

Reálné scénáře nefosilní elektroenergetiky ČR

[Res. Prof. Mgr. Jan Horáček, dr. és sc.](#), [Matyáš Baloun](#), Ing. Tomáš Foldyna, PhDr. Milan Smutný
realisticka.cz

Shrnutí: Ačkoliv některé země s vhodnou geografickou polohou mohou mít energetický mix dominantně založený na obnovitelných zdrojích energie (OZE), Česká republika vzhledem k současným technologickým možnostem spojeným s geografickým umístěním země, nemůže svou elektroenergetiku postavit na OZE jako na základním / hlavním zdroji elektrické energie, z důvodu vysoké závislosti větrné a solární energie na počasí suchozemského státu ve střední Evropě. Tento principiální problém většina obhájců "100 % OZE" bohužel zcela ignoruje. Po odstavení všech elektráren uhelných a případně i jaderných by ČR čekaly nepravidelné blackouty (např. v obdobích zimní inverze a pochopitelně v noci), a to i kdybychom investicí téměř 4 bilionů Kč, 50x navýšili aktuální počet solárních a větrných elektráren. Instalace baterií za 1 bilion Kč by situaci zachránilo na většinu nocí, ale bohužel ne na všechny, takže bychom museli každopádně zvýšit počet paroplynových elektráren šestinásobně. Připomeňme, že v roce 2020 činil příjem státního rozpočtu ČR 1,5 bilionu Kč. Dosažení cirkulární ekonomiky s tak gigantickým množstvím nestabilních zdrojů, a to včetně jejich akumulace, je iluzí. Mnohem racionálnější nám připadá scénář blízký Státní energetické koncepci ČR z roku 2015, tedy jen s několikanásobným navýšením OZE a se dvěma jadernými bloky navíc. Takový scénář vede nejen k elektroenergetické soběstačnosti a celkové bezpečnosti ČR, mnohem nižší těžbě materiálů a jejich pozdější recyklaci, ale i k nejnižší reálně možné uhlíkové stopě, která by byla 9x nižší než ta současná, což je vzhledem ke klimatické politice EU do poloviny století výborné.

Poznámka: všechny zde uvedené ceny jsou pouze orientační a počítané v současné ceně kapitálu, nezahrnují tak budoucí vývoj včetně inflace. Zde také uvažujeme konstantní spotřebu elektřiny na základě dat z roku 2019, zatímco nastávající elektromobilita a absence fosilního plynu a uhlí ve vytápění, zvyšuje budoucí spotřebu elektřiny cca o 1 % ročně.

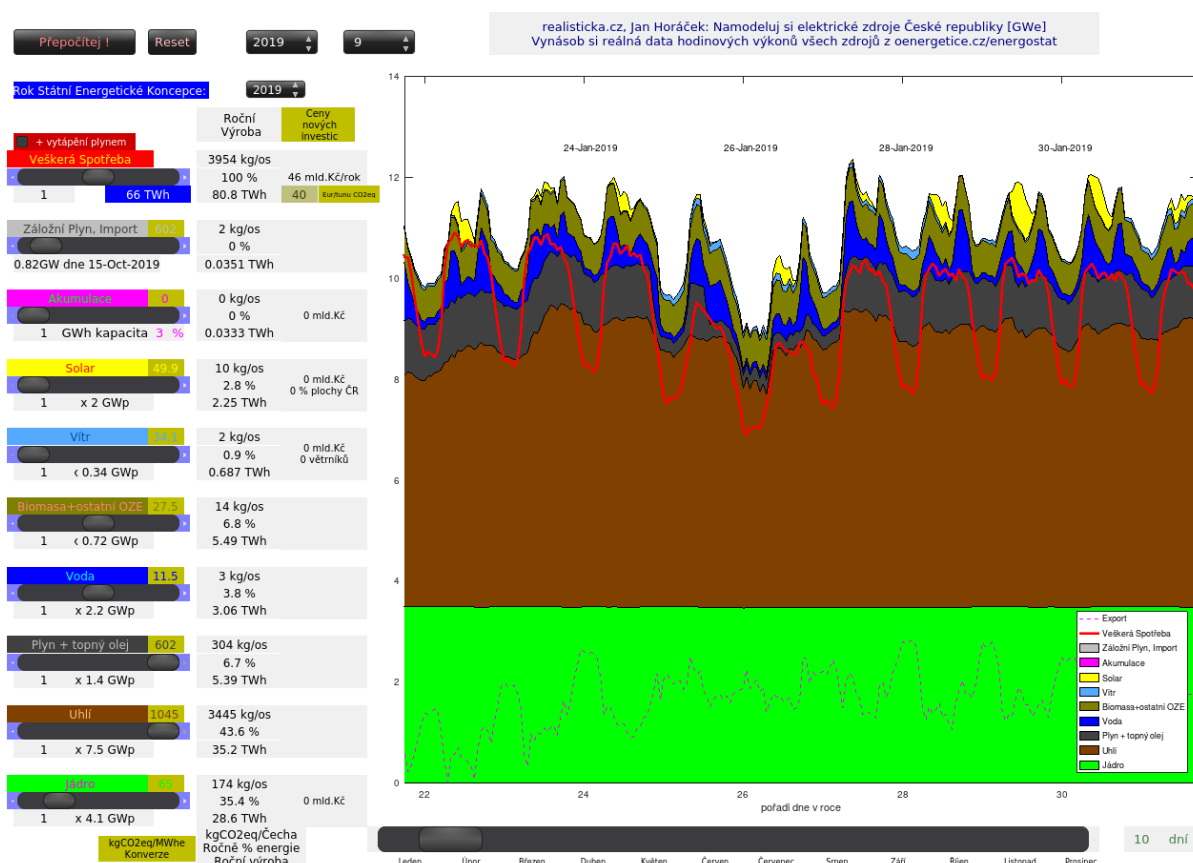
Proč EU a tudíž i česká vláda plánuje ukončit spalování uhlí (do roku 2038)?

ČR přistoupila k Pařížské klimatické dohodě 2015, která požaduje dekarbonizovat ekonomiku. Víme, že uhlíková stopa českého občana je jedna z největších na světě, jelikož ČR má nejvyšší podíl průmyslu na tvorbě HDP ze zemí EU a jsme v mnoha položkách subdodavatelem i pro větší ekonomiky. Právě export se podílí 80 % na tvorbě HDP. Víme ale na druhou stranu, že zbavit tuzemskou ekonomiku fosilních paliv nelze bohužel ani snadno, ani obtížně, spíše super obtížně. Protože prakticky vše co denně děláme, potřebuje fosilní paliva - od vytápění, přes dopravu, průmyslovou výrobu až k nákupu potravin a jiného zboží. Víme, že z těchto odvětví **lze nejnázee dekarbonizovat právě elektroenergetiku, což je tématem tohoto článku, ze které pochází 40 % veškerých emisí ČR**. Jak dokazujeme níže, nahradit fosilní paliva obnovitelnými zdroji sice lze, ale v podmínkách České republiky bohužel limitovaně, a to

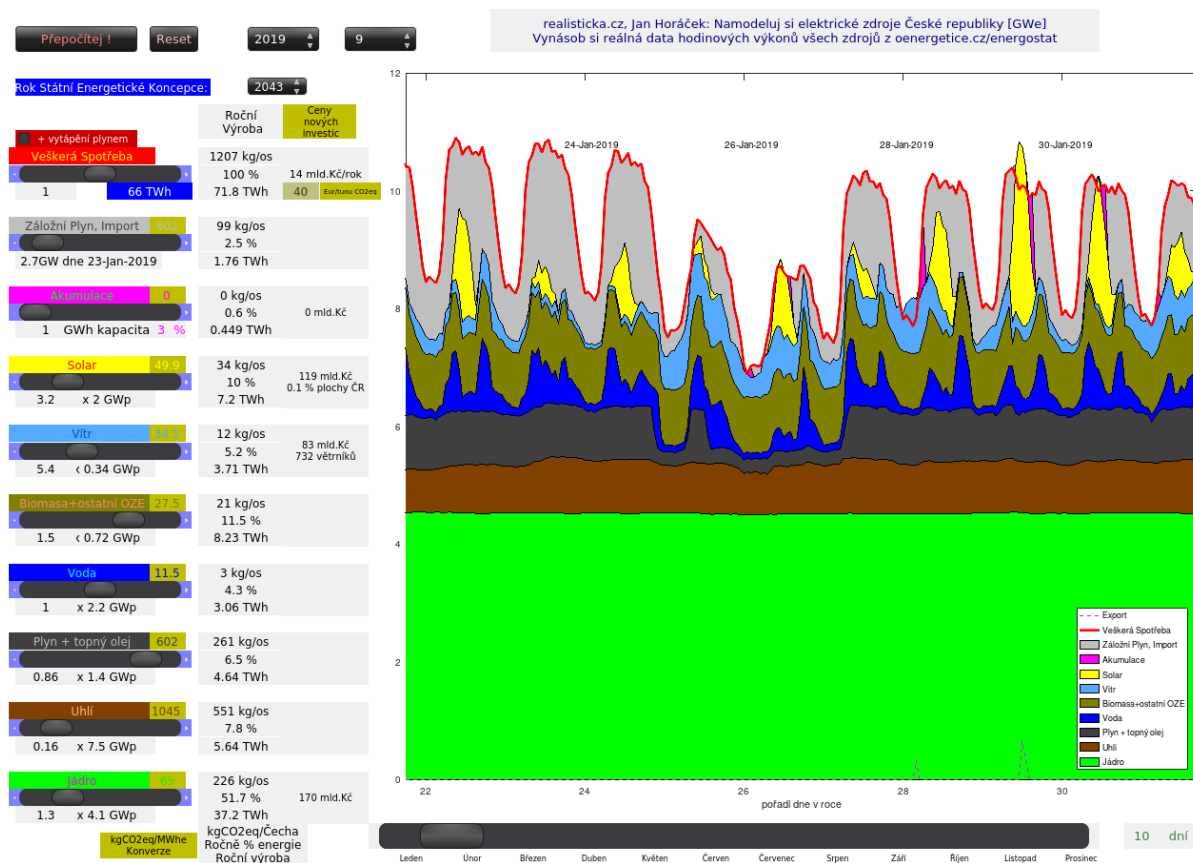
- Z důvodu nedostatku biomasy. Lokální dřevo (uhlíkově-neutrální cyklus v horizontu ½ století) pálíme levně v domácích kamnech, což doporučujeme ponechat, ale to lze navýšit jen velmi málo. Dřevo rozhodně nevystačí udržitelně v teplárnách či

elektrárnách nebo snad v autech. Na to naše lesy ani zemědělský odpad zdaleka nestačí, nehledě na ostatní emise skleníkových plynů z pálení biomasy.

- Solární a větrné elektrárny nechť jsou součástí elektroenergetického mixu. Otázka je, kolik procent energetické mixu mohou tyto zdroje reálně pokrýt? Viz dále.
- Některé studie [např. [zde](#), [zde](#), [zde](#), [zde](#)] ukazují, že téměř 100 % OZE lze dosáhnout, že je to jen otázka politických priorit a financí. Bohužel není. V ČR nemáme ani geotermální ložiska, ani vysokohorské řeky s přehradami, ani obrovská území lesů.
- **Hlavní limit solárních a větrných zdrojů je totiž nemožnost jejich energií akumulovat.** To je ale nezbytné kvůli jejich závislosti na počasí, denní a roční době. *Tento prostý fakt bohužel drtivá většina studií prosazujících více OZE zcela ignoruje!* Tudíž, pokud se ČR (po vzoru sousedních zemí) zbaví veškeré výroby elektřiny z uhlí a jaderných zdrojů (jádra se zcela zbaví Německo již koncem 2022!), tak když nezasvítí a nezafouká (což se děje v zimě často i týden), nastane rozsáhlý blackout. Popírat tento fakt znamená naivně předpokládat existenci skvělé a výhodné akumulace energie. Není totiž důležité jenom to, zdali se ročně vyrobí stejné množství energie, jako se spotřebuje, ale také zda jí bude dostatečné množství v jakémkoli okamžiku dne i noci, 24 hodin týdně, 365 dní v roce. Protože tak se na její dostupnost dosud mohly spolehnout podniky i domácnosti.
- Podívejme se proto na tento **graf spotřeby a výroby elektrické energie v ČR**, a to pro každou hodinu v lednu roku 2019. **Červená křivka** veškeré spotřeby ČR ukazuje polední nárůsty cca o 20 % oproti nocím a podobně i víkendové poklesy.

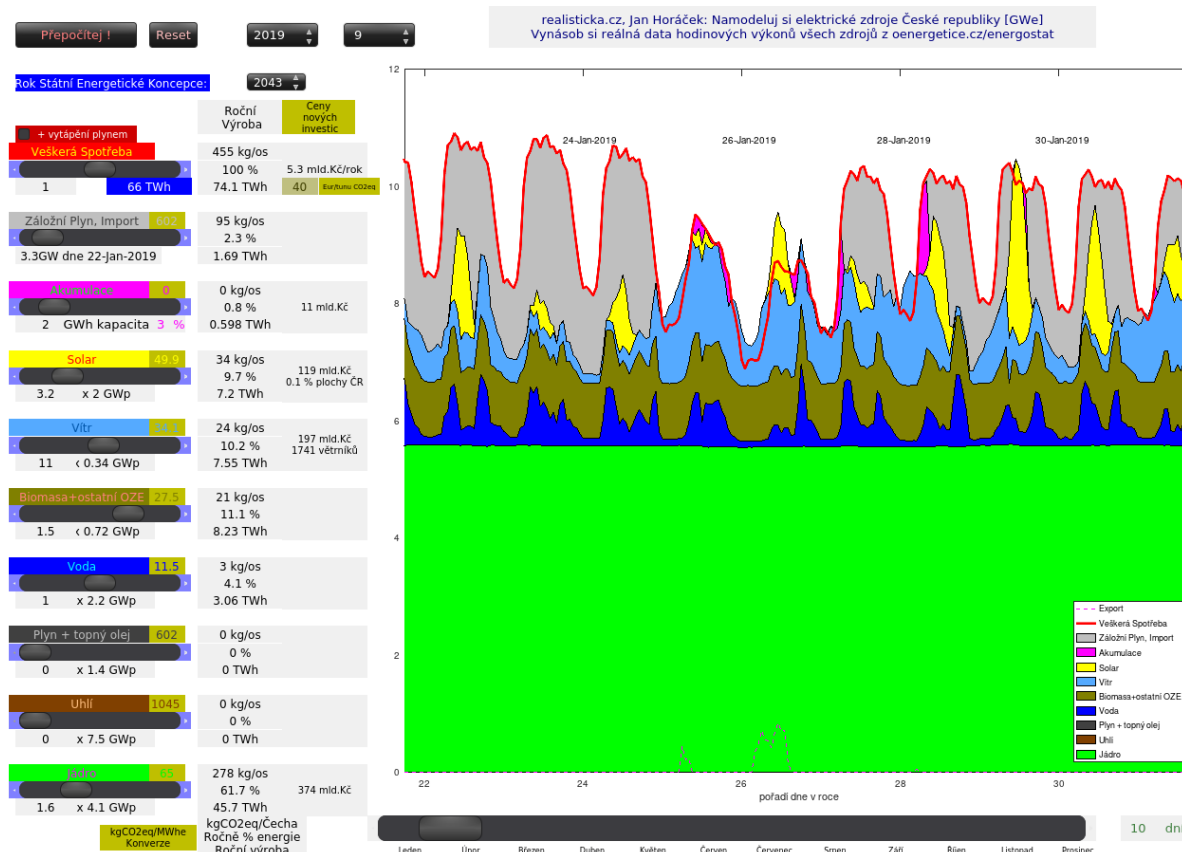


Navzdory masivnímu rozvoji OZE posledních dekád, stále drtivou většinu elektřiny vyrábí fosilní, vodní, biomasové a jaderné zdroje, zatímco solární a větrné v lednu pouze zlomek procenta. Jelikož celková česká roční výroba 80.8 TWh převyšuje spotřebu 66 TWh, tento náš export (čárkovaně) "uhelné elektřiny" je hlavním zodpovědným za naše vysoké emise skleníkových plynů 3954 kgCO₂eq/osobu/rok, za které ročně platíme 46 mld. Kč v mezinárodních uhlíkových povolenkách. Kladná obchodní bilance ve výrobě elektřiny ovšem rokem 2023 skončí plánovaným uzavřením několika hnědouhelných elektráren, čímž klesnou emise skleníkových plynů ČR na 2972 kg/os/rok. Na základě **Státní energetické koncepce (SEK) z roku 2015**, která si podle Pařížské klimatické dohody klade za cíl dosažení částečné uhlíkové neutrality, cílíme k následujícímu energetickému mixu v roce **2043**, kde jsme jednoduše vynásobili křivky výroby jednotlivých zdrojů očekávanou změnou instalovaného výkonu (>1 ... zvýšení počtu, <1 ... odstavení zdrojů):



Touto proměnou energetického mixu klesnou emise skleníkových plynů ČR na **1207 kg/os/rok**. Tuto hodnotu jsme dostali jako součet hodnot emisí uvedených u každého zdroje podle přepočetniho faktoru analyzujícího *celý komplexní životní uhlíkový cyklus* energetických zdrojů [B. Sovacool, *Environmental Science & Technology* (2021)]. Emise plynu počítáme včetně úniků metanu z těžby a transportu do ČR. Zde snížíme instalovaný výkon uhlí na 16 procent aktuálního instalovaného výkonu, což fakticky odpovídá poslední uhelné elektrárně. Oproti tomu navýšíme instalovaný výkon o 30 % v jaderné energetice, a to plánovanou výstavbou jednoho nového bloku elektrárny Dukovany II (za 170 mld. Kč v současných cenách) s předpokládaným prodloužením stávajících čtyř reaktorů. Dále navýšíme počet solárních elektráren 3,2x a větrných 5,4x za investici v hodnotě 83 + 119 mld. Kč. Tímto se za realistické investice ke klimatickému cíli velice přiblížíme a zároveň ročně ušetříme 46 - 14 = 32 mld. Kč za emisní povolenky.

Doporučení státní Uhlé komise z 2020 je **zbavit se veškerého uhlí** už v roce 2038. Emise skleníkových plynů ČR tímto dále snížíme na polovinu, tedy na **483 kg/os/rok**, pokud ale zároveň postavíme ještě jeden nový jaderný blok v Temelíně (čímž zvýšíme instalovaný výkon jádra na 1,6x). Pokud dále např. počet větrných elektráren zvýšíme 11x, tedy na 1741 turbín, snížíme emise skleníkových plynů dále na 455 kg/os/rok.



Tento mix **“62 % jádro + 35 % OZE”** blízký optimu z hlediska klimatických závazků, energetiky a ekonomie by nám navíc umožnil prodávat Německu velmi výhodně nadbytečnou elektřinu od podzimu do jara, kdy Německo jí bude mít nedostatek z nestabilních OZE. Jelikož rychlost oteplování Země je přímo úměrná celosvětové roční emisi CO_{2,eq}, v takovém scénáři **klesne rychlost oteplování na 455/3954 = 1/9** oproti současnosti, což by bylo vynikající, pokud by ovšem podobná opatření provedl také celý svět a také ostatní ekonomické sektory (viz články na realisticka.cz).

Takové snížení emisí CO₂ by lidstvu poskytlo více než dostatek času (minimálně století) na výzkum a instalaci nově objevených zdrojů nefosilní energie a akumulace (viz závěr článku)

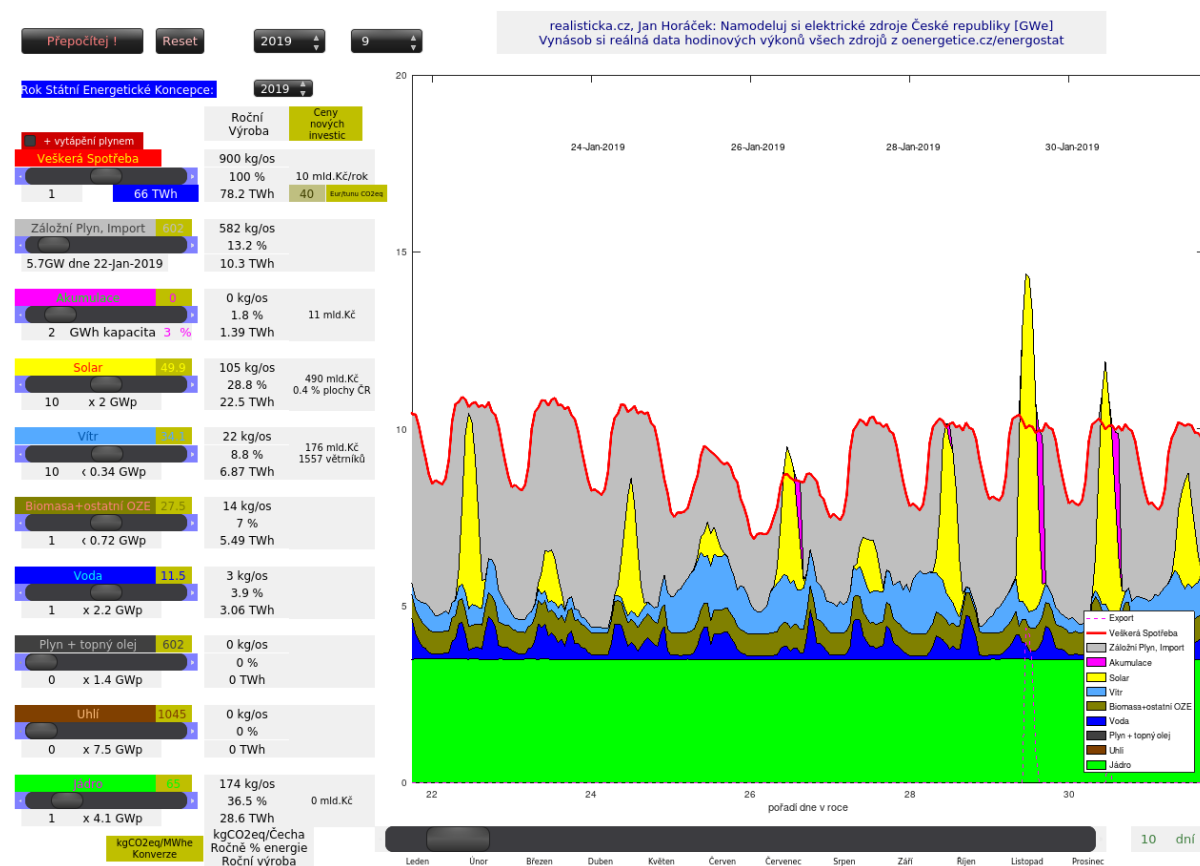
Další snižování již není třeba a ani v tomto modelu nelze jinak nežli snížením naší energetické spotřeby, a to obzvláště v zimním období, tedy i přímo úměrně snížením HDP a životní úrovně obyvatel ČR. To pokládáme za nepřijatelné a zcela zbytečné.

Nevěříte těmto výpočtům? Pak si nainstalujte zdarma Octave.org a v něm spusťte tuto aplikaci (nejprve ji rozbalte a pak spusťte program energetika.m), kde si můžete sami prozkoumat svůj oblíbený energetický mix.

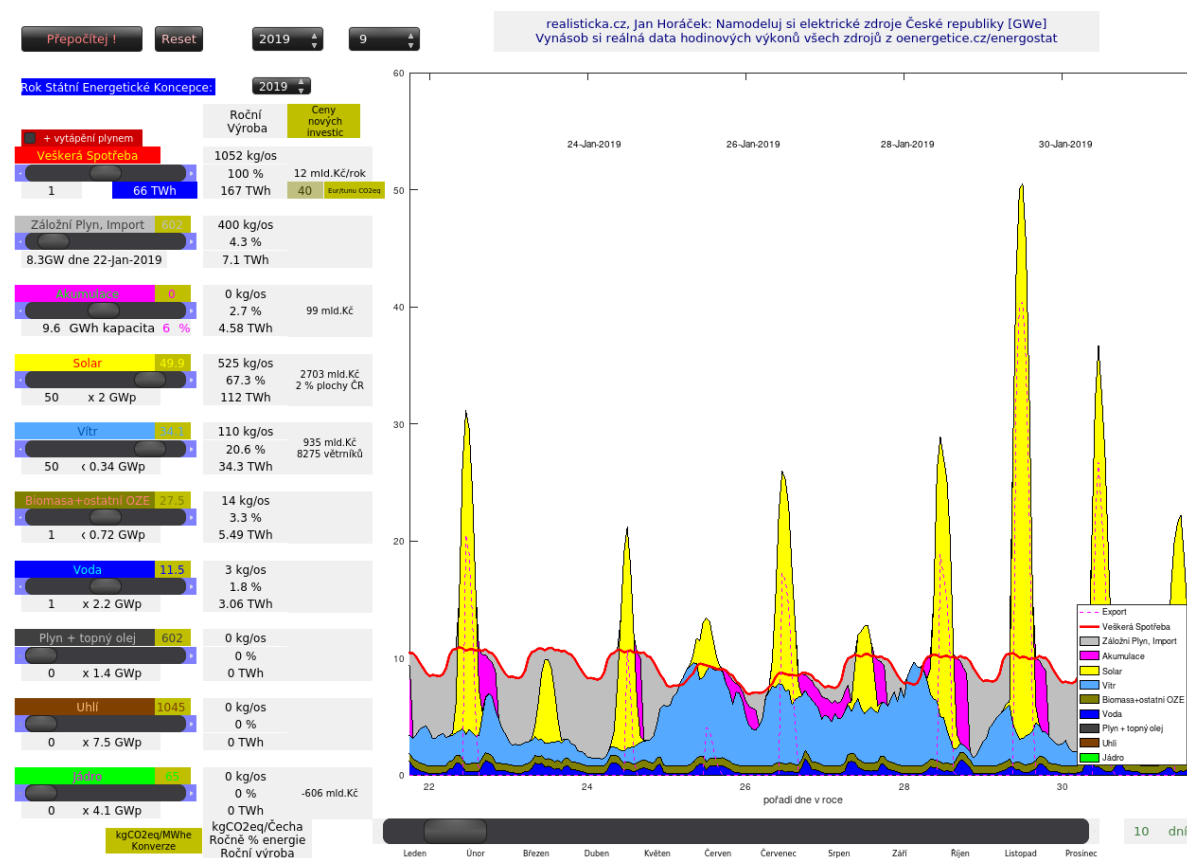
A co takhle vybudovat ještě více obnovitelných zdrojů, to by nepomohlo? Existuje stále skupina lidí odmítající jadernou energetiku kvůli bezpečnosti a radioaktivnímu odpadu. Vždyť právě takové obavy vedou německou vládní politiku Energiewende k tomu, aby ke konci roku 2022 uzavřela poslední tři funkční jaderné elektrárny. Proč ne?

Německo má se svými uhelnými a také obnovitelnými zdroji emise skleníkových plynů na osobu 10x (!) vyšší než například Francie, v jejímž energetickém mix hraje hlavní roli jaderná energetika, viz. electricitymap.org. Víme, že potenciál spalování biomasy a vodních zdrojů je v ČR prakticky na hranici svých možností. Spalování dřeva dobře slouží k lokálnímu vytápění domácností, ale na potenciální potřeby elektroenergetiky růst našich lesů zdaleka nestačí. Takže zbývají **solární a větrné, tedy zdroje nestálé a v zimním období téměř nepoužitelné**, viz níže. Ani solární (FVE) a větrné (VTE) elektrárny ale nemají zanedbatelný negativní vliv na životní prostředí. Ten zatím není příliš vidět, protože jich je kolem nás zatím málo (3 % + 1 % z celkové roční spotřeby, resp. pod procento spotřeby zimní). Ty VTE a FVE, které dnes dosluhují, ale produkovaly ve své době (před 20 lety) jen 0,01 % celosvětové spotřeby (bylo jich tehdy velmi málo), tudíž jejich odpad po skončení životnosti (elektro, beton, ocel atd.) zatím ani není vidět. Mnozí by ale chtěli jejich produkci blízkou teoreticky ke 100 % potřeb elektriny. S tím by úměrně vzrostlo i množství odpadu z OZE, tedy asi desettisíckrát. Jsme si jisti, že by to nepředstavovalo gigantický problém pro naše potomky?

Podívejme se na energetický mix **“37 % jádro + 49 % OZE”** bez uhlí, se stejným jaderným výkonem, jaký máme dnes, a s desetinásobným nárůstem (oproti dnešku) počtu solárních i větrných elektráren.



A co takhle některými prosazovaný hypotetický energetický mix skládající se "**téměř výhradně z obnovitelné elektřiny v ČR zcela bez fosilní ani jaderné energie**"? Pohledme níže.



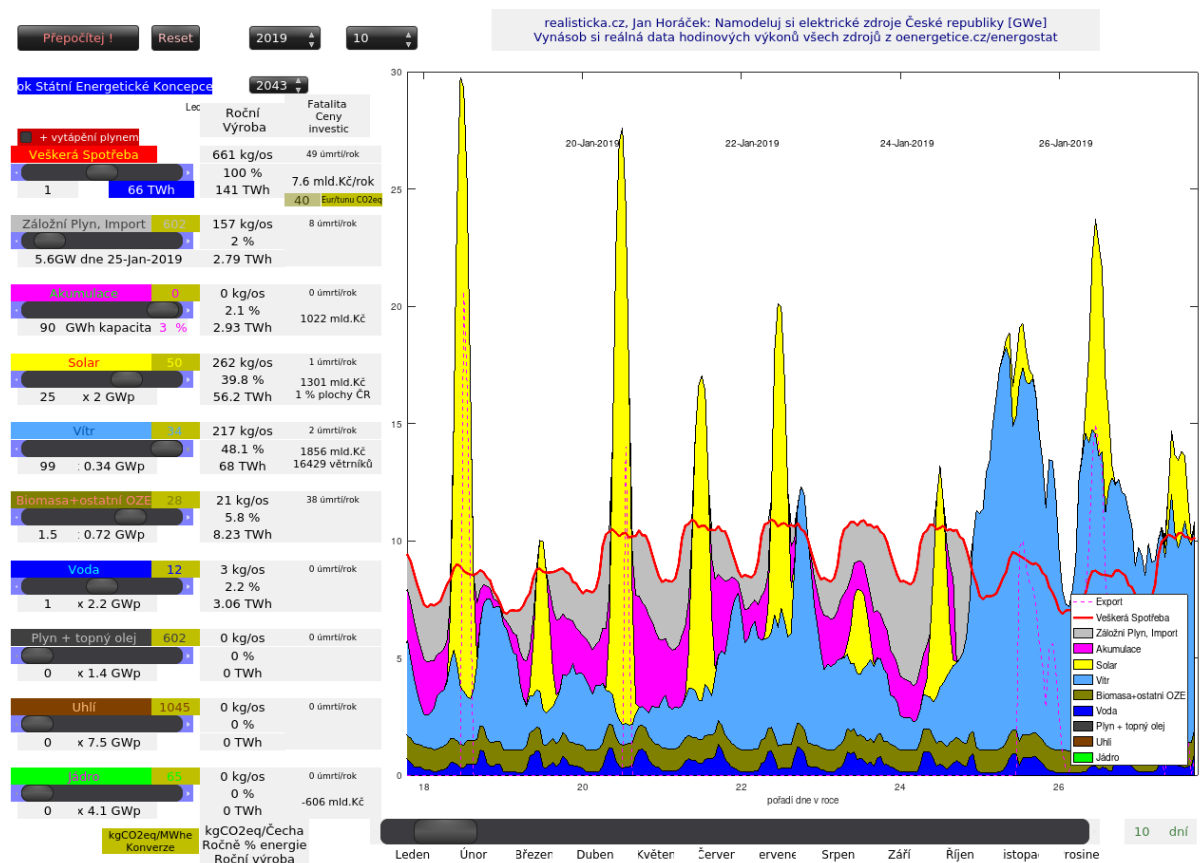
Takovýto “**93% OZE**” scénář není zdaleka bezemisní, ale představuje emise skleníkových plynů 1052 kg/os/rok (tvořené povětšinou záložním plynem a v rámci *celoživotního cyklu* také solárními panely) a vyžaduje

- postavit např. **50x více solárních i větrných elektráren, než stojí dnes**, a to za investici 2,703 + 935 mld. Kč (v dnešních cenách).
 - Solární elektrárny by tak pokrývaly 2 % území ČR (tj. stejně jako veškerá zastavěná plocha ČR).
 - Postaveno 8,275 [větrných elektráren Vestas 2 MWp](#) (výšky 100 metrů, tedy jako dům o 40 podlažích). Jelikož ty největší lokality (se kterými naivně počítám) již budou dávno zabrány, bylo by jich potřeba ještě mnohem více.
- zároveň instalovat **akumulaci**, která nám ušetří ročně 1 mld. Kč emisních povolenek (hlavně díky solárům v létě). Zde je uvažována stejná kapacita za investici 99 mld. Kč, jako v předchozím scénáři, což si lze představit jako 75 “[bateriových vesnic \(klikni na foto\)](#)”. Jejich životnost je typicky jen cca 10 let, po kteréžto době bude představovat problematický (vysoce) nebezpečný chemický odpad. Toto obrovské množství baterií nicméně svou kapacitou odpovídá pouhým třem novým přečerpávacím elektrárnám velikosti VE [Dlouhé stráně](#), za předpokladu, že každá z nich 4x zvýší počet vodních turbín a taktéž i kapacitu místní přenosové soustavy. Více OZE vyžaduje postavit

mnoho přečerpávacích vodních elektráren v horách, které jsou mnohem (eko) výhodnější než baterie.

- V grafu vidíme, že bohužel ani takové množství **akumulace (viz fialové plošky)** a OZE, by ani **v zimním období zdaleka nestačilo**: od večera do rána by většinou docházelo **k výpadkům (blackoutům) většiny infrastruktur ČR**, pokud
 - by nás nezachránily sousední země, které ale velmi pravděpodobně také nebudou mít v tyto noci elektřiny nazbyt (určitě ne v Německu), nebo nedošlo k rapidní proměně IOT.
 - Proto bychom stejně museli postavit dalších 8,3 GW na počasí nezávislých elektráren (tj. buď navýšit aktuální počet paroplynových **šestinásobně nebo spaloven biomasy 12x**, v grafu představující šedou plochu “Záložní plyn nebo import”), aby nás v tyto kritické chvíle zachránily od blackoutu. Jelikož by ale takové plynové elektrárny jely jen na 10 % svého plného výkonu (ty biomasové jen na 5 procent zprůměrováno za celý rok), cena takové “elektřiny v krizi” by byla obrovská, aby se takový “provoz-neprovoz” tzv. kapacitními platbami vyplatil.
- V tomto energetickém mixu bychom 41 % elektřiny vůbec nevyužili (od jara do podzimu) a velmi pravděpodobně bychom ji nemohli exportovat (všude převládá letní přebytek z OZE). Mohli bychom tuto energii akumulovat do vodíku, což zatím můžeme jen nepatrným přimícháním do zemního plynu. Zkapalňovat vodík pro pět milionů českých automobilů nebo vytápění budov by znamenalo další velké investice do velkokapacitních výrobních a zkapalňovacích zařízení i skladovací infrastruktury.
- Celkové emise skleníkových plynů ČR 1052 kgCO_{2,eq}/rok/osobu jsou v tomto “93% OZE” mixu z poloviny tvořeny solárními panely v rámci jejich průmyslově-životního cyklu [\[Energy Policy 2014, 65, 229\]](#). Na 661 kgCO_{2,eq}/rok/os bychom klesli např. polovičním počtem solárů a zdvojnásobením větru. Ovšem pokud zároveň 4x nezvýšíme počet plynových elektráren (oproti současnosti), tak **ani baterie za další 1 bilion Kč, by nezabránily blackoutu 24. 1., 13. 11. a 29. 11. 2019, protože tři předchozí dny velmi málo foukalo i svítilo**. To vše navzdory tomu, že o týden dříve bychom měli nevyužitelných 20 GW solárních a o pár dní později nevyužitelných 15 GW (větrných), viz graf níže. Představa akumulace energie vystačujícího na dobu delší než pár dní “nevhodného počasí” je bohužel zcela iluzorní.

Temelín (cca 15% výroby el. ener.)		
Jmenovitý výkon	2 000	MW
Roční výroba	14 000	GWh
Spotřeba oceli	25 000	t
Spotřeba betonu (reaktor, chladicí věže kontejnment, turbína)	300 000	t
VtE Vestas V90		
Jmenovitý výkon	2	MW
Roční výroba	3,6	GWh
Investiční náklady (2010)	80 000 000	Kč
základní deska:		
ocelová výztuž	40	t
beton	500	m3
celková hmotnost	1 100	t
Stožár - ocel	225	t
Rotor - ocel	38	t
Celkem oceli		
	300	t
Celkem cementu		
	143	t
Roční výroba oceli v ČR	5 000 000	t
Roční výroba cementu v ČR	4 000 000	t



- Posléze bychom se museli naučit recyklovat každoročně řádově přibližně 10.000x větší množství těchto solárních a větrných elektráren, než skládujeme v ČR dnes. Proč tak moc? Protože dnes skládujeme ty, které ve své době (před 20 lety) zdaleka nevyráběly tolik (bylo jich mnohem méně), ale celosvětově pouze 0,01%. Jak obrovskou ekologickou zátěž tyto OZE budou zanedlouho představovat, to si sotva kdo dnes představí.
- Museli bychom velice mhouřit oči nad těžbou vzácných zemin a množstvím oceli. **4000 VtE “Vestas 2MWe” vyrobí stejně elektřiny ve “využitelnou dobu” jako jeden temelínský jaderný reaktor.** Jak vidno z tabulky, 4000 těchto větrných turbín spotřebuje celkem 7 x více betonu a 48 x více oceli na svou konstrukci než jaderný reaktor.
- **V tomto “93% OZE” mixu (s výkonem 50 x 2GWp) bychom museli v ČR instalovat 500 milionů solárních panelů, každý vyrobený z těchto materiálů:**

Krystalické křemíkové	Monokrystalický	Multikrystalický
	Rámové	Rámové
Hmotnost modulu	15,7 kg	18,6 kg
Kapacita modulu	188 Wp	217 Wp
Rozměr modulu	818 x 1584 x 36 (mm)	954 x 1600 x 43 (mm)
Obsah materiálů		
Sklo	11,6 kg	13,7 kg
Hliník	1,19 kg	1,73 kg
Aktivní materiál	0,36 kg Si	0,51 kg Si
Pouzďíci materiály	EVA 1,2 kg; tedlar 13 g	EVA 1,4 kg; tedlar 15 g
Vzácné kovy	Ag - 20 g	Ag - 20 g
Měď	0,7 kg	0,75 kg
Další látky	6,7 g Sn	7,7 g Sn
Toxické látky	Pb – 3,8 g	Pb – 4,3 g
Ostatní materiály (konektory, silikonové těsnění, junction boxy, diody, konektory)	cca 0,5 kg	cca 0,5 kg

- Vydělíme-li to typickou životností 20 let, pak v trvale udržitelném hospodářství bychom museli **denně recyklovat a nakoupit 68.000 takových panelů**.

Pokud do všech těchto výpočtů zahrneme dále veškerou spotřebu plynu (převážně na vytápění a také z části v dopravě), kterou také musíme nahradit nízkoemisním mixem, pak všechna OZE musíme přibližně zdvojnásobit, a jádro spíše zečtyřnásobit, abychom zajistili zimní vytápění všech domácností pomocí tepelných čerpadel (nebo syntetickým (vodíkovým) plynem z proměnlivých OZE). Více v příštím článku.

Z těchto důvodů nám scénář "93 % OZE bez jádra" přijde mnohem méně eko nebo "trvale udržitelným" oproti předešlému scénáři "62 % jádro + 35 % OZE". Každý zdroj má své problémy, které vyniknou až při masivním použití. Naším úkolem je na tyto problémy upozornit dříve, než dojde k politickým rozhodnutím, promrhají se biliony a ztratí se drahocenný čas. Jaderné zdroje s menší podporou OZE (aby prakticky nebyla akumulace potřeba) a při dodržení všech [bezpečnostních zásad](#) a zkušeností nám z tohoto porovnání vychází ve velkém měřítku nejlépe.

Pokud se nám ale nelíbí žádná z těchto technologií, ani ta představa, že bychom měli **dramaticky snižovat** svou energetickou náročnost (a to nejen ve spotřebě elektřiny, kde je to nejjednodušší, ale podobně i ve vytápění, průmyslu a dopravě, což je ještě náročnější a neumíme to prakticky jinak než snižováním HDP), **pak bychom měli více investovat** (peněz i lidských zdrojů) do [výzkumu nových zdrojů energie](#) (např. štěpné modulární reaktory, jaderná fúze, hluboké geotermální vrty, geologické ukládání CO₂ z komínů uhelných elektráren, ...) a její [akumulace](#) (tepelné, elektrické, ...).

Lidský duch dokáže zázraky, když má volný prostor.