

1 Úvod

V této práci je řešen proces sestavování modelu [A str. 7] pro odběr elektrické energie domácnostmi, výstavba elektráren, spotřeba paliva elektrárnami a simulace [A str. 8] tohoto procesu. Na základě modelu a simulačních experimentů [A str. 33] bude možné sledovat výhodnost investic do různých typů elektráren. Smyslem experimentů je demonstrovat, co by se stalo při redistribuci investic do různých typů elektráren a jak by to ovlivnilo produkci CO₂ a spotřebu paliva pro dané elektrárny. V reálném světě by bylo prakticky nemožné ovlivňovat faktory takové významnosti, jen pro zjištění jak se model bude chovat. Proto byl navržen tento model a simulační experimenty s ním spojené.

1.1 Autoři zdroje

Projekt byl vypracován studenty Daniel Bílý a Jakub Gajdošík z Fakulty informačních technologií Vysokého učení technického v Brně.

Při vytváření této toho projektu byly využity znalosti z předmětu Modelování a simulace z již zmíněné fakulty.

1.2 Ověření validity

Podklady pro tuto práci bylo možné získat především díky informacím od společností ČEZ a.s. [B] a Energetického regulačního úřadu [C]. Validita byla ověřena [A str. 37] pomocí experimentů za použití těchto informací.

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Model byl vytvořen na základě dat o elektrárnách v České republice. Data byla vybírána co nejaktuálnější, aby mohli reprezentovat přítomnou situaci. Typy elektráren jsme vybrali podle reálného zastoupení elektráren v české republice [1]:

46,5% Parní

83,5% je hnědé uhlí

7,8% černé uhlí

4,8% biomasa

3,3% plyny

32,1% Jaderná

8,1 % Paroplynové, plynové a spalovací

6,3% Čisté zdroje energie

47,6% vodní

41,3% fotovoltaické

11,1% větrné

Zástupce jaderné elektrárny je nově plánovaný reaktor v Dukovanech [2a] o ceně 160 miliard [2b] tento reaktor má poloviční výkon součtu aktuálních reaktorů [2c] tudíž předpokládáme, že vyprodukuje mírně nad polovinu energie tudíž 7000GWh. Tento reaktor spotřebuje zhruba stejně uranu ročně jako polovina elektrárny Temelín[2d] o dvojnásobném výkonu což je 18 tun.

Tepelnou elektrárnu reprezentuje nově vybudovaný blok tepelné elektrárny Ledvice, který pokrývá 6/7 výkonu elektrárny, tento fakt zohledňujeme v následujících výpočtech. Nový blok stál 30 miliard korun [3a] a produkuje v přepočtu 1233GWh [3b]. Za rok tento blok v přepočtu spotřebuje 3 milióny tun hnědého uhlí[3c] a vyprodukuje 2,5 miliónů tun CO2[3d].

Pro paroplynového zástupce jsme si vybrali, paroplynovou část elektrárny v Počeradech. Tato část stála 16 miliard korun [4a] a produkuje 3480GWh ročně [4b], přičemž spotřebuje 326419 tisíc m3 a vypustí 0,6 miliónů tun CO2[4c] do ovzduší.

Poslední typ elektrárny se skládá z průměru 3 reálných typů elektráren a to sluneční vodní a větrné. Důvod jejich kombinace je, že místa kde se dají postavit a jejich provoz je omezen zdrojem jejich elektrické produkce. Jako sluneční elektrárna byla zvolena elektrárna Vepřek, jejíž náklady na výstavbu byli 2,7 miliardy korun[5a] a produkuje 40GWh[5b] ročně. Farma větrných elektráren Kryštofovy Hamry v hodnotě 1,7 miliardy korun[5c] a produkuje 102GWh[5d] ročně. Poslední typ je vodní elektrárna Dlouhé stráně, která byla vybudována za cenu 6,5 miliardy korun roku 1996[5e]. Tato elektrárna by, po přepočtu do dnešní hodnoty české koruny, stála zhruba 13 miliard korun [5f]. Výkon této elektrárny je 403GWh ročně[5g]. Jejich průměrná cena je 13,4 miliard korun s výkonem 400GWh.

<i>Typy</i>	<i>Cena[mld. Kč]</i>	<i>Výkon[GWh]</i>	<i>Palivo</i>	<i>CO2[mil. tun]</i>
<i>Jaderná</i>	160	7000	18 tun	-
<i>Tepelná</i>	30	1233	3 mil. tun	2,5
<i>Paroplynová</i>	16	3480	326419 tisíc m3	0,6
<i>Alternativní</i>	13.4	400	-	-

2.1 Použité postupy

Byly využity znalosti o postupu modelování z předmětu Modelování a simulace na VUT FIT[D]. Obecné znalosti o modelování a hlavně o vytváření petriho sítí [A str.123]. Ke tvorbě simulačního modelu [A str. 44] byl použit programovací jazyk C++ a knihovna SIMLIB[E].

2.2 Původ použitých metod/technologií

C++ má volnou distribuci na všech operačních linuxových systémech, popřípadě oficiální stránky[F].

SIMLIB má svou oficiální stránku[E].

3 Koncept - modelářská témata

[A str. 48] Model je koncipovaný pro několikaleté zkoumání produkce CO2 proměnného počtu domácností. Počet domácností se dá vložit jako vstupní argument. Jeden krok v modelu je jeden rok. Domácnosti v našem modelu dostávají po celý rok energii od jednoho typu elektrárny. V reálném světě se tohle neděje, domácnost obvykle dostává energii z různých zdrojů. My chceme sledovat celkovou statistiku, takže se konečná čísla vyrovnají. Tohle řešení nám dále dává možnost porovnávat jednotlivé zdroje elektrické energie. Statistiky produkce CO2 jednotlivých typů elektráren jsou přepočítány na domácnost.

$$C_d = \frac{P_d}{P_e} * C_e$$

C_d CO₂ na domácnost za rok

P_d Výkon spotřebovaný domácností za rok

P_e Výkon produkovaný elektrárnou za rok

C_e Produkce CO₂ elektrárny za rok

Stejný vzorec jsme uplatnili i na cenu elektrárny a množství paliva na člověka.

Každá domácnost si tedy podle procentuálního zastoupení jednotlivých elektráren jednu vybere, od toho typu elektrárny odebírá energii po celý rok, na konci roku je vygenerováno dané CO₂, elektrárna je poté uvolněna a domácnost si vybírá znovu.

Další veličinou, kterou náš model sleduje, je cena výstavby jednotlivých typů elektráren. Na vstupu se dá zadat, pro kolik domácností mají jednotlivé typy elektráren být. Cena těchto elektráren je opět přepočítána na domácnost. Sledujeme pouze počáteční investici pro přechod na danou energii, peníze na údržbu apod. jsou zanedbány.

Déle zanedbáváme čas výstavby, protože by tento údaj neovlivnil výstupní hodnoty dlouhodobého sledování CO₂.

Poslední sledovanou veličinou je množství využitého paliva pro jednotlivé typy elektráren, která je vygenerována zároveň s množstvím CO₂. Z této informace by se dále dala vypočítat cena paliva, doba do vyplývání zásob daného paliva apod.

3.1 Popis konceptuálního modelu

Náš model má poměrně jednoduchý proces [A str. 121], šel by implementovat i bez použití petriho sítě, ale rozhodli jsme se ji využít.

Model je implementován dle přiložené petriho sítě. Model má několik větví. Jednu větev pro výstavbu každého z typů elektráren. Vstupem je počet domácností, pro které budou elektrárny stavěny. Výstupem je více míst v každém druhu elektrárny a cena této výstavby. Hlavní větev má jako vstup počet domácností. Domácnosti se rozvětví podle procentuálního zastoupení jednotlivých elektráren, pokud elektrárna daného typu už není volná, domácnost se vrací do původního místa a rozhoduje se znovu. Pokud se domácnosti podaří zabrat si určitou elektrárnu, tak rok čeká, poté je vyprodukováno CO₂ a využité palivo podle typu elektrárny, elektrárna je uvolněna a domácnost si jde znovu vybrat.

3.2 Forma konceptuálního modelu

Konceptuální model je vizualizován petriho sítí s poznámkami viz kapitola 8.

4 Architektura simulačního modelu/simulátoru

Při spuštění simulace se načtou data ze vstupního souboru input.txt. Místo klasického psaní argumentů do terminálu jsme zvolili vstupní soubor, protože máme poměrně velký počet vstupních argumentů. Argumentů je deset, jeden pro celkový počet domácností, jeden pro celkovou délku simulace, čtyři pro počáteční hodnoty kapacit jednotlivých typů elektráren (uhelná, jaderná, plynová a obnovitelné zdroje) a čtyři pro koncové kapacity elektráren:

num_households – celkový počet domácností

coal_max, core_max, gas_max, renewable_max – původní maximální kapacity elektráren (počet domácností)

coal_max_new, core_max_new, gas_max_new, renewable_max_new – koncová maximální kapacita elektráren (počet domácností)

simulation_len – počet let, který má simulace běžet

Po načtení vstupních parametrů se načtou do vektoru, vytvoří se všechny potřebné statistiky (objekt třídy Stat) a vytvoří a aktivuje se proces SimulationCycle. Tento proces a proces Household pracují podle popisu výše. Na konci se vypíší všechny sledované statistiky.

4.1 Mapování konceptuálního modelu do simulačního modelu

Cena výstavby je vypočítána v třídě SimulationCycle, která je implementována jako proces v SIMLIBU, tato třída také vypočítá procentuální zastoupení elektráren a v cyklu vytvoří všechny domácnosti. Domácnost je také proces (třída Household), kde se po vybrání typu elektrárny vygeneruje a uloží do objektu Stat hodnoty CO₂ a použité palivo. Proces domácnosti běží, dokud neskončí simulace.

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

První je potřeba pomocí experimentu ověřit validitu modelu. Pokud by tento experiment, při porovnání s reálnými daty, neodpovídal, byla by potřeba ověřit správnost získaných dat a možné odchylky. Následující experimenty budou zaměřeny, pro získání informací, které simulace poskytuje, tudíž nám umožní předpovídat změny CO₂ při různém zastoupení elektráren a cena těchto změn.

5.1 Postup experimentování

Všechny experimenty mimo první, zahrnují spuštění simulace se stejnými parametry pro více let. Výstupní informace budou zprůměrované a dají nám obecnou představu situace. Z důvodu že naše simulace je čistě informativní, bude zapotřebí, pro naplnění zadání experimentu, provést několik iterací spuštění dokud nebudou vycházet požadované data.

5.2 Experimenty

Zadání experimentů a vstupní hodnoty jsou v samotných experimentech.

5.2.1 Experiment 1 – Validací

První experiment je pro validaci modelu. Vstupní parametry původní a nové kapacity elektrárny budou totožné. Používá reálné hodnoty ze statistik ČR. Podle statistiky emisí elektráren ČR, je ročně vyprodukováno okolo 50 mil. tun CO₂[7]. Přičemž náš model počítá s CO₂ generovanými za domácností. Ze statistiky vyplývá, že domácnosti spotřebují pouze 25% [1 str. 15] vygenerované energie, tudíž by vyprodukované CO₂ elektrárnami pouze za domácnost mělo být 12,5 mil. tun CO₂. Přičemž ČR má kolem 4 milionů domácností [8]. Procentuální zastoupení elektráren v ČR viz kapitola 2.

Tabulka 1

Domácnosti	Délka	Uhelné e.	Jaderné e.	Plynové e.	Alternativní e.	Výsledné CO ₂
4 000 000	1 rok	1 950 000 domácností	1 400 000 domácností	375 000 domácností	280 000 domácností	13 146 000 tun

Připomínáme, že jednotka elektrárny je kolik domácností pojme. Vzhledem k nelinearitě efektivity elektrárny výsledné CO₂ není úplně přesné, ale jsme v přijatelné odchylce od reality.

5.2.2 Experiment 2 – Čistá energie

Cíl toho experimentu je zjistit jaká by byla cena, kdybychom na místo dnešních elektráren, pouze elektrárny jaderné a alternativní v poměru 50:50. Původní vstupní parametry, pro kapacity elektráren, budou hodnoty ČR (viz Tabulka 1). Ostatní parametry budou následující.

Tabulka 2

Domácnosti	Délka	Uhelné e.	Jaderné e.	Plynové e.	Alternativní e.	Výsledná cena
4 000 000	1 rok	0 domácností	2 000 000 domácností	0 domácností	2 000 000 domácností	86,5 mil. korun

Z tohoto experimentu jde vyzkoušet, že kdybychom měli finance na vybudování stávajících elektráren ČR, tak by investice do čistých zdrojů energie nebyla o tolik nákladnější. Tento scénář je sice velmi teoretický, ale poukazuje na fakt, že čisté zdroje energie nejsou v dnešní době o tolik nákladnější na cenu, než stávající zdroje energie.

5.2.3 Experiment 3 – Z uhlí na plyn

Následující experiment je založen na nově postavené paroplynové elektrárně [4a], která je velmi efektivní a ekologičtější nežli průměrná tepelná elektrárna. Budeme pozorovat změnu vygenerovaného CO₂ za 10 let, když převedeme 10% produkce elektřiny z tepelných na paroplynové elektrárny. První běh bude od přechodných experimentů odlišný počtem let a přidáním kapacity každé elektrárny o 15%, což by vypovídalo, že každý typ elektrárny běží průměrně na 85% maximálního výkonu. Tento údaj zajišťuje proměnlivost poměrů využití elektráren.

Tabulka 3

Běh	Domácnosti	Délka	Uhelné e.	Jaderné e.	Plynové e.	Alternativní e.	CO ₂
1	4 000 000	10let	2 242 500 domácností	1 610 000 domácností	431 250 domácností	322 000 domácností	130 261 000 tun
2	4 000 000	10let	1781925 domácností	1 610 000 domácností	891829 domácností	322 000 domácností	105 683 000 tun

Množství vygenerovaného CO₂ kleslo o 19 % a jestliže připočteme fakt, že již zmíněná paroplynová elektrárna, byla postavena pouze za 16 miliard korun a je velmi efektivní, nabádá tento experiment tázat se, zda by takových elektráren nemělo být více.

5.3 Závěry experimentů

Provedené experimenty ukázali, jak by se měnila situace s CO₂ v energetice ČR za různých podmínek. Nad modelem byl proveden validační experiment, který dopadl pozitivně. Mohlo by se dále provést množství experimentů při různém rozložení elektráren a zjišťovat k čemu by výsledky vedly. Pokud byl prováděn experiment s příliš malým počtem domácností a velkou kapacitou elektráren, model začal být příliš založen na náhodě. Vedlejší sledované proměnné (cena a spotřeba paliva) nebyly validovány, protože nebyly přímým cílem sledování a cena nešla prakticky ověřit (kvůli převodu na člověka).

6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Tématika ekologie energetiky obsahuje velké množství dalších proměnných, které v modelu nejsou zachyceny (jaderný odpad, cena provozu, dopady na přírodní prostředí v okolí elektráren apod.). Z našeho modelu by vyplivalo, že je vždy neekologičtější využívat jadernou nebo alternativní energii, což ale vždy nemusí být pravda. Například vodní elektrárny velice ovlivňují ryby žijící v dané lokaci. Náš model je postaven na okamžité změně, toto v životě není možné, protože elektrárny jsou tvrdě zabudované do ekonomiky našeho státu a taková změna by ovlivnila nejen zaměstnance ale i dodavatele paliv a odběratele energií. Model, který jsme vytvořili, pouze sleduje tematiku CO₂ a hodnoty parametrů by se měli měnit minimálně pro největší praktičnost výsledků.

7 Zdroje a literatura:

[A] <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>

[B] <https://www.cez.cz/>

[C] <https://www.eru.cz/cs/>

[D] <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/>

[E] <https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>

[F] <https://isocpp.org/>

[1] Zastoupení elektráren v tvorbě elektřiny za rok 2018 (strany 5 a 20)

http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf

[2a] výkony reaktorů a výkonnost plánovaného reaktoru

https://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1_elektr%C3%A1rna_Dukovany#Budoucnost

[2b] odhadovaná cena plánovaného reaktoru

<https://ct24.ceskatelevize.cz/ekonomika/2976530-novy-jaderny-blok-v-dukovanech-ma-byt-dokoncen-v-roce-2036-uvodl-babis>

<https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/babis-v-dukovanech-se-zacne-stavet-2029-blok-bude-dokoncen-2036/>

[2c] výkon elektrárny Dukovany

<https://oenergetice.cz/elektrina/vyroba-dukovan-loni-stoupla-o-petinu-na-1425-twh-elektriny>

<https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/temelin-loni-snizil-vyrobu-elektriny-vyroba-dukovan-stoupla/1704675>

[2d] množství uranu

https://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1_elektr%C3%A1rna_Temel%C3%ADn#Palivo

[3a] tepelná elektrárna kde se dělalo nejnovější rozšíření o blok

https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektr%C3%A1rna_Ledvice#Nov%C3%BD_nadkritick%C3%BD_blok

[3b] seznam tepelných elektráren v ČR a produkce elektřiny v GWh

https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_tepeln%C3%BDch_elektr%C3%A1ren_v_%C4%8Cesku

[3c] Spotřeba hnědého uhlí elektrárny Ledvice

https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektr%C3%A1rna_Ledvice#Z%C3%A1sobov%C3%A1n%C3%AD_uhl%C3%ADm

[3d] Produkce CO₂ elektrárny Ledvice

<https://www.znecistovatele.cz/spot/324>

[4a] nově vybudovaná elektrárna stála 16 miliard korun

https://cs.wikipedia.org/wiki/Paroplynov%C3%A1_elektr%C3%A1rna#Po%C4%8Derady

[4b] produkce elektřiny elektrárny Počeradý a její spotřeba plynu (str. 31)

http://www.eru.cz/documents/10540/4583836/Rocni_zprava_provoz_PS_2018.PDF/1769375b-23dc-4cad-9d42-3eca054c3375

[4c] Produkce CO₂ paroplynové elektrárny Počeradý

<https://www.znecistovatele.cz/spot/321>

[5a]fotovoltaická elektrárna Vepřek

https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaick%C3%A1_elektr%C3%A1rna_Vep%C5%99ek

[5b]Seznam fotovoltaických elektráren v ČR a jejich výkon

https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_nejv%C4%9Bt%C5%A1%C3%ADch_fotovoltaick%C3%BDch_elektr%C3%A1ren_v_%C4%8Cesku

[5c] Farma větrných elektráren Kryštofovy Hamry cena

https://cs.wikipedia.org/wiki/Kry%C5%A1tofovy_Hamry#Hospod%C3%A1%C5%99stv%C3%AD

[5d] Farma větrných elektráren Kryštofovy Hamry výkon

<http://www.pro-vetrniky.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/krystofovy-hamry.pdf>

[5e] Vodní elektrárna Dlouhé stráně

https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99e%C4%8Derp%C3%A1vac%C3%AD_vodn%C3%AD_elektr%C3%A1rna_Dlouh%C3%A9_str%C3%A1n%C4%9B

[5f]Přepočet hodnoty peněz

<https://www.penize.cz/kalkulacky/znehodnoceni-koruny-inflace>

[5g] Seznam vodních elektráren v ČR a jejich výkon

https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_vodn%C3%ADch_elektr%C3%A1ren_v_%C4%8Cesku

[6]Průměrná spotřeba elektřiny na byt v ČR

<https://www.czso.cz/csu/czso/pres-polovinu-energie-protopime>

[7]CO2 produkované elektrárnami v ČR

<https://oenergetice.cz/statistiky/ceska-republika-emise-co2/>

[8]Počet domácností v ČR – statistický úřad

<https://www.czso.cz/documents/10180/60622084/300002180135.pdf/41118799-e138-4013-98a6-dcd725cb45be?version=1.0>

8 Petriho síť

