

**České vysoké učení technické v Praze**

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd



UPLATNĚNÍ VIRTUÁLNÍ ELEKTRÁRNY  
V PODMÍNKÁCH ČR

Diplomová práce

THE APPLICATION OF A VIRTUAL POWER PLANT  
FOR THE CZECH REPUBLIC

Diploma thesis

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Zemánek Roman

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Ekonomika a řízení energetiky

Název tématu: Uplatnění virtuální elektrárny v podmínkách ČR

Pokyny pro vypracování:

- přehled dostupných výrobních zdrojů ve světě
- možnosti využití vhodných výrobních zdrojů v ČR
- analýza možností zapojení virtuální elektrárny do portfolia obchodníka s elektřinou
- návrh modelu optimalizace provozu kogenerační jednotky v portfoliu obchodníka s elektřinou

Seznam odborné literatury:

Obchod s elektřinou, Conte Praha 2010, ISBN 978-80-254-6695-7  
Trh s elektřinou, úvod do liberalizované energetiky, AEM 2011

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Kocián – Amper Market, a.s.

Platnost zadání: do konce letního semestru akademického roku 2016/2017

L.S.

*Prof. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.*  
vedoucí katedry

*Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.*  
děkan

V Praze dne 11.2.2016

## Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Martinu Kociánovi za velkou vstřícnost, rady a postřehy z praxe a za všechny ty hodiny strávené debatováním nad možnostmi zlepšení funkčnosti vypracovávaného modelu.

## Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů pro vypracování závěrečných prací, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje“.

V Praze dne

podpis

## Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na zdroje elektrické energie ve světě, ze kterých vybírá zejména ty vhodné pro zapojení do virtuální elektrárny, což je skupina menších decentrálních zdrojů navenek se tvářících jako jedna elektrárna. Představuji rozšířené obnovitelné zdroje elektřiny v ČR a jejich specifika během provozu a podíly na spotřebě elektřiny. Důraz je kladen jak na regulaci na straně výroby, tak na straně spotřeby. Nechybí zmínění účastníků trhu s elektřinou a jejich nejdůležitější funkce. Výsledný model pracuje s ročními cenami z denního trhu organizovaném společností OTE. Tento model svému uživateli nabízí nejvhodnější umístění jím požadovaných hodin provozu během dnů v celém roce tak, aby uživatel (v mém případě obchodník s elektřinou) byl schopen prodat produkci elektřiny z kogenerační jednotky za nejvyšší cenu. Tím dosahuje zlepšení své ekonomické situace a zároveň se stává zajímavějším partnerem pro provozovatele kogenerační jednotky, kterému tak může nabídnout vyšší výkupní cenu za elektřinu. Práce končí porovnáním dosažených hodnot oproti cenám na DT OTE a předchozímu používanému modelu.

**Klíčová slova:** virtuální elektrárna, kogenerační jednotka, kombinovaná výroba elektřiny a tepla, obnovitelné zdroje energie, obchod s elektřinou, optimalizace, decentrální zdroje.

## Abstract

Diploma thesis talks about the electricity sources around the world from which it picks those ones suitable to be part of a virtual power plant. The virtual power plant is a group of smaller and distributed power sources which together look to the outside like a regular power plant. I present the current renewable energy sources within the Czech Republic and their specific tasks while operating them. The thesis shows the importance of regulation of both the production and the consumption of the electricity. It also contains information about the parties active on the energy markets and their most important roles. The final optimization model uses the prices of electricity from the Day-Ahead Market organized by OTE, a.s. This model gives its user a tool to set the working hours for the cogeneration unit to the most valuable hours during the whole year. In my case the user is an electricity trader that can reach higher price from the same amount of working hours by using this model. This brings him better economic position and allows him to share this bonus with the owner of cogeneration unit and offer him also higher profit.

**Keywords:** virtual power plant, cogeneration unit, CHP - combined heat and power, renewable energy sources, electricity trading, optimization, distributed sources.

# OBSAH

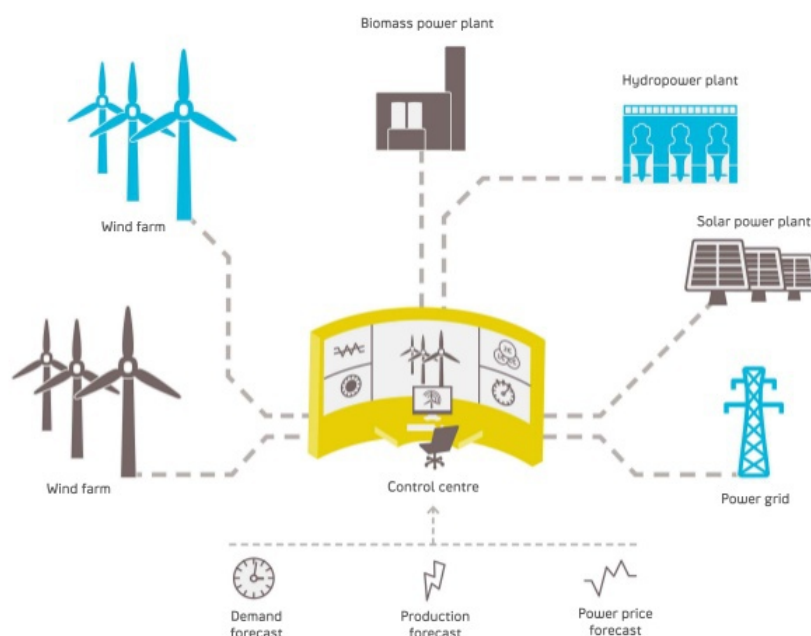
1. VIRTUÁLNÍ ELEKTRÁRNA.....	7
1.1. Aplikace a přínosy.....	8
1.2. Komplikovanost.....	9
2. PŘEHLED DOSTUPNÝCH VÝROBNÍCH ZDROJŮ VE SVĚTĚ.....	10
2.1. Vodní elektrárny.....	10
2.2. Větrné elektrárny na pevnině.....	12
2.3. Fotovoltaika.....	14
2.4. Přílivové elektrárny.....	18
2.5. Geotermální energie.....	19
2.6. Kombinovaná výroba elektřiny a tepla.....	21
2.7. Prognózy vývoje energetického mixu zdrojů ve vybraných zemích.....	23
2.8. (Ne)regulovatelné zdroje.....	28
3. NOVÉ ZDROJE.....	29
3.1. Větrné elektrárny na moři.....	29
3.2. Koncentrační elektrárny v Maroku.....	32
3.3. Tesla Powerwall.....	33
4. MOŽNOSTI VYUŽITÍ VHODNÝCH VÝROBNÍCH ZDROJŮ V ČR.....	35
4.1. Teplárenství.....	35
4.2. Obnovitelné zdroje energií v Česku.....	37
4.3. Česká specifika v oblasti OZE.....	42
4.4. Koeficient ročního využití.....	44
4.5. Státní podpora vybraných energetických zdrojů.....	46
4.6. Solar boom.....	47
4.7. Dovozní závislost ČR.....	49
5. ANALÝZA MOŽNOSTÍ ZAPOJENÍ VIRTUÁLNÍ ELEKTRÁRNY DO PORTFOLIA OBCHODNÍKA S ELEKTŘINOU.....	51
5.1. Amper Market a virtuální elektrárna.....	51
5.2. Obchod s elektřinou a jeho účastníci.....	51
5.3. Složení zdrojů v ČR.....	54
5.4. Odchylka v ES ČR.....	57
5.5. Regulace na straně spotřeby.....	62

6. NÁVRH MODELU OPTIMALIZACE PROVOZU KOGENERAČNÍ JEDNOTKY V PORTFOLIU OBCHODNÍKA S ELEKTRINOU.....	65
6.1. Stanovení pevného diagramu dodávky.....	66
6.2. Základní popis modelu.....	68
7. VÝKONNOST NAVRŽENÉHO MODELU.....	74
7.1. Stávající vs. nový model.....	75
7.2. Porovnání s cenami na DT OTE.....	76
7.3. Návrh budoucího provozu.....	78
7.4. Možnost zlepšení.....	79
8. ZHODNOCENÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	80
9. POUŽITÁ LITERATURA.....	82
SEZNAM TABULEK.....	88
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	88
SEZNAM PŘÍLOH.....	88

# 1. VIRTUÁLNÍ ELEKTRÁRNA

**Virtuální elektrárna** (anglicky *virtual power plant*) představuje spojení rozptýlených a obvykle malých zdrojů elektrické energie za účelem vytvoření navenek se tvářícího **jednoho celku**. Typicky se takovéto virtuální elektrárny (VE) skládají z větrných elektráren, fotovoltaických systémů, malých vodních elektráren nebo třeba kogeneračních jednotek. Tyto zdroje zastřešené jako jedna virtuální elektrárna jsou **vzdáleně řízeny z jednoho centrálního místa**.

V literatuře se můžeme setkat s pojmem rozptýlená elektrárna (či anglicky *distributed power generation*), který je principiálně stejný, jako pojem virtuální elektrárna.



**Obrázek 1:** Grafické znázornění virtuální elektrárny společnosti Statkraft na území Německa. [1]

Jedna z mnoha definic říká: „*Rozptýlená elektrárna je energetický systém složený z mnoha menších zdrojů elektrické energie umístěných ve více lokalitách s více vývody do rozvodné sítě, který se z vnějšího pohledu jeví jako jediný zdroj o větším elektrickém výkonu.*“ [2]

Taktéž můžeme říct, že „*virtuální elektrárna je určitým protipólem ke konvenčním uhelným či jaderným elektrárnám, kdy se snaží výrobu decentralizovat, přesto však zachovat výhody centrální výroby jako je snadná kontrola produkované elektrické či tepelné kapacity.*“ [3]

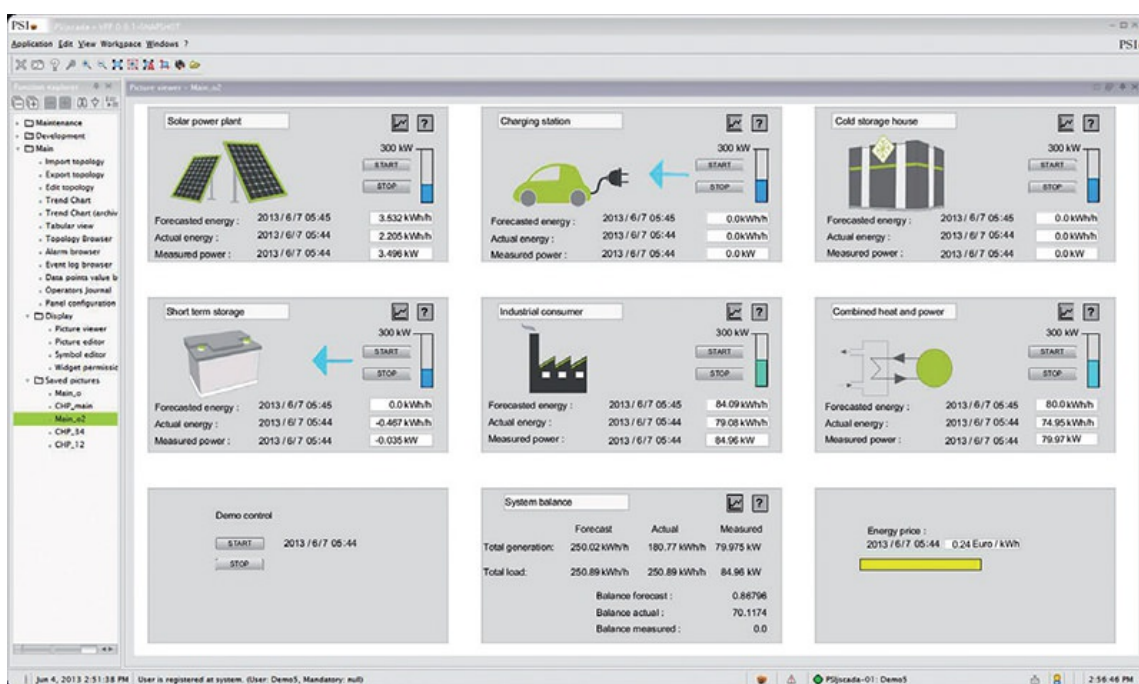


## Transformace energie

Z fyzikálního hlediska víme, že energie nevzniká ani nezaniká, pouze se mění její formy. Z tohoto důvodu by bylo přesnější mluvit o transformaci např. chemické energie uložené v uhlí pomocí parního cyklu na energii elektrickou v tepelné elektrárně. Či transformace energie fotonů fotovoltaickým efektem na elektrickou energii. Nicméně z důvodu jednoduchosti se v této práci budou vyskytovat pojmy typu „výroba“, „generace“ apod. s vědomím výše uvedeného.

### 1.1. Aplikace a přínosy

Virtuální elektrárny jsou stěžejním prvkem v konceptu tzv. **chytrých sítí** (anglicky *smart grids*). Jsou určitou odpovědí na trend používání alternativních zdrojů energie tak, že zajišťují komplexnější integraci **obnovitelných zdrojů energie** (OZE) do elektroenergetické soustavy a na trhy s elektřinou. [4]



**Obrázek 2:** Ukázka toho, jak může graficky vypadat centrální vzdálené řízení virtuální elektrárny. Zde v podání německé společnosti PSI Energy Markets GmbH a jejich systému PSIVpp SCADA-System. [4]

Díky virtuální elektrárně mohou i malé zdroje elektřiny efektivně obchodovat svou výrobu. Tento celek taky společně může mnohem lépe reagovat a přizpůsobovat se typicky proměnlivé výrobě OZE a stejně tak lépe předpovídat budoucí výrobu. A to jednak díky centrálnímu řízení pracujícímu v reálném čase s okamžitou odezvou, tak i díky možnostem vzdáleně ovlivňovat do určité míry spotřebu. [4]



Odpovědí na výše uvedené je centrální systém řízení založený na stochastické optimalizaci (tj. pracující s proměnlivými hodnotami v důsledku závislosti na náhodných veličinách). [4]

Mezi přínosy virtuální elektrárny patří:

### **Zastupitelnost**

Výkon jednoho zdroje je zanedbatelný v porovnání s celkovou instalovanou kapacitou VE. Pokud přestane fungovat jeden zdroj z důvodu poruchy nebo nepříznivých klimatických podmínek, nahradí jej jiný.

### **Různorodost**

VE nabízí možnost navenek sloučit zdroje poháněné různými palivy a mechanismy (vítr, sluneční záření, zemní plyn, nafta, atd.). Zde je tedy úkolem VE pružně regulovat tyto zdroje a pokrýt tak aktuální potřebu zákazníků.

### **Nezávislost**

Závislost Česka a celé Evropské unie na dovážení ropy, zemního plynu a dalších nejen energetických surovin v zrcadle událostí posledních let jednoznačně ukazuje naši zranitelnost. VE může být jedním z řešení této nežádoucí závislosti. [3]

Hlavní nevýhodou OZE obecně je jejich **těžce předpovědatelná budoucí produkce**. Jaderná elektrárna produkuje páru a roztáčí generátor takřka neustále 24 hodin denně, 7 dnů v týdnu s ohledem na odstávky a neplánované poruchy. Na druhou stranu když slunce nesvítí, tak fotovolatický systém žádnou elektřinu negeneruje. Proto jsou pro virtuální elektrárnu důležité zdroje, které mohou být kdykoli výkonově regulovány a tak dodávat více nebo méně elektřiny do sítě, dle aktuální potřeby. A takovýmto zdrojem jsou zejména **kogenerační jednotky**. Zde ovšem narážíme na jiný problém, a to, že kogenerační jednotky jsou navázány na výrobu tepla a tudíž v zimních měsících mohou pracovat až na svůj maximální výkon, nicméně v létě jejich teplo prakticky nebude potřeba. Což samozřejmě záleží na aplikaci těchto zdrojů. [5]

## 1.2. Komplikovanost

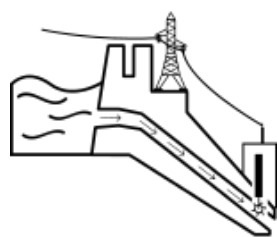
Pokud na první pohled výše uvedené vypadá složitě, je to svým způsobem pravda. Otázkou tedy je, proč zavádět množství malých decentralizovaných zdrojů, u kterých navíc ani nemůžeme spolehlivě vědět, zda zítra budou schopny vyrobit nějakou elektřinu. Mezi hlavní důvody patří snaha o **energetickou nezávislost** ať už Česka, tak celé EU. Většina primárních energií se musí dovážet, navíc z oblastí politicky ne zrovna „přátelských“ (či lépe řečeno stabilních) - ať už jde o Rusko, či další země. Druhým velmi důležitým důvodem je **boj proti změnám klimatu** prezentovaných zejména oxidem uhličitým (CO<sub>2</sub>). Jedná se o bezbarvý plyn vznikající spalováním

uhlíku za přístupu kyslíku. K čemuž dochází v masivním měřítku především v uhelných elektrárnách, které jsou hojně zastoupeny v energetickém mixu velké části zemí světa, Česko nevyjímaje.

## 2. PŘEHLED DOSTUPNÝCH VÝROBNÍCH ZDROJŮ VE SVĚTĚ

Lidstvo využívá jako zdroje elektrické energie poměrně různorodé fyzikální jevy a mechanismy. V následující kapitole se budu snažit zkráceně přiblížit nejužívanější typy zdrojů elektrické energie, které jsou zároveň **vhodnými kandidáty** pro zařazení do případné **virtuální elektrárny**. Mnohé z nich jsou navíc i obnovitelnými zdroji energie.

### 2.1. Vodní elektrárny



Vodní elektrárny jsou již dlouhá léta **tradiční zdroje** elektrické energie po celém světě. Jedná se o obnovitelný zdroj využívající energii vody proudící z míst o vyšší nadmořské výšce do míst níže položených, až nakonec nejčastěji v podobě řek splynou s mořem. Vodních elektráren samozřejmě můžeme najít více typů. Jedny využívají přehradu, které slouží jako zásobník vody i pro zvýšení rozdílu hladin. Jiné jsou průtočné, umístěné přímo v proudu řeky. Vodní elektrárny jsou léty vyzkoušené, poměrně dobře předvídatelné a ekonomicky výhodné zdroje.

Mechanická energie vody proudící z vyšších míst do nižších patří mezi staré „nástroje“ lidstva známé již z dob Řeků před 2000 lety. Za první vodní elektrárnu na světě je považována ta o výkonu 12,5 kW z roku 1882 - provozována na řece Fox v Appletonu, státě Wisconsin (USA). [6]

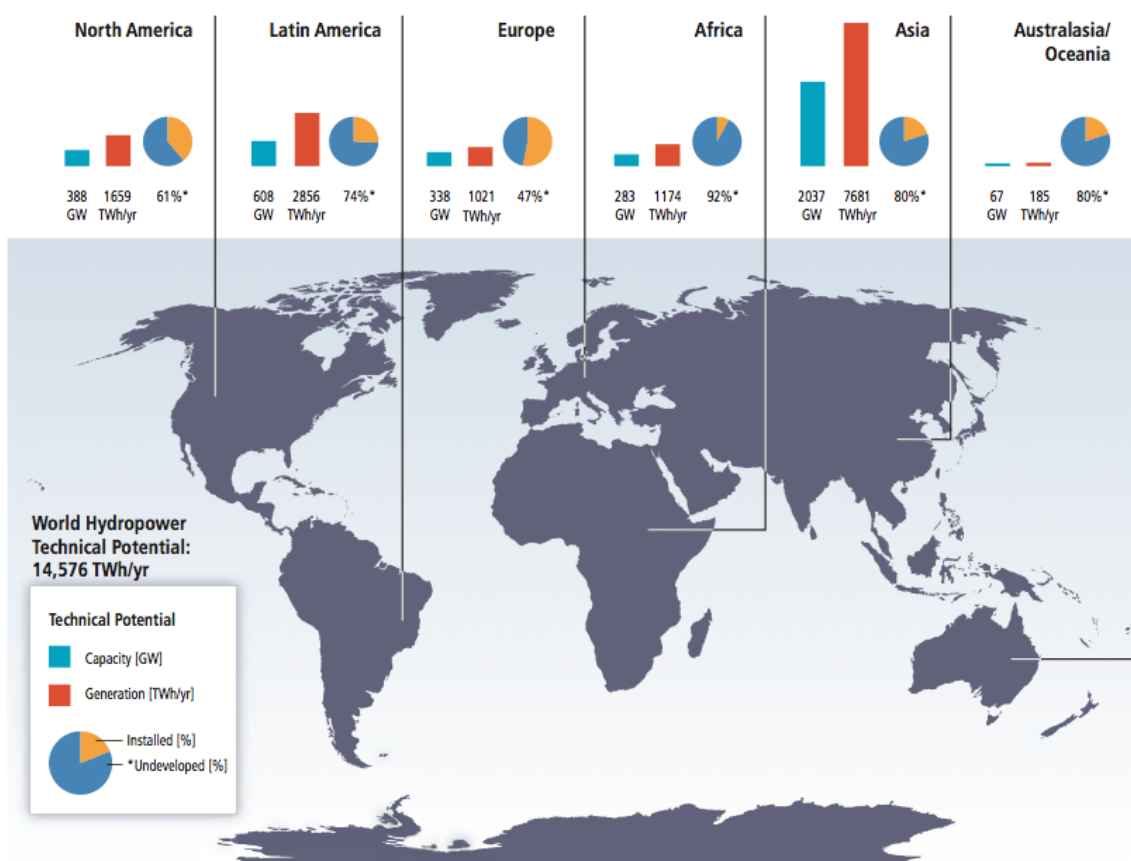
V provozu jsou také vodní elektrárny velmi rozdílných výkonů - od malých lokálních zdrojů o výkonech v řádech desítek kW, po obrovské zdroje o výkonu v řádech GW. Příkladem velkého vodního zdroje je přehrada a stejnojmenná elektrárna **Tři soutěsky** (anglicky *Three Gorges Dam*) v Číně. Má instalováno 32 turbín o výkonu 700 MW, což dává v součtu úctyhodných 22 400 MW. [7]

I když vodní elektrárny samozřejmě závisí provozně na počasí, jsou u zdrojů přehradního typu poměrně dobře **regulovatelné**, což je jejich velká výhoda oproti

ostatním OZE. Účinně mohou být tyto přehradní elektrárny využívány k **pokrytí špiček** spotřeby a pomáhat tak ke stabilizaci celé soustavy. Je taky ale třeba připomenout, že přehrady mají často nadřazený účel, kterým bývá ochrana lidských obydlí před záplavami. Proto musí provozovatelé vodních elektráren počítat s jistým přizpůsobením se provozu aktuální situaci. [6]

### 2.1.1. Potenciál zdroje

Dle IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) je roční světový technický potenciál pro výrobu elektřiny z vodních elektráren 14 576 TWh. S odpovídajícím instalovaným výkonem 3 721 GW, což je čtyřnásobek dnes instalované kapacity vodních elektráren po celém světě. Následující obrázek 3 ukazuje rozdíl mezi již instalovanou kapacitou a možným potenciálem daného regionu. [6]



**Obrázek 3:** Regionální technický potenciál vodních elektráren - z pohledu roční výroby a instalované kapacity a procentuálního vyjádření nevyužitého technického potenciálu. Data pro rok 2009. [6]

Rozdíly jsou patrné na první pohled - zatímco Evropa má nevyužitý potenciál už zhruba jen 47 %, Afrika naproti tomu by mohla využít až 92 % potenciálu vodní energie na svém kontinentu.

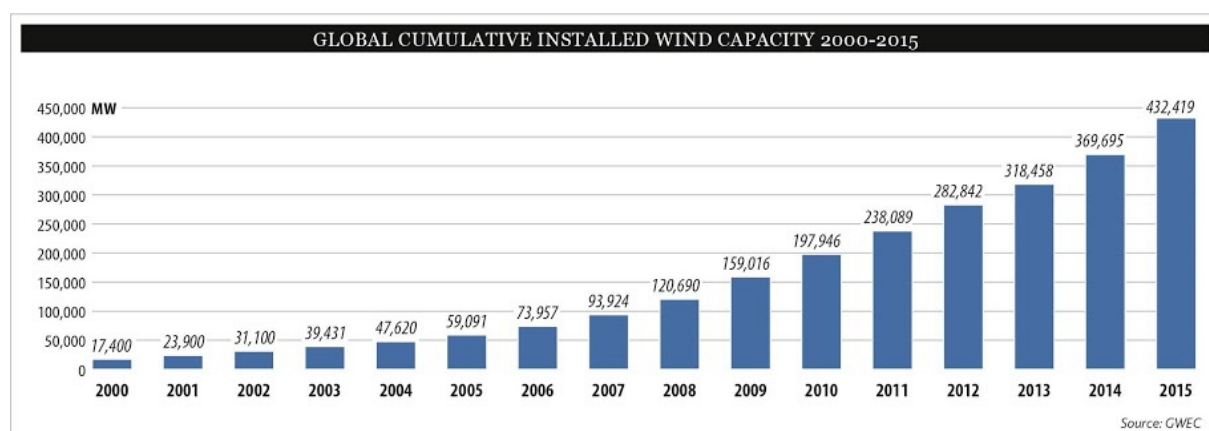
Dle IPCC je globální průměrný koeficient využití (anglicky *capacity factor*) vodních elektráren 44 %. Tento koeficient může indikovat využití vodní elektrárny dle jejího zapojení do energetického mixu daného státu. Zejména, zda vystupuje jako zdroj špičkový, nebo pokrývající základní zatížení. [6]

## 2.2. Větrné elektrárny na pevnině

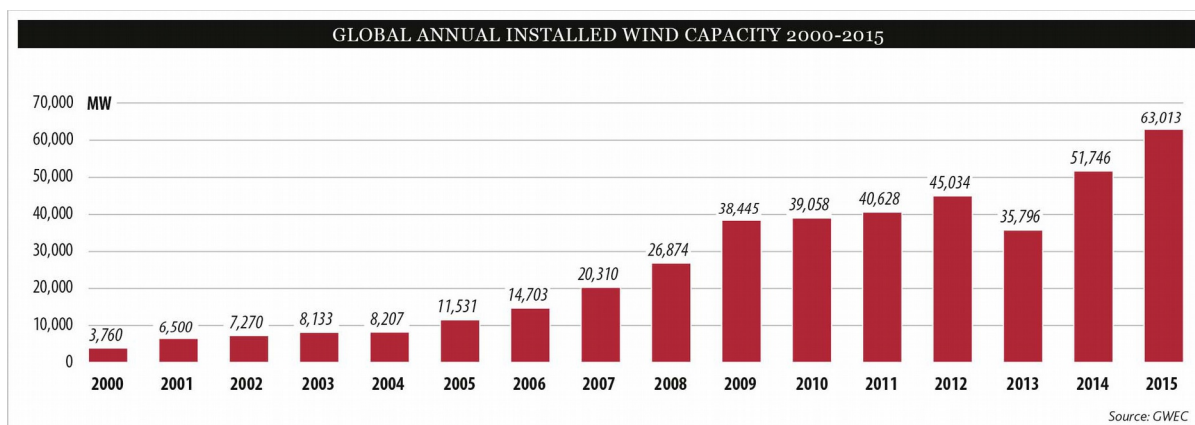


Podívejme se nejdříve na situaci ve světě. Z globálního hlediska jsou největšími hráči v oblasti větrných elektráren následující regiony: **Evropa, USA a Čína**. Na konci roku 2013 byla celková instalovaná kapacita tohoto zdroje 318 GW, kdy během samotného roku 2013 došlo k nárůstu o 35 GW. Například Čína znásobila svou kapacitu větrných elektráren z 44,7 GW v roce 2010 na 91,4 GW v roce 2013. USA ve stejném období zvýšily kapacitu z 40,3 GW na 61,1 GW. K tomu ještě samotná Indie ke konci roku 2013 hlásila 20,1 GW kapacity ve větrných elektrárnách. Indie chce kromě snahy o omezení produkce elektřiny z uhlí taky dosáhnout pro většinu zemí již samozřejmého cíle, a to pokrytí elektrickou sítí všechny obyvatele této obrovské země. Na mnoha místech totiž žijí celkově miliony lidí bez přístupu k elektřině. [8]

Evropa jako taková má ke konci roku 2013 nainstalovaný výkon ve větrných elektrárnách o velikosti 121,5 GW (117 GW v Evropské unii). Nejvíce z toho v Německu, poté Španělsku a Velké Británii. Tato čísla sama o sobě až tolik neříkají. Důležitý je ale jasný rostoucí trend (obrázek 4), kdy se každoročně po celém světě instalují poměrně významné objemy nových kapacit tohoto zdroje (obrázek 5). Narozdíl totiž například od fotovoltaických elektráren dokážou ty větrné poskytovat opravdu mohutný výkon srovnatelný s konvenčními zdroji založenými na uhelných elektrárnách. [8]



**Obrázek 4:** Celková kumulovaná kapacita větrných elektráren ve světě. [9]



**Obrázek 5:** Roční instalovaná kapacita větrných elektráren na celém světě. [9]

### 2.2.1 Situace v Česku

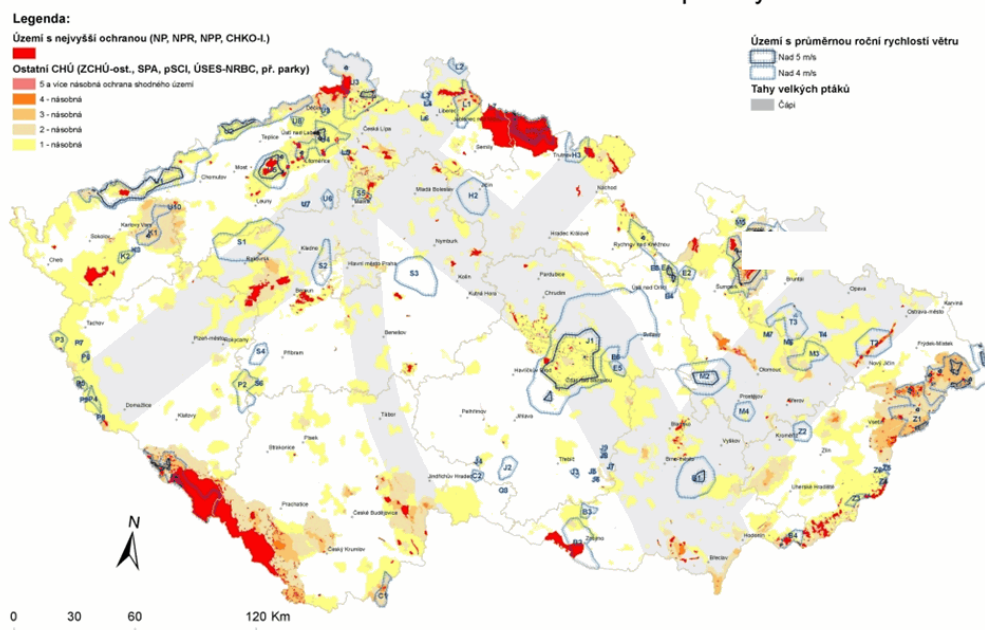
Naše země není zrovna krajinou větrné energie zaslíbenou. Na konci roku 2013 byly v ČR v provozu větrné elektrárny o výkonu 269 MW, které za daný rok vyrobily 479 GWh elektřiny. Vývoj situace ilustruje následující obrázek 6. [10]



**Obrázek 6:** Instalovaná kapacita a výroba větrných elektráren v Česku. [10]

Poměrně málo investováno do tohoto zdroje energie je u nás zejména z důvodu omezených lokalit pro výstavbu. Jednak celkově proudění nad naší zemí nedosahuje nijak velkých hodnot. A taky, jak ukazuje níže zobrazená mapa na obrázku 7, většina případných vhodných lokalit se nachází buďto přímo na území chráněných krajinných oblastí, nebo do nich zasahuje. Šedými liniemi jsou navíc vyznačeny tahy ptáků, pro které rotující lopatky znamenají samozřejmě určité nebezpečí.

## Území vhodná pro umístění větrných elektráren rozbor závažnosti střetů s ochranou přírody



**Obrázek 7:** Rozpor vhodných lokalit pro větrné elektrárny se zásahy do přírody. [11]

Závěrem lze říci, že větrná energetika hraje už nyní ve světě poměrně důležitou roli a její význam bude s velkou pravděpodobností ještě narůstat. Celý rozvoj odvětví je samozřejmě velmi ovlivněn politicko-ekonomickou podporou těchto zdrojů - ať formou investičních pobídek nebo výkupních cen elektřiny apod. V Česku bohužel moc vhodných lokalit pro tento typ získávání energie nemáme. Kromě toho se samozřejmě jedná o proměnlivý zdroj, který přináší řadu technických problémů, výzev a vícenákladů na provoz národní elektrizační soustavy.

### 2.3. Fotovoltaika



Sluneční energie se dostává na naši planetu v podobě elektromagne-tického záření. Jedná se o záření pocházející z rozžhavené a nám nejbližší hvězdy - Slunce. Pro přesný popis je zaveden pojem **sluneční konstanty** (nebo taky sluneční irradiance - anglicky *solar irradiance*).

Kvůli mírné excentricitě oběžné dráhy Země skutečný tok energie a tím i zmíněná konstanta kolísají. Její hodnota je obvykle uváděna jako **1367 W/m<sup>2</sup>**. [6]

Tato sluneční konstanta fyzikálně znamená tok sluneční energie procházející plochou 1 m<sup>2</sup>, která je kolmá na směr paprsků - a to za 1 s. Přesněji ještě řečeno je tato konstanta počítána pro střední vzdálenost Země - Slunce a navíc mimo zemskou atmosféru. V atmosféře totiž dochází k pohlcení určité části spektra, rozptýlení záření

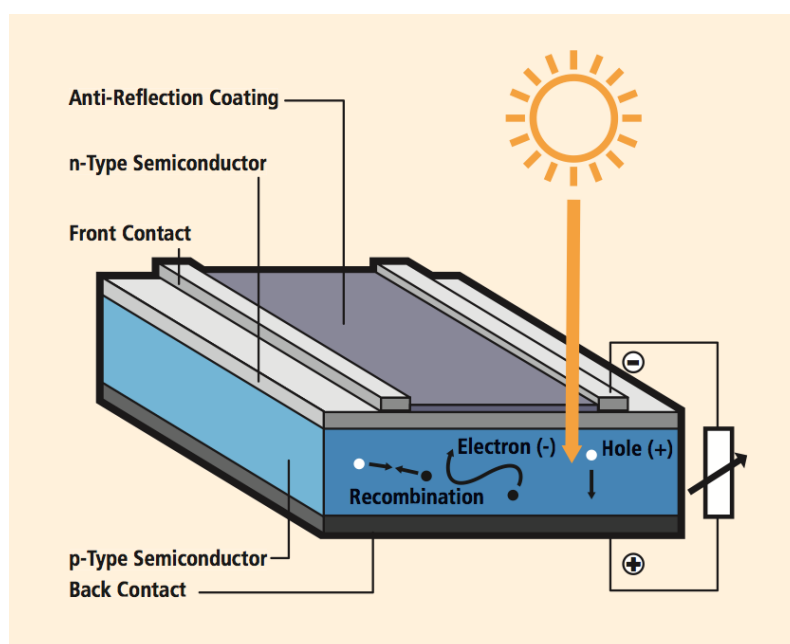
a taky jeho částečnému odrazu. Při dopadu na zemský povrch je tedy tato hodnota menší. Udává se hodnota  $1000 \text{ W/m}^2$  za jasného počasí při nulové nadmořské výšce a se Sluncem kolmo nad povrchem. [6]

Uvedená hodnota sluneční konstanty nám udává představu, kolik může být maximální výtěžnost z technologií založených na energetickém využití slunečního záření.

Sluneční záření dovede přímo konvertovat na elektrickou energii technologie zvaná **fotovoltaika** (dále často zkracováno jako FV). Není mým cílem v této práci pojednávat o tom, jak fotovoltaický efekt funguje a jak je dneska elegantně průmyslově převeden do fotovoltaických panelů připravených k poměrně jednoduché a rychlé instalaci. Chci ale poukázat na jeho důležitou roli jakožto zdroje elektrické energie, který je mnohými opěvován a patří mezi obnovitelné zdroje energie.

### 2.3.1 Fotovoltaické (FV) elektrárny

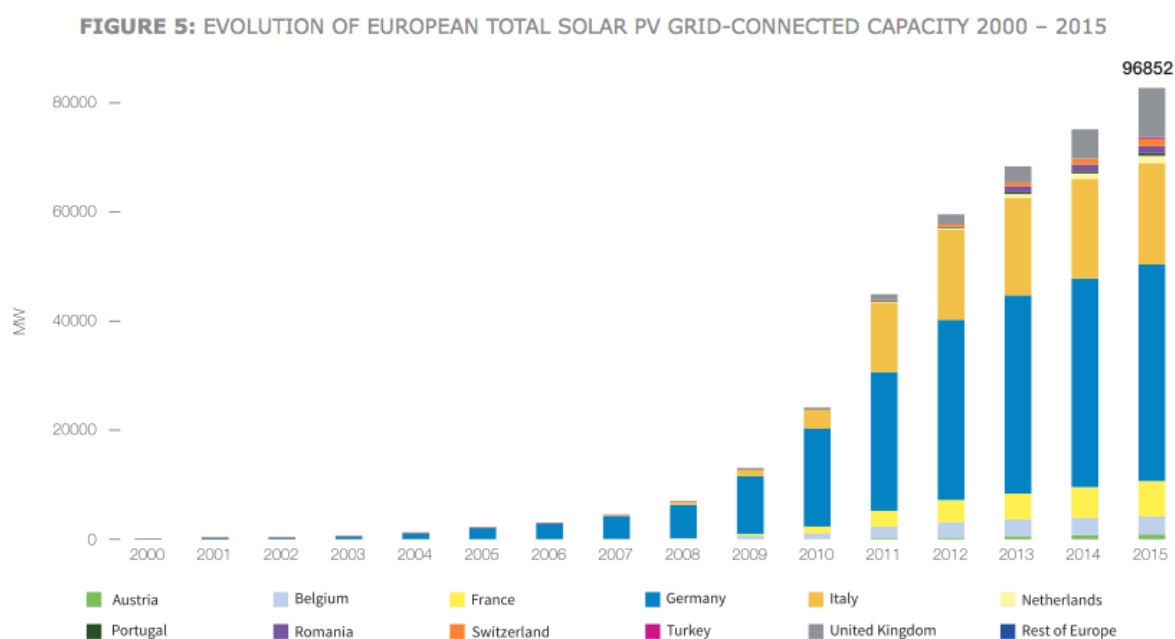
Jsou to v základě velká pole čítající desítky, stovky a někdy i tisíce panelů v sériově paralelních zapojeních. Tyto panely jsou složeny z různého počtu fotovoltaických článků, jejichž struktura je ilustrována na obrázku 6. Takovéto panely jsou doplněny o nosné konstrukce, kabeláž, elektrické ochrany, střídače a zapojení do elektrické rozvodné sítě. Jsou prakticky po celém světě poměrně vyhledávaným investičním objektem, jelikož mnoho států **finančně podporuje** elektřinu tímto zdrojem vyrobenou. Výrobci fotovoltaických panelů obvykle garantují životnost mezi 20 a 30 lety.



**Obrázek 8:** Základní popis fotovoltaického článku jakožto zdroje elektrické energie. [6]

Z pohledu elektrizační soustavy celého státu je **připojování tohoto zdroje problematické**. A to zejména z důvodu jeho proměnlivé výroby elektřiny způsobené přímočarou závislostí na přímém slunečním záření. Při oblačném počasí dochází ke střídání jasného záření dopadajícího na panely a zastínění způsobeného mrakou. Tyto změny nastávají v řádu jednotek nebo desítek sekund a prakticky „zapnou“ nebo „vypnou“ takovýto zdroj, ať už má výkon 5 kW nebo 2 MW. Zejména ve druhém zmíněném případě už je vliv na parametry napětí a energetických přetoků v síti nezanedbatelný.

Případ velkého rozvoje fotovoltaických elektráren v České republice bude rozebírán dále v této práci. Ještě bych zde ale rád nastínil pár statistických údajů ze světa.



**Obrázek 9:** Kumulovaná celková instalovaná kapacita fotovoltaických elektráren v Evropě. (2000 - 2015) [13]

Na výše uvedeném grafu (obrázek 9) je vidět, že fotovoltaika je poměrně nový fenomén. Graf ukazuje **kumulativní instalovaný výkon** FV elektráren v Evropě. Po prvotních menších a testovacích instalacích se do velké podpory a hromadné implementace této technologie pustilo zejména **Německo**. Náš západní soused, v grafu vyznačený světle modrou barvou, je rozhodně tahounem FV sektoru v Evropě. Od roku 2011 je vidět obdobný rozmach instalací také v Itálii.

Ke grafu na obrázku 9 je ještě zajímavé porovnání, že na konci roku 2015 je v Evropě skoro 97 GW instalovaného výkonu ve fotovoltaice. Česká republika má instalovaný výkon všech zdrojů zhruba 22 GW (z toho ve fotovoltaice mírně nad 2 GW). Samozřejmě **instalovaný výkon ještě neznamená množství vyprodukované energie** - bude zmíněno v kapitole o OZE a koeficientu využití.

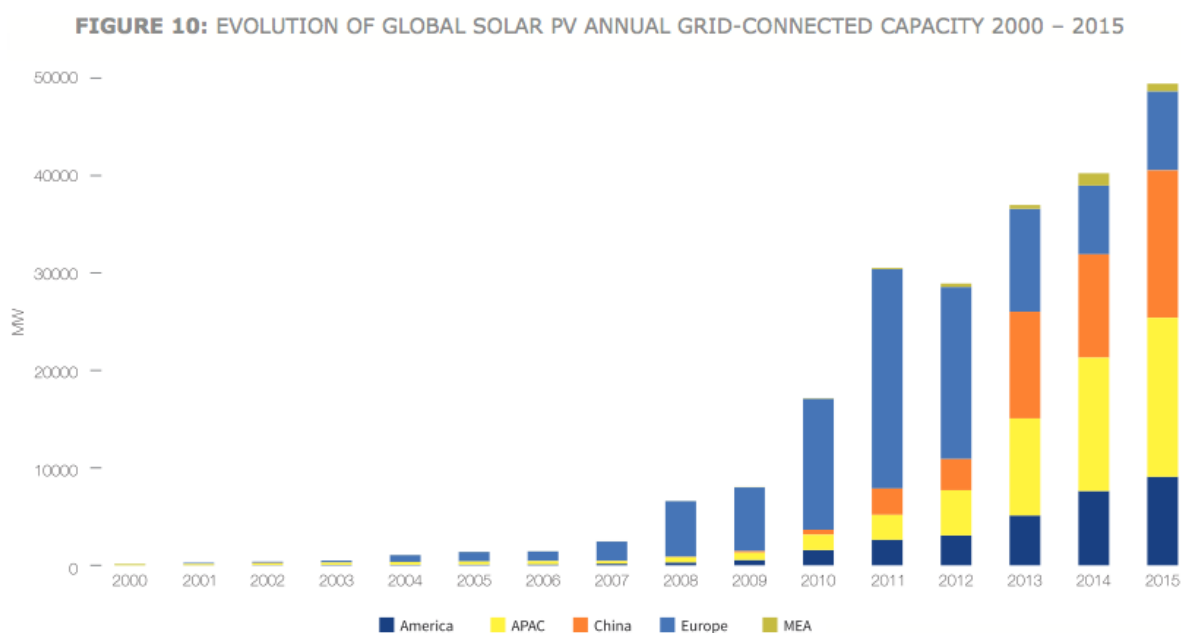


## Postřeh z Francie



Zajímavá je poměrně malá instalovaná kapacita ve **Francii**, což je země ekonomicky vcelku podobná Německu. Narozdíl od něj má ale mnohem lepší podmínky pro umístění FV elektráren z důvodu většího počtu slunečních hodin v roce. Nicméně narozdíl od Německa je ve Francii mnohem menší počet instalací fotovoltaiky. To mi bylo **na kurzu ATHENS v Paříži vysvětleno** profesorem z místní univerzity tím, že Francie má velkou tradici a zázemí v **jaderné energetice** a netíhne tuto situaci moc měnit. Navíc z národního pohledu berou jadernou energetiku jako jejich produkt, zatímco FV panely jsou ze značné části dováženy z Číny. Nemají tedy ani z tohoto důvodu zájem podporovat konkurenční ekonomiky na svůj vlastní úkor. Tolik k této krátké odbočce.

Roční přírůstky instalací zachycuje graf na obrázku 10. Vysvětlení použitých zkratk regionů: APAC = Asia-Pacific; MEA - Middle East & Africa.



**Obrázek 10:** Roční přírůstky v instalované kapacitě FV elektráren ve světě. [13]

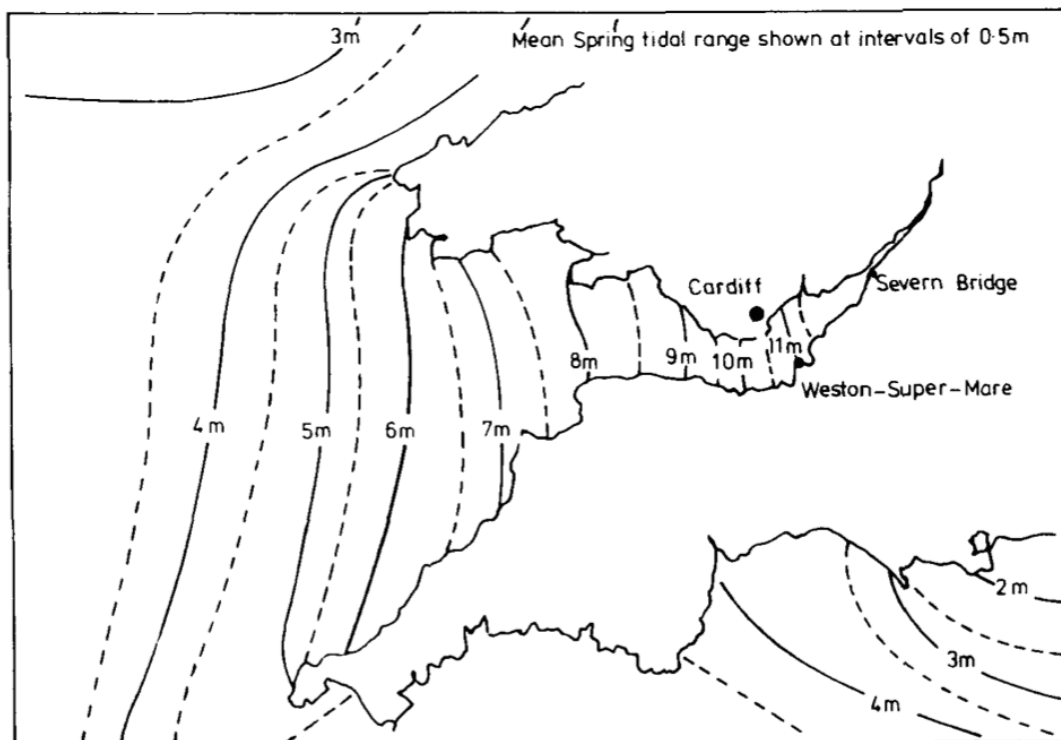
Druhý graf na obrázku 10 představuje **roční přírůstky v instalovaném výkonu** ve světových regionech. Nejde již tedy o celkovou (kumulativní) instalovanou kapacitu, jako v prvním grafu. Zde je vidět, že Evropa hrála roli průkopníka v tomto oboru. Nadále se ale větší část instalací bude odehrávat v **Asii** (zejména Čína a Indie). Naopak region MEA (*Middle East & Africa*) patrně na svůj rozvoj FV zdrojů elektrické energie ještě čeká. [13]

## 2.4. Přílivové elektrárny



Anglicky *tidal power* - jedná se o **vodní elektrárnu** využívající opakujícího se **přílivu a odlivu**, kdy dochází ke změnám výšky mořské hladiny oproti její průměrné poloze v oceánech. Faktem je pravidelná opakovatelnost těchto jevů. Tyto tzv. slapové jevy způsobuje gravitační přitažlivost našich sousedních vesmírných objektů – Měsíce a Slunce. Slunce na nás působí asi 2,17x menší přitažlivou silou než Měsíc. A to z důvodu obrovské vzdálenosti naší planety od této hvězdy. Z důvodu rotace Země se vzdálenost mezi body na povrchu Země vůči Slunci a Měsíci mění. Tím vznikají tyto slapové jevy projevující se přílivem a odlivem. Na Zemi nastává příliv a odliv dvakrát za den ve všech místech, kromě pólů.

Výše přílivu značí výškový rozdíl mezi přílivem a odlivem. Typické hodnoty pro pár vybraných míst na Zemi jsou: Bay of Fundy (Kanada) 19,6 m; Granville (Francie) 16,8 m; La Rance (Francie) 13,5 m. [14]



**Obrázek 11:** Rozdíl hladiny moře mezi přílivem a odlivem v ústí řeky Severn, Velká Británie. [14]

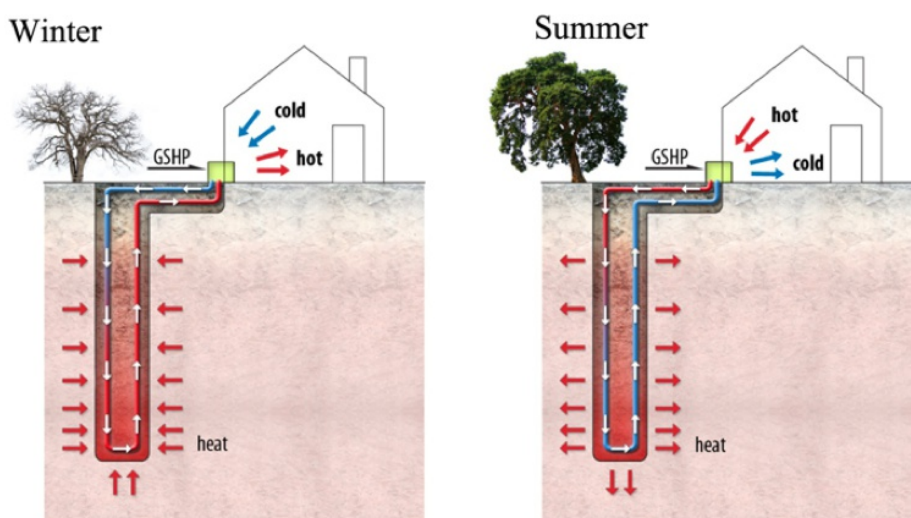
Aby se tohoto jevu dalo využít pro produkci elektrické energie, je nejčastěji třeba danou zátoku nebo záliv **obestavit hrází**. Při přílivu se pomocí vrat nechá vypouštět voda do hráze a po vzednutí hladiny se uzavrou. Po odlivu se voda vypouští zpátky do moře přes turbíny, které generují elektřinu. Na světě je ovšem momentálně ve fázi výzkumu a prvotních instalací spousta projektů umístění lopatek na mořském dnu tak, aby nebylo třeba budování velmi nákladné hráze.

Mezi existující projekty ve světě patří zejména první a největší přílivová elektrárna stojící ve Francii. Byla postavena v šedesátých letech dvacátého století v **La Ranch** a má výkon 240 MW. Menším zdrojem je například přílivová elektrárna v Annapolis (Kanada) o výkonu 17,8 MW. [14]

Výhodou je výborná předvídatelnost výroby – zejména v porovnání s větrnými nebo FV elektrárnami. Naopak nevýhodou je, že tento typ zdroje samozřejmě nejde postavit kdekoliv. Kromě potřeby mořské oblasti je taky důležitý tvar zátoky, aby poměrně přesně vyhovoval. Případná umělá dostavba zálivu by stavbu takového elektrárny neúnosně prodražila. Z ekologického pohledu se taktéž jedná o sporný zdroj, jelikož uzavření nějaké zátoky přehradou obvykle znamená i změnu daného ekosystému a jeho degradaci.

## 2.5. Geotermální energie

*„Geotermální energie, ať už jako zdroj elektřiny, nebo nástroj k vytápění a chlazení budov, má obrovský potenciál jakožto obnovitelný zdroj energie.“ [15]*

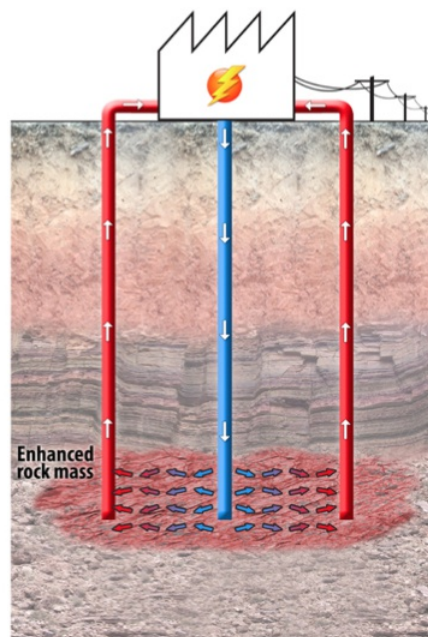


**Obrázek 12:** Získání tepla v zimě a naopak chlazení domu v létě. [15]

Tato energie je obsažena ve formě tepla v zemském nitru. Využívání geotermální energie k produkci elektřiny je známo a provozováno po světě už desítky let. Instalovaný elektrický výkon těchto elektráren po celém světě byl 7974 MW<sub>E</sub> v roce 2000. Tomu odpovídala produkce elektřiny v objemu 49,3 TWh/rok. Což v roce 2000 představovalo podíl 0,3 % na celosvětové výrobě elektřiny, která v té době byla 15 342 TWh. [16]

Na obrázku 13 je schématický pohled na jedno z možných provedení geotermální elektrárny. Jedná se o tzv. EGS projekt (*Enhanced Geothermal Systems*) – tj. případ, kdy podloží v tepelně vhodné lokalitě je nepropustné a vyžaduje inženýrský zásah a technickou úpravu pro lepší propustnost vtlačené vody. Proto se nazývá jako „zlepšený“ či „zesílený“ geotermální systém. [15]

Za zmínku stojí uvést, že koeficient využití je poměrně vysoký – a to 0,72. Ale záleží na vhodné lokalitě a typu využití, jinak může dosahovat samozřejmě mnohem nižších hodnot.



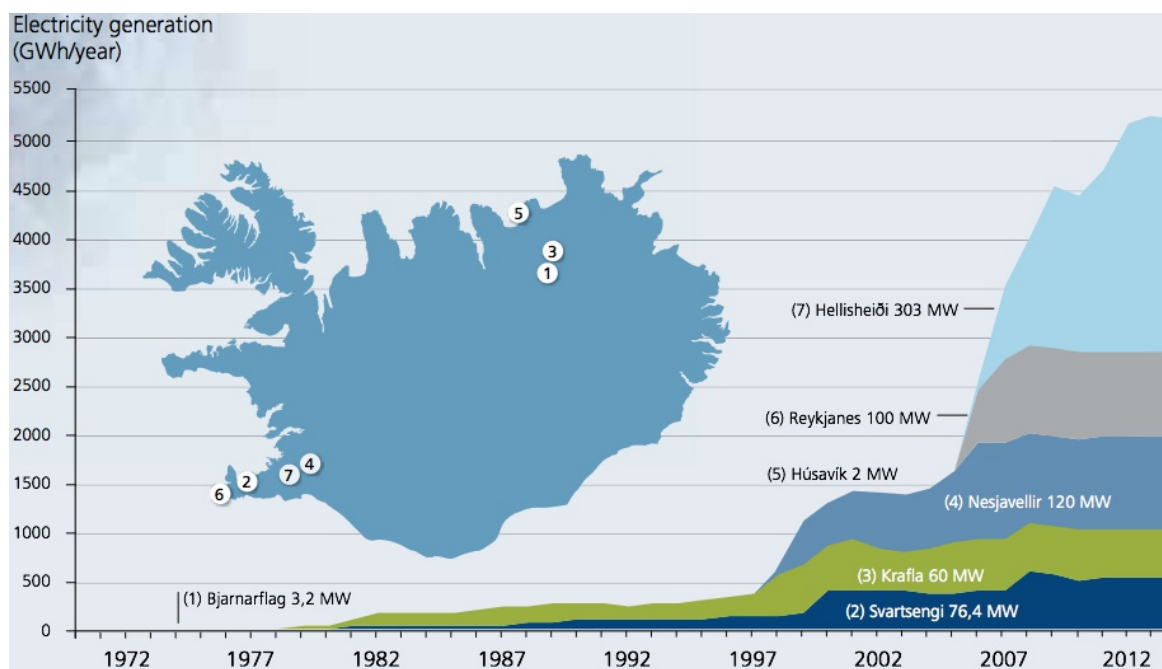
**Obrázek 13:** Schématická ukázka geotermálního získávání elektřiny. [15]

V rozvojových zemích, kde je celková kapacita energetických zdrojů malá, může hrát tento zdroj energie významnou roli. Příkladem mohou být následující země: na Filipínách 21 % elektřiny pochází z geotermální páry, obdobně 20 % v Salvadoru, 17 % v Nikaragui, 10 % v Kostarice a 8 % v Keni. Elektřina je generována s účinností 10 až 17 % a geotermální elektrárny jsou cenově konkurenceschopné s konvenčními zdroji energie. [16]

### 2.5.1. Island

Země známá svými gejzíry a bohatou přítomností vulkanické činnosti, která z ní dělá ráj využití geotermální energie. Ta uspokojuje asi polovinu potřeby primární energie v této zemi. Hlavní využití nachází geotermální energie ve vytápění lidských obydlí, které údajně využívá až 88 % všech domácností. [17] Mezi další využití patří vyhřívání bazénů, rozpouštění sněhu na chodnících nebo třeba vyhřívání skleníků.

Níže uvedený obrázek 14 zobrazuje výrobu elektřiny na Islandu z geotermálních elektráren. Je zajímavý zejména výrazný nárůst po roce 2000. Obdobný růst instalované kapacity a generované elektřiny vykazují i data za vodní elektrárny.



**Obrázek 14:** Umístění geotermálních zdrojů a jimi generovaná elektřina. [18]

## 2.6. Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

Zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie říká následující: „Kombinovanou výrobou elektřiny a tepla se rozumí přeměna primární energie na energii elektrickou a užitečné teplo ve společném současně probíhajícím procesu v jednom výrobním zařízení.“ [19, § 2 odst. g].

V literatuře se pojem kombinovaná výroba elektřiny a tepla často zkracuje pouze na **KVET**, případně se hovoří o tzv. **kogeneraci**. Od pojmu kogenerace je odvozen obvyklý název zařízení, kde dochází k přeměně energie paliva na elektrickou energii - a to **kogenerační jednotka** (zkracováno na **KJ**).

### 2.6.1. Specifika kogenerace

Jako výhoda kogenerace je zejména skloňována vysoká míra využití primární energie ve spalovaném palivu (jedná-li se např. o KJ se spalovacím motorem poháněným naftou nebo zemním plynem). Tento fakt má nicméně množství omezujících podmínek. Jednak teplo se nedá tak snadno přenášet na velké vzdálenosti jako elektřina. Z tohoto důvodu musí být takovéto kogenerační zařízení instalováno blízko objektu spotřeby tepelné energie (v bytovém domě, v podniku, atd.). Z toho taky vyplývá, že KJ nepracuje obvykle stále, ale pouze v době potřeby tepla. Elektrická produkce je tak vázána na produkci tepla. V případě prostého chlazení tepla např. na chladiči a pouhé produkci elektřiny může KJ samozřejmě fungovat taky, nicméně pak ztrácí svůj smysl a ekonomickou výhodu. Druhým důležitým faktorem při

hodnocení KJ je fakt, že elektrina a teplo jsou dvě jakostně rozdílné energie. Teplo je pouze doplňkovým produktem při získávání jakostnější formy energie - a to elektriny.

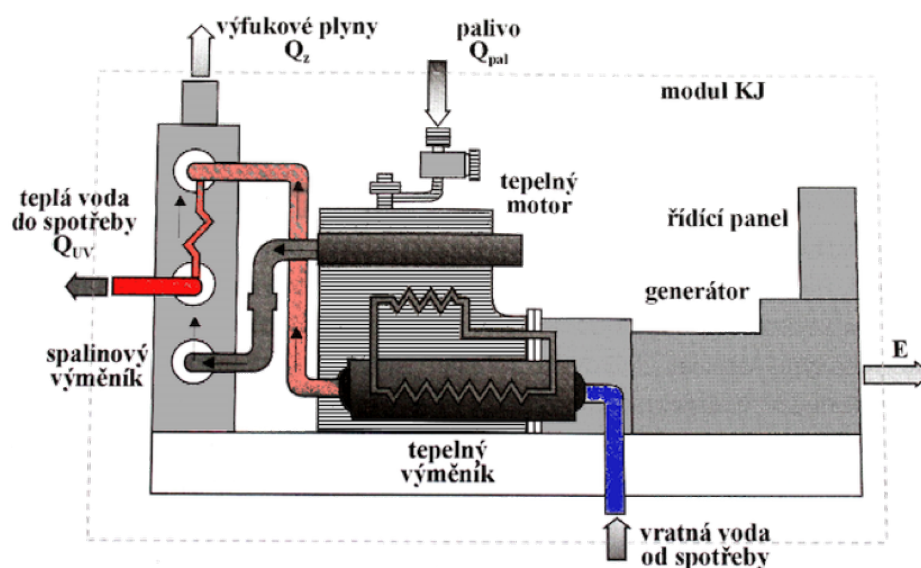
## 2.6.2. Kogenerační jednotka

KJ se skládá z části pro úpravu paliva, primární jednotky (např. spalovací motor), elektrického generátoru a části rekuperující tepelnou energii. KJ se dělí dle mnoha kritérií - dle použitého paliva, maximálního dosažitelného výkonu, účelu využití atd. Základními parametry jsou elektrický  $P_E(t)$  a tepelný výkon  $P_T(t)$  - závislosti na čase poukazují, že se jedná o energetické parametry měnící se v čase. [20]

Důležitým ukazatelem je poměr elektrického a tepelného výkonu  $\sigma$ , který se vypočítá dle následující rovnice: [20]

$$\sigma = \frac{E}{Q_{UV}} = \frac{P_E}{P_T}, [-]$$

- $Q_{UV}$  - využitelná tepelná energie
- $E$  - vyrobená elektrická energie
- $P_E, P_T$  - elektrický, tepelný výkon



**Obrázek 15:** Ukázka principu kogenerační jednotky. [20]

## 2.6.3. Výrobci

KJ jsou k dostání v různých provedeních a výkonových relacích (od jednotek kW po MW). Následující tabulka 1 ukazuje pár vybraných KJ dostupných na českém trhu. Lze vypořezovat, že s rostoucím výkonem KJ roste elektrická účinnost.

VÝROBCE Typ KJ	Elektrický výkon [kW <sub>E</sub> ]	Tepelný výkon [kW <sub>T</sub> ]	Elektrická účinnost [%]	Tepelná účinnost [%]	Celková účinnost [%]
TEDOM <i>Micro T7</i>	7	17,2	27	66,3	93,3
BUDERUS <i>Loganova EN20</i>	19	34	34	61	95
MOTORGAS <i>MGM 100</i>	99	131	36,7	48,5	85,2
TEDOM <i>Cento T100</i>	100	137	36,9	50,5	87,4
TEDOM <i>Quanto D770</i>	800	918	42,2	48,4	90,6
MOTORGAS <i>MGW 1000</i>	1000	1062	42	42,2	84,2

**Tabulka 1:** Vybrané KJ dostupné na českém trhu a jejich parametry. [3]

Pár informací k jedné vybrané KJ - uvedená jednotka od společnosti TEDOM (Cento T100) má při jmenovitém výkonu spotřebu zemního plynu 28,7 m<sup>3</sup>/h, váží 4400 kg a dosahuje celkové účinnosti 87,4 %. [21]

## 2.7. Prognózy vývoje energetického mixu zdrojů ve vybraných zemích

Snažit se odhadnout budoucnost je obecně velmi těžké, zda-li nemožné. Co se týče energetiky, v dnešní době to platí také. Světové regiony sledují různé cíle, mají různý historický vývoj a různé přírodní, hospodářské a technické podmínky. Přesto by se daly určitě zmínit **obnovitelné zdroje energie** jakožto určitý trend s celosvětovou působností. Jejich rozvoj je silně podporován zejména v Evropě. Osobně bych řekl hlavně z důvodů snahy o ochranu životního prostředí, než že by nás k tomu tlačil nějaký aktuální akutní problém. Samozřejmě jsme si vědomi fenoménu globálního oteplování a státy v Evropě se snaží tento trend změnit a něco s tím dělat. Naproti tomu například v Číně jsou dle mého názoru k využívání OZE spíše tlačeni z důvodu obrovského smogu v jejich největších městech. Aniž by zde v první řadě stál nějaký vyšší princip, jsou jejich důvody mnohem přímočarejší a prostší - chtějí ve svém prostředí přežít. Data za poslední roky dokazují, že Čína se stává zemí s největší roční instalovanou kapacitou ať už ve FV nebo větrných elektrárnách. A patrně tomu tak ještě několik let bude.

Zaměřil bych se ale nyní na **evropské státy**. Zde můžeme vyzorovat jasný trend příklonu k OZE, nicméně i státy s přístupem zcela opačným.

### 2.7.1. Velká Británie

Velká Británie se rozhodla **uzavřít své uhelné elektrárny do roku 2025**. Jedná se o jednu z prvních rozvinutých a ekonomicky silných zemí s takovýmto rozhodnutím. Dle mého názoru se jedná o rozumný cíl s dostatečným časovým předstihem. K rozhodnutí došlo během roku 2015 - Velká Británie si tak dala deset let čas na přípravu nových zdrojů. A hlavně dala stávajícím uhelným elektrárnám jasný vzkaz do budoucna včetně poměrně dlouhé možnosti „dožití“. Nejedná se tedy o nějak politicky vyhrocený náhlý zásah, který nastal například v Německu ohledně odstavení jaderných elektráren. V tomto porovnání mi přijde britský příklad mnohem rozumnější a snad i splnitelný. Zatímco v případě Německa odstavením jaderných elektráren neprodukujících skleníkové plyny dochází k jejich náhradě z velké části uhelnými zdroji. Dochází tak k paradoxu mezi jejich snahou o snížení uhlíkové stopy celé země a poměrně populistickému uzavření jaderných elektráren po havárii v Japonské Fukušimě.

*„Momentálně (rok 2015) pochází z uhelných elektráren přes 20 procent veškeré britské produkce elektrické energie (před rokem to bylo ještě 28 procent), na čemž se podílí 15 zbývajících britských uhelných elektráren.“ [22] Některé ze zmíněných uhelných elektráren už jsou v provozu i 50 let. Tudíž jejich náhrada je nevyhnutelná. Důležité ale je, že se Británie rozhodla jít cestou „čistějších“ zdrojů. Jedním z cílů totiž je omezení škodlivých emisí (ať už jde o popílek, saze nebo oxid uhličitý).*

Hlavní náhradou za uhelné elektrárny v zemi mají být **zdroje spalující zemní plyn** a jaderné elektrárny. Po jejich boku dochází také k mohutným investicím do elektráren větrných, umístěných na otevřeném moři.

### 2.7.2. Skotsko

I když se jedná o jednu ze čtyř zemí Velké Británie (celým názvem *Spojené království Velké Británie a Severního Irsku*), média prezentovala uzavření poslední uhelné elektrárny ve Skotsku jako velký milník pro tuto jednu zemi.

**Elektrárna Longannet** byla odstavena a s ní skončilo období využívání uhlí ve velké energetice ve Skotsku. Jedná se o největší elektrárnu svého druhu v Británii (instalovaný výkon 2 400 MW), která vyráběla elektřinu po dobu 46 let. K jejímu uzavření došlo v březnu 2016. The Guardian prezentuje tuto zprávu jako „*konec uhelné doby, která odstartovala místní průmyslovou revoluci*“. Symbolické vypnutí je dle listu důležitým krokem kupředu směrem k nízkouhlíkové ekonomice Velké Británie, ale taky další ranou pro energetické zabezpečení celé země. Dle provozovatele elektrárny, společnosti Scottish Power, byl provoz zdroje dále již



ekonomicky prodělečný. A to zejména kvůli vysokým nákladům na přenos elektřiny a uhlíkové dani. [23]

Na druhou stranu právě probíhá výstavba šesti nových větrných parků na pevnině. Jedná se o investici ve výši 650 milionů liber (zhruba 22,4 mld Kč). Taktéž více než 500 milionů liber má být investováno do rozvoje přenosové soustavy v tomto roce (2016).

### 2.7.3. Belgie

Obdobně jako výše zmíněné Skotsko, i Belgie v roce 2016 uzavřela svou poslední uhelnou elektrárnu. Stala se tak již sedmým státem Evropské unie vyrábějícím elektřinu jinými zdroji, než uhelnými. Odstavena byla elektrárna **Langerlo s výkonem 556 MW**. Deník E15 dodává, že „uzavření elektrárny Langerlo znamená snížení emisí oxidu uhličitého o dva miliony tun za rok. To je více než jedno procento emisí v Belgii.“ [24]

Uhlí v Belgii hraje čím dál menší roli. V roce 2014 se v zemi vyprodukovalo 72 TWh energie, ze které jen 4,4 TWh pocházelo z uhlí. „Zhruba polovinu elektřiny vyrobily jaderné elektrárny, čtvrtinu plynové a zbytek biopaliva, spalování odpadů a obnovitelné zdroje.“ Přičemž budoucími prioritami Belgie jsou zejména OZE – k tomu mají pomoci přímořské větrné farmy v Severním moři. Kromě toho taky počítá Belgie s nárůstem dovozu elektřiny ze sousedních států. [24]

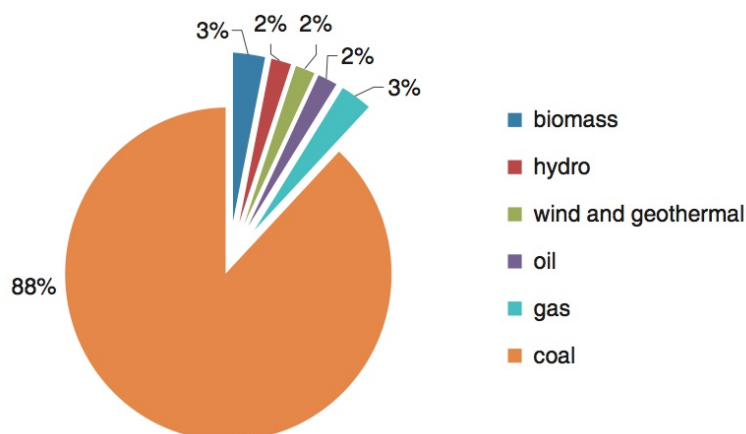
### 2.7.4. Polsko

Narozdíl od Belgie či Velké Británie se Polsko vyslovuje **pro uhlí**. Jde tak víceméně proti směru celé Evropy a patrně i ostatních částí světa. Níže přiložený obrázek 16 prezentuje produkci elektřiny z polských zdrojů. Ta je v drtivé většině založena na spalování uhlí – **88 % produkce**. Je otázkou, jestli se Polsko připojí ke směru zbytku EU nebo si svou cestu obhájí. Za předpokladu fungujícího EU ETS (*The EU Emissions Trading System*) si osobně nedovedu představit ekonomicky provozuschopnou polskou energetiku.

Článek na portálu Platts hlásá „*Nová polská vláda se musí poprat s krizí v uhelném sektoru*“ (říjen 2015). Hrozbou pro polskou „uhelnou“ cestu jsou **klesající ceny uhlí** a na druhou stranu stoupající cena práce na polském trhu. [26]

Novou vládou se myslí vítězství strany Právo a spravedlnost (PiS) v parlamentních volbách v Polsku v roce 2015. Ta si dala za jeden z cílů záchranu uhelného průmyslu, který by dle jejich slov měl zůstat páteří polské energetiky. PiS tedy plánuje spojit

těžební a energetický průmysl a věří, že tak zachrání svůj uhelný sektor. Ten je ve státních rukou a zaměstnává okolo 100 000 lidí. [26]



**Obrázek 16:** Výroba elektřiny v Polsku dle zdroje (červenec 2012). [25]

Největší společnost, Kompania Weglowa (KW), bude potřebovat odhadem 700 milionů zlotých (asi 4,3 mld Kč), aby přežila do konce prvního kvartálu 2016. Hlavní problém jsou padající ceny uhlí na celém světě, mimo jiné způsobené poklesem poptávky z Číny.

Naproti tomu všemu hodlá Polsko vystavit nové uhelné zdroje o značném výkonu. Stejně tak se hodlá pustit do stavby dvou jaderných elektráren, a to o výkonu až 6 000 MW. Posunutí termínu spuštění první z nich z roku 2020 na 2029 poukazuje, že ani v oblasti jaderné energie to Polsko nebude mít snadné. [26]

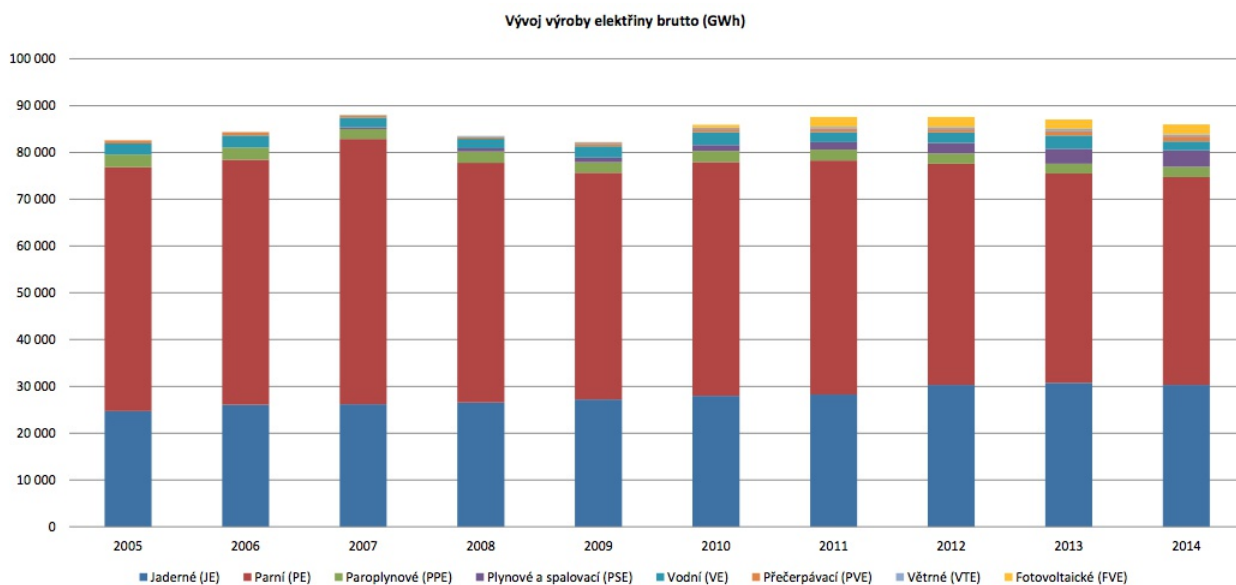
### 2.7.5. Česko

Česká energetika stojí na rozcestí. Během roku 2015 došlo k dlouho očekávanému schválení **Aktualizace Státní energetické koncepce** (tzv. ASEK), která je strategickým dokumentem státu v oblasti energetiky. ASEK má udávat směr české energetiky na následujících 25 let. Prohlášení na webových stránkách Ministerstva průmyslu a obchodu říká, že „*Posláním ASEK je zajistit spolehlivou, bezpečnou a k životnímu prostředí šetrnou dodávku energie pro potřeby obyvatelstva a národní ekonomiky a rovněž zabezpečit, že Česká republika bude mít k dispozici stále dodávky energie i v případných krizových situacích.*“ [28]

Schválení nové Státní energetické koncepce bylo zapotřebí, jelikož od poslední koncepce z roku 2004 se evropská energetika poměrně razantně změnila. Jednou ze zásadních věcí je dostat cílům nové **klimaticko—energetické politiky EU**. ASEK mimo jiné „*navrhuje především větší diverzifikaci zdrojů a zájem na udržení stávající plné nezávislosti v oblasti dodávek tepla a elektřiny, ale bez významného*

*vývozu vyrobené energie.*“ [28] Přičemž jedním dechem dodává, že toho nepůjde docílit jinak, než dalším rozvojem **jaderných elektráren**. Pro mě osobně je právě toto jasný důkaz slepé uličky, do které se česká energetika dostala. Vypadá to, že jediným možným budoucím zdrojem pro nás budou jaderné elektrárny, ale to je varianta ekonomicky neprosaditelná. Otázkou je, nakolik si cenit „národní bezpečnost“ v podobě vlastních zdrojů elektrické energie. A další otázkou taky je, jestli nebude Německo brzy ve velkém vyvážet mnohem levnější energii ze svých větrných parků při zvládnutí nevyrovnanosti výroby a přenosu takového množství energie dále do Evropy.

Jak by se mohl dále vyvíjet český energetický mix by mohl nastínit následující graf (obrázek 17), který zobrazuje složení roční vyrobené elektřiny z let 2005 až 2014. Jaderné a parní elektrárny se podílí na drtivé části produkce po celou analyzovanou dobu. Malou část přidávají paroplynové zdroje – bylo by zajímavé vidět data za rok 2015, kdy společnost ČEZ musela kvůli odstávkám ve svých jaderných elektrárnách spouštět mnohem častěji svoji paroplynovou elektrárnu v Počeradech. Patrně bude podíl paroplynu v roce 2015 výrazně větší. Kromě toho vodní elektrárny vykazují poměrně stabilní výrobu a nepočítá se s žádným zásadním rozšiřováním tohoto zdroje na našem území, jelikož prakticky všechny zajímavé a ekonomicky rentabilní lokality jsou již využity. Možné je pozorovat nárůst výroby z fotovoltaických zdrojů od roku 2010. Vedle toho produkce elektřiny z větrných elektráren je v celkové výrobě státu prakticky zanedbatelná.



**Obrázek 17:** Vývoj podílu zdrojů na výrobě elektřiny v ČR (2005 – 2014). [27]

Cíle dané Evropskou unií pro minimální podíl OZE jsme již splnili, tudíž žádný vnější tlak prozatím na zvyšování podílu elektřiny z OZE nemáme. Brzy však přijde nové období s vyššími cíli. Otázkou ale je, jak vyššího pokrytí spotřeby elektřiny

obnovitelnými zdroji můžeme dosáhnout. Nemáme totiž přímořské oblasti jako například sousední Německo v Severním moři, kde by se daly stavět větrné parky o masivních výkonech. Na druhou stranu nejsme ani v tak slunečném pásmu, jako třeba Španělsko, abychom měli šanci vyrábět opravdu zajímavou část elektřiny ze slunečních elektráren. Stojí tedy před námi období výzev.

## 2.8. (Ne)regulovatelné zdroje

Konvenční elektrárny představované zejména těmi uhelnými, jsou **regulovatelné zdroje** energie. Tj. mohou se poměrně flexibilně přizpůsobovat aktuální poptávce po elektřině. I když samozřejmě za určitých omezujících podmínek a s určitou časovou konstantou. Obdobně i jaderné elektrárny (JE) v Česku jsou dle slov lidí ze společnosti ČEZ (dotazování během našich školních exkurzí) schopné v určitém malém rozsahu sjíždět s výkonem. U jaderných zdrojů je to ale z mnoha důvodů obtížnější a omezenější. Mimo jiné vsádka paliva je přesně počítána na určitý provoz a dočasná změna výkonu elektrárny přináší komplikace a další vícepráce jiným oddělením JE. O regulovatelnosti energetických zdrojů se ale začalo mluvit mnohem více s nástupem obnovitelných zdrojů energie.

### 2.8.1. Regulovatelné zdroje

Kromě výše zmíněných konvenčních zdrojů jsou poměrně dobře regulovatelným zdrojem například **vodní elektrárny**. Ty dlouhodobě slouží kromě ochrany před záplavami k vykrývání špičkových výkonů v síti. Je ale třeba zdůraznit, že mám na mysli vodní elektrárny s přehradní nádrží. Průtočné vodní zdroje umístěné na řekách už moc regulovat nelze.

Jako dodatek k vodním zdrojům je třeba uvést i **přečerpávací elektrárny**, které jsou stavěny čistě s „energetickými úmysly“. Tj. nemají chránit před záplavami, ani zadržovat vodu pro období sucha. Využívají pouze rozdíl cen elektřiny během dne, kdy v nočních hodinách za levnou elektřinu čerpají vodu do horní nádrže. Z ní ji poté pouští na lopatky turbín obvykle v ranní nebo odpolední špičce, kdy je cena elektřiny nejvyšší. Na tomto čistě ekonomickém modelu pracují přečerpávací elektrárny. V Česku se jedná zejména o Dlouhé Stráně ve vlastnictví společnosti ČEZ.

**Bioplynové stanice** jsou stabilní a plně regulovatelné zdroje energie. Obvykle se plyn získává rozkladem biomasy, ke kterému dochází průběžně. Získaný plyn pohání například kogenerační jednotku. Bioplynovou stanicí lze považovat za zdroj dodávající do sítě energii nezávisle na počasí. [12]

## 2.8.2. Neregulovatelné zdroje

Zde patří zejména zdroje závislé na počasí. A těmi jsou **větrné elektrárny**, které generují elektrickou energii závisle na povětrnostních podmínkách. Pokud je proudění větru slabé, nebo naopak velmi silné z důvodu bouře, elektrárna nedodává žádnou energii. Jedná se o problém často skloňovaný zejména v sousedním Německu.

**Fotovoltaické (sluneční) elektrárny** jsou další zdroj zcela závislý na aktuálním počasí. Elektrinu dodávají pouze za přímého slunečního svitu (přesněji řečeno dodávají i malou část energie při zatažené obloze, v porovnání s klasickou produkcí při plném osvitu se ale jedná o pouhé zlomky produkce). Pro provozovatele sítě je v případě značného instalovaného výkonu FV zdrojů velký problém a výzva soustavu držet v rovnováze. Dochází například k případům oblačného počasí, kdy se střídá zastínění panelů mraky s přímým slunečním zářením. Pak během desítek sekund najíždí nebo sjíždí obrovský výkon (v ČR instalováno zhruba 2000 MW ve fotovoltaice).

Z pohledu energetické soustavy jako celku, či případně rovnou z pohledu virtuální elektrárny, je **nanejvýš žádoucí** vhodně doplnit neregulovatelné zdroje těmi regulovatelnými a vytvořit tak **stabilní energetické portfolio**.

## 3. NOVÉ ZDROJE

Označení „nové“ zdroje je v tomto případě relativní. Jednak pro některé státy jsou zmíněné technologie již léta standardem, a taky energetika se poslední léta vyvíjí rychlým způsobem. Co bylo před dvěma lety nové, může již dnes být překonáno.

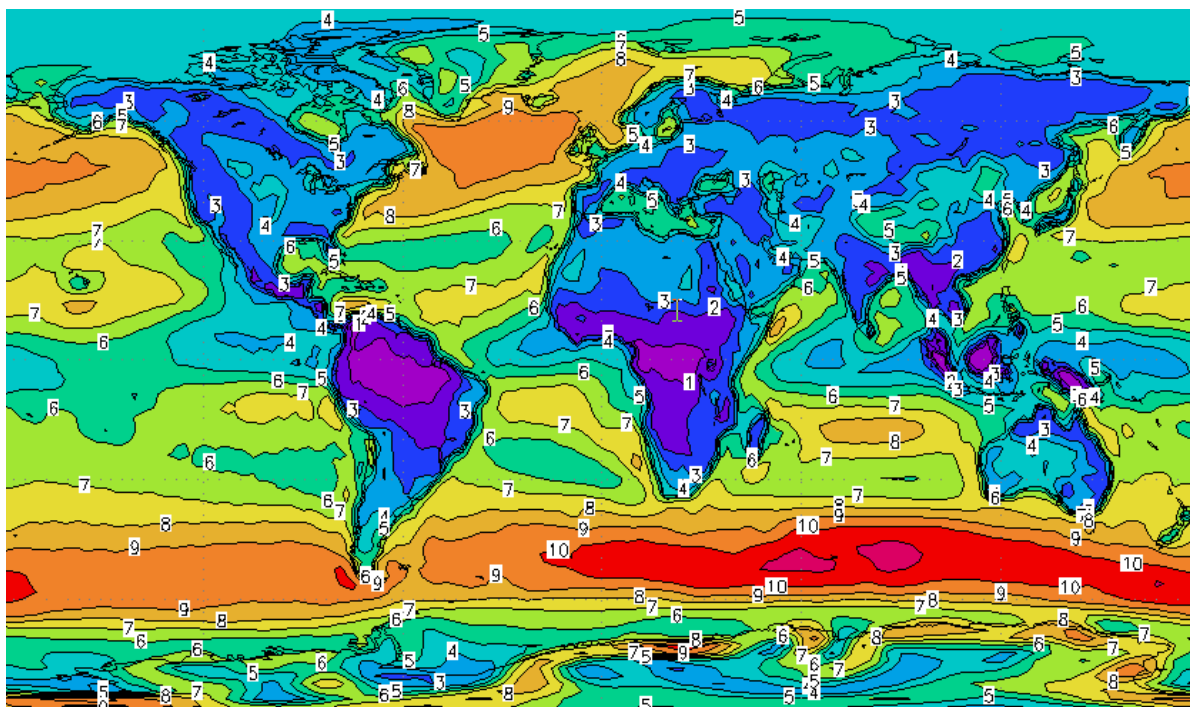
Z pohledu mé práce jde tedy spíše o zdroje prozatím ještě zcela ne masově rozšířené a s jistým potenciálem dalšího rozvoje do budoucna. A samozřejmě se jedná o zdroje zajímavé do portfolia virtuální elektrárny.

### 3.1. Větrné elektrárny na moři

Větrné elektrárny můžeme dělit ve smyslu jejich umístění na dva druhy. Na ty umístěné **na pevnině** (anglicky *onshore*) a na ty umístěné **na moři** (anglicky *offshore*). Zde bych se krátce zmínil o možnosti tzv. offshore aplikace větrných elektráren. V anglické literatuře se hovoří o **offshore wind farms**, tj. o „farmách“

větrných elektráren umístěných v pobřežních oblastech (na moři). Spojení farma má v tomto významu poukázat na obvykle mohutné instalace desítek větrných turbín v jedné propojené oblasti. A to z toho důvodu, že instalace těchto zdrojů na moři je investičně i technicky velmi náročná. Proto investoři volí instalaci rovnou celé skupiny větrných elektráren, kdy výsledné poměrné náklady na stavbu jednoho tubusu s rotorem jsou nižší. Jedna samotná větrná elektrárna někde na moři by se nikomu zcela jistě nevyplatila.

Faktem je, že proudění větrů a zejména jejich intenzita se liší lokálně na různých místech na zeměkouli. Měřením bylo zjištěno, že proudění větrů v jistých oblastech nad moři a oceány je mnohem silnější než obvyklé proudění větrů nad pevninou. To je hlavním důvodem rozvoje větrných parků na moři. S úspěchem se v těchto přímořských oblastech využívá **silnějšího a stálějšího větrného proudění**.



**Obrázek 18:** Proudění větru ve výšce 10 m nad povrchem (údaje v m/s). [30]

Výše uvedená mapa vznikla z měření z let 1976 až 1995 a jedná se o roční průměrné rychlosti větru. Z mapy je jasně patrná rozdílná rychlost větru nad pevninou a nad moři a oceány.

$$P = c_p \cdot \rho \cdot \frac{v^3}{2} \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

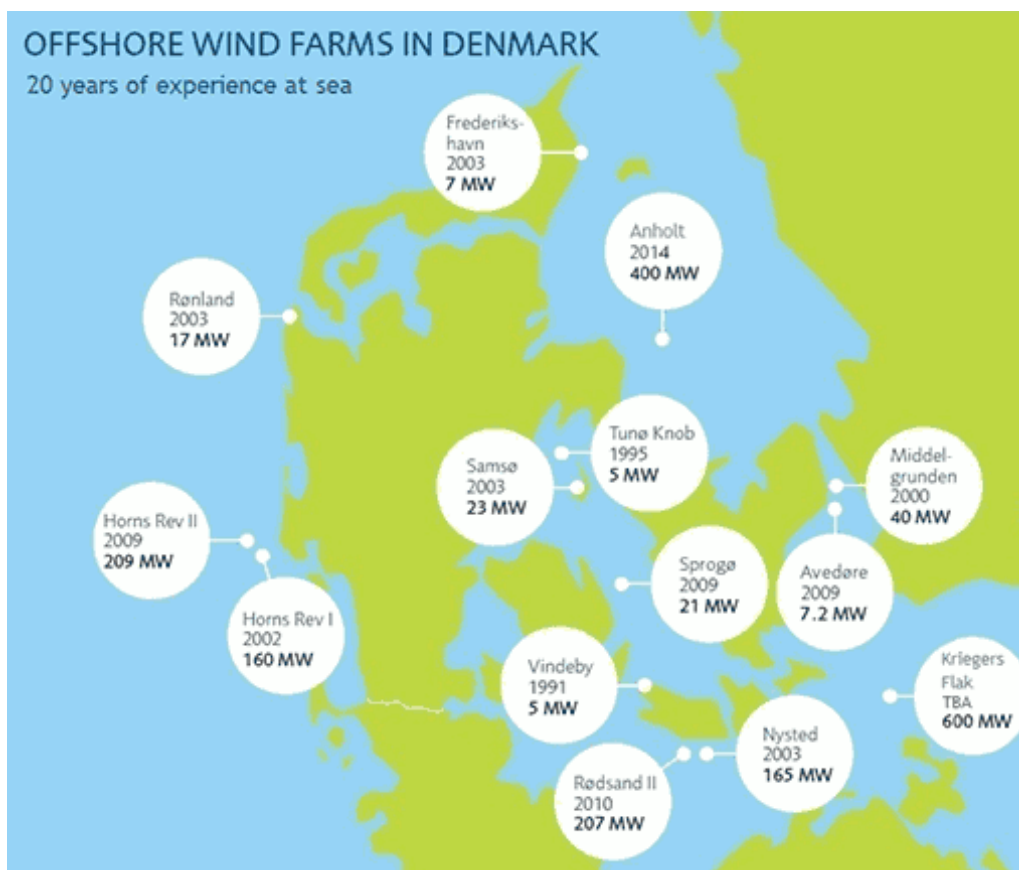
Zapsaná rovnice [30] představuje výkon (P) dosažitelný z lopatek větrné elektrárny. Přičemž zmíněné parametry znamenají:

- $c_p$  - účinnost větrné turbíny
- $\rho$  - hustota vzduchu

- v - rychlost větru
- D - průměr rotoru

Abychom zvýšili výkon dosažitelný z větrné elektrárny, musíme se podívat na výše uvedenou rovnici. S konstantami nic neuděláme. Dále můžeme zvyšovat účinnost, která už je víceméně velmi vysoká a nepředpokládá se značné zvyšování v této oblasti. Hustotu vzduchu těžko ovlivníme. Zbývá nám tedy **zvětšovat průměr rotoru** (což se za poslední roky rozhodně dělo a děje) a taky **zvýšit rychlost větru** (závislost se třetí mocninou!). Poslední zmíněné lze zajistit právě situováním větrných elektráren do pásem silného proudění, zejména na moři.

Další významnou výhodou je fakt, že vítr nad moři a oceány proudí v průměru **mnohem stabilněji a častěji** v porovnání s prouděním na pevnině. To nám poukazuje na vyšší koeficient využití těchto elektráren umístěných na moři v porovnání s těmi umístěnými na pevnině. Koeficient využití u větrných elektráren v mořských parcích dosahuje hodnot až 50 %. [31]



**Obrázek 19:** Rozmístění dánských větrných parků na moři. [32]

Na obrázku 19 přikládám ukázkou z Dánska, kde díky příznivým investičním pobídkám ze strany státu a výhodnému silnému větrnému proudění v jeho přímořských oblastech došlo k obrovskému rozvoji větrné energetiky. Dánsko (s daty

k roku 2013) je státem s druhým největším instalovaným výkonem větrných elektráren na moři na světě - a to 1,27 GW. [32]

Výhodou je též to, že na moři nedochází k záběru zemědělské půdy. Taky nedochází k politickému a občanskému odporu z důvodu „hyzdění“ krajiny atd. To souvisí s tzv. NIMBY efektem (*Not In My Back Yard*) - například to, že lidé souhlasí s výstavbou určitého objektu, pokud je to ale v jiné části jejich země, nebo alespoň dostatečně daleko od jejich bydliště. Například, že společnost souhlasí s výstavbou spalovny odpadů pokud se jich nebude bezprostředně týkat, ale pokud by spalovna měla stát vedle jejich vesnice, tak by byli jasně proti.

Nevýhodou jsou větší investiční náklady a celková složitější technologie - v porovnání s větrnými elektrárnami na pevnině. K tomu nutno dodat, že bohužel se tato možnost provedení netýká vnitrozemských států bez přístupu k moři, což je případ třeba České republiky.

### 3.2. Koncentrační elektrárny v Maroku

**Maroko** (anglicky *Morocco*) je země ležící na severozápadě Afriky. Ze severoafrických zemí je jedinou bez zásob ropy a je největším importérem energií v regionu. Dle Norton Rose Fulbright, 96 % energetických potřeb Maroka je zajišťováno zahraničními zdroji (data k roku 2012). Maroko má ovšem velké plány s OZE, čemuž odpovídají investice do vodních, větrných a slunečních elektráren. [33]



**Obrázek:** Elektrárna Noor 1 u města Ouarzazate. [34]



Město Ouarzazate leží na okraji Saharské pouště. A právě zde se buduje komplex čtyř propojených slunečních koncentračních elektráren (Noor 1 až 4). Jsou součástí projektu Maroka pokrýt do roku 2020 polovinu své spotřeby elektřiny z OZE. A jelikož tato africká země má elektrické spojení se Španělskem, ráda by do budoucna exportovala „zelenou“ elektřinu dále do Evropy. [33]

Jakmile bude celý projekt dokončen, bude se jednat o největší solární koncentrovanou elektrárnu na světě (anglicky *CSP - concentrated solar power*). Na konci roku 2015 dojde ke spuštění první části nazvané Noor 1. Tato elektrárna v porovnání s FV technologií bude mít schopnost **vyrábět elektřinu i po západu slunce** a to díky akumulaci tepelné energie v pracovním médiu (anglicky *HTF - heat transfer solution*). Toto pracovní médium (syntetický olej) bude zahříváno na teplotu 393 °C. Poté bude pumpováno do zásobníků s tekutými písky, které jsou schopné ukládat energii na tři hodiny, což dovoluje vyrábět elektřinu i určitou dobu po západu slunce. [34]

Elektrárna se skládá z půl milionu parabolických zrcadel umístěných v 800 řadách. Na konci prací budou mít čtyři elektrárny u města Ouarzazate výkon 580 MW a jejich plocha bude obdobná ploše hlavního města Rabatu. Projekt Noor 1 má výkon 160 MW. Elektrárny Noor 2 a 4 by se měly spustit v roce 2017 a budou mít schopnost akumulace tepelné energie (a tím tedy provozu) až osm hodin - cílem je dosáhnout elektrárny pracující na sluneční energii 24 hodin denně (v saharských podmínkách). [34]

### 3.3. Tesla Powerwall

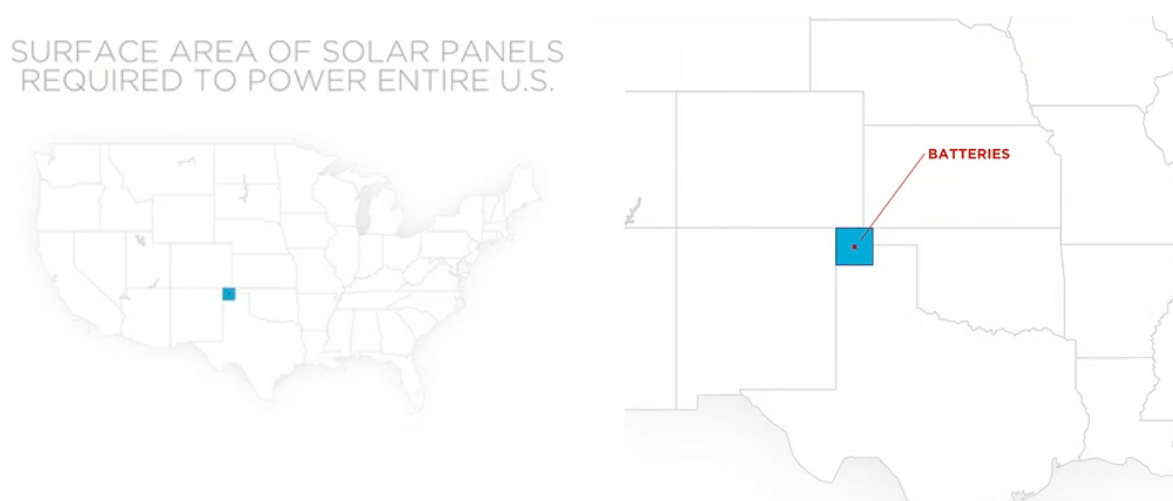
Elon Musk - CEO společnosti **Tesla Motors**, uvedl na konci dubna 2015 nový produkt této společnosti. A to Tesla Powerwall, v zásadě baterii na ukládání elektrické energie. Jak už ale Musk mnohokrát ukázal, jeho vizionářství dělá i z této „prosté baterie“ velkolepý projekt. Sám Musk poukazuje na to, že dnešní konvenční získávání elektřiny spalováním uhlí není z dlouhodobého hlediska to nejlepší, co by lidstvo mohlo dělat. „*We have this handy fusion reactor in the sky called the sun.*“ - „*Máme na obloze takový šikovný fúzní reaktor, kterému říkáme Slunce*“, prohlásil při uvedení Powerwall. Chtěl tím ukázat, že lidstvo nepotřebuje vynalézat své vlastní fúzní reaktory a podobné technologie, ale že pomocí např. FV panelů si můžeme již dnes zajistit 100 % spotřeby elektřiny z obnovitelného zdroje, a to Slunce. [29]

Musk Powerwall prezentuje jako domácí baterii ukládající energii produkovanou z FV panelů v průběhu dne. Tato energie má být použita v noci, když Slunce nesvíti. Produkt má být bezúdržbový a jednoduchý na instalaci. Případným majitelům by

měla Powerwall zajistit možnost být off-grid, to si ale já osobně nemyslím, že by mělo být velkým lákadlem.

K prodeji mají být dvě verze: jedna o kapacitě 7 kWh pro denní, a druhá o kapacitě 10 kWh pro týdenní bezpečné zajištění dodávek elektřiny. Váha 7kWh modelu má být 100 kg, napětí 350 - 450 V, proud 9,5 A. [29]

Powerwall tedy má být spolehlivá, levná a škálovatelná baterie. Pro větší aplikace představil i produkt Powerpack - víceméně skříň plná baterií o kapacitě 100 kWh. Takto by se zmíněné Powerpacky daly skládat do obrovských kapacit až 1 GWh. [29]



**Obrázek 20:** Potřebná plocha FV panelů pro pokrytí spotřeby elektřiny USA. [29]

Na obrázku 20 ilustruje modrý čtverec potřebnou plochu FV panelů pro pokrytí spotřeby elektřiny celých USA pomocí pouze tohoto zdroje (vlevo). Na zvětšeném záběru ukazuje Tesla červenou tečku uprostřed zmíněného čtverce (vpravo). To představuje plochu baterií, které by byly potřeba pro skladování elektřiny pro čas bez slunečního svitu. Takto by podle Tesly vypadal systém pokrývající spotřebu celých USA.

Samozřejmě to neodpovídá na mnoho dalších problémů a výzev, nicméně mně osobně to přijde jako důležitá ilustrace toho, že už dnes by alespoň vyspělé státy měly šanci produkovat 100 % elektřiny z OZE. Otázkou dále zůstává za jakou cenu a jestli by to bylo i realizovatelné například v Česku. V případě USA by se dalo očekávat situování takových velkých ploch FV do oblastí slunečné Kalifornie apod.

Další smysl tento systém má v kombinaci s elektromobily Tesly, což je další produkt obsahující baterii o velké kapacitě. Zde už se dají vymýšlet různé aplikace pro vykrývání nepredikovatelné spotřeby z OZE. Musk se na keynote zaměřil spíše na domácnosti, proto podle mne mluvil jen o fotovoltaice. Nicméně pokud by

bateriový systém (zejména Powerpack) byl napájen taky větrnými turbínami, měla by taková aplikace význam i pro firmy, menší průmyslové podniky či města. V tom vidím obrovský potenciál prezentovaného projektu.



### **Zamyšlení se**

Pokud bych se měl zaměřit jen na aktuální problémy v Česku nebo sousedním Německu, aplikace několika Powerpack o obrovských kapacitách by mohla **řešit lokálně problematiku proměnlivého výkonu OZE**. Tudíž namísto osamostatnění se domácností od sítě bych největší přínos viděl ve stabilizování výroby z OZE a tím umožnění jejich dalšího rozvoje. Samozřejmě by to byl skvělý akumulací/regulační prvek pro virtuální elektrárnu a zřejmě by umožňoval její další rozvoj.

## 4. MOŽNOSTI VYUŽITÍ VHODNÝCH VÝROBNÍCH ZDROJŮ V ČR

Ne všechny zdroje energie uvedené v předchozí kapitole je v Česku možné provozovat. Větrné elektrárny na moři nebo přílivové elektrárny z geografických důvodů prostě provozovat nemůžeme.

V této kapitole chci zdůraznit současnou situaci OZE a jejich podíl v energetickém mixu. Zaměřím se na vliv legislativy a státní podpory na další rozvoj alternativních zdrojů energií, který vyústil až v tzv. solar boom zmíněný níže v této části práce. Důležité z pohledu možnosti regulace výroby je v Česku poměrně rozvinuté teplárenství, o kterém krátce pojednává následující část.

### 4.1. Teplárenství

Centralizovaná forma teplárenství (*CZT – centrální zásobování teplem*) se u nás začala objevovat od počátku dvacátých let minulého století. První komplexní soustavy vznikaly v období dvacátých až čtyřicátých let. Mezi důvody budování těchto soustav patřil rozvoj průmyslu v městech a na jejich okrajích, který potřeboval kromě tepla pro své technologie a prostory i teplo pro nově budované dělnické čtvrti. Teplárny taky nabízely rozumné hospodářství s palivy a centrální řešení problému znečištění

v podobě spalin, které se díky vysokým komínům dostávaly mimo městskou zástavbu. Kromě toho i odvoz množství vzniklých zbytků spalování si efektivně řešily teplárny samotné. [36]

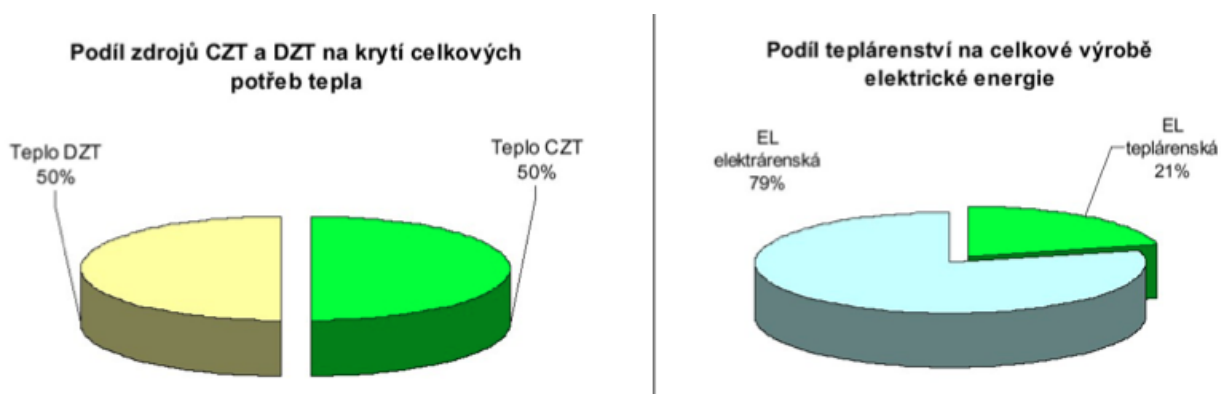
*„Ve 30. letech tak vznikly na svoji dobu vysoce moderní a progresivní soustavy centralizovaného zásobování teplem se zdroji kombinované výroby elektřiny a tepla, které jsou základem dálkového vytápění dodnes.“* [36] Příkladem je parní soustava v Ústí nad Labem, Brně (Teplárna Špitálka) nebo Praze (Elektrárna Holešovice).

*„Teplárenství v ČR je z valné části založeno na využívání vysokotlakých práškových nebo fluidních kotlů s parními protitlakovými a odběrovými turbínami. Teplo je distribuováno horkovodními a teplovodními sítěmi a ve značné míře dosud i parními systémy, poměrně rozšířeny jsou centrální předávací stanice s navazujícími sekundárními tepelnými rozvody.“* [37]

Teplárenství dodává zhruba polovinu své produkce tepla veřejnému sektoru. Ten tvoří odběry obyvatelstva pro vytápění lidských obydlí a ostatní služby. Druhá polovina dodávek směřuje do průmyslu, kde je teplo využíváno kromě vytápění taky k výrobním technologiím.

V ČR existuje kolem 2000 zdrojů fungujících jako centrální zásobování teplem. Dle *Studie stavu teplárenství* je dneska „vydáno zhruba 650 licencí na výrobu tepla a asi 700 licencí na rozvod tepla.“ Několik stovek zdrojů je taktéž zapojeno do EU ETS, systému obchodování s emisními povolenkami. [37]

Teplárenství v podobě centrálních zdrojů (CZT) má značný podíl na celkové spotřebě tepla, kdy tuto spotřebu pokrývá zhruba z poloviny. Zbytek tvoří tzv. decentralizované zásobování teplem (DZT). Z pohledu výroby elektřiny, která je spjata s primární produkcí tepla, produkují teplárny v ČR zhruba pětinu elektrické energie. Tato fakta ukazují níže přiložené grafy (obrázek 21). [37]



**Obrázek 21:** Podíly CZT na spotřebě tepla a produkci elektřiny v ČR. [37]

Teplárny spotřebují zhruba 31 % z celkové spotřeby paliv v české energetice. Zásobování teplem (CZT + DZT) využívá ke své výrobě zejména tuhá paliva (44 % - nejčastěji hnědé uhlí) a tzv. ušlechtilá paliva (42 % - zejména zemní plyn). Poslední skupina druhotných zdrojů a OZE tvoří asi 11 %, ostatní paliva tvoří zbylé 3 %.

Z pohledu této práce a současných výzev energetiky je důležitý následující pohled. Teplárny jsou schopny řešit problémy související s **nerovnoměrným odběrem elektřiny**. S tím souvisí rostoucí požadavky na **regulační výkon**. Kapacitu dnešního regulačního výkonu již nelze znatelně zvyšovat ve vodních akumulacích a přečerpávacích elektrárnách. Alespoň ne v ČR, kde je již tento alespoň technický potenciál víceméně vyčerpán. Oproti tomu využívání uhelných elektráren v pološpičkovém provozu z důvodu možností regulace je méně hospodárné.

## 4.2. Obnovitelné zdroje energií v Česku

Obnovitelné zdroje energie (OZE) jsou význačné tím, že jejich vstupy jsou obnovitelné z hlediska přírodních podmínek i časového období v řádu jednotek nebo desítek let. Prakticky všechny dnes rozlišované OZE jsou založeny přímo, či nepřímo na **slunečním záření** - tj. na energii jaderných přeměn v naší nejbližší hvězdě - Slunci. Od Slunce se energie šíří elektromagnetickým vlněním až k povrchu Země.

Zde pomocí fotosyntézy roste **biomasa**, fotovoltaickým efektem získáváme elektřinu ve **fotovoltaických (FV) elektrárnách**. Různorodé ohřívání zemského povrchu způsobuje proudění vzduchu, které roztáčí **větrné elektrárny** ať už v pobřežních vodách, tak na pevnině. Odpařování vody vede posléze ke srážkám, které nám na řekách a přehradách roztáčí turbíny **vodních elektráren**.

Je třeba uvést i **geotermální energii** Země, která nepochází ze Slunce. Nicméně energetické využití této možnosti v podmínkách ČR máme minimální (pouze teplo využívané v lázních). Stejně tak se nás z geografických důvodů netýká např. energie mořských vln a další zajímavé technologie dneška (či budoucnosti).

### 4.2.1. Situace v Česku

V Česku si musíme přiznat, že nemáme zrovna ideální podmínky pro OZE. A je třeba si hned na začátku kapitoly uvědomit, že není reálné pokrýt celou spotřebu ČR ani dnes, ani v příštích 20 letech čistě elektřinou z OZE v takové podobě, v jaké je známe nyní.

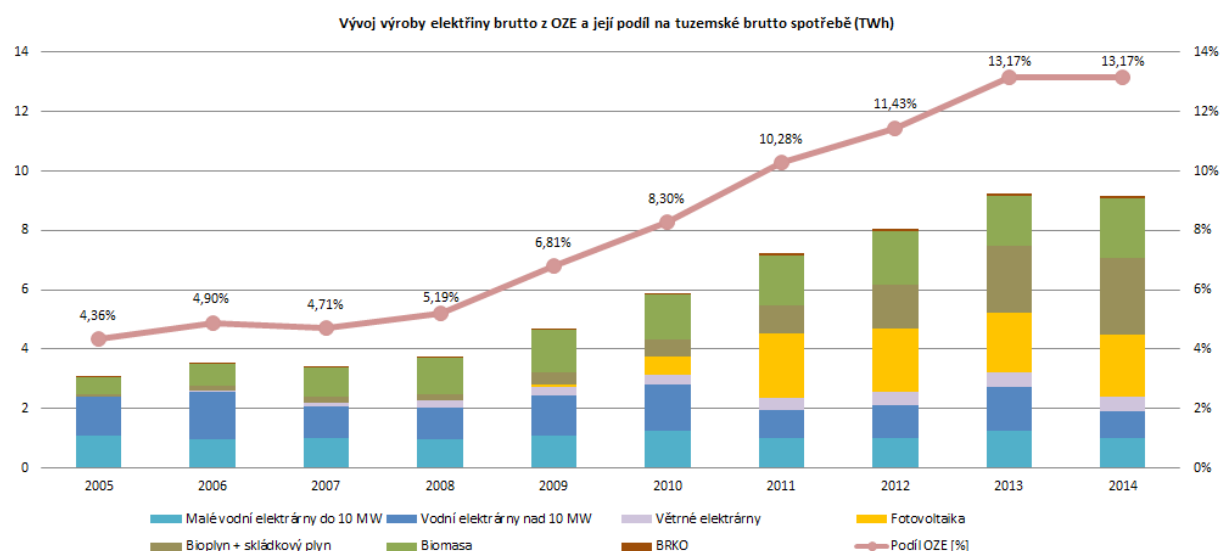
Jak ukazuje níže přiložená jednoduchá grafika na obrázku 22, v základě můžeme v ČR počítat s následujícími OZE: sluneční záření, větrné proudění, chemická energie biomasy a potenciální energie vody.



**Obrázek 22:** Mírně upravená grafika ilustrující základní OZE v Česku. [38]

#### 4.2.2. Podíly zdrojů na výrobě elektřiny

Srovnajme si podíl jednotlivých OZE na celkové spotřebě elektřiny v ČR.



**Obrázek 23:** Podíl vyrobené elektřiny z OZE na její spotřebě. [39]

Kromě souhrnného výše uvedeného grafu se podrobnějším statistickým číslem pro dané zdroje energií věnují následující podkapitoly.

#### 4.2.3. Vodní elektrárny

V přiloženém grafu z Energetického regulačního úřadu (obrázek 23) vidíme, že vodní elektrárny (ať už malé, nebo velké) jsou zdrojem zhruba 2 % spotřebované elektřiny v ČR. Jejich výroba je poměrně stabilní, kontrolovatelná a závislá zejména na dešťových srážkách v daném roce. Geograficky již nicméně považujeme potenciál

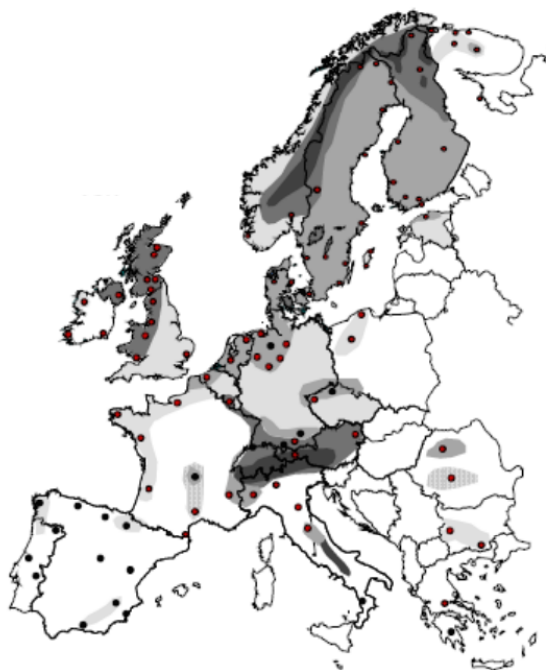
vodních elektráren za prakticky vyčerpaný a neočekávají se žádné zásadní změny jak v instalovaném výkonu, tak ve vyrobené elektřině z těchto zdrojů.

Dle Operátora trhu s energiemi (OTE) k 6. 1. 2015 je na území ČR v kategorii malé vodní elektrárny do 10 MW v provozu 1679 zdrojů o celkovém výkonu 342 MW. Vodních elektráren o výkonu nad 10 MW máme v ČR 19 a jejich souhrnný výkon je 742,8 MW. Přečerpávacích vodních elektráren OTE registruje 7 s instalovanou kapacitou v součtu 1170 MW. [40]

#### 4.2.4. Větrné elektrárny

Na našem území jsou vystavěné ve velmi malém měřítku, čemuž odpovídá také podíl méně než 1 % na celkové výrobě elektřiny. Dle OTE je v Česku 109 větrných elektráren o celkovém výkonu 277 MW. [40]

Krátce bych zde chtěl popsat problém, který se při provozu větrných elektráren vyskytuje a na který mne upozornil vedoucí práce. Jedná se o **námrazu** vznikající v určitých lokalitách a za určitých podmínek na lopatkách rotoru. K té nejčastěji dochází, „pokud je teplota vzduchu pod bodem mrazu a je vysoká vzdušná vlhkost“, přičemž největší problém představuje na náběžné hraně rotorových listů. V takovém případě obvykle dochází k odstavení elektrárny, aby případné odletující kusy ledu nemohly někoho v okolí zranit. K těmto situacím dochází jen pár dní v roce. Například větrné elektrárny umístěné 30 km od Jihlavy byly v roce 2008 z tohoto důvodu odstaveny pouze tři dny. [41]



**Obrázek 24:** Oblasti vzniku námrazy na větrných elektrárnách v Evropě. [42]

Na obrázku 24 značí tečky meteostanice, jemně šedé oblasti občasný výskyt námrazy a tmavě šedé oblasti častý výskyt námrazy. Je tedy vidět, že námrazou jsou ovlivněny jen určité oblasti s různou dobou a intenzitou trvání.

Při umístění tohoto zdroje v oblasti častých námraz je odstavování nevýhodné. V tomto případě se v praxi užívají i vyhřívané listy lopatek (v podobě ventilátoru s topným tělesem), kdy vháněný horký vzduch do dutiny lopatky led rozpustí. Toto řešení sice nenutí elektrárnu zastavit, ale je energeticky taktéž náročné a je třeba zvážit ekonomické přínosy a možnosti obou variant. [41]

#### 4.2.5. Fotovoltaika

V posledních pár letech došlo k obrovskému nárůstu instalací FV elektráren v ČR, který už je ale změnou legislativy takřka zastaven. Nicméně původně pouze okrajový plánovaný zdroj se nyní svou roční výrobou vyrovnává vodním zdrojům a mnohé tak jistě naprosto překvapil.

Na území ČR je k 6. 1. 2015 instalováno celkem 28114 FV elektráren o celkovém výkonu 2080 MW. Jak lze ale z dat OTE vyčíst, za celý rok 2014 bylo do provozu uvedeno již pouze 64 zdrojů o výkonu 0,6 MW (zřejmá reakce na změnu podpor OZE). [40]



**Obrázek 25:** Sníh z FV panelů obvykle sjede krátce po osvětlení sluncem. [43]

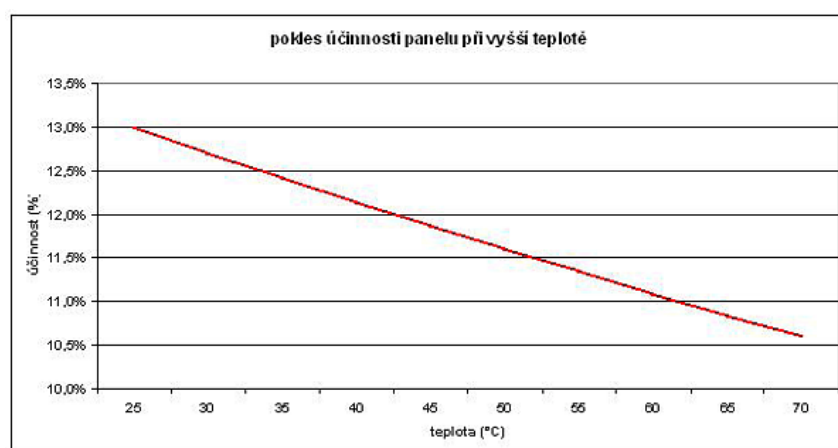
Obdobně jako u provozu větrných elektráren i u FV zdrojů dochází během roku k jistým problémům s provozem. V zimních obdobích jde o **sníh** zakrývající FV panely, které tak nemohou vyrábět elektřinu. Z dohledaných zkušeností uživatelů nicméně vyplývá, že sníh významný problém nepředstavuje. A to zejména z důvodu, že FV panely mají zcela hladký povrch a při umístění pod určitým úhlem (například



na střeše domu) sníh sjede brzy sám, jakmile zasvítí slunce. FV panely se totiž vždy rychle zahřívají dopadem slunečního záření.

Situaci na obrázku 25 komentuje v diskuzním fóru na mypower.cz jeden z uživatelů: „*Jakmile vyjde první slunce, sníh sklouzne sám. Jakmile slunce není, je jedno jestli tam sníh je nebo není, protože i bez sněhu by panely vyrobily sotva pár W, protože by nebylo slunce. Je-li slunce, první co je na střeše bez sněhu jsou panely.*“ [43]

Dalším velmi zajímavým faktem pro provozovatele FV zdrojů je to, že produkce FV článku je závislá na teplotě. Přesněji řečeno **s rostoucí teplotou klesá účinnost FV článku** a tím celého panelu a celé FV elektrárny. Tato závislost je známá a v praxi se na to víceméně nereaguje, protože aktivní chlazení v letních měsících by bylo ekonomicky neprosaditelné. Na druhou stranu v měsících, kdy už slunce začíná „mít sílu“ (např. březen a duben) a zároveň venkovní teploty jsou velmi nízké, případně kolem bodu mrazu, FV elektrárna je schopna dodávat značnou část své maximální energie.



**Obrázek 26:** Klesající účinnost FV panelu s rostoucí teplotou. [44]

Technicky přesně popsána je situace v následujících větách. „*Intenzita světla ovlivňuje  **Proud**  panelu. Při jeho snížení na polovinu dodává panel poloviční výkon. Teplota panelu má vliv na jeho  **napětí** . To při nízkých teplotách stoupá (až 20 % nad jmenovitou hodnotu), při vysokých teplotách dochází k poklesu napětí. Zahřátím panelu tedy klesá účinnost a tím i výkon. Krystalické panely ztrácejí na každý stupeň zvýšení teploty zhruba 0,4 – 0,5 % jmenovitého výkonu. V létě však díky vysokému slunečnímu ozáření vyrobí panely téměř o 80 % energie více než v zimě.*“ [44]

#### 4.2.6. Bioplyn & biomasa

Co se týče bioplynu a biomasy, zaujímají něco kolem 4 % roční výroby elektřiny. Zde ovšem dle mého názoru značně závisí na aktuální státní podpoře a legislativních zásadách (a taky definicích, co vše biomasa je). Dle OTE je v Česku 137 zdrojů spalujících buďto čistě biomasu, nebo používající biomasu při spoluspalování s fosilními palivy. Jejich souhrnný výkon je 3375 MW. [40]

### 4.3. Česká specifika v oblasti OZE

Virtuální elektrárna v podání této práce je myšlena jako spolupráce zejména obnovitelných zdrojů energie, které jsou vhodně doplněny regulovatelnými zdroji (například kogeneračními jednotkami). Jelikož jedním ze smyslů a cílů této práce je také **podpora využívání OZE**, zaměřím se nyní na krátké srovnání OZE v ČR oproti ostatním zemím Evropské unie.

#### 4.3.1 Data z EU

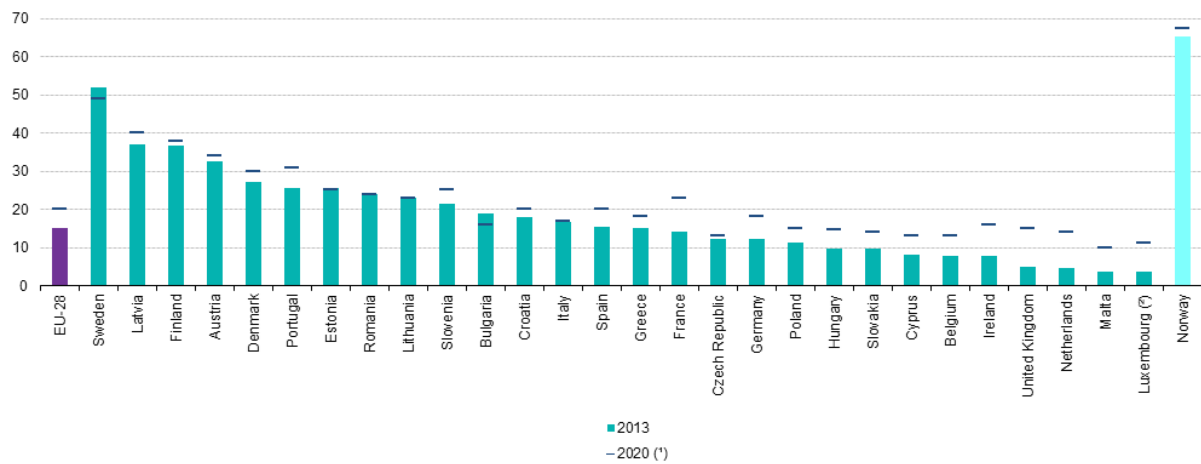
Primární produkce energií z obnovitelných zdrojů v roce 2013 v regionu EU-28 byla 192 milionů toe (tun ropného ekvivalentu), což představuje 24,3% podíl z produkce primární energie ze všech zdrojů. Množství produkované energie z OZE v EU-28 vzrostlo mezi lety 2003 a 2013 o 84,4 %. [40] Ještě nutno podotknout, že nejdůležitějším obnovitelným zdrojem primárních energií byla biomasa a „obnovitelný odpad“ (anglicky *renewable waste*). Tyto dva zdroje se společně postaraly o 64,2% podíl z celých OZE na primárních energiích (data opět za rok 2013).

Z jiného úhlu pohledu je například zajímavé, že podíl vyprodukované energie z OZE na celkové **spotřebě** energií byl 15 % (region EU-28, rok 2013). Což už jako velké číslo nevypadá, v porovnání s podílem produkce primárních energií z OZE na celkové **produkci** energií ve výši 24,3 %. Zde je vidět velký vliv dovozu energií z regionů mimo EU-28. Je dobré připomenout, že EU si dala za cíl mít do roku 2020 podíl 20 % OZE na primární spotřebě energií. Tato meta je rozložena mezi jednotlivé členské státy na základě tzv. akčních plánů.

#### 4.3.2. Podíl OZE na spotřebě primárních energií

Níže přiložený graf (obrázek 27) zobrazuje reálná data pro rok 2013 (zelenomodré sloupce) a cíle z akčních plánů pro rok 2020 (modré čárky). Některé země už v předstihu své cíle splnily (například Švédsko). Jiné jsou jim velmi blízko, nebo je

„tak akorát“ splňují. Do této kategorie se řadí i Česko, které už v dnešní době svůj cíl splnilo. Nicméně nějaké výrazné překročení z naší strany se asi konat nebude. Pak tu je třetí skupina zemí, kterým ke svým cílům ještě dost chybí. Zde patří třeba Velká Británie, země se silnou ekonomikou, kde probíhá bouřlivá diskuze (nejen) v energetice, kterým směrem se dále vydat.

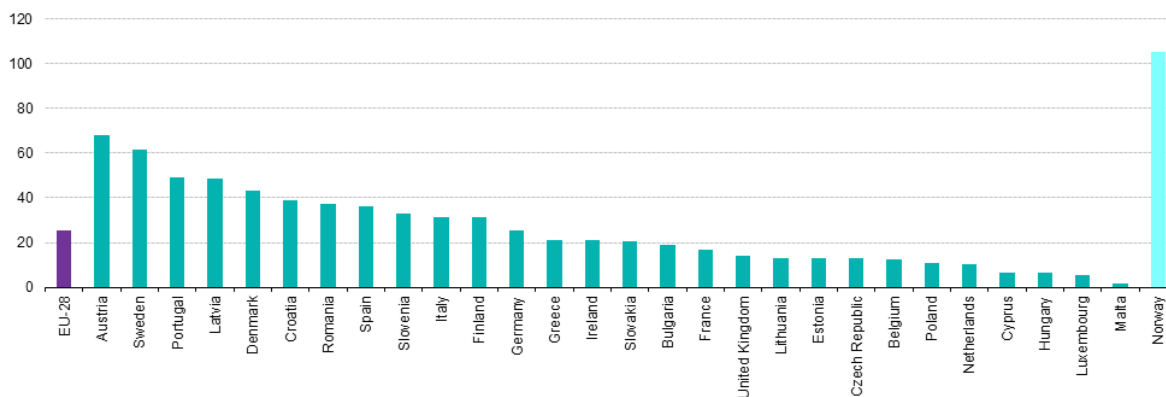


**Obrázek 27:** Podíl OZE na spotřebě primárních energií – data pro rok 2013. [45]

Ještě bych dodal mé osobní pozastavení se nad mnou načrtnutými třemi skupinami zemí. Důvod pro jejich rozdělení je dle mého názoru zejména ekonomického charakteru a taky přidané hodnotě, kterou daná kultura dává ochraně přírody a naší planety. Zde je tedy například Švédsko, Finsko nebo Norsko – země s vysokými cíly podílů OZE. Jednak ekonomicky se jim to vyplatí (množství vodních elektráren). A taky jsou to dlouhodobě země s hlubokým zájmem o péči o životní prostředí. V druhé skupině, kam bych řadil Česko, jde o země, kde je provoz OZE dražší než provoz konvenčních elektráren. Proto jsme se tak akorát dostali na požadovaný „donucený“ cíl, ale dále už nepostupujeme, protože se nám to ekonomicky prostě nevyplatí. A kromě toho nemáme motivaci pro placení „bonusu“ za využívání OZE.

#### 4.3.3. Podíl elektřiny z OZE

Energetika a její hlavní produkt elektřina jsou pouze částí z celkové primární energie. Kromě produkce elektřiny se do této sumy započítává také produkce tepla pro vytápění a paliva pro dopravu.



**Obrázek 28:** Podíl elektřiny vyrobené z OZE – data pro rok 2013. [45]

Z grafu v obrázku 28, který opět zahrnuje region EU-28, je vidět, že v oblasti získávání elektřiny je EU již na zajímavých číslech, co se využití OZE týče. Česká republika patří mezi země s nejnižším využitím OZE. To je patrně z největší části způsobeno nevhodnými přírodními podmínkami pro většinu OZE. Na druhou stranu zde nemáme tak silnou vůli obyvatelstva po „zelené energii“, jako například v sousedním Německu.

#### 4.4. Koeficient ročního využití

Anglicky *capacity factor*. V oblasti OZE se v médiích, ale i v odbornějších článcích, často objevují a zaměňují pojmy instalovaný výkon (jednotka watt, W - případně kW, MW) a vyrobená elektřina/energie (jednotka wathodina, Wh - případně kWh, MWh). A zejména u OZE je tento „rozdíl“ o to ztatečnější, že narozdíl od konvenčních zdrojů OZE často pracují jen několik hodin ze dne. Případně některé dny nepracují vůbec (např. FV systém nevygeneruje žádnou elektřinu během týdne v lednu, kdy pořád jen sněží).

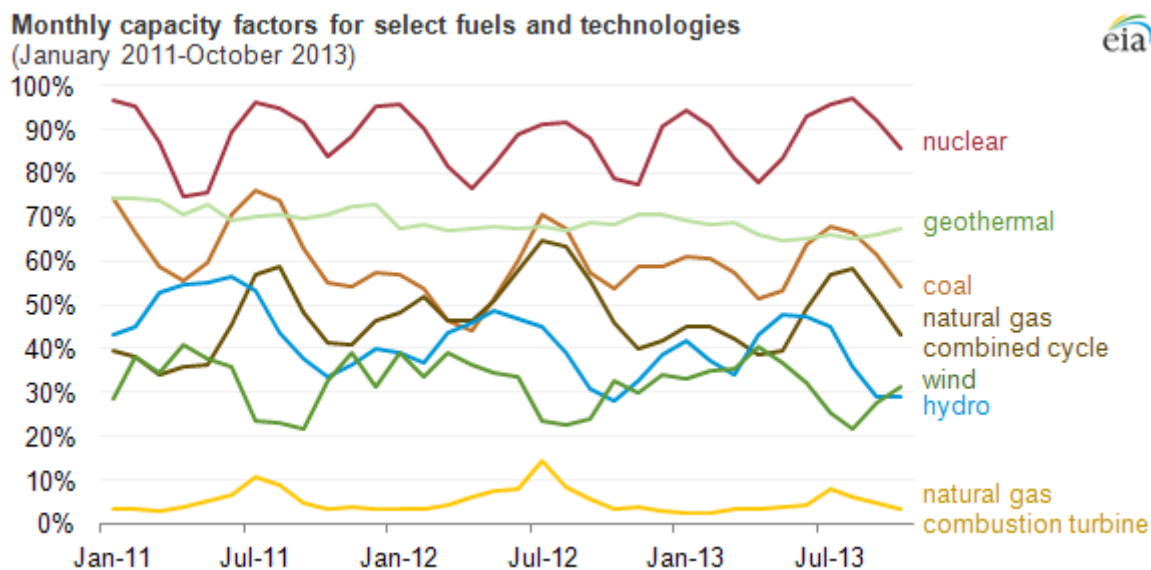
A zde je právě důležité znát a uvědomit si, co tedy **koeficient ročního využití** znamená a jak se počítá (jedná se o bezrozměrnou veličinu):

$$k_r = \frac{W_r}{P_i \cdot h}$$

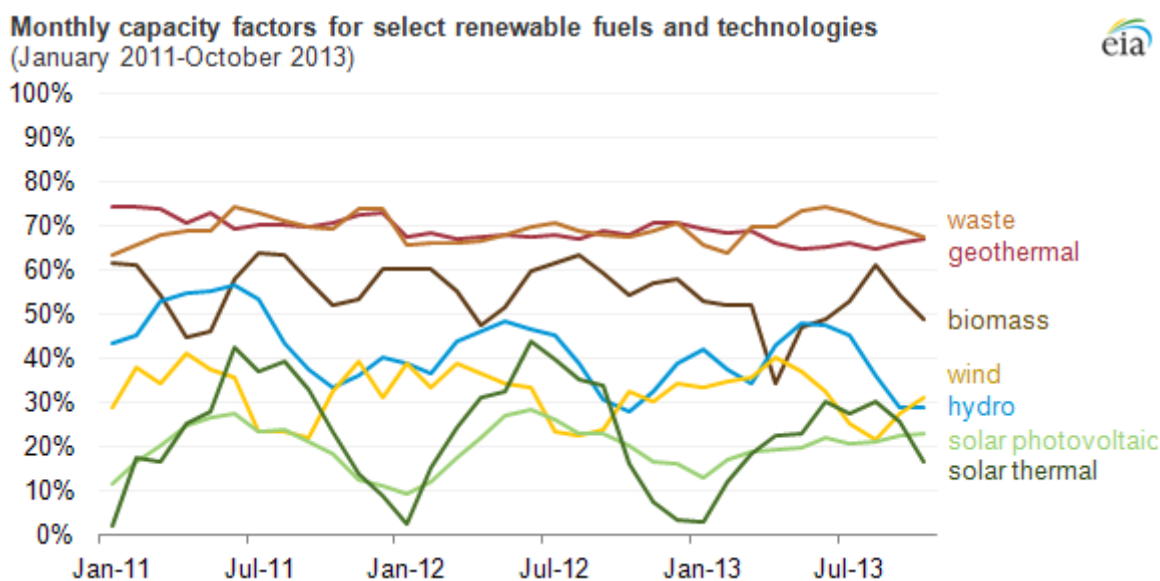
- $W_r$  - množství vyrobené energie za měřené období - obvykle jeden rok [kWh]
- $P_i$  - instalovaný výkon [kW]
- $h$  - počet hodin měřené období (8760 pro jeden rok), [47]

Na druhé straně pro ilustraci uvádím data z *U.S. Energy Information Administration* (EIA), která ukazují koeficient ročního využití pro zdroje elektřiny

v USA v letech 2011 až 2013. V prvním grafu (obrázek 29) jsou uvedena data pro hlavní prvky energetického mixu USA, v druhém pouze OZE. [47]



**Obrázek 29:** Koeficient ročního využití pro hlavní zdroje elektřiny v USA. [47]



**Obrázek 30:** Koeficient ročního využití pro vybrané OZE v USA. [47]

To, že větrná elektrárna má (instalovaný) výkon 1 MW neznamena, že dodává do sítě konstantně 1 MW (tj. že by za den vyrobila 24 MWh elektrické energie). Příkladem necht' jsou například přímořské větrné parky u pobřeží Dánska. Jejich data zpracoval server EnergyNumbers.info a vybraných pět větrných elektráren jsem uvedl v následující tabulce 2. Pro ilustraci, průměrný koeficient ročního využití pro větrné parky o instalovaném výkonu 1271 MW<sub>p</sub> byl za posledních 12 měsíců 46,1 %, což je na větrné elektrárny ve světovém měřítku velmi vysoké (a tedy vynikající) číslo. [31]

NÁZEV ELEKTRÁRNY	KOEF. ROČNÍHO VYUŽITÍ [%]	INSTALOVANÝ VÝKON [MW <sub>p</sub> ]	CELKOVÁ VYROBENÁ ELEK. [GWh]
Anholt 1	48,4	400	4 225
Horns Rev I	41,9	160	7 592
Nysted I	37,0	166	6 603
Samsø	39,4	23	1 004
Tunø Knob	30,2	5	269

**Tabulka 2:** Vybrané dánské větrné elektrárny a data o nich. [31]

Pro porovnání, dle U.S. Energy Information Administration, za jeden kalendářní rok americké zdroje dosahovaly následujících koeficientů ročního využití:

- 91,7 % jaderné elektrárny,
- 37,5 % vodní elektrárny,
- 33,9 % větrné elektrárny,
- 27,8 % fotovoltaické elektrárny. [49]

#### 4.5. Státní podpora vybraných energetických zdrojů

V tržní ekonomice zastává stát roli určitého **protipólu volnému trhu**. Mezi základní role státu patří kromě sociálního zabezpečení, vnější obrany atd. taky ochrana volného trhu (například před jeho monopolistickými tendencemi). A od devadesátých let minulého století stát začíná také aktivně tvořit legislativu ochraňující naše životní prostředí. A zrovna energetika je z odvětví, které mělo a stále má značný vliv na stav ovzduší, ale i dalších prvků přírodních ekosystémů v našem okolí.

Jsou zde tedy samozřejmě zájmy o regulaci nejen energetiky dle směru, který je buďto více sociálně a environmentálně přínosný, nebo taky prostě politicky pro někoho výhodnější. Ze státního aparátu starajícího se o energetiku jde o Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO), které na tuto oblast dohlíží. Zejména je nutno zmínit **Energetický regulační úřad (ERÚ)** zřizovaný právě zmíněným MPO.

*„Energetický regulační úřad (ERÚ, úřad) byl zřízen 1. ledna 2001 zákonem č. 458/2000 Sb., ze dne 28. listopadu 2000, o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, jako správní úřad pro výkon regulace v energetice.“*

*„Úřad sídlí v Jihlavě, dislokované pracoviště má v Praze a Ostravě. Úřad řídí předseda, kterého podle § 17b odstavce 2 energetického zákona na dobu 6 let jmenuje prezident republiky na návrh vlády.“ [50]*

Kromě české legislativy, MPO a ERÚ mají vliv na energetiku v našem státě samozřejmě směrnice přijímané z Evropské unie. Není ale mým cílem v této práci rozebírat podrobněji legislativu. Chci se zaměřit pouze na tu nejbližší, která přímo ovlivňuje mnohé energetické zdroje zapojené do virtuální elektrárny.

#### 4.5.1. Cenová rozhodnutí

Do působnosti ERÚ patří mimo jiné *„podpora využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie a kombinované výroby elektřiny a tepla“*. [50] Tím se dostávám k věci, kterou zde chci nastínit. Mnoho energetických zdrojů dnes instalovaných jsou obnovitelné zdroje. Stát se je snaží po vzoru jiných ekonomik podporovat tak, aby byly pro investory lákavou alternativou ke klasickým zdrojům představovanými například uhelnými elektrárnami. A zde hraje ERÚ tu roli, že vypočítává výši výkupních cen a zelených bonusů, které jsou poté placeny provozovatelům těchto zdrojů (POZE – podporované zdroje energie) a motivují je tak k investicím. Podporované zdroje zahrnují zejména OZE a KVET, jelikož jde o provozně bezemisní zdroje nevyužívající fosilních paliv (KVET samozřejmě fosilní paliva typu zemního plynu obvykle využívají, nicméně se snaží využít jak produkovanou elektřinu, tak jinak odpadní teplo).

Nástrojem Energetického regulačního úřadu v tomto smyslu jsou tzv. **cenová rozhodnutí**. Přičemž: *„Cenovým rozhodnutím Úřad stanovuje rozsah a výši podpory pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů. Podpora elektřiny se uskutečňuje formou zelených bonusů na elektřinu nebo výkupních cen.“* [51]

Na tato cenová rozhodnutí obvykle netrpělivě čekají provozovatelé zmíněných zdrojů. Ve většině případů totiž jejich provoz není ekonomicky životaschopný bez této podpory.

#### 4.6. Solar boom

Nechci se pouštět do hledání viníka či nějaké hlubší analýzy „českého kocourkova“. V krátkosti bych ale rád přiblížil základní fakta o tzv. solárním boomu v Česku. Jde o situaci, kdy za podivných podmínek bylo vybudováno množství FV elektráren

v zemi, která nemá v porovnání s ostatními státy v Evropě zrovna ideální podmínky pro tento zdroj energie.

V tabulce 3 jsou uvedeny hodnoty instalovaného výkonu (kumulativně a vždy ke konci daného roku). Je vidět skokový nárůst výkonu během let 2009 a 2010.

Česká republika se zavázala Evropské unii mít podíl **výroby energií z OZE alespoň 13 %** na hrubé konečné spotřebě (primární) energie do roku 2020. Tento cíl byl zpracován v rámci Národního akčního plánu pro energii z OZE, kde byl stanoven cíl mírně vyšší, a to 13,5 %. Těmito zdroji jsou myšleny zdroje použité při výrobě elektřiny, vytápění a chlazení a dopravě. [52]

Rok	Instalovaný výkon [MW]
2006	0,2
2007	3,4
2008	39,5
2009	464,6
2010	1959,1
2011	1971
2012	2086

**Tabulka 3:** Kumulovaná instalovaná kapacita FV elektráren v ČR. [53]

Jelikož ve většině případů nejsou OZE ekonomicky konkurenceschopné oproti konvenčním energetickým zdrojům, poskytuje stát finanční podporu pro provozovatele OZE. Ty byly v případě FV zdrojů ve formě výkupních cen nebo zelených bonusů nastaveny velmi vysoko. Přesněji řečeno byly ve výsledku nastaveny mnohem výše, než byly aktuální ceny komponent FV elektráren na trhu, zejména FV panelů. V posledních letech cena FV panelů rok od roku razantně klesala, na což ovšem nastavená podpora tehdy prakticky nereagovala.

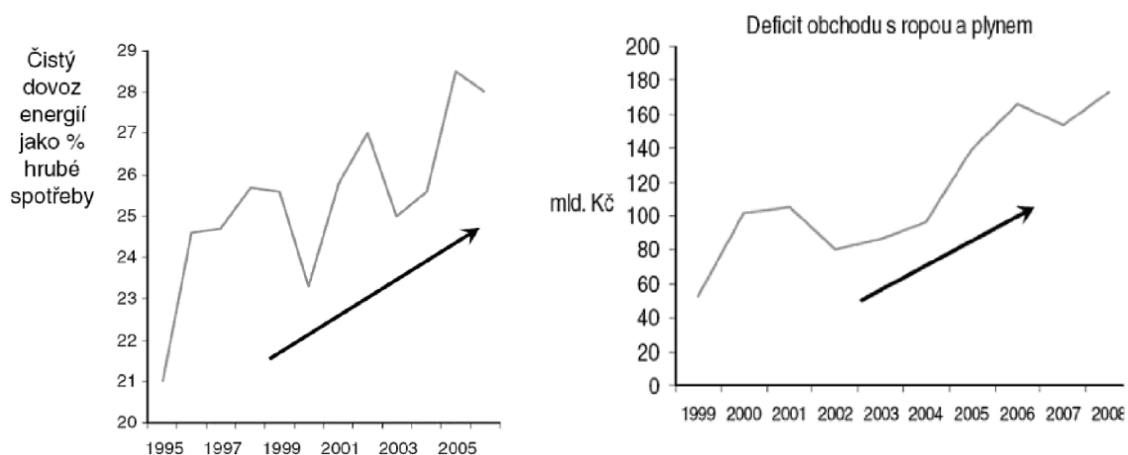
Dle serveru Oenergetice.cz, „v roce 2006 vstoupil v platnost zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, kterým Energetický regulační úřad (ERÚ) stanovil vyšší výkupní ceny vyplácené po 20 let od výstavby elektrárny na 15 Kč/kWh. Cílem bylo garantovat návratnost investice do 15 let.“ Součástí tohoto zákona byla i doložka o **limitu meziročního poklesu výkupní ceny**. Zde tedy alespoň z mého pohledu je schovaná ta „zrada“. Tento limit byl nastaven tak, že výkupní cena v následujícím roce nesmí klesnout pod 95 % výše ceny předchozího roku. Tudíž nemohlo dojít k razantnímu snížení podpory fotovoltaiky, zatímco docházelo k razantnímu poklesu cen FV komponent, k čemuž docházelo zejména díky masové produkci FV panelů v Číně. Tyto rozevřené nůžky mezi nízkými náklady a vysokými (a jistými) výnosy způsobily raketový nárůst instalovaného výkonu ve FV. Z 39,5 MW v roce 2008 na **1959,1 MW v roce 2010**.



Důsledek této nešťastné situace vyústil ve zvýšení ceny elektřiny pro konečné odběratele skrze příspěvek na podporu OZE. Ten v roce 2006 činil **28 Kč/MWh** a v roce 2013 se vyšplhal dokonce až na **583 Kč/MWh**. Pro následující roky je tento poplatek zastropován hodnotou 495 Kč/MWh. Zbytek chybějících peněz pro podporu OZE je doplácen ze státního rozpočtu. [53]

#### 4.7. Dovošní závislost ČR

**„Energetická dovošní závislost** nám říká, jak velký podíl z celkového objemu energetické spotřeby musí být danou zemí dovážen.“ [48] Jedná se o období obchodního deficitu měřenou obvykle v jednotkách tun ropného ekvivalentu, terrajoulech atd. Jak uvádí zdroj [48] a jak je obecně známo, jsou země, které jsou čistými vývozci energií. Stejně tak jsou země, které jsou čistými dovozci. Energetická dovošní náročnost v Česku se postupně zvyšuje, jak uvádí níže přiložené grafy. Poslední zachycená hodnota zhruba 28 % pro rok 2006 znamená, že spotřeba energií v ČR je pokryta ze 72 % vlastními zdroji a z 28 % dovozem. Na grafu vpravo je zachycena situace vyjádřená ve finančním objemu. Jde o to, že ceny ropy a plynu jsou poměrně hodně volatilní. A i když se objem importovaného plynu nebo ropy do ČR během dvou let takřka nemění, cenově může být rozdíl velmi znatelný. Tyto výkyvy v cenách paliv se pak odráží i na celkové státní bilanci a zmenšují, či zvětšují hodnotu zahraničního obchodu.



**Obrázek 31:** Rostoucí energetická dovošní závislost ČR v procentním (vlevo) a ve finančním (vpravo) ohodnocení. [48]

Samozřejmě je v zájmu každého státu udržovat si maximální možnou energetickou nezávislost a nebýt tak pod vnějším tlakem až případným vydíráním dodavatelských států. V porovnání s Evropskou unií si ČR stojí poměrně dobře – unijní průměr je zhruba dvojnásobný.

Pro ilustraci jsem se rozhodl ještě přidat základní data z *Eurostatu* – celoevropské období Českého statistického úřadu. Stránka o produkci a dovozu energie hned ve svém úvodu hlásá: „Skutečností je, že v roce 2013 více než polovina (53,2 %) hrubé domácí spotřeby energie EU-28 pocházela z dovezených zdrojů.“ [35] Že se jedná o citlivé téma je patrně všem jasné i při letném pohledu do médií, kde jsou denně zmiňované jak změny cen ropy, tak neustávající tahanice „Západu“ s Ruskem.



**Obrázek 32:** Míra energetické závislosti (podíl čistého dovozu na hrubé domácí spotřebě v % v roce 2013). [35]

Obrázek 32 ukazuje data energetické závislosti pro státy Evropské unie. Průměr je mírně nad 50 %, jak již bylo zmíněno. Česko si tedy nevede špatně, nicméně naše vyhlídky do budoucna zatím nevypadají také nejlépe. O energetické bezpečnosti by se dalo popsat mnoho stran. Mým cílem zde však bylo pouze tuto tematiku nastítnit a dodat, že virtuální elektrárny sdružující rozptýlené drobné zdroje mohou svou (byť alespoň prozatím malou) měrou přispívat k energetické soběstačnosti daného státu.

## 5. ANALÝZA MOŽNOSTÍ ZAPOJENÍ VIRTUÁLNÍ ELEKTRÁRNY DO PORTFOLIA OBCHODNÍKA S ELEKTRINOU

### 5.1. Amper Market a virtuální elektrárna

Společnost Amper Market, a.s. působí jako **obchodník s elektřinou**. Dle slov pana Kociana, jakožto vedoucího této práce, dodává Amper Market svým zákazníkům elektřinu, kterou zhruba z poloviny objemu společnost sama vyrobí v rámci **nasmlouvaných decentralizovaných zdrojů**. Zbylou elektřinu nakoupí na trhu a přeprodá. Z pohledu této práce je zajímavá zejména část výroby.

Zajímavé je, že se jedná z drtivé části o decentralní nezávislé zdroje. Tento model tedy splňuje určitou přidanou hodnotu ve větší bezpečnosti dodávek v případě vypadnutí jednoho zdroje, který je z hlediska celé skupiny zanedbatelný. Taktéž je dle mého názoru pozitivní podpora lokální výroby v podobě příjmů pro místní komunity, zemědělská družstva atd. v porovnání například s nadnárodními koncerny. Mělo by i docházet k menším ztrátám v přenosu a distribuci, je-li produkována elektřina v regionu její spotřeby.

Ze základních informací lze uvést, že provozovaná virtuální elektrárna se skládá z fotovoltaických, větrných a malých vodních elektráren, kogeneračních jednotek a ostatních už jen doplňkových zdrojů. Další podrobnosti jsou obchodním tajemstvím. Nicméně pro splnění cíle práce a navržení optimalizačního modelu již více informací nebylo potřeba.

### 5.2. Obchod s elektřinou a jeho účastníci

Jelikož zpracovávám ekonomický optimalizační model pro provoz KJ a prodej jí produkované elektřiny na trhu s elektřinou, je dobré zmínit základní pojmy a subjekty vyskytující se v této oblasti.

*„Zvláštnosti obchodu s elektřinou jsou - oproti jiným komoditám - dány především její neskladovatelností.“* To v praxi znamená, že v elektrizační soustavě musí platit v každém okamžiku rovnost mezi výrobou a spotřebou elektřiny. [56, str. 25]

### 5.2.1. Výrobci

Výrobce může provozovat zařízení na výrobu elektřiny na základě udělené licence. Má-li licenci, má poté i právo na připojení k elektrizační soustavě, splňuje-li podmínky k připojení k distribuční nebo přenosové soustavě. Výrobci samozřejmě mají i řadu povinností, mezi které patří zejména ty k provozovateli distribuční či přenosové soustavy, ke které je výrobná připojena: řídit se pokyny dispečinku; poskytovat potřebné údaje; povolit a uhradit instalaci měřicího zařízení; instalovat a provozovat zařízení pro poskytování podpurných služeb (od jistého instalovaného výkonu). [56, str. 26]

### 5.2.2. Obchodníci s elektřinou

*„Obchodník s elektřinou je fyzická či právnická osoba vlastnící licenci na obchod s elektřinou a nakupující elektřinu za účelem jejího prodeje.“* [56, str. 27] Tato licence je vydávána na určitou dobu.

### 5.2.3. Koneční zákazníci

Fyzická či právnická osoba, která elektřinu již pouze spotřebovává. Zákazníci se dělí na oprávněné (právo přístupu k přenosové nebo distribuční soustavě za účelem volby dodavatele) a chráněné (právo navíc na regulované ceny - obvykle domácnosti a malé firmy). [56, str. 27]

### 5.2.4. Subjekt zúčtování

Tyto subjekty zúčtování vznikly z potřeb trhu s elektřinou. A to zejména z důvodu, že každý účastník trhu se nechce aktivně účastnit obchodování na trhu. Navíc pro obchodování je třeba určitých znalostí, software a vyškolených pracovníků - kapitálově náročné činnosti, které si volí jen vybrané skupiny (a ne například každá domácnost). Trh s elektřinou je rozdělen na velkoobchod (zde obchodují subjekty zúčtování) a maloobchod (převážně obchody mezi subjektem zúčtování a účastníkem trhu). [56, str. 28]

*„Subjekt zúčtování spojuje závazky a povinnosti dodávky ve vztahu k elektrizační soustavě jako celku.“* Jako výsledek prezentuje rozdíl mezi závazkem dodávky a skutečným odběrem - **odchylku**. Předpokládá se tedy, že všichni zákazníci, výrobci a obchodníci náleží k určitému subjektu zúčtování (mají s ním podepsanou smlouvu). [56, str. 28]

### 5.2.5. Provozovatel přenosové soustavy

„Přenosovou soustavou se rozumí vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 400 kV, 220 kV a vybraných vedení a zařízení 110 kV sloužících k zajištění přenosu elektřiny pro celé území České republiky a propojení s elektrizačními soustavami sousedních států.“ [56, str. 29] Tato soustava je provozována ve veřejném zájmu a její provozovatel tak činí na základě licence udělené regulátorem. Tento provozovatel na území ČR je pouze jeden a vykonává taktéž činnost dispečera (operátora) soustavy – jedná se o společnost ČEPS, a.s.

### 5.2.6. Provozovatelé distribučních soustav

Distribuce elektřiny znamená její dopravu ke konečným odběratelům. V Česku jde o propojená vedení o napětí 0,4/0,23 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV, 35 kV a taky vybraných vedení 110 kV (s výjimkou vedení 110 kV přenosové soustavy). [56, str. 30]

Distribuční soustavy v Česku se dělí na **regionální** (napojené na přenosovou soustavu - ČEZ Distribuce, E.ON Distribuce, PREdistribuce) a **lokální** (jsou připojeny k některé regionální distribuční soustavě). [56, str. 30]

### 5.2.7. Nezávislý operátor soustavy

Anglicky *Independent System Operator* – ISO. Jeho úkolem je „řízení elektrizační soustavy v reálném čase a obvykle i v dlouhodobé perspektivě.“ Někdy bývá ztotožňováno s dispečinkem - zabezpečuje rovnováhu mezi zdroji a spotřebou elektřiny a zejména bezpečný provoz elektrizační soustavy. [56, str. 31]

### 5.2.8. Operátor trhu

„Operátor trhu zajišťuje výpočet, ocenění a zúčtování odchylek.“ Za tímto účelem systematicky sbírá a měří data o trhu s elektřinou. Kromě toho bývá pověřen i:

- organizováním krátkodobého trhu s elektřinou;
- poskytováním dat účastníkům trhu;
- zpracováním informací a prognóz o trhu s elektřinou;
- evidencí obchodů s povolenkami. [56, str. 31]

### 5.2.9. Burza

Burzy se řídí zákonem o burzách a vydávají svá pravidla, dle kterých se účastníci obchodování na burze musí řídit. S postupem času vznikaly energetické burzy a taky burzy zaměřující se čistě na obchod s elektřinou. V ČR existuje Power Exchange

Central Europe, a.s. (PXE) – [www.pxe.cz](http://www.pxe.cz). Přičemž v Evropě patří k nejvýznamnější burzám s elektřinou European Energy Exchange AG - [www.eex.com](http://www.eex.com). [56, str. 31]

### 5.2.10. Regulátor

Regulátor má za úkol nahrazovat tržní mechanismy tam, kde nefungují dle našeho uvážení správně. V elektroenergetice jde zejména o oblasti přenosu a distribuce elektřiny - zde dochází ke vzniku přirozeného monopolu. Úkolem regulátora je stanovit odpovídající ceny za **přenos a distribuci elektřiny**. Kromě toho ještě obvykle regulátor řeší:

- pravidla výkupu elektřiny z OZE;
- spory mezi účastníky trhu;
- podporu OZE a KVET. [56, str. 32]

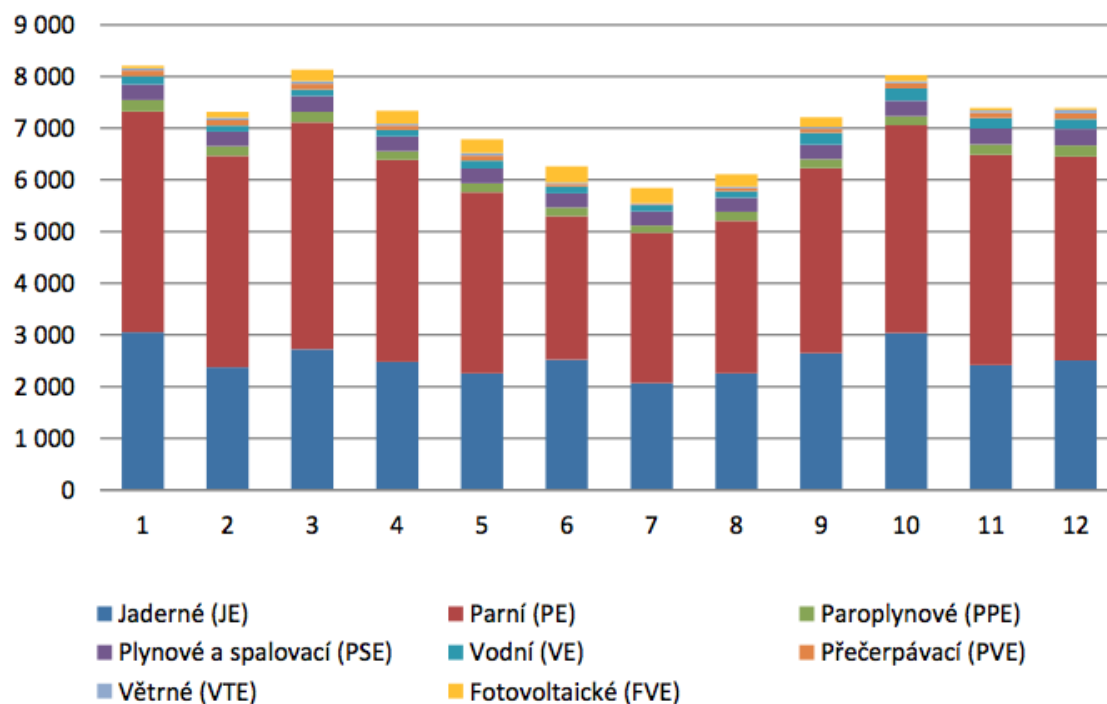
## 5.3. Složení zdrojů v ČR

Česká republika má energetické hospodářství založené zejména na tepelných (parních) elektrárnách. Základem těchto energetických zdrojů je spalování paliva a využití uvolněné energie na tvorbu páry. Ta poté roztáčí turbínu a s ní na hřídeli spojený generátor. Pára poté kondenzuje nejčastěji v kondenzátoru napojeném na chladicí věž. Takto se celý okruh neustále opakuje, přičemž je doplňováno primárně palivo a vyváděn elektrický výkon do elektrizační soustavy. Tyto parní zdroje máme na našem území v podání dvou jaderných a několika uhelných elektráren.

### 5.3.1. Výroba elektřiny

Dle *Roční zprávy o provozu ES ČR*, kterou vydává Energetický regulační úřad, se v ČR za rok 2014 vyrobilo 86 003 GWh elektřiny (brutto). Po odečtení vlastní spotřeby elektráren dostáváme hodnotu netto výroby elektřiny, a to 79 886 GWh. Výroba je během roku proměnlivá a v jednotlivých měsících se mírně liší. Tento fakt a zároveň i složení energetického mixu našeho státu zobrazuje následující graf (obrázek 33). [27]

### Výroba elektřiny brutto (GWh)



**Obrázek 33:** Měsíční brutto výroba elektřiny v ČR - rok 2014. [27]

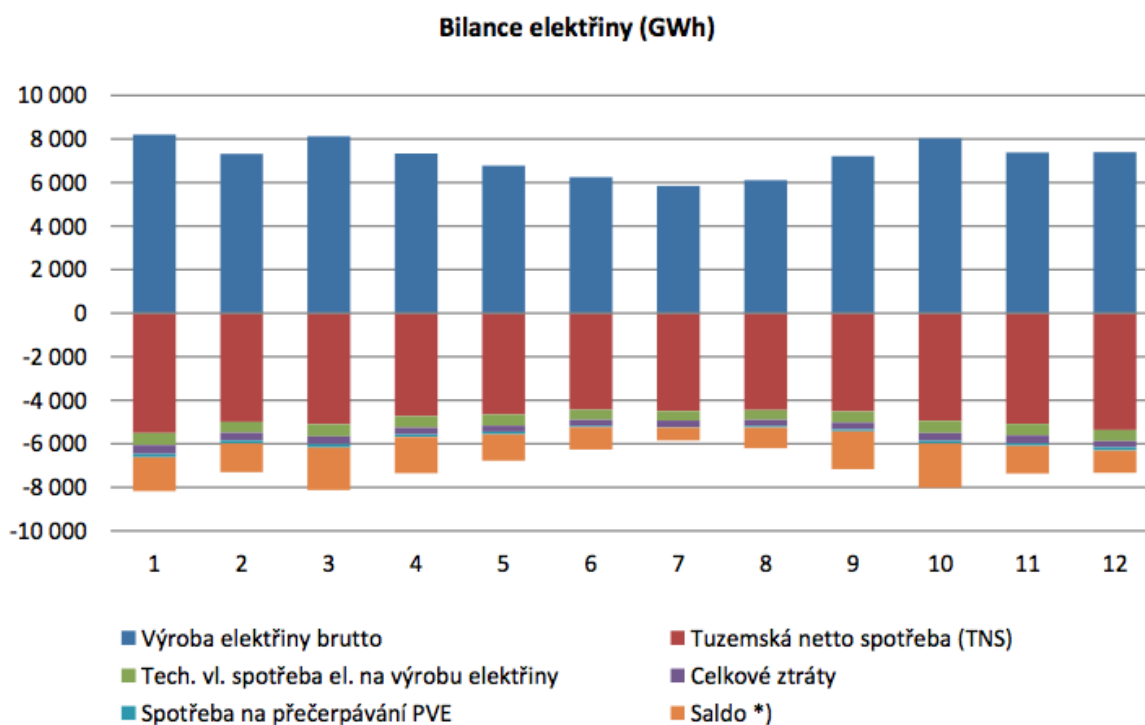
Z uvedeného grafu je vidět na začátku kapitoly zmíněný fakt, že většina elektřiny se u nás získává v parních elektrárnách. Za rok 2014 vyrobily nejvíce uhelné (parní) elektrárny (44 419 GWh), poté jaderné (30 325 GWh) a s velkým odstupem plynové a spalovací elektrárny (3 494 GWh). Zejména uhelné a jaderné zdroje jsou jasně patrné z výše uvedeného grafu (označeny červeně a modře).

#### 5.3.2. Spotřeba elektřiny

Protistranou k výrobě je samozřejmě spotřeba elektrické energie a k ní připočtené ztráty ve vedení, přenosu a distribuci. Tuzemská netto spotřeba za rok 2014 byla 58 295 GWh. Elektřinu spotřebovávají zejména velkoobdobatelé (VO), maloobdobatelé podnikatelé (MOP) a maloobdobatelé domácnosti (MOO). Zajímavostí je například spotřeba na přečerpávací vodní elektrárny, která činila 1 363 GWh ve zmiňovaném roce 2014. [27]

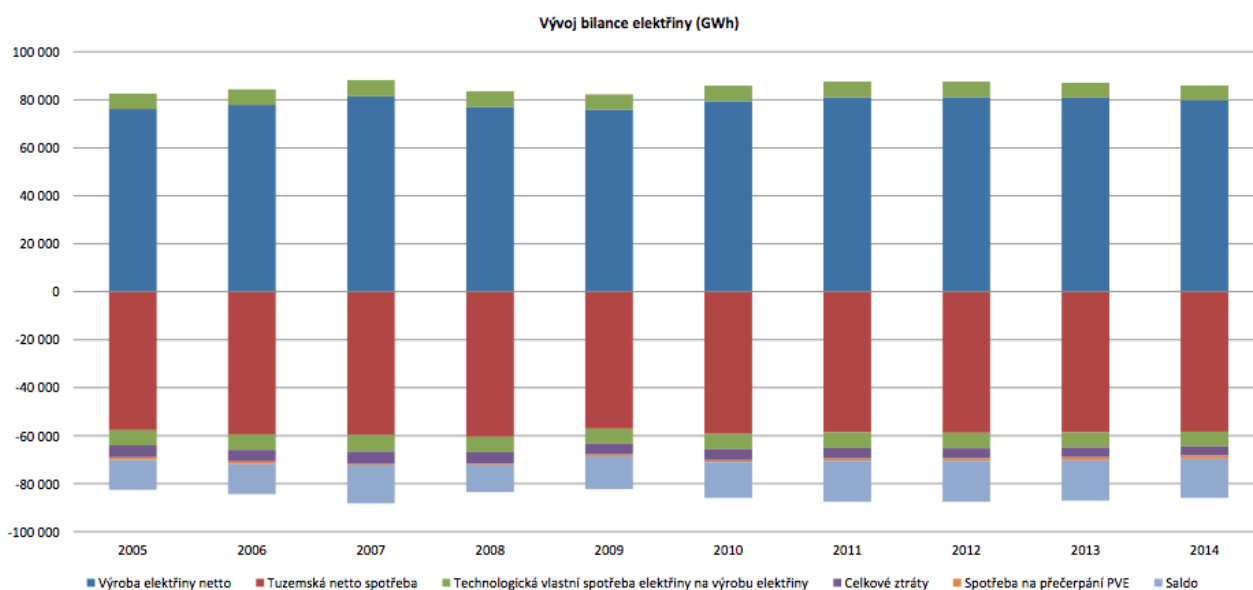
#### 5.3.3. Bilance výroby

Česko je dlouhodobě v situaci, kdy je co se týče elektrické energie exportní zemí. Každý rok se poměrně velká část výroby prodá do zahraničí. To ukazuje obrázek 34, kde oranžová barva značí množství exportované elektřiny.



**Obrázek 34:** Měsíční bilance elektřiny v ČR - rok 2014. [27]

Jako důkaz dlouhodobé situace slouží níže uvedený obrázek 35, který srovnává spotřebu s výrobou, ztrátami a saldem v ČR během let 2005 až 2014. Samotné saldo (v našem případě **vývoz elektřiny**) vzrostlo z hodnoty 12 634 GWh v roce 2005 na 16 300 GWh v roce 2014. Přičemž v žádném z uvedených let se situace neobrátila, tj. nedošlo k většímu importu než exportu, ani nedošlo k poklesu pod 10 000 GWh exportované elektřiny.



**Obrázek 35:** Vývoj bilance elektřiny mezi lety 2005 až 2014. [27]



Na tento fakt bylo v minulosti opakovaně poukazováno jak českou veřejností, tak ekologickými organizacemi. Uvádí se argument, že tak vyvážíme prakticky naše uhlí za hranice, jelikož z velké části se elektřina získává v ČR spalováním uhlí. Místo toho bývá doporučováno snížit výrobu a tím si šetřit zásoby uhlí do budoucna. Nebo snížením výroby prostě vypouštět méně emisí skleníkových plynů a celkově méně zatěžovat životní prostředí. Pravdy na tom určitě část je. Nicméně to, že ekonomická stránka má přednost, je zřejmé z výše uvedeného grafu zobrazujícího desetiletí nepřetržitého exportu.

## 5.4. Odchylka v ES ČR

O **elektrizační soustavu** (ES) v ČR se stará provozovatel přenosové soustavy - u nás je jím společnost **ČEPS**. A jednou z hlavních činností je udržovat rovnováhu mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. Ze známého poznatku o neskladovatelnosti elektřiny totiž plyne podmínka, že v každém okamžiku musí být v ES daného území výroba elektřiny rovna její spotřebě. Výroba se přizpůsobuje spotřebě (a případně počasí v případě OZE) a spotřeba se přizpůsobuje lidským činnostem. Proto je spotřeba větší přes den (obvykle lidé pracují) než v noci (obvykle lidé spí).

Již ze zcela obecně naznačeného faktu v předchozím odstavci je patrné, že výroba elektřiny nebude naprosto přesně kopírovat její spotřebu. Bude vznikat (a vzniká) jev, který se nazývá **odchylka**. Společnost ČEPS musí pružně reagovat a eliminovat tuto odchylku během celého dne, během každého týdne a celého roku. 24 hodin denně.

### 5.4.1. Systémové služby

Často zkracovány jako SyS. Nejsou ve všech elektrizačních soustavách specifikovány stejně, což se odvíjí od skladby zdrojů, propojení s ostatními soustavami (zahraničí) nebo třeba historickým vývojem daného státu a jeho ES. [56]

Přímo společnost ČEPS popisuje systémové služby jako „*činnosti ČEPS, kterými zajišťuje kvalitu a spolehlivost dodávky elektřiny na úrovni přenosové soustavy (PS) a plnění mezinárodních závazků a podmínek propojení elektrizační soustavy (ES) ČR. Kvalitou se rozumí zejména parametry frekvence a napětí, definované Kodexem PS. Spolehlivostí dodávky se rozumí nepřerušenosť dodávky v odběrných místech z PS definovaná průměrným počtem a trváním dílčích výpadků dodávky v jednotlivých předacích místech.*“ [54]

Společnost ČEPS na své webové prezentaci uvádí jako systémové služby:

- udržování kvality elektřiny;
- udržování výkonové rovnováhy v reálném čase;
- obnovení provozu;
- dispečerské řízení. [54]

Provozovatel tyto systémové služby buďto zajistí sám nebo je nakoupí od dalších účastníků trhu. Další možností jsou provozovatelé sousedních přenosových soustav. Tyto nakupované služby se poté nazývají **podpůrnými službami**. [56]

#### 5.4.2. Podpůrné služby (PpS)

*„Podpůrné služby (PpS) jsou prostředky pro zajištění systémových služeb (SyS). Jsou definovány jako činnosti fyzických nebo právnických osob pro zajištění provozování elektrizační soustavy a pro zajištění kvality a spolehlivosti dodávky elektřiny. Pomocí PpS je možno korigovat rozdíly mezi odběrem a výrobou, a to změnami spotřeby či výkonů výroby.“* [54]

Subjekty v elektrizační soustavě mají možnost nabízet PpS při splnění určitých podmínek. Důležitým faktem je, že ceny těchto PpS se utvářejí **tržním principem**. Zároveň výběr budoucích poskytovatelů služeb by měl probíhat na základě otevřeného přístupu.

Následující podpůrné služby jsou nakupovány buďto na denním trhu s PpS (DT PpS), nebo prostřednictvím výběrových řízení:

- primární regulace frekvence bloku (PR);
- sekundární regulace výkonu bloku (SR);
- minutová záloha 5minutová (MZ5);
- minutová záloha 15minutová kladná (MZ15+);
- minutová záloha 15minutová záporná (MZ15-);
- snížení výkonu (SV30). [54]

Dále existují PpS zajišťované přímou smlouvou s poskytovatelem PpS a také výpomoc ze synchronně pracujících soustav.

#### 5.4.3. Odchylka

V elektrizační soustavě mimo jiné figurují výrobci elektrické energie a její spotřebitelé. Další důležitý pojem je **subjekt zúčtování** (SZ), vysvětlený více v kapitole 5.1. Subjekt zúčtování je například obchodník s elektřinou, se kterým má

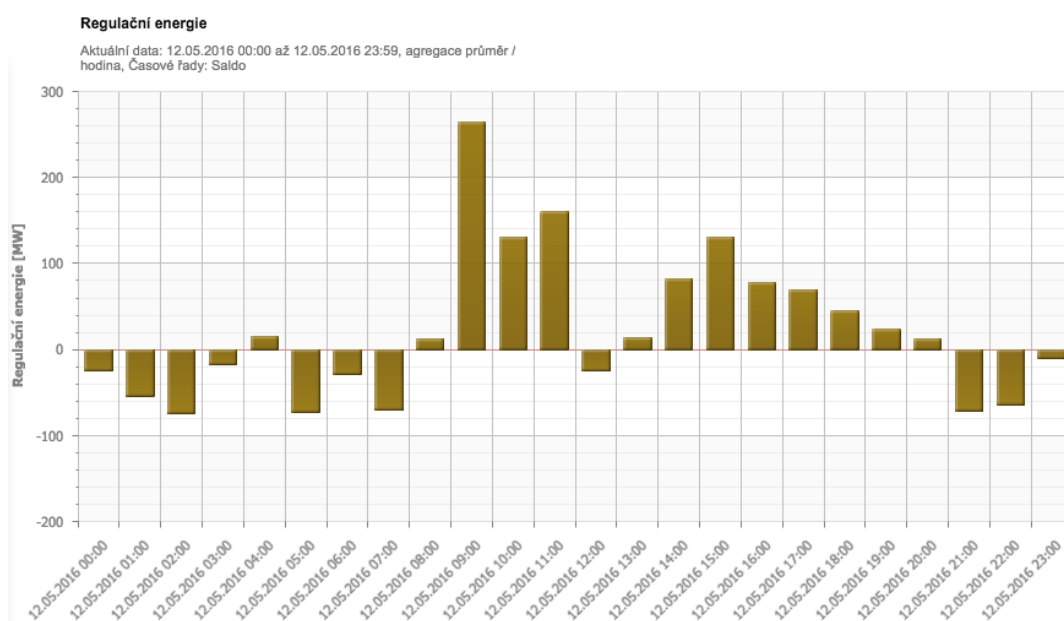
domácnost smlouvu na dodávku elektřiny. Tento obchodník za danou domácnost řeší odchylku a nákup elektřiny, zatímco domácnost prostě jen platí jím vystavenou fakturu za spotřebovanou energii a o víc se nestará.

Jak jsem zjistil, tak zmíněný obchodník ale za spotřebitele přebírá **odpovědnost za odchylku**. Obchodník předpokládá určitou spotřebu svého zákazníka za rok a na tu nakoupí elektřinu. Zákazník poté ve výsledku může odebrat více, nebo méně (nebo stejně - pak by nevznikla odchylka). Prakticky vždy dojde alespoň k minimální odchylce - tj. že tento obchodník se musí poté vypořádat za to, že způsobil soustavě odchylku a soustava tedy taky díky němu (a stovkám či tisícům dalších subjektů) nebyla v rovnováze mezi výrobou a spotřebou - a tedy musel zasahovat provozovatel přenosové soustavy (společnost ČEPS).

Vznik odchylky v soustavě je naprosto přirozený. Vypořádává se s ní ČEPS pomocí již nasmlouvaných podpůrných služeb, případně je může dokoupit na vyrovnávacím trhu (VT) organizovaném společností OTE. Toto udržování soustavy v rovnováze stojí nemalé finanční prostředky - ať už náklady společnosti ČEPS na provoz společnosti, mzdy atd, tak i na samotný nákup podpůrných služeb. To je vše započítáno v ceně odchylky/protiodchylky, kterou SZ poté platí/obdrží. Tyto platby fungují jakožto určité penále/bonus - záleží, zda-li je SZ v tzv. odchylce nebo protiodchylce.

#### 5.4.4. Regulační energie

Jedná se o energii, kterou provozovatel přenosové soustavy musí aktivovat pro **udržení rovnováhy** výroby a spotřeby elektřiny. V základě se jedná o kladnou, nebo zápornou regulační energii.



**Obrázek 36:** Saldo regulační energie pro 12. května 2016. [55]

Pro zainteresované strany je její aktuální přehled vždy dostupný na webových stránkách společnosti ČEPS, jak ukazuje obrázek 36.

Záporné hodnoty regulační energie značí, že elektrizační soustava ČR je v nadbytku a její provozovatel tedy musí aktivovat zápornou regulační energii, aby došlo k vyrovnání spotřeby a výroby. Naopak může nastat situace, kdy je aktivována kladná regulační energie – v takovém případě je soustava v nedostatku. Obě situace zachycuje výše přiložený graf (obrázek 36).

*„Graf regulační energie zobrazuje průměrné hodinové hodnoty regulační energie získané aktivací všech kategorií podpůrných služeb (PpS), obstaráním regulační energie na Vyrovnávacím trhu s regulační energií (VT), případně jejím obstaráním v zahraničí (nákup regulační energie nebo havarijní výpomoc). Na základě znalosti těchto hodnot lze předběžně odhadnout velikost a směr systémové odchylky.“ [55]*

Jak sama společnost ČEPS prozrazuje, mohou tato volně přístupná data sloužit subjektům na trhu k odhadnutí systémové odchylky. Její velikost a hlavně „směr“ (jestli bude záporná nebo kladná) má například pro obchodníka s elektřinou, který je také subjektem zúčtování, velký význam. Může totiž kromě samotného prodeje elektřiny tzv. **spekulovat na odchylku**. Což tomuto obchodníkovi může přinést ještě další zisk v podobě „odměny“ za účast na „protiodchylce“, kdy obchodník svým postojem na straně protiodchylky pomohl soustavě udržet stabilitu. Toto chování je podmíněno čistě ekonomicky: peněžní odměna za pozici v protiodchylce a naopak penalizace za pozici v odchylce. Zmíněná logika **motivuje** subjekty na trhu k udržování stability přenosové soustavy.

Nicméně nutno podotknout, že výše v grafu „zobrazené údaje slouží pouze pro předběžnou informaci, ČEPS, a.s. v žádném případě neodpovídá za škody způsobené využitím hodnot uvedených v grafu.“ [55] Jedná se tedy o spekulativní charakter a záleží zejména na zkušenosti daného obchodníka, zda chce své portfolio spotřeby (nebo zdrojů) v průběhu hodin ovlivňovat a snažit se tak být na straně protiodchylky.

Zpětně jsou všechny oficiální hodnoty odchylek volně dostupné na webových stránkách společnosti OTE.

#### 5.4.5. Základní analýza odchylky v ES ČR

Dle dostupných dat odchylek v české elektrizační soustavě jsem provedl základní analýzu. Tu níže uvádím pro kompletní roky 2014 a 2015 a pro část dostupných dat

za rok 2016. Na roku 2015 taky podrobněji ilustruji, které hodiny byly v nadbytku více a které méně.

Pro rok **2014** jsem zjistil, že soustava byla celkem v **61,2 % případů (hodin) v nadbytku** - byla tzv. dlouhá. Z toho automaticky plyne, že naopak v 38,8 % případů byla soustava v nedostatku, tzv. krátká.

Obdobně pro rok **2015** jsem zjistil, že soustava byla celkem v **62,4 % případů v nadbytku**. Naopak tedy v 37,6 % případů byla soustava v nedostatku.

Z aktuálních dat pro odchylky pro rok **2016** (poslední hodnota dostupná pro 30. duben 2016) jsem zjistil, že soustava byla celkem v **66,6 % případů v nadbytku**. Naopak tedy v 33,4 % případů byla soustava v nedostatku.

KDY JE SOUSTAVA V NADBYTKU V DANOU HODINU							
1	2	3	4	5	6	7	8
64,7%	63,3%	67,7%	66,6%	65,5%	70,1%	58,9%	62,7%
9	10	11	12	13	14	15	16
65,2%	60,3%	61,1%	58,4%	59,5%	59,5%	58,4%	54,5%
17	18	19	20	21	22	23	24
56,2%	63,8%	61,6%	54,0%	57,3%	60,3%	54,8%	61,9%

**Tabulka 4:** Detailnější pohled na jednotlivé obchodní hodiny (rok 2015).  
 Procentuální vyjádření říká kolik hodin ze skupiny bylo v nadbytku.

Kromě globálních náhledů v odstavcích výše ukazuje tabulka 4 procentuální četnosti pro jednotlivé hodiny v roce 2015. Zde už je lépe vidět, že během tohoto roku byly 1. až 6. obchodní hodina s velkou měrou v nadbytku. Naopak například 16. hodina byla v nadbytku jen v mírně nadpolovičním počtu hodin, v druhé takřka polovině případů byla v nedostatku.

Obecně lze tedy vidět, že soustava je v nadbytku. Nicméně je rozdíl mezi hodinami, kdy je soustava jednoznačně přebytková a kdy to až tak jasné není. Ještě lépe by se dalo rozložení analyzovat po měsících, kdy by byly vidět některé hodiny, které jsou i typicky v nedostatku. Toho by mohl obchodník s elektřinou vhodně využít pro posunování již nastaveného provozu kogenerační jednotky během roku tak, aby byl v pozici na straně protiodchylky. Tím by dosahoval ještě dodatečného finančního bonusu za pomáhání udržování rovnováhy v soustavě.

## 5.5. Regulace na straně spotřeby

Zatím jsem hovořil a analyzoval situaci z pohledu výrobních zdrojů a jejich možností regulace a přizpůsobení se aktuálním potřebám spotřeby. Nicméně stejně tak je možné regulovat výkon i na straně spotřeby, i když samozřejmě jinými způsoby.

### 5.5.1. Smart Grids

Poslední dobou poměrně často skloňovaný pojem, který se do češtiny ani nepřekládá. Smart grids má být moderním pohledem na energetiku, kdy spotřebitelé i výrobci energií by měli **spolupracovat** v soustavě propojené nejen silovou elektřinou, ale taky **datovou komunikací**. Jde zejména o reakci na nástup špatně předvídatelných výrobních OZE. Kromě toho je od smart grids očekáváno zvýšení účinnosti využití energií a zmenšení ztrát v přenosu a distribuci. Jde svým způsobem o protiklad centrální energetiky založené na několika málo velkých (uhelných, jaderných) zdrojích. Důležité je taky dodat, že smart grids počítá s obousměrnými toky jak energií, tak informací. Tj. například rodinný dům s FV elektrárnou na střeše může být přes noc spotřebitel elektřiny ze sítě a přes den dodavatel elektřiny do sítě.

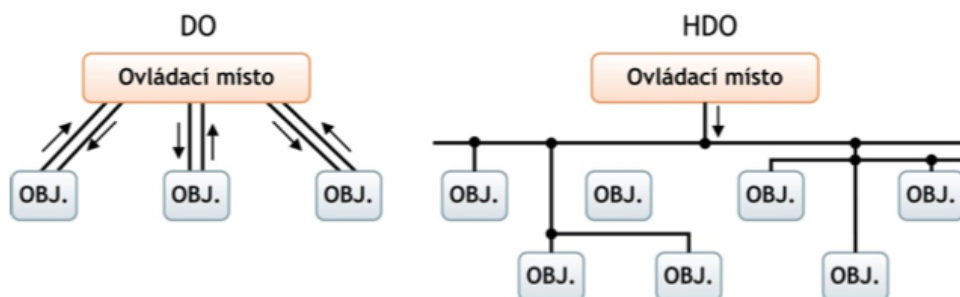
Není mým cílem v této práci rozebírat podrobněji koncept smart grids. Chtěl jsem jej ale zmínit jako možnou budoucnost energetiky, i když cesta tímto směrem bude ještě patrně dlouhá. Virtuální elektrárna se s principem smart grids částečně prolíná a jde s ním „ruku v ruce“. Obvykle totiž virtuální elektrárnu tvoří právě v rozdílných lokalitách umístěné FV, větrné nebo třeba bioplynové elektrárny doplněné kogeneračními jednotkami. Takto se společně snaží pružně reagovat na aktuální potřeby energií v síti.

### 5.5.2. Hromadné dálkové ovládání

Zcela běžně zkracováno jako **HDO**. S nadsázkou se říká, že se jedná o „české smart grids“, jelikož již poměrně dlouhá léta částečně řeší to, o co se dnes „moderní pojem“ smart grids sofistikovaněji snaží. V anglicky psané literatuře se mluví o systémech *PLC (Power Line Communication)*.

HDO využívá již vybudovaných silnoproudých vedení k přenosu elektřiny, ale taktéž informací – dat. HDO patří mezi první masové systémy využívající rozsáhlou infrastrukturu elektrizační soustavy, která zasahuje prakticky všude tam, kde je elektřina. Jak dodává zdroj [57], „*i přes prudký rozvoj různých teleinformatických technologií pro přenos zpráv neztratilo HDO na významu ani v současné době.*“

Obrázek 37 ukazuje schéma HDO, které je pouze „jednosměrné“ (schéma vpravo). Tj. pokyny v podobě signálů putují z centrálního místa na odběrná místa, která už ale zpět žádné informace zaslat nemohou. Oproti tomu systémy dálkového ovládání (DO) jsou systémy adresní, které mají mezi centrálním řídicím místem a místem odběru oddělený obousměrný komunikační okruh (schéma vlevo).



**Obrázek 37:** Principiální rozdíl mezi DO a HDO. [57]

HDO v Česku slouží zejména k ovládání skupin spotřebičů, které se takto spouští v období nízkých tarifů. Výhodnost je oboustranná – provozovatel sítě si tak lépe uhlídá rovnováhu mezi spotřebou a výrobou a odběratel elektřiny dostane levnější ceny za jeho odběr. Typickými prvky takto ovládanými jsou akumulární topení či tepelná čerpadla. Osobně věřím v nástup elektromobilů a poté bude mít HDO určitě důležitý vliv i pro ovládání nabíjecích časů baterií zmíněných elektrických vozů.

### 5.5.3. Velké podniky

Oproti jednotlivým domácnostem jsou větší podniky (zejména ty průmyslové) vhodným kandidátem na regulaci spotřeby elektřiny dle potřeb buďto obchodníka s energiemi (hlídání si odchylky), nebo rovnou provozovatele přenosové soustavy (přímé udržování stability ES). Kromě velkého odběru těchto průmyslových firem jde taky o jejich spotřebiče s vhodnou možností regulace.

Zde patří spotřebiče:

- setrvačné s dlouhou časovou konstantou,
- na jejichž funkci nemá krátkodobé odpojení významný vliv,
- výkonově náročné technologické linky resp. závislé provozy.

Což splňují například „*elektrická topidla, kotle, bojler, topné kabely, elektrické pece, sušárny, sterilizátory, vyvíječe páry, vzduchotechnika a klimatizace, chladírny a mrazírny, čerpadla, ventilátory a kompresory, dopravníky atd.*“ [58]

Oproti tomu v praxi nemohou být řízeny:

- pracovní stroje (soustruhy, pily, lisy),
- dopravní a manipulační mechanismy (jeřáby, výtahy),
- těžké motory, kde každý rozběh znamená značnou energetickou ztrátu. [58]

#### 5.5.4. Cementárny

Jedním z oborů průmyslové výroby s velkou spotřebou energií a vhodností k regulaci spotřeby patří cementárny.

Cementářská výroba je energeticky i surovinově náročná. Většina energie je spotřebována na výrobu slínku, což je základní složka výsledného cementářského produktu. Na **1 tunu** slínku je potřeba více než 3 GJ tepla a **80 kWh elektřiny**. Doprava produktu a pohon mlýnů a drtičů spotřebovávají další značné množství elektřiny. Výsledná náročnost 1 tuny cementu se tak jen z elektrického pohledu dostává na 90 až 120 kWh. Přičemž jedna z fungujících cementáren v Česku ročně produkuje kolem **700 000 tun** cementu. [59]

Z těchto čísel je patrné, že smluvní spolupráce s takto významným spotřebitelem energií umožňuje značně ovlivňovat stranu spotřeby portfolia obchodníka s elektřinou, nebo provozovatele virtuální elektrárny.

#### 5.5.5. Závěrem k regulaci na straně spotřeby

Výše uvedené možnosti regulace spotřeby energií (tepelné či elektrické) jsou důležitým prvkem pro **větší schopnost virtuální elektrárny pružně reagovat** na změny ve výrobě elektřiny. Což je velmi nápomocný nástroj při plánování a regulování na straně výroby zejména u špatně předvídatelných OZE.



# 6. NÁVRH MODELU OPTIMALIZACE PROVOZU KOGENERAČNÍ JEDNOTKY V PORTFOLIU OBCHODNÍKA S ELEKTŘINOU

## 6.0.1 Motivace pro obchodníka

Hned na začátku je třeba se zamyslet, proč má smysl pro obchodníka s elektřinou zabývat se provozem některého ze zdrojů v jeho portfoliu. Energetickým zdrojem produkovanou elektřinu obchodník prodává svým zákazníkům. Se zákazníky má uzavřenou smlouvu a ti mu platí dohodnutou cenu za dodanou elektřinu. Obchodník zase část těchto prostředků platí majitelům zdrojů za jimi dodanou elektrickou energii. V situaci, kdy obchodník nakupuje elektřinu částečně od nasmlouvaných provozovatelů zdrojů a částečně ji dokupuje na trzích, má pro něj smysl optimalizovat buďto stranu spotřeby, nebo stranu výroby. Tento smysl je zejména finanční, jelikož **cena elektřiny na trzích kolísá v čase**. To se děje i během hodin jednoho dne.

Výše popsaná situace je vlastní například společnosti Amper Market. Vedoucí práce ve společnosti tyto věci řeší a mým úkolem bylo vypracovat vhodný optimalizační model specificky pro roční provoz KJ.

V tomto modelu se zabývám optimalizací provozu zdroje elektrické energie. Ovlivnění rozložení provozu zdroje během dne má finanční vliv na obchodníka. Ten při správné optimalizaci získává **více peněz za stejné množství elektřiny**. Tyto „bonusové“ prostředky pak může využít pro svůj vlastní rozvoj, nebo je nabídnout jakožto **vyšší částku vlastníkovu zdroje** – a tím být pro něj a pro další provozovatele obdobných zdrojů o to zajímavějším partnerem.

## 6.0.2. Výběr zdroje pro optimalizaci

Práci jsem zaměřil na **optimalizaci provozu kogenerační jednotky**, jelikož se jedná o **řiditelný energetický zdroj**. Tím je rozuměno, že zdroj vyrábí elektřinu a teplo v závislosti na vůli a rozhodnutí provozovatele. To zmiňuji v protikladu například s FV elektrárnou, která generuje elektřinu v závislosti na slunečním svitu (počasí – náhodný faktor) a ne na vůli svého provozovatele.

Taktéž volba modelu přímo na provoz KJ odpovídá aktuálním požadavkům a zadání diplomové práce, na kterém se podílí společnost Amper Market. Ve své bakalářské práci jsem se věnoval ekonomickému modelu provozu KJ a v závěru jsem zmínil

možnost zapojení KJ do virtuální elektrárny. Tudíž mi volba této diplomové práce a její náplň dává možnost pokračovat v obdobné oblasti. Mým cílem je vypracovat výpočetní model, který poté v praxi bude reálně nasazen.



**Obrázek 38:** Ukázka kogenerační jednotky společnosti TEDOM bez protihlukového krytu. [21]

Pro analýzu stávající situace jsem využil vedoucím poskytnutá data z provozu KJ společnosti TEDOM o výkonu 1,5 MW. KJ zajišťuje tepelnou energii skupině bytových domů, čemuž odpovídá její diagram provozu. Mimo jiné dochází k mnohem většímu provozu přes zimní období oproti provozu během zbytku roku.

### 6.1. Stanovení pevného diagramu dodávky

Hlavním úkolem a přínosem vytvořeného modelu je sestavení algoritmu, který by pro zadané omezující podmínky navrhl nejvýnosnější diagram provozu. Optimalizovat chci provoz kogenerační jednotky v rámci jednoho kalendářního roku. Je přitom třeba respektovat určité **omezující podmínky** - například, že minimální doba provozu jsou tři hodiny. Tj. neoplatilo by se provozovateli tuto KJ zapínat/vypínat každou druhou hodinu. Motivací je provozovat tento zdroj v **časech nejvyšších cen elektřiny na trhu** tak, aby provozovatel (případně smluvený obchodník) dosahoval **provozem KJ maximálního zhodnocení**.

Ceny elektřiny pro případ mých výpočtů tvoří **denní trh (DT)** provozovaný **Operátorem trhu s elektřinou (OTE)**. Ve výpočtech a dále v textu zkracuji na „DT OTE“. Historické ceny jsou samozřejmě volně ke stažení na stránkách OTE. V této práci jsem používal roční souhrny cen dle DT OTE – z toho důvodu, že na tomto trhu společnost Amper Market elektřinu reálně prodává.

### 6.1.1. Omezující podmínky provozu

Počet hodin provozu KJ za rok je omezený. Důvodů je více. Prvním je už z definice kogenerace to, že se jedná (nebo alespoň se má jednat) o smysluplné využití jak produkované elektřiny, tak tepla. Pro obchodníka je zajímavá pouze **elektrina**, teplo si spotřebují bytové jednotky samy pro vyhřívání svých prostor.

Rozdíl je mezi provozem v zimě, kdy je potřeba hodně tepelné energie pro vytápění. V zimních měsících tedy KJ pracuje v **jednom bloku** (bez přestávek) v rozmezí 8 až 18 hodin. V létě je potřeba tepla menší a tomu odpovídá i provoz KJ. Ten je rozdělen do **dvou hlavních bloků** – jeden dopoledne a druhý odpoledne. Tyto bloky trvají klasicky 3 až 9 hodin. Tato fakta model musí respektovat. Období mezi zimou a létem (typicky měsíce září nebo duben), se chovají obdobně jako ty letní – provoz je ve dvou krátkých a oddělených blocích během dne. Nicméně ve větším objemu hodin v porovnání s létem.

Jak jsem uvedl v kapitole 4.5., kombinovaná výroba elektřiny a tepla patří mezi **podporované zdroje energie** (tzv. POZE). Energetický regulační úřad ve svých cenových rozhodnutích rozlišuje výši podpory pro KJ jednak dle jejich instalovaného výkonu, jednak dle **počtu provozních hodin** za rok. KJ uvažovaná v této optimalizaci má výkon 1,5 MW<sub>E</sub> a v platném cenovém rozhodnutí č. 9/2015 (ze dne 29. prosince 2015) jsou podporovány KJ o výkonu do 5 MW<sub>E</sub>. Spadá tedy do aktuální podpory. Její výši zobrazuje přiložená tabulka .

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
	a	b	c	d	e	j	m
700	Elektřina z KVET s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2015	0	200	3 000	1 580
701		-	31.12.2015	0	200	4 400	1 115
702		-	31.12.2015	0	200	8 400	215
703		-	31.12.2015	200	1 000	3 000	1 140
704		-	31.12.2015	200	1 000	4 400	740
705		-	31.12.2015	200	1 000	8 400	135
706		-	31.12.2015	1 000	5 000	3 000	800
707		-	31.12.2015	1 000	5 000	4 400	470
708		-	31.12.2015	1 000	5 000	8 400	45
709	Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2015	0	5 000	8 400	45

**Tabulka 5:** Roční zelený bonus na elektřinu z KVET. [51]

Při optimalizaci je tedy důležitý celkový počet hodin provozu za rok. Aktuálně se dělí výše podpory pro KVET dle počtu provozních hodin do tří kategorií: do 3000 h,

do 4400 h, do 8400 h (poznámka – nepřestupný rok má celkem 8760 h). V modelu jsem uvažoval jako limitující faktor hodnotu **4400 h** celkového provozu za rok. Je to fakt vycházející z reálného provozu a zadání vedoucího práce.

### 6.1.2. Denní trh OTE

Operátor trhu provozuje několik trhů s elektřinou. Pro tento model jsem uvažoval s denním trhem (DT OTE), který je v našem případě využíván pro prodej elektřiny produkované kogenerační jednotkou. Na trhu jsou (obvykle) vidět v průběhu jednoho dne následující změny:

- nízké noční ceny;
- ranní špička – vysoké ceny;
- mírný pokles z ranní špičky;
- večerní špička – opět vysoké ceny.

Během dne jsou tedy obvykle **dvě špičky**, kde se dá elektřina prodat (nebo naopak nakoupit) za **nejvyšší ceny**. Přirozeně do nich se vytvořený model musí snažit trefit. Naproti tomuto víceméně stálému vzoru přes pracovní dny bývají víkendy proměnlivější – obvykle s nižšími cenami, které občas mohou jít i do záporu. Toto ještě globálně ovlivňují **státní svátky**. Ty se liší v efektu na cenu elektřiny v tom, jestli jsou jen místní (tj. české), nebo mezinárodního charakteru (tj. zejména jestli je svátek i v Německu – pak mají velký vliv na cenu). Lokální svátky cenu elektřiny prakticky neovlivňují, zatímco mezinárodní svátky cenu ovlivňují zřetelně (návaznost na německé ceny).

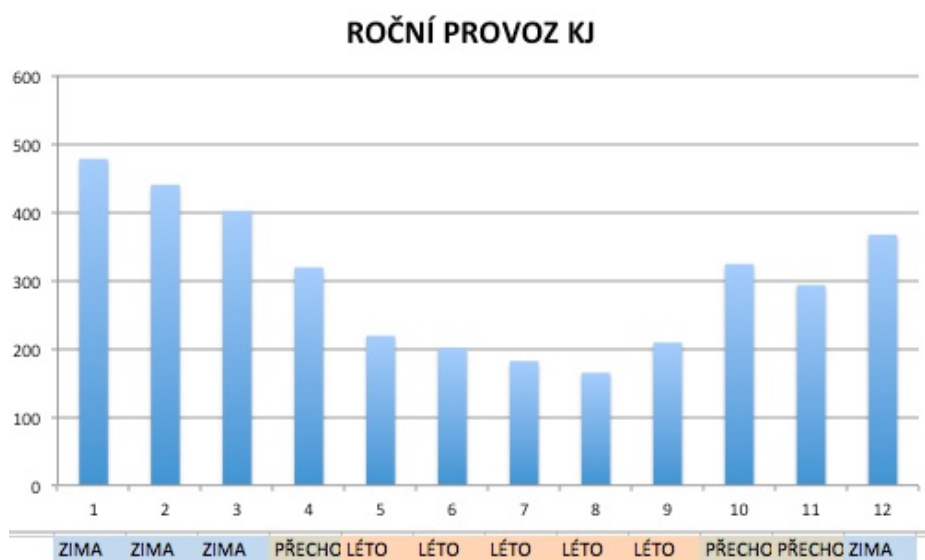
## 6.2. Základní popis modelu

Model jsem vytvořil v programu Microsoft Excel a je připraven k maximálnímu komfortu uživatele – obchodníka s elektřinou, který si chce vhodně navolit provoz KJ tak, aby nejlépe zhodnotil prodávanou elektřinu.

### 6.2.1. Analýza dosavadního provozu KJ

Vedoucí práce mi poskytl data jedné KJ, se kterou již má společnost Amper Market nasmlouvaný provoz. Amper Market KJ nevlastní, má jen smlouvu na prodej vyprodukované elektřiny. KJ už dle jejich předchozího nastavení diagramu dodávek funguje (data jsou za rok 2015). Já analyzoval její provoz a dle něj navrhoval model nový. Na místě je tedy základní otázka, **zda-li bude můj model přinášet vyšší zhodnocení**, než stávající model využívaný ve společnosti Amper Market.

Jedná se o soubor dat, kdy pro každý den v roce je pro hodiny dne (1 až 24) přiřazena hodnota vyprodukované elektřiny v jednotce kWh. Zde nejde ani tak o velikost vyprodukované elektřiny, ale o zjištění, kdy KJ je spuštěna a kdy vypnuta. Stačilo tedy převést tyto hodnoty na matici obsahující pouze dvě hodnoty - „0“ pokud KJ nepracovala, „1“ pokud naopak pracovala.



**Obrázek 39:** Analýza stávajícího provozu KJ – rok 2015.

Osa X představuje měsíce v roce, osa Y počet hodin provozu KJ v daném měsíci.

Z dané matice jsem vypořoval určitý trend provozu, který je zachycen na obrázku 39. Pod grafem je taky už základní rozdělení měsíců do tří kategorií – zima, „přechod“, léto.

Jak jsem již naznačil, je nejvíce vidět rozdíl mezi zimními a letními měsíci. V zimě pracuje KJ denně více hodin v jednom bloku. Naopak v létě pracuje obvykle jen pár hodin a to ve dvou oddělených blocích (dopoledne a navečer). Dalším rozdílem je provoz v pracovní dny (od pondělí do pátku), soboty a neděle.

Dle této základní analýzy vyplynuly hlavní úkoly pro sestavení nové optimalizace. Cílem bylo **najít efektivnější rozložení provozu z finančního pohledu** při dosažení stejného ročního provozu KJ v hodinách, ale se zaměřením na umístění těchto hodin do časů nejvyšších cen elektřiny na DT OTE.

### 6.2.2. Mapa cen na trhu

Data z DT OTE lze volně stáhnout z webových stránek OTE. Výslednou optimalizaci jsem sestavil v programu Microsoft Excel, který disponuje mnohými velmi užitečnými nástroji.

Row Labels	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Grand Total
01.06.15	502	480	453	445	466	573	885	1087	1120	1097	1056	1070	1042	1036	985	982	988	1045	1084	1131	1199	1098	977	870	21670
02.06.15	782	697	637	598	604	631	804	941	966	903	788	740	648	608	567	576	585	651	706	782	747	700	651	412	16722
03.06.15	333	319	330	305	369	470	755	920	947	867	812	788	750	735	716	714	818	905	967	1126	1100	1098	1065	925	18133
04.06.15	824	772	709	674	653	706	788	984	926	777	769	769	717	678	659	654	677	806	942	1118	1118	1107	1008	868	19703
05.06.15	715	657	603	548	575	603	832	1049	1014	1008	889	851	803	726	707	734	764	927	986	1016	1003	993	974	788	19765
06.06.15	699	630	579	548	542	540	552	616	728	767	738	718	641	625	562	553	605	707	751	831	920	975	948	836	16611
07.06.15	623	510	456	402	387	373	389	397	441	522	525	588	537	463	430	386	447	530	641	734	773	773	838	678	12843
08.06.15	617	614	549	521	521	636	902	1143	1166	1141	1059	1100	1023	956	930	924	923	987	1026	1081	1049	1015	986	794	21664
09.06.15	689	622	551	512	539	622	848	1142	1285	1198	1178	1192	1143	1112	1018	1015	984	1013	1043	1105	1078	981	975	819	12664
10.06.15	729	684	616	572	572	637	948	1143	1196	1120	1049	1041	967	909	869	876	898	977	1051	1111	1093	1012	958	836	21861
11.06.15	740	697	647	623	628	680	899	1082	1147	1030	978	967	880	847	852	858	877	1038	1124	1205	1155	1079	1016	850	21898
12.06.15	796	733	698	663	676	716	923	1119	1184	1117	1009	981	897	865	849	862	894	983	1058	1110	1092	1043	973	846	22087
13.06.15	760	693	642	614	601	583	604	678	761	779	773	751	688	628	602	568	594	658	742	803	805	803	830	702	16662
14.06.15	505	385	410	355	298	248	224	297	382	456	464	519	437	393	410	410	453	519	696	811	792	795	819	727	11802
15.06.15	570	562	497	450	456	539	873	1124	1247	1184	1168	1168	1154	1045	982	990	982	977	1069	1097	1046	1018	1037	887	22121
16.06.15	758	695	677	659	655	706	916	1153	1251	1194	1186	1161	1083	1049	998	944	915	1014	1077	1117	1090	1050	1038	864	23250
17.06.15	796	734	718	681	681	721	934	1166	1193	1087	1046	1032	913	876	844	830	834	921	992	1054	1038	959	937	743	21729
18.06.15	696	623	570	518	546	644	826	1075	1190	1216	1203	1219	1146	1089	1003	925	873	914	938	995	947	873	901	722	21651
19.06.15	753	712	645	604	614	686	883	1034	1105	1071	985	1006	913	871	829	781	796	864	925	942	925	925	965	825	20660
20.06.15	740	686	631	604	613	616	667	692	784	825	836	834	752	694	626	587	604	653	835	905	912	887	915	812	17708
21.06.15	653	531	522	517	489	449	457	490	571	626	648	707	607	571	531	503	520	612	806	881	925	952	915	782	15266
22.06.15	678	620	594	559	545	626	911	1129	1273	1224	1222	1223	1130	1137	1109	1026	1005	1053	1116	1175	1121	1047	1051	884	23459
23.06.15	794	737	693	669	668	700	933	1142	1230	1213	1120	1114	995	973	900	881	794	821	893	979	979	905	911	739	21783
24.06.15	702	658	599	557	570	639	843	1007	1058	998	974	955	876	857	843	843	838	898	1053	1156	1169	1105	1062	920	21181
25.06.15	820	762	723	680	694	749	946	1149	1177	1146	1081	1037	953	948	942	955	952	1024	1118	1171	1192	1097	1143	996	23455
26.06.15	897	838	779	752	759	817	959	1190	1248	1179	1144	1076	1008	999	939	969	978	1040	1114	1089	1037	975	990	865	23641
27.06.15	938	779	681	665	673	626	662	785	903	948	945	926	818	716	654	621	628	673	785	849	860	855	907	777	18672
28.06.15	681	589	534	484	471	408	413	474	526	566	561	585	545	449	419	428	468	648	807	918	994	982	1080	934	14962
29.06.15	788	743	681	654	654	719	978	1198	1257	1209	1172	1144	1095	1073	973	990	1014	1099	1188	1241	1223	1166	1119	961	24339
30.06.15	905	861	809	785	790	849	1033	1238	1258	1158	1041	1024	932	906	879	906	970	1100	1157	1213	1199	1131	1110	939	24193
Grand Total	21481	19623	18230	17218	17312	18511	23586	28645	30533	29627	28417	28288	26091	24835	23625	23289	23678	26055	28689	30744	30582	29397	29100	24601	602157

**Obrázek 40:** Ukázka cenové mapy pro jeden měsíc – květen 2015.

Pomocí kontingenční tabulky jsem sestrojil matici o 365 řádcích (dny v roce) a 24 sloupcích (hodiny dne). Ukázka v podobě jednoho měsíce z roku (května) je vidět na obrázku 40. Zelené hodnoty jsou nejvyšší ceny, červené naopak nejnižší. Díky těmto jednoduchým nástrojům (např. podmíněčné formátování) je práce s daty a jejich analýza mnohem snadnější a srozumitelnější. Již z letmého pohledu jsou tedy jasně vidět dopolední (osmá až třináctá hodina) a podvečerní maxima (osmnáctá až dvacátá třetí hodina). Kromě toho jsou vidět i nízké víkendové ceny.

### 6.2.3. Samotný model

S vedoucím práce jsme se dohodli na rozdělení roku na **tři části**, do kterých se zařadí vždy celé měsíce: ZIMA, PŘECHOD, LÉTO. Tyto tři kategorie pracují s daty pro zvolený jednotlivý měsíc (leden až prosinec) - daty se zde rozumí cena jedné MWh na DT OTE v daném dnu. Kategorie přechod zahrnuje měsíce mezi zimou a létem, které se vyznačují proměnlivým provozem (duben, říjen a listopad). Pro určité zjednodušení modelu a výsledné optimalizace KJ jsme se rozhodli pouze pro tyto tři optimalizační období. Taky z praktického důvodu proto, aby obsluha nemusela přenastavovat provoz KJ každý měsíc.

**ZIMA** – List v souboru optimalizace. Zde si navolím libovolný měsíc v roce (1-12), nicméně předpokládá se volba zimních měsíců, například ledna. V tom případě mi model načte ceny z DT OTE od 1. ledna do 31. ledna. Objeví se tak matice o 31 řádcích (dny) a 24 sloupcích (ceny elektřiny v dané hodině). Z této matice se poté pomocí souboru podmínek „vyseparují“ tři podkategorie – pracovní dny, soboty, neděle. V těchto třech podkategoriích probíhá oddělená optimalizace.

Uživatel algoritmu na optimalizaci provozu KJ na úvodním listu zadá jím očekávané (požadované) provoz KJ na daný rok – ukázka na obrázku 41. Model už mu poté sám

automaticky najde nejvýnosnější rozdělení navolených bloků hodin do daných měsíců a jejich pracovních dnů, sobot a nedělí.

ÚVODNÍ LIST PROJEKTU					
OPTIMALIZACE PROVOZU KOGENERAČNÍ JEDNOTKY					
					27
CELKEM HODIN	<b>3597</b>		CENA DIAGRAMU	<b>3 898 854 Kč</b>	<b>1 084 Kč</b> <b>40,15 EUR</b>
				<small>cena za celý diagram</small>	<small>cena za MW</small>
			ZADANÝ DIAGRAM	<b>3 813 655 Kč</b>	<b>1 060 Kč</b> <b>39,27 EUR</b>
<b>ZIMA</b> <i>jeden blok</i>					
prac.den	16	Je nutno zadat buďto hodnotu 0 (žádný provoz), nebo 8 - 18 (hod).			
so	8				
ne	8				
<i>Aktuálně navolené měsíce: LEDEN, ÚNOR, BŘEZEN, PROSINEC</i>					
<b>PŘECHOD</b> <i>dopoledne odpoledne</i>					
prac.den	5	6	Je nutno zadat buďto hodnotu 0 (žádný provoz), nebo 3 - 9 (hod).		
so	0	5			
ne	0	3			
<i>Aktuálně navolené měsíce: DUBEN, ŘÍJEN, LISTOPAD</i>					
<b>LÉTO</b> <i>dopoledne odpoledne</i>					
prac.den	5	3	Je nutno zadat buďto hodnotu 0 (žádný provoz), nebo 3 - 9 (hod).		
so	4	4			
ne	0	3			
<i>Aktuálně navolené měsíce: KVĚTEN, ČERVEN, ČERVENEC, SRPEN, ZÁŘÍ</i>					

**Obrázek 41:** Úvodní list optimalizace a nastavení bloků hodin provozu KJ.

Část ZIMA je nastavena pro práci s jedním blokem provozu během dne, tj. dochází maximálně k jednomu startu KJ za den. Uživatel tedy navolí hodnotu 0 nebo 8 – 18 h a model mu sám najde nejvýnosnější sumu zvoleného počtu hodin v řadě. To znamená, že se hledá suma **sousedících hodin** v daném dnu a ne pouze součet jednotlivých nejvýnosnějších hodin tak, aby byla dodržena podmínka maximálně jednoho startu KJ za den. Toto se aplikuje pro pracovní dny, soboty a neděle zvlášť.

AUTOMATICKÉ ZADÁNÍ VÝSLEDNÉHO PROVOZU ("1" PRO HODINY, KDY KJ MÁ BĚŽET)																								NASTAVENÉ BLOKY	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		24
PRACDNY	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	16
SO	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	14
NE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	14

**Obrázek 42:** Výstupní matice pro část ZIMA.

Uživatel tedy zadá jen tři hodnoty a výstupem optimalizace je blok hodnot 0 nebo 1, které značí doporučený provoz KJ (0 – vypnout nebo nechat vypnuto, 1 – zapnout nebo nechat zapnuto). Jak vypadá tento výstup je zobrazeno na obrázku 42. Tato

matice se poté automaticky překopírovává na list „Výsledky“, kde se z ní skládá finální výstup optimalizace (popsáno dále).

**PŘECHOD & LÉTO** – Tyto dva listy pracují prakticky stejně jako list ZIMA. Jediný zásadní rozdíl je v tom, že zde jsou nastaveny dva oddělené bloky provozu během dne. KJ tedy bude startovat **dvakrát** (může ale nicméně i jednou, nebo ani jednou) – ale ne víckrát, než dvakrát. Na obrázku 43 je ukázka základního zobrazení pro vybraný letní měsíc – v tomto případě červenec. Uživatel si může libovolně měnit červené políčko zadáváním hodnoty 1 až 12 (leden až prosinec) – systém pak dle zvoleného měsíce nahrává ceny z DT OTE pro vybraný měsíc a optimalizace hledá nejvhodnější provoz.

NASTAVENÍ MĚSÍCE (1 až 12)		PRACOVNÍ DNY (3 až 9)												SOBOTY (3 až 9)			NEDĚLE (3 až 9)			CELKEM HODIN:						
ČERVENEC 7		POČET BLOKŮ: 5 + 5												4 + 3			3 + 9			4299						
WEEKDAY	1 (0:00-6)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
3	01.07.15	817	782	787	757	755	815	952	1170	1163	1043	956	941	883	836	834	864	896	1027	1095	1139	1090	1019	943	816	OK
4	02.07.15	774	728	698	676	703	764	927	1105	1146	1025	957	900	826	795	788	826	872	1050	1125	1208	1208	1142	1052	865	OK
5	03.07.15	817	777	764	760	782	871	1110	1395	1487	1303	1219	1162	1037	969	947	997	1094	1248	1474	1508	1349	1292	1273	1043	OK
6	04.07.15	1107	998	923	895	896	912	959	1042	1140	1153	1050	996	959	912	906	912	1004	1140	1246	1343	1307	1308	1327	1139	OK
7	05.07.15	850	760	732	690	672	628	642	679	721	750	733	748	697	655	620	658	658	716	904	1000	1028	1019	1066	908	OK
1	06.07.15	760	733	696	676	676	746	849	1026	1225	1208	1123	1091	988	920	909	993	1199	1407	1482	1546	1549	1520	1492	1289	OK
2	07.07.15	955	970	921	912	912	948	1246	1524	1612	1504	1323	1298	1184	1110	1117	1165	1259	1469	1499	1580	1466	1309	1247	1026	OK
3	08.07.15	833	752	742	697	705	732	904	1072	1106	1003	930	922	922	922	794	922	816	800	868	922	938	922	885	688	OK
4	09.07.15	648	586	659	593	570	611	865	1006	1039	957	886	827	708	584	542	651	678	697	792	952	979	992	950	786	OK
5	10.07.15	778	732	729	670	667	713	917	1026	1026	936	879	860	768	741	711	743	797	1063	1139	1220	1302	1375	1271	1094	OK
6	11.07.15	925	868	809	795	791	776	827	895	928	960	854	841	757	738	722	748	773	921	1052	1101	1088	1047	1055	923	OK
7	12.07.15	868	768	732	693	688	599	604	659	665	639	636	702	684	662	664	624	642	714	868	990	993	990	1091	957	OK
1	13.07.15	840	812	725	725	670	725	989	1314	1420	1490	1502	1897	1897	1897	1626	1335	1308	1489	1389	1353	1626	1626	1196	970	OK
2	14.07.15	1083	1090	977	974	921	974	1219	1627	1503	1742	1979	2087	2338	1900	1950	2137	1897	1488	1300	1306	1347	1679	1488	1029	OK
3	15.07.15	988	975	916	911	899	921	1107	1464	1532	1505	1408	1387	1354	1333	1136	1167	1121	1261	1338	1514	1495	1456	1456	1076	OK
4	16.07.15	1261	1084	996	922	932	1039	1307	1608	1568	1572	1532	1548	1402	1261	1245	1261	1252	1423	1488	1572	1541	1521	1484	1183	OK
5	17.07.15	1023	940	887	866	866	908	1052	1304	1259	1245	1166	1164	975	868	851	920	880	1055	1215	1299	1272	1293	1239	996	OK
6	18.07.15	923	917	879	812	785	719	760	825	890	909	893	894	847	779	725	724	759	812	983	1069	1085	1104	1142	1004	OK
7	19.07.15	931	841	779	758	726	687	622	622	658	722	727	722	676	655	582	608	626	698	791	893	927	943	947	893	OK
1	20.07.15	799	758	785	750	731	777	842	1257	1303	1289	1329	1387	1329	1306	1222	1156	1245	1399	1326	1381	1368	1354	1327	1079	OK
2	21.07.15	1031	958	914	856	845	845	1042	1289	1326	1349	1342	1374	1408	1601	1408	2305	2305	2572	1419	1462	1516	2166	1331	1158	OK
3	22.07.15	1158	1020	939	888	899	969	1218	1451	1572	1591	1518	1510	1410	1294	1256	1318	1388	1475	1654	1735	1532	1432	1449	1226	OK
4	23.07.15	933	944	909	871	886	931	1175	1430	1490	1455	1474	1493	1400	1380	1334	1382	1403	1434	1439	1474	1420	1358	1341	1136	OK
5	24.07.15	1003	1001	963	931	922	981	1129	1400	1406	1515	1433	1753	1947	2141	1515	1487	1758	1407	1309	1339	1282	1210	1144	938	OK
6	25.07.15	839	707	696	649	622	595	620	714	722	752	838	973	676	419	340	433	460	379	458	480	473	446	435	303	OK
7	26.07.15	135	0	-48	-81	-81	0	84	129	181	249	311	306	252	254	241	341	444	622	890	993	976	987	1065	832	OK
1	27.07.15	727	650	595	512	519	627	830	925	973	1033	995	978	919	919	819	811	892	851	878	919	919	886	838	700	OK
2	28.07.15	568	486	443	405	405	486	703	840	927	854	776	754	721	672	524	540	553	716	870	967	930	919	932	805	OK
3	29.07.15	582	528	498	458	463	522	798	972	1010	1010	1218	1218	1218	1218	1066	920	1083	920	818	920	1004	1068	770	571	OK
4	30.07.15	433	400	360	308	330	430	630	805	813	771	711	712	697	671	682	677	817	808	959	1018	1023	1031	967	824	OK
5	31.07.15	686	624	569	535	562	646	881	1045	1097	1049	954	927	884	838	808	827	876	957	1102	1189	1138	1092	1092	924	OK
		26115	24191	22934	21863	21732	22899	27961	33620	34911	34632	34054	34380	32764	31149	28886	30452	31757	34011	35171	37392	37169	35315	29175		

**Obrázek 43:** Ukázka listu LÉTO – načtení vstupních dat, cen DT OTE.

V řádku s volbou měsíce se ještě nachází políčka pro volbu bloků pro pracovní dny, soboty a neděle. Jejich změna „ručně“ je zde možná a systém na ně samozřejmě reaguje. Nicméně dle zadaných vedoucích práce jsou tyto buňky propojeny na hlavní list **START**, aby bylo možno je centrálně řídit pro celý rok. Pro určité testování ale je možnost jejich flexibilní změny ponechána na daných listech modelu. Vedle těchto bloků je kontrolní rámeček prezentující důležitou hodnotu – celkový počet hodin provozu KJ za rok při právě nastaveném diagramu provozu.

Optimalizace pro listy PŘECHOD a LÉTO je rozdělena na dva bloky v jednom dnu. Po analýze cen DT OTE a domluvě s vedoucím práce jsme zvolili „střed“ dne mezi 14. a 15. obchodní hodinu. Sumy cen se tedy počítají pro bloky cen v hodinách 1 – 14 a 15 – 24. Systém poté automaticky dle zadaných bloků najde nejvýnosnější hodiny provozu a zadá je do tabulky výsledků stejně, jako v případě listu ZIMA. To je ukázáno na obrázku 44.



AUTOMATICKÉ ZADÁNÍ VÝSLEDNÉHO PROVOZU ("1" PRO HODINY, KDY KJ MÁ BĚŽET)																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
PRAC.DNY	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
SO	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
NE	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Obrázek 44: Výstupní matice pro část PŘECHOD a LÉTO.

### 6.2.4. Zaznamenání výsledků

Výstupem celé optimalizace je list „Výsledky“, na kterém dochází ke třem zásadním věcem. **Za prvé**, uživatel si nastaví, které měsíce v roce přiřadí ke které kategorii – ZIMA, PŘECHOD, LÉTO. Toto je propojeno pomocí odkazů pro flexibilní práci s modelem. Uživatel může tedy například libovolně změnit přiřazení měsíce dubna z PŘECHOD na LÉTO apod.

**Za druhé**, list ukazuje souhrn tří výsledkových matic ze zmíněných listů modelu tak, aby je měl ještě uživatel přehledně na jedné stránce před očima. Tyto data se zde automaticky nahrávají z daných listů, uživatel nemusí do ničeho zasahovat. **Třetí věcí** a finálním výstupem modelu je na listu vytvořená **matice diagramu provozu** (dodávky) KJ pro celý rok. Matice má 365 řádků (dnů) a 24 sloupců (hodin) – kromě dalších pomocných sloupců sloužících k automatickému sestavení matice.

V matici, stejně jako na listech předtím, znamená hodnota „1“ provoz KJ a prázdné pole znamená její odstavení. Uživateli pak jen stačí označit tuto matici, zkopírovat ji a nahrát do provozního software dané kogenerační jednotky.

Obrázek 45: Ukázka finálního výstupu optimalizačního modelu. Matice diagramu dodávky KJ pro celý rok.

### 6.2.5. Omezení modelu

**Model pracuje s historickými daty.** V nich hledá určitý opakující se vzor v cenách a na něj navrhuje nejvýhodnější provoz KJ. Omezením je zde už sám princip, že se jedná o historické ceny. Nedají se samozřejmě předpokládat naprosto stejné ceny i v letech následujících. Nicméně s velkou pravděpodobností bude navržený hodinový provoz během dne stále odpovídat nejvyšším cenám. A to například z toho důvodu, že ceny jsou samozřejmě dražší přes pracovní dny, což se asi nezmění, jelikož to kopíruje zvyky a kulturu našeho kontinentu. Dříve údajně byly vidět jasněji ty rozdíly v ceně přes noc a přes špičku během dne. Dnes zejména kvůli podpoře OZE a jejich těžce předpovědatelným produkcím se ceny elektřiny mnohem více během dne mění s jistou dávkou náhodnosti, kterou nelze naprosto přesně předvídat. Nicméně i jenom ze statistického hlediska by tento model měl být schopen opět hledat ten nejvýhodnější provoz pro určitou kogenerační jednotku.

V modelu pracuji s řadami dat pro roky 2013, 2014 a 2015. Z nich a z části dat dostupných za rok 2016 jsem vytvořil i jednu matici hodnot, kde jsou **průměrné ceny** z těchto let. Tyto dopočítané průměrné ceny jsem taktéž zadal do modelu a ten dle nich nabídl roční diagram provozu. Tento diagram porovnávám v následující kapitole s ostatními výsledky a považuji jej za jednu z možností **predikce provozu do budoucna**.

## 7. VÝKONNOST NAVRŽENÉHO MODELU

Pro možnost ověření funkčnosti mého modelu a jeho porovnání s aktuálně fungujícím systémem stanovování diagramu provozu ve společnosti Amper Market jsem prvně musel analyzovat zadaný soubor provozu kogenerační jednotky. Z něj mi vyšlo, že tato daná KJ v roce 2015 pracovala celkem **3599 hodin**. K matici hodnot provozu („0“ – KJ nejede, „1“ – KJ jede) jsem přidal matici cen elektřiny z DT OTE. Tyto dvě matice jsem jednoduše pronásobil a celou výslednou matici sečetl. Dostal jsem tak 3599 sčítanců, které dohromady dávají náhled na **cenu diagramu provozu** dané KJ pro celý rok.

Nicméně pro přehlednější a univerzálnější porovnání výsledků jsem podělením této sumy počtem provozních hodin dostal **průměrnou cenu jedné prodané MWh elektřiny**. Považuji to za rychlý a spolehlivý ukazatel, jak který algoritmus nastaví stejný počet hodin v daném roce – ten s vyšší cenou považuji za (ekonomicky) nejlepší.

## 7.1. Stávající vs. nový model

Nejvíce vypovídající hodnotu mají data za rok 2015. Z tohoto roku mám totiž reálná data provozu KJ. Pro roky 2014 a 2013 počítám ze strany „stávajícího/starého“ modelu se stále stejným nastavením provozu jako v roce 2015. Což může být pro tento stávající model jak výhoda, tak spíše nevýhoda (nový model oproti tomu reagoval každý rok na nově nahrané ceny z DT OTE).

### 2015

STÁVAJÍCÍ MODEL	NOVÝ MODEL
<b>1060 CZK</b>	<b>1084 CZK</b>
39,25 EUR	40,15 EUR

Nově navržený model vykazuje na referenčním roce 2015 **lepší ceny**. Podmínka počtu hodin je pro oba modely stejná (přesněji řečeno liší se o pouhé dvě hodiny z důvodu diskrétního nastavování hodnot). V procentuálním vyjádření se jedná o **2,26 % lepší výsledek**.

Z mého pohledu je důležité ověření, že model funguje správně a navíc je přínosný tím, že **nabízí vyšší cenu**. Tudíž lepší optimalizací se získává **více peněz z prodeje stejného množství elektřiny**. Cena prodané MWh je vyšší o 2,26 %, což samo o sobě není mnoho. Nicméně ve velkém objemu, ve kterém se obchodník s elektřinou a provozovatel mnoha kogeneračních jednotek pohybuje, i tento malý rozdíl může generovat zajímavý finanční bonus.

Tyto „bonusové“ prostředky pak může obchodník využít pro svůj **vlastní rozvoj**, nebo je nabídnout jakožto **vyšší výkupní cenu** vlastníkovvi zdroje – a tím být pro něj a pro další provozovatele obdobných zdrojů o to zajímavějším partnerem.

### 2014

STÁVAJÍCÍ MODEL	NOVÝ MODEL
<b>1085 CZK</b>	<b>1084 CZK</b>
40,17 EUR	40,15 EUR

Při nahrání dat z DT OTE pro rok 2014 do starého modelu vykázal oproti novému modelu hodnotu o **0,06 %** lepší. V tomto případě tedy nový model podal takřka stejný výkon.

## 2013

STÁVAJÍCÍ MODEL	NOVÝ MODEL
<b>1111 CZK</b>	<b>1140 CZK</b>
41,15 EUR	42,21 EUR

Porovnání pro rok 2013 probíhalo obdobně, jako to pro rok 2014. Tentokrát nový model dosáhl na cenu o **2,56 %** vyšší.

### 7.2. Porovnání s cenami na DT OTE

Ceny z denního trhu pořádaného společností OTE sloužily jako zdrojová data pro práci celého modelu. A to zejména z důvodu, že v praxi společnost Amper Market tento trh **reálně využívá pro nákup a prodej elektřiny**.

Pro porovnání výkonu nového modelu jsem si zpracoval z dat DT OTE pro roky 2013, 2014 a 2015 průměrné ceny za celý daný rok. A to pro tzv. **base load** (základní zatížení definováno přes celý den – 24 hodin v dnu) a **peak load** (špičkové zatížení; definováno jako zatížení v pracovní dny od 8:00 do 20:00). Dle očekávání jsou ceny base load nižší, než ceny peak load. Očekáváním bylo, že se model dostane nad ceny base load. Zároveň jsem byl zvědavý, zda se model dostane i nad ceny peak load, nebo se k nim alespoň přiblíží.

## 2015

DT – BASE LOAD	NOVÝ MODEL	DT – PEAK LOAD
<b>881 CZK</b>	<b>1084 CZK</b>	<b>1103 CZK</b>
32,64 EUR	40,15 EUR	40,84 EUR

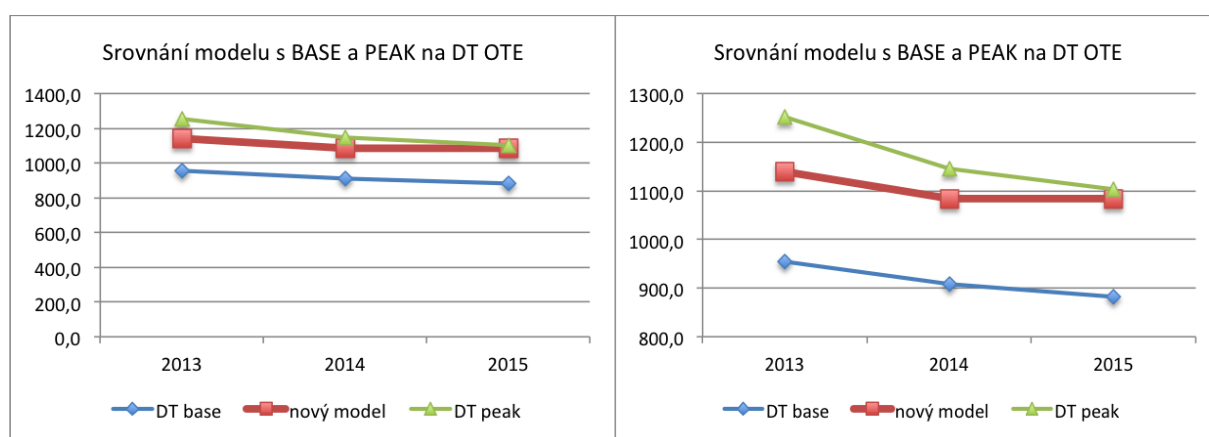
# 2014

DT – BASE LOAD	NOVÝ MODEL	DT – PEAK LOAD
908 CZK	1084 CZK	1146 CZK
33,63 EUR	40,15 EUR	42,44 EUR

# 2013

DT – BASE LOAD	NOVÝ MODEL	DT – PEAK LOAD
955 CZK	1140 CZK	1251 CZK
35,37 EUR	42,21 EUR	46,33 EUR

V porovnání nového modelu s base a peak load na DT OTE vychází vítězně špičkové zatížení, které bylo očekávaným favoritem. Po úvaze nad výsledky jsem společně s vedoucím práce došel k závěru, že důvodem nižšího umístění modelu je to, že musí pracovat i s **provozem během víkendů**. A právě ceny elektřiny na denním trhu během sobot a nedělí dosahují jednoznačně nižších hodnot než ceny přes pracovní dny. Žádnou výjimkou nejsou ani záporné ceny během víkendových dnů. Z tohoto důvodu usuzuji, že překonat hodnotu peak load je v takto definovaném provozu KJ patrně nemyslitelné.



**Obrázek 46:** Srovnání výkonu modelu (tlustá červená čára) s BASE a PEAK hodnotami na DT OTE. Vpravo s posunutým začátkem osy Y [CZK].

V procentuálním srovnání jsou hodnoty peak load oproti hodnotám dosaženým modelem větší o: **1,73 % v roce 2015**; 5,73 % v roce 2014 a 9,77 % v roce 2013. Zejména v roce 2015 je hodnota peak load pouze o méně než 2 % vyšší, než cena dosahovaná modelem. To považuji za dobrý výsledek. Jen připomínám, že se jedná o průměrnou cenu za prodanou MWh.

Na obrázku 46 jsou graficky zobrazeny výsledky uvedené v tabulkách výše. Kromě výkonu modelu je možné odpozorovat také trend posledních let v energetice – a to pokles cen silové elektřiny.

### 7.3. Návrh budoucího provozu

Poslední z komplexních testů jsem provedl s výhledem do budoucna. K celoročním maticím hodnot za historické roky 2013, 2014 a 2015 jsem přidal aktuální dostupné údaje i za rok 2016 (ze dne 16. května 2016). Tyto čtyři řady hodnot jsem zprůměroval a na vzniklou matici cen provedl test mezi stávajícím a novým model.

## 2017 (predikce)

STÁVAJÍCÍ MODEL	NOVÝ MODEL
<b>1063 CZK</b>	<b>1076 CZK</b>
39,38 EUR	39,84 EUR

Nově navržený model v tomto „predikčním módu“ přináší výsledky o **1,15 % vyšší**. Pro nastavení provozu na další kalendářní rok (2017) bych tedy postupoval na základě tohoto diagramu provozu. Cena diagramu, případně cena za produkovanou MWh, by se mohla dát tímto způsobem alespoň znale odhadnout. I když její reálnou hodnotu budeme znát až na konci daného kalendářního roku (v tomto případě na konci prosince 2017). Snaha zjistit (co nejpřesněji odhadnout) budoucí cenu v našem případě má smysl z toho důvodu, aby se mohly dopředu nasmlouvat provozy kogeneračních jednotek s jejich majiteli a nabídnout jim odpovídající ceny.

## 7.4. Možnost zlepšení

Navržený model je zcela automatický. Uživatel jen musí zadat jím požadovaný hodinový provoz pro tři vytvořená období. Přičemž si sám uživatel hlídá počet hodin celkového provozu dle jeho vlastního uvážení (momentálně dodržována podmínka < 4400 hodin/rok).

Napadlo mě ale vylepšení, pokud bych se na to díval jako na optimalizační úlohu **lineárního programování**. Kritériem je maximalizovat cenu diagramu, která se poté dělí počtem nastavených hodin a dává tak výslednou průměrnou cenu za MWh. Omezujícími podmínkami jsou intervaly provozu pro tři dané roční období. S podobnými úlohami jsme již při hodinách operačního výzkumu pracovali a mimo jiné používali nástroj „**Solver**“, který je součástí programu Microsoft Excel. Díky pomoci pana inženýra Šafránka z Fakulty elektrotechnické se mi podařilo tuto optimalizační úlohu zadat. Po správném nastavení všech parametrů „evoluční metody“ program asi pět minut hledal optimální řešení. Poté navrhnul takový provoz KJ, při kterém se dostal na **1089 Kč/MWh**. Tím ještě mírně překonal mnou volně nastavený provoz, který dosáhl hodnoty 1084 Kč/MWh.

The image shows a screenshot of the Microsoft Excel Solver Parameters dialog box. The spreadsheet in the background is organized into three seasonal blocks: ZIMA (Winter), PŘECHOD (Transition), and LÉTO (Summer). Each block has columns for 'prac.den' (working days) and 'so' (Sundays). The Solver Parameters dialog box is open, showing the following settings:

- Set Objective: \$H\$10
- To: Max
- By Changing Variable Cells: SC\$16:\$C\$18;SD\$24:\$C\$24;SD\$28:\$D\$30
- Subject to the Constraints:
  - SC\$16:\$C\$18 <= 18
  - SC\$16:\$C\$18 = integer
  - SC\$16:\$C\$18 >= 7
  - SC\$22:\$D\$24 <= 9
  - SC\$22:\$D\$24 = integer
  - SC\$22:\$D\$24 >= 2
  - SC\$28:\$D\$30 <= 9
  - SC\$28:\$D\$30 = integer
  - SC\$28:\$D\$30 >= 2
  - SD\$10 <= 3599
- Make Unconstrained Variables Non-Negative
- Select a Solving Method: Evolutionary

**Obrázek 47:** Příklad využití software Solver.

Ve výsledném součtu hodin je jedno, jestli zadám v soboty provoz KJ na 3 hodiny dopoledne a 0 hodin odpoledne. Nebo jestli zadám 0 hodin dopoledne a 3 hodiny odpoledne. Z pohledu cen to ale jedno není a každá možnost dosahuje jiné výsledné ceny. Proto je zde vhodné přemýšlet nad optimalizací rozložení požadovaného počtu hodin.

Obrázek 47 ukazuje nastavení programu Solver pro danou úlohu. Takováto optimalizace je podle mne vhodná v případech, kdy má uživatel mého modelu volné ruce k nastavení si provozu KJ dle libosti. Poté může místo svých „odhadů“ využít optimalizačního software k **nalezení optimálního rozložení hodin provozu**, které tak dosahuje nejvyšší ceny za výslednou MWh. Ve většině případů ale předpokládám nutnost ručního nastavení hodin provozu z důvodu požadavku konkrétního případu nasazení KJ (bytový dům, průmyslový podnik, atd.)

## 8. ZHODNOCENÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Osobně jsem přesvědčen, že během první poloviny dvacátého prvního století dojde k odklonu od užívání **fosilních paliv**. Ať už se jedná o uhlí v energetice nebo naftu a benzin v dopravě. V této práci se věnuji popisu a rozvoji **virtuální elektrárny**, protože věřím, že virtuální elektrárna je jedním z vhodných směrů, jak reagovat na již nastalý rozvoj a taky dále rozvíjet obnovitelné zdroje energií a větší konkurenci na trhu s energiemi.

Z pohledu provozovatele virtuální elektrárny, kterým může být například **obchodník s elektřinou**, je důležité mít portfolio zdrojů složené kromě z neregulovatelných zdrojů (typicky FV a větrné elektrárny) i z těch regulovatelných (bioplynové stanice, kogenerační jednotky). Kromě tohoto řízení strany výroby je ale možné a žádoucí do určité míry řídit nebo ovlivňovat i stranu spotřeby. Zde patří již vyzkoušené hromadné dálkové ovládání, spolupráce s teplárnami nebo významnými průmyslovými odběrateli, mezi kterými byly zmíněny například cementárny.

Práce na **optimalizačním modelu provozu kogenerační jednotky** se opírá o cenová data z denního trhu OTE, jelikož zde reálně společnost Amper Market elektřinu obchoduje. Cílem bylo vytvořit alespoň poloautomatický model, který bude pro zadané hodiny provozu během roku vyhledávat nejlepší ceny a navrhnout tak výhodný provoz pro nasmlouvanou kogenerační jednotku. Toho jsem dosáhl tak, že výsledný model je prakticky automatický. Stačí, aby uživatel na úvodním listu zadal jím **požadované hodiny provozu** pro tři části roku (zima, tzv. přechod, léto) a model již sám vygeneruje výslednou matici o 365 řádcích (dny v roce) a 24 sloupcích (hodiny dne). Tato matice obsahuje pouze prázdná pole (KJ nepracuje) a hodnotu „1“ (KJ pracuje) a je tak připravena ke zkopírování do provozního ovladače kogenerační jednotky.



Jsem rád, že výsledný model **nachází uplatnění v praxi** a vedoucí práce jej již využívá k nastavování diagramů provozu KJ, které má společnost Amper Market smluvně zajištěné s jejími provozovateli. Porovnání výkonnosti nového modelu jsem provedl s tím stávajícím, který doposud vedoucí práce používal. Kromě něj jsem srovnal hodnoty i s průměrnými cenami BASE a PEAK zatížení dle DT OTE. Vše je podrobně popsáno v 7. kapitole a nový navrhovaný model na hlavním referenčním roce dosáhl hodnoty o **2,26 % vyšší**, než model předcházející. Konkrétně by při nastavení provozu pro rok 2015 nabídl průměrnou cenu 1084 Kč/MWh, zatímco předchozí model by nabídl 1060 Kč/MWh. Kromě mírně lepších číselných výsledků věřím, že došlo i ke zvýšení komfortu pro uživatele větší automatizací výpočtů.

## 9. POUŽITÁ LITERATURA

### KAPITOLA 1. VIRTUÁLNÍ ELEKTRÁRNA

[1] SLIDESHARE. *Statkraft's virtual power plant in Germany* [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/statkraft/statkrafts-virtual-power-plant-in-germany>

[2] TEDOM, a.s. *Rozptýlená elektrárna* [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/rozptylena-elektrarna.html>

[3] ZEMÁNEK, Roman. *Malá kogenerace a její možnosti: bakalářská práce*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2013.

[4] PSI ENERGY MARKETS. *PSIupp: An integrated solution for virtual power plants* [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.psi-energymarkets.de/en/products/virtual-power-plant/>

[5] SCHULZ, RÖDER, KURRAT. *Virtual Power Plants with combined heat and power micro-units*. Technical University Braunschweig, Institute of High-Voltage and Electric Power Systems. Germany, 2006.

### KAPITOLA 2. PŘEHLED DOSTUPNÝCH VÝROBNÍCH ZDROJŮ VE SVĚTĚ

[6] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Renewable Energy Sources And Climate Change Mitigation*. 2012. ISBN 978-92-9169-131-9.

[7] WIKIPEDIA. *Tři soutěsky (elektrárna)* [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/T%C5%99i\\_sout%C4%Bsky\\_\(elektr%C3%A1rna\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/T%C5%99i_sout%C4%Bsky_(elektr%C3%A1rna))

[8] KAPLAN, Yusuf Alper. *Overview of wind energy in the world and assessment of current wind energy policies in Turkey*, Renewable and Sustainable Energy Reviews - Volume 43, March 2015, Pages 562–568.

[9] GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. *Global statistics* [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.gwec.net/global-figures/graphs/>

- [10] ČESKÁ SPOLEČNOST PRO VĚTRNOU ENERGII. *Grafy - Funkční větrné elektrárny v ČR*. [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/grafy/280>
- [11] TZB-INFO. *Problematika připojování větrných elektráren do distribuční sítě* [online], 2007. [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4279-problematika-pripojovani-vetrnych-elektren-do-distribucni-site>
- [12] ENVITON. *Bioplynové stanice x jiné OZE* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/srovnani-oze/>
- [13] SOLARPOWER EUROPE. *Solar Market Report & Membership Directory*. Duben 2016. Dostupné z: <http://www.solarpowereurope.org/insights/2015-market-report/>
- [14] HAMMONS, T. J. *Tidal Power in the United Kingdom*, UK Sustainable and Renewable Energy Group, University of Glasgow, Velká Británie. IEEE, 2008.
- [15] JOHNSTON, NARSILIO, COLLS. *Emerging Geothermal Energy Technologies*, KSCE Journal of Civil Engineering (2011). Vol. 15, No. 4. DOI: 10.1007/s12205-011-0005-7.
- [16] BARBIER, Enrico. *Geothermal energy technology and current status: an overview*, Renewable and Sustainable Energy Reviews – 6 (2002), 3-65. Elsevier.
- [17] LUND, FREESTONE, BOYD. *Direct application of geothermal energy: 2005 Worldwide review*, 2005. Geothermics 34 (2005) 691–727. DOI: 10.1016/j.geothermics.2005.09.003.
- [18] ORKUSTOFNUN. *Energy Statistics in Iceland 2014, 2015*. Dostupné z: <http://www.os.is/>
- [19] ČESKO. *Zákon č. 165 ze dne 31. ledna 2012 o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů*, Sbírka zákonů České republiky. 2012. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/>
- [20] DVORSKÝ, HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. BEN – technická literatura, Praha 2005 (1. vydání). ISBN: 80-7300-118-7.
- [21] TEDOM. *Kogenerační jednotky TEDOM*. 2015. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/kogeneracni-jednotky-download.html>

[22] ČESKÝ ROZHLAS. *Velká Británie uzavře všechny své uhelné elektrárny do roku 2025* [online]. Praha, 9. prosince 2015. [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: [http://www.rozhlas.cz/leonardo/technologie/\\_zprava/velka-britanie-uzavre-vsechny-sve-uhelne-elektrarny-do-roku-2025--1563570](http://www.rozhlas.cz/leonardo/technologie/_zprava/velka-britanie-uzavre-vsechny-sve-uhelne-elektrarny-do-roku-2025--1563570)

[23] THE GUARDIAN. *Longannet power station closes ending coal power use in Scotland* [online]. 24. března 2016. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.theguardian.com/environment/2016/mar/24/longannet-power-station-closes-coal-power-scotland>

[24] E15. *Belgie se zbavuje uhlí. Odstavila poslední uhelnou elektrárnu* [online]. Praha, 11. dubna 2016. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://zpravy.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/belgie-se-zbavuje-uhli-odstavila-posledni-uhelnou-elektrarnu-1287213>

[25] POLISH INFORMATION AND FOREIGN INVESTMENT AGENCY. *Energy Sector in Poland*, 2013. Dostupné z: <http://www.paiz.gov.pl/en>

[26] S&P GLOBAL PLATTS. *Election Outlook: New Polish government must tackle coal crisis*, [online]. 23. října 2015. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.platts.com/latest-news/coal/warsaw/election-outlook-new-polish-government-must-tackle-26253316>

[27] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Roční zpráva o provozu ES ČR*, 2014. 2015. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality>

[28] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Vláda schválila Aktualizaci státní energetické koncepce*, [online]. 19. května 2015. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument158012.html>

### KAPITOLA 3. NOVÉ ZDROJE

[29] TESLA. *Powerwall* [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <https://www.teslamotors.com/POWERWALL>

[30] ŠKORPÍK, Jiří. *Využití energie větru*, Transformační technologie [online], květen 2014. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/vyuziti-energie-vetru.html>

[31] ENERGY NUMBERS. *Capacity factors at Danish offshore wind farms* [online]. 12. března 2015. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://energynumbers.info/capacity-factors-at-danish-offshore-wind-farms>

[32] REVISTA EÓLICA Y DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO. *Denmark's Offshore Wind Power among Best in World, with More Growth by 2020* [online], 31. října 2014. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.evwind.es/2014/10/31/denmarks-offshore-wind-power-among-best-in-world-with-more-growth-by-2020/48438>

[33] NORTON ROSE FULBRIGHT. *Renewable energy in Morocco* [online], květen 2012. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.nortonrosefulbright.com/knowledge/publications/66419/renewable-energy-in-morocco>

[34] THE GUARDIAN. *Morocco poised to become a solar superpower with launch of desert mega-project* [online], 26. října 2015. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.theguardian.com/environment/2015/oct/26/morocco-poised-to-become-a-solar-superpower-with-launch-of-desert-mega-project>

## KAPITOLA 4. MOŽNOSTI VYUŽITÍ VHODNÝCH VÝROBNÍCH ZDROJŮ V ČR

[35] EUROSTAT. *Produkce a dovoz energie* [online], květen 2015. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy\\_production\\_and\\_imports/cs](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports/cs)

[36] KAUFMANN, Pavel. *Vývoj teplárenství v České republice*, PRO ENERGY magazín. Str. 18-21, leden 2008.

[37] SLIVKA, Vladimír. *Studie stavu teplárenství*, 11. února 2011, Ostrava. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

[38] CARRINGTON COLLEGE. *Renewable Energy*, (obrázek), [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: [http://carrington.edu/wp-content/uploads/2011/07/RenewableEnergy\\_Comp\\_vo2\\_Final\\_Full.jpg](http://carrington.edu/wp-content/uploads/2011/07/RenewableEnergy_Comp_vo2_Final_Full.jpg)

[39] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Statistika*. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/statistika>

- [40] OTE. *Statistika registrace* [online], 31. prosince 2015. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/statistika/statistika-poze/registrace>
- [41] ČESKÁ SPOLEČNOST PRO VĚTRNOU ENERGII. *Vyhřívání rotorových listů větrné elektrárny* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/clanky/vyhrevani-rotorovych-listu-vetrne-elektrarny/314>
- [42] ČESKÁ SPOLEČNOST PRO VĚTRNOU ENERGII. *Větrné elektrárny na stanovištích ohrožených námrazou* [online], 2. března 2009. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: [http://www.csve.cz/pdf/cz/090303\\_KU-Plzen\\_VtE-a-namraza.pdf](http://www.csve.cz/pdf/cz/090303_KU-Plzen_VtE-a-namraza.pdf)
- [43] MYPOWER. *Fotovoltaické panely a sníh*, diskuzní fórum [online]. 28. října 2012. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://forum.mypower.cz/viewtopic.php?t=807>
- [44] HRABĚ, Zbyněk. *Problematika zvýšení provozní účinnosti fotovoltaických panelů*, diplomová práce, 2012. Západočeská univerzita v Plzni.
- [45] EUROSTAT. *Renewable energy statistics* [online], květen 2015. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable\\_energy\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics)
- [46] WIKIPEDIA. *Koeficient ročního využití* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Koeficient\\_ro%C4%8Dn%C3%ADho\\_vyu%C5%BEit%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Koeficient_ro%C4%8Dn%C3%ADho_vyu%C5%BEit%C3%AD)
- [47] THE U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Monthly generator capacity factor data now available by fuel and technology* [online], 15. ledna 2014. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=14611>
- [48] KOLEKTIV AUTORŮ. *Energetická politika – sborník textů*, č. 76/2009. Centrum pro ekonomiku a politiku, Praha, květen 2009 (1. vydání). ISBN: 978-80-87806-56-2.
- [49] THE U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Electric Power Monthly* [online], 28. dubna 2016. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: [http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm\\_table\\_grapher.cfm?t=epmt\\_6\\_07\\_b](http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.cfm?t=epmt_6_07_b)
- [50] ENERGETICKÝ REGULÁČNÍ ÚŘAD. *O úřadu*. [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/o-uradu>

[51] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Cenová rozhodnutí*. [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/poze/cenova-rozhodnuti>

[52] TZB-INFO. *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů* [online], 13. března 2012. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/8364-narodni-akcni-plan-ceske-republiky-pro-energii-z-obnovitelnych-zdroju>

[53] O-ENERGETICE. *Příčiny solárního boomu v České republice* [online], 22. března 2015. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/priciny-solarniho-boomu/>

## **KAPITOLA 5. ANALÝZA MOŽNOSTÍ ZAPOJENÍ VIRTUÁLNÍ ELEKTRÁRNY DO PORTFOLIA OBCHODNÍKA S ELEKTŘINOU**

[54] ČEPS, a.s. *Činnosti* [online]. [cit. 2016-05-16].

Dostupné z: <http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Stranky/>

[55] ČEPS, a.s. *Regulační energie* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z:

<http://www.ceps.cz/CZE/DATA/VSECHNA-DATA/Stranky/Regulacni-energie.aspx>

[56] CHEMIŠINEC, Igor a kolektiv. *Obchod s elektřinou*, CONTE, Praha 2010 (1. vydání). ISBN 978-80-254-6695-7.

[57] SVOBODA, Jan. *Systémy hromadného dálkového ovládní*, 2013. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická.

[58] VOŠ A SPŠ KUTNÁ HORA. *Regulace spotřeby elektrické energie*, učební text. 2009.

[59] SEVEN, STŘEDISKO PRO EFEKTIVNÍ VYUŽÍVÁNÍ ENERGIE, O.P.S. *Územní energetická koncepce hl. m. Prahy (2003 – 2022)*, PŘÍLOHA 4. 2003. Číslo publikace: 2003/041/40/c

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Vybrané KJ dostupné na českém trhu a jejich parametry	str. 23
Tabulka 2: Vybrané dánské větrné elektrárny a data o nich	str. 46
Tabulka 3: Kumulovaná instalovaná kapacita FV elektráren v ČR	str. 48
Tabulka 4: Detailnější pohled na jednotlivé obchodní hodiny	str. 61
Tabulka 5: Roční zelený bonus na elektřinu z KVET	str. 65

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ASEK	Aktualizace Státní energetické koncepce
CZT	centrální zásobování teplem
DT OTE	denní trh organizovaný Operátorem trhu
DZT	decentralizované zásobování teplem
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES	elektrizační soustava
EU	Evropská unie
FV	fotovoltaika / fotovoltaický
HDO	hromadné dálkové ovládání
KJ	kogenerační jednotka
KVET	kombinovaná výroba elektřiny a tepla
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
OZE	obnovitelné zdroje energie
POZE	podporované zdroje energie
SZ	subjekt zúčtování
VE	virtuální elektrárna

## SEZNAM PŘÍLOH

1. Optimalizační model v programu Microsoft Excel - *Vypocetni model.xlsx*
2. Souhrn dat z trhu pro porovnání výkonnosti modelu - *Benchmarking.xlsx*
3. Data pro analýzu odchylek v ES ČR - *Odchylky.xlsx*