

# Budoucnost české energetiky

(Budeme mít dost čisté energie a tepla?)

Vladimír Wagner

Ústav jaderné fyziky AV ČR a FJFI ČVUT

- 1) Současné trendy v energetice
- 2) Riziko klimatických změn – snížení emisí
- 3) Přehled možných nízkoemisních zdrojů
- 4) Nízkoemisní možnosti Česka
- 5) Aktualizace Státní energetické koncepce
- 6) Možné scénáře a doporučení

Pchery



Německá sluneční elektrárna Neuhardenber má 148 MW



Jaderná elektrárna Temelín

# Současné trendy v energetice

- 1) Zvyšování životní úrovně v rozvíjejících se zemích (Čína a Indie) – **růst spotřeby energií**
- 2) **Důraz na ekologizaci a snížení emisí**
- 3) **Přechod k elektrině i v dopravě, průmyslu i částečně při vytápění**
- 4) **Rozporné trendy – decentralizace: malé lokální zdroje, inteligentní sítě ... prohlubování centralizace: obrovské větrné a solární farmy daleko od místa spotřeby, velmi dlouhá vedení (i podmořská) velmi vysokého napětí**
- 5) **Pokrok v technologiích a důležitost vědeckého pokroku a poznání**



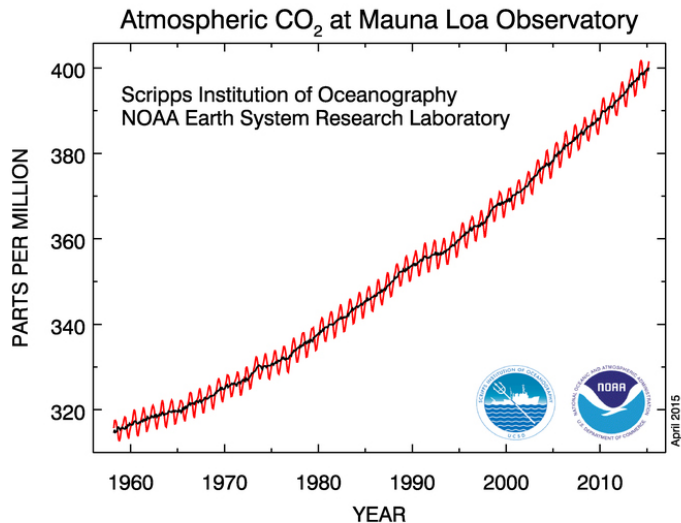
Enormní růst a znečištění čínských měst



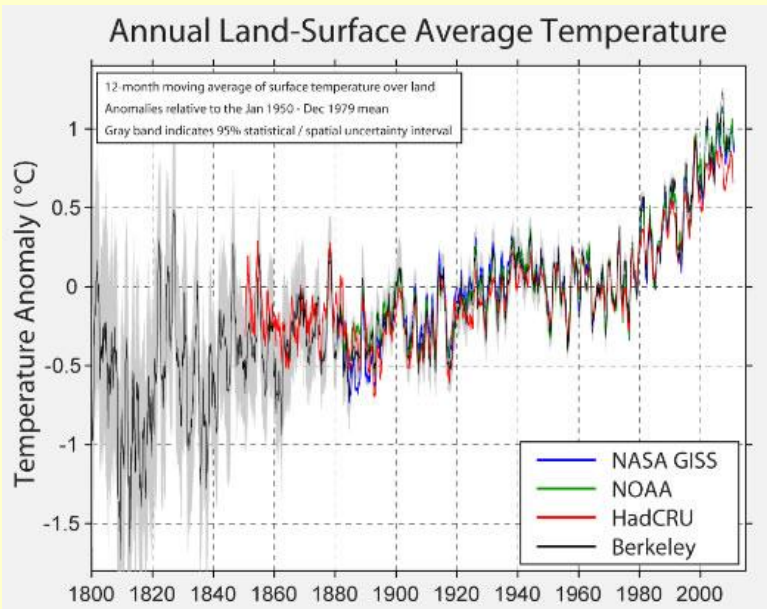
Větrné farmy jsou i velmi daleko od míst spotřeby

# Emise škodlivin a CO<sub>2</sub>

- 1) Přírůstek oxidu uhličitého a jeho průmyslový původ je potvrzen kvalitním měřením, velikost jeho dopadů na klima je stále otevřenou otázkou
- 2) Zdravotní a ekologické dopady emisí dalších škodlivin jsou také prokázány
- 3) Ústup od uhlí a ropy snižuje i množství zdravotně závadných škodlivin
- 4) Škodliviny produkuje i spalování biomasy
- 5) Spalování plynu minimum škodlivin, ale CO<sub>2</sub> sníženo jen na zhruba polovinu
- 6) Efektivní a racionální zavádění nízkoemisních zdrojů má smysl



Měření obsahu CO<sub>2</sub> v atmosféře v Laboratoři Mauna Loa    Měření CO<sub>2</sub> a <sup>14</sup>C v ÚJF AV ČR



## Změna globálních teplot

## Vhodnými opatřeními může být rozvoj mokřadů i přehrad

7) Určitě se vyplatí opatření na omezení dopadu klimatických změn (bez ohledu na to, co je způsobuje)

8) Zlepšit hospodaření s vodou, získat odolnější druhy zemědělských plodin, architektura zlepšující klima ve městech ...

9) Opatření na snížení produkce skleníkových plynů v energetice – jen pokud nemají horší sociální dopady

10) Spojit s řešeními ubývání fosilních zdrojů (změna zdrojů i úspory a efektivita)

11) 2013 - Elektrina (**Celkově**): ropa 4,4 (32,9) %, uhlí 41,3 (30,1) %, plyn 21,7 (23,7) %, voda 16,3 (6,7) %, jádro 10,6 (4,4) %, vítr 2,7 (1,1) %, slunce 0,5 (0,2) %.

# Možné nízkoemisní zdroje

- 1) **Vodní** – jeden z nejvýznamnějších, **Výhody:** možnost využití pro regulaci a akumulaci, velké i malé decentralizované  
**Nevýhody:** závisí na geografických podmínkách,
- 2) **Větrné** – **Výhody:** decentralizované i velké  
**Nevýhody:** závislé na počasí (fluktující), potřebuje vhodné podmínky,
- 3) **Solární** – **Výhody:** tepelné (velké), fotovoltaické i decentralizované **Nevýhody:** závisí na geografické poloze, fluktující závislé na počasí
- 4) **Na biomasu** – **Výhody:** umožňují regulaci, jsou i decentralizované využívající odpad  
**Nevýhody:** mají také emise, konkurují výrobě potravin
- 5) **Jaderné** – **Výhody:** nezávislé na počasí, na geografických podmínkách jen omezeně, umožňují regulaci  
**Nevýhody:** pouze velké zdroje, nutnost technologicky rozvinuté společnosti, postoj veřejnosti
- 6) **Geotermální, přílivové ....** (zatím ve vývoji)



## Větrné zdroje

V posledních desetiletích rychlý rozvoj ve světě (1996 6,1 GW) druhý nejvyužívanější OZE:

**Výkon (začátek 2017): Svět 487 GW Evropa 154 GW Německo 50 GW Bavorsko 2,2 GW**

**Instalováno (2016): Svět 55 GW Evropa 12,5 GW Německo 5 GW Bavorsko 0,34 GW**

Stále větší stroje, výkony až 12 MW, výška 200 až 260 m, průměr rotoru 120 – 200 m

Běžně 2 – 4 MW, koeficient využití 15 % - 40 % (střední Německo 17 – 20 %)

Vylepšování materiálů – klíčové pro odolnost v slaném mořském prostředí

Nové typy – plovoucí, létající – zatím jen testy a první prototypy

Základní problém – proměnlivost výkonu, stejné větrné podmínky na rozsáhlých územích



Instalace mořské větrné turbíny



Připravovaná turbína GE Renewable Energy – 12 MW, 260 m

# Solární zdroje

Ve světě nejrychleji rostoucí výkon, jak velké tak decentralizované malé zdroje

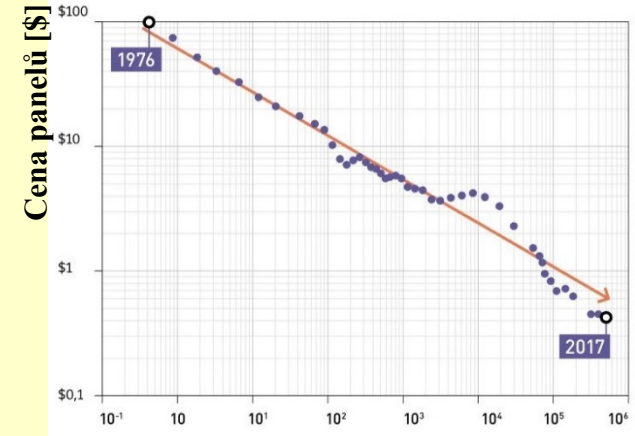
**Výkon (začátek 2017): Svět 310 GW Evropa 105 GW Německo 41 GW Bavorsko 11 GW**

V Evropě po vrcholu v letech 2010 až 2012 se rychlost instalace nových kapacit snížila a ustálila

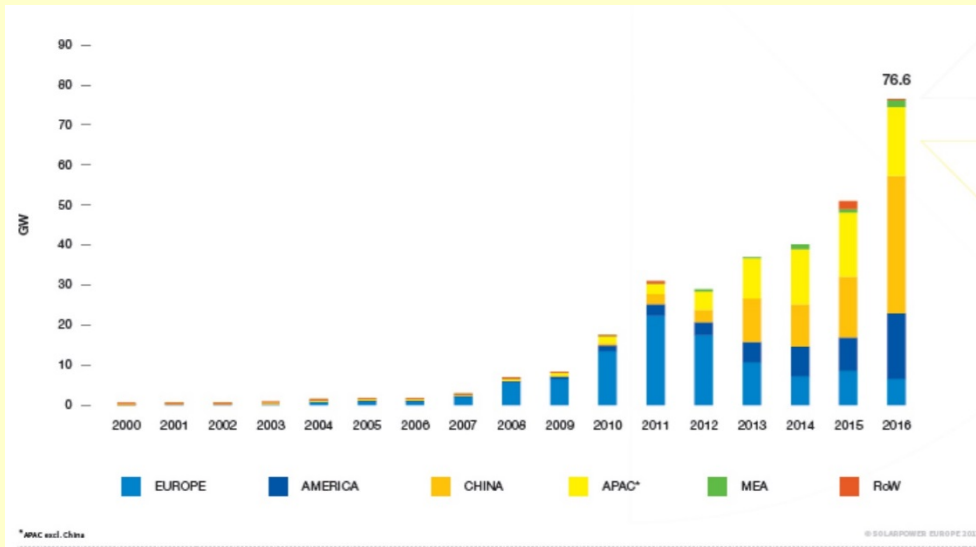
Cena panelů klesá (část snížení dána přesunem do Číny) ta však představuje stále menší část ceny elektrárny

Zlepšení účinnosti panelů, odolnosti, nové materiály

Problém s ukládáním energie – kombinace s bateriemi



Celkový počet vyrobených panelů



Instalovaný výkon během posledních let



Německý solární park Waldpolenz (Wiki)

# Jaderné zdroje

## Tři základní témata:

- 1) Přechod k reaktorům III. generace
- 2) Zavedení Malých modulárních reaktorů
- 3) Vývoj reaktorů IV. generace

Instalovaný výkon 393 GWe (začátek roku 2018)

Rozestavěno: 61,6 GWe

Renesance v Číně, stagnace v Evropě a USA

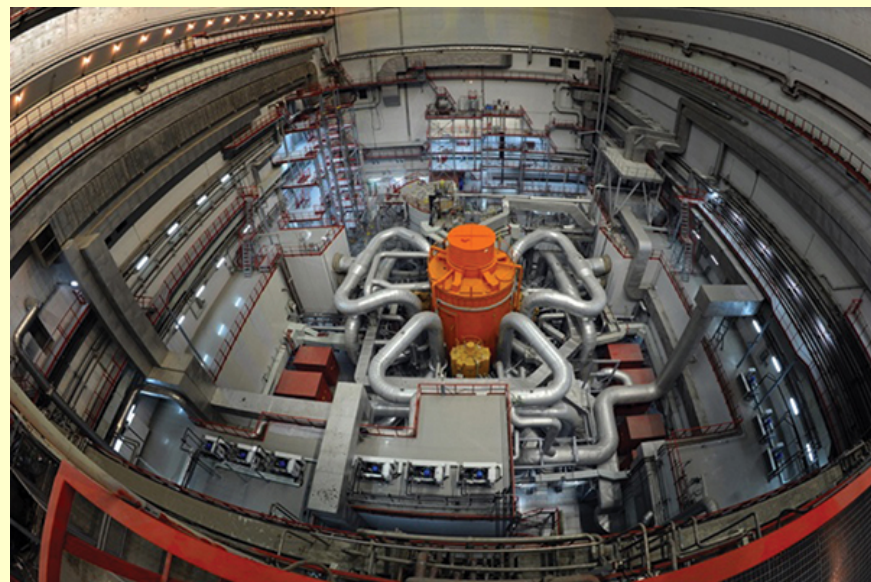
USA a Evropa – prodlužování životnosti bloků



Malý modulární reaktor  
HTR-PM v Číně



Reaktor EPR (Olkiluoto 3)



Rychlý reaktor chlazený sodíkem BN-800 –Bělojarsk 3



# Zdroje na biomasu

**Bioplynové stanice, jako zdroje elektřiny a tepla**

**Efektivní při využívání místního odpadu ze zemědělské a lesní výroby**

**Výhoda: nezávislé na počasí, využitelné pro regulaci podobně jako vodní elektrárny**

**Problémem je případná doprava biomasy na velkou vzdálenost a emise škodlivin**

**Využití jako paliva ukázalo na značná rizika masivního přechodu k energetickému využití biomasy**



**Bioplynová stanice Třeboň (zdroj EkoBonus)**



**Energetický blok na spalování biomasy (zdroj PBS Brno)**

# Spalování biomasy – opravdu ekologické řešení? Upozornění na možné ekologické riziko

Milión tun dřeva (800 km<sup>2</sup>) → půl milionů tun pelet

Drax (VB) – 4000 MWe potřebuje 7,5 milionů tun pelet ročně

Podobně Dánsko

Dovoz dřeva z Litvy, Estonska, Ruska a Ameriky

V případě následování této cesty Německem – obrovské riziko drancování lesů v rozvojových zemích

Cyklus obnovy lesa – řadu desetiletí – dlouho uzavíraný cyklus CO<sub>2</sub>



Uhelná elektrárna Drax ve Velké Británii a Avedøre v Dánsku přešly na spalování dovezeného dřeva

# Ukládání energie, regulace

- 1) Nutnost vyrovnání produkce a spotřeby elektřiny
- 2) Dramatická změna a zvýšení nároků při velkém podílu fluktuujících zdrojů
- 3) Do jisté míry vyřešena krátkodobá regulace a ukládání (otázka ekonomiky)
- 4) Klasika – PVE, nově baterie
- 5) Chytré sítě, využití elektromobility pro regulaci
- 6) Možnost převodu energie do plynu a zpět – dlouhodobá regulace – zatím vývoj



Současné největší bateriové úložiště firmy Tesla v Austrálii: 100 MW, 128 MWh



Přečerpávací elektrárna Dlouhé Stráně: 650 MW, 3900 MWh (zdroj ČEZ)

# Centralizace a decentralizace

- Protichůdné tendence: 1) **decentralizace**, malé lokální zdroje – využití grid parity a lokálních možností (malé větrníky, bioplynky, votovoltaiky)  
2) **extrémní centralizace** – velké farmy vzdálené od lidských sídel (velké přehrady, větrné a fotovoltaické farmy)

Využití prvků umělé inteligence, propojení různých doplňujících se zdrojů, vítr, slunce, místní odpad z biomasy – poloostrovní režim

**Úspory** z využití prvků průmyslu 4.0, elektromobility, úsporných technologií  
Naopak ke **zvýšení spotřeby** může vést elektrifikace, intenzivnější využívání úspornějších zařízení nebo využití blockchain technologií (viz bitcoin) či robotů



Střešní fotovoltaika, využití místního bioodpadu a větru pomáhá k decentralizaci



Velké větrné farmy nejen na moři potřebují vedení VVN stovky až tisíce km (zdroj Ramboll)

# Úspěšné přechody k nízkoemisní elektroenergetice

## Kombinace obnovitelných a jaderných zdrojů

**Ontario 2014** - konec uhlí v elektroenergetice – rekonstrukce reaktorů CANDU na další čtvrt století (ještě v roce 2003 čtvrtina elektřiny z uhlí), 19 reaktorů s výkonem 13,5 GWe, jádro 62 % elektřiny

**Francie** - během zhruba deseti let nízkoemisní elektroenergetiku, 58 reaktorů, 63 GWe, od devadesátých let minimum emisí, nyní stále více doplňováno OZE

**Švédsko, Švýcarsko** – kombinace jaderné a vodní elektřiny už řadu desetiletí

**Slovensko** – jádro a voda 87 %, Mochovce podíl nízkoemisní elektřiny zvýší

**Touto cestou se vydaly také Finsko, Maďarsko a Velká Británie**



Mořská větrná farma ve Švédsku



Kanadská elektrárna Bruce B

# Neúspěšné (zatím?) cesty k nízkemisní energetice

Pouze obnovitelné (nutnost využít fosilní zdroje): **Německá Energiewende, Dánsko**

**Německo** – 1) Politický zákaz využívání jaderné energetiky.

2) Spoléhání dominantně na fosilní zdroje a vítr (míra využití větru závisí na postavení dálkového propojení sever-jih).

3) Velmi intenzivní budování fotovoltaických zdrojů (velké výkony ale i tak relativně malé zastoupení v celkové výrobě elektřiny) s masivním využitím dotovaných výkupních cen.

4) Hlavně v pozdějším období spoléhání na dovoz elektřiny ze zahraničí (~~projekt DESERTEC~~, napojení na severské hydroelektrárny).



Uhelná elektrárna Moorburg nahrazuje jádro na severu Německa    Mořská větrná farma Baltik I

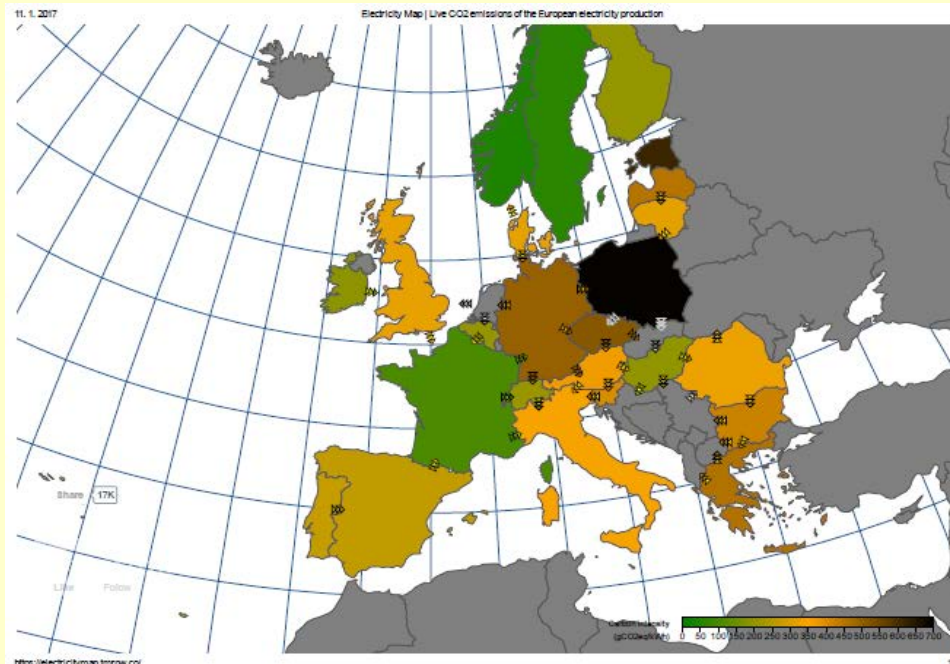
## Situace v České republice

- 1) Zásoby uhlí docházejí a pokud se nemají překročit těžební limity, tak je třeba poměrně velice rychle omezit jeho využívání pro produkci elektřiny.
- 2) Řada uhelných bloků bude odstavena kvůli nesplnění limitů na škodlivé emise.
- 3) Možnosti vodních zdrojů už z dominantní části využity.
- 4) Větrná mapa Česka je relativně velmi chudá (nemáme mořské pobřeží).
- 5) Biomasa – omezené možnosti (konkurence potravinám a ekologii)
- 6) Nejde o tak ekonomicky silný stát, velmi silná závislost na průmyslu a exportu, větší sociální citlivost obyvatel ke zvyšování cen elektřiny.
- 7) Značné množství uhelné produkce elektřiny v okolí (Německo a Polsko) – škodlivé emise neznají hranice



# Dopad energetické politiky EU

- 1) Tlak na snižování emisí škodlivin i oxidu uhličitého
- 2) Tlak na odstoupení od uhlí (kromě Polska nespolehává nikdo v budoucnu na uhlí).
- 3) Tlak na zvýšení podílu obnovitelných zdrojů
- 4) Tlak na elektromobilitu a decentralizaci energetiky
- 5) Tlak na propojení evropské energetiky
- 6) Velmi rozporný postoj k jaderné energetice



*Emisi oxidu uhličitého lze průběžně sledovat na stránkách na stránkách <https://electricitymap.tmrow.co/>*



# Německá „Energiewende“ (lekce)

- 1) Hlavní priorita – odstavení jaderných zdrojů
- 2) Další požadavek – maximalizovat podíl obnovitelných zdrojů

**Nehledá se sociálně ekologické optimum:**

- 1) Sociálně dostupná energie (efektivita její výroby)
- 2) Ekologicky šetrná produkce energie

**Výsledek:**

- 1) Intenzivní deformace trhu dotacemi OZE (nevplatí se stavba žádných nedotovaných zdrojů) – obrovský přebytek nevyužitého výkonu
- 2) Intenzivní produkce z fosilních zdrojů, poslední tři roky hlavně z uhlí
- 3) Růst cen elektřiny pro spotřebitele (neefektivní využití i velmi drahých zdrojů)
- 4) Masivní přetoky elektřiny přes hranice ohrožující sousedy



**Německá uhelná elektrárna Neurath je druhá největší v Evropě**

# Německá Energiewende v číslech

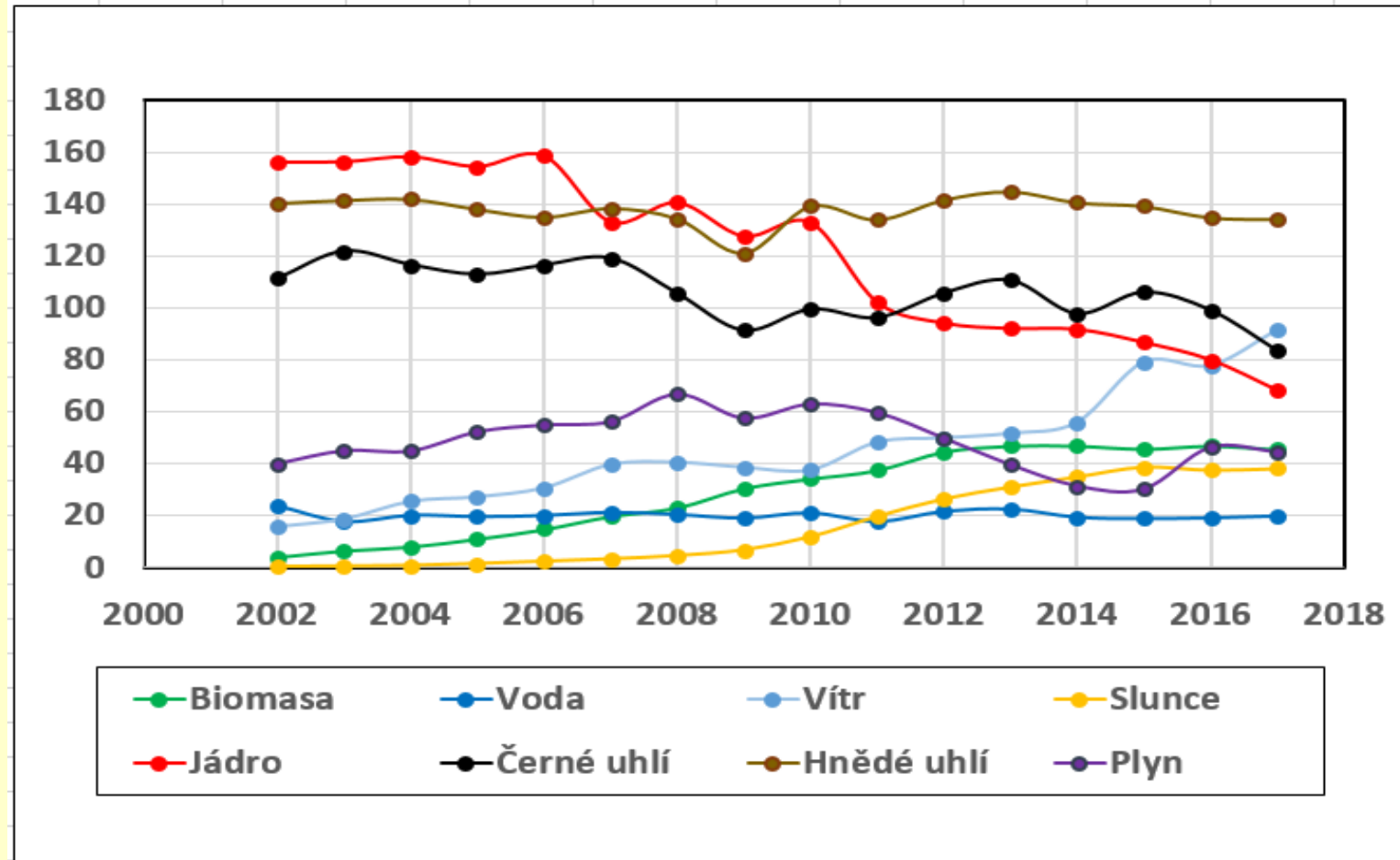
Voda: zůstává stejná

Biomasa: saturace posledních pět let

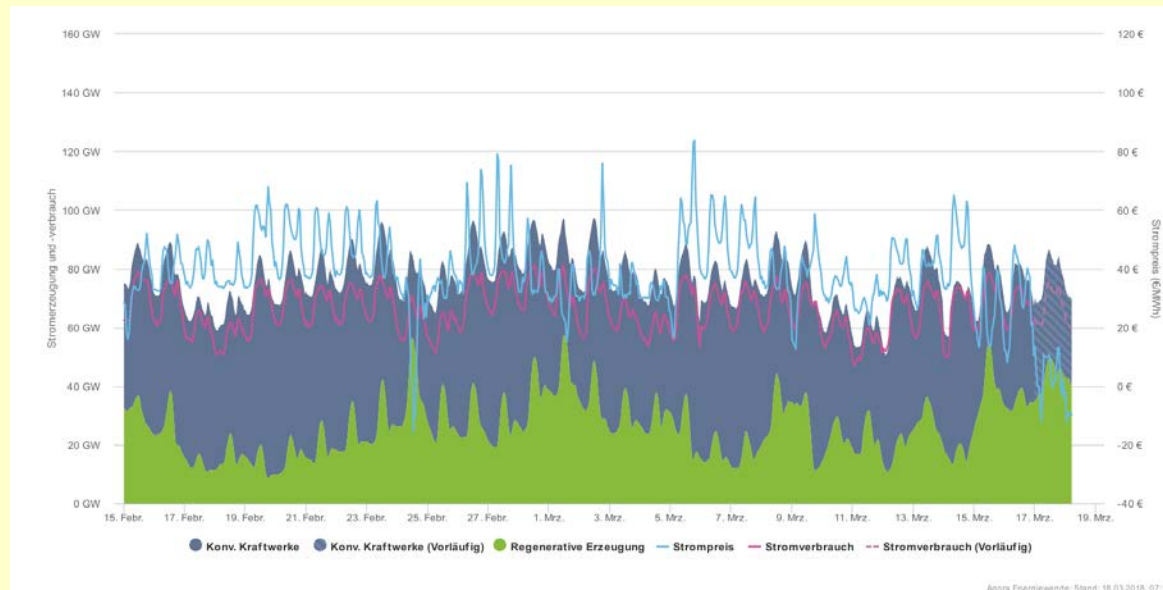
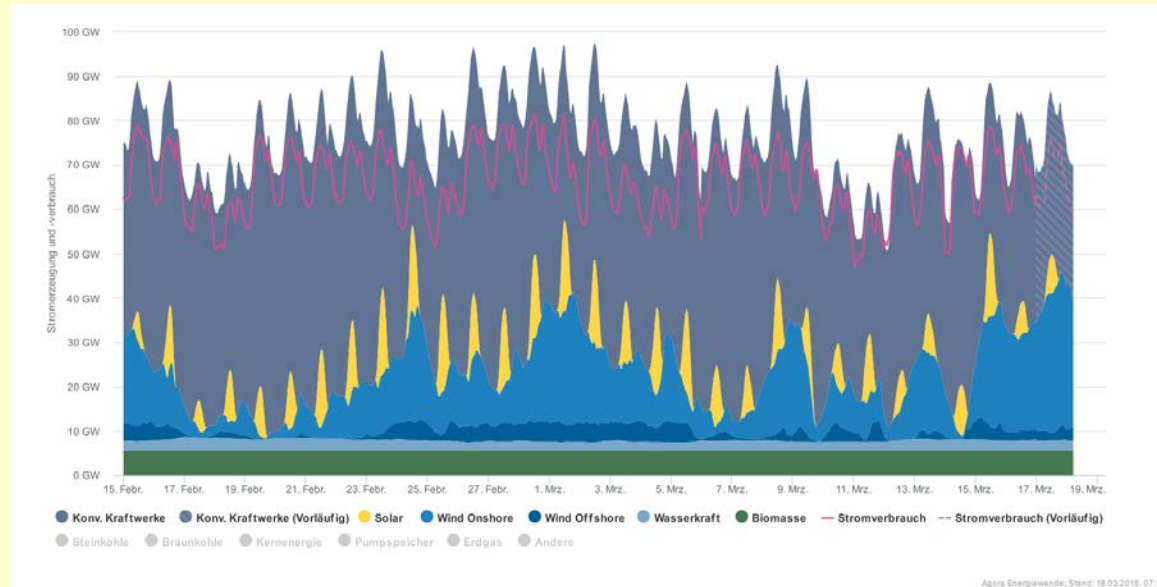
Fotovoltaika: růst se zastavil

Vítr: stále roste (jak je blízko limitu?)

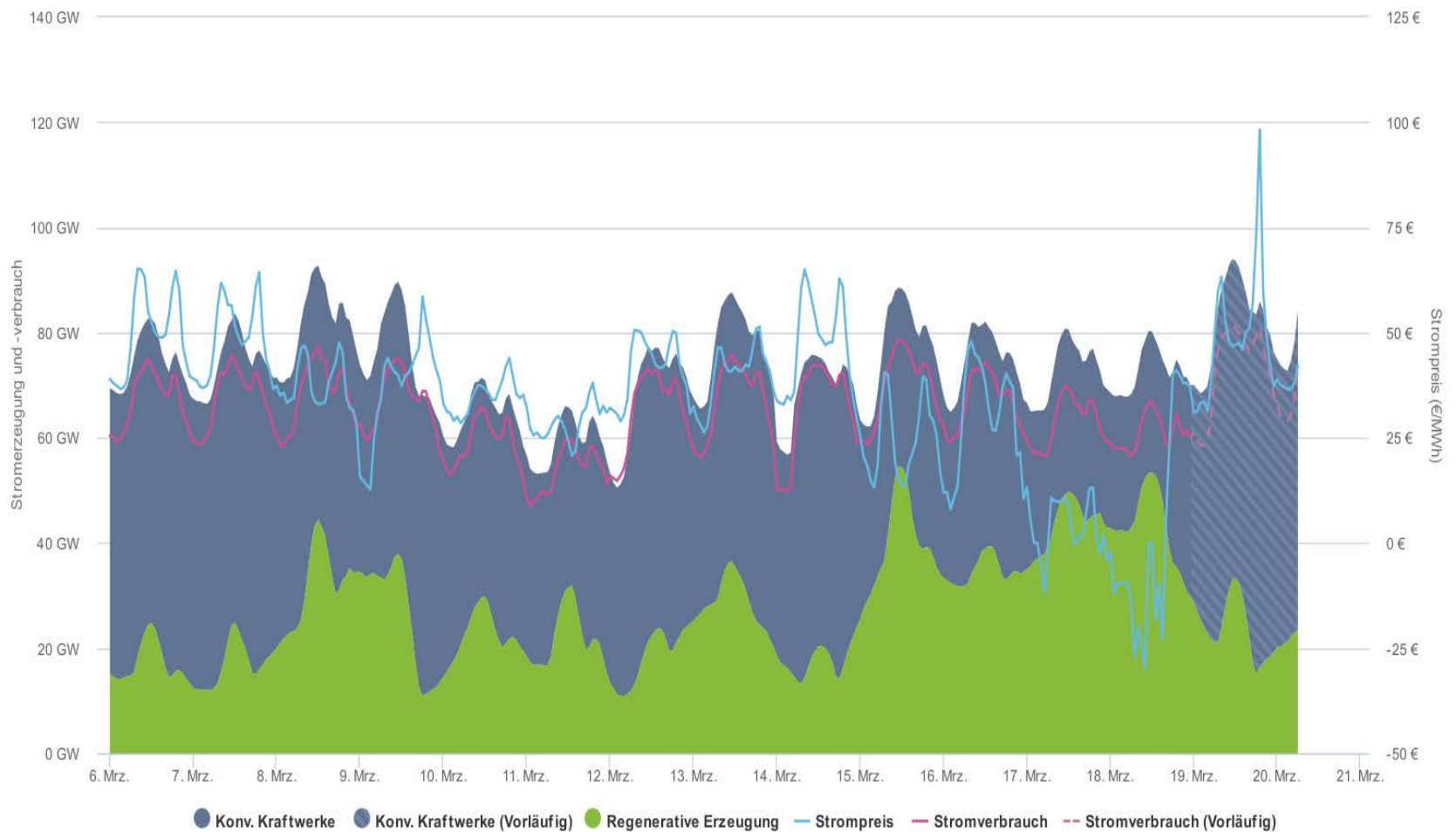
**Pokles jádra → i celkový pokles nízkoemisní produkce**



# Před začátkem jara - situace za poslední měsíc



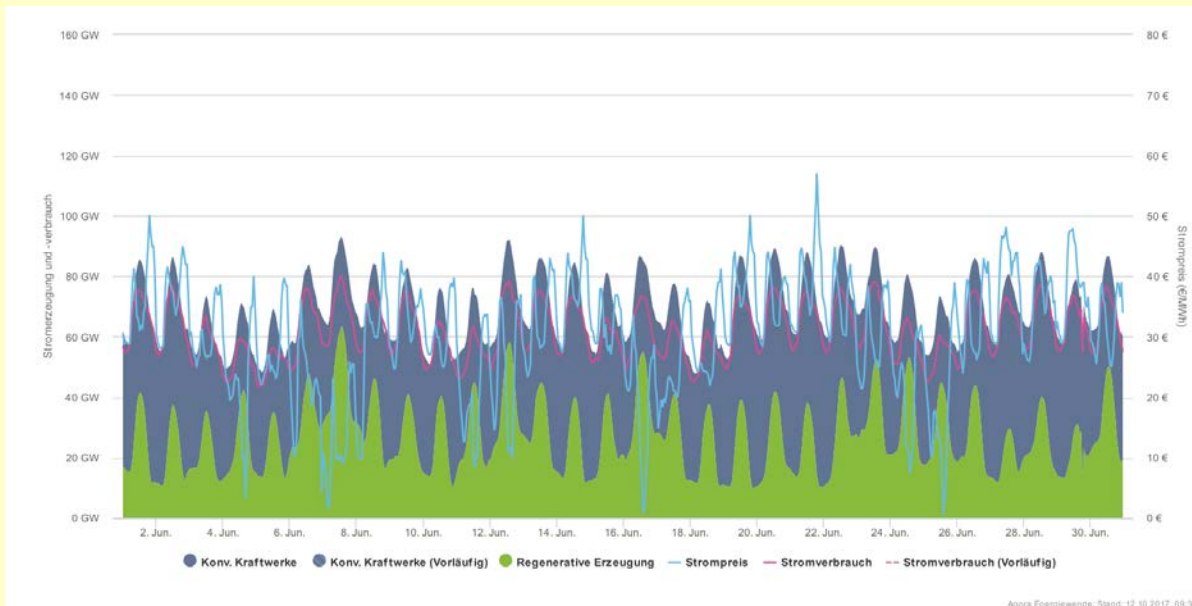
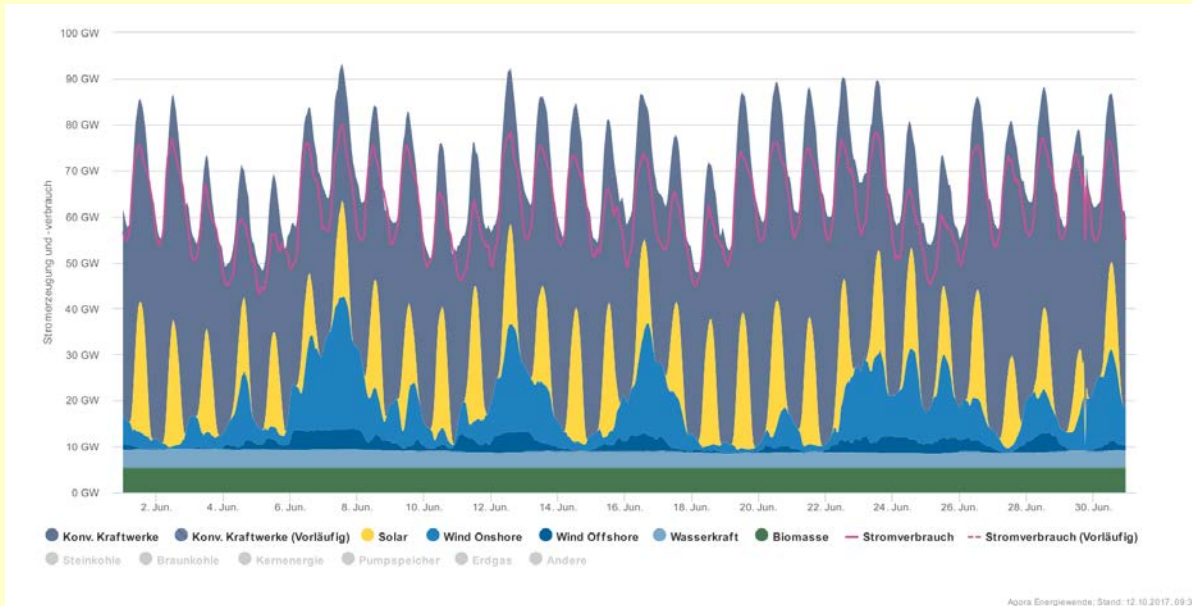
**Stránky:**  
**Agora Energiewende**



Agora Energiewende; Stand: 20.03.2018, 08:30

<https://www.agora-energiewende.de/de/themen/-agothem-/Produkt/produkt/76/Agorameter/>

# Ideální podmínky pro fotovoltaiku – červen 2017



# Přechodový rok 2022

- 1) Odstaveny všechny jaderné elektrárny v Německu (obrovský dopad hlavně na sousední Bavorsko)
- 2) Odstaven značný počet starších uhelných bloků v regionu na základě nesplnění limitů na emise (i v Česku a Německu)
- 3) Stále nebude postaveno spojení mezi severem a jihem Německa
- 4) Větrné elektrárny s celkovým výkonem 12 GW v Německu ztratí podporu (byla na 20 let)

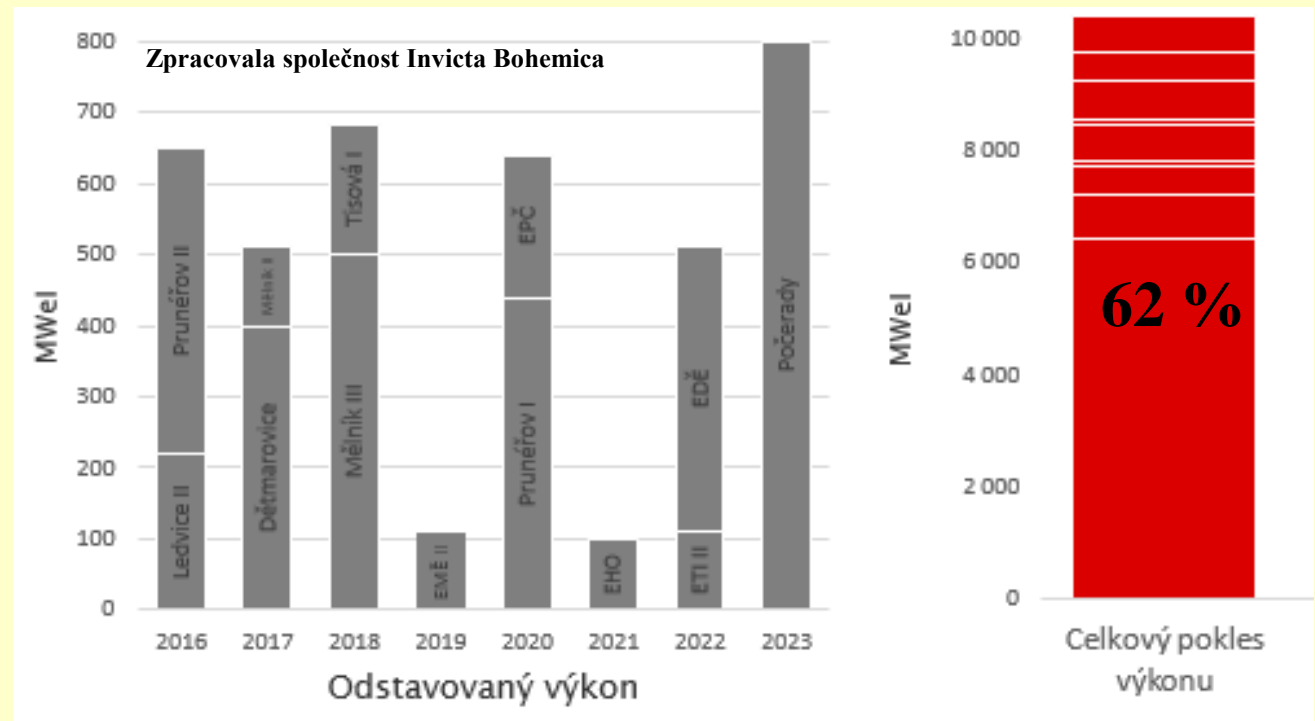
Odstavování uhelných bloků u nás: **100 %**

Pokles dostupného výkonu 2015 - 2023 až na 62 % původního

Důsledky:

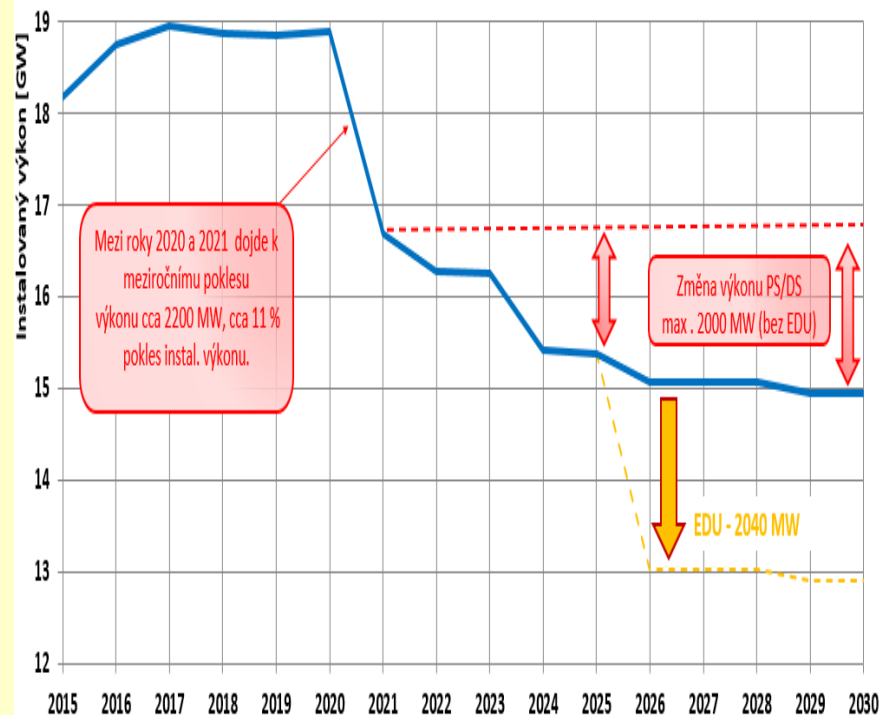
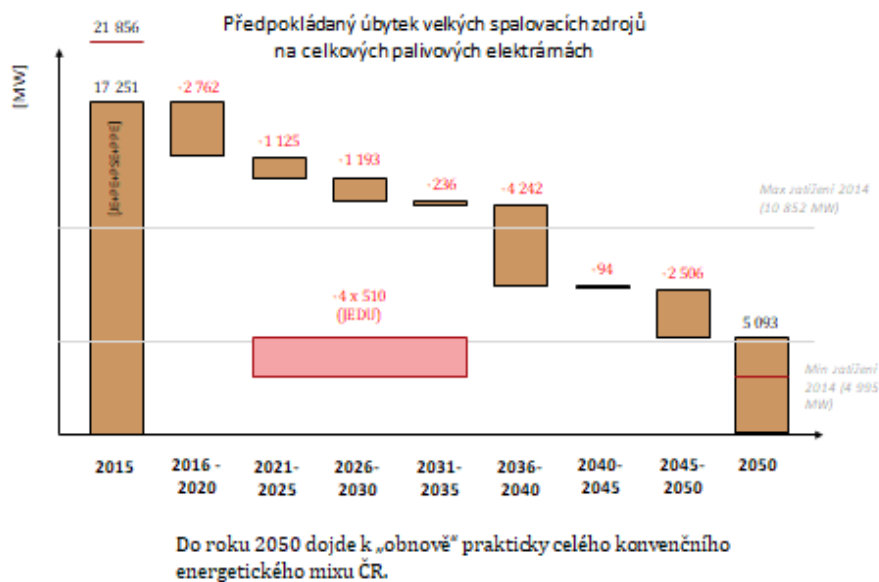
- 1) Konec exportu
- 2) Celková výroba stačí
- 3) Problém s regulací

Nutno s tím počítat a připravit se



# Možný průběh úbytku výkonu z prezentace MPO a předpokládaná ČEPS

Přesný průběh závisí na přístupu k ekologizaci a emisním limitům  
 V každém případě však do roku 2025 přijdeme o velkou část uhelných bloků  
 V dalších letech do roku 2040 o téměř všechny zbývající



# Zlomový rok 2035 – nutnost obměny zdrojů

- 1) Postupné odstavování Dukovan
- 2) Odstavení dalších uhelných zdrojů
- 3) ČEZ – po roce 2035 pouze tři velké uhelné bloky
- 4) Nutnost obměny velké části potřebné kapacity.



**Teoreticky by bylo možné provozovat Dukovany až šedesát let, ale nejen vzhledem k politické situaci v našem okolí je to velmi nepravděpodobné**



# Aktualizovaná státní energetická koncepce

Schválení aktualizace Státní energetické koncepce – 18. května 2015

## Základní téze:

- 1) Postupné odstoupení od využívání fosilních paliv
- 2) Přejít k využívání nízkoemisních zdrojů (jaderných a obnovitelných)
- 3) Jaderné – velké, obnovitelné – decentralizované pro místní spotřebu
- 4) Maximalizace využití úspor a zvyšování efektivity

## Co je třeba udělat pro realizaci této koncepce?

- 1) Nutnost nalezení způsobu financování nízkoemisních zdrojů
- 2) Nalezení široké a stabilní podpory pro SEK (rozumět problematice)

Rok 2040 výroba elektřiny: 46 až 58 % jaderná energetika, z 18 až 25 % obnovitelné zdroje, z 11 až 21 % hnědé uhlí a zemní plyn z 5 až 15 %.



## Některé možné scénáře

**Scénář 1: Supernízkoemisní** – postavení většího počtu jaderných bloků, intenzivní budování obnovitelných zdrojů, úložiště energie ...  
Česko by zásadně přispělo ke snížení emisí.  
Dnes už velmi nepravděpodobný

**Scénář 2: ASEK** – poměrně široké rozmezí umožňující optimalizaci podle podmínek, nutnost výstavby jaderných bloků a úspěšný rozvoj obnovitelných zdrojů a ukládání energie

**Scénář 3: Druhé Bavorsko** – postupný úbytek výkonu v jaderných a uhelných zdrojích, spoléhání na větrné zdroje na severu Německa a plynové zdroje regulující síť u nás i v Německu.  
Situace v Bavorsku ukáže, k čemu scénář vede.  
Scénář pravděpodobný v případě pokračování současné nečinnosti

**Scénář 4: Výpadek Dukovan už v roce 2025** – třeba tlakem Rakouska a Německa – spolu s odstavenými uhelnými bloky ztráta přes 6 GW výkonu.  
V případě nečinnosti a cestě k Bavorskému scénáři povede k velkým nárokům na regulaci a import elektřiny.

**Je třeba nalézt optimum a ve všech scénářích zajistit bezpečné fungování našeho energetické – výzva pro všechny související obory**

## Co je třeba vyřešit a dělat?

Během dvou let od schválení ASEK se zatím udělalo velmi málo – ASEK pořád platí, ale zhoršují se podmínky pro jeho naplňování. **Nutná transformace energetiky.**

- 1) Nutnost vyřešit financování jaderných bloků – do roku 2035 alespoň náhrada Dukovan
- 2) Nutnost vyřešit efektivní podporu obnovitelných zdrojů
- 3) Nutnost vyřešit efektivní podporu inteligentních sítí, decentralizované výroby a skladování energie (simulace efektivní regulace a spolupráce decentralizovaných – **energetika 4.0**)
- 4) Zajistit efektivní propojení se sousedy a celoevropskou sítí
- 5) Podpora rozvoje průmyslu v potřebných oborech
- 6) Podpora výzkumu a vývoje
- 7) Podpořit efektivně **přechod k elektromobilitě** - český automobilový průmysl
- 8) Připravit se na překonání „kritických“ roků 2022 (odstavení řady uhelných bloků a německých jaderných) a 2035 (odstavení Dukovan)
- 9) Nutnost podpořit potřebné změny i **efektivní tarifní reformou**

**Vytvořit dlouhodobou shodu společnosti a politické reprezentace na české energetické koncepci – to umožní stabilitu a hlavně možnost čelit problémům a tlaku ze zahraničí – pozitivní je jistá úroveň shody**

# Závěry

- 1) Trendy v energetice – růst spotřeby v rozvojových zemích, **přechod k nízkoemisním zdrojům, přechod jak k větší decentralizaci, tak naopak i k vyšší centralizaci**
- 2) **Růst množství CO<sub>2</sub> a jeho průmyslový původ jsou jasně prokázány, růst globální teplot také, podíl antropogenních vlivů a budoucí vývoj je otevřenější**
- 3) Opatření zvyšující odolnost společnosti vůči klimatickým změnám (pomohou v každém případě), nízkoemisní energetika (nutnost srovnávat náklady a dopady)
- 4) **Různé geografické, geologické i podnebné podmínky vyžadují různé energetické koncepce a strukturu zdrojů.**
- 5) **Řada příkladů ukázala, že je možné vybudovat nízkoemisní elektroenergetiku založenou na kombinaci jaderných a obnovitelných zdrojů.**
- 6) **Není zatím příklad nízkoemisní elektroenergetiky založené pouze na OZE**
- 7) **Česko se s docházejícím uhlím a neexistencí oblastí s pravidelným stabilním prouděním nemůže spolehnout na uhlí a vítr . Těžko se obejde bez jádra v případě, že chce přispět k nízkoemisní energetice a má pomáhat k udržení stability sítě.**
- 8) **Je třeba se připravit na transformaci české energetiky a kritická období okolo roku 2022 (přestaneme být vývozci elektřiny) a roku 2035 (náhrada většiny současných zdrojů).**