

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta informačních technologií

Modelovanie a simulácie 2021/2022

EU Green Deal a jeho dopady na ekonomiku EU

(okruh č.4)

**Dekarbonizácia uholných regiónov v ČR a jej dopad
na energetickú nezávislosť krajiny**

Marek Miček, xmicck08
Matej Jurík, xjurik12

7.12.2021

Obsah

1.	Úvod do problematiky	2
1.1	Autori práce a zdroje dát	3
1.2	Overenie validity	3
2	Rozbor témy a použitých metód/technológií	4
2.1	Emisné faktory	4
2.2	Štatistiky energetického sektora ČR za rok 2020	4
2.3	Odhadované zmeny podielov palív na celkovej produkcii	6
2.4	Použité postupy	7
2.5	Popis pôvodu použitých metód/technológií	7
3	Koncepcia	7
3.1	Forma a vyjadrenie konceptuálneho modelu	8
4	Architektúra simulátoru	12
4.1	Mapovanie 1. časti konceptuálneho modelu do simulačného modelu	12
4.2	Mapovanie 2. časti konceptuálneho modelu do simulačného modelu	13
4.3	Mapovanie 3. časti konceptuálneho modelu do simulačného modelu	13
4.4	Mapovanie 4. časti konceptuálneho modelu do simulačného modelu	14
4.5	Spustenie simulačného programu	14
5	Simulačné experimenty	15
5.1	Experiment č.1	15
5.2	Experiment č.2	16
5.3	Experiment č.3	18
5.4	Experiment č.4	19
5.5	Experiment č.5	20
6	Zhrnutie simulačných experimentov a záver	21

1. Úvod do problematiky

Boj so zmenami klímy a z toho vyplývajúcim globálnym otepľovaním patrí k najväčším výzvam dnešnej doby. Zelená dohoda pre Európu (angl. Europe Green Deal) sa považuje za najúčinnější nástroj ako tento boj zvrátiť na svoju stranu. Jedná sa o súbor politických iniciatív Európskej komisie predstavený 11.12. 2019 (viz [1]). Jej hlavným cieľom je dosiahnutie uhlíkovej neutrality do roku 2050. Pod pojmom uhlíková neutralita sa rozumie dosiahnutie rovnováhy medzi emisiami uhlíku a jeho pohlcovaním z atmosféry (viz [2]). Prvý medzistupeň na ceste k dosiahnutiu tohto cieľu je do roku 2030 znížiť emisie oxidu uhličitého o 55% oproti roku 1990 (viz [1]). Európska únia (ďalej EU) požaduje splnenie tohto cieľu od každého členského štátu vrátane Českej republiky (ďalej ČR).

Takto objemná transformácia európskej ekonomiky si v budúcnosti rokoch vyžaduje ohromné investície. Na Európsku zelenú dohodu majú smerovať investície vo výške 1,8 bilióna eur z plánu obnovy NextGenerationEU a financovať sa budú aj zo sedemročného rozpočtu EU (viz [3]). No nemalé investičné náklady nie sú jediným problémom. Mnoho krajín, predovšetkým zo stredného a východného bloku EU, sa obáva veľkých finančných dopadov na ich energetický a priemyselný sektor. Tieto krajiny sú do veľkej miery závislé na uholnej energetike a ťažkom priemysle, pričom práve tieto odvetia patria k najväčším producentom oxidu uhličitého. Európska únia tlačí na členské štáty s požiadavkami na veľkú dekarbonizáciu práve v tejto oblasti. Avšak tieto požiadavky sú omnoho lepšie realizovateľné v štátoch severnej a západnej Európy, keďže tie sú závislé na uhlí minimálne a taktiež nemajú rozvinutý ťažký priemysel do takej miery ako krajiny strednej a východnej EU (viz [4]).

Pre ČR predstavuje dekarbonizácia v sektore energií a priemyslu značný problém, keďže uhlie bolo a je stále kľúčovým zdrojom energie. V roku 2019 predstavovalo jednu tretinu celkových dodávok energie v krajine (viz [5]). Masívne odstavovanie uhoľných elektrární by preto mohlo výrazne ohroziť energetickú nezávislosť ČR. Preto je pre ČR potrebné v nasledujúcich rokoch hľadať iné zdroje energie, ktoré budú zanechávať minimálnu uhlíkovú stopu. Kľúčom k úspechu budú pravdepodobne masívne investície do obnoviteľných zdrojov energie a výstavby nových blokov jadrových elektrární. Podľa odborných štúdií by do roku 2050 bolo potrebných do tejto oblasti zainvestovať okolo 4 biliónov korún (viz [4]).

Cieľom tejto práce je simulovať (viz [6], slajd 33) pokles podielu hnedého a čierneho uhlia na ročnej produkcii elektriky v ČR medzi rokmi 2021 až 2029. Medziročný hodnota tohto podielu sa bude znižovať takým tempom, aby na začiatku roku 2030 ČR spĺňala stanovený limit emisií uhlíku.

Simulácia (viz [6], slajd 8,10) by mala dať odpoveď na otázku, či bude ČR pri stanovenom tempe poklesu podielu uhlia na výrobe elektriny naďalej energeticky nezávislá ako je tomu v súčasnosti (viz [7]), prípadne v ktorom roku stratí svoju nezávislosť. Keďže uhlie má stále veľký podiel na celkovej vygenerovanej energii, dá sa predpokladať, že ČR bez zvýšenia podielu ostatných palív a technológii svoju sebestačnosť stratí. Preto by táto simulácia mala tiež navrhnúť o koľko percent by sa mal zvýšiť podiel ostatných palív tak, aby sa vykryli straty spôsobené redukovaním podielu uhlia. No samozrejme zahŕňať bude palivá, ktoré budú zanechávať minimálnu uhlíkovú stopu. Je potrebné pripomenúť, že samotná ČR predpokladá neschopnosť zredukovať do roku 2030 podiel uhlia na výrobe elektriky v takom množstve, ako to požaduje EU. Zdôvodňuje to časovo a finančne náročným procesom transformácie na čistejšie formy energie. Preto by simulácia mala určiť maximálne množstvo poklesu podielu uhlia na produkcii elektriky takým spôsobom, aby ČR čo najviac vyhovela požiadavkám zo strany EU a zároveň si zachovala svoju energetickú nezávislosť.

1.1 Autori práce a zdroje dát

Autormi tejto práce sú študenti tretieho ročníka FIT VUT v Brne, menovito Marek Miček a Matej Jurík. Pri písaní tejto práce neboli využité poznatky žiadneho odborného konzultanta. Jediným zdrojom boli internetové články a publikácie týkajúce sa danej problematiky. Fundamentálne dáta týkajúce sa množstva vyprodukovanej, spotrebovanej elektriky a podiely jednotlivých palív na tejto produkcii boli prebraté zo stránok Energetického regulačného úradu (viz [7]). Všetky zdroje dát sú uvedené v poslednej kapitole Referencie.

1.2 Overenie validity

Overenie validity modelu (viz [6], slajd 37) bolo realizované prostredníctvom príslušných experimentov, ktorých výsledky potvrdili závery z väčšiny nezávislých štúdií (viz kapitola 5 a 6). Výstupy modelu je možné považovať za validné aj z toho dôvodu, že v modeli sú použité oficiálne dáta z Energetického regulačného úradu ČR.

2 Rozbor témy a použitých metod/technológií

Keďže prvým primárnym cieľom Zelenej dohody je do roku 2030 znížiť emisie uhlíka o 55% oproti roku 1990, prvým krokom pre úspešné vykonanú simuláciu bolo potrebné zistiť množstvo vyprodukovaného oxidu uhličitého v roku 1990 a v roku 2020. Hodnoty v jednotlivých štatistikách sa mierne líšili, no nakoniec boli vybraté údaje, ktoré sa vyskytovali v nezávislých štúdiách najčastejšie. V roku 1990 ČR vyprodukovala 155,3 mt oxidu uhličitého a v roku 2020 to bolo 85,1 mt (viz [8]). Jednoduchým výpočtom sa dá dopočítať, že v roku 2030 by mala byť hodnota emisií uhlíka 69,89 mt, aby sa splnil limit poklesu o 55% oproti roku 1990. Z toho vyplýva, že medzi rokmi 2021-2029 by ČR mala zredukovať emisie uhlíka o 15,21 mt, teda ročne o 1,7 mt. Zároveň sa očakáva, že pri nákladovo optimálnom spôsobe financovania by dekarbonizácia v energetickom sektore mohla zredukovať 75% emisií uhlíka z celkového požadovaného počtu do roku 2030 (viz [8]). Z toho plyní, že na energetický sektor pripadá medziročná redukcia emisií uhlíka 1,27 mt ($0.75 \cdot 1,7$).

2.1 Emisné faktory

Emisné faktory udávajú množstvo emisií oxidu uhličitého na jeden GWh vyprodukovanej energie (viz [9]). Keďže pre potreby tejto práce je podstatné sledovať najmä emisie zemného plynu, čierneho a hnedého uhlia, budú v tejto kapitole uvedené práve tieto fosílné palivá.

- Hnedé uhlie = 360 T Co₂/GWh
- Čierne uhlie = 330 T Co₂/GWh
- Zemný plyn = 200 T Co₂/GWh

2.2 Štatistiky energetického sektora ČR za rok 2020

Energetický regulačný úrad ČR zverejňuje na konci každého roka údaje o prevádzke elektrizačnej sústavy. Okrem základných štatistík ako je celková vytvorená a spotrebovaná elektrika, poskytuje aj prehľad o podiele jednotlivých palív na celkovom množstve vyrobenej elektriky (viz [7]). A práve tieto dáta budú na vstupe vytvoreného simulačného modelu (viz [6], slajd 7,10), pričom sa bude vychádzať z dát na konci roka 2020 (správa za rok 2021 ešte nie je zverejnená).

V roku 2020 bolo podľa tejto správy v ČR brutto vytvorených 81443,4 GWh elektriky a brutto spotrebovaných 71353,9 GWh. Brutto produkcia/spotreba zahŕňa aj elektriku potrebnú k výrobe elektriky ako takej. Do výslednej simulácie bude logicky zahrnutá kvôli dosiahnutiu relevantnejších výsledkov.

Ďalším potrebným zdrojom dát je podiel jednotlivých palív na celkovej vytvorenej elektrike. Tento podiel zachytáva Obr. 2.1 prevzatý z Energetického regulačného úradu (viz [7]). Obrázok zachytáva tento podiel aj v množstve GWh a aj v percentách.

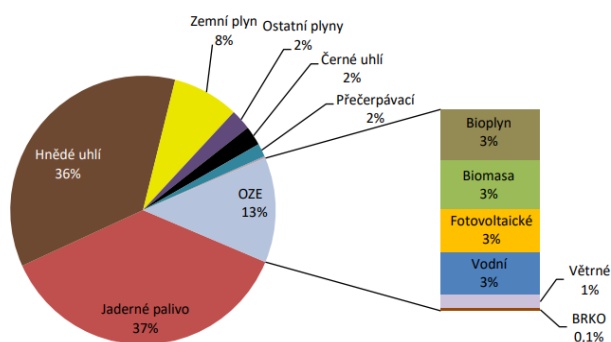
3.5. Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto [GWh]

2020

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Výroba elektřiny brutto	86 013,4	83 893,6	83 305,5	87 041,0	88 002,0	86 990,5	81 443,4
Jaderné palivo	30 324,9	26 840,8	24 104,2	28 339,6	29 921,3	30 246,2	30 043,3
Hnědé uhlí	35 832,2	35 945,2	36 228,1	36 978,1	37 733,8	35 172,0	29 073,6
Zemní plyn	1 356,6	1 978,0	3 422,2	3 388,0	3 488,1	5 514,5	6 586,9
Bioplyn	2 567,9	2 614,5	2 600,6	2 639,0	2 607,2	2 527,1	2 594,7
Biomasa	2 008,2	2 090,9	2 067,4	2 211,4	2 118,7	2 398,7	2 498,9
Fotovoltaické	2 127,2	2 267,1	2 134,0	2 196,7	2 341,2	2 287,0	2 235,1
Vodní	1 909,8	1 795,4	2 001,5	1 869,5	1 627,5	2 008,7	2 143,9
Ostatní plyny	3 221,6	3 088,8	3 036,2	2 879,7	2 751,5	2 514,7	2 035,1
Černé uhlí	4 889,8	5 165,6	5 719,9	4 453,0	3 454,5	2 149,0	1 914,2
Přečerpávací	1 051,5	1 276,0	1 201,5	1 170,5	1 050,6	1 166,7	1 293,1
Větrné	476,5	572,6	497,0	591,0	609,3	700,0	699,1
BRKO	87,3	86,6	98,6	114,2	100,2	104,8	119,4
Ostatní pevná paliva (mimo BRKO)	67,5	75,9	78,3	87,8	76,8	82,0	89,7
Odpadní teplo	35,4	32,4	46,0	45,6	64,3	62,1	70,3
Topné oleje	45,7	47,1	44,3	53,9	34,8	38,4	23,5
Ostatní kapalná paliva	10,7	16,1	25,0	22,8	21,6	17,4	21,8
Ostatní	0,5	0,7	0,8	0,2	0,5	1,0	1,0
Koks	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

zdroj dat: výkaz ERÚ-E1, OTE, a.s.

Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto - 2020



Obr. 2.1: Podiel palív na výrobe elektriny

Keďže máme k dispozícii emisné faktory hnedého, čierneho uhlia a zemného plynu, môžeme s ich podielmi na výrobe dopočítat koľko ton uhlíka za rok 2020 vyprodukovali.

- Hnedé uhlie = $29073,6 \cdot 360 = 10,47$ MT Co₂
- Čierne uhlie = $1914,2 \cdot 330 = 0,63$ MT Co₂
- Zemný plyn = $6586,9 \cdot 200 = 1,32$ MT Co₂

2.3 Odhadované zmeny podielov palív na celkovej produkcii

ČR si je vedomá, že výrazná dekarbonizácia v energetike ju neobíde a bude musieť hľadať iné energetické zdroje, aby nahradila výrazný pokles podielu uhlia na vyrobenej elektrike. Najväčšie možnosti vidí v navýšení produkcie elektriny z jadrových zdrojov, pričom sa dlhšiu dobu snaží tlačiť na EU aby povolila výstavby nových jadrových blokov (viz [10][11]). No EU nepovažuje rozšírenie jadrovej energetiky za najvhodnejšie riešenie, hoci produkcia uhlíku pri tomto spôsobe výroby elektriky je minimálna. Problémom je jadrový odpad (viz [12]). Z toho sa dá očakávať, že financovanie výstavby nových jadrových blokov nebude zo strany EU veľmi podporované. Aj tento fakt môže spôsobiť, že dostavba nových blokov sa o niečo predĺži. Každopádne ČR očakáva, že novo pristavené bloky budú prispievať k výrobe elektriny až okolo roku 2036 a teda s výraznejším nárastom produkcie elektriny z jadrového paliva sa do roku 2030 nepočíta (viz [5]).

Oblasť obnoviteľných zdrojov tiež nedisponuje najoptimistickejšími vyhlídkami. Do roku 2030 sa má z fotovoltaiických článkov vyprodukovať okolo 7 GWh a z veterných zdrojov 1,6 GWh (viz [5]). Oproti hodnotám na konci roka 2020 to predstavuje medzi rokmi 2021-2029 ročný nárast o 529,43 GWh pre fotovoltaiiku a 100,11 GWh pre veterné elektrárne.

U zemného plynu sa tiež dá očakávať mierny nárast podielu na produkcii elektriny, aby sa aspoň čiastočne vykryli straty spôsobené vyradením uhlia (viz [5]). Produkcia elektriky zo zemného plynu za posledných 5 rokov v ČR stúpla o 19,87% (viz [7]). No tu treba pamätať na to, že zemný plyn tiež produkuje nemalé množstvo oxidu uhličitého (200 t/GWh, viz kapitola Emisné faktory), hoci v menšej miere ako je tomu u uhlia. Kvôli tomu bude potrebná o niečo väčšia redukcia uhlíkových emisií u uhlia, aby sa odstránili navýšené emisie zo zvýšeného spaľovania plynu. U ostatných palív okrem uhlia sa očakáva, že budú prispievať zhruba rovnakým podielom k produkcii elektriky do roku 2030 (viz [5]).

Keďže sa má po prepočte v kapitole 2 ročne z energetického sektora znížiť hladina vypustených emisií uhlíka o 1,27 m_t, je potrebné túto hodnotu primerane rozdeliť medzi emisie hnedého a čierneho uhlia. Vychádzajúc z hodnôt vyprodukovaných emisií za rok 2020 (kapitola 2.2), emisie uhlíka čierneho uhlia sa budú medziročne znižovať o 0,07 m_t a hnedého o zostávajúcich 1,2 m_t. Teda dekarbonizácia čierneho uhlia bude z celkovej požadovanej dekarbonizácie ukrajsť medziročne 5,5% a dekarbonizácia hnedého ostávajúcich 94,5%. S využitím emisných faktorov z kapitoly 2.1 to predstavuje medziročný úbytok 3333,33 GWh pre hnedé a 212,12 GWh pre čierne uhlie.

2.4 Použité postupy

Pre vytvorenie modelu bol použitý programovací jazyk C++ a jeho štandardné knižnice. Keďže pre vytvorenie výsledného simulačného modelu sú potrebné len základné matematické operácie, nie je potrebné využitie žiadnych špecializovaných knižníc jazyka C++. Keďže tento jazyk a jeho základné knižnice sú otvorené a multi-platformné technológie, výsledný simulačný program je ľahko spustiteľný a prenositeľný. Pre preklad zdrojových súborov bol použitý nástroj CMake a Make. Pri implementácii sa využili postupy objektovo orientovaného návrhu, kvôli lepšej abstrakcii a použiteľnosti.

2.5 Popis pôvodu použitých metód/technológií

Pre účely vytvorenia abstraktného/konceptuálneho (viz [6], slajd 10,42) a simulačného modelu sa vychádzalo z logických úvah a výpočtov autorov. Tieto úvahy a výpočty boli podložené a odvodené predovšetkým z údajov Energetického regulačného úradu ČR. Na základe týchto údajov sa dal pomerne jednoducho vytvoriť abstraktný model reprezentujúci reálnu situáciu v českej energetike.

3 Koncepcia

Pri tvorbe abstraktného modelu boli podstatné údaje o podiele jednotlivých palív na celkovej vytvorenej elektrike. Z tabuľky na Obr. 2.1 v kapitole 2.2 boli zahrnuté všetky palivá po položku “Větrné”. Palivá, ktoré sa nachádzajú pod ňou neboli zahrnuté, lebo do celkovej produkcie elektriky prispievali iba nepatrné množstvo a ich vyradenie nebude mať vplyv na validitu modelu. Výsledná hodnota vyprodukovanej elektriny každého zahrnutého paliva bude priemerovaná z posledných 5 rokov (2016-2020). Výnimkou budú samozrejme hnedé a čierne uhlie, ktorých podiel sa bude každý rok znižovať, pričom štartovacia hodnota bude u oboch z roku 2020. Ďalšou výnimkou budú fotovoltaiické a veterné zdroje, u ktorých sa očakáva medziročný nárast. U nich sa bude medziročný podiel na tvorbe elektriny zvyšovať o stanovenú hodnotu (viz kapitola 2.3), pričom štartovacia hodnota u oboch bude opäť z konca roku 2020.

Množstvo vyprodukovanej elektriky sa na rozdiel od množstva spotrebovanej bude zanedbávať, keďže simulácia sa práveže snaží odhadnúť budúcu produkciu elektriky. Spotrebovaná elektrika sa bude tiež priemerovať z posledných 5 rokov, pričom tento priemer sa skoro vo všetkých simulačných experimentoch (viz [6], slajd 8) nebude meniť. Dôvodom je, že budúce hodnoty spotrebovanej elektriky sa ťažko odhadujú. Taktiež z pohľadu na posledných 5 rokov je vidno, že sa spotreba menila minimálne. Takže pravdepodobnosť, že

v dohľadnej dobe nastane výrazná zmena v tomto trende nie je príliš veľká. Z toho dôvodu sa v simulovanom období medzi rokmi 2021-2029 bude pracovať s priemernou spotrebou za posledných 5 rokov. Validitu modelu by to nemalo ovplyvniť. Priemerná spotreba sa bude meniť iba pri jednom experimente, kedy sa bude skúmať ako ovplyvní energetickú samostatnosť krajiny potencionálne nižšia spotreba elektriny v budúcnosti (viz kapitola Simulačné experimenty).

3.1 Forma a vyjadrenie konceptuálneho modelu

Konceptuálny model pre túto simuláciu je vyjadrení pomocou matematických rovníc a pseudokódov, ktoré sú odvodené zo vstupných dát. Pre každý experiment platí, že sa iteruje medzi rokmi 2021-2029, teda celkom 9-krát. V každom roku sa ku palivám s nemenným podielom na vytvorenej elektrike pripočítajú palivá, ktorých podiel sa medziročne mení. Na konci každého roka sa tento súčet porovná s priemernou spotrebou a určí sa, či je ČR v danom roku stále energeticky nezávislá. Tento postup je zachytený Pseudokódom 1.

```
1: FOR year in 1 to 9
2:   production = 0
3:   photovoltaics = photovoltaics + 529,43
4:   wind = wind + 100,11
5:   brown_coal = brown_coal – 3333,33
6:   black_coal = black_coal – 212,12
7:   production = constant_production + photovoltaics + wind + brown_coal + black_coal
8:   years_production_arr[year] = production
9:
10:  if production < consumption AND is_independent
11:    is_independent = false
12:    year_of_lost_independency = year
13:  END IF
14: END FOR
```

Pseudokód 1: Určenie energetickej závislosti ČR pri stanovenej dekarbonizácii

V podstate rovnakým pseudokódom dokážeme odpovedať na otázku, ako by sa zmenila situácia, keby sa znížila priemerná spotreba elektriky. Rozdiel by bol na riadku č.10, kde by sa celková produkcia daného roku porovnávala s menšou priemernou spotrebou.

Navýšenie podielu zemného plynu na produkcii elektriky by sa muselo modelovať odlišne. Každá GWh navyše by vypustila 200 t uhlíku (viz kapitola 2.1). Takto navýšená produkcia emisií sa musí redukovať zvýšenou dekarbonizáciou uhlia, ktorá by sa aplikovala iba pri hnedom uhlí. Čierne uhlie má nízky podiel na produkcii energie a nemá tak veľký manévrovací priestor na zvyšovanie ročnej dekarbonizácie. Preto sa bude jeho hodnota vyprodukovanej energie ročne znižovať rovnako ako v predošlom experimente. Situáciu popisuje Pseudokód 2.

```

1: FOR year in 1 to 9
2:   production = 0
3:   photovoltaics = photovoltaics + 529,43
4:   wind = wind + 100,11
5:   additional_emission = gas*share_increase*200
6:   brown_coal = brown_coal - (3333,33 + (additional_emission/360))
7:   black_coal = black_coal - 212,12
8:   IF brown_coal >= 0
9:     gas = gas + gas*share_increase
10:  ELSE
11:    last_brown_coal_production = (3333,33 + (additional_emission/360)) - ABS(brown_coal)
12:    IF last_brown_coal_production > 0
13:      available_co2_treshold = last_brown_coal_production*360
14:      gas = gas + (available_co2_treshold/200)
15:    END IF
16:  END IF
17:  production = constant_production + photovoltaics + wind + brown_coal + black_coal + gas
18:  years_production_arr[year] = production
19:  if production < consumption AND is_independent
20:    is_independent = false
21:    year_of_lost_independency = year
22:  END IF
23: END FOR

```

Pseudokód 2: Zvýšenie podielu zemného plynu a jeho dopad na energetickú závislosť

Na riadku č.5 sa s využitím emisného faktora vypočíta pridaná hodnota emisií uhlíka pri percentuálnom zvýšení podielu zemného plynu. Takto navýšené emisie sa s použitím emisného faktoru hnedého uhlia na riadku č.6 prevedú na konkrétnu hodnotu GWh, o ktorú sa množstvo vyprodukovanej elektriky z hnedého uhlia zníži. No tiež treba kontrolovať, či v danom roku po odpočte požadovanej energie ešte vôbec existuje nejaká energia vyprodukovaná z hnedého uhlia (riadok č.8). Pokiaľ by neexistovala, tak sa nemajú ako zredukovať vypustené emisie z navýšenej produkcie zemného plynu. V tom prípade sa zistí produkcia hnedého uhlia pred jeho odpočtom v danom roku.

Pokiaľ bola prítomná nenulová produkcia elektriky (riadok č.12), tak sa táto odčítaná produkcia prevedie na prírastok do produkcie zemného plynu (cez emisné faktory, riadky č.13 a č.14). Tým sa produkcia plynu zvýši o posledný úbytok z produkcie hnedého uhlia. Riadok č.9 reprezentuje medziročný percentuálny nárast podielu zemného plynu na celkovej produkcii elektriky v prípade, že po odpočte v danom roku ešte existuje nejaká produkcia hnedého uhlia. Percentuálny nárast sa rovná hodnote 19,87%, čo predstavuje priemerný nárast produkcie elektriky zo zemného plynu v ČR za posledných 5 rokov (viz kapitola 2.3).

Vytvorený model je tiež schopný vyjadriť potrebné percentuálne zvýšenie podielu obnoviteľných zdrojov na produkcii elektriky, tak aby ČR nestratila svoju sebestačnosť. Túto situáciu zachytáva Pseudokód 3. Na konci každého roka sa bude porovnávať výsledná produkcia s požadovanou spotrebou. Pokiaľ by produkcia bola menšia, znamená to, že ČR by už nebola energeticky samostatná. V takom prípade sa na riadkoch č.11 až č.13 dopočíta chýbajúce množstvo energie, o ktoré sa bude musieť zvýšiť podiel obnoviteľných zdrojov na celkovej produkcii elektriky.

```

1: FOR year in 1 to 9
2:   production = 0
3:   photovoltaics = photovoltaics + 529,43
4:   wind = wind + 100,11
5:   brown_coal = brown_coal - 3333,33
6:   black_coal = black_coal - 212,12
7:   production = constant_production + renewable + photovoltaics + wind + brown_coal + black_coal
8:   years_production_arr[year] = production
9:
10:  if production < consumption
11:    production_lost = consumption - production
12:    all_renewable = fotovoltaics + wind + renewable
13:    renewable_increase = (production_lost)/all_renewable
14:    renewable_increase_arr[year] = renewable_increase
15:  else
16:    renewable_increase_arr[year] = 0
17:  END IF
18: END FOR

```

Pseudokód 3: Potrebná hodnota navýšenia podielu obnoviteľných zdrojov v danom roku za účelom zachovania energetickej nezávislosti

Posledná modelová situácia sa týka stanovenia maximálnej možnej úrovne dekarbonizácie uhlia, ktorá by neznamenal stratu energetickej samostatnosti ČR. Túto situáciu zachytáva Pseudokód 4. V skúmanom deväť ročnom období sa klasickým spôsobom simuluje dekarbonizácia v uhliarskom sektore. V poslednom roku sa v prípade stratenej energetickej samostatnosti ČR zistí konečný rozdiel medzi aktuálnou produkciou a požadovanou spotrebou. Hnedé a čierne uhlie budú musieť spolu zväčšiť svoju produkciu práve o tento rozdiel. Vychádzajúc z kapitoly 2.3, čierne uhlie prispieva 5,5% a hnedé uhlie 94,5% k celkovej dekarbonizácii v energetickom sektore. Tým istým podielom budú obe prispievať aj spätne pri určení maximálnej miery dekarbonizácie na základe chýbajúcich kapacít za celé deväť ročné obdobie. Riadky č.18 a č.19 určujú, o koľko sa má zvýšiť ich podiel v GWh na vyrobenej elektrike, aby sa vykryli straty spôsobené ich prílišnou dekarbonizáciou. Ich nové hodnoty dekarbonizácie sa určia vzťahmi na riadkoch č.19 a č.20, pričom sa opäť využijú ich emisné faktory z kapitoly 2.1. Množstvo celkových navýšených emisií uhlíka sa musí podeliť číslom deväť, aby sa určilo ročné navýšenie (skúma sa 9 ročné obdobie).

```

1: FOR year in 1 to 9
2:   production = 0
3:   photovoltaics = photovoltaics + 529,43
4:   wind = wind + 100,11
5:   brown_coal = brown_coal – 3333,33
6:   black_coal = black_coal – 212,12
7:   production = constant_production + photovoltaics + wind + brown_coal + black_coal
8:   years_production_arr[year] = production
9:   IF year == 9
10:     IF production < consumption
11:       is_independent = false
12:       year_production_lost = consumption – production
13:       total_production_lost = consumption + year_production_lost
14:     END IF
15:   END IF
16: END FOR
17: IF is_independent == false
18:   black_coal_increase = 0,055* total_production_lost
19:   brown_coal_increase = 0,945* total_production_lost
20:   black_coal_new_decarbonization = black_coal_old_decarbonization – ((330*black_coal_increase)/9)
21:   brown_coal_new_decarbonization = brown_coal_old_decarbonization - ((360*brown_coal_increase)/9)
22: END IF

```

Pseudokód 4: Stanovenie maximálnej možnej miery dekarbonizácie uhlia
vzhľadom k zachovaniu energetickej nezávislosti

4 Architektúra simulátoru

Pri spustení simulačného modelu (viz [6], slajd 44) sa ako prvé spracujú argumenty zadané užívateľom. Voľba a význam jednotlivých argumentov sú popísané v kapitole Spustenie simulačného modelu. Po vytvorení inštancie triedy `GreenDealSimulation` sa volá jej funkcia `run`, ktorá spustí simulačné experimenty popísané konceptuálnymi modelmi v kapitole 3.1. Všetky experimenty sú implementované v súbore `GreenDealSimulation.cpp`. Hlavičkový súbor `Argopt.h` obsahuje všetky energetické dáta a konštanty, ktoré jednotlivé experimenty potrebujú.

4.1 Mapovanie 1. časti konceptuálneho modelu do simulačného modelu

Prvotná otázka týkajúca sa udržania energetickej sebestačnosti ČR pri požadovanom levely dekarbonizácie je implementovaná vo funkcii `compute_impact_of_coal_energy_reduction_on_CR_energy_independence`. Pred samotným iterovaním cez skúmané 9 ročné obdobie pomocou `for` cyklu, sa určia počiatočné podiely na produkcii tých palív, ktoré sa budú počas simulácie meniť (viz kapitola 3). Počas simulácie sa menia o hodnoty definované v súbore `Argopt.h`. K týmto meniacim sa palivám sa pripočítajú palivá, ktorých podiel bude každý rok rovnaký a výsledkom bude celková ročná produkcia. Tento súčet sa porovná s požadovanou produkciou a tým sa určí, či je ČR v danom roku stále samostatná. Pri každom roku sa na štandardný výstup (ďalej `STDOUT`) vypisuje aktuálna produkcia, požadovaná spotreba a ich rozdiel pre daný rok. Po ukončení experimentu sa na `STDOUT` vypíše výsledok experimentu s prípadným rokom straty energetickej nezávislosti.

Výsledná funkcia je namapovaná takmer identicky zo pseudokódu č.1 z kapitoly 3.1. Jediným doplnením je výpis štatistík na konci každého roka a overenie, či v danom roku čierne a hnedé uhlie majú dostatočnú kapacitu z ktorej sa dá produkcia ešte zredukovať (nesmie sa ísť do záporných čísel, ale rovno stanoviť produkcia na nulu).

Druhý experiment týkajúci sa udržania energetickej sebestačnosti ČR pri rovnakých vstupných parametroch, ale nižšej požadovanej spotrebe je implementovaný rovnakou funkciou, ale posiela sa do nej nižšia hodnota požadovanej spotreby.

4.2 Mapovanie 2. časti konceptuálneho modelu do simulačného modelu

Tretí experiment simulujúci zvyšujúci sa podiel zemného plynu na celkovej produkcii a jeho dopad na energetickú samostatnosť je implementovaný funkciou `compute_impact_of_natural_gas_energy_increase_on_CR_energy_independence`. Postup je podobný ako u predošlej funkcie, no zemný plyn je v tomto prípade palivo, ktorého podiel sa každý rok mení. Experiment znova takmer úplne vychádza zo pseudokódu č.2 v kapitole 3.1, pričom jediným doplnením je výpis štatistík na `STDOUT` na konci každého roka. Na začiatok je potrebné vypočítať dodatočné emisie vyprodukované navýšeným podielom zemného plynu na celkovej produkcii. Pri každom odpočte produkcie energie u hnedého uhlia treba kontrolovať jeho dostatočnú kapacitu, aby sa mohli redukovať emisie uhlíka vyprodukované navýšením zemného plynu. V prípade nedostatočnej kapacity sa overí, či nebol pred odpočítaním prítomný aspoň čiastočný podiel na produkcii energie v predošlom roku. V takom prípade sa navýši do ďalšieho roka produkcia zemného plynu o tento podiel (po prepočítaní cez emisné faktory).

4.3 Mapovanie 3. časti konceptuálneho modelu do simulačného modelu

Ďalší experiment simulujúci počítanie percentuálneho zvýšenia podielu obnoviteľných zdrojov na celkovej produkcii v danom roku, za účelom udržania energetickej samostatnosti ČR je implementovaný vo funkcii `compute_required_renewable_energy_increase_to_save_CR_energy_independence`. Implementácia vychádza zo pseudokódu č.3 z kapitoly 3.1. Vo `for` cykle sa opäť prechádza skúmané 9 ročné obdobie, pričom na konci každého roka sa skontroluje aktuálna produkcia energie s požadovanou spotrebou. V prípade, že je spotreba väčšia, určí sa o koľko percent by sa musel v danom roku zvýšiť podiel obnoviteľných zdrojov energie na celkovej produkcii elektriky tak, aby bola ČR stále energeticky nezávislá. Pokiaľ je ročná produkcia dostatočná, podiel obnoviteľných zdrojov energie sa nemusí v daný rok meniť. Na konci každého roka sa na `STDOUT` vypíše aktuálna produkcia, požadovaná spotreba, ich rozdiel pre daný rok a potrebné percento zvýšenia podielu obnoviteľných zdrojov energie na celkovej produkcii aby si ČR zachovala svoju nezávislosť.

4.4 Mapovanie 4. časti konceptuálneho modelu do simulačného modelu

Posledný experiment sa týka určenia maximálnej možnej ročnej miery dekarbonizácie pre čierne a hnedé uhlie za predpokladu, že sa zachová energetická nezávislosť ČR. Jeho implementácia sa nachádza vo funkcii `compute_maximum_possible_decarbonization_that_wont_affect_CR_energy_independence`. Vychádzajúc zo pseudokódu č.4 v kapitole 3.1, vo `for` cykle znova prebehne 9 ročná simulácia postupnej dekarbonizácie v uhliarskom priemysle, pričom v poslednom roku sa zistí prípadný rozdiel medzi požadovanou spotrebou a produkciou v danom roku. Pokiaľ existuje, tak ČR stratila svoju energetickú nezávislosť. Tento rozdiel spoločne vykryjú obe typy uhlia upravenou hodnotou ročnej dekarbonizácie tak, že hnedé uhlie vykryje 94,55% a čierne 5,5% z tohoto rozdielu. Na konci experimentu sa vypíše maximálna hodnota ročnej dekarbonizácie v `mt` oxidu uhličitého pre čierne a hnedé uhlie, ktorá zabezpečí, že ČR si aj po roku 2029 zachová svoju energetickú nezávislosť.

4.5 Spustenie simulačného programu

Program je možné preložiť použitím nástroja CMake alebo Make (viz súbor README.md v kostre archív). Odporúča sa (aj z povahy projektu) použiť Make nasledujúcim spôsobom.

- `$make run` – preloží a spustí simuláciu všetkých piatich experimentov
- `$make` – preloží simulačný program, preložený program sa spustí príkazom `./bin/GreenDeal` s možným použitím argumentov

Príkaz `./bin/GreenDeal -h|-H` vypíše nápovedu ako používať program. Príkaz `./bin/GreenDeal` spustí rovnako ako príkaz `make run` simuláciu všetkých piatich experimentov. Príkaz `./bin/GreenDeal -x {number}` spustí simuláciu experimentu, ktorého číslo sa rovná hodnote argumentu `-x {number}`. Experimenty sú očíslované podľa postupnosti v kapitole 5. Teda experiment č.1 z kapitoly 5.1 by sa pustil príkazom `./bin/GreenDeal -x 1`, experiment č.2 z kapitoly 5.2 príkazom `./bin/GreenDeal -x 2` a tak ďalej. Výsledky simulácie sa vypíšu na STDOUT.

5 Simulačné experimenty

Cieľom všetkých simulačných experimentov bolo simulovať očakávanú dekarbonizáciu v energetickom sektore ČR v rokoch 2021-2029. Táto dekarbonizácia sa má prejavovať zmenšovaním podielu hnedého a čierneho uhlia na celkovej vyprodukovanej energii krajiny. Jednotlivé experimenty mali za cieľ odhaliť prípadnú stratu energetickej nezávislosti ČR pri požadovanej miere dekarbonizácie zo strany EU, prípadne simulovať nájdenie optimálnej možnosti, ako dekarbonizáciu uskutočniť a zároveň zachovať energetickú sebestačnosť. Dokopy bolo prevedených 5 simulačných experimentov. U všetkých bol aplikovaný podobný postup, ktorým sa došlo k jeho vyhodnoteniu. Cez `for` cyklus sa prechádzali roky 2021-2029 a v každom sa roku sa porovnávala požadovaná spotreba s aktuálnou produkciou v danom roku. Táto produkcia závisela na vstupných parametroch a povahe experimentu. Pokiaľ bola produkcia od spotreby väčšia alebo menšia maximálne o -1 GWh, ČR v si danom roku zachovala svoju energetickú nezávislosť.

5.1 Experiment č.1

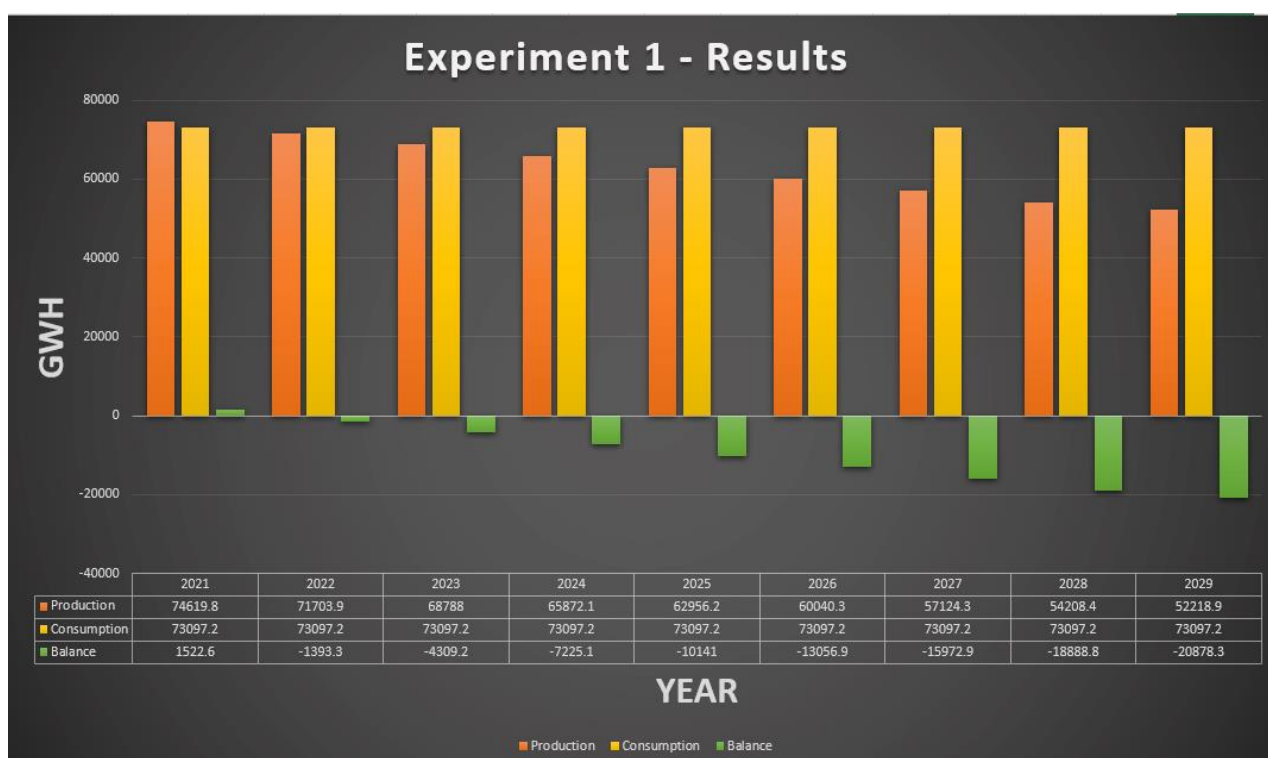
Cieľom prvého experimentu bolo odpovedať na prvotnú otázku celej práce. Dokáže si ČR zachovať do roku 2030 svoju energetickú sebestačnosť pri miere dekarbonizácie, ktorú požaduje EU ? Zodpovedaním tejto otázky sa zároveň aj čiastočne overí validita celého modelu, keďže drvivá väčšina štúdií tvrdí, že to nedokáže bez razantného zvýšenia podielu ostatných palív v energetike (predovšetkým obnoviteľné zdroje a jadrová energia, viz kapitola 1, 2.3, [5][10][11]).

Počas tohto experimentu sa bude každý rok znižovať podiel hnedého a čierneho uhlia na vyprodukovanej energii o predom stanovenú hodnotu (viz kapitola 2.3). Naopak podiel fotovoltickej a veternej energie sa bude ročne zvyšovať (viz kapitola 2.3). Ostatné palivá budú mať nemenný podiel. Vstupné dáta s ktorými experiment pracuje sú zobrazené v tabuľke 5.1.

Výsledok experimentu zobrazuje graf č. 5.1. Z jeho priebehu je vidno, že ČR by stratila svoju energetickú sebestačnosť už v roku 2022 so stratou 1393,31 GWh. Táto strata by sa prehlbovala a v poslednom roku by činila až 20 878,3 GWh. Z výsledkov experimentu sa potvrdili predpoklady ostatných nezávislých štúdií a teda ČR by svoju energetickú nezávislosť stratila. Tým sa čiastočne overila validita modelu.

Ročná spotreba = 73097,22				
Nemenné palivá	Ročná produkcia	Meniace sa palivá	Počiatočná produkcia	Ročný prírastok
Jadrové palivo	28530.92	Hnedé uhlie	29073.6	-3333,33
Zemný plyn	4479.94	Fotovoltaika	2235.1	529,43
Bioplyn	2593.72	Veterné zdroje	699.1	100,11
Biomasa	2259.02	Čierne uhlie	1914.2	-212,12
Vodné zdroje	1930.22			
Ostatné plyny	2643.44			
Prečerpávajúce	1176.48			

Tab. 5.1: Vstupné dáta experimentu č.1 (GWh)



Graf 5.1: Vplyv požadovanej dekarbonizácie na energetickú samostatnosť

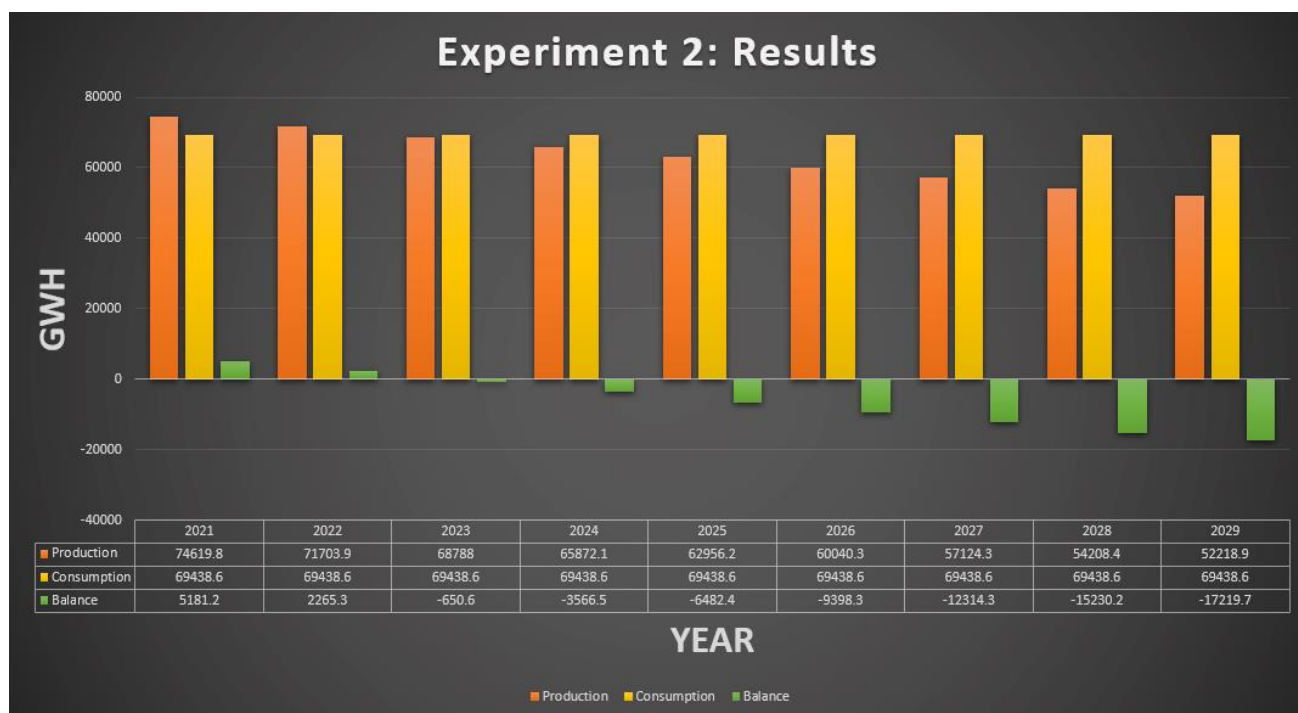
5.2 Experiment č.2

Cieľom druhého experimentu bolo sledovať, ako moc sa situácia zmení vplyvom menšej požadovanej spotreby, pričom ostatné parametre sa oproti prvému experimentu nezmenia (viz Tab. 5.2). Ako bolo spomenuté v kapitole 3, budúca spotreba sa odhaduje ťažko a z pohľadu na jej vývoj z posledných 5 rokov sa veľmi nemenila. No tento experiment na rozdiel od ostatných bude pracovať s menšou hodnotou priemernej spotreby (o 5% nižšou). Nižšia spotreba je v budúcich rokoch viac pravdepodobná ako vyššia, či už kvôli korone a uzavretým podnikom, alebo vďaka tlaku EU na zelenšie domácnosti. Z toho vyplýva, že tento experiment má zmysel vykonať.

Z výsledkov na grafe č. 5.2 je vidno, že ČR prišla o svoju nezávislosť o rok neskôr a strata v poslednom roku činila 17219,6 GWh, teda približne o 3660 GWh menej ako v minulom experimente. No napriek tomu, že priemerná spotreba sa znížila až o 5%, neprejavil sa až tak markantný rozdiel oproti predošlému experimentu. Je málo pravdepodobné, že sa spotreba v budúcich rokoch zníži o väčšiu hodnotu. Z toho vyplýva, že je naozaj potrebné, aby ČR hľadala náhradu za stratenú energiu z uhlia v iných zdrojoch.

Ročná spotreba = 69438.559				
Nemenné palivá	Ročná produkcia	Meniace sa palivá	Počiatočná produkcia	Ročný prírastok
Jadrové palivo	28530.92	Hnedé uhlie	29073.6	-3333,33
Zemný plyn	4479.94	Fotovoltaika	2235.1	529,43
Bioplyn	2593.72	Veterné zdroje	699.1	100,11
Biomasa	2259.02	Čierne uhlie	1914.2	-212,12
Vodné zdroje	1930.22			
Ostatné plyny	2643.44			
Prečerpávajúce	1176.48			

Tab. 5.2: Vstupné dáta experimentu č.2 (GWh)



Graf 5.2: Vplyv požadovanej dekarbonizácie na energetickú samostatnosť pri nižšej spotrebe

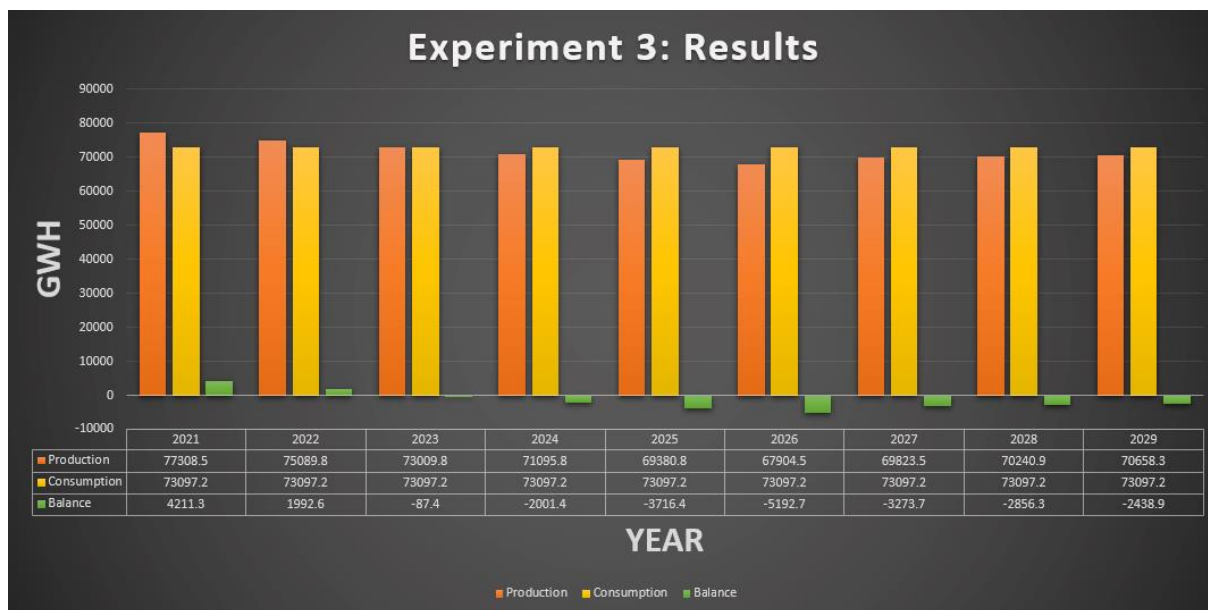
5.3 Experiment č.3

V tomto experimente sa sledovalo zvýšenie podielu zemného plynu na celkovej produkcii elektriky a dopad tohto zvýšenia na energetickú nezávislosť ČR. Zemný plyn v tomto experimente už nebude vystupovať ako nemenné palivo. Každý rok sa bude jeho podiel zvyšovať o 19,87%, čo predstavuje jeho priemerný nárast za posledných 5 rokov (viz kapitola 2.3). U ostatných palív, okrem hnedého uhlia, sa oproti minulým experimentom podiely na produkcii nemenia (viz Tab. 5.3). Produkcia hnedého uhlia sa bude znižovať nie len o predom stanovenú hodnotu vplyvom dekarbonizácie, ale aj o dekarbonizáciu potrebnú pre emisie z navýšeného podielu zemného plynu (viz kapitola 2.3). Cieľom celého experimentu je určiť, či zvýšený podiel zemného plynu na produkcii celkovej energie môže vykryť energetické straty spôsobené dekarbonizáciou v energetickom sektore a tak zachovať energetickú nezávislosť ČR.

Výsledky experimentu zobrazuje graf č. 5.3. ČR stratila svoju energetickú sebestačnosť v roku 2023 so stratou 87,4586 GWh, no táto strata vplyvom zvýšeného podielu plynu na produkcii v ďalších rokoch nenarastala takým závažným tempom ako u predošlých experimentoch. No je potrebné myslieť na jeden dosť podstatný problém tohto spôsobu riešenia dekarbonizácie v českej energetike. V okamihu, keď sa minie celý podiel hnedého uhlia na celkovej produkcii, tak sa už nemajú ako znižovať emisie vyprodukované zo zemného plynu. Jeho podiel sa už síce potom nezvyšuje, ale ani neznižuje. To je dôvod, prečo v posledných troch rokoch produkcia dokonca stúpa. Zemný plyn prispieva rovnakým podielom energie ako v čase, keď sa vyčerpal podiel hnedého uhlia, a celkovú produkciu ešte čiastočne navyšujú rastúce podiely fotovoltaiiky a veterných elektrární (viz kapitola 2.3). No emisie zo zemného plynu už nemá čo redukovať a to by pre EU nebola príjemná správa, hoci by emisie uhlíka boli nižšie, keďže uhlie by sa do veľkej časti nahradilo zemným plynom, ktorý má menšie emisie (viz kapitola 2.1).

Ročná spotreba = 73097,22				
Nemenné palivá	Ročná produkcia	Meniace sa palivá	Počiatočná produkcia	Ročný prírastok
Jadrové palivo	28530.92	Hnedé uhlie	29073.6	-(3333,33 + emisie zemného plynu)
Bioplyn	2593.72	Fotovoltaiika	2235.1	529,43
Biomasa	2259.02	Veterné zdroje	699.1	100,11
Vodné zdroje	1930.22	Čierne uhlie	1914.2	-212,12
Ostatné plyny	2643.44	Zemný plyn	6586.9	19.87 %
Prečerpávajúce	1176.48			

Tab. 5.3: Vstupné dáta experimentu č.3 (GWh)



Graf 5.3: Vplyv väčšieho podielu zemného plynu na energetickú samostatnosť

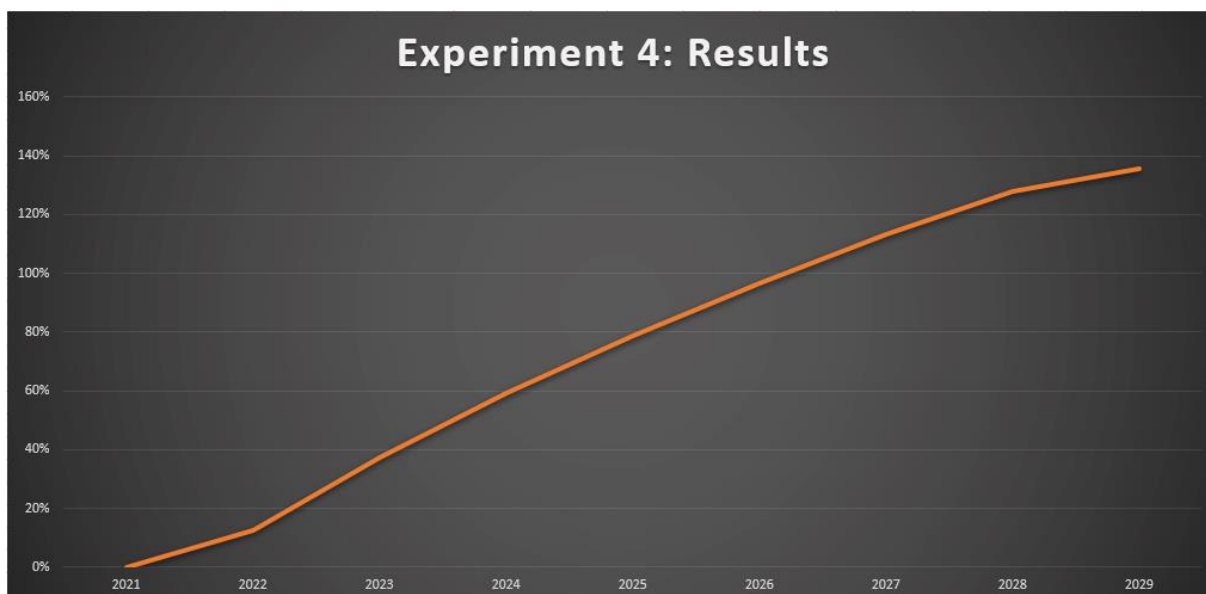
5.4 Experiment č.4

Cieľom tohto experimentu bolo zistiť, o koľko by sa v rokoch keď ČR produkovala menej energie ako spotrebovala musela navýšiť produkcia energie z obnoviteľných zdrojov. Do obnoviteľných zdrojov energie sa pre účely tejto simulácie radia veterné a vodné elektrárne, fotovoltaika, biomasa a bioplyn. V každom roku, kde sa zaznamenala energetická strata sa porovná aktuálna strata s aktuálnou produkciou obnoviteľných zdrojov a určí sa, o koľko percent sa musí v danom roku daná produkcia zvýšiť. Vstupné dáta experimentu sú rovnaké ako u prvého experimentu a sú priložené v tabuľke 5.4.

Výsledkom je graf č. 5.4. V prvom roku netreba zvyšovať produkciu z obnoviteľných zdrojov, keďže ČR mala v tomto roku ešte dostatočnú produkciu. Táto situácia sa v ďalších rokoch postupne mení a požadované zvýšenie energie z obnoviteľných zdrojov stále stúpa. V poslednom roku dosiahlo hodnotu až 135,723 %.

Ročná spotreba = 73097,22				
Nemenné palivá	Ročná produkcia	Meniace sa palivá	Počiatočná produkcia	Ročný prírastok
Jadrové palivo	28530.92	Hnedé uhlie	29073.6	-3333,33
Zemný plyn	4479.94	Fotovoltaika	2235.1	529,43
Bioplyn	2593.72	Veterné zdroje	699.1	100,11
Biomasa	2259.02	Čierne uhlie	1914.2	-212,12
Vodné zdroje	1930.22			
Ostatné plyny	2643.44			
Prečerpávajúce	1176.48			

Tab. 5.4: Vstupné dáta experimentu č.4 (GWh)



Graf 5.4: Priebeh potrebného ročného nárastu obnoviteľných zdrojov na produkcii energie za účelom zachovania energetickej nezávislosti ČR

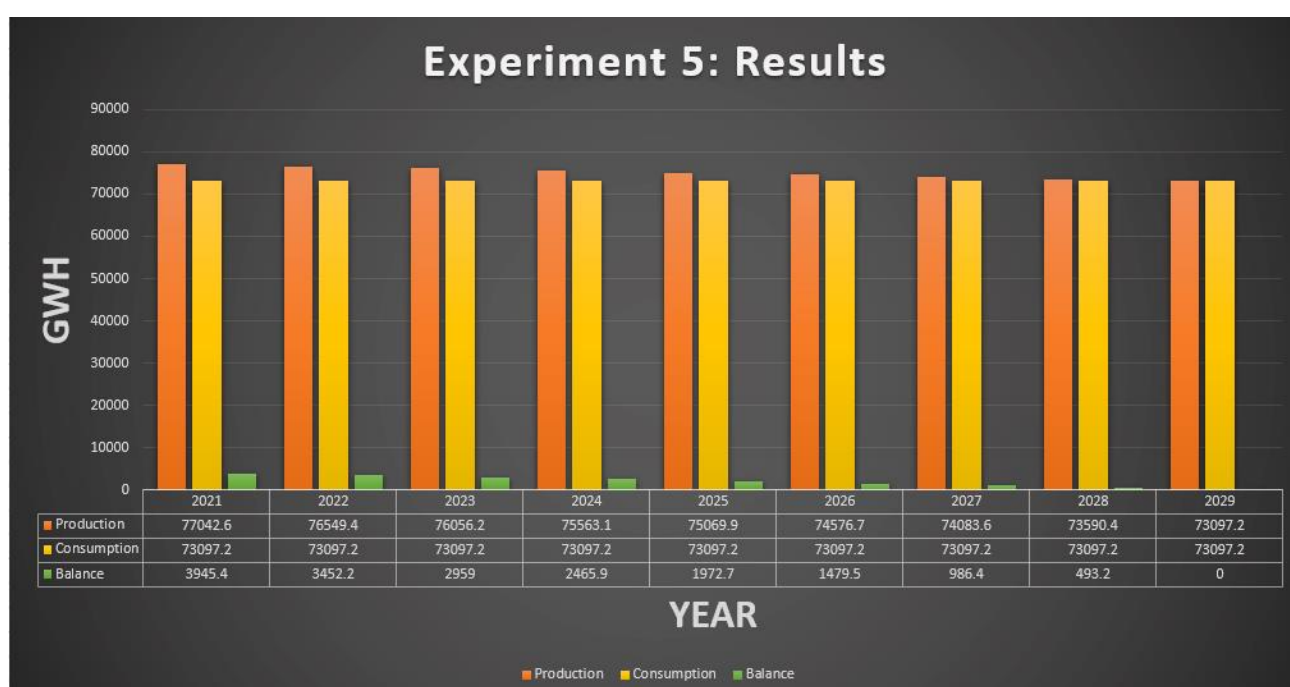
5.5 Experiment č.5

V poslednom experimente sa bude zisťovať maximálna miera ročnej dekarbonizácie čierneho a hnedého uhlia, ktorá by neznamenal stratu energetickej nezávislosti ČR. Experiment pracuje s rovnakými podielmi palív ako prvý experiment (viz Tab. 5.5), pričom v poslednom roku simulácie sa poznačí aktuálna energetická strata. Táto strata sa primeraným spôsobom rozdelí medzi hnedé a čierne uhlie (viz kapitola 3.1, pseudokód č.4), pričom sa prevedie cez emisné faktory na konkrétnu hodnotu emisií, o ktoré je potrebné znížiť pôvodnú ročnú hodnotu dekarbonizácie. Tým sa docieli, že síce sa ročne bude z podielu uhlia na celkovej produkcii ukrájať ročne menšia hodnota, no ČR zostane aj v roku 2029 samostatná.

Nová ročná hodnota dekarbonizácie bude na konci experimentu 0.3758 mt oxidu uhličitého pre hnedé uhlie a 0.0260 mt a pre čierne uhlie. Správnosť týchto nových hodnôt sa otestovala pomocou prvého experimentu, ktorý sa spustil s novými hodnotami dekarbonizácie. Výsledný graf č. 5.5 ukazuje výsledok tohto experimentu, pričom je vidieť, že v poslednom roku sa spotreba rovná aktuálnej produkcii a teda ČR by si zachovala svoju energetickú nezávislosť. Tým sa tiež potvrdila validita modelu, keďže nové hodnoty dekarbonizácie sa naozaj určili správne.

Ročná spotreba = 73097,22				
Nemenné palivá	Ročná produkcia	Meniace sa palivá	Počiatková produkcia	Ročný prírastok
Jadrové palivo	28530.92	Hnedé uhlie	29073.6	-3333,33
Zemný plyn	4479.94	Fotovoltaika	2235.1	529,43
Bioplyn	2593.72	Veterné zdroje	699.1	100,11
Biomasa	2259.02	Čierne uhlie	1914.2	-212,12
Vodné zdroje	1930.22			
Ostatné plyny	2643.44			
Prečerpávajúce	1176.48			

Tab. 5.5: Vstupné dáta experimentu č.5 (GWh)



Graf 5.5: Výsledok simulácie dekarbonizácie s novými hodnotami dekarbonizácie

6 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Z výsledkov všetkých simulačných experimentov vyplýva, že ČR by sa pri požadovanej miere dekarbonizácie musela snažiť razantne zvýšiť podiel ostatných palív podieľajúcich sa na celkovej produkcii energie, inak by stratila svoju energetickú nezávislosť.

Tento záver je vyvodený predovšetkým z prvého vykonaného experimentu, kedy sa simulovala požadovaná dekarbonizácia energetického sektora ČR medzi rokmi 2021-2029. Bez významnejšieho zvýšenia produkcie energie ostatných palív sa ČR stala energeticky závislá už v roku 2022, pričom v poslednom roku produkovala o 20 878,3 GWh menej energie ako spotrebovala.

Znížene spotreby o 5% moc nevylepšilo túto štatistiku. ČR síce stratila svoju energetickú nezávislosť až v roku 2023 a v poslednom roku bola jej strata o niečo menšia (17219,6 GWh), no tieto čísla stále predstavujú príliš veľké energetické straty. Navyše sa nedá očakávať, že by spotreba v budúcich rokoch klesla o tak závažnú hodnotu, že by znižovaná produkcia dokázala mať vyššiu hodnotu.

Nárast podielu zemného plynu na celkovej produkcii energie do istej miery dokázal vykryť straty z požadovanej dekarbonizácie. ČR stratila svoju energetickú sebestačnosť v roku 2023 so stratou 87,4586 GWh, no táto strata vplyvom zvýšeného podielu plynu na produkcii v ďalších rokoch nenarastala takým závažným tempom ako u predošlých experimentoch. Problémom bol fakt, že v okamihu, keď sa minie celý podiel hnedého uhlia na celkovej produkcii, tak sa už nemajú ako znižovať emisie vyprodukované zo zemného plynu. Takto navýšený podiel zemného plynu síce relatívne dobre vykryva energetické straty, no zároveň po vyradení hnedého uhlia sa už neredukujú emisie zo zemného plynu, čo určite nespĺňa požiadavky EU.

Keďže jedným spôsobom ako vykryvať energetické straty spôsobené dekarbonizáciou je zvýšiť podiel obnoviteľných zdrojov na produkcii energie, vytvorený simulačný model určil percentuálny nárast tohto podielu v každom roku, kedy došlo ku strate. Tento podiel by každoročne narastal relatívne rýchlo, pričom v poslednom roku by sa musel tento podiel zvýšiť o 135,723 %.

Keďže ČR zatiaľ ťažko hľadá prostriedky na to, aby dokázala dekarbonizovať tempom požadovaným EU, simulačný model aspoň určil maximálnu hodnotu dekarbonizácie pre čierne a hnedé uhlie, pričom ČR by si pri týchto nových hodnotách zachovala svoju energetickú nezávislosť. Nová hodnota dekarbonizácie pre hnedé uhlie by bola 0.3758 m_t a pre čierne uhlie 0.0260 m_t.

Na záver je možné konštatovať, že vytvorený simulačný model potvrdil predpoklady nezávislých štúdií, ktoré tvrdia, že dekarbonizácia energetického sektora ČR bude zložitý a nákladný proces (čím sa potvrdila validita vytvoreného modelu). ČR bude musieť využiť financie poskytnuté EU za účelom transformácie jej energetiky a priemyslu čo najefektívnejšie. Bez navýšenia podielu obnoviteľných zdrojov a jadrovej energie na celkovej produkcii ČR určite stratí svoju energetickú nezávislosť. No keďže vyhliadky na zlepšenie v týchto sektoroch do roku 2030 nie sú najružovejšie, pravdepodobnosť, že ČR dokáže dodržať požadovanú ročnú dekarbonizáciu je mizivá.

Referencie

[1] Zelená dohoda pro Evropu – Wikipedia. [online]. [cit. 7.12.2021]

Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Zelen%C3%A1_dohoda_pro_Evropu

[2] Uhlíková neutralita – Wikipedia. [online]. [cit. 7.12.2021]

Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Uhl%C3%ADkov%C3%A1_neutralita

[3] Európska zelená dohoda. [online]. [cit. 7.12.2021]

Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_sk

[4] Zachová, A.: Evropa se vydává z krize po zelené cestě. Tuzemsko táhne s sebou. [online]. 2. apríla 2021 [cit. 7.12.2021]

Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/klima-a-zivotni-prostredi/news/evropa-se-vydava-z-krize-po-zelene-cestě-tuzemsko-táhne-s-sebou/>

[5] Czech republic – Energy Policy Review. [online]. [cit. 7.12.2021]

Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/czech-republic-2021>

[6] Peringer, P.; Hrubý, M: Modelování a simulace, Text k přednáškám kurzu Modelovanie a simulácie na FIT VUT v Brně. [online]. Brno, 20. septembra 2021. [vid. 7.12.2021]

Dostupné z: <https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php.cs?file=%2Fcourse%2FIMS-IT%2Flectures%2FIMS-2021-09-20.pdf&cid=14664>

[7] ROČNÍ ZPRÁVA O PROVOZU ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY ČESKÉ REPUBLIKY ZA ROK 2020. [online]. [cit. 7.12.2021]

Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/6616306/Rocni_zprava_provoz_ES_2020.pdf/edc0cb03-700a-43a7-8c08-a1ccb3f2d173

[8] Pathways to decarbonize the Czech republic. [online]. 12. novembra 2021 [cit. 7.12.2021]

Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/cz/our-work/pathways-to-decarbonize-the-czech-republic>

[9] Doležel, J.: Výpočet úspor emisí oxidu uhličitého (CO₂). [online]. 16. januára 2006 [cit. 7.12.2021]

Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument6794.html>

[10] Šafářiková, K.: Evrope, nech nám Dukovany a my ti dáme Green Deal. [online]. 2. júna 2020 [cit. 8.12.2021]

Dostupné z: <https://www.respekt.cz/agenda/evrope-nech-nam-dukovany-a-my-ti-dame-green-deal>

[11] Zachová, A.: Jak premiér Babiš neprosadil jádro jako zelený zdroj energie. [online]. 29. apríla 2021 [cit 8.12.2021]

Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/energetika/opinion/jak-premier-babis-neprosadil-jadro-jako-zeleny-zdroj-energie/>

[12] Zachová, A.: Jádro není „čistě zelený“ zdroj energie, shodli se europoslanci a Rada EU. [online]. 17. decembra 2019 [cit 8.12.2021]

Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/evropske-finance/news/jadro-neni-ciste-zeleny-zdroj-energie-shodli-se-europoslanci-a-rada-eu/>