

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ



Dokumentace projektu do předmětu IMS Uhlíková stopa v energetice a teplárenství

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Ověřování validity modelu	2
2	Fakta, rozbor tématu a použitých metod	2
2.1	Výchozí data	2
2.2	Deharmonizace	5
3	Koncepce	6
3.1	Abstraktní model	6
3.2	Implementace	6
3.3	Použití	6
4	Architektura simulačního modelu/simulátoru	7
4.1	Logování	7
5	Experimenty	7
5.1	Experiment číslo 1	7
5.2	Experiment číslo 2	8
6	Shrnutí a závěr	8
A	Stavový diagram	9

1 Úvod

V této práci je řešena implementace modelu výroby elektřiny na území ČR a jeho budoucí vývoj v následujících letech se zaměřením na různou úroveň nasazování obnovitelných zdrojů energie a jejich vlivu na produkovanou uhlíkovou stopu. Na základě modelu a simulačních experimentů bude ukázáno chování systému při různých přístupech k obnovitelným zdrojům energie a dopad těchto přístupů na celkovou uhlíkovou stopu produkovanou českou energetikou.

Smyslem experimentů je demonstrovat jakých hodnot uhlíkové stopy se bude dosahovat při různých přístupech k obnovitelným zdrojům energie a jejich nasazování.

1.1 Ověřování validity modelu

Validace probíhala porovnáním hodnoty průměrné uhlíkové stopy na 1 kWh našeho modelu po prvním roce simulace a ta samá hodnota z nezávislého zdroje [3][tabulka 2, sloupec „CI of gross electricity production (with upstream)“]. Hodnota z našeho modelu byla **490 g/kWh**, hodnota z nezávislého zdroje **544 g/kWh**. Řádově tedy výsledky odpovídaly, pravděpodobná příčina rozdílu je v jiné metodice výpočtu dané hodnoty.

2 Fakta, rozbor tématu a použitých metod

V této sekci budou uvedena všechna relevantní data a jejich zdroje.

2.1 Výchozí data

Vzhledem k relativně velkému množství dat a jejich mnoha různým zdrojům jsou data prezentovaná pomocí tabulek a komentářů k nim.

Tabulka-1 zachycuje poměry jednotlivých zdrojů energie od roku 2013. Data pocházejí primárně z [14][str.7], kde docházelo k přepočtu z poměru vyprodukované elektřiny na procenta, a [5].

Typ/Rok	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Jádro	35.3	35.3	32.6	28.9	32.6	34.0
Uhlí	47.0	47.6	49	50.4	47.6	46.8
Plyn	5.4	5.3	6.1	7.7	7.2	7.1
Solární	-	-	-	2.6	2.5	2.7
Vodní mimo přečerpávacích	-	-	-	2.4	2.1	1.9
Biomasa	-	-	-	5.7	5.5	5.5
Větrné	-	-	-	0.6	0.7	0.7
Obnovitelné souhrn**	11.6	11.6	11.6	11.3	11.1	10.8
Ostatní	0.7	0.2	0.7	1.7	1.5	1.3
CELKEM [%]	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Tabulka 1: Poměr jednotlivých zdrojů energie od 2013 do 2018

** Suma všech obnovitelných zdrojů, není v konečném součtu, má jen informativní charakter

Dále bylo nutno zjistit množství vyrobené energie v ČR. Tabulka 2 uvádí pro příklad hodnoty od roku 2013 do roku 2018, ovšem v [14][str. 12] lze najít historické hodnoty až do roku 1983.

Z dat z [14][str. 12] lze pozorovat nárůst ve výrobě energie. Pro modelování této změny byly vytvořeny dva funkční předpisy pomocí lineární aproximace a zároveň byly vypočteny předpokládané hodnoty výroby elektřiny v roce 2030 a 2050 (Tabulka 3). První funkční předpis je lineární aproximací údajů od roku 1983 do 2018 a druhý od roku 2000 do 2018. Z rozdílu růstu výroby lze odvodit, že nárůst výroby se v ČR zpomaluje a proto je pro simulaci použit konzervativnější předpis.

ROK	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Výroba brutto [GWh]	87065	86003	83888	83302	87038	88002

Tabulka 2: Výroba energie od roku 2013 do 2018

Vzorec/rok/výroba [TWh]	2030	2050	Změna za rok
$y=1.0395x-2006.4019$	103,7831	124,5731	1,0395
$y = 0.5619x-1045,2765$	95,3805	106,6185	0,5619

Tabulka 3: Přehled předpokládané výroby energie v letech 2030 a 2050 podle dat od roku 1983 a od roku 2000

V tabulce 4 můžeme vidět uhlíkovou stopu vztaženou na vyrobenou kWh elektřiny z různých zdrojů energie. Harmonizované hodnoty jsou z české wikipedie ([15]). Vzhledem k relativní nespolehlivosti zdroje jsou údaje potvrzeny například i [20][str. 7]. Hraniční hodnoty se mírně liší, ovšem řádově odpovídají a vzhledem k obecně velkému rozptylu jsme se rozhodli ponechat původní hodnoty z wikipedie. Harmonizovaná uhlíková stopa a její deharmonizace bude vysvětlena v 2.2.

Typ	Emise na kWh [g CO2 ekv.]	Emise harmonizovaná [g CO2 ekv.]
Solární	0	35–50
Vodní	4,5-13,5	5–15
Větrné	0.72-1.8	8–20
Biomasa	9-45	10–50
Uhlí	850-1050	850–1050
Plyn	450-650	450–650
Jádro	0	10–35

Tabulka 4: Hodnoty emisí na 1 kWh

V tabulce 5 lze vidět koeficienty využití[9][10] jednotlivých druhů elektráren. Tato data jsou důležitá z hlediska poměru instalovaného výkonu k reálnému (kde hlavně obnovitelné zdroje musí mít násobně vyšší instalovaný výkon, protože jsou závislé na počasí, které se mění jak v krátkodobém, tak dlouhodobém horizontu). Koeficienty byly také použité pro deharmonizaci (2.2).

V modelu byly použity konkrétní hodnoty, viz Použitý koeficient, vypočtené z poměru instalovaného výkonu a vyrobené energie.

V tabulce 6 můžeme vidět orientační hodnoty uhlíkové stopy výroby, instalace a demontáže elektrárny (v anglické literatuře označováno souhrnně jako „upstream & downstream“ daného typu o instalovaném výkonu 1 GW. Zde je důležité připomenout, že instalovaný výkon 1 GW je bez koeficientu využití poměrně zrádnou hodnotou¹.

¹Jaderná elektrárny o instalovaném výkonu 1 GW dodá v ročním průměru 800 MW za hodinu, kdežto fotovoltaická o stejném instalovaném výkonu jen zhruba 90 až 130 MW.

Typ	Koeficient [%]	Použitý koeficient [%]
Solární	9-13[25]	13,3
Vodní	10-70[10]	17
Větrné	22[19]	25
Biomasa	50-80[10]	58
Uhlí	50-80[10]	52
Plyn	50-80[10]	44
jaderná	80[10]	80

Tabulka 5: Koeficient využití jednotlivých zdrojů energie

Typ	Uhlíková stopa při instalaci 1GW [g]	Poznámky
Solární	10.7 až 14.8 * 10**9	
Vodní	1.752 až 55.188 * 10**10	
Větrné	1.406 až 3.514 * 10**12	4.681*10**8 až 1.17*10**9 g za jednu turbínu (životnost 20 let, celkem 5.85*10**10 Wh energie za životnost
Biomasa	8,76 až 105 * 10**11	10 % z celkových emisí
Uhlí	zanedbatelná v poměru k výrobě, jinak méně než 2 % [16][str. 1 dole]	
Plyn	-/-	
Jádro	2,279 až 2,416 * 10**12 + 739*10**6	Přičítaná hodnota vyjadřuje uhlíkovou stopu samotné výroby. Je sice poměrně vysoká, ovšem při dané životnosti a koeficientu využití je hodnota na jednu kWh natolik nízká, ji pravděpodobně ovlivňovaly zaokrouhlovací chyby.

Tabulka 6: Hodnoty emisí při výrobě a destrukci elektrárny daného typu při instalovaném výkonu 1 GWh

V tabulce 7 můžeme vidět hodnoty životnosti jednotlivých druhů elektráren. Data byla často nejednoznačná a lehce podhodnocená².

Typ	životnost [roky]
Solární	20-30 [23] ³
Vodní	40-60 [21] ⁴
Větrné	14-35 [17]
Biomasa	20-30 [6]
Uhlí	40-60 [12] ⁵
Plyn	40-60 ⁶
Jádro	40-60 [13]

Tabulka 7: Životnost jednotlivých druhů elektráren

²Životnost uhelných elektráren je odhadovaná na 40 let, přičemž mnoho z amerických i českých elektráren tento věk atakuje a není žádný krátkodobý plán na jejich uzavření a tedy ještě mnoho let fungovat budou, samozřejmě s dílčími vylepšeními.

V tabulce 8 Je sepsán instalovaný výkon v roce 2018 pro potřeby simulace. Vzhledem k neexistujícím statistikám instalovaného výkonu elektráren na biomasu je tato hodnota odhadnuta.

Typ	Instalovaný výkon [MW][4]
Solární	2030
Vodní	1090
Větrné	277
Biomasa	450
Uhlí	9130
Plyn	1610
Jádro	4290

Tabulka 8: Tabulka instalovaného výkonu v roce 2018

2.2 Deharmonizace

Vzhledem k tomu, že se model zaměřuje na uhlíkovou stopu, bylo třeba najít vhodné údaje. Na internetu je ovšem většina údajů o uhlíkové stopě výroby elektrické energie v tzv. harmonizované podobě[11]. Stručně řečeno, harmonizovaná uhlíková stopa v sobě zahrnuje jak skutečnou uhlíkovou stopu (uhlík nebo jeho ekvivalent [7] vzniklý přímo výrobou elektřiny), tak také náklady na vybudování zařízení na produkci energie a jeho demontáž po konci životnosti.

Pro potřeby tohoto modelu je ovšem harmonizovaná uhlíková stopa nevhodná, jelikož by mj. smazala jeden důležitý jev: výroba a instalace fotovoltaických panelů produkuje mimořádně vysoké emise CO₂ (např [24]), proto byla harmonizovaná hodnota „deharmonizována“ (viz dále).

Deharmonizace probíhala nejprve tak, že bylo zjištěno, kolik procent harmonizované uhlíkové stopy tvoří náklady na stavbu a demontáž⁷. Dále byla vypočtena celková uhlíková stopa za dobu existence elektrárny o instalovaném výkonu 1 GWh podle následujícího předpisu:

$$365 * 24 * u * 10^6 * k * l$$

kde

365 * 24 je převod z hodin na roky

$u * 10^6$ je uhlíková stopa za GWh, samotné u je z 4

k je koeficient využití[9][10] z 5

l je předpokládaná životnost z 7

Daná procentuální část této hodnoty dle 7 je poté hodnota uhlíkové stopy pro stavbu a demontáž elektrárny o instalovaném výkonu 1 GWh. Denormalizovaná hodnota uhlíkové stopy při výrobě 1 kWh byla poté vypočtena jako hodnota harmonizované uhlíkové stopy minus procentuální podíl z 7.

⁷Pro větrnou energii 14 % [16], pro uhelnou méně jak 2 % [16], pro plynové elektrárny byla použita stejná hodnota jako pro uhelnou, pro vodní a biomasovou byla použita hodnota 10 % [1] (pro vodní šlo bohužel o prostý odhad založený na ostatních hodnotách, ovšem vzhledem k množství vodních elektráren v jednotkách procent má tato nepřesnost jen minimální vliv), pro jadernou elektrárnu byla zjištěna přesné hodnoty [22] a deharmonizace nemusela být použita.

3 Koncepce

V této sekci budou popsány koncepce jak abstraktního modelu, tak jeho konkrétní implementace.

3.1 Abstraktní model

I přes poměrně široké téma byl vytvořen relativně jednoduchý abstraktní model¹. Toto bylo možné díky zanedbání či vysoké abstrakci některých méně podstatných jevů, které nemají na celkovou uhlíkovou stopu příliš velký vliv (viz dále).

Byl například částečně zanedbán výkyv v produkci energie zdrojů energie v průběhu roku, kdy například solární elektrárny zaznamenávají vysokou fluktuaci v produkci energie v závislosti na ročním období. Tato skutečnost je abstrahována koeficientem ročního využití, který tuto skutečnost kompenzuje.

Další důležitou vlastností modelu je uniformita změn v poměrech vyrobené elektřiny každým typem zdroje. Před započítáním simulace je nejdříve vypočtena nutná každoroční změna poměru vyrobené elektřiny každým typem zdroje energie - rozdíl počátečního a konečného poměru dělený počtem simulačních let. Každý rok se poté poměr daného zdroje energie změní právě o tuto vypočtenou hodnotu.

Poslední důležitou součástí modelu je abstrakce obnovy/renovace elektráren po skončení jejich životnosti. Jelikož model nemá informace o jednotlivých elektrárnách a jejich životnosti, je tento proces zjednodušen na obnovu poměrné části instalovaného výkonu každý rok. Poměrná část je převrácenou hodnotou průměrné životnosti, vypočítané z údajů v tabulce 7.

Obecný princip je poté takový, že každý den elektrárny vyrobí dané množství energie. Toto dané množství energie je mezi jednotlivé typy elektráren rozděleno podle jejich poměrů. Následně je vygenerována uhlíková stopa každým typem elektrárny a zvýšeno množství potřebné vyrobené energie o denní předpokládaný nárůst výroby energie, který je uveden v tabulce 3.

Po uplynutí jednoho roku je poté upraven i poměr mezi jednotlivými zdroji energie a provedena obnova části elektráren, jak bylo popsáno výše.

Stavový diagram je uveden v A.

3.2 Implementace

Podle stavového diagramu výše byl implementován v jazyce C samotný simulátor.

Nejdříve jsou inicializovány všechny proměnné, mj. počáteční instalovaný výkon, konečné procentuální rozdělení zdrojů apod. Pokud se inicializace zdaří, je zahájena samotná simulace, která probíhá pomocí dvojitého cyklu, jak je vidno i ze stavového diagramu. Během denního cyklu je pouze „vyrobena“ elektřina (a produkována denní uhlíková stopa) a připočten denní nárůst spotřeby. Následně je v ročním cyklu navýšen instalovaný výkon, upraveny poměry mezi jednotlivými zdroji energie a vypočtena roční uhlíková stopa.

3.3 Použití

Simulátor se překládá a spouští standardně (`make` a `make run`), úprava vstupních parametrů probíhá ve vstupních souborech (`exp<X><A>.txt`, kde `<X>` je číslo experimentu, `<A>` je daný scénář). Data přitom musí být zadána přesně jako ve vzorovém souboru (není možná změna pořadí hodnot, přidávat mezeru za dvojtečku a podobně).

Pro dávkové spuštění všech scénářů experimentu je možno využít příkazů `make exp<X>`, kde `<X>` je číslo experimentu. Výstupy se poté uloží do souborů `exp<X><A>.out`.

Pro použití simulátoru s jinými než příkladovými soubory je možné použít příkazů `make` a `./simulator`

<filename>, kde <filename> je daný soubor.

4 Architektura simulačního modelu/simulátoru

Inicializace probíhá ve funkci `MinitSimulation()`. Dále probíhá samotná simulace dvojitým cyklem ve funkci `MstartSimulation()`. Zde je periodicky volána funkce `MsimulateYear()`, upravován poměr instalovaných výkonů jednotlivých typů zdrojů a obnovena poměrná část elektráren.

Uvnitř funkce `MsimulateYear()` probíhá velmi podobným způsobem simulace dne funkcí `MsimulateDay()` a úpravou denní vyrobené energie.

4.1 Logování

Logování je řešeno pomocí několika logovacích funkcí. Jednotlivé funkce zvlášť logují dny, roky a celkové výsledky simulace a lze nastavit jak frekvenci tak množství logovaných informací. V nestručnější verzi jsou logovány pouze konečné souhrny uhlíkové stopy a konečná denní výroba energie. V nejpodrobnější verzi jsou logovány informace po dnech, roční a konečné souhrny, kde v každém logu jsou informace o uhlíkové stopě za dané období, v souhrnech jsou i podrobnosti o instalovaném výkonu a procentuálním poměru zdrojů.

5 Experimenty

Níže budou provedeny dva experimenty. První má za cíl zodpovědět otázku, jak se změní uhlíková stopa, pokud by ČR měla dodržet Evropský cíl produkovat 32 % energie z obnovitelných zdrojů. Druhý experiment si klade otázku, jak se změní uhlíková stopa, pokud do roku 2050 ČR zruší všechny jaderné elektrárny. Doplnující otázkou je, zda je pravdivý výrok ministra Brabce z rozhovoru pro Českou televizi o možnosti snížit emise o 80 % do roku 2050.

Výsledky obou experimentů jsou vždy aritmetickým průměrem 10 provedených simulací.

5.1 Experiment číslo 1

Cílem experimentu bylo zjistit, jak se změní emise CO₂, pokud bychom dle 1 měli do roku 2030 dosáhnout 32% podílu obnovitelné energie. Jelikož se v dokumentu nepíše, jaký konkrétní zdroj energie by to měl být, rozhodli jsme se demonstrovat tři možnosti:

- (a) Převažující fotovoltaická energie jako hlavní obnovitelný zdroj
- (b) Převažující spalování biomasy jako hlavní obnovitelný zdroj
- (c) Vyrovnaná strategie

Další možností(d)) je zachování současného stavu obnovitelných zdrojů a suplovat je pomocí jaderné energie. Poslední (e)) je kontrolní vzorek, kdy se zachovávají současné poměry mezi zdroji energie.

Jak je vidět z tabulky výše, přechod na obnovitelné zdroje energie snížil emise v posledním roce zhruba o 40 % a celkově emise o zhruba 18 %. Zajímavé je, že možnost d) - použití jaderné energie - snížila uhlíkovou stopu nejvíce ze všech, i přes to, že se nejedná o „zelený“ zdroj energie.

Identifikace možnosti	Uhlíková stopa poslední rok [g*10**9]	Uhlíková stopa celkem 2019-2030 [g*10**12]
a) fotovoltaika	28372	442
b) biomasa	28810	445
c) vyrovnáno	27617	438
d) jaderné el.	27453	437
e) kontrola	46352	538

Tabulka 9: Výsledky experimentu 1

5.2 Experiment číslo 2

Ve druhém experimentu bylo cílem zjistit dvě věci. Za prvé, jak se změní uhlíková stopa, pokud do roku 2050 ČR uzavře všechny své uhelné elektrárny ([18], počítá se s uzavřením uhelných elektráren ve chvíli, kdy dojde uhlí k těžení). Za druhé, ministr Brabec v rozhovoru uvedl, že do roku 2050 sníží ČR emise o 80 % [2]. Druhým cílem experimentu je tedy zjistit, jestli je toto tvrzení možné.

Zde jsou opět modelovány 4 možnosti:

- (a) Obnovitelné zdroje jako převažující zdroj
- (b) Jádru jako převažující zdroj
- (c) Nejhorší verze při vyřazených uhelných elektrárnách
- (d) Kontrolní vzorek

Identifikace možnosti	Uhlíková stopa poslední rok [g*10**9]	Uhlíková stopa celkem 2019-2030 [g*10**12]
a) Obnovitelné	4867	840
b) Jádru	2941	814
c) Biomasa a plyn	10952	930
d) kontrola	51796	1522

Tabulka 10: Výsledky experimentu 2

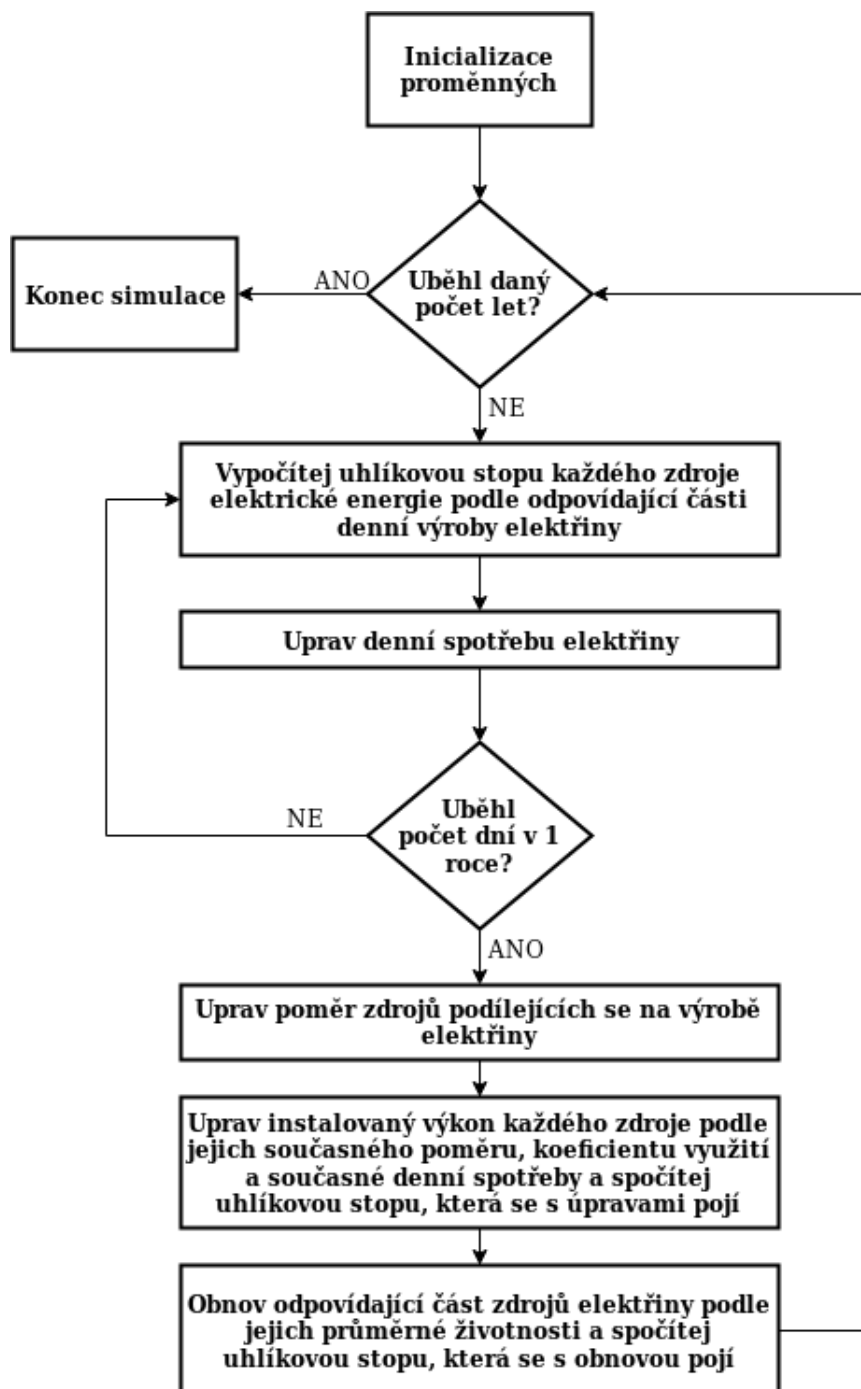
Z tabulky 10 je vidět, že jako nejlepší se opět jeví investovat do jaderných elektráren, ovšem i „druhá nejhorší“ možnost, tedy kombinace biomasy a plynu se jeví jako relativně možná. Druhá otázka, tedy jestli je reálné při vypnutí všech uhelných elektráren snížit emise o 80 %, je také zodpovězena; současná uhlíková stopa je 43507*10**9 g, i při nejhorší variantě (c)) je uhlíková stopa v roce 2050 10952*10**9 g, tedy zhruba o 75 % nižší. 80% snížení emisí CO₂ je tedy podle simulace reálně možné.

6 Shrnutí a závěr

Po prvotním rozhodnutí o cíli celého projektu - simulování předpokládaného vývoje množství emisí v energetice ČR - byla shromážděna a pokud možno ověřena relevantní data (viz 2.1). V další fázi byl vytvořen koncepční model a poté byl tento model implementován v jazyce C. Validace proběhla podle 1.1.

Následně bylo rozhodnuto o provedení dvou experimentů, které jsou podrobněji popsány výše. Z experimentů vyplývá, že i když se v poslední době stále více mluví o obnovitelných zdrojích energie, z hlediska emisí se v obou případech jako nejvýhodnější jeví strategie spoléhající na jaderné elektrárny. Tento názor je potvrzen například i [8].

A Stavový diagram



Obrázek 1: Stavový diagram

Reference

- [1] COMPARISON OF ENERGY SYSTEMS USING LIFE CYCLE ASSESSMENT. [online]. 2004.
URL https://www.worldenergy.org/assets/downloads/PUB_Comparison_of_Energy_Systems_using_lifecycle_2004_WEC.pdf
- [2] Do roku 2050 snížíme emise o 80 procent. Evropa ale nesmí zůstat osamocena, říká Brabec. [online]. 2018.
URL <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/2939657-do-roku-2050-snazime-emise-o-80-procent-evropa-ale-nesmi-zustat-osamocena-rika-brabec>
- [3] Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles. [online]. 2018.
URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920916307933>
- [4] Electricity map. [online]. 2019.
URL <https://www.electricitymap.org/?page=country&solar=false&remote=true&wind=false&countryCode=CZ>
- [5] Energetika v Česku. [online]. 2019.
URL https://cs.wikipedia.org/wiki/Energetika_v_Česku#Vroba_elektiny
- [6] Frequently Asked Questions (FAQs) on Biomass Power Generation. [online]. 2019.
URL https://mnre.gov.in/file-manager/UserFiles/faq_biomass.htm
- [7] Glossary:Carbon dioxide equivalent. [online]. 2017.
URL https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Carbon_dioxide_equivalent
- [8] Greenhouse gas emissions avoided through use of nuclear energy. [online]. 2018.
URL <https://www.world-nuclear.org/nuclear-basics/greenhouse-gas-emissions-avoided.aspx>
- [9] Koeficient ročního využití. [online]. 2019.
URL https://cs.wikipedia.org/wiki/Koeficient_ročního_využití
- [10] KOEFICIENT VYUŽITÍ INSTALOVANÉHO VÝKONU. [online]. 1999.
URL <https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/koeficient.html>
- [11] Life Cycle Assessment Harmonization. [online]. 2019.
URL <https://www.nrel.gov/analysis/life-cycle-assessment.html>
- [12] Most coal-fired power plants in the US are nearing retirement age. [online]. 2013.
URL <https://qz.com/61423/coal-fired-power-plants-near-retirement/>
- [13] Nuclear Power Reactors. [online]. 2018.
URL <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclear-power-reactors.aspx>

- [14] Roční zpráva o provozu ES ČR. [online]. 2019.
URL http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf
- [15] uhlíková stopa. [online]. 2019.
URL https://cs.wikipedia.org/wiki/Uhlkov_stopa#Energetika
- [16] Wind LCA Harmonization. [online]. 2013.
URL <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/57131.pdf>
- [17] Z větrných elektráren minulosti se může stát velký problém budoucnosti. A nebo taky nemusí. [online]. 2018.
URL <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/z-vetrnych-elektraren-minulosti-se-muze-stat-velky-problem-budoucnosti-a-nebo-taky-nemusi>
- [18] ČEZ vidí konec uhelné energetiky v Česku kolem roku 2050. [online]. 2018.
URL <https://www.investicniweb.cz/news-cez-vidi-konec-uhelne-energetiky-v-cesku-kolem-roku-2050/>
- [19] Bechnik, B.: Roční využití výkonu větrných elektráren v České republice. [online]. 2014.
URL <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/11077-rocni-vyuziti-vykonu-vetrnych-elektraren-v-ceske-republice>
- [20] Bruckner, T.; col.: Technology-specific Cost and Performance Parameters. [online]. 2014.
URL https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf
- [21] Dohnal, R.: RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES. [online]. 2012.
URL https://www.irena.org/documentdownloads/publications/re_technologies_cost_analysis-hydropower.pdf
- [22] Koltun, P.; Tsykalo, A.; Novozhilov, V.: Life Cycle Assessment of the New Generation GT-MHR Nuclear Power Plant. [online]. 2018.
URL <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/12/3452/htm>
- [23] Lombardo, T.: What Is the Lifespan of a Solar Panel? [online]. 2014.
URL <https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/7475/What-Is-the-Lifespan-of-a-Solar-Panel.aspx>
- [24] Mohamed, N. M.; Zaine, S. N. A.; Ramli, R. M.: Evaluation of CO2 emission from dye solar cell panel production process. [online]. 2016.
URL <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4965731>
- [25] Wagner, V.: Potenciál využití fotovoltaických zdrojů v ČR a ve světě (díl 2.). [online]. 2018.
URL <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/potencial-vyuziti-fotovoltaickych-zdroju-cr-ve-svete-dil-2>