je dán poměrnou skladbou typických spotřebitelů, tedy jejich charakteristickým průběhem spotřeby v průběhu roku či dne, v závislosti čistě na lidské činnosti nebo proměnlivých lidských potřebách ovlivněných proměnlivými přírodními podmínkami.

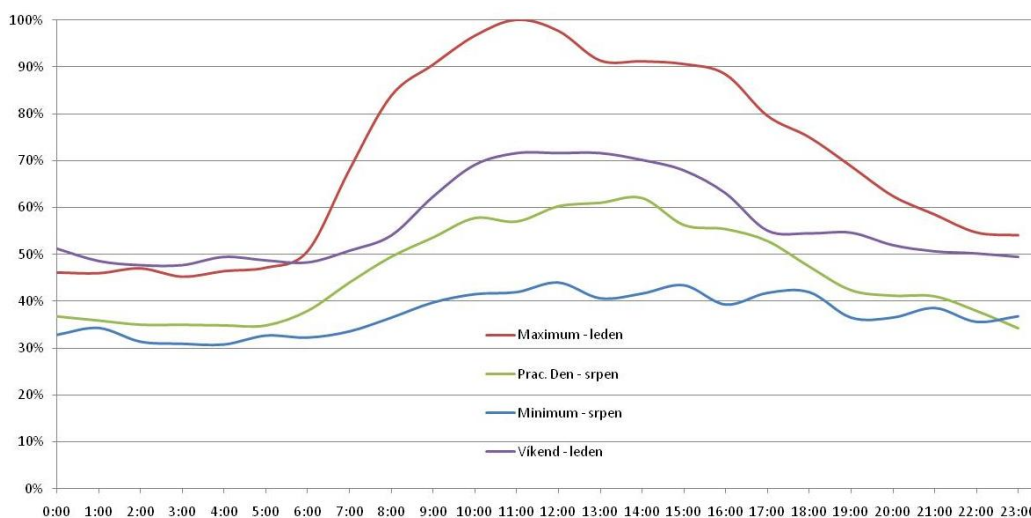


**Obr. 28.** Typové diagramy spotřeby elektřiny v ČR pro rok 2010. Převzato z ERÚ.

Variabilita je pak dána střídáním pracovních dnů se dny pracovního volna, tzn. zastoupením charakteristických odběratelů, ale také jako v případě OZE proměnlivými aktuálními klimatickými podmínkami.

Podobně jako u některých typů OZE, lze i v případě spotřeby elektřiny charakterizovat denní průběh v limitních stavech. Následující obrázek znázorňuje průběh spotřeby v limitních stavech. V případě svého maxima, které je dosahováno nejčastěji v lednu v pracovní dny nebo naopak svého minima, které dosahuje spotřeba ve dnech pracovního volna v průběhu léta, nejčastěji pak v srpnu.

Pro další úvahy a simulace jsou použita naměřená data v průběhu roku z jedné lokální distribuční sítě, která je poměrnou skladbou odběrů blízká charakteru spotřeby ČR (viz. obrázek. 29).



**Obr. 29.** Průběh spotřeby elektřiny ve svém maximu a minimu, pro srovnání víkend a pracovní den.

S ohledem na charakter provozu OZE a jejich případné možnosti regulace výkonu popisované v předchozí části, lze simulovat výrobu a dopady či možnosti celého portfolia OZE právě ve vztahu k dennímu průběhu spotřeby, především v mezních stavech maxima a minima spotřeby.

Ačkoliv uvedené průběhy zcela přesně neodpovídají typovým diagramům spotřeby elektřiny celé ČR (viz obrázek 28), pro názorné porovnání s průběhem výroby portfolia OZE jsou dostatečné a v tuto chvíli pro zpracování této práce představují dostupný zdroj reálných dat z celého roku.

## 4.1 Smart Grids

Obnovitelné zdroje energie využívají potenciál, který je na území ČR v závislosti na druhu OZE a s ohledem na lokální přírodní podmínky rovnoměrně rozptýlený (např. pro FVE, BPS) nebo koncentrovaný regionálně (např. VTE). Připojovány jsou pak až na výjimky výhradně do distribuční sítě, která byla projektována za účelem distribuce centrálně vyrobené elektřiny k decentralizované spotřebě a na tomto principu je regionálně řízena.

Podobně jako portfolio OZE, skýtá určité možnosti akumulace a regulace právě portfolio spotřebitelů elektřiny. Motivací spotřebitelů k přizpůsobení svých odběrů do „vhodné doby“ z pohledu regulace ES jsou cenově zvýhodněné tarify, jejichž využití je limitováno zastoupením vybraných spotřebičů. Jediné aktivní řízení spotřeby je

---

v současnosti využívaný systém HDO, jehož využití je podmíněno spotřebitelem s možností akumulace požadované konečné formy energie (např. akumulární elektrické vytápění nebo ohřev vody). Distribuční sítě tedy lze považovat za pasivní, nejsou schopny pracovat samostatně a odděleně od centrálních zdrojů elektrické energie a bez přenosové soustavy, ačkoliv významně narůstá počet a celkový výkon decentralizovaných, neboli rozptýlených zdrojů elektrické energie. Tyto zdroje, a nepatří mezi ně pouze OZE, nejsou nijak aktivně využívány, vyjma významných teplárenských zdrojů.

Koncept chytrých sítí – Smart Grids představuje transformaci „pasivních“ distribučních sítí na sítě „aktivní“, tzn. daleko intenzivnější využití řízení spotřeby a nově řízení výroby decentralizovaných zdrojů energie. Tento aktivní přístup zcela jistě umožní plnou integraci OZE a změnu jejich současného vnímání jako „nestabilního“ prvku ES z pohledu řízení.

Pilotní testovací projekt aktivně řízené distribuční sítě v současnosti zahájil ČEZ v „mikro-regionu“ Vrchlabí. Zavedení konceptu chytrých sítí celoplošně do všech regionů, je otázkou reálných výsledků podobných pilotních projektů a ochoty investice nemalých finančních prostředků na rozvoj distribučních sítí v tomto duchu.

## 5 Model vybraného portfolia OZE

Cílem této části je sestavit jednoduchý model portfolia OZE, pomocí kterého by bylo možné přibližně simulovat charakteristický denní průběh dodávaného výkonu za předem definovaných podmínek, které jsou charakteristické pro dny maxima a minima spotřeby. Aby bylo možné snadno měnit strukturu portfolia OZE pro posouzení možností a vlivu stávajícího, očekávaného ale i optimálního podílu jednotlivých OZE v rámci regionu nebo celého území ČR, měl by model respektovat pouze základní přírodní vlivy jako je proměnlivá rychlost větru, intenzita slunečního záření nebo průtok u vodních elektráren.

### 5.1 Model MVE

Technologické řešení stávajících i nově budovaných MVE je přizpůsobeno specifickým podmínkám lokality, které jsou kromě využitelného spádu charakterizovány M-denní křivkou průtoků. Jak naznačuje obrázek 9 uvedený v kapitole 3.1.1, který znázorňuje poměrné M-denní křivky průtoků v několika lokalitách realizovaných MVE, lze bez ohledu na skutečný průtok pro lokality MVE charakterizovat typický průběh M-denní křivky průtoků.

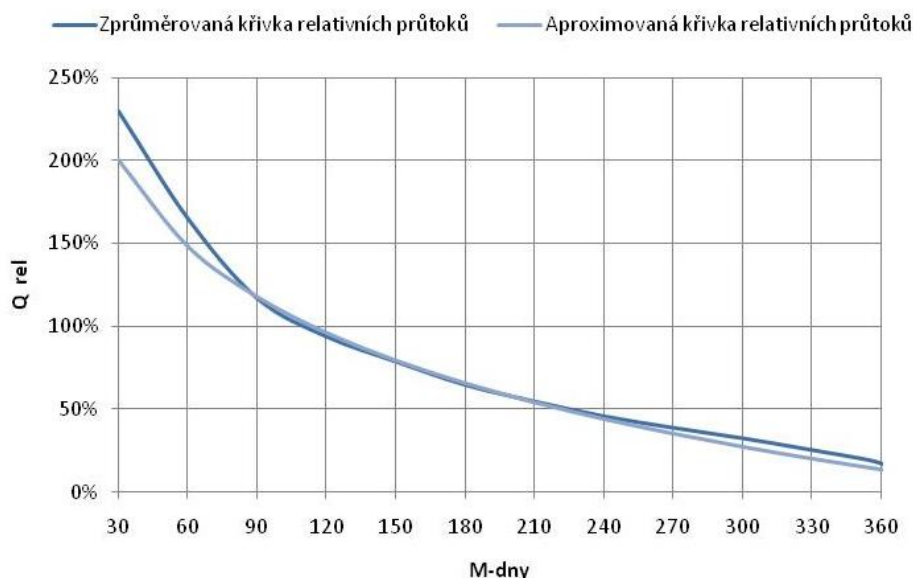
Zprůměrováním zmíněných charakteristik dostáváme měrnou křivku M-denních průtoků, kterou lze přibližně aproximovat pomocí následujícího vztahu

$$q_{rel} = -0,75 \times \ln(M) + 4,55 \quad (5.1.1)$$

kde

$q_{rel}$  značí relativní průtok,

M značí M-dny průtoku



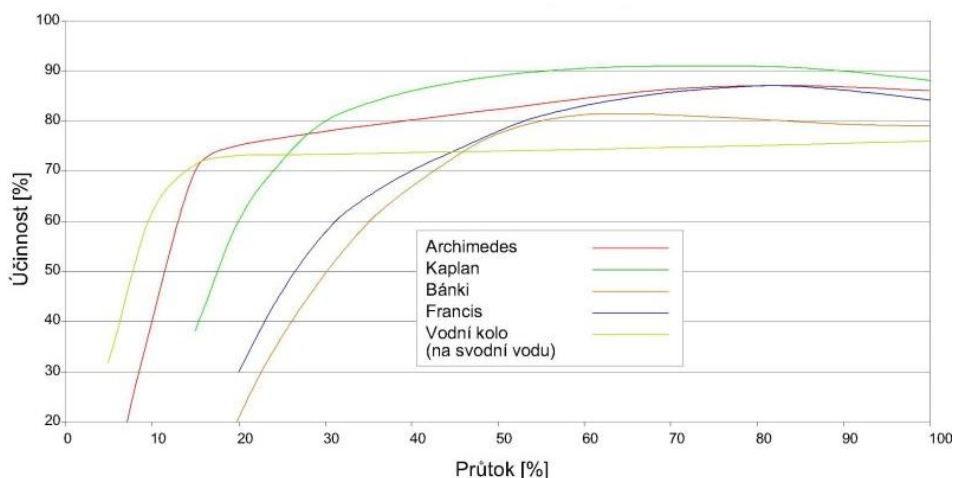
**Obr. 28.** Průměrná a aproximovaná křivka relativních M-denních průtoků.

Většina MVE je s ohledem na specifické podmínky lokality navrhována s hltností turbín odpovídající přibližně 90 až 180 dennímu disponibilnímu průtoku v průměrném vodním roce.

Proto dalším nezbytným předpokladem pro zobecnění modelu je volba hlnosti turbín MVE odpovídající 100% disponibilnímu průměrnému průtoku. Výrazná odlišnost aproximované křivky při 30 až 90 denních průtocích pak nemá na další úvahy vliv.

Podobně lze zanedbat odlišnost aproximované křivky v oblasti nízkých průtoků. Minimální průtok, při kterém jsou schopny běžně používané turbíny MVE pracovat obvykle odpovídá 1/3 jejich hlnosti. Zda bude MVE dodávat výkon i při relativních průtocích pod 35% potom závisí na volbě počtu turbín v konkrétním případě.

Kromě průtoku turbínou závisí výkon MVE dále na účinnosti turbíny a čistém spádu na turbíně. Oba tyto parametry jsou závislé na průtoku, účinnosti turbíny je závislá na průtoku turbínou (obr. 29), čistý spád na turbíně potom závisí na celkovém průtoku vodního toku, který ovlivňuje výšku hladin na vstupu a výstupu MVE.



**Obr.29.** Orientační srovnání účinnosti používaných vodních turbín v závislosti na průtoku.

Vzhledem k potřebám simulace, tj. přibližný průběhu výroby celého portfolia MVE, lze vliv průtoku na účinnost turbíny i ovlivnění spádu na turbíně zanedbat. Společně s respektováním účinnosti převodu, generátoru a ztrát na vedení do místa připojení k DS, dosahují obvykle typické MVE celkově 85%.

Za uvedených zjednodušujících předpokladů, lze potom v závislosti na relativním průtoku určit relativní průběh dodávaného výkonu MVE

pro 30ti až 120ti denní relativní průtoky (nadprůměrné průtoky)

$$p_{rel} \approx p_{inst} \quad (5.1.2)$$

pro 120ti až 270ti denní relativní průtoky

$$p_{rel} \approx q_{rel} \times p_{inst} \quad (5.1.3)$$

pro 270ti až 365ti denní relativní průtoky (velmi malé průtoky)

$$p_{rel} \approx q_{rel} \times p_{inst} \times 0,5 \quad (5.1.4)$$

kde

$p_{rel}$  značí relativní dodávaný výkon,

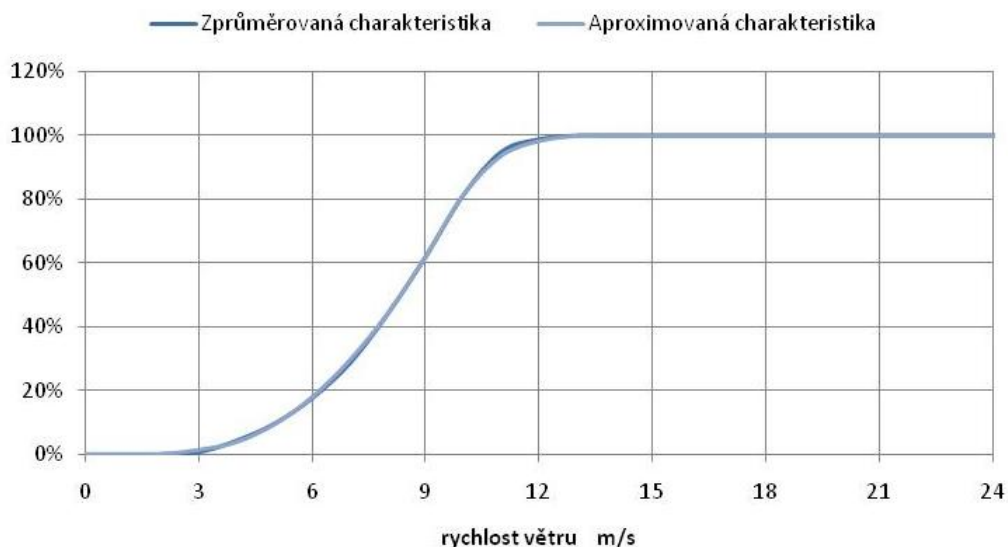
$q_{rel}$  značí relativní průtok,

$p_{inst}$  značí relativní instalovaný elektrický výkon v rámci portfolia OZE

## 5.2 Model VTE

V posledních letech realizované VTE, např. farma větrných elektráren Kryštofovy Hamry v Krušných horách nebo farma větrných elektráren Horní Loděnice v Oderských horách, a stejně tak převážná většina připravovaných svou velikostí významných projektů, jako např. Větrný park Chomutov, využívají výhradně VTE Enercon E82, Repower MM92 nebo ještě častěji Vestas V90 s jmenovitým výkonem 2MW. Výkonové charakteristiky těchto strojů v závislosti na rychlosti větru jsou znázorněny v kapitole 3.2.1 na obrázku 14.

Zprůměrováním a relativním vyjádřením uvedených charakteristik tedy lze vyjádřit závislost portfolia VTE na proměnlivé rychlosti větru.



**Obr. 30.** Relativní výkonová charakteristika portfolia VTE.

Pro další výpočty lze tuto křivku přibližně aproximovat a dodávaný výkon portfolia VTE v závislosti na rychlosti větru potom lze vyjádřit

v intervalu rychlostí větru 0 až 3 m/s

$$p_{rel} \approx 0 \quad (5.2.1)$$

dále v intervalu rychlostí větru 3 až 9 m/s

$$p_{rel} \approx (0,0153 \times v^2 - 0,0822 \times v + 0,1219) \times p_{inst} \quad (5.2.2)$$

dále v intervalu rychlostí větru 9 až 12 m/s

$$p_{rel} \approx (-0,0387 \times v^2 + 0,9355 \times v - 4,6697) \times p_{inst} \quad (5.2.3)$$

dále v intervalu rychlostí větru 12 až 24 m/s

$$p_{rel} \approx p_{inst} \quad (5.2.4)$$

kde

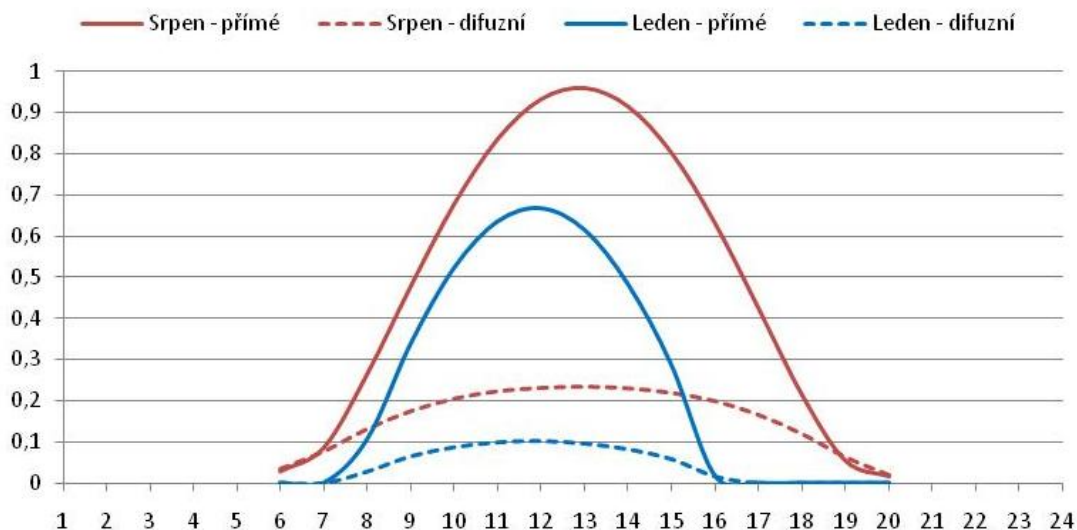
$p_{rel}$  značí relativní dodávaný výkon,

$v$  značí rychlost větru,

$p_{inst}$  značí relativní instalovaný elektrický výkon v rámci portfolia OZE

### 5.3 Model FVE

Pro simulaci průběhu výroby portfolia FVE v charakteristických dnech maxima a minima spotřeby lze vycházet z typického průběhu záření v lednu a prosinci. Konkrétně pro simulaci jasného a zataženého dne potom z průběhu přímého, resp. difuzního záření.



Obr. 31. Denní průběh přímého a difuzního záření v lednu a srpnu.

Pro účely posouzení možné spolupráce vybraných OZE se na základě výše popsaných charakteristik jeví jako postačující model FVE definovaný instalovaným výkonem a dodávaným výkonem odpovídajícím intenzitě záření podle vztahu

$$p_{rel} \approx g_{rel} \times p_{inst} \quad (5.3.1)$$

kde

$p_{rel}$  značí relativní dodávaný výkon,  
 $g_{rel}$  značí rychlost relativní intenzity záření,  
 $p_{inst}$  značí relativní instalovaný elektrický výkon v rámci portfolia OZE

Relativní intenzitu záření pak lze vyjádřit jako

$$g_{rel} = G_{skut} / G_{STC} \quad (5.3.2)$$

kde

$g_{rel}$  značí relativní intenzitu záření,  
 $G_{skut}$  značí skutečnou intenzitu záření,  
 $G_{STC}$  značí intenzitu záření 1000 W/m<sup>2</sup>.

---

## 5.4 Model BPS

S ohledem na současný charakter provozu BPS, lze průběh dodávaného výkonu uvažovat konstantní. Za předpokladu zanedbání ztrát a proměnlivé technologické vlastní spotřebě potom relativní dodávaný výkon odpovídá relativnímu výkonu BPS v rámci portfolia OZE

$$p_{rel} \approx p_{inst} \quad (5.4.1)$$

kde

$p_{rel}$  značí relativní dodávaný výkon,  
 $p_{inst}$  značí relativní instalovaný elektrický výkon v rámci portfolia OZE

## 5.5 Model ES

Jak již bylo naznačeno v předchozí části, pro další úvahy a simulace jsou použita naměřená reálná data v průběhu roku z jedné lokální distribuční sítě, která je poměrnou skladbou odběrů blízká charakteru spotřeby ČR (viz obrázek 29).

Průběh spotřeby ve dnech maxima a minima spotřeby pak lze poměrně vyjádřit jako

$$p_{rel} = P_{skut} / P_{MAX} \quad (5.5.1)$$

kde

$p_{rel}$  značí relativní spotřebu,  
 $P_{skut}$  značí absolutní hodnotu skutečné spotřeby,  
 $P_{MAX}$  značí absolutní maximální hodnotu spotřeby v daném roce.

## 5.6 Volba simulačního prostředí

S ohledem na výslednou jednoduchost uvedených modelů, požadovaný grafický výstup, snadnou možnost dalšího rozšíření a dále možnost jednoduchého zadání vlastních dat oproti předdefinovaným charakteristikám, se jako nejvhodnější nástroj pro uvažované simulace jeví prostředí Microsoft Excel, kde lze v případě potřeby využít programování pomocí Microsoft Visual Basic. Model je tak dostupný širokému spektru potenciačních uživatelů, ať už pro jeho další rozvoj či například názornou pomůckou při výuce, školeních apod.



---

## 5.7 Vstupní data a nastavení simulace

Základní vstupní data jsou hodnoty instalovaného výkonu uvažovaného portolia OZE, tedy zastoupení výkonu fotovoltaických elektráren, malých vodních elektráren, větrných elektráren a výkonu bioplynových stanic. Pro jednotlivé zdroje jsou pak předdefinovány určité typické průběhy základních vstupních veličin:

V případě FVE průběh intenzity záření odpovídající pro

- zimní jasný den
- zimní zatažený den
- letní jasný den
- letní zatažený den
- letní den s proměnlivou oblačností
- nebo možnost vlastního zadání

V případě VTE průběh rychlosti větru pro

- den s výskytem extrémních rychlostí větru
- den se slabým proměnlivým větrem
- den s přechodem frontálního rozhraní
- náhodně generovaný průběh v definovaném intervalu rychlostí větru
- nebo možnost vlastního zadání

V případě MVE průběh průtoku jako

- den s maximálními průtoky
- den s minimálními letními průtoky
- náhodně generované proměnlivé průtoky v zadaném intervalu
- den s nástupem povodně
- nebo možnost vlastního zadání

V případě BPS průběh průtoku pro

- výroba 24h denně
- polo-špičková BPS - výroba 12h - noc
- polo-špičková BPS - výroba 12h - den
- špičková BPS – výroba 8h - den
- nebo možnost vlastního zadání

V případě průběhu spotřeby potom

- průběh spotřeby ve dni svého maxima – lednový pracovní den
- průběh spotřeby v lednovou neděli
- průběh spotřeby ve dni svého minima – srpnová neděle
- průběh spotřeby v srpnový pracovní den
- nebo možnost vlastního zadání

---

Výstupem simulace je potom grafické znázornění průběhu dodávaného výkonu jednotlivých zdrojů a součtového výkonu celého portfolia OZE, odpovídajícímu uvažovaným předpokladům.

Simulace vychází z předpokladu, že v dnešní době lze s určitou přesností krátkodobě predikovat výrobu i z tohoto pohledu problematických druhů OZE, jako jsou fotovoltaické a větrné elektrárny. Při znalosti alespoň přibližného průběhu výroby portfolia OZE, pak lze do určité míry zmírnit dopady nestabilní výroby z

Cílem dále prováděných simulací je pak především názorně ukázat, nakolik se svým průběhem blíží či odlišuje průběh dodávaného výkonu portfolia OZE v porovnání s uvažovaným průběhem spotřeby elektřiny, a to za předem definovaných charakteristických podmínek v zimním a letním období a při stávající a v budoucnu uvažované skladbě portfolia vybraných druhů OZE

## 6 Simulace průběhu denní výroby OZE – současný stav (2010)

Nakolik svým denním průběhem - poměrově vyjádřeno - odpovídá výroba celého portfolia OZE uvedeným průběhům maxima a minima spotřeby a nakolik lze výrobu z OZE přizpůsobit zapojením BPS, popisují následující kapitoly.

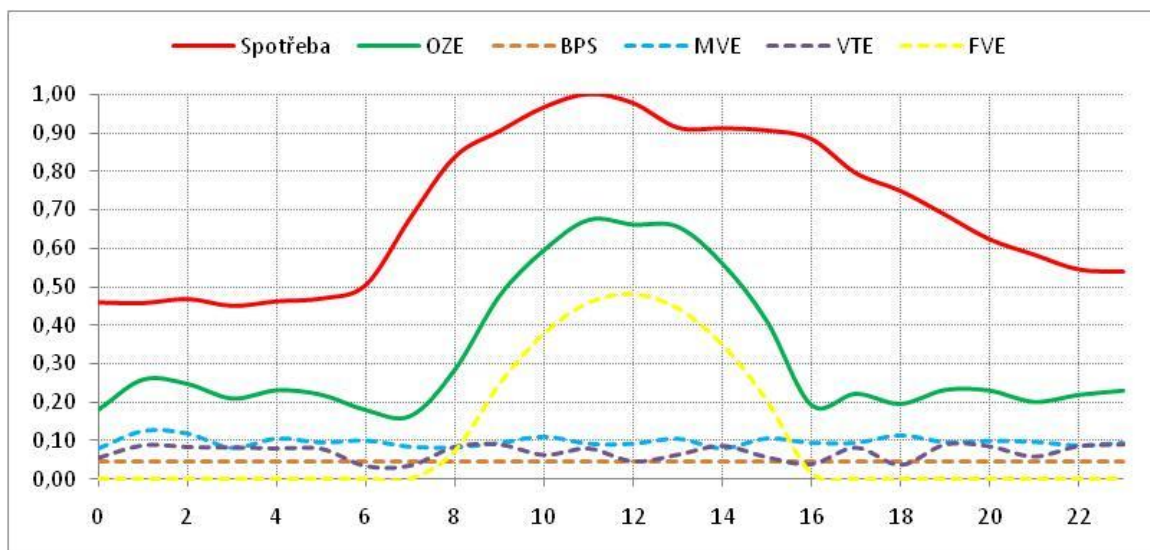
Simulované portfolio vybraných OZE v následující sérii grafů odpovídá přibližně současnému stavu (konec roku 2010), zastoupení vybraných druhů OZE uvádí následující tabulka:

**Tab. 1.** Předpoklad instalovaného výkonu vybraných OZE ke konci roku 2010.

Druh OZE	Instalovaný výkon v ČR (odhad pro konec roku 2010)	Podíl
FVE	1600 MW	73 %
VTE	200 MW	9 %
MVE	300 MW	14 %
BPS	100 MW	5 %

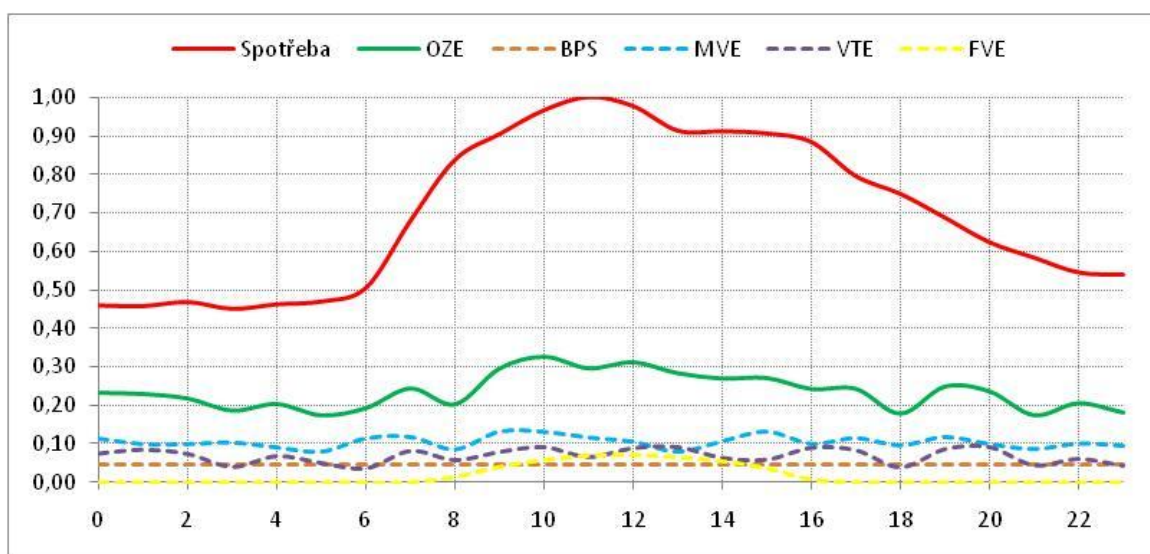
## 6.1 Lednové maximum spotřeby – pracovní den

Lednový pracovní den s maximem spotřeby lze z pohledu OZE simulovat jako den s teplotami pod bodem mrazu a proměnlivou rychlostí větru 8 až 12m/s v lokalitách VTE. Výroba FVE je uvažována variančně maximální a na svém minimu, ale nenulová. Výkon dodávaný VTE je proměnlivý v rozsahu 50 – 100% jmenovitého výkonu. Výkon dodávaný MVE je uvažován mírně kolísavý blízko svého maxima a výkon BPS je uvažován stabilní na úrovni maxima.



Obr. 33. Lednový pracovní den, maxima MVE, stabilní BPS, nadprůměrné VTE, maximum FVE

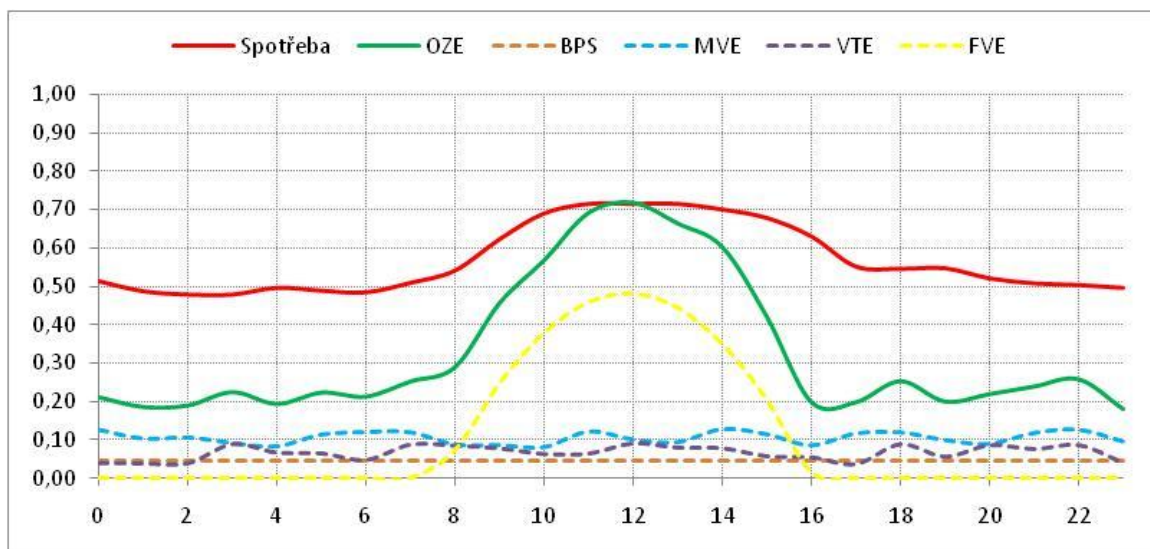
Za předpokladu jasného dne lze říci, že průběh výroby portfolia OZE díky převažujícímu podílu FVE přibližně kopíruje průběh spotřeby až do 13h, poté se výrazně rozchází až do nočních hodin. V případě zataženého dne je výroba z FVE téměř zanedbatelná, a to i přes svůj převažující podíl v instalovaném výkonu. Průběh výroby portfolia OZE je vyrovnaný, ačkoliv se již zřetelněji projevuje se kolísavá dodávka z VTE.



Obr. 34. Lednový pracovní den, maxima MVE, stabilní BPS, nadprůměrné VTE, minimum FVE

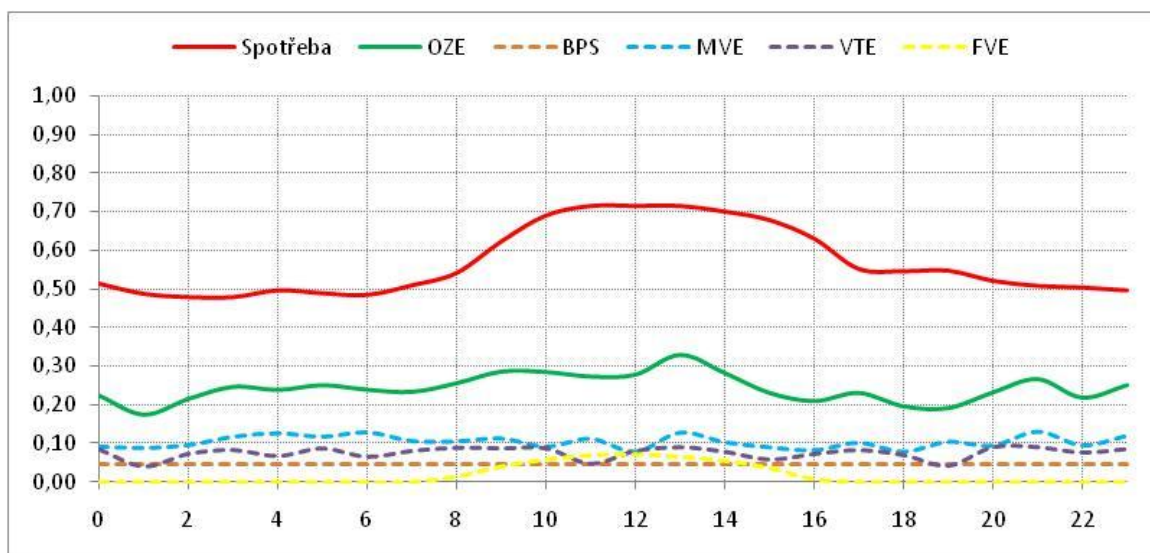
## 6.2 Lednové maximum spotřeby – neděle

Uvažujeme-li za stejných předpokladů pro srovnání situací odpovídající lednové neděli, lze průběh výroby portfolia OZE po celý den označit za blízký průběhu spotřeby, ačkoliv rozdíl mezi nočními a poledními hodinami je vlivem vysokého podílu FVE výraznější.



**Obr. 35.** Lednová neděle, maxima MVE, stabilní BPS, nadprůměrné VTE, jasno – maximum FVE

V případě zataženého dne je v porovnání obou charakteristik opět zřejmý nedostatek výkonu v průběhu dne, znovu se výrazně projevuje kolísavá výroba z VTE.

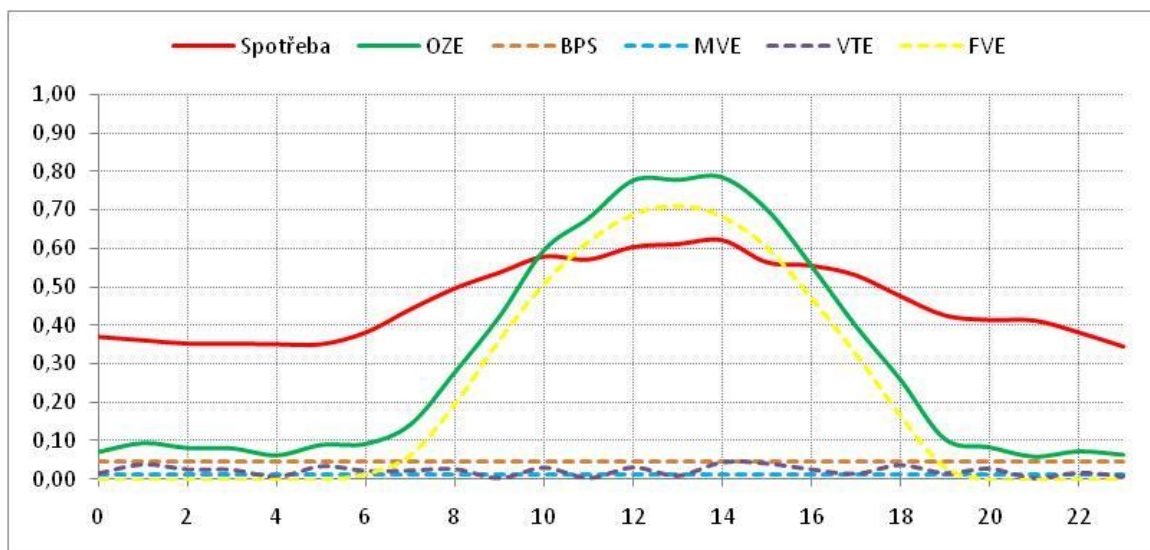


**Obr. 36.** Lednová neděle, maxima MVE, stabilní BPS, nadprůměrné VTE, minimum FVE

Z pohledu regulace ES je v zimním období dostatek regulačního výkonu pro vyrovnání odchylek vzniklých kolísavou dodávkou především z FVE a VTE. Současné portfolio OZE pak v tomto období nemá příliš zásadní vliv, nicméně je vhodné respektovat predikci výroby z FVE především při předpovědi jasných dní.

### 6.3 Srpnové minimum spotřeby – pracovní den

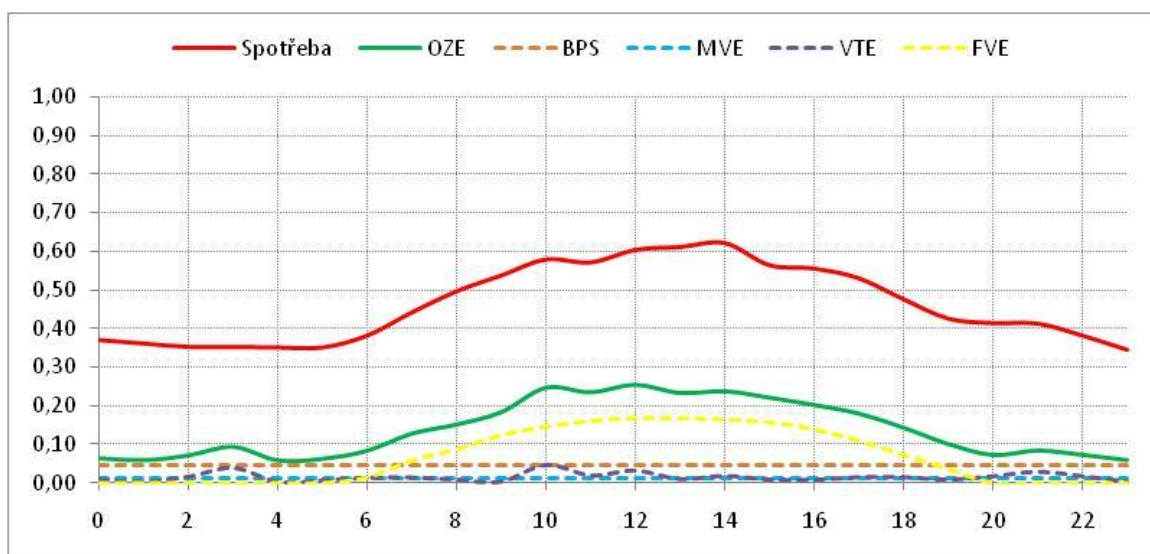
Srpnový pracovní den s minimem spotřeby lze z pohledu OZE simulovat jako den, s nadprůměrnými teplotami a slabým proměnlivým větrem o rychlosti 4 až 8m/s v lokalitách VTE. Výroba FVE je uvažována opět variantně maximální a na svém minimu. Výkon dodávaný VTE je proměnlivý v rozsahu 0 – 50% jmenovitého výkonu. Výkon dodávaný MVE je uvažován mírně kolísavý blízko svého minima a výkon BPS je uvažován stabilní na úrovni maxima.



Obr. 37. Srpnový pracovní den, minima MVE, stabilní BPS, podprůměrné VTE, maximum FVE

V případě jasného dne je dominující výroba z FVE, kdy za daných předpokladů poměrná křivka výroby z OZE ve svém maximu již převyšuje křivku spotřeby.

Uvažujeme-li zatažený den, výroba celého portfolia OZE se svým průběhem nijak výrazně neodlišuje od průběhu spotřeby. Nepatrné kolísání průběhu je způsobeno uvažovaným proměnlivým výkonem VTE.

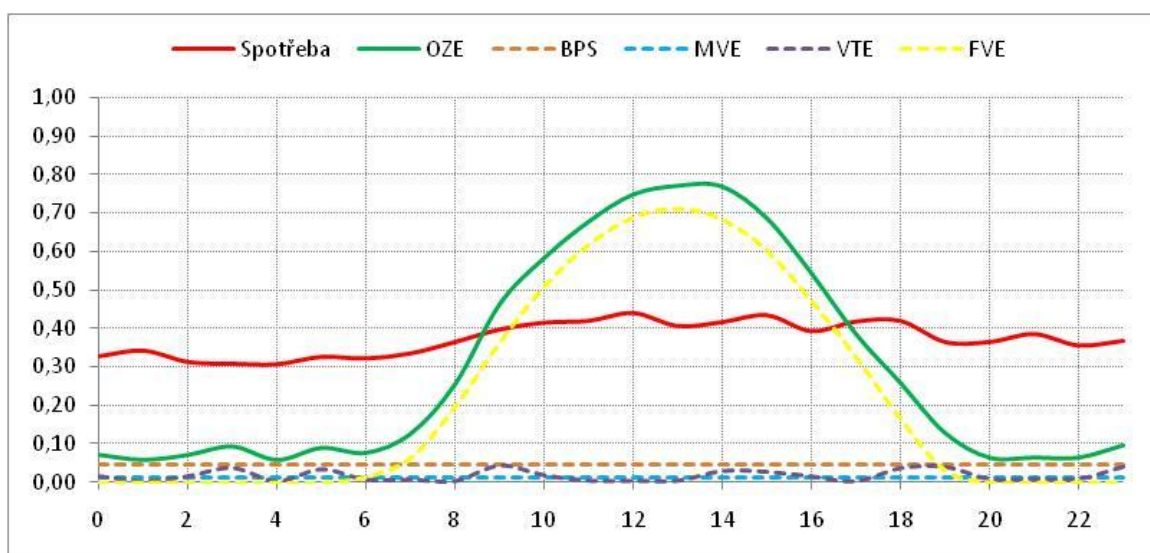


Obr. 38. Srpnový pracovní den, minima MVE, stabilní BPS, podprůměrné VTE, minimum FVE



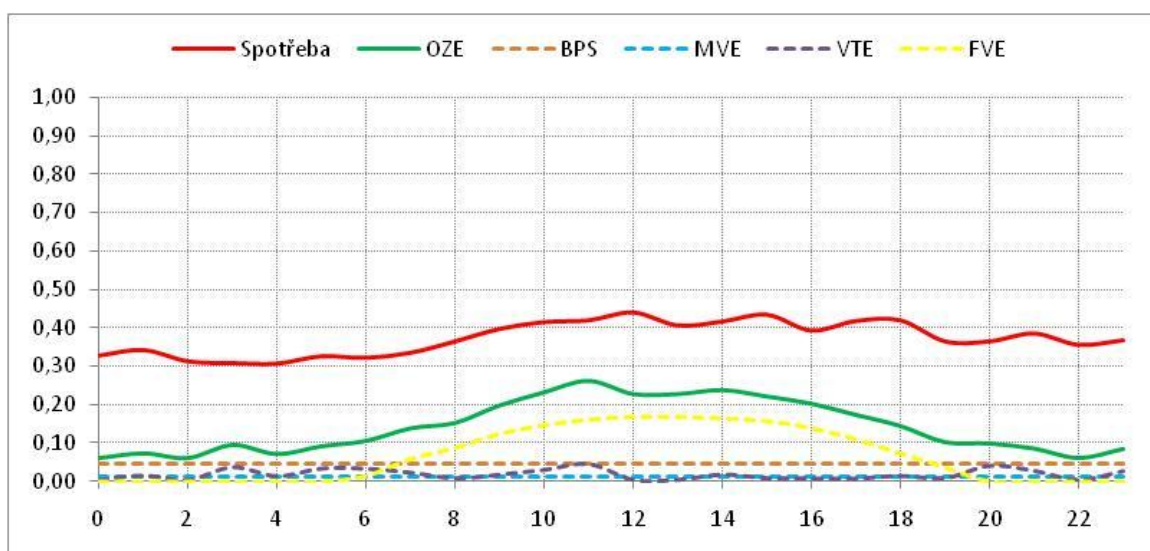
## 6.4 Srpnové minimum spotřeby – neděle

Uvažujeme-li za stejných předpokladů situaci odpovídající lednové neděli, v jasný den pak průběh výroby OZE de-facto odpovídá průběhu denní výroby FVE vzhledem k jejich dominantnímu 70% podílu. Poměrná křivka dodávaného výkonu se dostává ve svém maximu výrazně nad křivku spotřeby a je zřejmé, že pro poměrné vyrovnaní by bylo nutné výrazně omezit výrobu FVE nebo přebytečnou energii jinak akumulovat – dle současných možností připadá v úvahu pouze přečerpávací vodní elektrárny (PVE).



**Obr. 39.** Srpnová neděle, minima MVE, stabilní BPS, podprůměrné VTE, maximum FVE

Zcela odlišná situace nastává, uvažujeme-li zatažený den jasný den. V průběhu srpnové neděle s minimem výroby z FVE je průběh výkonu dodávaného z OZE opět blízký průběhu uvažované spotřeby. Mírné kolísání pak způsobuje kolísavá výroba z VTE.



**Obr. 40.** Srpnová neděle, minima MVE, stabilní BPS, podprůměrné VTE, minimum FVE

Oproti zimnímu období je v letním období méně regulačního výkonu, především pak zdrojů poskytujících zápornou regulaci výkonu. Z pohledu zajištění provozu ES pak avizované vyhlášení stavu nouze a odpojování výkonu FVE má své odopstatnění.

## 7 Simulace průběhu denní výroby OZE – stav dle NAP (2020)

Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů (NAP) byl připraven na základě požadavku čl. 4 směrnice 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů. NAP připravilo ministerstvo průmyslu a obchodu a česká vláda jej schválila usnesením č. 603/2010 ze dne 25. srpna 2010.

NAP nastavuje rámec pro rozvoj alternativních zdrojů energie pro následujících deset let. Stanovuje celkový cíl pro podíl energie z OZE na hrubé konečné spotřebě energie v roce 2005 a v roce 2020. Konečný podíl energie z OZE na hrubé konečné spotřebě energie v roce 2005 činil 6,1%, cíl pro rok 2020 je stanoven ve výši 13,5%. Tohoto cíle má být dosaženo prostřednictvím dílčích cílů pro jednotlivé roky a to v předem definovaném složení jednotlivých technologií (různých druhů OZE).

Na NAP se dále odvolává vládní návrh nového zákona o podporovaných zdrojích energie (nahrazující mj. zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů). Ten na nepřekročení hodnot výroby elektřiny (v případě biomasy), resp. instalovaného výkonu (v případě ostatních zdrojů) předpokládaných pro daný rok váže právo na podporu zdrojů zprovozněných v dalších letech. Pokud tento návrh zákona bude schválen parlamentem, nebude akční plán pouze strategickým dokumentem, ale stane se z něj dokument, jehož obsah přímo zavdává či odebírá právo na zákonnou podporu pro využití obnovitelných zdrojů.

**Tab. 2.** Předpoklad vývoje instalovaného výkonu dle NAP a potenciál dle dostupných analýz.

Druh OZE	2010 (MW)	2011 (MW)	2015 (MW)	2020 (MW)	Potenciál dle analýz (MW)
FVE	1650	1660	1680	1695	-
VTE	243	293	493	743	až 2700
MVE	304	313	338	341	až 450
BPS	113	147	267	417	600 až 1000

Zásadním nedostatkem tohoto dokumentu je předpokládaný scénář vývoje, který vychází z trendu současného vývoje, nikoliv z dostupných analýz potenciálu jednotlivých druhů OZE, viz. text preambule tohoto dokumentu:

*„Navržený Národní akční plán je sestaven tak, aby naplnil požadované cíle v oblasti využívání energie z obnovitelných zdrojů a to na základě současných a připravovaných reálných projektů a na očekávané reálné predikci budoucího vývoje dané statistickým sledováním trendů s případným zohledněním dotační politiky. V případě fotovoltaických systémů a větrných elektráren je dále požadavek připravovaných projektů konfrontován s bezpečností a spolehlivostí elektrizační soustavy. Národní akční plán tedy není postaven na možných nebo teoretických potenciálech jednotlivých druhů obnovitelných zdrojů.“ [19]*

---

Za další nedostatek lze považovat i to, že NAP v postatě nezabývá jedním z nejdůležitějších témat OZE, a to nutnými opatřeními v elektrické distribuční síti, která by umožnila další připojování decentralizovaných výroben energie z OZE. Dále neobsahuje jakoukoliv zmínku natož plán zavedení tzv. Smart grids, které umožní efektivně eliminovat výkyvy v produkci elektřiny na daném území a ve své podstatě pak umožní připojení vyššího počtu OZE do distribuční sítě.

Vzhledem k diskuzím a četným kritikám vyvolaným právě zmíněnými nedostatky lze jen doufat, že v dalších letech bude příprava tohoto dokumentu minimálně konzultována s širokou odbornou veřejností. Jak je dále uvedeno v preambuli tohoto dokumentu, příležitost k úpravám NAP bude každé dva roky:

*„Národní akční plán a jeho naplňování bude Ministerstvo průmyslu a obchodu vyhodnocovat nejméně jedenkrát za 2 roky, o výsledcích vyhodnocení bude informovat vládu a předkládat návrhy na aktualizaci národního akčního plánu. Na základě tohoto průběžného hodnocení a aktualizace bude možné případně modifikovat také cíl 13,5% podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie s tím, že minimálním cílem zůstává 13%.“ [19]*

Jak již bylo zmíněno, NAP v kombinaci s připravovanou novelou zákona o podpoře obnovitelných zdrojů energie, bude představovat mocný nástroj zásadně ovlivňující další rozvoj v této oblasti využití obnovitelných zdrojů energie.

Simulované portfolio vybraných OZE v následující sérii grafů tedy odpovídá předpokládanému stavu a zastoupení vybraných druhů OZE v roce 2020 dle NAP, přehled uvádí následující tabulka:

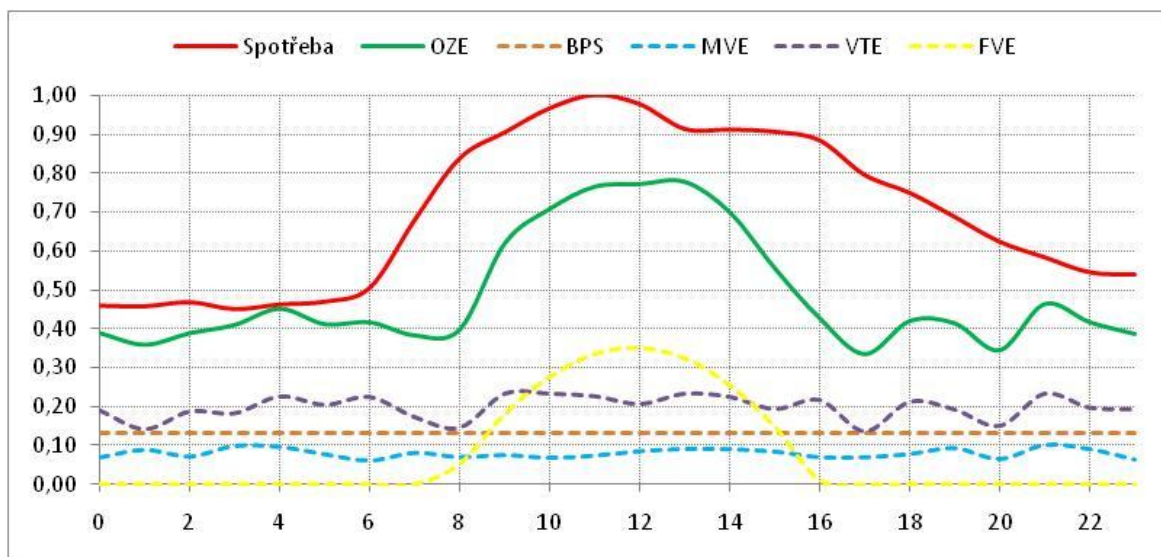
**Tab. 3. Předpoklad instalovaného výkonu vybraných OZE dle NAP.**

<b>Druh OZE</b>	<b>Instalovaný výkon v ČR (předpoklad pro konec roku 2020)</b>	<b>Podíl</b>
FVE	1695 MW	53 %
VTE	743 MW	23 %
MVE	341 MW	11 %
BPS	417 MW	13 %



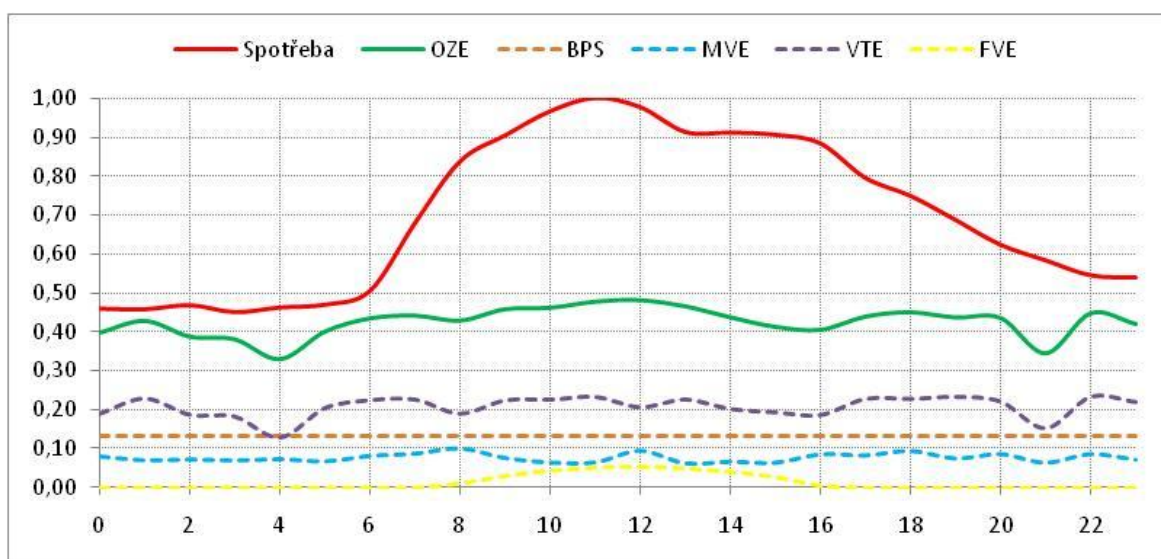
## 7.1 Lednové maximum spotřeby – pracovní den

Lednový pracovní den s maximem spotřeby lze z pohledu OZE simulovat podobně jako v předchozí kapitole, tzn. výroba FVE je uvažována variantně maximální a na svém minimu, ale nenulová, výkon dodávaný MVE je uvažován mírně kolísavý blízko svého maxima a výkon BPS je uvažován stabilní na úrovni maxima. Výkon dodávaný VTE potom v rozsahu 50% až 100% uvažujeme-li proměnlivou rychlost větru 9 až 12 m/s v lokalitách VTE.



**Obr. 41.** Lednový pracovní den, maxima MVE, stabilní BPS, nadprůměrné VTE, maximum FVE

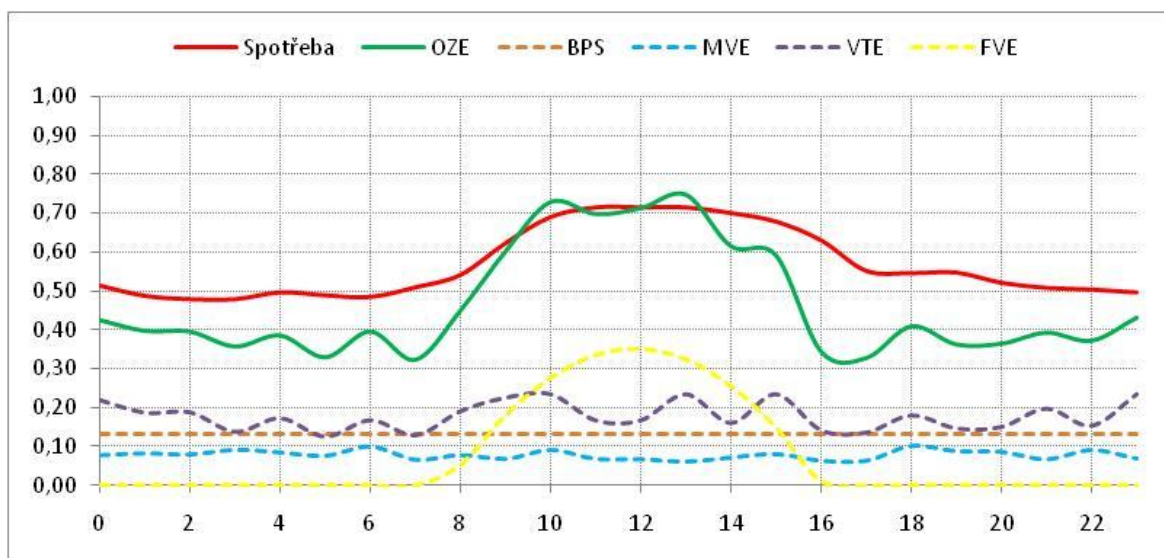
Stále dominantní podíl FVE se však v jasném dni nadále výrazně projevuje, vyšší zastoupení ostatních zdrojů pak za daných předpokladů napomáhá k přiblížení průběhu výroby k uvažovanému průběhu spotřeby. Nárůst instalovaného výkonu VTE o přibližně 500MW oproti současnému stavu, pak za daných předpokladů znázorňuje dominantní vliv kolísavé výroby VTE, která de facto udává tvar průběhu výroby celého portfolia OZE od večerních do ranních hodin.



**Obr. 42.** Lednový pracovní den, maxima MVE, stabilní BPS, nadprůměrné VTE, minimum FVE

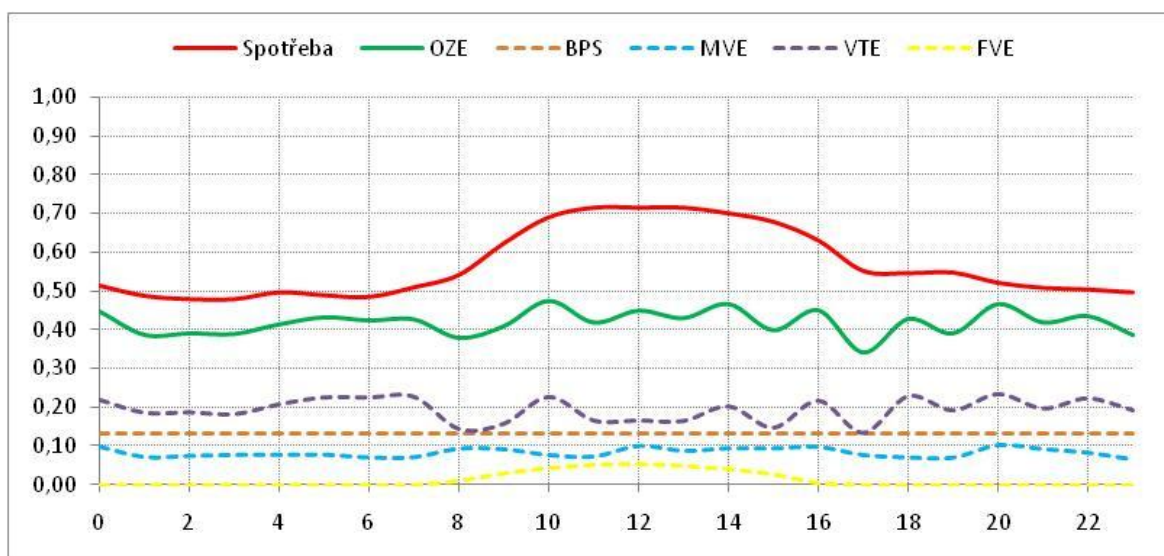
## 7.2 Lednové maximum spotřeby – neděle

Uvažujeme-li za stejných předpokladů pro srovnání situací odpovídající lednové neděli, lze průběh výroby portfolia OZE po celý den označit za velmi blízký uvažovanému průběhu spotřeby, a to i přes patrné zvlnění průběhu vlivem kolísavé výroby VTE .



Obr. 43. Lednová neděle, maxima MVE, stabilní BPS, nadprůměrné VTE, maximum FVE

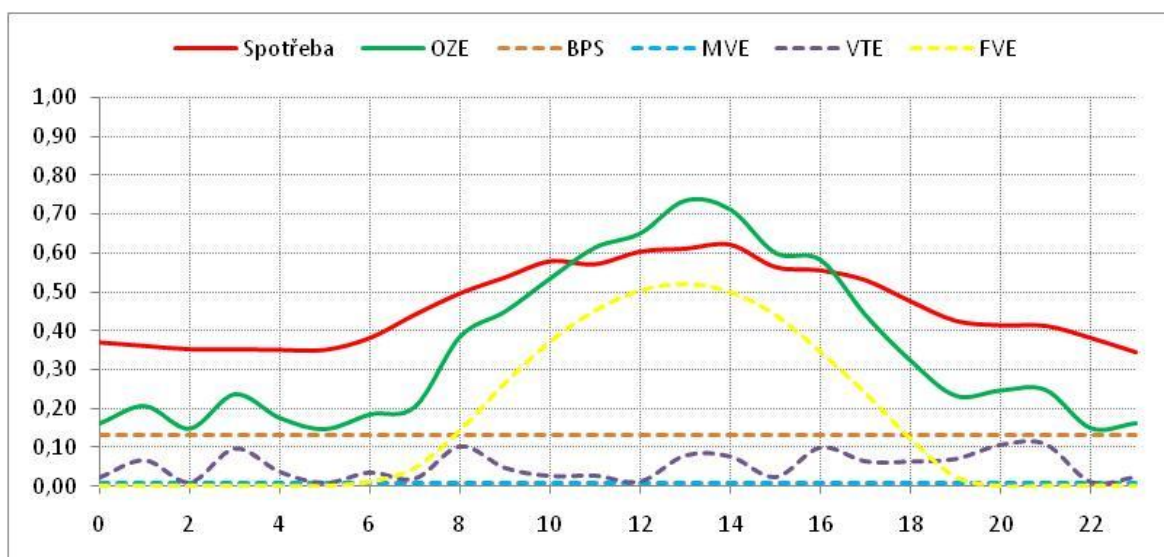
Na tvaru denního průběhu výroby OZE vidět již mírně omezený vliv výroby FVE, ačkoliv v případě jasného dne zůstává dominantní. Značně kolísavá výroba VTE, při uvažované proměnlivé rychlosti větru v rozsahu 9 až 12 m/s, se výrazně projevuje na celkovém průběhu, nejvíce je pak patrná opět od večerních do ranních hodin.



Obr. 44. Lednová neděle, maxima MVE, stabilní BPS, nadprůměrné VTE, minimum FVE

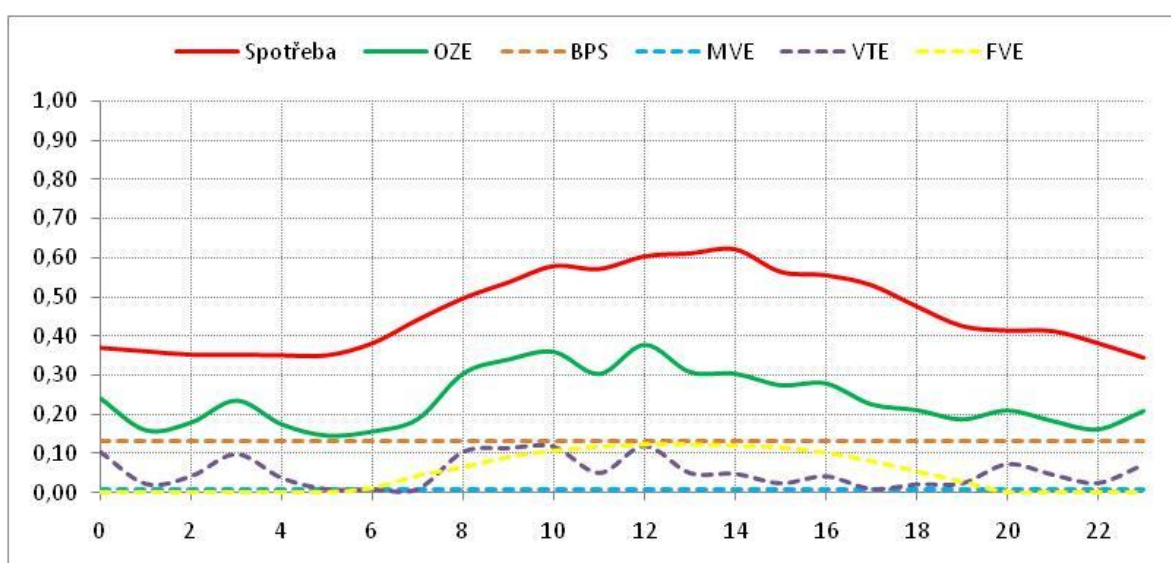
### 7.3 Srpnové minimum spotřeby – pracovní den

Simulujeme-li za předpokladů odpovídajících předchozí kapitole 6.3 průběh výroby očekávaného portfolia OZE, průběh výroby je i přes mírné kolísání vlivem VTE blízký uvažovanému průběhu spotřeby, vyjma poledních hodin. Zde je zřejmý vliv změny skladby portfolia OZE oproti současnému stavu modelovaném v kapitole 6.3. – mírné utlumení vlivu FVE díky vyššímu podílu VTE a BPS.



Obr. 45. Srpnový pracovní den, minima MVE, stabilní BPS, podprůměrné VTE, maximum FVE

Podobně, avšak s opačným efektem se projevuje změna skladby portfolia OZE v případě uvažování zataženého dne. Zcela dominantní podíl výroby FVE, díky kterému ve srovnatelném případě uvedeném v 6.3 kopíroval takřka hladce průběh výroby portfolia OZE uvažovaný průběh spotřeby, je v tomto případě značně zvlněný vlivem vyššího zastoupení VTE.

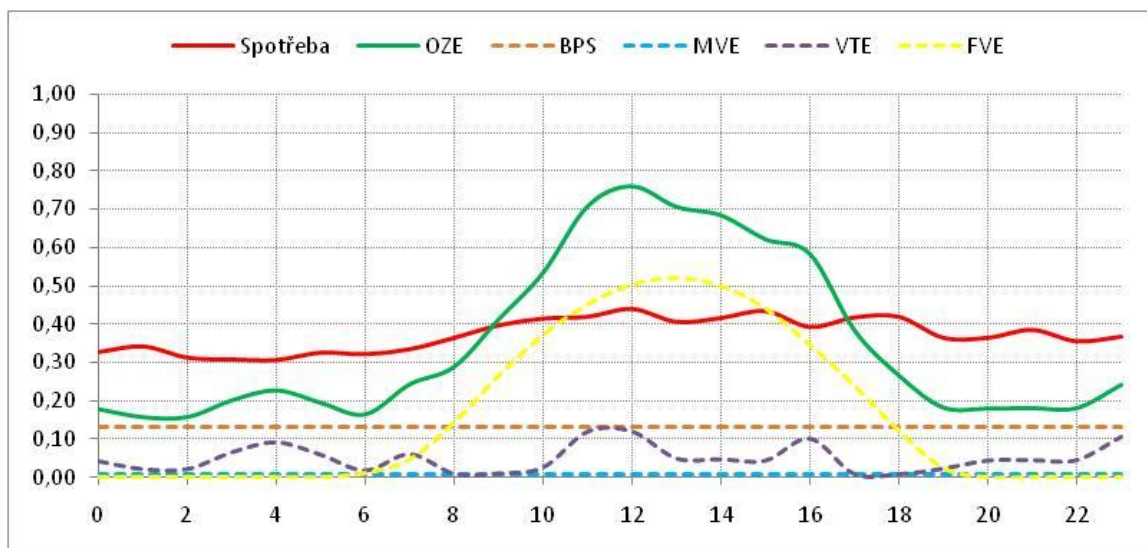


Obr. 46. Srpnový pracovní den, minima MVE, stabilní BPS, podprůměrné VTE, minimum FVE



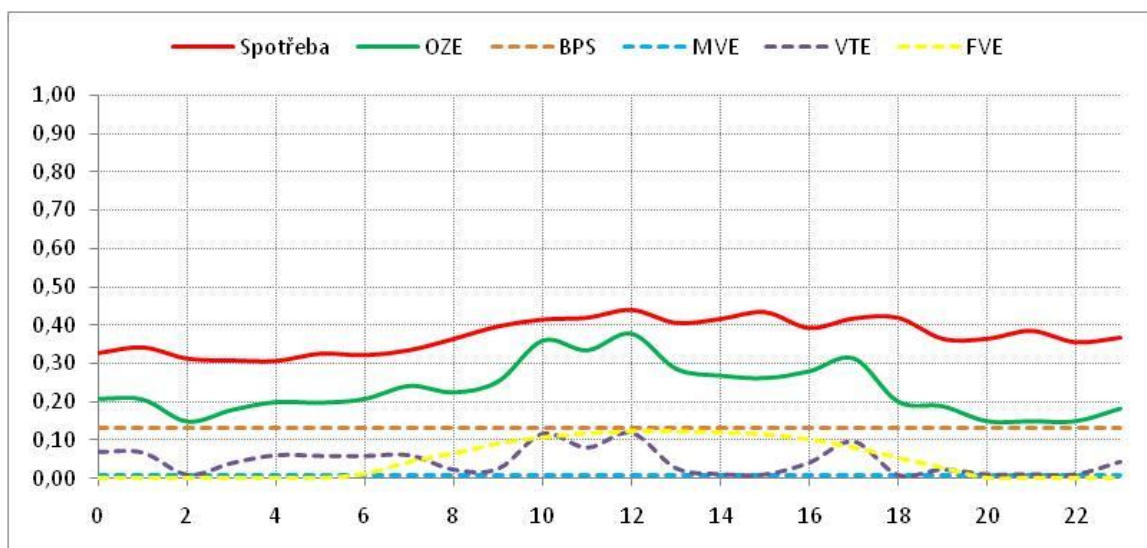
## 7.4 Srpnové minimum spotřeby – neděle

Srpnová neděle, simulovaná za stejných předpokladů jako v kapitole 6.4 opět v případě jasného dne potvrzuje dominantní vliv výroby FVE.



**Obr. 47.** Srpnová neděle, minima MVE, stabilní BPS, průměrné VTE, maximum FVE

V případě zataženého dne je průběh výroby portfolia zvlněn vlivem vyššího zastoupení VTE, které by se ještě více projevilo při mírně vyšších rychlostech větru, při kterých by s ohledem na výkonovou charakteristiku VTE mohlo docházet k celkově výraznějšímu kolísání výroby.



**Obr. 48.** Srpnová neděle, minima MVE, stabilní BPS, průměrné VTE, minimum FVE

---

## 8 Možnosti plánování výroby z BPS

Zemědělské BPS jsou a pro svůj významný potenciál budou i v následujících letech dominantní svým podílem na portfoliu OZE využívajících bioplyn. Pro modelový případ a simulaci možného využití BPS, ať už jako špičkového či polo-špičkového zdroje nebo zdroje vyrovnávajícího proměnlivou výrobu celého portfolia OZE, lze vycházet z principů a předpokladů platných obecně pro zemědělské BPS. Velmi stručnou charakteristiku BPS popsanou v kapitole 3.4 je potřeba dále doplnit.

Zemědělské BPS nejčastěji zpracovávají odpady produkované při živočišné výrobě (kejska skotu, kejska prasat, hnůj, chlévská mrva, apod.) a nosným substrátem je cíleně pěstovaná silážovaná biomasa (kukuřičná a travní siláž), doplňkově pak zpracovávají odpady z druhotného zpracování brambor, cukrové řepy apod. Směs těchto vstupních surovin potom ve fermentoru bez přístupu prochází biologickým rozkladem, při kterém se uvolňuje tzv. bioplyn, jehož hlavní složkou je metan. Nejčastěji využívaná technologie BPS pracuje v mezofilním režimu, tj. při teplotách substrátu v rozmezí 30°C až 40°C. Udržení stabilní teploty uvnitř fermentoru je zásadní z pohledu probíhajícího biologického procesu, proto jsou fermentory vyhřívány teplem z kogenerační jednotky, tzn. odpadním teplem z chlazení spalovacího plynového motoru. Kogenerační jednotky obvykle pracují s celkovou účinností kolem 80 %, přičemž přibližně 38 % představuje elektrická účinnost a 42 % tepelná účinnost. S rostoucím jmenovitým výkonem kogenerační jednotky se pak poměr elektrické a tepelné účinnosti vyrovnává.

Technologická vlastní spotřeba tepla obvykle představuje 15 až 25% roční produkce, zatímco technologická vlastní spotřeba elektřiny se pohybuje v rozmezí 5 až 10% roční produkce. Základním limitujícím faktorem pro stanovení dostupného výkonu pro regulaci je tedy především dostatečný tepelný výkon pro vlastní technologii, který závisí na objemu, počtu a provedení fermentorů – tzn. jejich celkové tepelné ztrátě. S ohledem na obvyklé parametry BPS lze pro zajištění dostatečného tepelného výkonu uvažovat jako postačující KJ odpovídající 25% celkového instalovaného výkonu BPS.

Jako příklad, pro BPS s instalovaným výkonem 1.000 kW<sub>el</sub> je pro zajištění vlastní spotřeby elektřiny a tepla dostatečná KJ o výkonu 250 kW<sub>el</sub>, která disponuje dostatečným tepelným výkonem i pro udržování požadované provozní teploty plynových motorů KJ připravených ke startu. Zbývajících 750 kW, resp. palivo – bioplyn pro tento výkon, lze uskladnit a využít pro dodávku výkonu v době vysokého zatížení ES nebo pro vyrovnání odchylek od sjednaných dodávek a odběrů obchodníka s elektřinou či jinak plánovanou výrobu.

Vydeme-li dále z předpokladu, že na každou hodinu provozu 1kW výkonu je potřeba v průměru 0,4m<sup>3</sup> bioplynu, potom v případě zemědělské BPS dimenzované na 1MW elektrického výkonu lze teoreticky k akumulaci využít až 300m<sup>3</sup> bioplynu za hodinu. Pro skladování lze nejlépe využít externí tzv. dvou-membránové plynové zásobníky, které jsou běžně dostupné v objemu až do 5.360 m<sup>3</sup>.



**Obr. 49.** Membránové plynové zásobníky fy. Sattler AG. (Převzato ze prezentace Sattler AG)

Můžeme tedy vycházet z předpokladu, že technicky lze bez problémů po dobu 12ti hodin akumulovat uvažovaných 75% produkovaného bioplynu, tj. 3600m<sup>3</sup> představujících za daných předpokladů 9 MWh „akumulované“ elektrické energie.

Model BPS s možností akumulace lze pak upravit takto:

po dobu 12 hodin akumulace

$$p_{rel} \approx 0,25 \times p_{inst} \quad (8.1)$$

po dobu 12 hodin dodávky výkonu

$$p_{rel} \approx 1,75 \times p_{inst} \quad (8.2)$$

---

## 9 Ekonomické vyhodnocení BPS

Obvykle používaná kritéria pro ekonomické hodnocení projektů, jako např. čistá současná hodnota (NPV), vnitřní výnosové procento (IRR), doba návratnosti, index ziskovosti apod., jsou vhodná pro základní zhodnocení efektivity investic nebo porovnání dvou a více variant projektu z ekonomického pohledu.

Většina projektů realizovaných v energetice, obzvláště pak v oblasti OZE, se neobejde bez účasti bankovních ústavů. Hlavními důvody pro využití bankovních úvěrů jsou jednak omezené finanční prostředky drobných investorů, ale i vysoká cena vlastních zdrojů finančně silných investorů. Pro posouzení možnosti reálného rozšíření popsaného konceptu BPS s možností akumulace bioplynu a dodávky výkonu v době vyššího zatížení je tedy nezbytné ekonomické vyhodnocení z pohledu bankovních ústavů, pro které jsou výše uvedená kritéria ekonomického hodnocení nedostatečná.

Velká část zemědělských BPS, které představují nejvýznamnější potenciál v oblasti bioplynu, je financována na tzv. korporátní riziko (úvěr poskytován na základě stávající ekonomiky zemědělských subjektů realizujících BPS). Vzhledem k současné situaci v zemědělství (propady výkupních cen mléka, apod.), představuje realizace a provozování BPS pro zemědělské subjekty určitý stabilizační prvek jejich cash-flow a mnohým pomáhá kompenzovat dočasně ztrátovou zemědělskou prvovýrobu. Rozhodujícím faktorem tzv. „financovatelnosti“ BPS bankou se tak stává ekonomické vyhodnocení z pohledu projektového financování, tzn. vyhodnocení finančních toků samotného projektu BPS.

Projektový přístup potom znamená vyhodnocení schopnosti projektu pokrýt dluhovou službu, a to s dostatečnou rezervou pro pokrytí rizik v jednotlivých letech a po celou dobu financování. Hlavním sledovaným parametrem je ukazatel DSCR – debt service coverage ratio, který lze stanovit jako:

$$DSCR = \frac{\text{volné cashflow} + \text{splátka úroků} + \text{splátka jistiny}}{\text{splátka úroků} + \text{splátka jistiny}}$$

kde splátka jistiny a splátka úroků představují dluhovou službu a volné cashflow představuje čistý zisk po zdanění, tj. zmiňovanou rezervu na krytí rizik a popř. kapitál disponibilní pro vlastníky projektu. Minimální požadovaná úroveň ukazatele DSCR tedy kvantifikuje rizika vnímaná bankou při provozu konkrétního projektu, v tomto případě při provozu konkrétní BPS.

Pro vyhodnocení financovatelnosti stávajícího konceptu BPS ve srovnání s uvažovaným konceptem BPS s možností akumulace bioplynu a dodávky výkonu v době vyšší spotřeby lze orientačně vyházet z indikativních technických a ekonomických parametrů dle Přílohy 3 k vyhlášce 475/2005, kde pro zařízení spalující bioplyn platí předpoklad:

<i>Měrné investiční náklady</i>	<i>&lt; 120 000 Kč / kWe</i>
<i>Roční využití instalovaného výkonu</i>	<i>&gt; 7 500 hod / kWe</i>

---

## 9.1 Stávající koncept BPS

Podle stávajícího konceptu BPS je zařízení provozováno trvale na jmenovitý, resp. dimenzovaný výkon, tzn. výkon kogenerační jednotky je volen s ohledem na předpokládanou hodinovou produkci bioplynu.

Pro zobecnění lze dále uvažovat následující obvyklé, resp. průměrné parametry zemědělské BPS:

<i>Instalovaný elektrický výkon</i>	...	<i>500 kW</i>
<i>Roční využití</i>	...	<i>8000 hodin</i>
<i>Vyrobena elektřina</i>	...	<i>4000 MWh</i>
<i>Prodaná elektřina</i>	...	<i>3750 MWh</i>
<i>Výkupní cena elektřiny</i>	...	<i>4120 Kč / MWh</i>
<i>Investiční náklady</i>	...	<i>60 mil Kč</i>
<i>Provozní náklady</i>	...	<i>7,5 mil Kč</i>

Nijak neobvyklým požadavkem v oblasti financování zemědělských BPS je požadavek investorů na poskytnutí úvěru pokrývajícího 100% investice. Je tomu tak i v případě poskytnuté dotace (obvykle 30% investice), která je proplacena až po realizaci BPS a jejím uvedení do provozu. V takovém případě je obvykle ze strany investorů požadováno předfinancování dotace účelovým krátkodobým úvěrem.

Dalšími základními a obvyklými parametry pro ekonomické vyhodnocení stávajícího konceptu BPS jsou:

<i>Úvěr (100% investice)</i>	...	<i>6% p.a.</i>
<i>Dotace (30% investice)</i>	...	<i>18 mil Kč</i>
<i>Požadované min. DSCR</i>	...	<i>1,15 – 1,2</i>

Za uvedených obecných předpokladů lze BPS financovat, resp. poskytnout úvěry s následující dobou splatnosti:

<i>Splatnost bez dotace</i>	...	<i>15 let</i>
<i>Splatnost s dotací</i>	...	<i>10 let</i>

## 9.2 Koncept polo-špičkové BPS

Koncept polo-špičkové BPS v uvažovaném případě představuje BPS vybavenou externím zásobníkem bioplynu s kapacitou odpovídající 75% produkce po dobu dvanácti hodin. Pro srovnání uvažujeme stejnou produkci, jako v případě stávajícího konceptu BPS v předchozí kapitole, tj. produkce bioplynu cca 200 m<sup>3</sup>/hod. BPS je osazena kogenerační jednotkou o výkonu přibližně 125 kW pro zajištění vlastní spotřeby elektřiny a tepla, a dále



---

pak jednou nebo více KJ s celkovým elektrickým výkonem cca 750 kW pro dodávku výkonu po dobu dvanácti hodin denně.

Investiční vícenáklady, které lze odhadnout na přibližně 10 mil Kč oproti stávajícímu konceptu BPS, odpovídají vyššímu instalovanému výkonu KJ a externímu zásobníku na bioplyn. Provozní náklady lze uvažovat srovnatelné jako u stávajícího konceptu BPS. Náklady na servis KJ totiž u stávajícího konceptu BPS představují přibližně 15% celkových provozních nákladů a obvykle jsou kalkulovány v závislosti na počtu provozních hodin KJ, resp. množství vyrobené elektrické energie.

Výchozí parametry pro srovnatelné ekonomické vyhodnocení pak jsou:

<i>Instalovaný elektrický výkon</i>	...	<i>875 kW</i>
<i>Roční využití cca 15% výkonu</i>	...	<i>8000 hodin</i>
<i>Roční využití cca 75% výkonu</i>	...	<i>4000 hodin</i>
<i>Vyrobena elektřina</i>	...	<i>4000 MWh</i>
<i>Prodaná elektřina</i>	...	<i>3750 MWh</i>
<i>Výkupní cena elektřiny</i>	...	<i>4120 Kč / MWh</i>
<i>Investiční náklady</i>	...	<i>70 mil Kč</i>
<i>Provozní náklady</i>	...	<i>7,5 mil Kč</i>

Pro srovnání je dále uvažováno shodně s předchozím případem:

<i>Úvěr (100% investice)</i>	...	<i>6% p.a.</i>
<i>Požadované min DSCR</i>	...	<i>1,15 – 1,2</i>
<i>Dotace (26% investice)</i>	...	<i>18 mil Kč</i>

Za uvedených obecných předpokladů vychází financování s následující dobou splatnosti úvěrů:

<i>Splatnost bez dotace</i>	...	<i>18 let</i>
<i>Splatnost s dotací</i>	...	<i>13 let</i>

Aby bylo dosaženo akceptovatelné splatnosti 15 let, resp. 10 let v případě poskytnuté dotace, je nutné snížení úvěru na úroveň odpovídající stávajícímu konceptu BPS, tzn. uhrazení vícenákladů 10 mil Kč z vlastních zdrojů investora.

Další variantou, která by byla pro investory motivační a napomohla k rozvoji toho konceptu, je navýšení výkupní ceny elektřiny z takto provozovaných BPS:

<i>Výkupní cena</i>	...	<i>4600 Kč / MWh (navýšení o 480 Kč / MWh)</i>
<i>Splatnost bez dotace</i>	...	<i>15 let</i>
<i>Splatnost s dotací</i>	...	<i>10 let</i>

Vyjdeme-li dále pro srovnání z platného cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 2/2010 ze dne 8. listopadu 2010, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů, potom výrobní s instalovaným výkonem do 1 MW včetně (s výjimkou výroby využívající obnovitelné zdroje energie nebo spalující degazační plyn) je podporována příspěvkem k ceně elektřiny 590 Kč/MWh v základním pásmu (24hodin) a v případě dodávky v pásmu 12hodinového vysokého tarifu činí příspěvek 1340 Kč/MWh. „Motivační“ částka pro dodávku v požadovaný časový interval tedy odpovídá 750 Kč/MWh.

Potřebné „motivační“ navýšení výkupní ceny, resp. příspěvku 480 Kč/MWh v případě konceptu polo-špičkových BPS tedy není nijak výrazné. Navíc v případě využití podpory formou zelených bonusů je pravděpodobné, že dodávku výkonu v předem definovaných časech dostatečně ocení daný obchodník s elektřinou.

## 10 Simulace průběhu denní výroby OZE – koncept polo-špičkové BPS

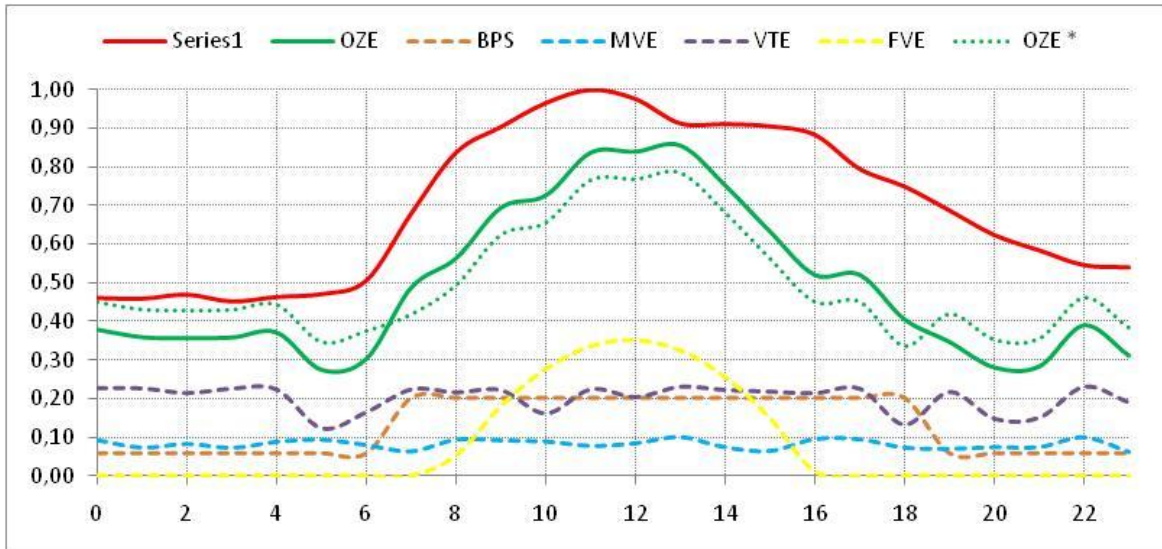
Simulované portfolio vybraných OZE v následující sérii grafů tedy odpovídá předpokládanému stavu a zastoupení vybraných druhů OZE v roce 2020 dle NAP, přičemž 300MW výkonu BPS je simulováno v konceptu polo-špičkové BPS, přehled uvádí následující tabulka:

**Tab. 4.** Předpoklad instalovaného výkonu vybraných OZE dle NAP.

Druh OZE	Instalovaný výkon v ČR (předpoklad pro konec roku 2020)	Podíl
FVE	1695 MW	53 %
VTE	743 MW	23 %
MVE	341 MW	11 %
BPS	417 MW (z toho 300MW v konceptu polo-špičkové BPS)	13 %

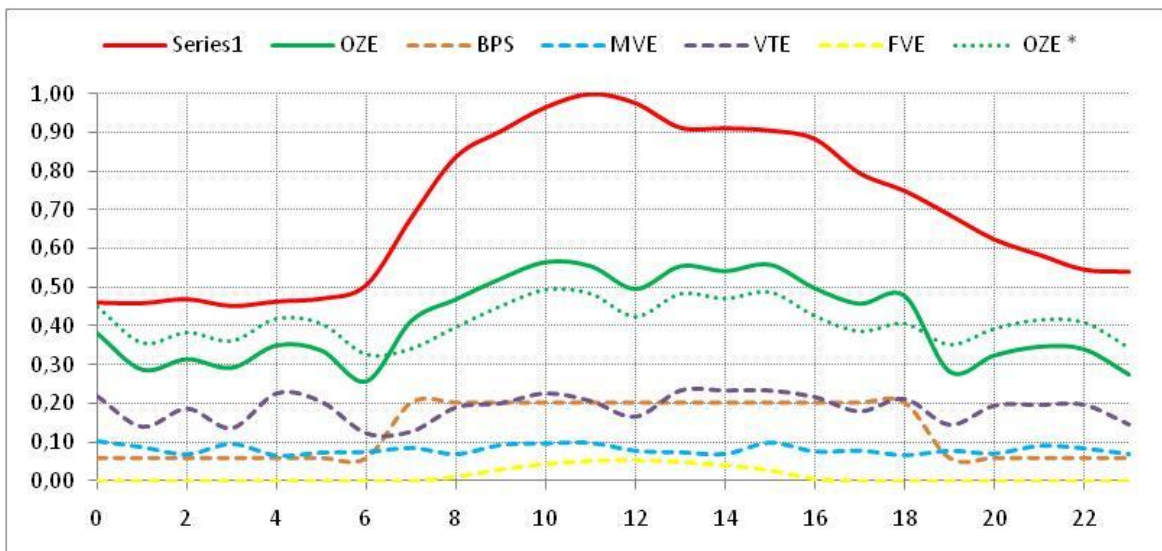
## 10.1 Lednové maximum spotřeby – pracovní den

Simulace vychází pro srovnání ze stejných předpokladů jako v předchozí části, tzn. výroba FVE je uvažována variantně maximální a na svém minimu, ale nenulová, výkon dodávaný MVE je uvažován mírně kolísavý blízko svého maxima, výkon dodávaný VTE potom v rozsahu 50% až 100%, uvažujeme-li proměnlivou rychlost větru 9 až 12 m/s v lokalitách VTE.



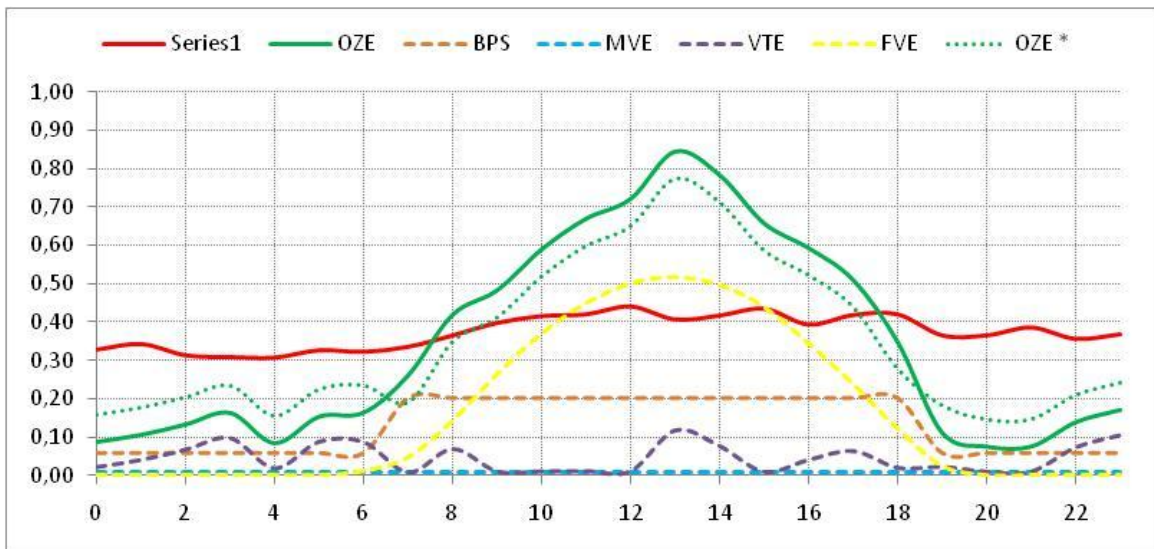
Obr. 50. Lednový pracovní den, maxima MVE, stabilní BPS, průměrné VTE, maximum FVE

Simulovaný koncept polo-špičkové BPS pak v obou případech, uvažování jasného a zataženého dne, napomáhá k přiblížení průběhu výroby portfolia OZE k uvažovanému průběhu spotřeby. Aby bylo dosaženo větší shody, musel by být zřejmě podíl takto provozovaných BPS v rámci portfolia OZE výrazně vyšší.



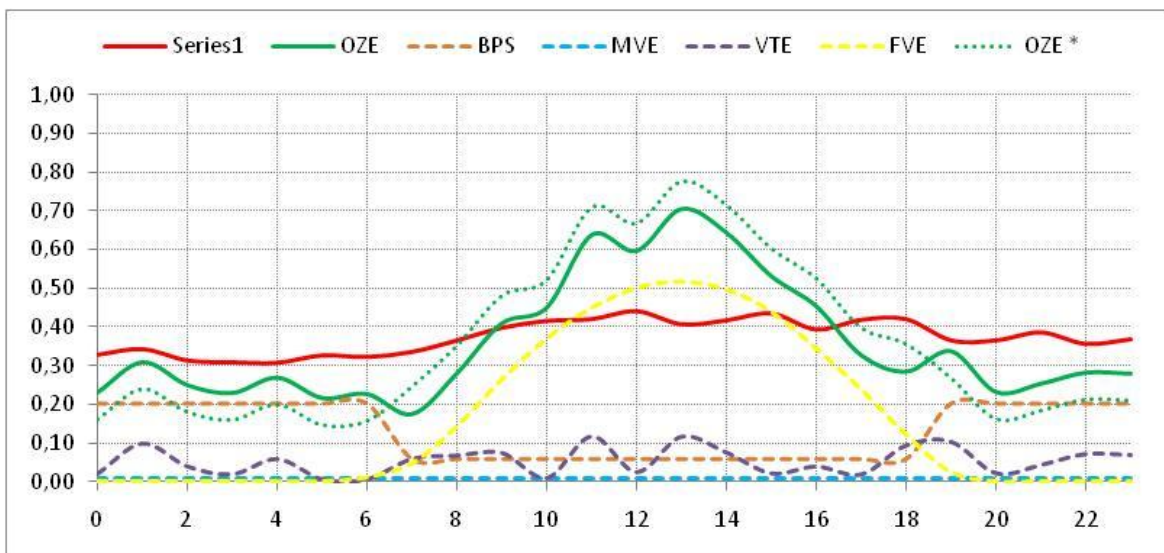
Obr. 51. Lednový pracovní den, maxima MVE, 12hodinová BPS, průměrné VTE, minimum FVE

## 10.2 Srpnové minimum spotřeby – neděle



**Obr. 52.** Srpnová neděle, minima MVE, 12hodinová BPS – noční akumulace, průměrné VTE, maximum FVE

Zcela odlišná situace nastává za předpokladu letních minim spotřeby, kdy je pro alespoň částečné přiblížení k průběhu spotřeby nutná změna periody dodávky výkonu z uvažovaných polo-špičkových BPS, a to do nočních hodin. Opět je zřejmé, že pro větší přiblížení k průběhu spotřeby je nutné uvažovat celkově větší zastoupení BPS.



**Obr. 53.** Srpnová neděle, minima MVE, 12hodinová BPS – denní akumulace, průměrné VTE, minimum FVE

---

## **11 Nástroje pro optimalizaci portfolia OZE**

Z provedených simulací a úvah je zřejmé, že pro další podporu a rozvoj v oblasti OZE by bylo vhodné respektovat charakteristické chování podporovaných zdrojů, tak z možnosti změny charakteru provozu těch druhů OZE které to umožňují.

Ovlivnění skladby portfolia OZE lze provést buď legislativními úpravami – vyhlášky, změny zákonů apod., které nejsou obecně příliš pozitivně vnímány. Další formou, ovlivnění jsou tzv. motivační nástroje ve formě podpory investic, daňových úlev apod., které jsou obecně lépe přijímány a dosahují z tohoto pohledu často lepších výsledků, už z jejich principu – motivovat.

### **11.1 Legislativní nástroje**

Základním nástrojem pro ovlivnění nejen vývoje samotné skladby portfolia OZE, ale i změny charakteru provozu těch druhů podporovaných OZE, které nezávisí výhradně na fyzikálně proměnlivých přírodních zdrojích, může být popisovaná kombinace NAP navázaná na plánovanou velkou novelizaci zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů.

Pokud budou při úpravě legislativy a aktualizaci parametrů, resp. dílčích cílů NAP respektovány odborné studie potenciálu jednotlivých druhů OZE, dále nastíněné možnosti změny charakteru provozu BPS, lze vhodně nastavit rámec pro zákonnou podporu využití OZE, tak aby další rozvoj v této oblasti probíhal s minimem negativních dopadů na plánování a provoz ES i peněženky daňových poplatníků a spotřebitelů elektřiny.

### **11.2 Motivační ekonomické nástroje**

Silný motivační nástroj, který lze aktuálně využít pro nasměrování vývoje v oblasti bioplynu, jsou dotace poskytované v rámci Programu rozvoje venkova nebo Operačního programu podnikání a inovace. Finanční prostředky alokované v rámci těchto dotačních programů musejí být přiděleny do konce roku 2013, vyčerpány potom do roku 2015, přitom v obou programech se počítá v následujícím období s vyhlášením jedné či dvou výzev pro registraci žádostí o podporu.

Podobně jak bylo v rámci těchto programů přistoupeno k rychlé úpravě pravidel a podpoře pouze projektů BPS racionálně využívajících teplo z kogeneračních jednotek, lze zřejmě podobným způsobem upravit podmínky pro poskytnutí dotace pro projekty BPS navržené v konceptu špičkových či polo-špičkových BPS, tedy s možností akumulace bioplynu a plánované výroby elektřiny

Další možností motivace pro změnu koncepce provozu BPS může být například opětovné zavedení nedávno zrušeného osvobození od daně z příjmu..

---

## 12 Závěr

Vybrané druhy obnovitelných zdrojů, tedy fotovoltaické elektrárny, malé vodní elektrárny, větrné elektrárny a bioplynové stanice, byly pro hodnocení v rámci této práce voleny pro svůj stávající či v budoucnu očekávaný významný podíl na celkovém portfoliu všech druhů OZE. Znalost charakteristického průběhu výroby z těchto zdrojů, ať už v průběhu roku nebo dne, v závislosti na periodicky se opakujících se změnách rychlosti větru, průtoků na vodních tocích a intenzity slunečního záření v průběhu roku a dne, potom umožňuje predikovatelnost výroby, tolik potřebnou při narůstajícím podílu instalovaného výkonu těchto zdrojů.

Základní popsané závislosti a charakteristiky vybraných druhů OZE byly použity pro vytvoření jednoduchého modelu portfolia OZE, pomocí kterého lze za předpokladu nutných zjednodušení snadno a především názorně simulovat denní průběhy dodávaného výkonu jednotlivých druhů OZE nebo součtově celého portfolia OZE.

Provedené simulace ukazují, že za určitých předpokladů může být denní průběh výroby portfolia OZE velice blízký dennímu průběhu spotřeby, poměrně vyjádřeno. Simulace dále ukazují, že za stejných výchozích předpokladů pro výrobu z jednotlivých druhů OZE, dochází ke zmiňované shodě při odlišných situacích odpovídajících charakteristickému průběhu spotřeby s tím, jak se mění podíl zastoupení jednotlivých druhů OZE na celkovém portfoliu dle předpokládaného vývoje v budoucnu.

Mezi podporované obnovitelné zdroje patří i zmiňované bioplynové stanice, které jsou však v porovnání ostatními posuzovanými druhy OZE zcela nezávislé na fyzikálně proměnlivých přírodních zdrojích. Jejich provoz je de facto závislý výhradně na lidském faktoru, ačkoliv přírodní podmínky mohou do jisté míry ovlivnit provoz v dlouhodobém horizontu. Přes možnost plánování a přizpůsobení výroby elektrické energie i tepla, vztahuje se na bioplynové stanice podpora svým principem shodná s obnovitelnými zdroji provozně závislémi výhradně na proměnlivých přírodních zdrojích. Tomu pak odpovídá stávající koncepce provozu těchto zdrojů, kdy investoři a provozovatelé nejsou nijak motivováni k přizpůsobení výroby elektřiny vzhledem k její v čase proměnlivé spotřebě.

Provedené simulace dále poukazují na možnost využití plánování výroby elektřiny bioplynových stanic právě pro další přiblížení průběhu denní výroby portfolia OZE k průběhu spotřeby elektřiny. Ačkoliv lze k tomuto režimu technicky přizpůsobit většinu stávajících bioplynových stanic, určitý potenciál k takovému využití představuje očekávaný rozvoj a předpokládané významné navýšení instalovaného výkonu v bioplynových stanicích v následujících letech.

Provedené simulace rovněž názorně ukazují, že nastavené dílčí indikativní cíle nevedou k nijak výrazné nápravě stávající problematické skladby portfolia OZE.

Závěrem lze konstatovat, že cíle, které jsem i stanovil před zpracováním této práce, byly ve své podstatě naplněny. Model pro simulaci portfolia OZE, který ve své podobě posloužil pouze funkčně ke zpracování této práce, by zasloužil určité dotažení do uživatelsky přívětivé formy a případné rozšíření o koncept špičkové BPS, což se pokusím zajistit pro případnou obhajobu této práce.

---

## 13 Literatura a další zdroje

- [1] Příloha 4 PPDS 2008: Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy. ERÚ
- [2] Posouzení připojitelnosti větrného parku 18MW v lokalitě Bílčice do sítě ČEZ Distribuce oblast Morava. EGC-CB, s.r.o.
- [3] Windpark Bílčice/CZ – Windpotenzialerhebung und Ertragsprognose. Energiewerkstatt, GmbH.
- [4] Roční a měsíční zprávy o provozu ES ČR za roky 2005 až 2010. ERÚ.
- [5] Regionální rozložení technického potenciálu větrné energie na území ČR. RNDr. Josef Štekl, CSc. Ústav fyziky atmosféry AVČR
- [6] ERÚ [www.eru.cz](http://www.eru.cz)
- [7] ČEPS, a.s. [www.ceps.cz](http://www.ceps.cz)
- [8] Vestas Produktbeschreibung V90 – 2MW Windenergieanlage
- [9] Enercon E82 Datenblatt, [www.enercon.de](http://www.enercon.de)
- [10] Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR [www.mpo.cz](http://www.mpo.cz)
- [11] [www.iwr.de](http://www.iwr.de) a uvedené odkazy
- [12] [www.chmu.cz](http://www.chmu.cz) a uvedené odkazy
- [13] Sborník technických řešení MVE. ČEA.
- [14] Atlas podnebí ČR. ČHMÚ.
- [15] Vodohospodářský informační portál. MZE ČR.
- [16] Vyhodnocení úspěšnosti hydrologických předpovědí povodní v letech 2002 – 2009, Tomáš Vlasák – Jan Daňhelka, ČHMÚ.
- [17] Časová variabilita rychlosti větru a přepověď výroby větrnými elektrárnami, RNDr. Josef Štekl, CSc. Ústav fyziky atmosféry AVČR.
- [18] EkoWATT, [www.ekowatt.cz](http://www.ekowatt.cz)
- [19] Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů. MPO ČR.