

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2016

Bc. Kateřina Joklová

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

DIPLOMOVÁ PRÁCE

EMERGY SYSTÉMY

Emergy Systems

Autor: Bc. Kateřina Joklová
Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky
Vedoucí práce: Ing. Július Bemš, Ph.D.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Joklová Kateřina

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Obor: Ekonomika a řízení energetiky

Název tématu: Energy systémy

Pokyny pro vypracování:

- průzkum definice termínu "Emergy" a jeho vznik
- analýza vybraných stávajících modelů a a výpočtů souvisejících s Emergy
- srovnání výroby jednotky energie ve vybraných zemích v propočtu na Emergy jednotky
- aplikace Emergy systémů pro výpočet efektivnosti

Seznam odborné literatury:

Brown, M.T.: Emergy Synthesis 1: Theory and Applications of the Emergy Methodology. Proceedings of the 1st Biennial Emergy Conference. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, 2001

Odum, H.T., Brown, M.T.. and Brandt-Williams, S.: Handbook of emergy Evaluation. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, 2000

Vedoucí diplomové práce: Ing. Július Bemš, Ph.D. – ČVUT FEL, K 13116

Platnost zadání: do konce letního semestru akademického roku 2016/2017

L.S.

Prof. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.
vedoucí katedry

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 11.2.2016

PROHLÁŠENÍ

„Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou prací vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne 26. 5. 2016

.....
Bc. Kateřina Joklová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu Ing. Júliu Bemšovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, trpělivost, čas a ochotu, kterou mi věnoval jak během přípravy, tak i při zpracování této diplomové práce.

V Praze dne 20. 5. 2016

Bc. Kateřina Joklová

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá základním popisem emery systémů a následnou aplikací této rozvíjející se teorie na využití energetických zdrojů a na výpočet efektivnosti. První část práce obsahuje základní přehled využití emery systémů a popis základních emery pojmů. V dalším bodě se nachází popis postupů aplikovaných při emery výpočtech a analýza modelů využití některých energetických zdrojů, které byly k dispozici v souborech Excel dostupných online. Jedná se o modely využití obnovitelných a neobnovitelných zdrojů, jejich kombinace a využití zdrojů v ekonomickém emery modelu. Ve třetí části práce porovnávám výrobu jednotky energie ve vybraných zemích v přepočtu na emery jednotky. Vzhledem k nutnosti jednotných vstupních dat jsem vybrala tři státy Evropské unie (ČR, Německo a Itálii). Výpočty jsou provedeny ve dvou variantách dle charakteristiky vstupních dat. Obě varianty dále řeším na základě dat primární produkce a hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů. Tyto hodnoty jsou přepočteny pomocí příslušných indexů na emery jednotky (seJ/rok). Vydělením hodnoty emery hodnotou energie je dosaženo výsledné energetické náročnosti výroby jednotky energie ve vybraných zemích vyjádřené v emery jednotkách. Podle výstupních grafů a tabulek porovnání jednotlivých zemí jsem zjistila, že výsledek srovnání je závislý na volbě varianty, tedy zejména na definici vstupních údajů. Podrobnější analýza výsledků se nachází u jednotlivých výstupních tabulek a grafů každé varianty. Poslední část práce se zabývá využitím emery jednotek pro výpočet efektivnosti. To zahrnuje výpočet efektivnosti různých pohonných paliv v přepočtu na emery jednotky. Vzhledem k dostupným vstupním údajům jsem zvolila porovnání energetické efektivnosti v přepočtu na emery jednotky pro pět různých paliv, jimiž jsou motorová nafta, benzín, bionafta, vodík a elektřina. Tento výpočet je proveden na základě spotřeby paliva porovnatelných automobilů, které tyto pohonné hmoty používají. Zjistila jsem, že z pohledu využití solárních Joulů na ujetí 100 km je nejefektivnějším palivem vodík, dále motorová nafta, elektřina a čtvrtý se umístil benzín. Nejméně efektivní je dle mého výpočtu z pohledu emery jednotek bionafta. Na základě výstupů z této práce je možno pohlédnout na výpočty efektivnosti využití energetických zdrojů spíše z environmentálního hlediska za pomoci emery jednotek.

KLÍČOVÁ SLOVA

emery systémy, emery jednotky, transformity, energetická a emery náročnost, emery výpočty, energetický mix, primární produkce energetických zdrojů, hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů, emery efektivnost pohonných paliv

ABSTRACT

This thesis deals primarily with a still developing theory of Emergy Systems and provides its basic description and usage for both energy resources utilization and calculation of effectiveness. The first part contains a general overview of Emergy Systems usage and introduces general Emergy concepts. The thesis then describes procedures used in the Emergy calculations as well as an analysis of usage models for some of the energy resources which were available in Excel online. The usage models represent both renewable and non-renewable resources, their combination and application in an economic Emergy system. This is followed by a comparison of the production of an energy unit converted to Emergy units in a few selected countries. Due to the consistency of the input data three European Union countries were selected – the Czech Republic, Germany, and Italy. The calculations were made in two different ways, each of them characterizing the selected input data. Both options were then dealt with on the basis of two data sets – primary production and gross domestic consumption of energy resources. Using respective indices those values were converted to Emergy units (seJ/year) whose shares resulted in the final amount of energy intensity needed for production of an energy unit in respective countries. It was observed, that according to the comparison of both output charts and tables for each of the countries, the result is dependent on the selected method of calculation and especially on the definition of the input data. A more detailed analysis of the results can be found in each method's output graphs and tables. The final part of this thesis discusses the Emergy's application to the calculation of effectiveness. This includes the effectiveness' calculation of different motor fuels converted to Emergy units. In regards to the available input data I selected a comparison of energy efficiency converted to Emergy units for five different fuels – diesel, gasoline, biodiesel, hydrogen, and electricity. The calculation is made on the basis of fuel consumption of comparable automobiles using the same fuels. I found out that the most efficient fuel, in terms of the usage of solar Joules per 100 km, is hydrogen, followed by diesel, electricity and then gasoline. The least effective fuel, in regards to the Emergy units, turned out to be biodiesel. Based on the thesis' outcomes it is possible to look at the effectiveness' calculation of the usage of energy resources from an environmental point of view with the help of Emergy units.

KEY WORDS

Emergy Systems, Emergy units, transformity, Emergy performance, Emergy evaluation, energy mix, primary production of energy resources, gross inland energy consumption, Emergy performance of fossil fuel

OBSAH

ÚVOD	9 -
1. DEFINICE TERMÍNU EMERGY A JEHO VZNIK	11 -
1.1. Vznik emergy systémů	11 -
1.2. Emergy jednotky.....	12 -
1.3. Stručný přehled základních emergy pojmů	13 -
1.3.1. Reálné bohatství (real wealth).....	14 -
1.3.2. Transformity.....	14 -
1.3.3. Specifické emergy	14 -
1.3.4. Emergy za jednotku peněz	15 -
1.3.5. Emergy za jednotku lidské práce	15 -
1.3.6. Emcena.....	15 -
1.3.7. Emergy ukazatele	15 -
1.3.8. Extensivní a intenzivní veličiny	16 -
2. VÝPOČTY EMERGY SYSTÉMŮ A MODELŮ	17 -
2.1. Analytické a syntetické emergy metody.....	17 -
2.2. Systémové diagramy.....	18 -
2.2.1. Energetické symboly	19 -
2.2.2. Příklad systémového diagramu	22 -
2.2.3. Energie a emergy jako funkce času.....	24 -
2.3. Emergy výpočetní tabulka	25 -
2.3.1. Kalkulace energetických dat	26 -
2.4. Metody výpočtu emergy systémů.....	27 -
2.5. Globální emergy.....	28 -
2.6. Využití emergy v ekonomii	32 -
2.7. Další využití emergy systémů	33 -
2.7.1. Emergy a ekosystémy	33 -
2.7.2. Emergy a informace	34 -
2.7.3. Emergy a zemědělství	34 -
2.7.4. Emergy a energetické zdroje.....	35 -
2.8. Analýza vybraných modelů související s emergy	35 -
2.8.1. Neobnovitelné zdroje	35 -
2.8.2. Obnovitelné zdroje.....	37 -
2.8.3. Exponenciální růst.....	38 -
2.8.4. Dva zdroje.....	39 -
2.8.5. Ekonomické využití přírodního zdroje.....	40 -

3.	SROVNÁNÍ VÝROBY JEDNOTKY ENERGIE VE VYBRANÝCH ZEMÍCH V PŘEPOČTU NA EMERGY JEDNOTKY	- 43 -
3.1.	<i>Data primární produkce a hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů.....</i>	- 44 -
3.1.1.	Primární produkce (tuzemských) zdrojů.....	- 44 -
3.1.2.	Hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů.....	- 44 -
3.1.3.	Charakteristika vstupních dat.....	- 45 -
3.2.	<i>Postup výpočtu.....</i>	- 48 -
3.3.	<i>VARIANTA A.....</i>	- 49 -
3.3.1.	Primární produkce zdrojů.....	- 49 -
3.3.2.	Hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů.....	- 61 -
3.4.	<i>VARIANTA B.....</i>	- 71 -
3.4.1.	Primární produkce zdrojů.....	- 71 -
3.4.2.	Hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů.....	- 83 -
3.5.	<i>Zhodnocení variant.....</i>	- 93 -
4.	APLIKACE EMERGY SYSTÉMŮ PRO VÝPOČET EFEKTIVNOSTI.....	- 97 -
4.1.	<i>Vstupní údaje.....</i>	- 97 -
4.1.1.	Solární transformity	- 97 -
4.1.2.	Výběr variant automobilů	- 98 -
4.1.3.	Výhřevnost a hustota pohonných paliv	- 98 -
4.2.	<i>Výpočet energetické efektivity.....</i>	- 99 -
4.3.	<i>Výpočet emergy efektivity.....</i>	- 100 -
	ZÁVĚR.....	- 102 -
	SUMMARY	- 105 -
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 108 -
	SEZNAM PŘÍLOH.....	- 112 -

ÚVOD

Energetiku v dnešní době již není možné uvažovat jako samostatný obor, ale je třeba vnímat její propojení s dalšími oblastmi, především pak ekonomickými, ekologickými či sociálními. Tím pádem je v energetice potřeba dlouhodobě plánovat a to nejen výstavbu energetických zdrojů či přenosových systémů, ale také strukturu energetických mixů v souvislosti s efektivním využitím energetických zdrojů. Vytváření energetických mixů a dlouhodobých strategií v oblasti výstavby nových zdrojů a trvale udržitelného rozvoje je pro vyspělý svět jedním z nejdůležitějších rozhodnutí. Co se týče Evropy, je zde snaha sjednocovat trh a zejména tržní podmínky v neustále se rozvíjejícím odvětví energetiky. Je nutno dlouhodobě plánovat využití a čerpání vlastních energetických zdrojů s uvažováním nejen propojené elektrizační soustavy a energetického trhu. Veškeré výpočty a rozhodnutí se realizují na základě dlouhodobých plánů, které by měly respektovat veškerá hlediska a dopady ať už na tržní ekonomiku nebo na životní prostředí. Během posledních desetiletí se začaly stávat velkým problémem ztenčující se zásoby některých neobnovitelných surovin. Politická sféra by se měla v zájmu společnosti snažit jednat v souladu s trvale udržitelným rozvojem. Zejména jde o nastavení energetického portfolia tak, aby bylo využití energetických zdrojů co nejefektivnější. Otázka udržitelného rozvoje neleží pouze na bedrech EU, ale týká se celého světa. Faktem je, že dnes se o udržitelný rozvoj více než EU zajímají země třeba jako Kanada, USA, Japonsko a dokonce i Čína.

Emergy je rozvíjející se obor, který nahlíží na problematiku energetických zdrojů a systémů v první řadě z ekologického hlediska. Veškeré výpočty v oblasti globálního hospodaření s energetickými zdroji mohou být počítány na základě klasických energetických jednotek, které však neodhalují skutečnou energii potřebnou pro transformaci na určitou formu energie. Emergy jednotky dávají možnost mezi sebou porovnat energetickou náročnost různých forem energie a to pomocí přepočtu na společný základ. Základní emergy jednotkou je takzvaný solární Joule. Vyjadřuje množství energie slunečního záření, které bylo skutečně potřeba pro vznik určitého energetického zdroje, suroviny, práce nebo případně informace či peněz. Teoretici v oblasti emergy systémů postupně zavádějí přepočtní indexy, neboli transformity, na základě kterých je možno vyjádřit určitý systém nebo formu energie právě v emergy jednotkách. Pomocí nich je možno zjistit, jak se jednotlivé alternativy od sebe liší z hlediska množství skutečně spotřebované sluneční energie.

V rámci této diplomové práce bude nezbytné nejprve nastudovat teoretická fakta ohledně emergy systémů a emergy obecně. V rešeršní části této práce se pokusím vystihnout alespoň ty nejzákladnější fakta a postupy týkající se emergy. Veškeré zdroje ohledně emergy jsou zahraniční. Teorie emergy vznikla na Floridské univerzitě v USA a odtud také pochází převážná většina pramenů, ze kterých budu vycházet. Jelikož jsou výpočty transformity často složitým

procesem, existuje většinou více zdrojů (většinou od různých autorů), u kterých se výsledky těchto přepočtených indexů liší. U emergy výpočtů často záleží na zpracovateli studie, jak problematiku pojme a za jakých zjednodušujících podmínek. Proto jsem se snažila čerpat hodnoty transformity především ze zdrojů vzniklých pod záštitou zakladatele pojmu emergy pana T.Oduma a jeho nástupci a budu předpokládat, že výpočty jsou založené na stejném základě.

V první části práce se nachází základní přehled využití emergy a jsou zde popsány základní emergy pojmy. Jelikož je rozsah využitelnosti emergy rozsáhlý, zaměřím se na užší problematiku využití energetických zdrojů či efektivnost pohonných hmot po přepočtu na emergy jednotky. Druhý bod práce se zabývá základním popisem typických postupů při řešení emergy systémů a analýzou modelů využití některých energetických zdrojů. Popisované modely jsou veřejně dostupné v souborech Excel online. Jedná se o modely využití obnovitelných a neobnovitelných zdrojů, jejich kombinace a využití zdrojů v ekonomickém emergy modelu. Dalším cílem práce, který je rozebrán ve třetím bodě práce, je porovnání výroby jednotky energie ve vybraných zemích v přepočtu na emergy jednotky. Vzhledem k jednotnosti vstupních dat, která je zajištěna čerpáním z jednotné statistické databáze EUROSTAT, jsem vybrala tři země Evropské unie (ČR, Německo a Itálii). Hlavním úkolem této části práce je tedy spočítat, kolik solárních Joulů je potřeba na výrobu jednoho Joulu energie ve vybraných zemích. Tyto výpočty provedu jak na základě primární produkce (tuzemských) zdrojů, tak pomocí údajů hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů pro vybrané státy. Jelikož je k dispozici popis těchto vstupních dat, pokusím se pomocí různých variant výpočtu vystihnout rozdílnost výsledků v návaznosti na interpretaci energetických zdrojů uváděných ve statistikách Evropské unie. Posledním cílem práce je využití emergy jednotek pro výpočet efektivnosti. Pro tento účel jsem si vybrala výpočet efektivnosti různých pohonných paliv v přepočtu na emergy jednotky, který se nachází ve čtvrté kapitole. Vzhledem k dostupným vstupním údajům jsem zvolila porovnání energetické efektivnosti v přepočtu na emergy jednotky pro pět různých paliv, jimiž jsou motorová nafta, benzín, bionafta, vodík a elektřina. Tento výpočet provedu na základě spotřeby paliva porovnatelných automobilů, které tyto pohonné hmoty využívají.

1. DEFINICE TERMÍNU EMERGY A JEHO VZNIK

V rámci této části diplomové práce jsou shrnuty základní definice pojmu emergy a je zde takto vytvořen teoretický podklad pro analýzu stávajících modelů týkajících se emergy systémů.

1.1. Vznik emergy systémů

Emergy systémy zahrnují zcela novou teorii, dle které se mění celkový pohled na vyjádření množství energie v jejích různých formách. Všeobecně se pojmem emergy myslí veškerá energie jednoho druhu nutná pro vytvoření nějakého produktu nebo služby. Pokud se jedná o emergy, do výpočtů zahrnujeme veškeré předešlé transformační procesy. Z toho důvodu je někdy emergy spojováno s výrazem emergy paměť. Emergy systémy jsou založené na faktu, že každá forma energie vznikne transformačními procesy z jiné formy energie a emergy jednotky nám umožňují porovnat energetickou náročnost různých forem energie. Emergy systémy nesou svůj základ v termodynamice a teorii systémů. Dalším oborem, který s emergy systémy úzce souvisí je bezpochyby ekologie. [5] V současné době se každé dva roky koná konference s cílem rozvoje teorie emergy systémů. Postupně jsou definované pojmy a výpočetní postupy, které se využívají v teorii emergy systémů.

Emergy má definované vlastní jednotky, které poskytují nové měřítko pro výpočty týkající se životního prostředí, zdrojů, lidských služeb či informací nebo mohou sloužit pro rozhodování mezi alternativy rozvoje v oblasti životního prostředí. Systém vědeckých výpočtů je v dnešní době nejčastěji vyjadřován zvláště pomocí hodnot týkajících se životního prostředí a hodnot ekonomických. Pomocí výpočtů založených na emergy jednotkách získáváme jiný pohled na efektivnost určitého systému. V rámci emergy systémů je snahou tyto výpočty provádět nejen z pohledu životního prostředí, ale také do systémů zakomponovat systémy ekonomické. [23]

Formu energie udává její druh (mechanická, tepelná, elektrická, jaderná a chemická) a její nositel (pevné, kapalné a plynné látky, případně elektromagnetické pole). Energie má dvě složky. Jedná se o takzvanou exergii a anergii. Exergie je ta část energie, kterou je možno transformovat na jiný druh energie. Všechna energie pochází původně z energie Slunce, ze které se dále transformuje do vyšších tříd. Například díky energii slunečního záření vyroste rostlina, z níž vznikne po dlouhém čase uhlí. Uhlí pak lze transformovat dále na ropu, mechanickou, elektrickou nebo tepelnou formu energie. Pro člověka je energie nejcennější ve formě elektrické. Elektrickou energii je totiž možno poměrně snadno transformovat na jiné formy energie. Parametry energie jsou jak kvalitativní, tak kvantitativní a měříme je pomocí množství energie potřebné k přestupu do vyšší kvalitativní třídy. Pokud se energie transformuje do vyšších tříd, mění se poměr exergie a anergie ve prospěch anergie, jelikož dojde ke ztrátě. [13] Elektřina a teplo je v energetické

hierarchii velmi vysoko nad přírodními zdroji jako je například uhlí nebo dřevo. Pomocí emergy můžeme získat hodnoty skutečně spotřebované solární energie potřebné pro transformaci na vznik některých energetických zdrojů s tím rozdílem, že do celkové energie započítáváme také ztráty během transformačního procesu. Aby byl přepočítání možné, jsou postupně počítány přepočítací koeficienty pro různé produkty, takzvané transformity. Jelikož výraz transformity nemá jednoslovný překlad do českého jazyka, využívám název transformity v této práci ve středním rodě, tj. to transformity nebo ty transformity. Jedna část vědců se v tomto směru zabývá přepočtem těchto transformity pro energetické zdroje a ty využívám ve výpočetní části této práce. Emergy je však myšlenka, jež může být využita v mnoha dalších vědeckých oborech.

Zakladatelem emergy systémů byl již zesnulý americký ekolog Howard T. Odum. S výzkumem začal v 50. letech 20. století. Zabýval se hlavně tokem energie v ekosystémech. Snahou bylo v první řadě propojit systémy týkající se životního prostředí s ekonomickými systémy. Již v šedesátých letech byla zřejmá nutnost počítání ekologických a ekonomických systémů na společném základě. Problémem byla různá měřítka pro různé formy energie. Howard T. Odum založil emergy teorii na tom, že je třeba respektovat rozdíly v kvalitě energie při porovnání dvou nebo více zdrojů energie v jednom systému. V dalších letech pak vytvořil model produkce potravin a aplikoval své teorie na fosilní paliva. Kvalitu energie definoval jako množství energie spotřebované při transformacích do dané kvalitativní třídy. Nejdůležitějším milníkem bylo ukotvení definice transformity a emergy, díky nimž je možné výpočty na základě emergy realizovat. V osmdesátých letech vznikla základní jednotka globální sluneční energie. Byly přepočítány i další formy energií a byly uznány tři základní formy energie potřebné pro funkčnost globálních procesů. Těmi jsou solární energie, energie tepla zemské kůry a energie přílivu a odlivu. Bylo spočítáno, že za rok je potřeba celkem $9,44 \times 10^{24}$ seJ pro všechny tyto tři základní formy energií. Zde se poprvé objevuje emergy jednotka seJ (solární emJoule) a tedy pojem emergy obecně. Dále byly ukotveny různé druhy hodnot emergy jednotek. Na začátku 21. století byly přepočítány tři základní formy energie potřebné pro funkčnost globálních procesů na $15,83 \times 10^{24}$ seJ (viz kapitolu 2.5.).

1.2. Emergy jednotky

Emergy má vlastní jednotky, z nichž nejpoužívanější jsou takzvané emJouly. V emJoulech je možno porovnat, kolik energie je skutečně potřeba k produkci různých forem energie (sluneční záření, potenciální energie vody, dřeva, fosilní paliva, atd.). Pro vyjádření kvality různých forem energie je možno použít například společné porovnání za pomocí jednotky solární Joule (seJ), která nám vyjadřuje, kolik energie ze slunečního záření bylo potřeba na transformaci na danou formu energie. Byly ukotveny i jiné emergy jednotky, které byly založeny na základě jiné formy

energie než je sluneční záření. Jedná se o energii uhlí, fosilních paliv nebo základní organické hmoty. Solární emergy se vyjadřuje, buď pomocí seJ nebo pomocí emkcal. [1] Nejčastěji se však v rámci emergy systémů využívají jednotky seJ, které jsou použité i v této práci.

Nejpoužívanější energetickou jednotkou se stal Joule (J). Joule vychází z jednotky kalorie (cal) (1 kcal = 4,2 kJ). Kalorie je definována jako množství tepla potřebné k ohřátí jednoho gramu vody o jeden stupeň Celsia. Naopak emergy jednotky umožňují změřit skutečné množství energie, které již bylo využito bez opomenutí předešlých transformačních procesů, během kterých docházelo ke ztrátám a tedy k degradaci energie.

1.3. Stručný přehled základních emergy pojmů

Termín	Definice	Označení	Jednotka
Extensivní veličiny			
Emergy	Množství využitelné energie jednoho typu, která je přímo nebo nepřímo využita ke generování výstupního toku nebo uložené energie či hmoty.	Em	seJ
Emergy tok	Každý tok emergy spojený se vstupující energií nebo materiálem do nějakého systému či procesu. V emergy diagramech mají různé označení (R, N, F či S)	R=obnovitelné toky; N= neobnovitelné toky; F= importované toky; S= služby	seJ/rok
Hrubý emergy produkt	Celková emergy potřebná k chodu národní nebo regionální ekonomiky.	GEP	seJ/rok
Intensivní veličiny související s produktem			
Transformity	Solární emergy investované na jednotku výstupní využitelné energie.	Tr	seJ/J
Specifické emergy	Solární emergy investovaná na výstup jednotky hmoty.	SpEm	seJ/g
Emergy intenzita měny	Množství emergy na jednotku HDP země, regionu nebo procesu	EIC	seJ/jednotka měny
Intensivní veličiny související s prostorem			
Emergy hustota	Emergy uložené v objemové jednotce daného materiálu	EmD	seJ/ jednotka objemu
Intensivní veličiny související s časem			
Emenergie	Tok emergy vydaný nebo spotřebovaný za jednotku času	EmP	seJ/jednotka času
Intenzita emenergie	Emergy vydané za jednotku času na jednotku plochy	EmPI	seJ×jednotka času×plocha
Hustota emenergie	Emergy vydané za jednotku času na jednotku objemu	EmPd	seJ×jednotka času×objem
Poměrové ukazatele			
Využitá emergy	Celková emergy investovaná do procesu (měřítko náročnosti procesu)	$U = N + R + F + S$	seJ
Emergy výnosnost	Celkové emergy vydané na jednotku investovaného emergy	$EYR = U / (F + S)$	[-]

Termín	Definice	Označení	Jednotka
Míra zatížení životního prostředí	Celkové neobnovitelné a importované emergy vydané na jednotku obnovitelného zdroje	$ELR = (N+F+S)/R$	[-]
Emergy koeficient udržitelnosti	Získané emergy na jednotku zatížení životního prostředí	$ESI = EYR/ELR$	[-]
Procento obnovitelnosti	Procento spotřeby obnovitelného emergy	$REN = R/U$	[-]
Míra množství vynaloženého emergy	Emergy potřebné k využití jednotky zdroje	$EIR = (F+S)/(R+N)$	[-]

Tabulka 1 Tabulka základních emergy pojmů včetně emergy jednotek: upraveno dle [14]

1.3.1. Reálné bohatství (real wealth)

Emergy teorie je využívána pro ekologické výpočty, zejména pak pro vyjádření energetické náročnosti při respektování všech ztrát při transformacích mezi různými formami energií. Díky emergy je tak možno zjistit velikost tzv. reálného bohatství. Vyjadřuje se jím množství energie, které se reálně spotřebovalo, aby vznikl nějaký produkt nebo služba. Produktem může být například elektrická energie. [5] Obecněji vyjádřeno je to veškerá reálně využitelná energie uložená v nějaké surovině. [13] Dalšími obecnými příklady real wealth jsou produkty práce jako oblečení, knihy, jídlo, minerály, fosilní paliva, informace, technologie, atd. [23]

1.3.2. Transformity

Teoretici v oblasti emergy mimo jiné hledají způsoby, jak zakomponovat správně do ekologických nebo ekologicko-ekonomických systémů omezení zdrojů. Ve většině případů je využívána energie (např. Joule) jako základní jednotka pro výpočty. Tento způsob je však limitován neuvažováním všech druhů energií jako rovnocenných. Díky emergy je možno veškeré komodity nebo služby vyjádřit ve společných jednotkách. Takzvané transformity pak umožňují převod energetických jednotek na emergy jednotky, které mají společný základ. Transformity nám vyjadřují přepočtení energie určité formy v J na emergy jednotky (např. seJ). Jedná se o základní model teorie emergy systémů. [5] [26] [14] Transformity pro solární emergy jsou uváděny nejčastěji s jednotkami seJ/J. Transformity pro různé energetické zdroje a jiné produkty jsou postupně získávány na základě emergy výpočtů a dále využívány v jiných výpočtech.

1.3.3. Specifické emergy

Pomocí těchto emergy jednotek je možno vyjádřit počet emJoulů potřebných na 1 hmotnostní jednotku (např. na 1 gram). V tomto případě je nutno uvažovat složení a koncentraci přepočítávané suroviny a její původ (některé suroviny už mohli projít od svého nalezení v přírodě dalšími úpravami, které je případně nutno také započítat do celkové hodnoty emergy). [14]

1.3.4. Emergy za jednotku peněz

Stále více je snahou vyjádřit v emJoulech jednotku peněz. Je možno vyjádřit energetickou náročnost nějaké země vyjádřené v emergy jednotkách vydělením celkového množství emergy HDP. [5] Teoretici v oblasti emergy se zabývají výpočtem emergy náročnosti na jednotku peněz za využití emergy ekonomických systémů.

1.3.5. Emergy za jednotku lidské práce

Jedná se o celkové emergy, které bylo vydáno na jednotku lidské práce vstupující do nějakého procesu a vyjadřujeme ho v emergy jednotkách, nejčastěji seJ/h. Používaná je také jednotka seJ/rok. Aby lidé mohli konat práci, potřebují k tomu další energetické vstupy jako je například strava. Podstatou těchto výpočtů je započítání veškerého emergy, které vstupuje do nějakého procesu, ve formě lidské práce. [1]

1.3.6. Emcena

Emcena je emergy komodity dosažené za vynaloženou peněžní částku. Využívá se zejména při zakomponování cirkulace peněz do zkoumaného systému. [17]

1.3.7. Emergy ukazatele [14]

1.3.7.1. EER

Jedná se o poměr emergy přeměněné v nějakém uskutečněném obchodu nebo nákupu. Je to poměr mezi emergy, které nákupem získám, a množstvím vynaložených finančních prostředků za daný nákup. Poměr je vždy vyjádřen relativně vzhledem k jednomu nebo jinému obchodnímu kontraktu. Tento ukazatel vyjadřuje míru relativní obchodní výhody a může být použita k porovnání dvou nebo více alternativ obchodů.

1.3.7.2. EPC

EPC je emergy na obyvatele. Jedná se o poměr mezi celkovým emergy využitím v jednom regionu nebo zemi ku počtu obyvatel. Tento ukazatel může být využit k získání informace o průměrné životní úrovni obyvatelstva daného regionu nebo země.

1.3.7.3. EYR

Ukazatel vyjadřující to, jak moc investice emergy umožňuje procesu využívat místní zdroje za účelem přispění k systému daného území (obnovitelné i neobnovitelné zdroje).

1.3.7.4. ELR

Ukazatel vyjadřující poměr mezi emergy neobnovitelných a importovaných zdrojů a množstvím využitého emergy z obnovitelných zdrojů. Je to ukazatel nátlaku transformačních procesů na životní prostředí a je možné jej považovat za měřítko namáhání ekosystému vzhledem k produkci.

1.3.7.5. ESI

ESI je ukazatel vyjadřující poměr mezi EYR a ELR. Ukazatel vyjadřuje příspěvek zdroje nebo procesu k hospodářství na jednotku zatížení životního prostředí.

1.3.7.6. AEI

Jedná se o ukazatel vyjadřující poměr celkové emery využitého na území nějakého regionu nebo národu (například na území nějakého státu) k jeho celkové plošné rozloze. Tento výpočet je často využíván i pro emery obnovitelných a neobnovitelných zdrojů zvlášť.

1.3.7.7. REN

Procento spotřeby obnovitelného emery. Jedná se o poměr obnovitelného emery k celkovému použitému emery v systému. Z dlouhodobého hlediska jsou udržitelné procesy k vysokým procentem spotřeby obnovitelného emery.

1.3.8. Extensivní a intenzivní veličiny

Fyzikální veličiny se rozdělují až na výjimky do dvou skupin. První skupinou jsou extensivní veličiny, které nám obecně vyjadřují množství. Jedná se tedy o veličiny související s kvantitativním hodnocením objektů nebo procesů. Pokud sloučíme dvě jednotky jedné z těchto veličin, zvětší se množství dvojnásobně. Příkladem extensivních veličin je například hmotnost, objem nebo elektrický náboj. Druhou skupinou jsou takzvané intenzivní veličiny, které se jinak nazývají stavové. Tyto veličiny nám popisují určitý stav nějakého objektu nebo procesu. Jedná se v tomto případě spíše o vyjádření kvalitativních hodnot. Pokud sloučíme dvě jednotky jedné z těchto veličin, výsledná hodnota se vyrovnává. Příkladem extensivních vlastností je například teplota nebo hustota. Výjimkou je v tomto případě čas, který díky svým vlastnostem nepatří ani do jedné skupiny veličin. [7] Toto označení využíváme také u emery jednotek, jak je uvedeno v tabulce 1.

2. VÝPOČTY EMERGY SYSTÉMŮ A MODELY

Teorie emergy se opírá o termodynamické vlastnosti všech forem energie, zdrojů či služeb a převádí je na společné jednotky jedné formy energie, kterou je například sluneční energie. Co se týče emergy systémů, je potřeba si nejprve namodelovat celý systém s jednotlivými vstupy a výstupy včetně jejich interpretace. Pro každý vstup je potřeba spočítat velikost emergy, což se provádí na základě transformity získaných při jiných výpočtech nebo na základě základních emergy toků globálního systému, jedná-li se o systém pojatý v globální šíři. Dále je pak potřeba spočítat veškeré toky emergy v systému a také emergy výstupních toků. Pro výzkum emergy systémů se využívá analytických a syntetických metod. [1] Hlavním z výstupů řešení emergy systémů jsou hodnoty transformity, které budu také využívat v dalších bodech této práce.

2.1. Analytické a syntetické emergy metody

Analýza a syntéza jsou všeobecně využívané metody v mnoha vědních oborech. Jedná se o dvě spolu úzce související operace, které provádíme například při výzkumu. V první řadě se začíná s analytickou částí, také nazývanou analýza, kdy zkoumaný problém rozdělíme na jednotlivé části, které jednotlivě popisujeme, a podléhají bližšímu výzkumu. Dílčí části problému mezi sebou souvisí a cílem analýzy je tyto vztahy definovat a snažit se je kvantifikovat. Analýza nám umožňuje zaměřit se jen na některé části problému, které chceme dále zkoumat. Po dokončení analýzy by měla následovat syntéza, která vychází ze složení jednotlivých částí problému získaných analýzou zpět na jeden celek. Syntéza nám umožňuje interpretovat a aplikovat získané poznatky. [9]

Emergy využívá obou metod. Pro aplikaci syntetických a analytických metod v emergy se využívá spojení emergy syntéza, kdy systém v první řadě vyjádříme diagramem a poté analyzujeme jednotlivé toky energie, zdrojů nebo informací řídící daný systém. Analyzujeme tyto prvky za pomoci aplikace emergy, tedy v emergy jednotkách. V návaznosti na myšlenku emergy zahrnují vstupy do emergy systémů veškerou energii, která pro tento vstup byla vynaložena v přepočtu například na solární emergy jednotky seJ. Jelikož se u emergy výpočtů využívá primárně metod syntetických využívaných pro pochopení systému jako celku, emergy výpočty jsou nazývány emergy syntézou nikoli analýzou. [14]. V emergy systémech je nutno prvotně vycházet z hodnot globálního emergy, abychom mohli kvantifikovat vstupující tok do nějakého jeho podsystému.

2.2. Systémové diagramy

Pro výpočty energetických systémů obecně se využívají systémové diagramy, jejichž základem jsou síťové diagramy. Systémový diagram zahrnuje veškeré přeměny a události probíhající v rámci zvoleného systému včetně klasifikace a kvantifikace vstupů a výstupů a uložené energie v systému. Systémové diagramy také slouží k pochopení zkoumaného systému v jeho širších souvislostech s ohledem na nějaký nadřazený systém, ve kterém se nachází.[22]

Tak, jak již bylo zmíněno, emergy výpočty se v první řadě často opírají o systémový diagram. Ten graficky vyjadřuje systém, který chceme zkoumat. Podoba konečného systémového diagramu závisí vždy na charakteru a klasifikaci popisovaného systému.

Celá oblast životního prostředí je rozdělena do různých studijních oborů. Takovými obory jsou například geologie, ekologie, meteorologie, ekonomie, sociologie a další. Vědci se většinou specializují na jeden takový obor, v němž se dále zaměřují na určitý problém. Důležité však je zvažovat důsledky rozhodnutí v globálnějších hledisku než jen v tomto jejich úzkém zaměření. Hlavní globální systém se dá rozdělit na několik dalších podsystémů, které lze dále rozkládat podle toho, jak rozsáhlý problém je potřeba interpretovat. Důležité je zkoumání nejprve dílčích podsystémů, abychom mohli postupně propojovat tento systém v daný jeden hlavní systém. Toto souvisí se syntézou a analýzou, jež jsou základem zkoumání emergy systémů a které jsou v kapitole 2.1. podrobněji popsány. Tedy vše, co je známo o jednotlivých podsystémech může být propojeno v jeden jednodušší systém pomocí syntézy. [26]

V první řadě je nutné zvolit vhodné měřítko z hlediska podrobnosti systému, který budeme popisovat. To souvisí také s vytvořením hranic systému, kdy je potřeba rozlišit procesy a komponenty uvnitř systému od vstupů zasahujících do systému zvenjšku. Nejprve popisujeme problém slovně, načež vytvoříme výčet veškerých vstupů, toků a procesů v rámci systému. V první řadě je tedy potřeba zajistit co nejpodrobnější a nejkomplexnější seznam důležitých zdrojů vstupujících do zkoumaném systému s ohledem na externí příčiny a faktory nebo vynucené funkce. Co se týče podrobnosti výčtu těchto zdrojů, měli bychom počítat s těmi komponenty, u kterých se předpokládá vliv na celém výsledném systému minimálně 5 %. Druhým krokem je vytvoření přehledu hlavních komponentů uvnitř systému včetně jejich ohodnocení pomocí energetických jednotek. Ty jsou následně přepočítány na emergy jednotky za pomocí převodních koeficientů nebo jsou získávány samostatným výpočtem. Stejný postup aplikujeme na veškeré procesy probíhající ve zkoumaném systému (toky, vztahy, produkční funkce, spotřební procesy, atd.). To vše s ohledem na měřítko, v jakém je systém zkoumán. Všechny vstupy ohodnotíme stejnou jednotkou (např. seJ), abychom mohli dále diagram analyzovat. Zároveň vytváříme vhodný systémový diagram, kam veškeré procesy, uchování a toky, které jsou nezbytné pro chod systému, zakresluje. [1]

Tvorba systémových diagramů má své zákonitosti a pravidla, dle kterých je potřeba se řídit. Pro tvorbu emergy diagramů využíváme metodiky tvorby energických diagramů s využitím symbolů využívaných v tvorbě energetických systémů. V kapitole 2.2.1. jsou uvedeny základní symboly užívané v energických systémech včetně jejich významu. Symboly vyjadřující určité specifické vlastnosti systémů jsou využívány k tvorbě diagramů s jasně definovanými funkcemi, stavovými veličinami a interakcemi. Jedná se o takzvaný jazyk energetických systémů.

Systémové diagramy se nejčastěji zakreslují černobíle. Bylo však specifikováno barevné rozlišení jednotlivých toků dle barvy. Pro sluneční záření nebo tepelné ztráty se využívá žlutá barva, pro výrobce barva zelená, modrou se označuje nejen voda, ale také živiny a jiné materiální zdroje nebo spotřebitelé. Jednotky s vysokým transformity mají barvu červenou a peníze se označují fialově. [12]

Při výpočtech transformity se využívá v první řadě systémových diagramů a postupů uvedených výše. V rámci této diplomové práce byly hodnoty transformity čerpány z odborné literatury. Jejich výpočet je velmi složitý proces a pro zjištění některých transformity by bylo potřeba napsat jednu další práci obdobného rozsahu jako je tato. Popis emergy diagramů je však základním pilířem celých emergy systémů a považuji tedy za nutné zde tyto zákonitosti uvést. Navíc budu některé z těchto symbolů využívat dále v rámci této části práce.

2.2.1. Energetické symboly [5] [12] [1]

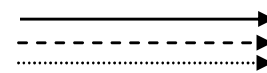
Jelikož je teorie emergy systémů poměrně novodobou vědou, je důležité, aby se zavedly určitá pravidla pro jejich výpočty. Hlavní důvod je, aby se každý, kdo zná základní pravidla a vyjádření symbolů jako jsou uvedené v přehledu zde, dokázal orientovat v systémovém emergy diagramu, který vytvořil někdo jiný.

2.2.1.1. Hranice systému



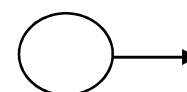
Tento symbol obdélníkového tvaru je využíván k vytyčení hranic výběru. Vymezení hranic musí definovat tři dimenzionální prisma celého systému. Pokud se bude jednat o analýzu nějakého území, je potřeba si vymežit nejen jeho geologické hranice, ale také prostor pod a nad úrovní země.

2.2.1.2. Směr toku



Slouží k vyjádření jakéhokoli toku v systému, ať už se jedná o energii, materiály nebo informace. Pokud u linie není vyznačena šipka, může tok probíhat v jakémkoli směru. Pro výraznění toku materiálu jednoho druhu využijeme tečkované čáry. Pokud chceme vyjádřit cestu peněz, použijeme čárkovanou čáru.

2.2.1.3. Zdroj



Tímto symbolem vyjadřujeme každý vstup, který projde přes hranice do systému. Zdrojem může být čistě energie, materiály nebo informace. Všechny tyto vstupy se vyjadřují pomocí kruhového

symbolu. Zdroje jsou uspořádány kolem vnější hranice systému zleva doprava v pořadí dle velikosti jejich solárního transformity (první v pořadí bude solární energie, na konci pak služby nebo informace).

2.2.1.4. Chladič



Tento symbol vyjadřuje ztrátu využitelné potenciální energie. Jedná se o přeměnu potenciální energie na energii, která není schopna konat práci. Tato přeměna je součástí všech reálných transformačních procesů dle druhého termodynamického zákona. Tento symbol může být použit v diagramu jen jednou s tím, že tímto symbolem vyjádříme ztráty celého systému. V emergy jednotkách jsou tyto ztráty nulové na rozdíl od klasických energetických jednotek.

2.2.1.5. Výstupní tok



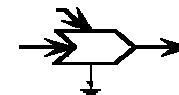
Jedná se o symbol vyjadřující každý výstupní tok, který má stále nějaký využitelný potenciál. Většinou směřuje z pravé hranice systému. Může vystupovat i z horní nebo levé hranice, nikoli však z té dolní.

2.2.1.6. Zásobník



Každé množství nějakého materiálu, energie, peněz, aktiva nebo informace, uložené v rámci systému je označeno tímto symbolem. Každý vstupní nebo výstupní tok z nebo do jednoho zásobníku musí být jednoho druhu a musí být vyjádřen ve stejných emergy jednotkách. Jedná se prostor, kde je uloženo množství energie jakožto zbytek mezi vstupními a výstupními toky z celkového řešeného emergy systému.

2.2.1.7. Interakce



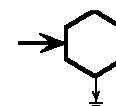
Tímto způsobem je graficky vyjádřeno vzájemné působení dvou nebo více subjektů. Jedná se o interaktivní průsečík dvou drah spojených z důvodu vytvoření odtoku úměrně k oběma funkcím. Využijeme ho, pokud potřebujeme dva nebo více rozdílných toků spojit do jednoho. Řadíme je opět zleva doprava dle stupně transformity.

2.2.1.8. Sčítání cest



Symbol vyjadřující součet toků. Využijeme ho, pokud se toky spojují nebo pokud vstupují do stejného zásobníku. Je potřeba, aby toky byly ve stejných jednotkách a stejného typu, aby bylo možno je sčítat.

2.2.1.9. Spotřebitel



Nachází se na pravé straně systémového diagramu. Spotřebovává produkty. Může vyjadřovat například zvíře nebo člověka. Jednotka, která transformuje kvalitu energie, uloží ji a dodá autokatalyticky zpět. Autokatalýza je výraz, který se používá pro vyjádření katalýzy procesu jedním z jeho vlastních výstupů. Příkladem spotřebitele může být člověk, který vydá práci na vznik daného spotřebovávaného produktu.

2.2.1.10. Přepínač



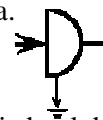
Tento symbol s konkávním tvarem hran označuje jedno nebo více přepnutí. Switch slouží k přepínání procesů (zapínání a vypínání). Využívá se pro toky, které mají řízené vstupy a výstupy po stranách. Linie řídící přepínání je značena jako vstupující shora obrazce. Přepínání se vyskytuje také v přírodních procesech a nemusí být řízeno člověkem.

2.2.1.11. Výrobce



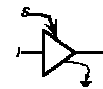
Tento symbol se vyskytuje nejčastěji v levé části systémového diagramu. Do jednotky vstupují komodity nebo jiné vstupy, které jsou potřebné pro výrobu nějakého výstupního produktu. Tento symbol naznačuje jakýsi průsečík více zdrojů a zároveň zde může dojít k uložení energie. Někdy je potřeba v systému vyobrazit detailnější informace ohledně vzájemných vazeb a vnitřních procesech výroby. Tyto jednotky zahrnují mimo průmyslových výrobců také biologické výrobce jako jsou například rostliny. Jedná se v podstatě o jednotku, která shromažďuje a transformuje energii nižší kvality na vyšší. Někdy je v systémech označovaná jako procesní jednotka.

2.2.1.12. Samoomezující přijímač energie



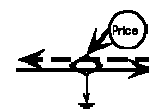
Zařízení, které samo řídí výstup, když jsou vstupy moc vysoké. Jedná se o princip pojistky, kdy je možno řídit maximální průtok energie na základě omezené konstantní kvality materiálu, ze kterého je součástka vyhotovena. Tento symbol se využívá zřídka.

2.2.1.13. Zesilovač



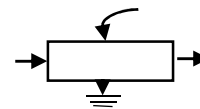
Jedná se o zesilovač pro konstantní zesílení. Zařízení, které poskytuje výstup v poměru ke vstupu s tím, že je výstup měněn konstantním faktorem do té doby, dokud zdroj energie S je dostačující. Využíváme ho tedy, pokud je výstupní subjekt řízen jedním vstupním subjektem I. Hlavním tokem energie je pak na obrázku označen písmenem S a vstupuje vždy shora.

2.2.1.14. Devizové transakce



Jednotka, která indikuje prodej zboží nebo služeb (plná čára) a platbu za ně (přerušovaná čára). Cena (Price) je často znázorněna jako externí zdroj reprezentující světové trhy a v symbolu vstupuje shora do symbolu.

2.2.1.15. Smíšený box



Jedná se o obdélníkový box, který využíváme pro vyjádření funkcí and nebo or v každém subsystému. Často jsou tyto boxy využívány pro reprezentaci ekonomických sektorů, jako je například získávání zdrojů, výroba elektrické energie nebo obchod. Tento box může obsahovat vzájemné vazby nebo úložiště produktu vystupujícímu z pravé strany do tohoto boxu.

2.2.1.16. Malý box



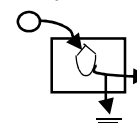
Tento malý obdélník přidáváme buď k zásobníku jak je uvedeno na obrázku nebo pouze na linii. Využíváme ho, chceme-li vytvořit další okruh, do kterého „poteče“ jen část energie. Někdy se nazývá senzor, pokud pro svou funkci nepotřebuje velké množství energie.

2.2.1.17. Zpětná vazba



Jedná se o zpětnou vazbu, jejíž směr je z pohledu systémového diagramu proti směru hodinových ručiček. Jedná se o výstupy vyšší kvality směřující v diagramu zprava od spotřebitelů doleva. Výstupy vysoké kvality jsou myšleny například informace, lidská práce nebo vzácné materiály. Šipka musí být zakreslena nahoře tak, jak je na obrázku. Tento symbol úzce souvisí se symbolem spotřebitele.

2.2.1.18. Bilance materiálu

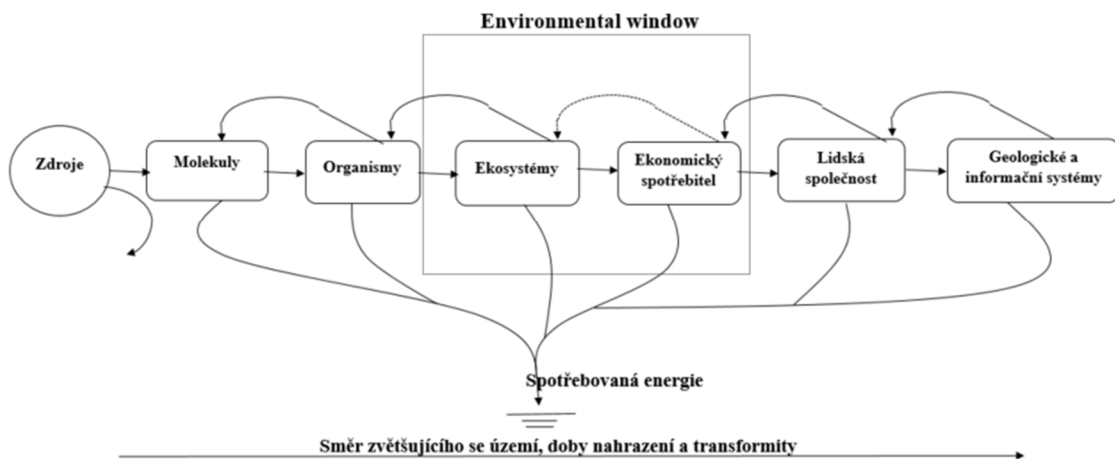


Veškeré vstupující materiály se buď uloží v systému, nebo z něho zase vystoupí. Každý vstupující prvek musí mít zakreslen výstupní tok. Tento symbol vznikl spojením symbolů zdroje, úložiště (zásobníku), chladiče a obdélníkového boxu pro vyjádření hranice systému. Uvnitř systému se v tomto případě nachází materiál (např. nějaký energetický zdroj), který vznikne díky jinému vstupujícímu zdroji.

2.2.2. Příklad systémového diagramu

Diagramy vyjadřující svět v jeho širokých souvislostech se opírá o energii, jelikož veškeré globální pochody lze vyjádřit na její bázi. Z toho důvodu jsou systémové globální diagramy označovány také jako energetické diagramy. Systémové diagramy nám umožňují uskutečnit výpočty potřebné pro následnou simulaci systému.

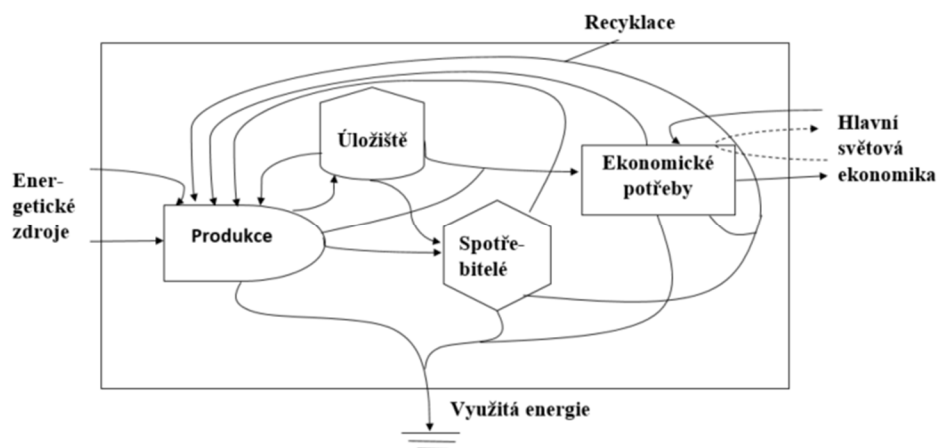
Každý systém nebo proces jakéhokoli měřítka může být reprezentován pomocí diagramů, které mají určitou strukturu a vzájemné funkční vazby mezi jeho částmi. V podstatě všechno je mezi sebou přímým nebo nepřímým způsobem propojené a teoreticky by mohlo být možné zakreslit celý globální systém podrobně se všemi vazbami tak, jak je na obrázku 1. Prakticky se však bez zjednodušení neobejdeme a celý tento systém většinou zkoumáme po částech. V závislosti na složitosti problému se pak odvíjí podoba příslušného diagramu. Na obrázku 1 se nachází tzv. environmentální okno (environmental window), ve kterém se nacházejí nejčastější ekologické otázky dnešní doby, zejména co se týče využití zdrojů nebo mikroekonomiky. Jedná se o kontroverzní systém, ve kterém na sebe vzájemně působí a spolupracují ekosystémy spolu s ekonomickými uživateli. [15]



Obrázek 1 Environmentální okno: upraveno dle [14]

Podrobnější užší problémy jsou vždy součástí širšího systému. Rozdíl mezi užším a širším pojetím nějakého systému by se dal vysvětlit jako rozdíl mezi mikroekonomikou a makroekonomikou. V mikroekonomii se zabývá ekonomickým chováním jednotlivých subjektů nějaké země a makroekonomii se zabývá chováním celé země jako celku s vazbami mezi ostatními státy.

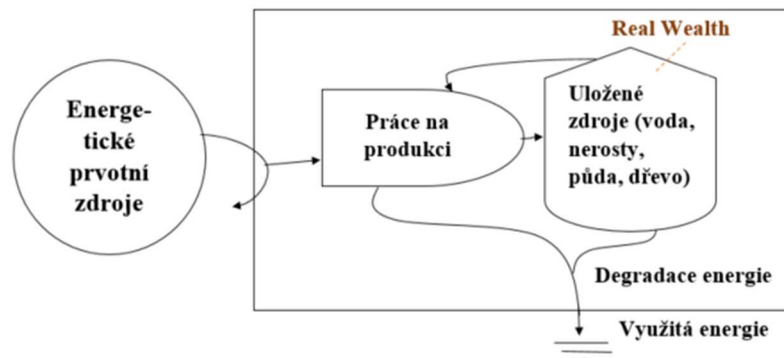
Na následujícím obrázku 2 můžeme vidět detail předchozího environmentálního okna. Vidíme zde jak ekologické komponenty, tak spotřebitele nebo peněžní cyklus, který je na obrázku vyobrazen čárkovaně.



Obrázek 2 Detail environmentálního okna: upraveno dle [14]

Tak jako v každém systémovém diagramu musí platit mimo jiné i zákon o zachování energie neboli první termodynamická věta. Dle té je celková energie izolované soustavy konstantní v každém časovém okamžiku. Veškeré energetické vstupy se musí rovnat veškerým energetickým výstupům. Vstupní energie je zčásti uložena v jiné formě uvnitř systému a zčásti je odvedena ven směrem ze systému. V běžných energetických systémech je možno ke všem tokům v systému

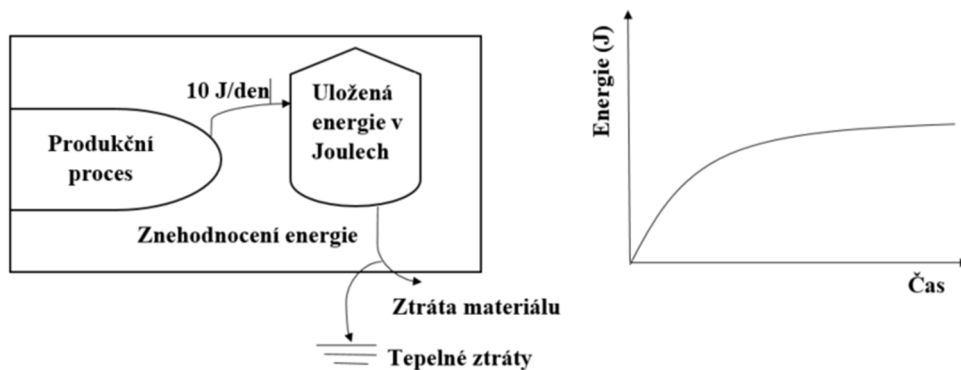
přiřadit čísla v běžných energetických jednotkách (např. kcal nebo J). Emergy nám však pomůže se vypořádat i s respektováním různé kvality forem energie z hlediska celkové energie spotřebované na vznik dané formy energie. [20] Na obrázku 3 se nachází systémový diagram environmentální produkce spolu s reálným bohatstvím (real wealth), jehož definice je uvedena v kapitole 1.3.1. Z obrázku je dále patrný význam symbolu produkce, kdy je energie transformována na množství reálného bohatství (energie, materiály, atd.). Během transformace se vykoná práce na produkci, proto je produkční symbol na obrázku 3 označený jako práce na produkci. [15]



Obrázek 3 Real wealth: upraveno dle [1]

2.2.3. Energie a emergy jako funkce času

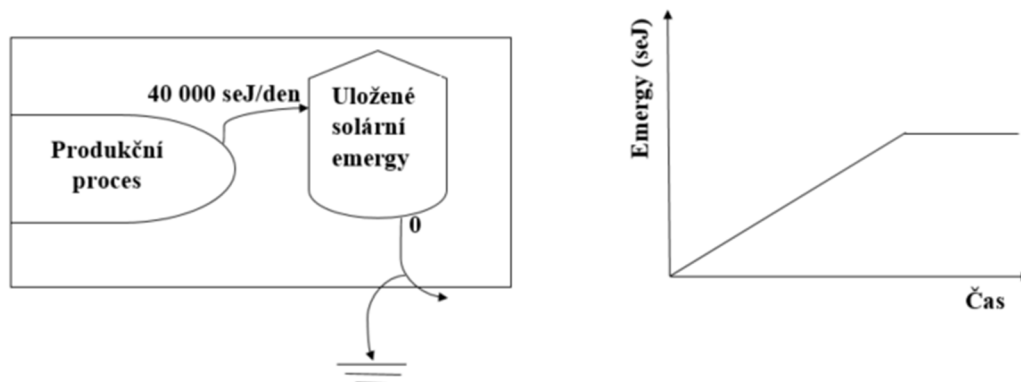
Postupné ukládání energie a emergy mají z časového hlediska jiný průběh. Rozdíl je dán samotnou podstatou emergy a dá se vysvětlit na příkladu dřevěné klády. Energie se do dřeva ukládá během jeho růstu. Pokud uvažujeme v klasických energetických jednotkách, například v Joulech, můžeme systémový diagram procesu vyjádřit jako na obrázku 4. [1]



Obrázek 4 Uložená energie v čase: upraveno dle [1]

Z grafu na obrázku 4 je patrné, že ukládáním energie v materiálu se zvětšují i celkové ztráty. Graf v počátku narůstá rychleji, pak se ustálí a konstantně se zvětšuje. U kmene stromu je toto zvýšení

vstupní energie potřebné k růstu konstantní, a to cca 10 J za den. Na obrázku 5 je pak ten samý případ vyjádřen v jednotkách emergy seJ. [12]



Obrázek 5 Uložené emergy v čase: upraveno dle [1] [12]

Emergy tok je zde 40 000 seJ za den, což vychází z přepočtu solárního transformity produkce, které je u dřeva cca 4 000 seJ/J. Úložiště na obrázku 5 přechovává a akumuluje solární emergy potřebné ke vzniku dřevního materiálu. Z grafu na obrázku 5 vyplývá, že emergy uložené ve dřevě už dále nezávisí na ostatních ztrátách jako u energie uvedené na obrázku 4. Tyto ztráty zde představují energii, která není schopna konat další práci a má tedy nulové emergy. Emergy se v materiálu ukládá pouze v průběhu růstu uložené energie a dále je konstantní a již se nezvětšuje. Tato skutečnost demonstruje vlastní podstatu emergy. Pokud je ukládaná energie konstantní, uložené emergy je také konstantní. Grafy na obrázcích 4 a 5 uvažují konstantní zalesněné plochy. Pokud by se snížila zalesněnost daného území, snížila by se s ním i uložená energie, případně uložené emergy. Obdobná situace by nastala v případě odebrání části úložiště z celého systému zapříčiněné například pokácením části lesů. [1] Z tohoto příkladu je patrný rozdíl ve vnímání energie a emergy, zejména v respektování každého procesu v přírodě v rámci celého globálního systému.

2.3. Emergy výpočetní tabulka

Po sestavení systémového diagramu je nutné sepsat veškeré zjištěné toky. K tomu se většinou využívá tabulka, do které se zapíše veškeré toky zdrojů, práce a energie, které překročí hranice zkoumaného systému. Tabulka 2 představuje proformu emergy výpočetní tabulky pro jednotku emergy solární Joule. Do tabulky zapíšeme veškeré hodnoty a také hodnoty v energetických a emergy jednotkách. Tato tabulka má svoje zákonitosti, které je vhodné dodržovat v zájmu lepšího přehledu a integrity. [1]

Číslo	Položka	Data v energetických jednotkách (J, g, peněžní jednotky)	Solární transformity (seJ/jednotku)	Tok solárního emergy (seJ/rok)
Pro všechny zdroje, procesy nebo úložiště zde bude jedna řádka.				

Tabulka 2 Proforma emergy výpočetní tabulky: upraveno dle [20]

Každý tok v systému vyjadřuje jednu řádku tabulky. Ve sloupcích se pak nejčastěji nachází číslo položky, název, velikost daného toku v běžných jednotkách, jednotková emergy hodnota a výsledná hodnota v emergy jednotkách pro daný tok. V tabulce se může nacházet i šestý sloupec, ve kterém se většinou nachází emcena vztahená pro vybraný rok. Tento sloupec je využíván při výpočtu ekonomické efektivnosti v emergy jednotkách. Pro tyto výpočty je však nutné znát emergy transformity dané měny. Pro ČR však tento přepočtení zatím není vyřešen. Pokud sečteme hodnoty všech uvedených toků v emergy jednotkách, dostaneme celkové emergy potřebné na chod systému. Tento výpočet je proveden i pro běžné jednotky, kde však bude počet výsledných hodnot záviset na počtu druhů běžných jednotek, ve kterých jsou vstupy měřeny. Jednotková emergy hodnota je nejčastěji udávána v jednotkách seJ na nějakou běžnou jednotku, kterou může být například Joule, gram nebo peněžní jednotka. Zvolení správných jednotek pro přepočtení koeficient je vlastně volba vhodných emergy jednotek. Převodní koeficient neboli transformity získáme tak, že vydělíme celkové emergy hodnotou vstupní energie. Snahou příznivců emergy konceptu je postupně přepočítávat různé systémy z běžných jednotek na emergy jednotky, čímž je opět získávána možnost širšího využití. [20] Díky těmto výsledkům totiž vznikají další transformity, které mohou být dále využity v jiných výpočtech bez potřeby tyto hodnoty znovu počítat.

Pro výpočet emergy toku je nutno znát přepočty jednotlivých druhů energie na emergy jednotky. Jedná se tedy o získání takové energetické hodnoty, která uvažuje veškeré předešlé transformace před vznikem daného druhu energie. V této práci je využíván přepočtení na seJ, neboli solární jednotky, kdy všechny komponenty nějakého systému převedeme na tyto společné jednotky.

2.3.1. Kalkulace energetických dat

Klíčovým bodem emergy výpočtů je získání dat v základních energetických jednotkách, aby bylo možno je pak pomocí vhodného transformity převést na emergy jednotky. Pro některé základní globální energetické toky jsou zde dále uvedeny vzorce pro jejich výpočet v Joulech za rok. [1] [10]

2.3.1.1. Sluneční záření

$$(plocha\ země\ [m^2]) \times \left(\text{průměrná\ intenzita\ slunečního\ záření} \left[\frac{J}{m^2 \cdot rok} \right] \right) = [J/rok]$$

2.3.1.2. Kinetická energie větru

$$\begin{aligned} & (\text{výška [m]}) \times \left(\text{hustota } \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \right) \times \left(\text{difúzní koeficient } \left[\frac{\text{m}^3}{\text{rok}} \right] \right) \times \\ & \times \left(\text{vertikální gradient větru } \left[\frac{\text{m}}{\text{rok}} \right] \right) \times (\text{plocha [m}^2\text{]}) \end{aligned}$$

2.3.1.3. Chemická potenciální energie deště

$$\begin{aligned} & (\text{plocha země [m}^2\text{]}) \times \text{množství srážek } \left[\frac{\text{m}}{\text{rok}} \right] \times \text{Gibbsův koeficient } \left[4,94 \times \frac{10^6 \text{J}}{\text{m}^3} \right] \\ & = [\text{J/rok}] \end{aligned}$$

2.3.1.4. Chemická potenciální energie řek

$$(\text{objemový tok [m}^3/\text{rok]}) \times \text{Gibbsův koeficient } \left[4,94 \times \frac{10^6 \text{J}}{\text{m}^3} \right] = [\text{J/rok}]$$

2.3.1.5. Chemická potenciální energie vody na území státu

Jedná se o součet chemické potenciální energie deště a salda řek na území nějakého státu.

2.3.1.6. Tepelný cyklus země

$$(\text{plocha země [m}^2\text{]}) \times \text{tepelný tok Země } \left[(3 - 10) \times \frac{10^6 \text{J}}{\text{rok}} \right] = [\text{J/rok}]$$

2.4. Metody výpočtu emergy systémů

Pro výpočty emergy je využíváno deset metod výpočtu.

- 1) Ohodnocování hlavních energetických toků geobiosféry agregované dle potřeby výpočtu.
- 2) Ohodnocování energetických toků geobiosféry, které jsou složeny z hlavních toků.
- 3) Ohodnocování příkladů (subsystémů geobiosféry) environmentální hospodářské produkce.
- 4) Ohodnocení nashromážděné emergy v systému.
- 5) Ohodnocování systému pomocí transformity kombinací jiných transformity.
- 6) Ohodnocování transformací v obecném energetickém síťovém diagramu.
- 7) Sledování cesty emergy každého zdroje, který vstoupil do systému včetně zkoumání sloučení emergy různých zdrojů.
- 8) Ohodnocování energetického toku dat v systému pomocí mikropočítače.
- 9) Ohodnocení energetických distribučních grafů.

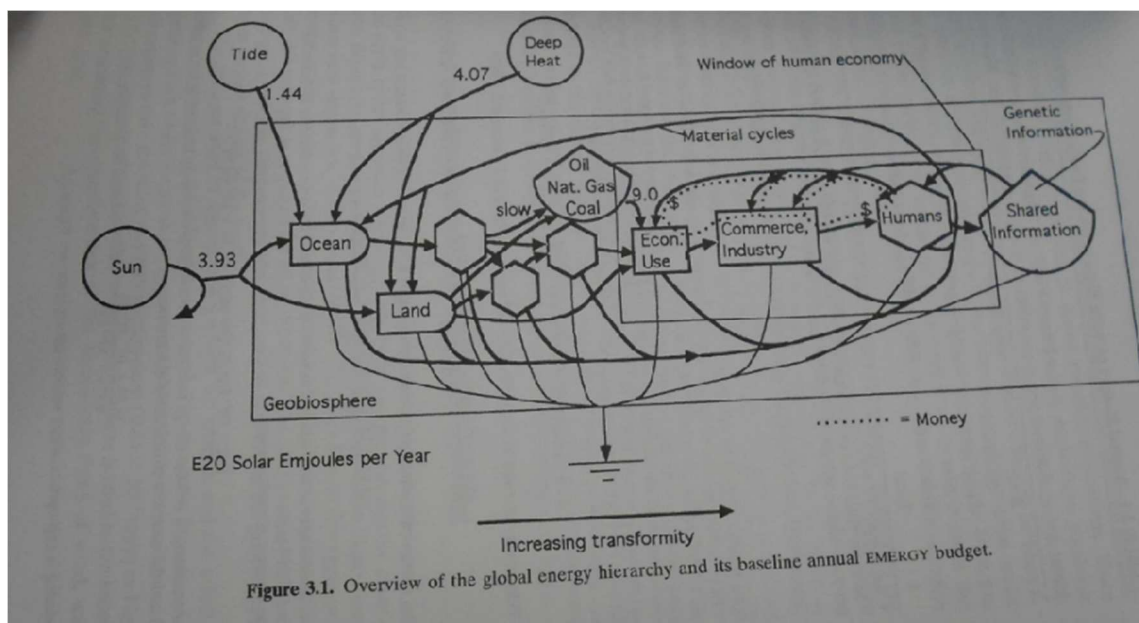
10) Odvozování transformity na základě pozice v hierarchii vytvořené dle času obnovení.

Metody výpočtu 1 a 2 jsou založené na výpočtech globálních energetických procesů. Výpočty jsou založené na tom, že veškerá energie je získávána z globálního systému neboli geobiosféry. Výpočty se týkají pouze hlavních energetických procesů, jako je energie Slunce, energie přílivu a odlivu a geotermální energie (viz kapitola 2.5.). Jedná se zejména o rozdělení energie z těchto hlavních zdrojů do všech ostatních energetických procesů a můžeme na jejich základě získat přibližné emergy toky systému větru, vody a země. Tyto emergy toky jsou pak využívány jako základ, ze kterého jsou dále počítány transformity hlavních globálních energetických toků. Můžeme tedy kvantifikovat hlavní vlastnosti energetické hierarchie celé Země. [10] Pomocí hodnot globálních transformity mohou být odhadnuty energetické toky v menším měřítku (například v rámci jednoho státu).

V bodě 3 a 4 této práce využívám z rozsahových důvodů výpočetní metodu 5, kdy z jižvypočítaných hodnot transformity pro energetické suroviny počítám emergy náročnost, což je ve své podstatě výpočet transformity uvedený v jednotkách seJ/J.

2.5. Globální emergy

Na obrázku 6 se nachází emergy diagram systému geobiosféry (tzn. Země v globálním pojetí). Úkolem je určit to, jak přispívají jednotlivé hlavní energetické zdroje do geobiosféry s respektováním dlouhodobých průměrů. Slunce, slapová energie a geotermální energie spolupracují jako samostatný propojený systém, ve kterém se nacházejí sítě procesů zahrnující také ekonomické systémy, produkci nebo udržování uložení globálně sdílených informací.



Obrázek 6 Diagram geobiosféry [1]

Z obrázku 6 je dále patrné, že solární transformity se zvětšuje směrem zleva doprava podél řady po sobě jdoucích energetických transformity. Sluneční energie má dle definice transformity 1 seJ/J a nachází se v diagramech zpravidla úplně vlevo a informace může mít velikost transformity až 10^{13} seJ/j a v diagramech je umístěna na pravé straně. [15]

Všechny tři hlavní energetické zdroje jsou uvedeny v jiné energetické formě. Po převedení na emery jednotky je však základ stejný. Odhad solárních transformity pro tento systém je v následující tabulce:

Zdroj	Tok energie (J/rok)	Solární transformity (seJ/J)	Tok solárního emery (seJ/rok)
Sluneční záření	$3,93 \times 10^{24}$	1	$3,93 \times 10^{24}$
Geotermální energie	$6,72 \times 10^{20}$	$1,2 \times 10^4$	$8,06 \times 10^{24}$
Slapová energie	$0,52 \times 10^{20}$	$7,37 \times 10^4$	$3,83 \times 10^{24}$
Celkem			$15,83 \times 10^{24}$

Tabulka 3 Globální emery: upraveno dle [20]

Z tabulky 3 je patrné, že celkové emery potřebné z těchto tří hlavních obnovitelných zdrojů země k řízení Země je kolem $15,83^{24}$ seJ/rok. Také z tabulky vyplývá fakt, že celkový emery tok Země je z 25 % ze Slunce, z 50 % z geotermální energie a z 25 % ze slapové energie. Pokud to tedy porovnáme s hodnotami uvedenými v J/rok, je zde vidět zásadní rozdíl ve vnímání využitelnosti energetických zdrojů pomocí emery jednotek. Jedná se o základní emery hodnoty, od kterých se dále odvíjí další výpočty. Hodnota globálního emery toku byla nižší (cca $9,44 \times 10^{24}$ seJ/rok). Nutno podotknout, že se jedná o odhadované hodnoty, ale jelikož mají dané hodnoty stejný základ, není problém je pomocí koeficientu přepočíst, pokud bude tento základ v budoucnu přepočten. Přesné hodnoty nemusí být někdy pro výpočty třeba. Je to analogické jako při měření nadmořské výšky, kde absolutní hodnota výšky hladiny není důležitá. Záleží pouze na rozdílu mezi hladinou a danou měřenou výškou. [26]

Celkový roční tok energie v J/rok získaný ze slunečního záření je spočítán dle vzorce uvedeného v kapitole 2.3.1.1. Plocha Země, na kterou dopadá sluneční záření je $1,278 \times 10^{24}$ m² a průměrná intenzita slunečního záření je $3,075 \times 10^{10}$ J/m² za rok (průměrná hodnota slunečního záření, které dopadne reálně na 1 m² zemského povrchu za jeden rok). [1]

$$(1,278 \times 10^{24} [m^2]) \times \left(3,075 \times 10^{10} \left[\frac{J}{m^2 \text{ rok}} \right] \right) = 3,93 \times 10^{24} J/\text{rok}$$

Jelikož geotermální energie a slapová energie vznikají za pomoci sluneční energie, je jejich transformity větší než u transformity slunečního záření. Pro geotermální energii je výpočet založen na součtu tepla získaného díky radioaktivitě zemské kůry ($1,98 \times 10^{20}$ J/rok) a tepla proudícího ze zemského pláště ($4,74 \times 10^{20}$ J/rok). [1]

$$(1,98 \times 10^{20} [J/\text{rok}]) + (4,74 \times 10^{20} [J/\text{rok}]) = 6,72 \times 10^{20} J/\text{rok}$$

Tok slapové energie je stanoven na $0,52 \times 10^{20}$ J/rok [5]. Emergy celkového tepla generované zemí je stanoveno na $6,49 \times 10^{20}$ J/rok a geopotenciální emergy oceánů na $2,14 \times 10^{20}$ J/rok. [20] Na základě těchto hodnot se dále vypočítá emergy transformity pro geotermální energii a energii přílivu pomocí soustavy rovnic A a B.

$$\begin{aligned}
 \textbf{Rovnice A:} & \left(\text{Solární emergy} \left[\frac{\text{seJ}}{\text{rok}} \right] \right) + \left(\text{Emergy přílivu} \left[\frac{\text{seJ}}{\text{rok}} \right] \right) \\
 & = \left(\text{Emergy celkového tepla generovaného Zemí} \left[\frac{\text{seJ}}{\text{rok}} \right] \right): \\
 3,93 \times 10^{24} & \left[\frac{\text{seJ}}{\text{rok}} \right] + \left(0,52 \times 10^{20} \left[\frac{\text{J}}{\text{rok}} \right] \times \text{Transformity}_{\text{slap}} \left[\frac{\text{seJ}}{\text{J}} \right] \right) \\
 & = \left(6,49 \times 10^{20} \left[\frac{\text{J}}{\text{rok}} \right] \times \text{Transformity}_{\text{geoterm}} \left[\frac{\text{seJ}}{\text{J}} \right] \right)
 \end{aligned}$$

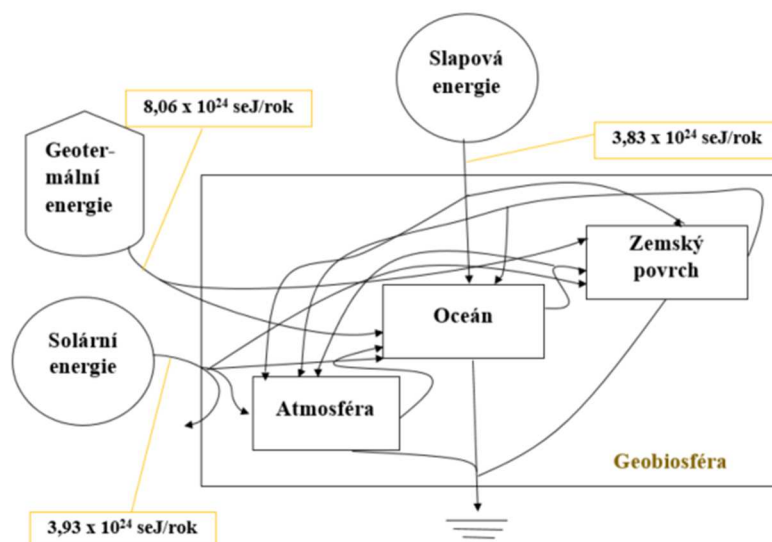
$$\begin{aligned}
 \textbf{Rovnice B:} & \left(\text{Solární emergy} \left[\frac{\text{seJ}}{\text{rok}} \right] \right) + \left(\text{Emergy přílivu} \left[\frac{\text{seJ}}{\text{rok}} \right] \right) \\
 & + \left(\text{Emergy geotermální} \left[\frac{\text{seJ}}{\text{rok}} \right] \right) \\
 & = \left(\text{Geopotenciální emergy oceánů} \left[\frac{\text{seJ}}{\text{rok}} \right] \right): \\
 3,93 \times 10^{24} & \left[\frac{\text{seJ}}{\text{rok}} \right] + \left(0,52 \times 10^{20} \left[\frac{\text{J}}{\text{rok}} \right] \times \text{Transformity}_{\text{slap}} \left[\frac{\text{seJ}}{\text{J}} \right] \right) \\
 & + \left(6,72 \times 10^{20} \left[\frac{\text{J}}{\text{rok}} \right] \times \text{Transformity}_{\text{geoterm}} \left[\frac{\text{seJ}}{\text{J}} \right] \right) \\
 & = \left(2,14 \times 10^{20} \left[\frac{\text{J}}{\text{rok}} \right] \times \text{Transformity}_{\text{slap}} \left[\frac{\text{seJ}}{\text{J}} \right] \right) \quad (\text{B})
 \end{aligned}$$

Řešením soustavy rovnic A a B získávám transformity pro geotermální energii ($\text{Transformity}_{\text{geoterm}}$) a slapovou energii ($\text{Transformity}_{\text{slap}}$):

$$\text{Transformity}_{\text{geoterm}} = 11\,981 \text{ seJ/J}$$

$$\text{Transformity}_{\text{slap}} = 73\,923 \text{ seJ/J}$$

Tok solárního emergy získáme vynásobením vypočtených energetických toků v Joulech příslušnou hodnotou získaných transformity. Na obrázku 7 se nachází zjednodušený diagram s číselným vyznačením všech toků.



Obrázek 7 Zjednodušený diagram geobiosféry: upraveno dle [20]

Cirkulační proces Země je řízen cirkulací atmosféry a oceánů, hydrologickým cyklem a konvencí tepla ze zemského pláště. Globální energy toky zajišťují konverzi materiálů na horniny a napomáhají udržovat kontinenty navzdory tokům disperze a recyklace. Jsou zde zahrnuty také procesy chemické koncentrace, krystalizace a eroze. V rámci kontinentů jsou horniny hierarchickými energetickými centry. Využitelná energie je ukládána a transformována do geopotenciální či chemické potenciální formy.

Další solární transformity jsou přepočítány vydělením celkového globálního toku energy (15,83×10²⁴ seJ/rok) příslušnou hodnotou toku energie dané položky. V tabulce 4 se nachází výpočty energy jednotek pro některé hlavní globální procesy.

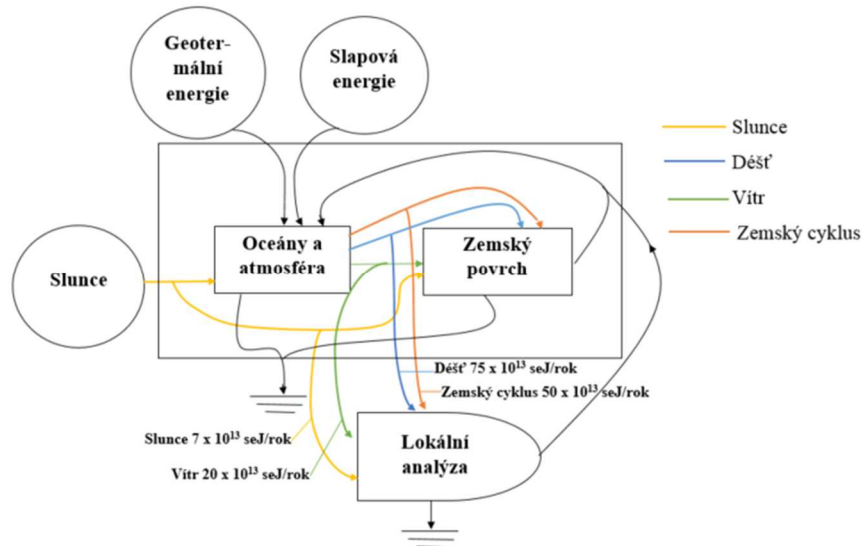
Globální procesy	Tok energie	Solární transformity
Globální teplo	$1,26 \times 10^{24}$ J/rok	12,56 seJ/J
Globální cirkulace větru	$6,45 \times 10^{21}$ J/rok	2 454,26 seJ/J
Globální srážky	$1,09 \times 10^{20}$ g/rok	145 229,36 seJ/g
Globální srážky	$5,19 \times 10^{20}$ J/rok	30 500,96seJ/J
Průměrný tok řek	$3,96 \times 10^{19}$ g/rok	399 747,47 seJ/g
Průměrný geopotenciál řek	$3,40 \times 10^{20}$ J/rok	46 558,82 seJ/J
Průměrný chemická energie řek	$1,96 \times 10^{20}$ J/rok	80 765,31 seJ/J
Průměrná energie vln	$3,10 \times 10^{20}$ J/rok	51 064,52 seJ/J
Průměr mořských proudů	$8,60 \times 10^{17}$ J/rok	18 406 976,74 seJ/J

Tabulka 4 Energy transformity pro některé globální procesy: upraveno dle [20]

Dále je uveden příklad pro výpočet transformity větru (stejně se pak vypočítají i ostatní hodnoty). Je nutné znát tok energie za rok jednotlivých předmětných jevů a celkový globální energy tok.

$$\frac{15,83 \times 10^{24} [seJ/rok]}{6,45 \times 10^{21} [J/rok]} = 2\,454,26 \text{ seJ/J}$$

Základní vstupy jakožto hlavní globální energy toky jsou nadsystémem, který přispívá k energy jednotlivých částí Země, například k jednotlivým státům (lokálním územím). Pokud využijeme tento způsob přepočtu energy toků pro jednotlivé státy, lze tento systém vyjádřit tak, jak je na obrázku 8. Jsou zde patrné čtyři hlavní energy toky plynoucí z geobiosféry Země.



Obrázek 8 Energy toky z geobiosféry do lokálního území: upraveno dle [1]

Lokálním územím se v tomto případě myslí například stát nebo kontinent. Jelikož uvedené čtyři hlavní toky vycházející z geobiosféry spolu souvisí ve smyslu koprodukce deště, větru a zemského cyklus se slunečním zářením, je nutno vybrat pro výpočet celkového energy lokálního území největší ze čtyř toků. V tomto případě je to energy tok deště, který je dle obrázku 8 ve výši 75×10^{13} seJ za rok. Pokud chceme vycházet pouze z prvotního energetického zdroje, kterým je sluneční záření, je nutno si uvědomit, že geotermální energie a slapová energie ve své podstatě vychází z energie Slunce. Pokud je zapotřebí vypočítat energy plynoucí z prvotního energetického zdroje pro nějaké lokální území pomocí přepočtu z hlavních energy toků vycházejících z geobiosféry Země, je nutné vybrat jeden z těchto hlavních energy toků, tedy energy deště. [1] Tento způsob je využíván při výběru výpočetní metody 1 a 2 uvedené v kapitole 2.4.

2.6. Využití energy v ekonomii

Při výpočtech pomocí třetí metody uvedené v kapitole 2.4. je využíváno schématu na obrázku 9. Je zde vidět rozdíl oproti metodám 1 a 2, a to díky uvažování ekonomicko-ekologické interakce. Jedná se opět o vyjádření globálního systému. Globální energetický systém je zde rozdělen do tří sektorů. Sektor životního prostředí, ekonomicko-ekologický sektor a hlavní hospodářství včetně obchodu, průmyslu nebo spotřebitelů. Energie hlavních globálních zdrojů (energy Slunce, slapů

a geotermální energie) jsou zde uvedeny jako jeden vstupní zdroj. Odpad je recyklován zpět do životního prostředí. Peníze obíhají v uzavřeném cyklu. Emergy výpočty v oblasti těžby, zemědělství, lesnictví nebo rybolovu umožňují ohodnotit příspěvek reálného bohatství k lokálnímu environmentálnímu produktu. Výpočty emergy potřebných paliv, materiálů, zboží a služeb ohodnocujeme zdroji získanými ekonomickými prostředky (např. zakoupením). Vypočtené ukazatele emergy toku a oběhu peněz pak vyjadřují rozdílnost emergy hodnoty a tržní hodnoty statků. [17] S touto metodou pak souvisí určení solární emergy za jednotku peněz nebo vyjádření emdolaru, emceny nebo emergy za jednotku peněz.

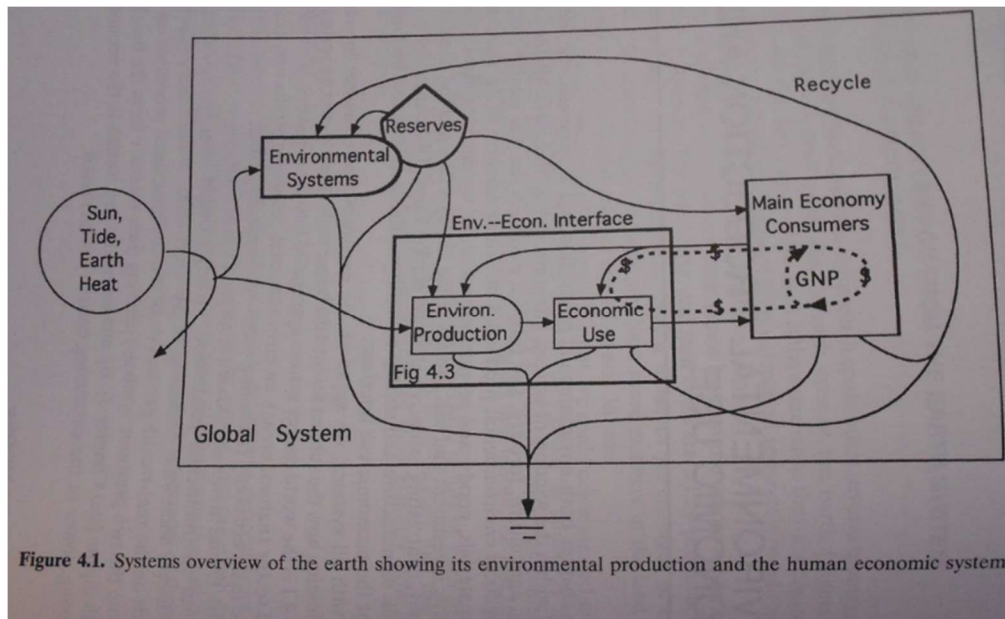


Figure 4.1. Systems overview of the earth showing its environmental production and the human economic system.

Obrázek 9 Globální emergy a světová ekonomika [1]

2.7. Další využití emergy systémů

V současné době existuje spousta studií a přepočtů emergy, které zahrnují mnoho odvětví. Výčet některých oborů, kde již bylo aplikováno emergy, jsou studie ekosystémů, emergy a informace, zemědělství, využití přírodních zdrojů, ekonomie, životní prostředí, ekologie, cyklus materiálů či recyklace, termodynamika, modelování systémů nebo také politika. Pro každé takové odvětví byla napsána nějaká publikace nebo byly provedeny výpočty a přepočty na emergy jednotky. [3]

Jelikož není možné obsáhnout zde popis veškerých oborů, kde bylo použito emergy, jsou zde uvedeny jen některé vybrané. Všechny obory však spolu z globálního hlediska souvisí a často se prolínají.

2.7.1. Emergy a ekosystémy

Aplikace emergy v ekosystémech sahají do samotných začátků vzniku emergy teorie. Ekosystém je systém, který se řídí samostatně. Mezi první studie od p. Oduma se řadí studie s názvem Self-

Organization, Transformity, and Information. Spojením Self-Organization se rozumí spojení částí a procesů v nový druh globálního systému, který obsahuje zemi, vítr, oceány, žijící druhy nebo lidské znalosti či společnost. Tento systém se stává chaotickým díky spojení společnosti s toky peněz, elektrických signálů nebo informací. [6] Tento obor se zabývá zejména hierarchií transformity vstupních zdrojů do emergy systémů. Jelikož je v emergy hlavní základní jednotkou solární Joule, transformity pro sluneční záření bude 1 a transformačními procesy vznikají díky slunečnímu záření další produkty, zdroje nebo formy energie.

Hierarchie některých typických transformity je uvedena v následující tabulce:

	Transformity (seJ/J)
Sluneční záření	1
Větrná kinetická energie	623
Nekonsolidovaná organická hmota	4 420
Geopotenciální energie rozptýlená v dešti	8 888
Chemická energie rozptýlená v dešti	15 423
Geopotenciální energie v řekách	23 564
Chemická energie v řekách	41 000
Mechanická energie vln, přílivu a odlivu	17 000 – 29 000
Konsolidované paliva	18 000 – 58 000
Jídlo - obilí, tráva	24 000 – 200 000
Jídlo – obsahující proteiny	1 000 000 – 4 000 000
Lidské služby	80 000 – 5 000 000 000
Informace	10 000 – 10 000 000 000 000

Tabulka 5 Hierarchie transformity: upraveno dle[6]

Tabulka 5 nám také vyjadřuje hierarchii, jak postupně se primární sluneční energie degraduje v závislosti na nosiči energie. Jak můžeme vidět, na jeden Joule informace je spotřebované obrovské množství solárních Joulů. Primárním nejnižším postavením v hierarchii má energie Slunce. Pokud bychom zkoumali, jak se vytvoří většina surovin nebo nosičů energie, vždy bychom mohli dospět až k množství energie Slunce, která byla potřebná k transformaci na daný zdroj.

V oboru ekosystémů se vědci zabývali studii týkající se také vodních a mořských ekosystémů, potravinových sítí, lesních ekosystémů nebo biodiverzity.

2.7.2. Emergy a informace

Pokud se mluví o emergy v souvislosti s informacemi, většinou se jedná o komplexnější studii, která se nezabývá pouze informační stránkou. Spojují se nejčastěji s diversitou nebo komplexně s emergy teoriemi zabývajícími se kulturou nebo vzděláním. [1] V tomto oboru je aplikace emergy systémů na počátku.

2.7.3. Emergy a zemědělství

V této oblasti výzkumu se emergy neaplikuje na zemědělství jako takové. Spíše se sem řadí výzkum systémů produkce jídla, živočišné produkce nebo emergy systémy spojení spotřeby a

produkce jídla. U posledního příkladu je hlavní myšlenkou to, že pro vypěstování nějaké plodiny je potřeba sluneční záření, teplo, půda a déšť ze strany přírody a lidský element do toho může zasahovat tím, že poskytne navíc pro růst mechanickou sílu, práci nebo hnojivo. Hlavní problém, který zde vědci řeší je využívání metod, které škodí životnímu prostředí. To vše v závislosti na vzrůstající požadavky na spotřebu potravy. Mezi tyto škodlivé vlivy by mohlo být zařazeno například stále větší využívání pesticidů nebo eroze půdy. [1]

2.7.4. Emergy a energetické zdroje

Tato kapitola je nejpodstatnější, co se týká obsahu této práce. V roce 2009 byly publikovány solární přepočty ropných zdrojů energie. Dále byly publikovány studie zabývající se obnovitelnými a neobnovitelnými zdroji energie, přepočty pro vodní přehrady, biopaliva nebo vodík. Poznatky z tohoto oboru budou využity v dalších kapitolách této diplomové práce. Bude se jednat především o nalezení všech potřebných přepočtů pro vypočítání emergy náročnosti výroby jednotky energie ve vybraných zemích nebo pro porovnání využití různých pohonných paliv po přepočtu na emergy jednotky.

2.8. Analýza vybraných modelů související s emergy [11] [12]

Pro analýzu stávajících modelů jsem vybrala některé z modelů dostupných na oficiálních internetových stránkách emergy systémů. Vybrané modely jsou k dispozici v souborech programu Microsoft Excel. Množství uložené energie v příslušných zdrojích a komponentech jednotlivých systémů jsou vždy vynesena do grafů. V uvedených souborech je možno měnit vstupní parametry včetně vstupních podmínek. Všechny přístupné modely emergy systémů jsou řešeny pomocí diferenciální rovnice nebo pomocí soustavy diferenciálních rovnic. Jedná se ve všech případech o změnu uložené energie v různých podobách v čase. Jednotlivé výpočty jsou popsány u jednotlivých modelů. Soubory s demonstračními výpočty a simulacemi všech zde popsaných modelů jsou k dispozici v elektronické podobě na přiloženém CD (soubor s názvem 2_Stávající emergy modely), který tvoří přílohu 1 této práce.

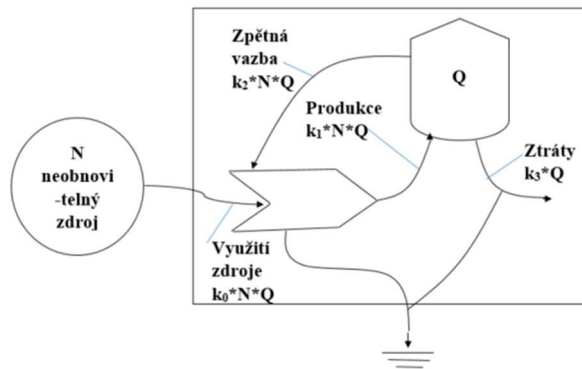
2.8.1. Neobnovitelné zdroje

Neobnovitelné zdroje jsou takové zdroje, jejich množství je z krátkodobého hlediska vyčerpátné. Tento model popisuje chování systému s limitovaným vstupním zdrojem. Příkladem může být například město, jehož ekonomika je závislá na těžbě nějaké suroviny. Tím, jak se důl postupně vyčerpává, ekonomika města se snižuje až do té doby než se z města všichni odstěhují. Čerpání neobnovitelných zdrojů v čase je popsáno soustavou diferenciálních rovnic:

$$\frac{dQ}{dt} = k_1 \times N \times Q - k_2 \times N \times Q - k_3 \times Q \quad (1)$$

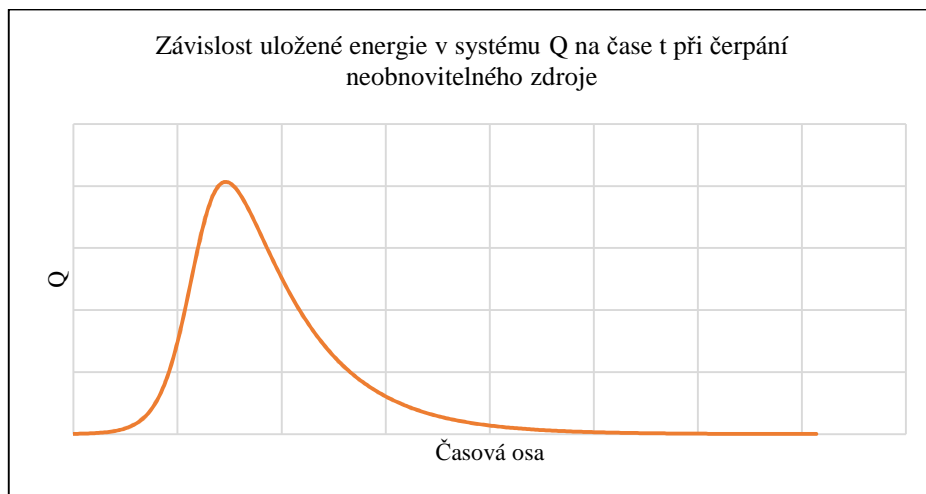
$$\frac{dN}{dt} = -k_0 \times N \times Q, \quad (2)$$

kde Q je množství uložené energie v systému, N je celková energie uložená ve zdroji vstupujícím do systému a k_i , kde $i = 0,1,2,3$ jsou koeficienty příslušející jednotlivým tokům. Rovnice 1 vyjadřuje změnu množství uložené energie v čase v závislosti na jednotlivých tocích energie v systému. Rovnice 2 vyjadřuje změnu energie uložené v neobnovitelném vstupujícím zdroji do systému v čase. Jelikož se zdroj časem postupně vyčerpává, přísluší pravé straně rovnice záporné znaménko. Jednotlivým členům kromě bezrozměrných koeficientů náleží příslušné jednotky, které závisí na konkrétních vstupních parametrech.



Obrázek 10 Čerpání neobnovitelného zdroje: upraveno dle [11]

Na obrázku 10 je znázorněn energetický diagram vyžití neobnovitelného zdroje popisující výše zmíněný průběh čerpání neobnovitelného zdroje N . Na obrázku 11 je pak zobrazen průběh závislosti množství neobnovitelného zdroje Q uloženého v systému na čase t . Tvar křivky odpovídá charakteru rovnic 1 a 2. Osy jsou uvedeny bez jednotek, jelikož průběh závisí na druhu neobnovitelného zdroje.



Obrázek 11 Průběh závislosti uloženého množství energie Q na čase t (neobnovitelný vstupní zdroj)

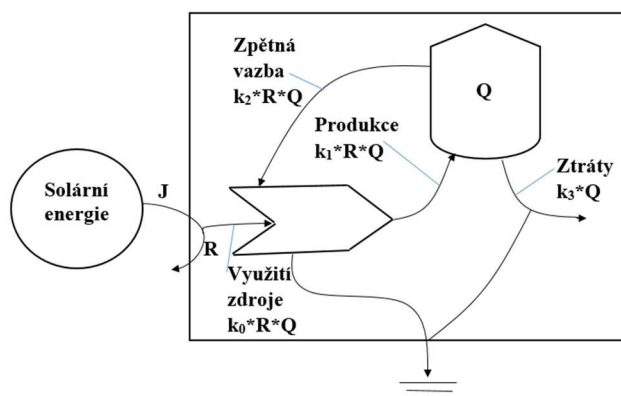
2.8.2. Obnovitelné zdroje

Biomasa, vznik větru a dalších zdrojů řadících se mezi obnovitelné, využívají pro svůj vznik prvotně sluneční energii. Každý den dopadá na zemský povrch určité množství slunečního záření. Sluneční energie je nevyčerpatelným zdrojem. K výpočtům se využívá průměrných ročních hodnot dopadu slunečního záření. Tento model je popsán následujícími rovnicemi:

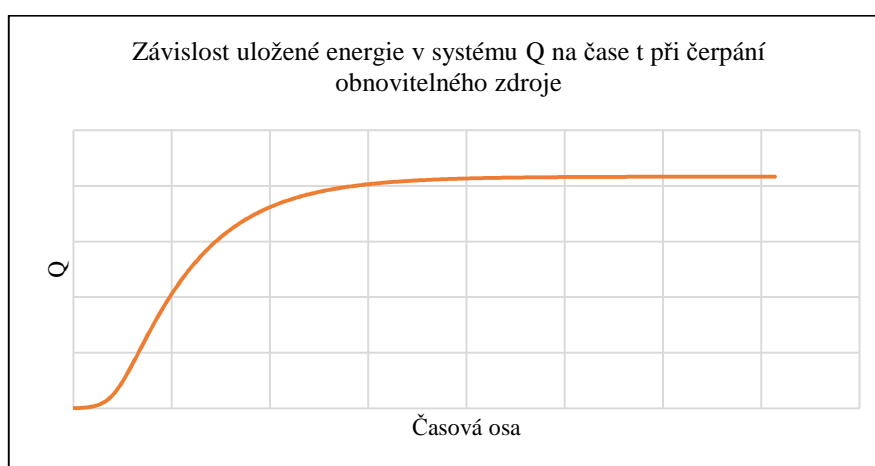
$$\frac{dQ}{dt} = k_1 \times R \times Q - k_2 \times R \times Q - k_3 \times Q \quad (3)$$

$$R = J - k_0 \times R \times Q \quad (4)$$

kde J je celková sluneční energie dopadající na zemský povrch, R je energie vstupující do systému, Q je množství energie obnovitelného zdroje uložené v systému a k_i , kde $i = 0,1,2,3$ jsou koeficienty příslušející jednotlivým tokům. Na obrázku 12 se nachází energetický diagram využití obnovitelného zdroje v čase.



Obrázek 12 Čerpání obnovitelného zdroje: upraveno dle [11]



Obrázek 13 Průběh závislosti uloženého množství energie Q na čase t (obnovitelný zdroj)

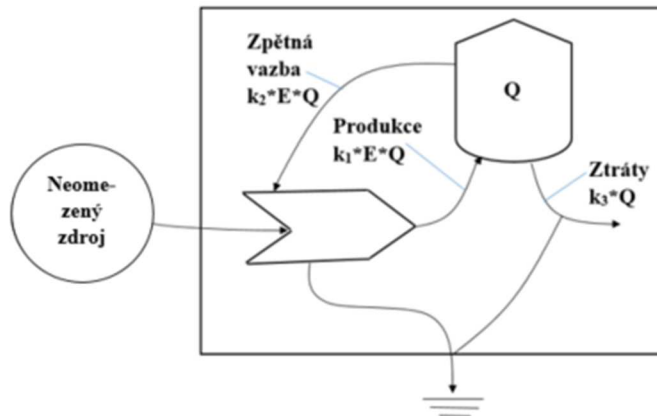
Z grafu na obrázku 13 je evidentní nevyčerpatelnost obnovitelných zdrojů. Tento model se využívá výhradně pro přírodní systémy, které se rozvíjejí za pomoci obnovitelných zdrojů.

2.8.3. Exponenciální růst

Autokatalytický růst konstantně využitelné energie produkuje exponenciální růst. Příkladem může být růst populace při neomezeném zdroji. Při nalezení nového úložiště nějakého energetického zdroje je nárůst ze začátku vždy exponenciální. Uložená energie v systému Q se v čase mění v závislosti na celkové energii vstupujícího vnějšího neomezeného zdroje E a koeficientů k_i , kde $i = 1,2,3$, jež jsou konstantní. Následující rovnice 5 popisuje změnu množství Q v čase v závislosti na čerpání neomezeného zdroje.

$$\frac{dQ}{dt} = k_1 \times E \times Q - k_2 \times E \times Q - k_3 \times Q \quad (5)$$

Na obrázku 14 se nachází diagram vysvětlující vztahy při čerpání neomezeného energetického zdroje v čase.



Obrázek 14 Čerpání neomezeného zdroje: upraveno dle [11]

Na obrázku 15 se nachází průběh množství uložené energie v systému Q při čerpání neomezeného zdroje. V tomto případě se jedná o neomezenost z hlediska krátkého časového úseku. Vezmu-li v úvahu modely neobnovitelných a obnovitelných zdrojů, exponenciální růst uložené energie v systému se v grafech nacházel na začátku čerpání daného zdroje.



Obrázek 15 Průběh závislosti uloženého množství energie Q na čase t (neomezený zdroj)

2.8.4. Dva zdroje

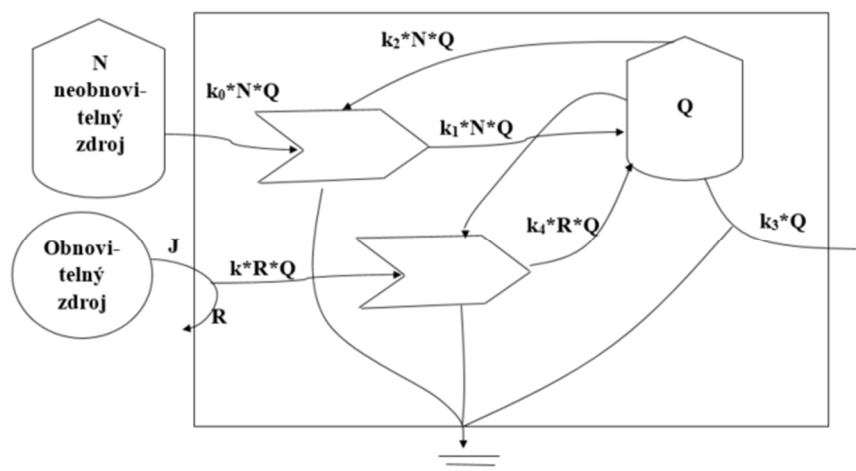
Jedná se o model demonstrující uložení energie v systému dvou zdrojů, z nichž jeden je obnovitelný a druhý neobnovitelný. Tento model spojuje model obnovitelného a neobnovitelného zdroje. Uložená energie v systému Q se v čase mění v závislosti na energii vstupujícího vnějšího neobnovitelného a obnovitelného zdroje a koeficientů k a k_i , kde $i = 0, 1, 2, 3, 4$. Následující rovnice 6 až 8 popisují změnu množství Q v čase v závislosti na čerpání obou zdrojů.

$$\frac{dQ}{dt} = k_1 \times N \times Q - k_2 \times N \times Q - k_3 \times Q + k_4 \times R \times Q \quad (6)$$

$$\frac{dN}{dt} = -k_0 \times N \times Q \quad (7)$$

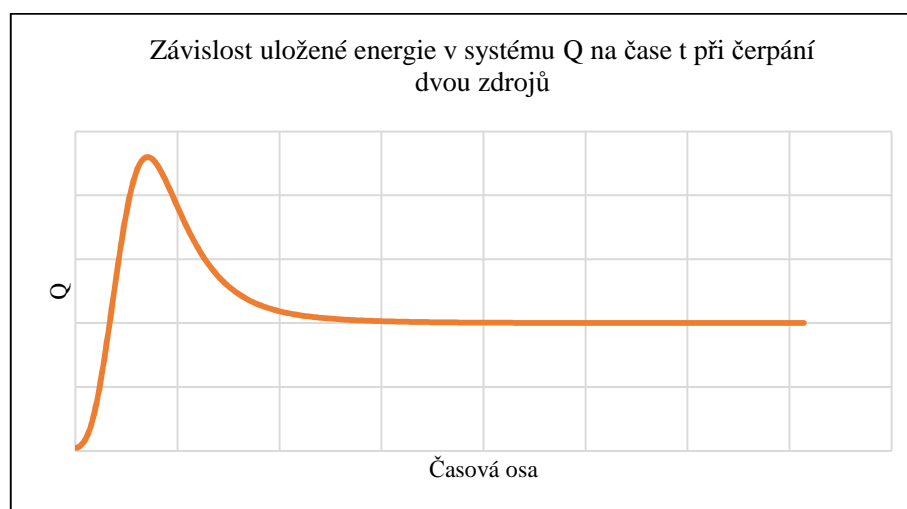
$$R = J - k \times R \times Q \quad (8)$$

Na obrázku 16 je energetický diagram s jednotlivými toky. N je zdroj neobnovitelného zdroje a R je označení zdroje obnovitelného vstupujícího do systému. Q je stejně jako u předešlých modelů množství uložené energie v systému.



Obrázek 16 Čerpání neobnovitelného a obnovitelného zdroje: upraveno dle [11]

Na obrázku 17 se nachází průběh množství uložené energie v systému Q při čerpání dvou zdrojů (jednoho obnovitelného R a druhého neobnovitelného N).



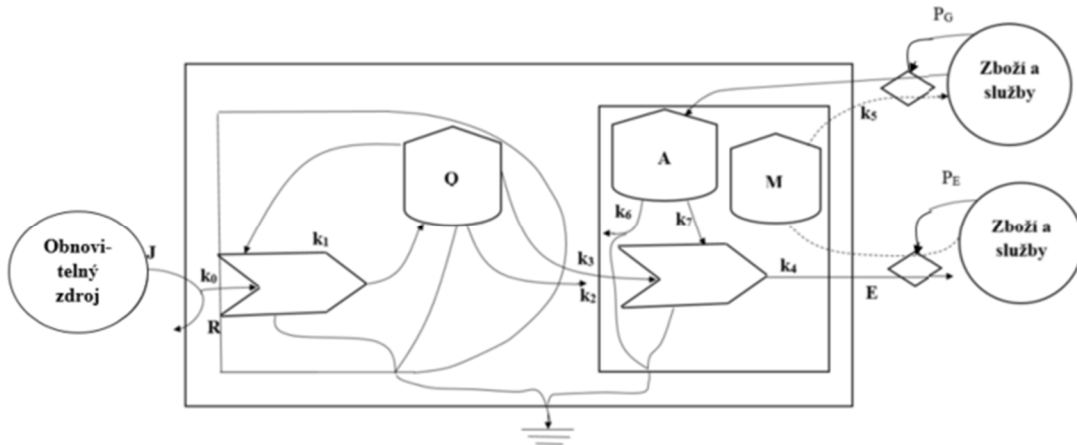
Obrázek 17 Průběh závislosti uloženého množství energie Q na čase t (dva zdroje)

Z grafu na obrázku 17 je patrné, že pokud se zvolí správná kombinace využití obnovitelných a neobnovitelných zdrojů, je jeho množství z dlouhodobého hlediska nevyčerpatelné. Pomocí koeficientů k_i je možno zjistit obnovitelnost neobnovitelných zdrojů. Dlouhodobě jsou i neobnovitelné zdroje obnovitelné pokud by jejich využití bylo rovno jejich postupného nárůstu v přírodě.

2.8.5. Ekonomické využití přírodního zdroje

Tento model vyjadřuje využití přírodního obnovitelného zdroje v ekonomickém procesu. Q zde vyjadřuje uloženou energii v procesu stejně jako u předešlých modelů. Jedná se o produkt, který vznikne uložením primárních zdrojů energie (obnovitelného zdroje), proto se někdy označuje pojmem úložiště. Následující rovnice popisují zjednodušený systém cirkulace peněz. Vznik

produktu je tedy ukládání energie v úložišti Q a zároveň je nutno vynaložit finanční prostředky pro vznik produktu. Zejména pro nákup potřebných komponentů pro výrobu produktu případně pro nákup lidské síly. Na obrázku 18 je umístěn diagram popisující tento model. V pravé části diagramu je evidentní cirkulace peněz, tedy fakt, že pokud vyrobený produkt prodáme, získané finanční prostředky, za něž koupíme zboží a služby potřebné pro pokračování procesu.



Obrázek 18 Ekonomické využití přírodního zdroje

Zisk za prodané produkty je označen v diagramu písmenem E a závisí jak na množství produktů Q, tak na množství komponentů potřebných pro jejich výrobu a na vynaložené lidské práci na výrobu. Lidská práce je zde označena písmenem A. Množství peněz v systému má označení M a získá se jako rozdíl mezi tržbami ($P_E \cdot E$) a penězi zaplacené za zboží a služby ($P_G \cdot M$). P_G je jednotková cena za nakupované komponenty a služby pro výrobu zboží. P_E je jednotková tržní cena za prodané zboží. J je celková sluneční energie dopadající na zemský povrch a R je energie vstupující do systému. Následující rovnice 9, 10, 11 a 12 popisují chování tohoto systému.

$$\frac{dQ}{dt} = k_1 \times R \times Q - k_2 \times Q \times A \quad (9)$$

$$\frac{dA}{dt} = k_5 \times \frac{M}{P_G} \times Q - k_6 \times A - k_7 \times A \times Q \quad (10)$$

$$\frac{dM}{dt} = P_E \times k_4 \times Q \times A - k_5 \times M \quad (11)$$

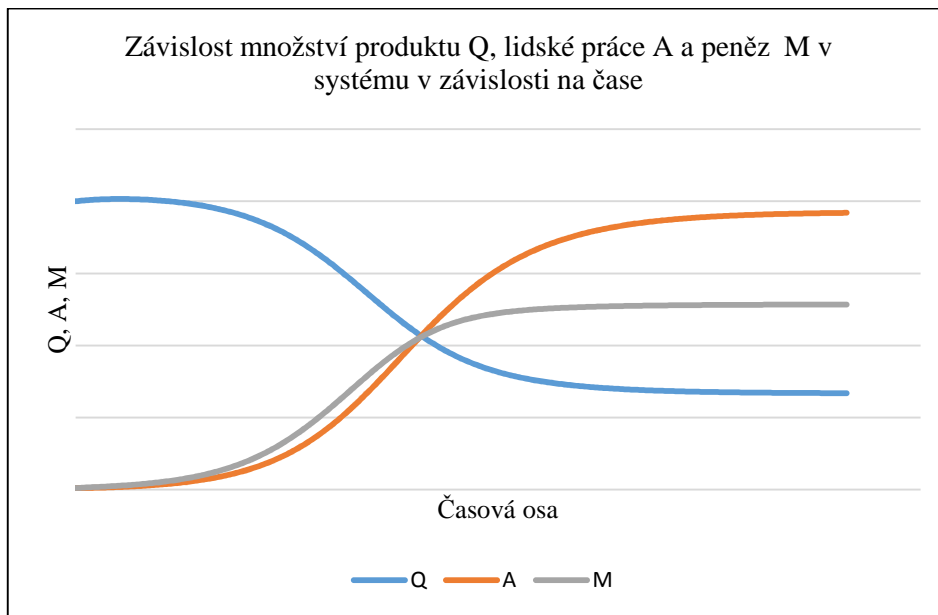
$$R = J / (1 + k_0 \times Q) \quad (12)$$

Koeficienty k_i , kde $i = 0,1,2,3,4,5,6,7$ se vypočítají následujícími rovnicemi:

$$k_0 = \frac{J}{R} - 1 \quad (13), \quad k_1 = \frac{1}{R \cdot Q} \quad (14), \quad k_2 = \frac{0,5}{Q} \quad (15),$$

$$k_3 = \frac{0,5}{Q \cdot A} \quad (16), \quad k_4 = \frac{1}{Q \cdot A} \quad (17), \quad k_5 = \frac{1}{M} \quad (18),$$

$$k_6 = \frac{0,3}{A} \quad (19), \quad k_7 = \frac{0,05}{Q * A} \quad (20)$$



Obrázek 19 Průběh Q, A a M v čase

3. SROVNÁNÍ VÝROBY JEDNOTKY ENERGIE VE VYBRANÝCH ZEMÍCH V PŘEPOČTU NA EMERGY JEDNOTKY

Jedním z hlavních cílů této práce je srovnání výroby jednotky energie ve vybraných zemích v přepočtu na emergy jednotky. V první řadě jsem použila data primární produkce (tuzemských) zdrojů energie a hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů dle [25]. Definice pojmů primární výroby energie a hrubé domácí spotřeby zdrojů jsem převzala ze stejného zdroje, jako jsou vstupní energetická data, a to zejména z praktických důvodů správnosti definování a využití ve výpočtech. Důvodem je také výběr států, jež se nacházejí v Evropské unii, a předpokládám, že evropská statistická databáze je jednotný podklad pro výpočty týkající se vybraných zemí.

Dále jsem použila emergy transformity v jednotkách seJ/J, které slouží k přepočtu jednotlivých zdrojů na emergy jednotky. V roce 2000 byla navíc přepočtena hodnota globálního emergy z $9,24 \times 10^{24}$ sej/rok na $15,83 \times 10^{24}$ sej/rok. Jak již bylo zmíněno dříve, od tohoto základního výpočtu se odvíjí další přepočty na emergy jednotky. Tento fakt byl největším problémem v hledání potřebných transformity využitých v dalších příkladech. V podstatě není uvedena publikace, kde by byly jednotlivé emergy transformity založené na tomto novém základě přehledně uvedené. Výpočet transformity je složitý proces s využitím mnoha dat a vstupních předpokladů. V rámci této práce nebyly tedy tyto hodnoty počítány. Jelikož prozatím neexistuje ucelený výčet emergy transformity pro jednotlivé primární zdroje energie a jejich hodnota se v různých publikacích liší, vybrala jsem vždy hodnotu ze zdroje s nejnovějším datem zpracování. Jak je zřejmé z předešlých kapitol 1 a 2, doposud vytvořené emergy modely jsou zaměřeny na rozhodování o projektech spíše na environmentální úrovni. Existuje veřejně dostupná databáze, ve které je možno nalézt číselné údaje celkových emergy toků států. Jedná se však pouze o hodnoty potřebné k vytvoření emergy celého území jakožto systému, nikoli pro výpočet emergy náročnosti výroby jednotky energie.

Výpočet tak, jak bude uveden dále, vyjadřuje nový pohled na tuto problematiku s využitím solárních transformity spočtených na základě globálního emergy ve výši $15,83 \times 10^{24}$ sej/rok.

Vyjádření náročnosti výroby jednotky energie pomocí emergy jednotky nám tak umožňují částečně řešit otázku započítání skutečné spotřebované energie (potenciální a kinetické energie vody, potenciální energie větru, slunečního záření, fosilních paliv, případně jaderné energie) do výpočtů posouzení efektivnosti využití primárních energetických zdrojů. Všechny energetické zdroje zde tedy přepočítám na společný základ, jímž budou solární emJouly (neboli seJ). Tím že všechny zdroje převedu na tyto společné jednotky, je z hlediska environmentálního tento výpočet názornější pro vyjádření energetické náročnosti výroby jednotky energie v dané zemi.

Pro výpočty jsem vybrala Českou republiku, Německo a Itálii. To hlavně z důvodu různé charakteristiky energetických mixů. Česká republika je exportérem elektřiny, Německo opouští postupně od jaderné energie a v Itálii není provozována jaderná elektrárna a je spíše importérem elektřiny. To jsou hlavní důvody výběru zrovna těchto tří zemí. Jelikož je tato práce stránkově omezena a pro každou zemi je nutné udělat analýzu složení energetického mixu, vybrala jsem pouze tři země.

3.1. Data primární produkce a hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů

Hlavním úkolem této části práce je spočítat, kolik je potřeba solárních Joulů na výrobu jednoho Joulu energie ve vybraných zemích. Tyto výpočty provádím jak na základě primární produkce (tuzemských) zdrojů, tak pomocí údajů hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů pro vybrané země. Nutno upozornit, že se nejedná o výpočet emergy náročnosti výroby jednotky elektrické energie.

Pro uvedené výpočty jsem použila tabulky energetické bilance států Evropské unie poskytované veřejně dostupnou statistickou databází EUROSTAT. V tabulkách se nachází energetické bilance jednotlivých zemí. Výchozí tabulky dat jsou veřejně dostupné na internetových stránkách databáze. [25] První položku zde tvoří primární produkce (tuzemských) zdrojů („*Primary production*“) a v řádku 17 se nachází hrubá domácí potřeba energetických zdrojů („*Final energy consumption*“). Tyto energetické bilance byly k dispozici pro roky 2005, 2010, 2013 a 2014.

Velmi důležitá je charakteristika vstupních dat, u kterých předpokládám, že jsou založené na stejném základě vzhledem k jednotnému zdroji těchto dat.

3.1.1. Primární produkce (tuzemských) zdrojů

Zahrnuje veškeré energetické produkty získané těžbou přírodních zdrojů na daném území ve využitelném stavu. Produkty vytvořené nějakou transformací nebo za pomoci lidského faktoru nejsou započítávány.

3.1.2. Hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů

Získá se jako součet primární produkce (tuzemských) zdrojů, generovaných produktů, importu i změny stavu zásob zdrojů a odečtením exportu včetně salda elektřiny. Tyto hodnoty přibližně odpovídají spotřebě prvotních energetických zdrojů (PEZ) uváděných ve statistikách Českého statistického úřadu a Ministerstva průmyslu a obchodu.

Tabulky použitých dat obsahují i čistou energetickou spotřebu zdrojů. Důvodem pro výběr hrubé spotřeby primárních zdrojů spočívá zejména v citlivosti na dopad transformačních a dalších procesů pro hodnoty výchozích transformity používaných při přepočtu položek zdrojů na emergy jednotky, jak bude vysvětleno v další kapitole.

3.1.3. Charakteristika vstupních dat

Údaje v tabulkách databáze EUROSTAT jsou uvedené v energetických jednotkách, nejčastěji TOE (tuna ropného ekvivalentu). Jelikož k přepočtům na solární emery potřebuji data uvedená v Joulech, využila jsem příslušného vztahu mezi těmito dvěma jednotkami (tj. 1 TOE = 41,87 GJ [27]). Pro každý energetický primární zdroj jsem takto získala množství energie v Joulech. Převod na solární jednotky využívá transformity, které jsou v jednotkách seJ/J. Vynásobením příslušných transformity a energetických hodnot v J/rok získám roční solární emery pro každý zdroj (uváděno v seJ/rok). Pro zvolení správných transformity je důležité znát význam hodnot u jednotlivých primárních energetických zdrojů vstupujících do bilance. K energetickým tabulkám databáze EUROSTAT jsou dostupné popisy jednotlivých položek včetně charakteru udávané energie všech energetických zdrojů. V následujícím přehledu jsou popsány charakteristiky energetických zdrojů, tak jak jsou definované pro statistiky databáze EUROSTAT.[27]

3.1.3.1. Pevná paliva

Mezi pevná paliva patří všechny druhy uhlí (antracit, koksovateľné uhlí, hnědé a černé uhlí a koks), uhelné brikety, plynárenský koks, uhelný dehet, neobnovitelný odpad, rašelina a břidlice. U pevných paliv se výpočet provádí na základě výhřevnosti a množství jednotlivých zdrojů. V mých výpočtech jsem do položky pevná paliva zahrnula všechny druhy uhlí a neobnovitelný odpad. Dále je tato skupina někdy označovaná jako pevná fosilní paliva. Rašelinu počítám zvlášť z důvodu jiné hodnoty transformity než u zdrojů zahrnutých v položce uhlí, pro které je stanovena jednotná hodnota transformity. Pro uhlí a neobnovitelný odpad je transformity 67 000 seJ/J [15] a pro rašelinu 32 000 seJ/J [26].

3.1.3.2. Ropa a ropné produkty

Položky v této skupině jsem rozdělila na ropu, aditiva a pohonné hmoty. Transformity pro rafinované pohonné hmoty jako je benzín nebo motorová nafta činí 111 000 seJ/J [15] a transformity pro ropu je 91 000 seJ/J [26]. Pro aditiva jako je methanol a ethanol bylo určeno transformity v rozmezí 186 000 až 315 000 seJ/J [14]. U aditiv jsem zvolila průměrnou hodnotu 250 500 seJ/J. Mezi pohonné hmoty zařazuji rafinovaná paliva jako je například benzín, nafta, topný olej a další. U primární produkce zdrojů zahrnujeme do této skupiny pouze ropu a aditiva.

3.1.3.3. Zemní plyn

Zde je zastoupen zemní plyn, jehož transformity je 80 400 seJ/J [15].

3.1.3.4. Obnovitelné zdroje

V energetické bilanci se u obnovitelných zdrojů jako je voda, vítr a slunce uvádí hodnota vyrobené elektrické energie v Joulech naměřená na svorkách jednotlivých elektráren. Jelikož transformity vyrobené elektřiny je řádově vyšší, než transformity vstupujících zdrojů nebo konvenčních zdrojů, předpokládám, že výsledná náročnost výroby jednotky energie v přepočtu

na emery jednotky se tak bude zvyšovat se zvětšujícím se poměrem obnovitelných zdrojů v energetickém mixu jednotlivých zemí. Obdobně je tomu u jaderné energie, kdy se udává hodnota vzniklého tepla pro výrobu elektrické energie. Z toho důvodu se nabízí druhá varianta výpočtu, kdy využijí transformity pro potenciální energii větru, geopotenciální energii vody, sluneční záření a pro uran. K tomu bude potřeba přepočítání vstupních údajů z energetické bilance za využití účinnosti výroby jednotlivých elektráren. Detailní popis přepočtů a hodnot transformity je uveden u výčtu těchto zdrojů dále.

3.1.3.4.1. Vodní energie

U vodních zdrojů se do spotřeby nebo produkce energie započítává množství vyrobené elektrické energie naměřené na svorkách generátoru. Nezapočítává se tedy potenciální a kinetická energie vody, která byla potřeba na výrobu této elektrické energie. Potenciální a kinetická energie vody má transformity nižší, jelikož se jedná o formu méně ušlechtilé energie, než je tomu u elektrické energie stejně jako u předešlých dvou případů. U vodních elektráren je transformity pro vyrobenou elektrickou energii cca 112 000 seJ/J. [28] Transformity geopotenciální energie vody je 11 000 seJ/J [24].

Turbíny vodních elektráren přeměňují geopotenciální energii vody (tj. potenciální a kinetická energie) na mechanickou energii, která se pak v generátoru transformuje na elektrickou energii. Účinnost vodních turbín je cca 0,8 až 0,96 a účinnost hydrogenerátoru je kolem 0,95 až 0,98. [29] Účinnost μ_{voda} je definovaná jako podíl vyrobené elektrické energie a potřebné geopotenciální energie vody a spočítá se jako součin průměrných hodnot účinnosti turbíny a generátoru.

$$\mu_{\text{voda}} = \frac{0,8 + 0,96}{2} \times \frac{0,95 + 0,98}{2} \cong 0,89$$

Pokud hodnotu vyrobené elektrické energie udávanou v energetických statistikách vydělím účinností μ_{voda} , získám alespoň přibližnou hodnotu potřebné geopotenciální energie vody potřebné na výrobu elektrické energie naměřené na svorkách generátoru.

3.1.3.4.2. Větrná energie

Pod položkou větrná energie se do spotřeby nebo produkce energie započítává množství vyrobené elektrické energie naměřené na svorkách generátoru. Transformity vyrobené elektrické energie větrných elektráren se pohybuje okolo 110 000 seJ/J. [28] Pro výrobu elektrické energie ve větrných elektrárnách je využita potenciální energie větru, která je přeměněna na mechanickou energii a následně na elektrickou energii pomocí generátoru. Účinnost využití větrné energie je maximálně 59 %. Tato hodnota je daná takzvaným Betzovým parametrem a reálné větrné elektrárny dosahují účinnosti cca 75 až 85 % tohoto parametru. [30] Tato účinnost μ_{vitr} vyjadřuje poměr mezi vyrobenou elektrickou energií a potřebnou kinetickou energií na její výrobu. Její

hodnotu získám vynásobením Betzovo parametru a průměrné hodnoty 75 až 85 % reálného využití tohoto parametru.

$$\mu_{vitr} = 0,59 \times \frac{0,75 + 0,85}{2} \cong 0,47$$

Pokud hodnotu vyrobené elektrické energie udávanou v energetických statistikách vydělím účinností μ_{vitr} , získám přibližnou hodnotu potenciální energie větru potřebnou na výrobu jednotky elektrické energie naměřené na svorkách generátoru.

Transformity pro kinetickou energii větru je 1 580 seJ/J. [24]

3.1.3.4.3. Energie z fotovoltaických elektráren

U fotovoltaických elektráren se do hrubé spotřeby energie započítává množství vyrobené elektrické energie. Emery transformity slunečního záření je 1 seJ/J. Elektřina vyrobená na svorkách fotovoltaické elektrárny má už daleko vyšší transformity, konkrétně přibližně 82 900 seJ/J [28]. Účinnost fotovoltaické elektrárny μ_{fve} vyjádřená jako poměr mezi vyrobenou elektřinou a dodaným slunečním zářením je přibližně 11 %. [31] Vydělením hodnoty vyrobené elektrické energie udávané v energetických statistikách účinností μ_{fve} , získám přibližnou hodnotu potřebného slunečního záření potřebné na výrobu jednotky elektrické energie.

3.1.3.4.4. Energie ze solárních kolektorů

Energie ze solárních kolektorů je ve statistikách uváděna jako teplo získané ze solárních panelů. Teplo získané ze solárních panelů má transformity 15 800 seJ/J. [28] Účinnost přeměny slunečního záření na tepelnou energii se pohybuje mezi 55 a 70 %. [32]. Množství potřebného slunečního záření na výrobu tepla získám vydělením získaného tepla ze solárních kolektorů udávaného v energetických statistikách průměrnou hodnotou μ_{kol} .

$$\mu_{kol} = \frac{0,55 + 0,70}{2} \cong 0,63$$

Transformity slunečního záření je 1 seJ/J z definice.

3.1.3.4.5. Pevná biopaliva

Mezi pevná biopaliva patří zejména dřevo, jehož transformity je 36 000 seJ/J. [14] Jedná se o hodnotu založenou na celkovém globálním emery $9,44 \times 10^{24}$ seJ/rok. Korekční konstanta pro přepočet transformity na globální emery $15,83 \times 10^{24}$ seJ/J je 1,68 [5]. Transformity pro pevná biopaliva je po vynásobení korekčním koeficientem 60 480 seJ/J. Do této položky zahrnuji veškerou biomasu a obnovitelný odpad.

3.1.3.4.6. Bioplyn

Transformity bioplynu je 111 000 seJ/J. [28]

3.1.3.4.7. Bionafta

Transformity bionafty je 231 000 seJ/J. [15]

3.1.3.4.8. Geotermální energie

Pod položkou geotermální energie se do hrubé spotřeby či produkce započítává množství geotermální energie. Ta se využívá k výrobě elektřiny v geotermálních elektrárnách nebo jako teplo pro vytápění nebo ohřev teplé užitkové vody. Transformity geotermálního tepla se pohybuje okolo 12 000 seJ/J. [5]

3.1.3.5. Jaderná energie

Pro výpočet hrubé spotřeby energie se v energetických statistikách využívá hodnota vzniklého jaderného tepla pro výrobu elektrické energie. Transformity pro jaderné teplo je 90 600 seJ/J. [26]

Transformity pro uran je $1,6 \times 10^{11}$ seJ/g. [28] V energetických statistikách se udává množství tepelné energie získané štěpením izotopů uranu (U235 nebo U233). Uran se často obohacuje a celkové procento obsahu štěpitelných izotopů (U235 nebo U233) v uranu je tak průměrně 3,5 %. Z použitého paliva se však využije pouze 2,5 %, jelikož palivo se nenechá plně vyhořet (pouze na hodnotu kolem 1 % množství izotopů U235 nebo U233 v palivu). Rozštěpením jednoho kilogramu štěpitelného izotopu získáme $7,78 \times 10^{13}$ J. [34] Úkolem je tedy zjistit množství potřebného jaderného paliva n (kg/rok), které jsem vypočetla na základě následujícího vzorce.

$$n = \frac{E \text{ [J/rok]}}{7,78 \times 10^{13} \text{ [J/kg]} \times 0,025} \text{ [kg/rok]}$$

Výhřevnost uranu je $3,9 \times 10^6$ MJ/kg. [36]

3.1.3.6. Elektrická energie

Elektrická energie se zahrnuje pouze do hrubé domácí spotřeby zdrojů jako saldo dovozu a vývozu. Průměrná hodnota transformity pro elektrickou energii je průměrně 290 000 seJ/J. [33]

3.2. Postup výpočtu

Výpočet je rozdělen na variantu A s uvažováním hodnot vyrobené elektrické energie a jaderného tepla a variantu B s přepočtem na využitou geopotenciální energii vody, slunečního záření, potenciální energie větru a množství použitého uranu. Obě varianty budou obsahovat další dvě varianty pro primární produkci energetických zdrojů a hrubou domácí spotřebu energetických zdrojů (viz kapitolu 3.1.). Celkem se tedy bude jednat o čtyři varianty výpočtu.

V souboru na přiloženém CD, které tvoří přílohu 1 této práce, jsou umístěny veškeré výpočty v souborech Microsoft Excel. Bližší specifikaci jednotlivých souborů jsem uvedla dále u každé varianty zvlášť.

Hlavním úkolem v této části diplomové práce je porovnání výroby jednotky energie v přepočtu na emergy jednotky. Pro výpočet jsem využila spotřebu a produkci zdrojů ve třech vybraných zemích EU, které bylo nutné přepočítat na Jouly za rok. Dále jsem pro jednotlivé zdroje zjistila hodnoty transformity v jednotkách seJ/J. Vynásobením těchto dvou údajů jsem získala hodnoty spotřebovaného solárního emergy za rok v jednotkách seJ/rok. Tyto hodnoty roční spotřeby nebo produkce energie (v J/rok) a emergy (v SeJ/rok) jsem vyjádřila v procentech a zobrazila ve sloupcových a koláčových grafech procentuální zastoupení jednotlivých energetických zdrojů. Jelikož jsem vybrala tři země v letech 2005, 2010, 2013 a 2014, výsledné výpočetní tabulky a grafy pro všechny tyto země a roky jsou rozsáhlé. Z toho důvodu jsou výpočetové tabulky i grafy produkce a spotřeby uvedeny a popsány pouze pro ČR v roce 2014 u variant A a B. Stejně grafy pro ostatní roky v ČR a pro všechny roky v Německu a Itálii se nacházejí na přiloženém CD (složka 3_Výpočty). U všech variant zde umístím nejprve dva grafy vyjadřující měnící se strukturu využívání energetických zdrojů v čase. Oba budou vyjadřovat složení spotřebovaných nebo produkovaných energetických zdrojů, jeden však bude vycházet ze zdrojových energetických bilancí (v PJ/rok) a druhý z přepočtených emergy hodnot (PseJ/rok). Dále bude u každé země uveden sloupcový graf vyjadřující měnící se emergy náročnost výroby jednotky energie (v seJ/J) v uvedených letech. Pro porovnání výroby jednotky energie v přepočtu na emergy jednotky je u každé varianty uveden výsledný graf.

3.3. VARIANTA A

Hodnoty primární produkce zdrojů a hrubé domácí spotřeby jsou u varianty A převzaté ze statistické databáze EUROSTAT a přepočtené na Jouly bez dalších úprav. Hodnoty energetické spotřeby některých obnovitelných zdrojů (blíže viz kapitolu 3.1.3.4.) se rovnají spotřebě elektrické energie měřené na svorkách generátorů. U jaderné energie u této varianty počítám s hodnotou tepla využitého dále pro výrobu elektrické energie. (blíže viz kapitolu 3.1.3.5.).

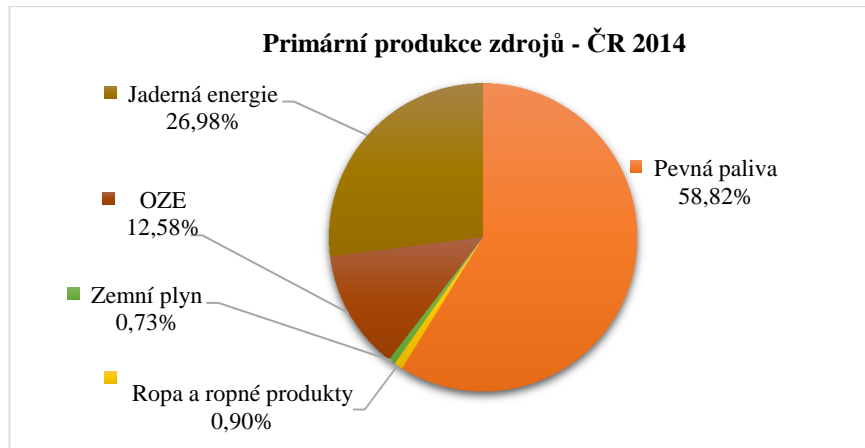
3.3.1. Primární produkce zdrojů

V tabulce 6 se nachází výpočetní tabulka pro primární produkci zdrojů v ČR v roce 2014.

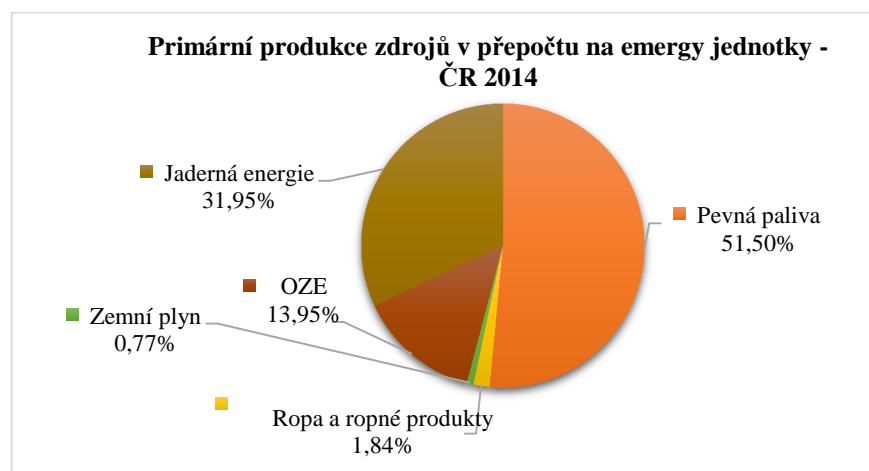
Primární produkce zdrojů - ČR 2014							
	Zdroj	Produkce (kTOE/rok)	Produkce (PJ/rok)	Solární transformity (seJ/J)	Solární emery (PseJ/rok)	Primární produkce zdrojů (%)	Solární emery (%)
Pevná paliva	Uhlí	16 847	705,38	67 000	47 260 720,63	57,96%	50,75%
	Rašelina	0	0,00	32 000	0,00	0,00%	0,00%
	Odpad neobnovitelný	250	10,47	67 000	701 322,50	0,86%	0,75%
	Pevná paliva	17 097	715,85		47 962 043,13	58,82%	51,50%
Ropa a ropné produkty	Ropa	153	6,41	91 000	582 956,01	0,53%	0,63%
	Aditiva	108	4,52	250 500	1 132 750,98	0,37%	1,22%
	Ropa a ropné produkty	261	10,93		1 715 706,99	0,90%	1,84%
Zemní plyn	Zemní plyn	212	8,88	80 400	713 665,78	0,73%	0,77%
	Zemní plyn	212	8,88		713 665,78	0,73%	0,77%
OZE	Vodní energie	164	6,87	112 000	769 068,16	0,56%	0,83%
	Větrná energie	41	1,72	110 000	188 833,70	0,14%	0,20%
	FVE	183	7,66	82 900	635 197,21	0,63%	0,68%
	Solární teplo	16	0,67	15 800	10 584,74	0,06%	0,01%
	Pevná biopaliva	2 383	99,78	60 480	6 034 465,18	8,20%	6,48%
	Bioplyn	608	25,46	111 000	2 825 722,56	2,09%	3,03%
	Biodiesel	261	10,93	231 000	2 524 384,17	0,90%	2,71%
	Geotermální energie	0	0,00	12 000	0,00	0,00%	0,00%
OZE	3 656	153,08		12 988 255,72	12,58%	13,95%	
Jaderná energie	Jaderná energie	7 843	328,39	90 600	29 751 808,75	26,98%	31,95%
	Jaderná energie	7 843	328,39		29 751 808,75	26,98%	31,95%
Celkem		29 069	1 217		93 131 480		

Tabulka 6 Výpočetní tabulka primární produkce zdrojů ČR 2014 (A)

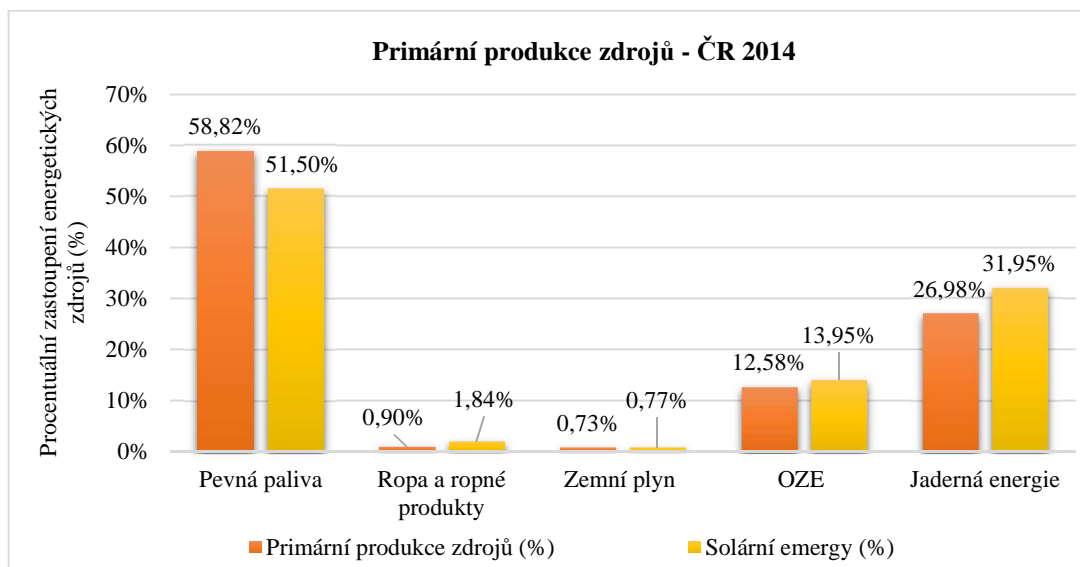
V prvním sloupci se nachází označení skupiny a ve druhém název jednotlivých zdrojů. Ve třetím jsou uvedena data primární produkce zdrojů získaná z energetických statistik databáze EUROSTAT. Čtvrtý sloupec jsem získala ze třetího jednotkovým přepočtem. Solární transformity jednotlivých zdrojů je uvedeno v pátém sloupci. Podrobný popis těchto hodnot a jednotkový přepočet se nachází v kapitole 3.1.3. Vynásobením hodnot ve čtvrtém a pátém sloupci získám solární emery za rok uvedené v šestém sloupci. V sedmém sloupci se nachází procentuální zastoupení energetických zdrojů v Joulech získaný na základě údajů ve čtvrtém sloupci. V osmém sloupci je pak uvedeno procentuální zastoupení energetických zdrojů v seJ/J získaný na základě údajů v šestém sloupci. Tyto procentuální hodnoty jsou zaneseny jednotlivě v koláčových grafech na obrázcích 20 a 21 a společně ve sloupcovém grafu na obrázku 22.



Obrázek 20 Graf primární produkce energetických zdrojů – ČR 2014 (A)



Obrázek 21 Primární produkce zdrojů v přepočtu na emery jednotky - ČR 2014 (A)



Obrázek 22 Graf porovnání primární produkce energie a emery zdrojů – ČR 2014

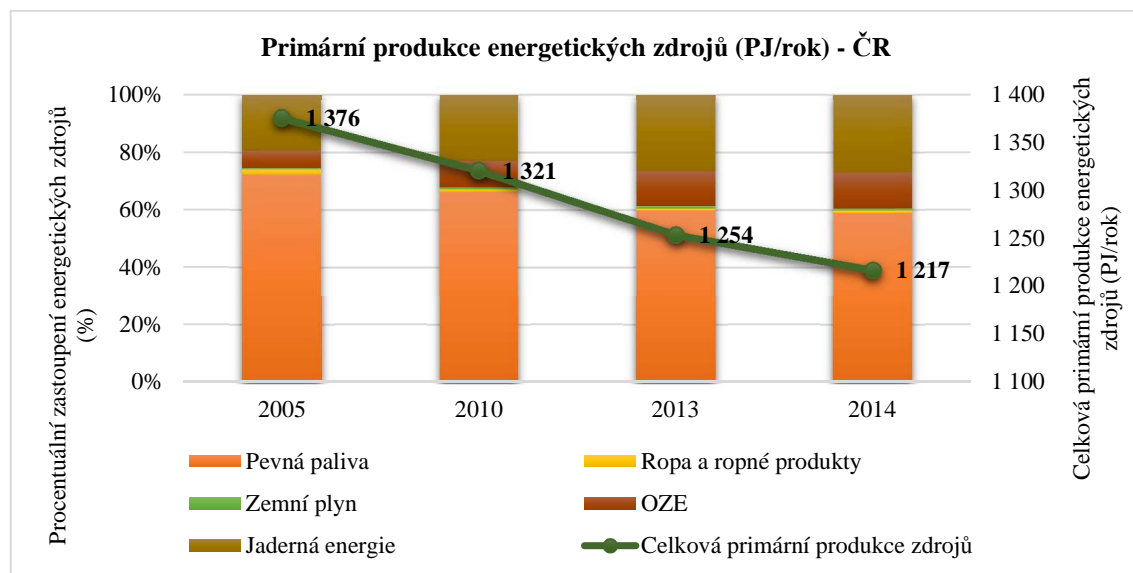
V grafu na obrázku 22 se nachází procentuálního zastoupení jednotlivých primárních zdrojů na celkové produkci, a to jak pro hodnoty získané z energetické bilance v Joulech (primární produkce zdrojů), tak pro přepočtené solární Jouly (solární emery). Pro ostatní roky jsou tyto podrobné grafy umístěné v elektronické verzi na přiloženém CD (soubor 3_3_1_Primární produkce zdrojů A).

3.3.1.1. ČR – primární produkce zdrojů varianta A

Složení primární produkce energetických zdrojů (v %) a celková primární produkce energetických zdrojů (v PJ/rok) v ČR v jednotlivých letech se nachází v grafu na obrázku 23 a v tabulce 7. Stejně tak je tomu u grafu na obrázku 24 a u tabulky 8, kde je primární produkce energetických zdrojů uvedena v emery jednotkách (v PseJ/rok).

	Primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok) - ČR				Primární produkce energetických zdrojů (%) - ČR			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	994	876	749	716	72,25%	66,34%	59,73%	58,82%
Ropa a ropné produkty	25	11	11	11	1,80%	0,85%	0,86%	0,90%
Zemní plyn	6	8	9	9	0,47%	0,64%	0,69%	0,73%
OZE	82	121	152	153	5,99%	9,19%	12,16%	12,58%
Jaderná energie	268	303	333	328	19,49%	22,97%	26,56%	26,98%
Celkem	1 376	1 321	1 254	1 217	100%	100%	100%	100%

Tabulka 7 Tabulka primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok)/(%) – ČR (A)



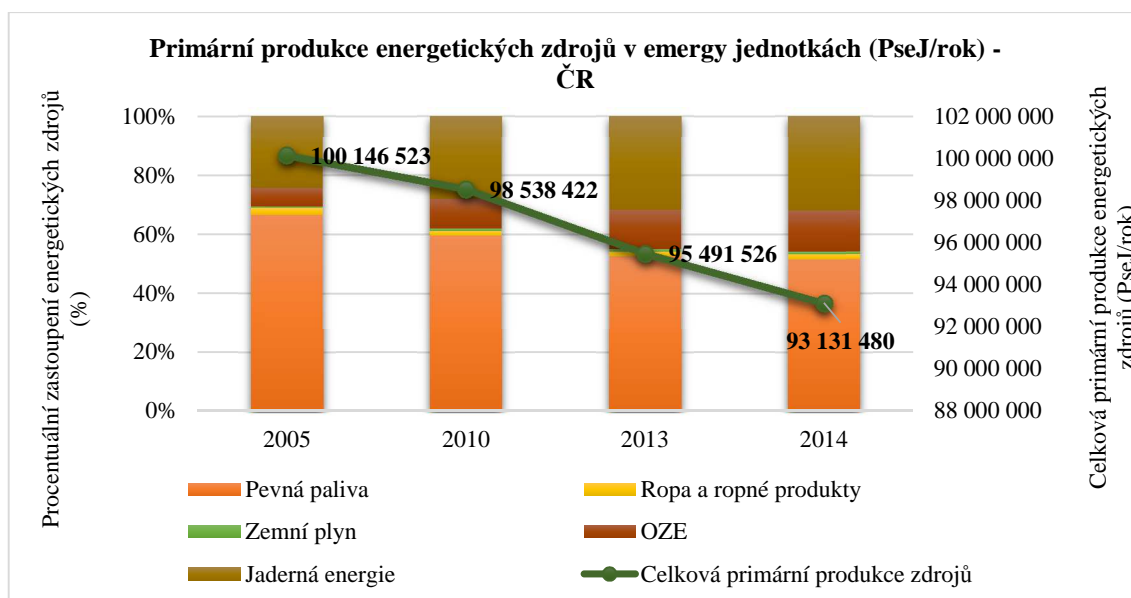
Obrázek 23 Složení primární produkce energetických zdrojů (%) a celková primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok) – ČR (A)

Jak je patrné z grafu na obrázku 23, případně z tabulky 7, primární produkce energetických zdrojů postupně klesala a s ní i podíl pevných fosilních paliv a ropy na celkové primární produkci energetických zdrojů. Naproti tomu se postupně zvyšoval podíl jaderné energie, zemního plynu a

OZE. Zastoupení zemního plynu či ropy a ropných produktů na primární produkci zdrojů se pohybuje v hodnotách pod 1 %.

	Primární produkce energetických zdrojů v emery jednotkách (PseJ/rok) - ČR				Primární produkce energetických zdrojů (%) - ČR			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	66 603 195	58 714 720	50 186 638	47 962 043	66,51%	59,59%	52,56%	51,50%
Ropa a ropné produkty	2 378 698	1 632 658	1 647 040	1 715 707	2,38%	1,66%	1,72%	1,84%
Zemní plyn	518 418	680 002	693 468	713 666	0,52%	0,69%	0,73%	0,77%
OZE	6 349 344	10 016 320	12 783 915	12 988 256	6,34%	10,16%	13,39%	13,95%
Jaderná energie	24 296 868	27 494 723	30 180 465	29 751 809	24,26%	27,90%	31,61%	31,95%
Celkem	100 146 523	98 538 422	95 491 526	93 131 480	100%	100%	100%	100%

Tabulka 8 Tabulka primární produkce energetických zdrojů (PseJ/rok)/(%) – ČR (A)



Obrázek 24 Složení primární produkce energetických zdrojů (%) a celková primární produkce energetických zdrojů (PseJ/rok) – ČR (A)

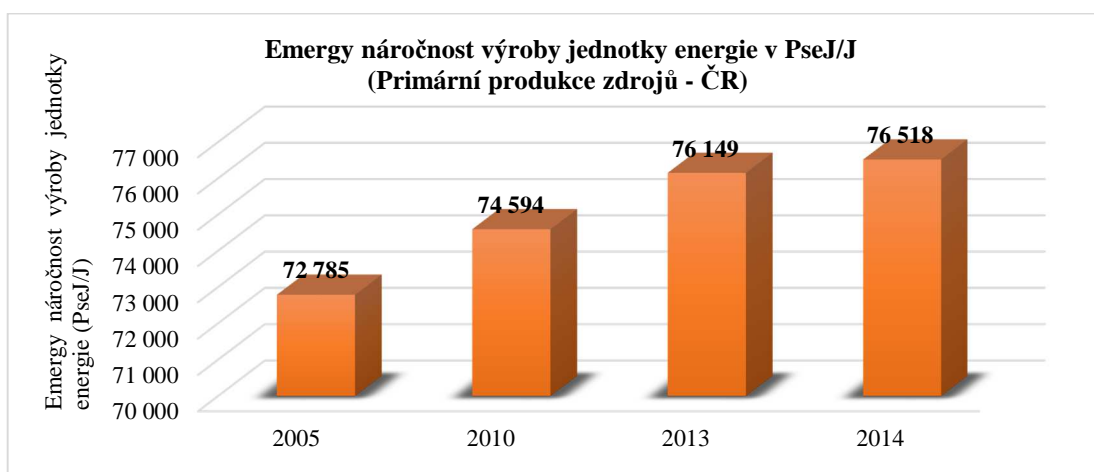
U primární produkce energetických zdrojů přepočtených na emery jednotky je trend klesající primární produkce solárních Joulů stejný včetně měnící se struktury složení zdrojů. Procentuální hodnoty zastoupení se řádově nezměnily, v emery jednotkách je o cca 1 % nižší zastoupení fosilních paliv a ropy a vyšší naopak jaderná energie a OZE.

Poslední krokem je spočítat emery náročnost využití jednoho Joulu primární produkce energie. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 9 a získala jsem je jako podíl celkového emery (v PseJ/rok) a celkové energie primární produkce zdrojů (v PJ/rok) pro každý rok. Jedná se o hodnoty uvedené v posledním řádku tabulek 7 a 8.

Výroba jednotky energie v PseJ/J (Primární produkce zdrojů - ČR)				
Rok:	2005	2010	2013	2014
Česká republika	72 785	74 594	76 149	76 518

Tabulka 9 Emery náročnost výroby jednotky energie v PseJ/J – ČR (A)

Údaje z tabulky 9 jsou přehledně zaneseny do grafu na obrázku 25. Z grafu je patrné, že emery náročnost výroby jednotky energie se postupně zvyšuje. Bližší analýzu jsem umístila až do kapitoly 3.3.1.4., kde se nachází výsledné hodnoty emery náročnosti primární produkce energetických zdrojů vybraných zemí.



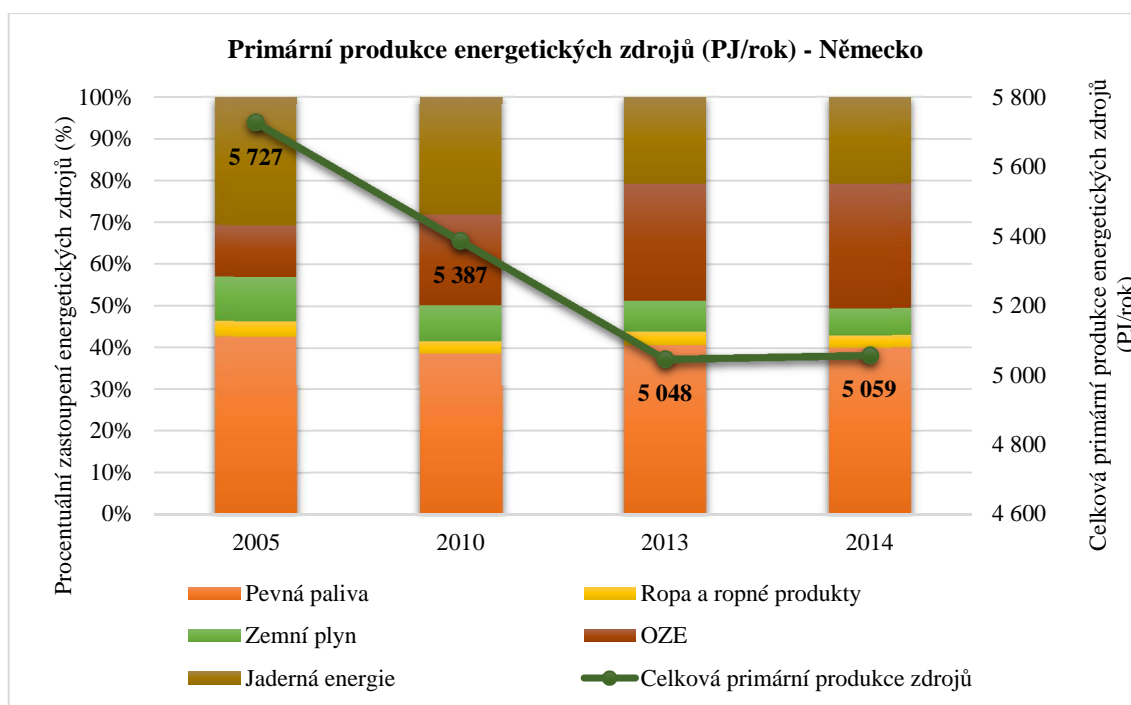
Obrázek 25 Emery náročnost výroby jednotky energie – ČR (A)

3.3.1.2. Německo – primární produkce zdrojů varianta A

Složení primární produkce energetických zdrojů (v %) a celková primární produkce energetických zdrojů (v PJ/rok) v Německu jednotlivých letech se nachází v grafu na obrázku 26 a v tabulce 10. Stejně tak je tomu u grafu na obrázku 27 a u tabulky 11, kde je primární produkce energetických zdrojů uvedena v emery jednotkách (v PseJ/rok).

	Primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok) - Německo				Primární produkce energetických zdrojů (%) - Německo			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	2 442	2 086	2 058	2 028	42,64%	38,71%	40,78%	40,08%
Ropa a ropné produkty	218	158	158	146	3,81%	2,93%	3,12%	2,89%
Zemní plyn	600	465	371	328	10,48%	8,64%	7,35%	6,48%
OZE	706	1 160	1 410	1 508	12,32%	21,54%	27,93%	29,81%
Jaderná energie	1 761	1 518	1 051	1 049	30,75%	28,18%	20,82%	20,74%
Celkem	5 727	5 387	5 048	5 059	100%	100%	100%	100%

Tabulka 10 Tabulka primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok)/(%) – Německo (A)

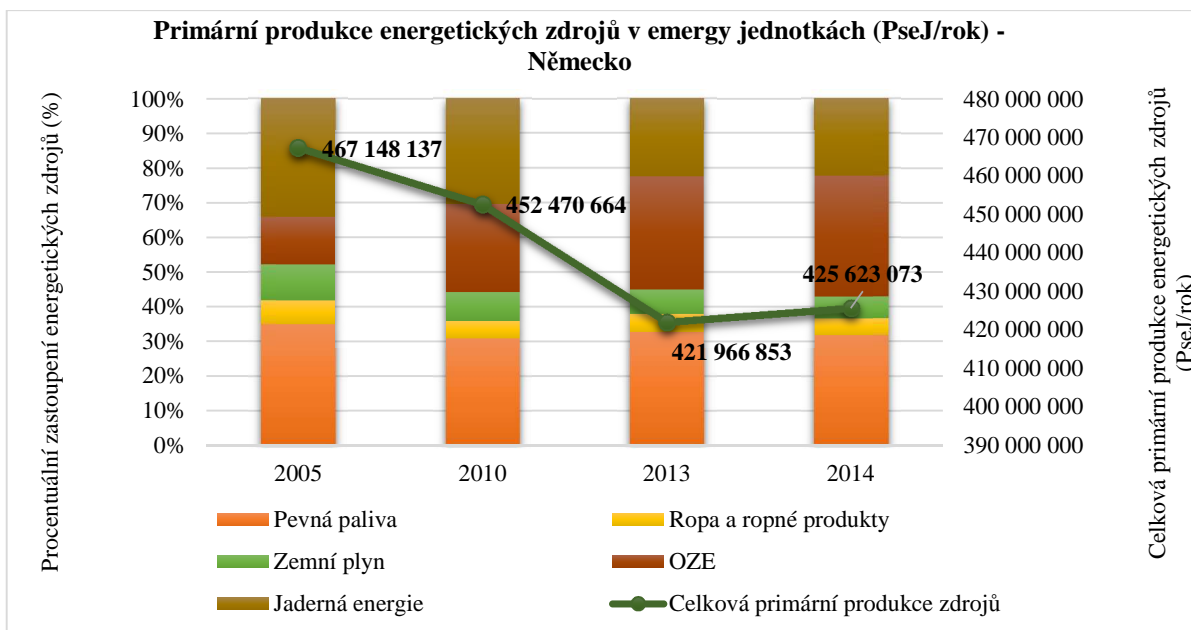


Obrázek 26 Složení primární produkce energetických zdrojů (%) a celková primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok) – Německo (A)

Jak je patrné z grafu na obrázku 26, případně z tabulky 10, primární produkce energetických zdrojů postupně klesala až do roku 2013. V roce 2014 se primární produkce zdrojů mírně zvýšila. Klesal také podíl zemního plynu a jaderné energie na celkové primární produkci energetických zdrojů. Naproti tomu se zvýšil podíl OZE, a to více jak dvojnásobně. Primární produkce pevných fosilních paliv a ropy mírně kolísala. Díky snižujícímu se podílu jaderné energie není procentuální snížení zastoupení pevných fosilních paliv tak výrazné jako v ČR.

	Primární produkce energetických zdrojů v emery jednotkách (PseJ/rok) - Německo				Primární produkce energetických zdrojů (%) - Německo			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	163 591 659	139 737 105	137 913 667	135 874 221	35,02%	30,88%	32,68%	31,92%
Ropa a ropné produkty	31 658 116	23 154 822	22 040 577	20 505 225	6,78%	5,12%	5,22%	4,82%
Zemní plyn	48 253 232	37 410 225	29 846 041	26 358 505	10,33%	8,27%	7,07%	6,19%
OZE	64 090 007	114 630 410	136 966 849	147 840 933	13,72%	25,33%	32,46%	34,74%
Jaderná energie	159 555 123	137 538 101	95 199 719	95 044 188	34,16%	30,40%	22,56%	22,33%
Celkem	467 148 137	452 470 664	421 966 853	425 623 073	100%	100%	100%	100%

Tabulka 11 Tabulka primární produkce energetických zdrojů (PseJ/rok)/(%) – Německo (A)



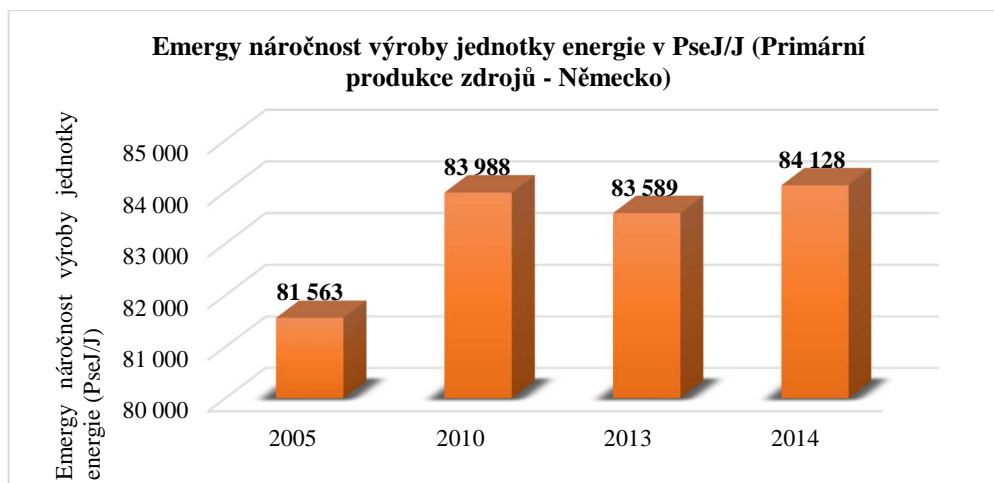
Obrázek 27 Složení primární produkce energetických zdrojů (%) a celková primární produkce energetických zdrojů (PseJ/rok) – Německo (A)

U primární produkce energetických zdrojů přepočtených na emery jednotky je trend klesající primární produkce solárních Joulů stejný včetně měnící se struktury složení zdrojů. Procentuální hodnoty zastoupení se řádově nezměnily, v emery jednotkách je o cca 8 % nižší zastoupení fosilních paliv a o cca 2 % nižší zastoupení ropy a vyšší naopak jaderná energie a OZE.

Hodnoty emery náročnosti využití jednoho Joulu primární produkce energie jsou uvedeny v tabulce 12 a získala jsem je jako podíl celkového emery (v PseJ/rok) a celkové energie primární produkce zdrojů pro každý rok (v PJ/rok). Jedná se o hodnoty uvedené v posledním řádku tabulek 10 a 11.

Výroba jednotky energie v PseJ/J (Primární produkce zdrojů - Německo)				
Rok:	2005	2010	2013	2014
Německo	81 563	83 988	83 589	84 128

Tabulka 12 Emery náročnost výroby jednotky energie v PseJ/J – Německo (A)



Obrázek 28 Emergy náročnost výroby jednotky energie – Německo (A)

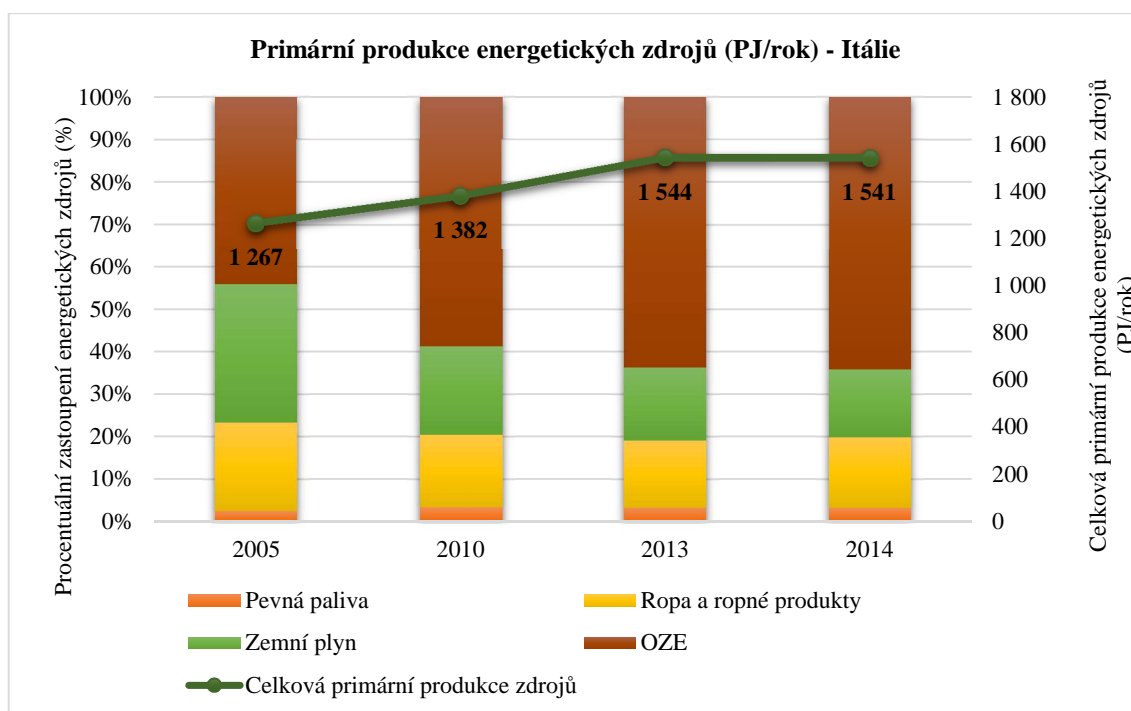
Údaje z tabulky 12 jsou přehledně zaneseny do grafu na obrázku 28. Z grafu je patrné, že emergy náročnost výroby jednotky energie se zvyšovala, v roce 2013 mírně klesla. Bližší analýzu jsem umístila až do kapitoly 3.3.1.4., kde se nachází výsledné hodnoty emergy náročnosti primární produkce energetických zdrojů vybraných zemí.

3.3.1.3. Itálie – primární produkce zdrojů varianta A

Složení primární produkce energetických zdrojů (v %) a celková primární produkce energetických zdrojů (v PJ/rok) v Itálii v jednotlivých letech se nachází v grafu na obrázku 29 a v tabulce 13. Stejně tak je tomu u grafu na obrázku 30 a u tabulky 14, kde je primární produkce energetických zdrojů uvedena v emergy jednotkách (v PseJ/rok).

	Primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok) - Itálie				Primární produkce energetických zdrojů (%) - Itálie			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	31	46	50	51	2,42%	3,35%	3,21%	3,30%
Ropa a ropné produkty	264	235	245	255	20,84%	17,04%	15,86%	16,57%
Zemní plyn	414	288	265	245	32,68%	20,86%	17,18%	15,91%
OZE	558	812	984	990	44,06%	58,76%	63,75%	64,23%
Jaderná energie	0	0	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Celkem	1 267	1 382	1 544	1 541	100%	100%	100%	100%

Tabulka 13 Tabulka primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok)/(%) – Itálie (A)

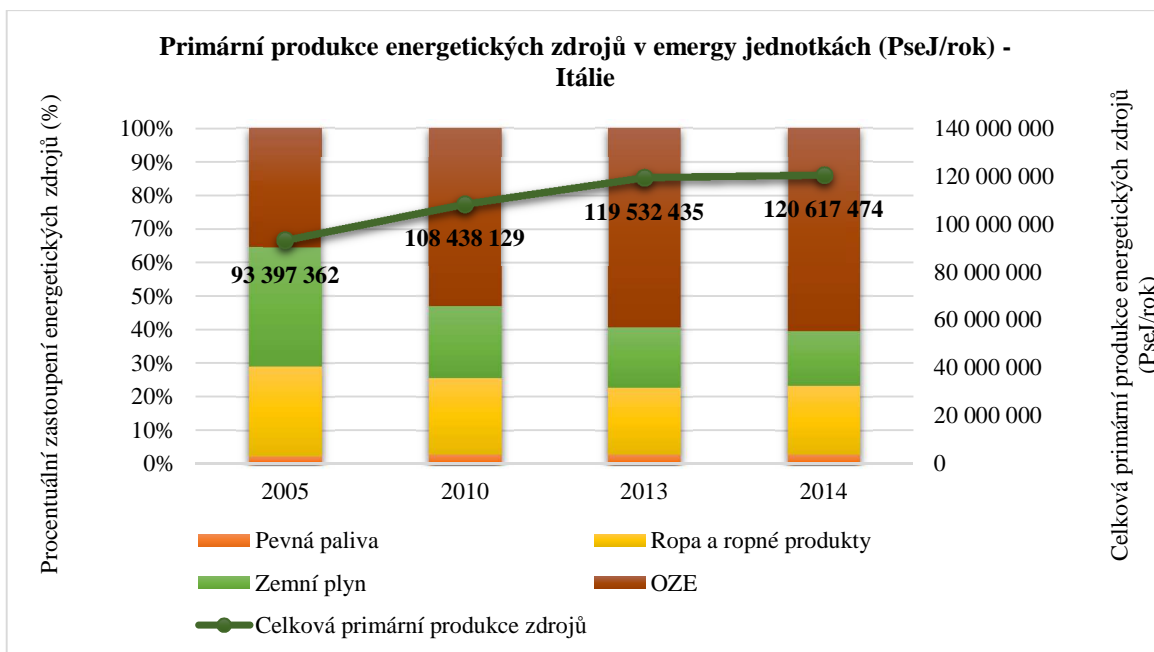


Obrázek 29 Složení primární produkce energetických zdrojů (%) a celková primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok) – Itálie (A)

Jak je patrné z grafu na obrázku 29, případně z tabulky 13, primární produkce energetických zdrojů se v Itálii mírně zvyšovala až do roku 2013. V roce 2014 nepatrně klesla. V Itálii mají na primární produkci zdrojů největší podíl obnovitelné zdroje. Tento podíl postupně stoupl. Jaderná energie se v energetickém mixu Itálie nenachází. Podíl pevných fosilních paliv na primární produkci zdrojů je zanedbatelný a v posledních dvou letech mírně stoupl. Podíl zemního plynu na celkové primární produkci energetických zdrojů téměř klesl na polovinu.

	Primární produkce energetických zdrojů v emeryjích jednotkách (PseJ/rok) - Itálie				Primární produkce energetických zdrojů (%) - Itálie			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	2 056 278	3 099 845	3 321 463	3 402 817	2,20%	2,86%	2,78%	2,82%
Ropa a ropné produkty	25 023 920	24 636 831	23 923 785	24 696 957	26,79%	22,72%	20,01%	20,48%
Zemní plyn	33 279 716	23 177 306	21 325 815	19 709 968	35,63%	21,37%	17,84%	16,34%
OZE	33 037 449	57 524 146	70 961 371	72 807 733	35,37%	53,05%	59,37%	60,36%
Jaderná energie	0	0	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Celkem	93 397 362	108 438 129	119 532 435	120 617 474	100%	100%	100%	100%

Tabulka 14 Tabulka primární produkce energetických zdrojů (PseJ/rok)/(%) – Itálie (A)

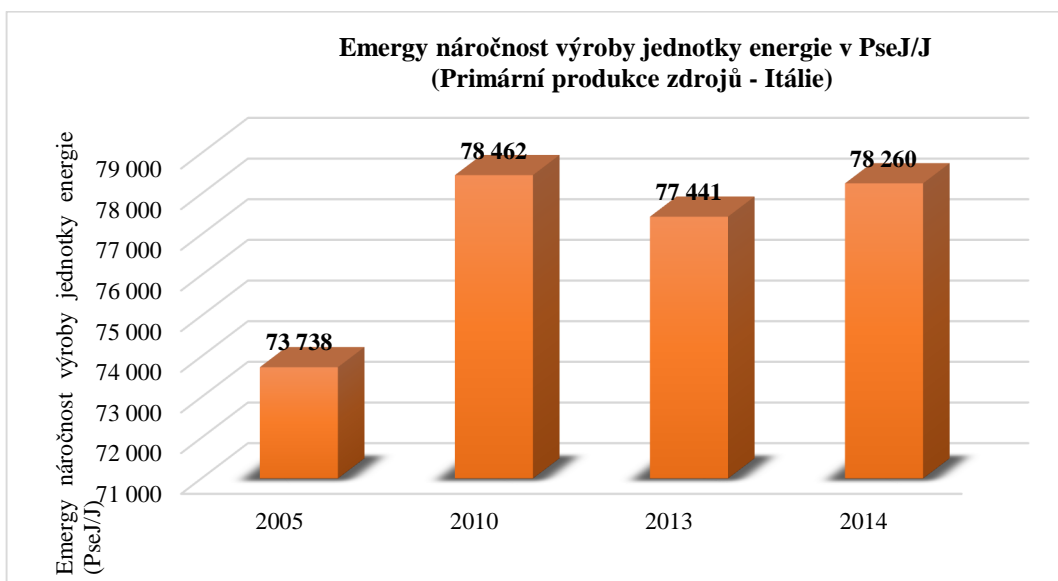


Obrázek 30 Složení primární produkce energetických zdrojů (%) a celková primární produkce energetických zdrojů (PseJ/rok) – Itálie (A)

Hodnoty emery náročnosti výroby jednoho Joulu z dat primární produkce energie jsou uvedeny v tabulce 15 a zanesené v grafu na obrázku 31.

Výroba jednotky energie v PseJ/J (Primární produkce zdrojů - Itálie)				
Rok:	2005	2010	2013	2014
Itálie	73 738	78 462	77 441	78 260

Tabulka 15 Emery náročnost výroby jednotky energie v PseJ/J – Itálie (A)



Obrázek 31 Emery náročnost výroby jednotky energie – Itálie (A)

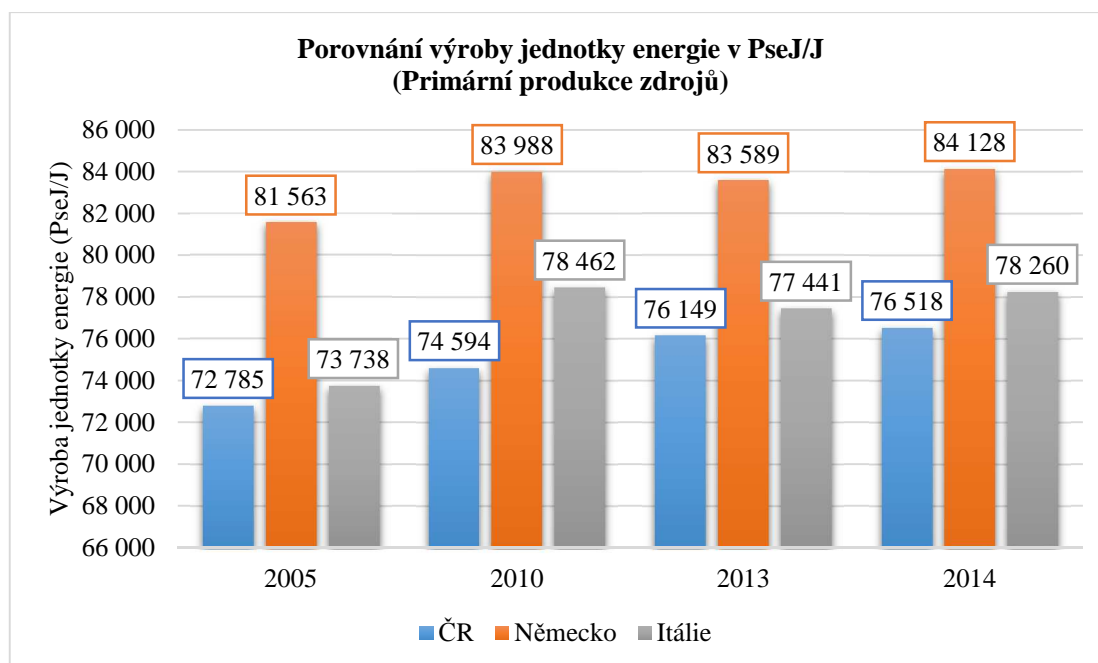
Z grafu na obrázku 31 je patrné, že emergy náročnost výroby jednotky energie se zvyšovala, v roce 2013 mírně klesla a v roce 2014 se mírně zvýšila. Bližší analýzu jsem umístila až do kapitoly 3.3.1.4., kde se nachází výsledné hodnoty emergy náročnosti všech zemí.

3.3.1.4. Porovnání výroby jednotky energie ve vybraných zemích

Pro porovnání emergy náročnosti výroby jednotky energie ve vybraných zemích primární produkce energetických zdrojů jsem vytvořila graf na obrázku 32 a tabulku 16.

(PseJ/J)	ČR	Německo	Itálie
2005	72 785	81 563	73 738
2010	74 594	83 988	78 462
2013	76 149	83 589	77 441
2014	76 518	84 128	78 260

Tabulka 16 Porovnání emergy náročnosti výroby jednotky energie - primární produkce(A)



Obrázek 32 Graf porovnání emergy náročnosti výroby jednotky energie ve vybraných zemích – primární produkce (A)

Z grafu na obrázku 32 vyplývá, že nejnižší emergy náročnost primární produkce energetických zdrojů je v ČR a nejvyšší v Německu. Jelikož konvenční zdroje jako fosilní paliva nebo zemní plyn mají nižší transformity než OZE a jaderná energie, emergy náročnost je v ČR nejnižší díky nejvyššímu procentuálnímu zastoupením těchto zdrojů v primární produkci energetických zdrojů. Důvodem je také zastoupení OZE a jaderné energie v energetických mixech jednotlivých zemí. U varianty A hodnota primární produkce energie u některých OZE představuje vyrobenou elektrickou energii a u jaderné energie vyrobené teplo. Elektřina a vyrobené jaderné teplo mají vysoké transformity v porovnání s většinou ostatních zdrojů. Emergy náročnost se tedy u této varianty zvětšuje v závislosti na zvyšujícím se podílu OZE a o něco méně jaderné energie

v energetických mixech. V těchto skupinách jsou však zahrnuty i OZE s nízkým transformitv jako jsou například pevná biopaliva. V Německu se zvyšovala hodnota emery náročnosti se zvyšujícím se podílem OZE, ale jelikož se mezi roky 2010 a 2013 snížila produkce jaderné energie, emery náročnost se mírně snížila. Větší nárůst OZE před poklesem jaderné energie v roce 2014 zajistil opětovný růst emery náročnosti.

Výsledná emery náročnost výroby energie při použití těchto dat vyjadřuje, kolik solárních Joulu je potřeba na výrobu jednotky energie získané prvotními energetickými zdroji v jednotlivých zemích. Jedná se o vyjádření efektivity využití vlastních zdrojů získaných na daných územích v přepočtu na emery jednotky.

3.3.2. Hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů

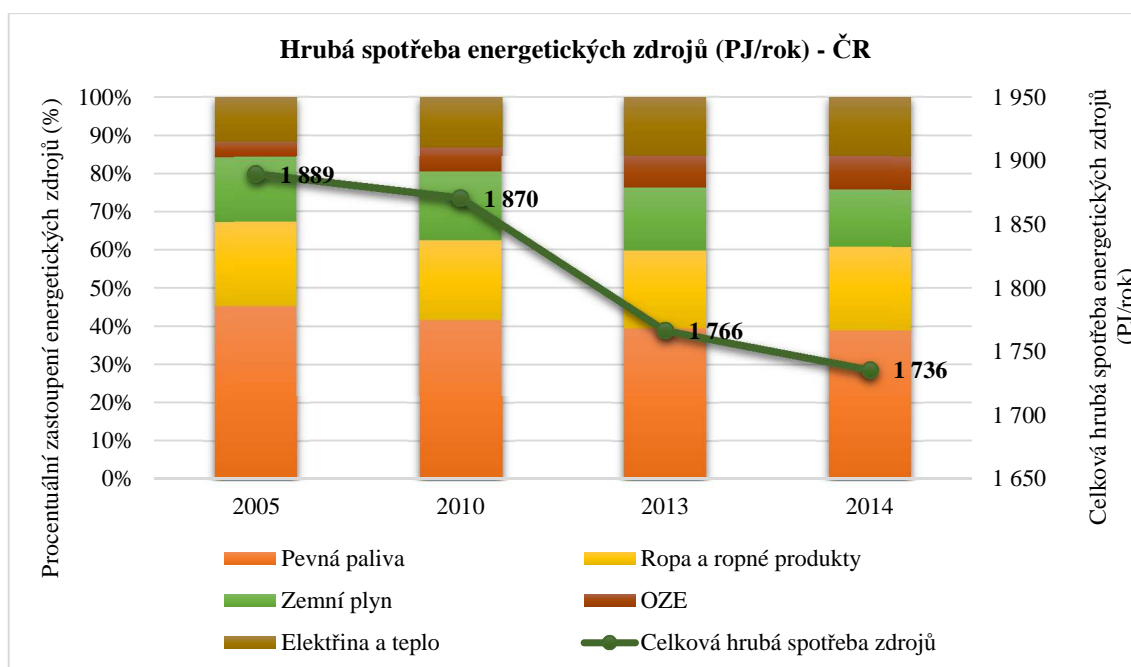
Hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů je obdobou spotřeby prvotních energetických zdrojů (PEZ). Získá se jako součet primární produkce (tuzemských) zdrojů, generovaných produktů, importu i změny stavu zásob zdrojů a odečtením exportu včetně salda elektřiny. Kompletní výpočtové tabulky a grafy se nacházejí v elektronické verzi na přiloženém CD (soubor 3_3_2_ Hrubá domácí spotřeba zdrojů A).

3.3.2.1. ČR – hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů varianta A

Složení hrubé spotřeby energetických zdrojů (v %) a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (v PJ/rok) v ČR v jednotlivých letech se nachází v grafu na obrázku 33 a v tabulce 17. Stejně tak je tomu u grafu na obrázku 34 a u tabulky 18, kde je hrubá spotřeba energetických zdrojů uvedena v emery jednotkách (v PseJ/rok).

	Hrubá spotřeba energetických zdrojů (PJ/rok) - ČR				Hrubá spotřeba energetických zdrojů (%) - ČR			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	855	777	695	675	45,26%	41,56%	39,34%	38,90%
Ropa a ropné produkty	414	389	359	380	21,94%	20,81%	20,32%	21,88%
Zemní plyn	323	338	291	259	17,07%	18,07%	16,46%	14,91%
OZE	75	116	150	152	3,95%	6,22%	8,47%	8,77%
Elektřina a teplo	223	250	272	270	11,78%	13,34%	15,41%	15,54%
Celkem	1 889	1 870	1 766	1 736	100%	100%	100%	100%

Tabulka 17 Tabulka hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů (PJ/rok)/(%) – ČR (A)

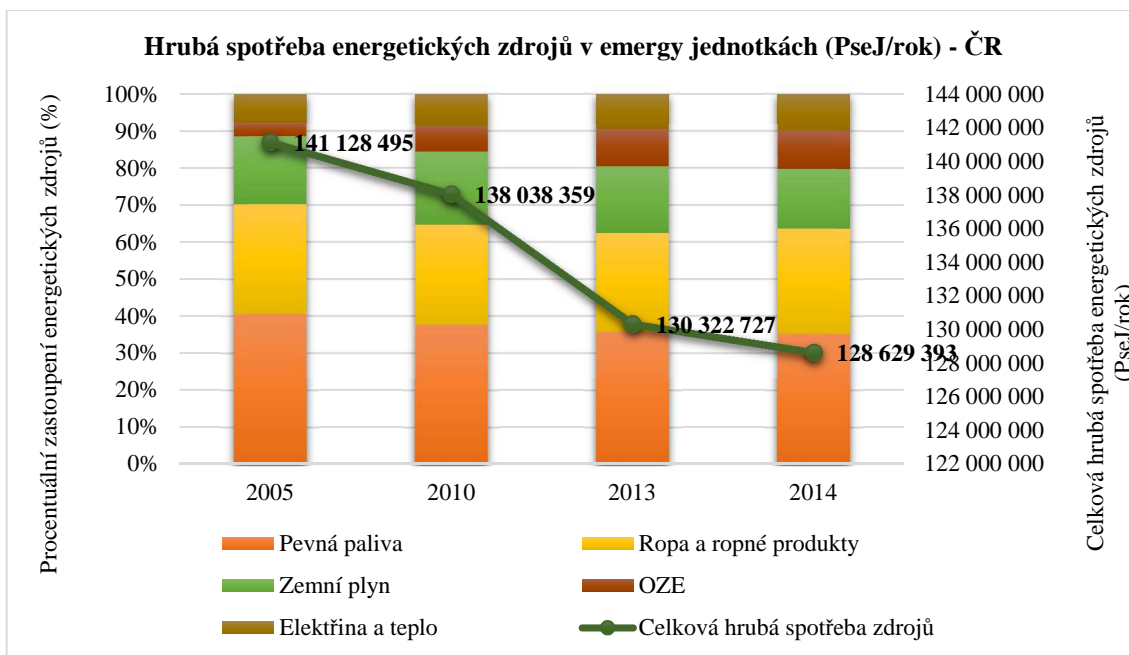


Obrázek 33 Složení hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů (%) a celková hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů (PJ/rok) – ČR (A)

Jak je patrné z grafu na obrázku 33, případně z tabulky 17, hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů postupně klesala a s ní i podíl fosilních paliv a zemního plynu na celkové hrubé domácí spotřebě energetických zdrojů. Naproti tomu se postupně zvyšoval podíl jaderné energie a elektřiny a OZE.

	Hrubá spotřeba energetických zdrojů v emeryg jednotkách (PseJ/rok) - ČR				Hrubá spotřeba energetických zdrojů (%) - ČR			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	57 284 022	52 077 404	46 562 203	45 238 107	40,59%	37,73%	35,73%	35,17%
Ropa a ropné produkty	41 714 432	37 239 827	34 852 630	36 512 713	29,56%	26,98%	26,74%	28,39%
Zemní plyn	25 930 979	27 166 428	23 382 653	20 810 763	18,37%	19,68%	17,94%	16,18%
OZE	5 100 113	9 674 213	12 982 982	13 339 506	3,61%	7,01%	9,96%	10,37%
Elektřina a teplo	11 098 950	11 880 487	12 542 259	12 728 304	7,86%	8,61%	9,62%	9,90%
Celkem	141 128 495	138 038 359	130 322 727	128 629 393	100%	100%	100%	100%

Tabulka 18 Tabulka hrubé spotřeby energetických zdrojů (PseJ/rok)/(%) – ČR (A)



Obrázek 34 Složení hrubé spotřeby energetických zdrojů (%) a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (PseJ/rok) – ČR (A)

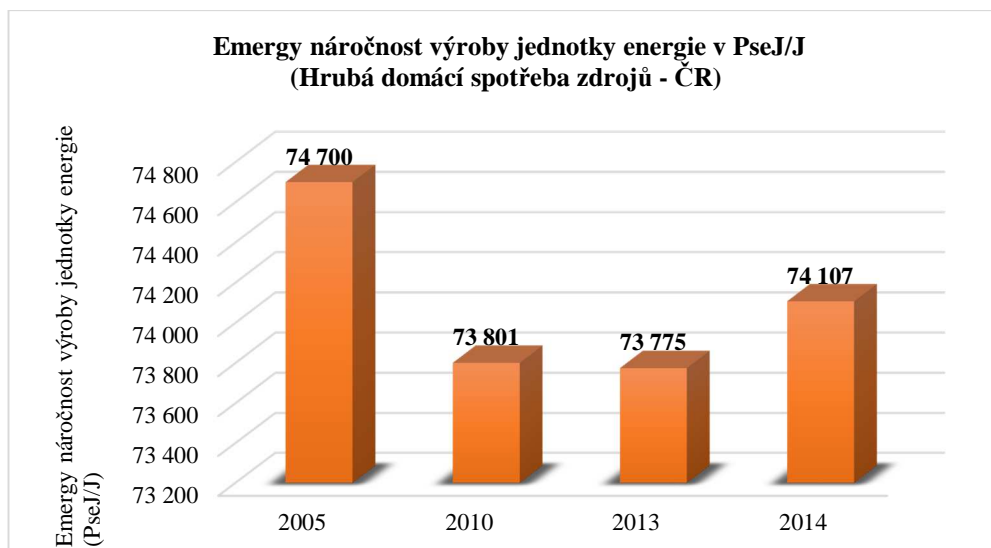
U hrubé spotřeby energetických zdrojů přepočtené na emery jednotky je trend hrubé spotřeby solárních Joulů stejný včetně měnící se struktury.

Poslední krokem je spočítat emery náročnost výroby jednoho Joulu hrubé spotřeby energie. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 19 a získala jsem je jako podíl celkového emery (v PseJ/rok) a celkové energie hrubé spotřeby zdrojů pro každý rok (v PJ/rok). Jedná se o hodnoty uvedené v posledním řádku tabulek 17 a 18.

Výroba jednotky energie v PseJ/J (Hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů- ČR)				
Rok:	2005	2010	2013	2014
Česká republika	74 700	73 801	73 775	74 107

Tabulka 19 Emery náročnost výroby jednotky energie v PseJ/J – ČR (A)

Údaje z tabulky 19 jsou přehledně zaneseny do grafu na obrázku 35. Z grafu je patrné, že emery náročnost výroby jednotky energie klesala a v roce 2014 opět mírně stoupla. Bližší analýzu jsem umístila až do kapitoly 3.3.2.4., kde se nachází výsledné hodnoty emery náročnosti všech zemí.



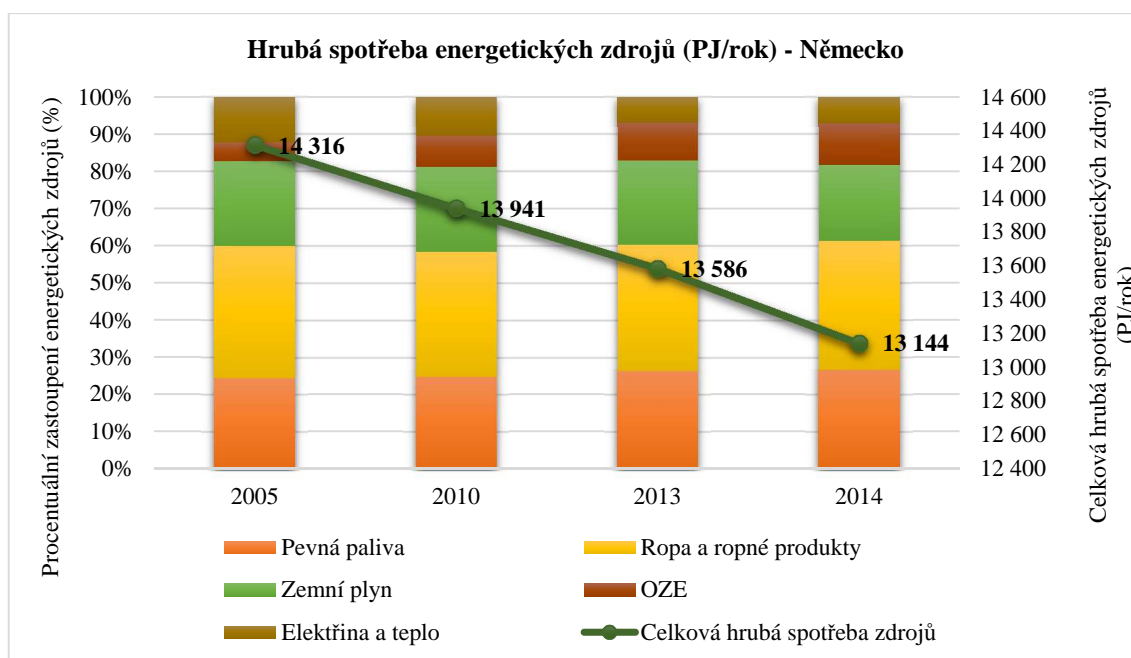
Obrázek 35 Emery náročnost výroby jednotky energie – ČR (A)

3.3.2.2. Německo – hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů varianta A

Složení hrubé spotřeby energetických zdrojů (v %) a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (v PJ/rok) v jednotlivých letech se nachází v grafu na obrázku 36 a v tabulce 20. Stejně tak je tomu u grafu na obrázku 37 a u tabulky 21, kde je hrubá spotřeba energetických zdrojů uvedena v emery jednotkách (v PseJ/rok).

	Hrubá spotřeba energetických zdrojů (PJ/rok) - Německo				Hrubá spotřeba energetických zdrojů (%) - Německo			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	3 509	3 464	3 589	3 514	24,51%	24,85%	26,42%	26,73%
Ropa a ropné produkty	5 086	4 681	4 604	4 539	35,52%	33,58%	33,88%	34,53%
Zemní plyn	3 257	3 178	3 061	2 682	22,75%	22,80%	22,53%	20,40%
OZE	721	1 154	1 398	1 482	5,03%	8,28%	10,29%	11,28%
Elektrina a teplo	1 744	1 464	935	927	12,19%	10,50%	6,88%	7,05%
Celkem	14 316	13 941	13 586	13 144	100%	100%	100%	100%

Tabulka 20 Tabulka hrubé spotřeby energetických zdrojů (PJ/rok)/(%) – Německo (A)

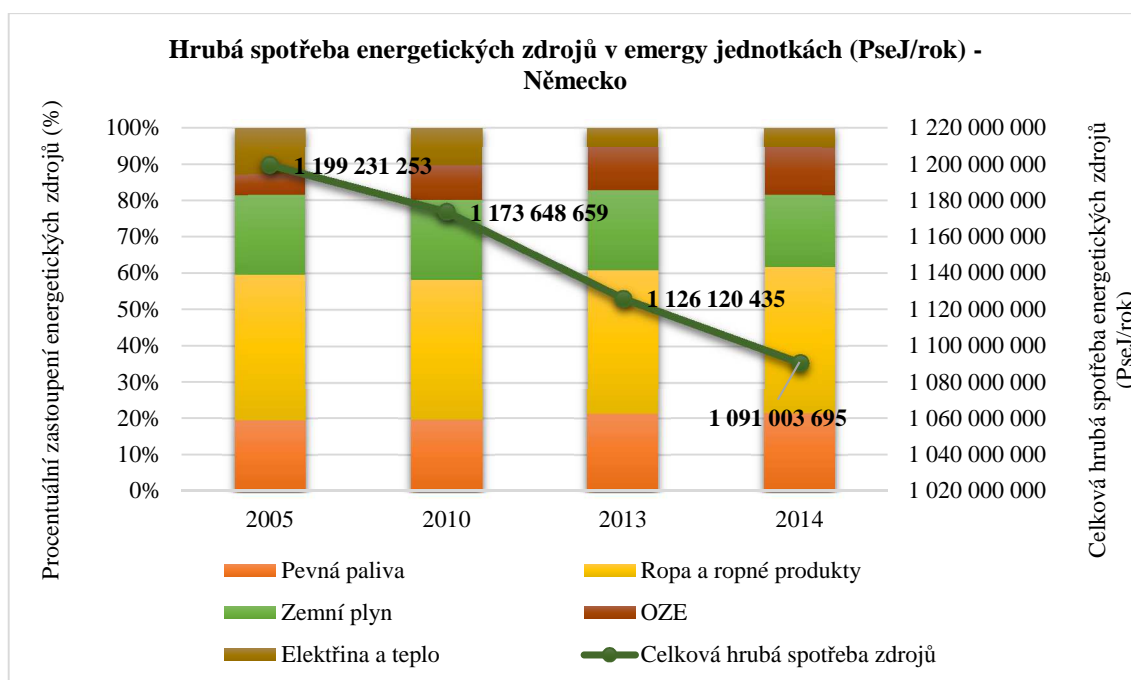


Obrázek 36 Složení hrubé spotřeby energetických zdrojů (%) a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (PJ/rok) – Německo (A)

Jak je patrné z grafu na obrázku 36, případně z tabulky 20, hrubá spotřeba energetických zdrojů postupně klesala. Klesal také podíl zemního plynu a elektřiny a tepla na celkové hrubé spotřebě energetických zdrojů. Naproti tomu se zvyšoval mírně podíl fosilních paliv a výrazně podíl OZE. Největší podíl na hrubé spotřebě mají v Německu ropa a ropné produkty.

	Hrubá spotřeba energetických zdrojů v emery jednotkách (PseJ/rok) - Německo				Hrubá spotřeba energetických zdrojů (%) - Německo			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	235 074 886	232 081 642	240 458 238	235 417 132	19,60%	19,77%	21,35%	21,58%
Ropa a ropné produkty	479 992 404	450 877 367	443 771 086	438 376 576	40,03%	38,42%	39,41%	40,18%
Zemní plyn	261 841 280	255 522 645	246 086 771	215 638 154	21,83%	21,77%	21,85%	19,77%
OZE	67 562 244	113 266 662	134 229 681	141 921 688	5,63%	9,65%	11,92%	13,01%
Elektřina a teplo	154 760 438	121 900 343	61 574 658	59 650 146	12,90%	10,39%	5,47%	5,47%
Celkem	1 199 231 253	1 173 648 659	1 126 120 435	1 091 003 695	100%	100%	100%	100%

Tabulka 21 Tabulka hrubé spotřeby energetických zdrojů (PseJ/rok)/ (%) – Německo (A)

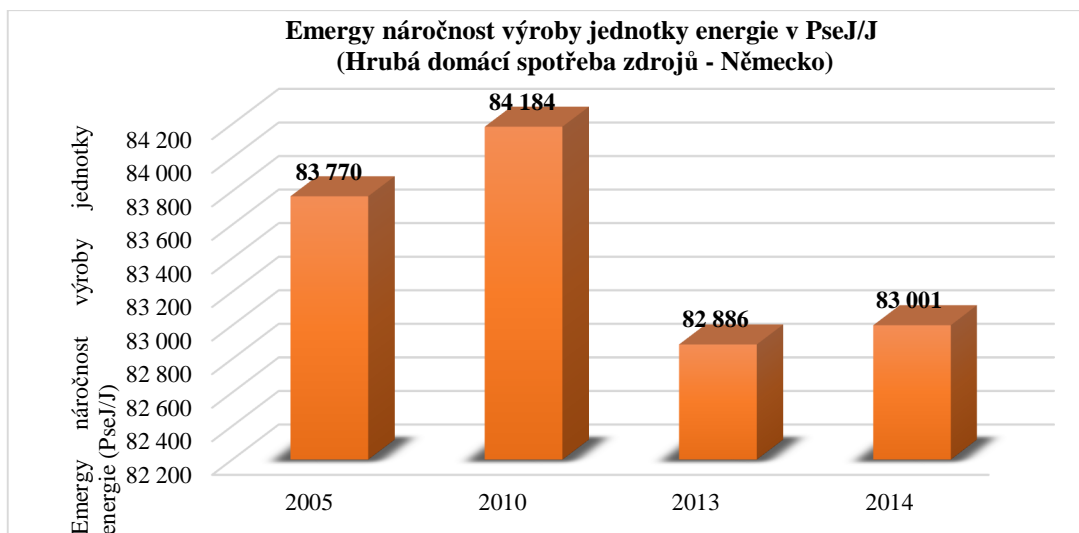


Obrázek 37 Složení hrubé spotřeby energetických zdrojů (%) a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (PseJ/rok) – Německo (A)

Hodnoty emery náročnosti výroby jednoho Joulu z dat hrubé domácí spotřeby energie jsou uvedeny v tabulce 22 a získala jsem je jako podíl celkového emery (v PseJ/rok) a celkové emery hrubé domácí spotřeby zdrojů pro každý rok (v PJ/rok). Jedná se o hodnoty uvedené v posledním řádku tabulek 20 a 21.

Výroba jednotky energie v PseJ/J (Hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů - Německo)				
Rok:	2005	2010	2013	2014
Německo	83 770	84 184	82 886	83 001

Tabulka 22 Emery náročnost výroby jednotky energie v PseJ/J – Německo (A)



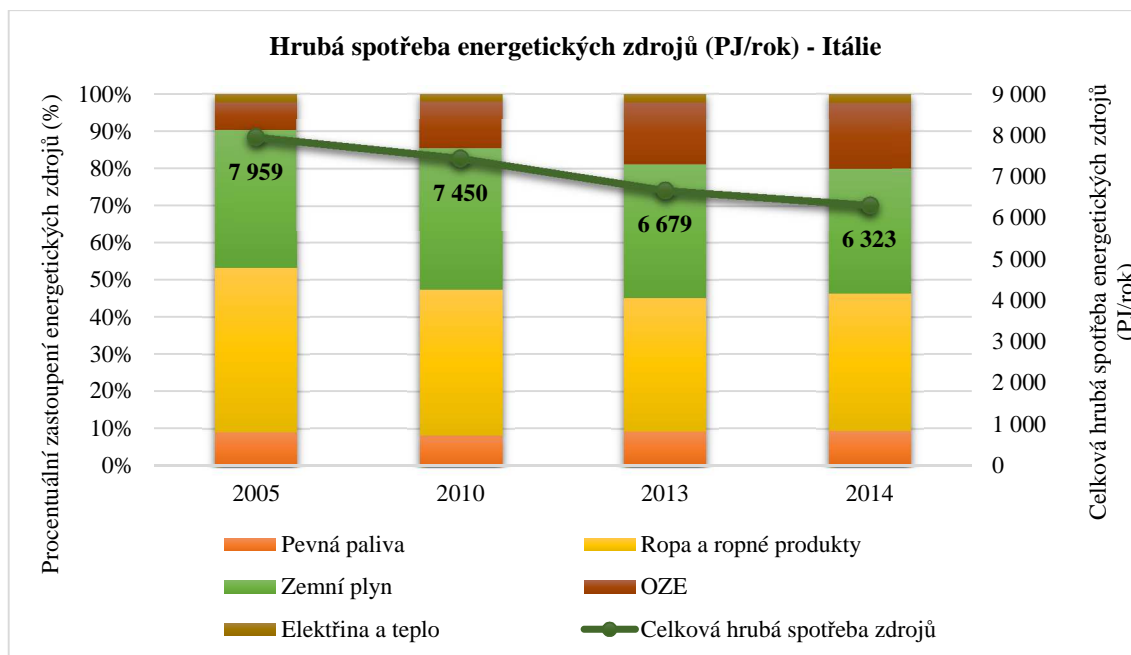
Obrázek 38 Emergy náročnost výroby jednotky energie – Německo (A)

3.3.2.3. Itálie – hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů varianta A

Složení hrubé spotřeby energetických zdrojů (v %) a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (v PJ/rok) v Itálii v jednotlivých letech se nachází v grafu na obrázku 39 a v tabulce 23. Stejně tak je tomu u grafu na obrázku 40 a u tabulky 24, kde je hrubá spotřeba energetických zdrojů uvedena v emery jednotkách (v PseJ/rok).

	Hrubá spotřeba energetických zdrojů (PJ/rok) - Itálie				Hrubá spotřeba energetických zdrojů (%) - Itálie			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	717	616	615	596	9,01%	8,26%	9,21%	9,42%
Ropa a ropné produkty	3 516	2 910	2 405	2 337	44,17%	39,06%	36,02%	36,96%
Zemní plyn	2 958	2 850	2 403	2 123	37,17%	38,25%	35,98%	33,57%
OZE	591	915	1 104	1 110	7,42%	12,29%	16,53%	17,55%
Elektrína a teplo	177	159	152	157	2,22%	2,13%	2,27%	2,49%
Celkem	7 959	7 450	6 679	6 323	100%	100%	100%	100%

Tabulka 23 Tabulka hrubé spotřeby energetických zdrojů (PJ/rok)/(%) – Itálie (A)

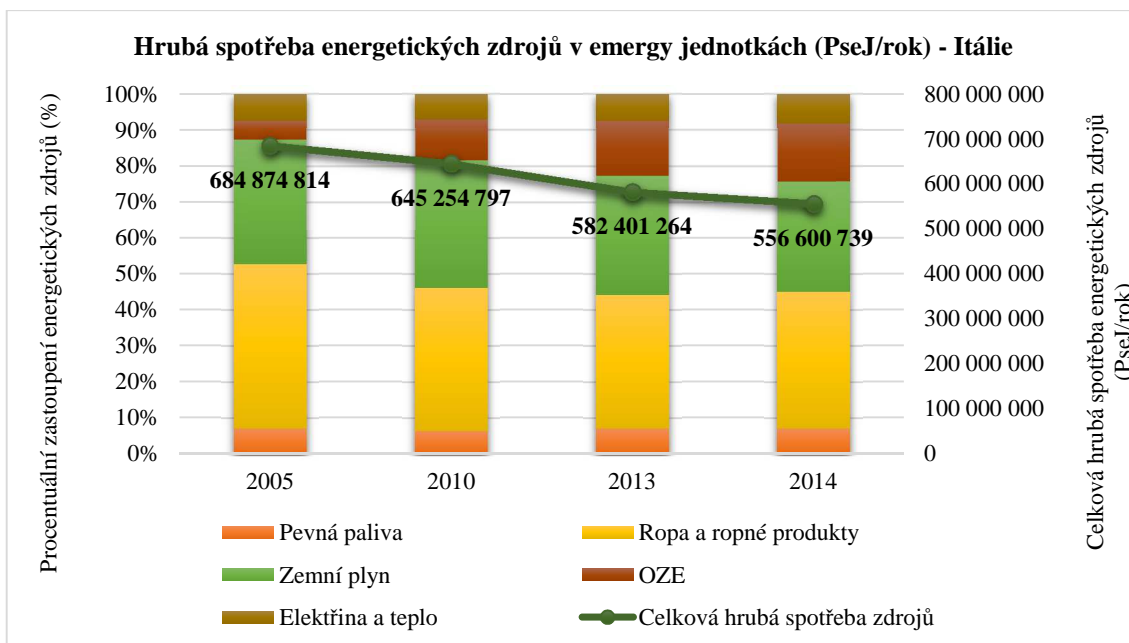


Obrázek 39 Složení hrubé spotřeby energetických zdrojů (%) a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (PJ/rok) – Itálie (A)

Jak je patrné z grafu na obrázku 39, případně z tabulky 23, hrubá spotřeba energetických zdrojů se snižovala. V Itálii mají na hrubé spotřebě energetických zdrojů největší podíl ropa a ropné produkty a zemní plyn. Tyto podíly mají spíše klesající trend. Jaderná energie se v energetickém mixu Itálie nenachází. Podíl pevných fosilních paliv, elektřiny a tepla na hrubé spotřebě energetických zdrojů spíše stoupal a podíl OZE se zvýšil více než dvojnásobně.

	Hrubá spotřeba energetických zdrojů v emeryjích jednotkách (PseJ/rok) - Itálie				Hrubá spotřeba energetických zdrojů (%) - Itálie			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	48 065 839	41 240 568	41 195 684	39 905 250	7,02%	6,39%	7,07%	7,17%
Ropa a ropné produkty	312 637 512	256 823 965	215 597 758	211 037 696	45,65%	39,80%	37,02%	37,92%
Zemní plyn	237 835 853	229 103 546	193 184 613	170 694 042	34,73%	35,51%	33,17%	30,67%
OZE	35 010 109	71 982 405	88 431 657	89 320 846	5,11%	11,16%	15,18%	16,05%
Elektřina a teplo	51 325 502	46 104 313	43 991 553	45 642 906	7,49%	7,15%	7,55%	8,20%
Celkem	684 874 814	645 254 797	582 401 264	556 600 739	100%	100%	100%	100%

Tabulka 24 Tabulka hrubé spotřeby energetických zdrojů (PseJ/rok)/ (%) – Itálie (A)

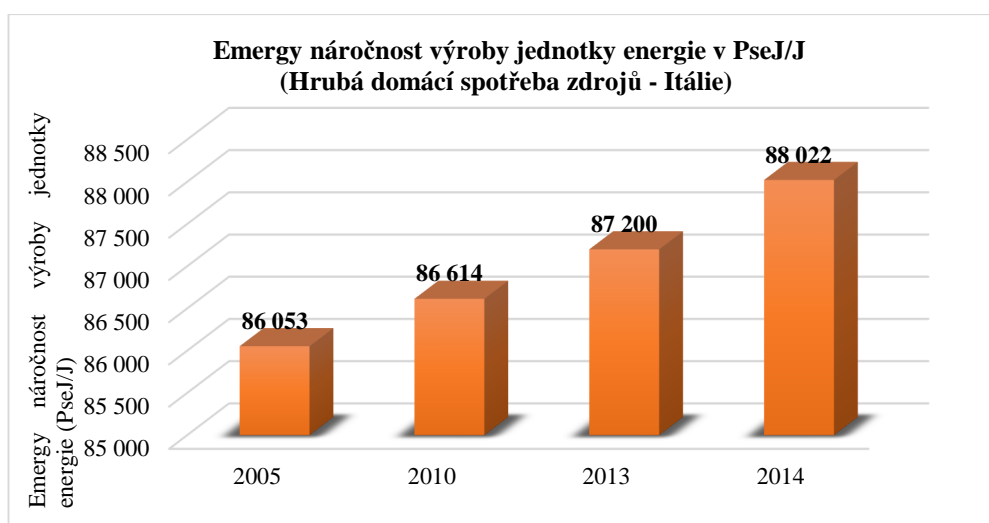


Obrázek 40 Složení hrubé spotřeby energetických zdrojů (%) a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (PseJ/rok) – Itálie (A)

Hodnoty emery náročnosti výroby jednoho Joulu z dat hrubé spotřeby energie jsou uvedeny v tabulce 25 a vyneseny v grafu na obrázku 41. Z grafu je patrné, že emery náročnost výroby jednotky energie stoupala.

Výroba jednotky energie v PseJ/J (Hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů - Itálie)				
Rok:	2005	2010	2013	2014
Itálie	86 053	86 614	87 200	88 022

Tabulka 25 Emery náročnost výroby jednotky energie v PseJ/J – Itálie (A)



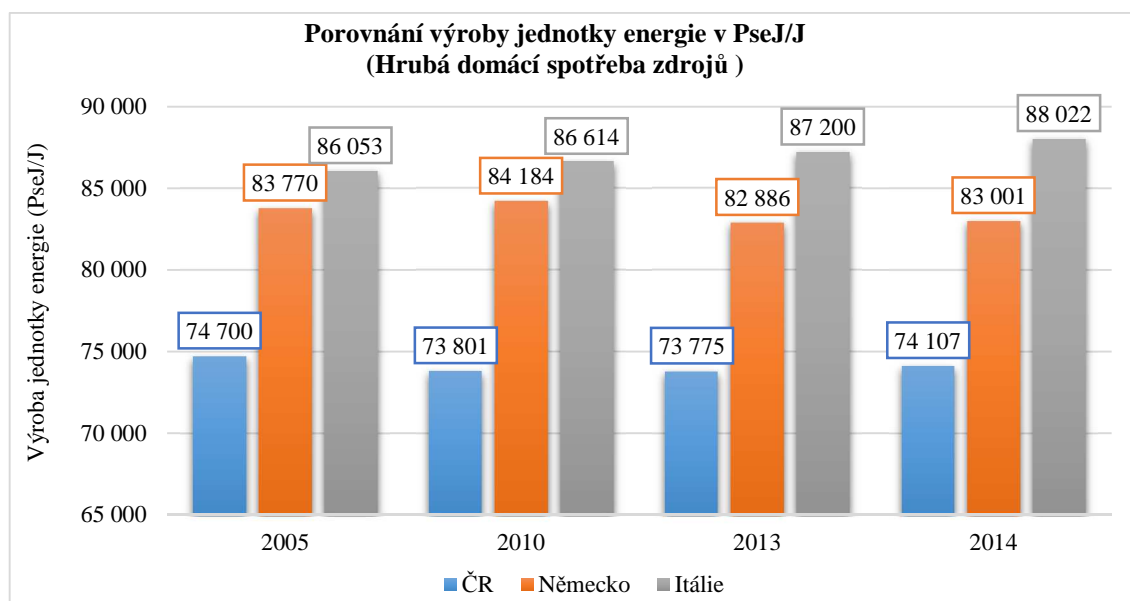
Obrázek 41 Emery náročnost výroby jednotky energie – Itálie (A)

3.3.2.4. Porovnání výroby jednotky energie ve vybraných zemích

Pro porovnání emery náročnosti výroby jednotky energie pro vybrané země vycházející ze základu hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů jsem vytvořila graf na obrázku 42 a tabulku 26.

PseJ/J	ČR	Německo	Itálie
2005	74 700	83 770	86 053
2010	73 801	84 184	86 614
2013	73 775	82 886	87 200
2014	74 107	83 001	88 022

Tabulka 26 Porovnání emery náročnosti výroby jednotky energie – hrubá spotřeba (A)



Obrázek 42 Graf porovnání emery náročnosti výroby jednotky energie ve vybraných zemích – hrubá spotřeba (A)

Z grafu na obrázku 42 vyplývá, že nejnižší emery náročnost hrubé spotřeby energetických zdrojů je v ČR a nejvyšší v Itálii. U varianty A hodnota hrubé spotřeby energie u některých OZE představuje vyrobenou elektrickou energii a u jaderné energie vyrobené teplo. Elektřina a vyrobené jaderné teplo mají vysoké transformity v porovnání s některými ostatními zdroji. Emery náročnost se tedy u této varianty zvětšuje v závislosti na podílu energetických zdrojů s vysokým transformity v energetických mixech. U hrubé domácí spotřeby energie vyšla ČR nejlépe zejména díky exportu elektřiny, která má velmi vysoké emery a vstupuje do bilance se záporným znaménkem. Důvodem je také největší zastoupení fosilních paliv, které má nízké transformity. Itálie je naopak importérem elektřiny a má největší zastoupení ropy, která má vyšší transformity. Dále má Itálie nejvyšší zastoupení OZE na hrubé spotřebě energetických zdrojů. Německo jakožto importér elektřiny se umístil na druhé místo. Podíl ropy a ropných produktů v Německu je druhý největší spolu s podílem fosilních paliv a OZE v porovnání s ČR a Itálií.

Data hrubé spotřeby energetických zdrojů zahrnují součet primární produkce (tuzemských) zdrojů, generovaných produktů, importu i změny stavu zásob zdrojů a odečtením exportu včetně salda elektřiny. Výsledná emery náročnost výroby energie při použití těchto dat vyjadřuje, kolik solárních Joulů je potřeba na výrobu jednotky energie spotřebovaných energetických zdrojů na území jednotlivých států. Jedná se vlastně o vyjádření efektivnosti využití všech energetických zdrojů včetně salda elektřiny v přepočtu na emery jednotky jednotlivých zemí. Diskutabilní může být zahrnutí exportu surovin pomocí záporného znaménka, což podstatně ovlivňuje výsledky. Tuto metodiku jsem však zvolila na základě již zavedených konvencí a obdobnosti se spotřebou prvotních energetických zdrojů, která se využívá pro porovnání energetických mixů států v běžných energetických statistikách, kde hodnoty záporného salda energetických surovin vstupují do celkové spotřeby se záporným znaménkem.

3.4. VARIANTA B

Hodnoty primární produkce zdrojů a hrubé domácí spotřeby jsou u varianty B převzaté ze statistické databáze EUROSTAT a přepočtené na Jouly včetně úpravy některých hodnot. Hodnoty energetické spotřeby a produkce některých obnovitelných zdrojů se rovnají spotřebě elektrické energie měřené na svorkách generátorů. U jaderné energie je uváděna hodnota tepla využitého pro výrobu elektrické energie. U varianty B jsem přepočítala tyto hodnoty na využitou geopotenciální energii vody, slunečního záření, potenciální energie větru a množství potřebného uranu. (blíže viz kapitolu 3.1.3.4. a 3.1.3.5.)

3.4.1. Primární produkce zdrojů

V tabulce 27 se nachází výpočetní tabulka pro primární produkci zdrojů v ČR v roce 2014.

Primární produkce zdrojů - ČR 2014										
Zdroj	Produkce (kTOE/rok)	Produkce (PJ/rok)	Produkce (kg/rok)	Přepočtená produkce (PJ/rok)	Solární transformity (seJ/J)	Solární transformity (TseJ/g)	Solární emery (PseJ/rok)	Primární produkce	Solární emery	
Pevná paliva	Uhlí	16 847	705,38	-	705,38	67 000	-	47 260 720,63	43,75 %	76,36 %
	Rašelina	0	0,00	-	0,00	32 000	-	0,00	0,00 %	0,00 %
	Odpad neobnovitelný	250	10,47	-	10,47	67 000	-	701 322,50	0,65 %	1,13 %
	Pevná paliva	17 097	715,85		715,85			47 962 043,13	44,40 %	77,49 %
Ropa a ropné produkty	Ropa	153	6,41	-	6,41	91 000	-	582 956,01	0,40 %	0,94 %
	Aditiva	108	4,52	-	4,52	250 500	-	1 132 750,98	0,28 %	1,83 %
	Ropa a ropné produkty	261	10,93		10,93			1 715 706,99	0,68 %	2,77 %
Zemní plyn	Zemní plyn	212	8,88	-	8,88	80 400	-	713 665,78	0,55 %	1,15 %
	Zemní plyn	212	8,88		8,88			713 665,78	0,55 %	1,15 %
OZE	Vodní energie	164	6,87	-	7,72	11 000	-	84 869,08	0,48 %	0,14 %
	Větrná energie	41	1,72	-	3,65	1 580	-	5 770,93	0,23 %	0,01 %
	FVE	183	7,66	-	69,66	1	-	69,66	4,32 %	0,00 %
	Solární teplo	16	0,67	-	1,06	1	-	1,06	0,07 %	0,00 %
	Pevná biopaliva	2 383	99,78	-	99,78	60 480	-	6 034 465,18	6,19 %	9,75 %
	Bioplyn	608	25,46	-	25,46	111 000	-	2 825 722,56	1,58 %	4,57 %
	Biodiesel	261	10,93	-	10,93	231 000	-	2 524 384,17	0,68 %	4,08 %
	OZE	3 656	153,08		218,25			11 475 282,64	13,54 %	18,54 %
Jaderná energie	Jaderná energie	7 843	328,39	168 836,20	658,46	-	0,16	27 013,79	40,84 %	0,04 %
	Jaderná energie	7 843	328,39		658,46			27 013,79	40,84 %	0,04 %
Celkem	29 069	1 217		1 612			61 893 712	100 %	100 %	

Tabulka 27 Výpočetní tabulka primární produkce zdrojů ČR 2014 (B)

Ve třetím sloupci v tabulce 27 se nachází data primární produkce zdrojů získaná z energetických statistik databáze EUROSTAT. Čtvrtý sloupec jsem získala ze třetího sloupce jednotkovým přepočtem. Solární transformity jednotlivých zdrojů jsou uvedené v sedmém a osmém sloupci. V pátém sloupci se nachází přepočtená hodnota množství energie v kg/rok u jaderné energie (viz kapitolu 3.1.3.5.). Dle vzorců uvedených u některých energetických zdrojů v kapitole 3.1.3. jsou

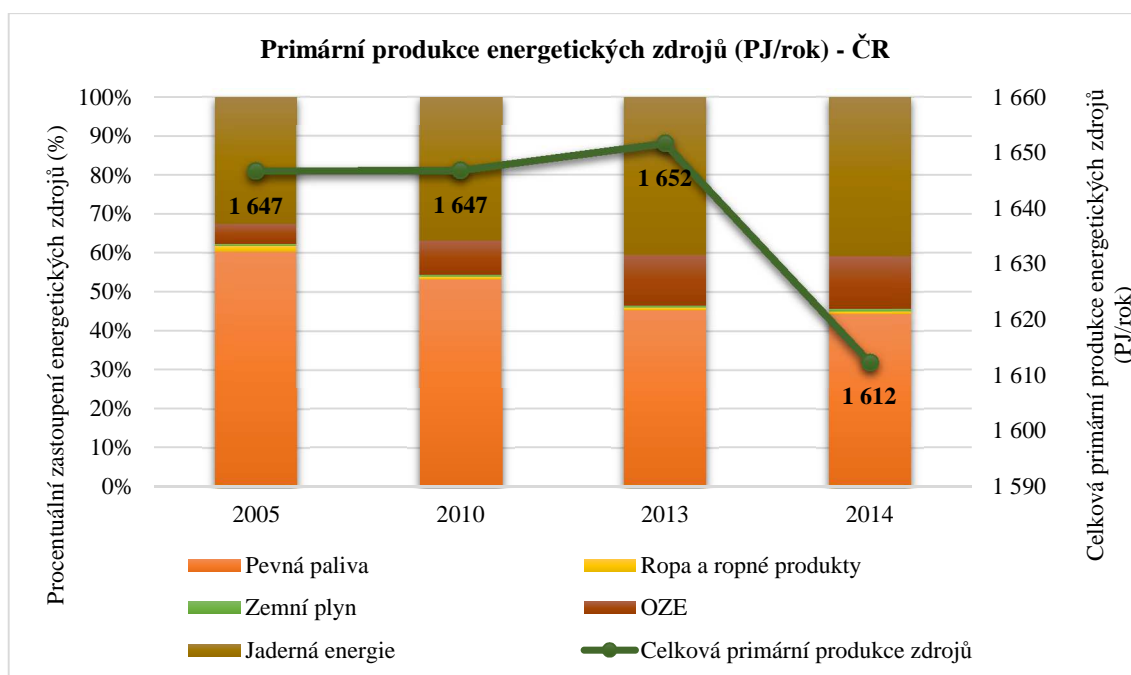
vypočteny hodnoty v šestém sloupci. Jedná se o vodní a větrnou energii, FVE, solární teplo z kolektorů a jadernou energii. Vynásobením hodnot v šestém a sedmém sloupci získám solární emery za rok uvedené v devátém sloupci vyjma jaderné energie, kde je hodnota v devátém sloupci získaná vynásobením hodnot v pátém a osmém sloupci. V desátém sloupci se nachází procentuální zastoupení energetických zdrojů získané na základě údajů v šestém sloupci. V jedenáctém sloupci je pak uvedeno procentuální zastoupení energetických zdrojů získané na základě údajů v devátém sloupci. Tyto procentuální hodnoty byly zaneseny jednotlivě v koláčových grafech a společně ve sloupcových grafech pro všechny země a jednotlivé roky. Spolu s dalšími výpočty a grafy se nacházejí v souborech na příloženém CD (složka 3_4_Varianta B).

3.4.1.1. ČR – primární produkce zdrojů varianta B

Složení primární produkce energetických zdrojů (v %) a celková primární produkce energetických zdrojů (v PJ/rok) v ČR v jednotlivých letech se nachází v grafu na obrázku 43 a v tabulce 28. Stejně tak je tomu u grafu na obrázku 44 a u tabulky 29, kde je primární produkce energetických zdrojů uvedena v emery jednotkách (v PseJ/rok).

	Primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok) - ČR				Primární produkce energetických zdrojů (%) - ČR			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	994,08	876,34	749,05	715,85	60,37%	53,21%	45,35%	44,40%
Ropa a ropné produkty	24,75	11,26	10,76	10,93	1,50%	0,68%	0,65%	0,68%
Zemní plyn	6,45	8,46	8,63	8,88	0,39%	0,51%	0,52%	0,55%
OZE	83,69	142,25	215,25	218,25	5,08%	8,64%	13,03%	13,54%
Jaderná energie	537,73	608,51	667,95	658,46	32,66%	36,95%	40,44%	40,84%
Celkem	1 647	1 647	1 652	1 612	100%	100%	100%	100%

Tabulka 28 Tabulka primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok)/(%) – ČR (B)

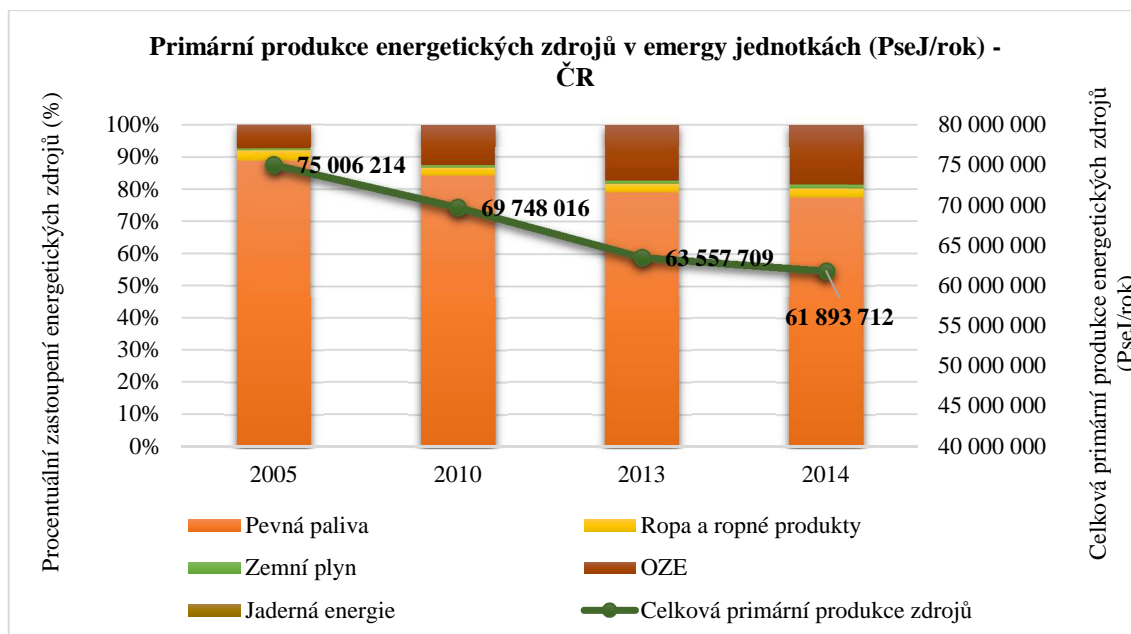


Obrázek 43 Složení primární produkce energetických zdrojů (%) a celková primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok) – ČR (B)

Jak je patrné z grafu na obrázku 43, případně z tabulky 28, primární produkce energetických zdrojů mírně stoupala a v roce 2014 klesla. Zastoupení jaderné energie je vyšší než u varianty A, jelikož jaderné palivo má vysokou výhřevnost, a u varianty B počítám do primární produkce jaderné energie množství potřebného uranu pro výrobu daného tepla. Podíl pevných fosilních paliv na celkové primární produkci energetických zdrojů klesal. Naproti tomu se postupně zvyšoval podíl OZE, jaderné energie a zemního plynu. Zastoupení zemního plynu či ropy a ropných produktů na primární produkci zdrojů se pohybuje většinou v hodnotách pod 1 %.

	Primární produkce energetických zdrojů v emeryjích jednotkách (PseJ/rok) - ČR				Primární produkce energetických zdrojů (%) - ČR			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	66 603 195	58 714 720	50 186 638	47 962 043	88,80%	84,18%	78,96%	77,49%
Ropa a ropné produkty	2 378 698	1 632 658	1 647 040	1 715 707	3,17%	2,34%	2,59%	2,77%
Zemní plyn	518 418	680 002	693 468	713 666	0,69%	0,97%	1,09%	1,15%
OZE	5 483 843	8 695 672	11 003 160	11 475 283	7,31%	12,47%	17,31%	18,54%
Jaderná energie	22 061	24 964	27 403	27 014	0,03%	0,04%	0,04%	0,04%
Celkem	75 006 214	69 748 016	63 557 709	61 893 712	100%	100%	100%	100%

Tabulka 29 Tabulka primární produkce energetických zdrojů (PseJ/rok)/(%) – ČR (B)



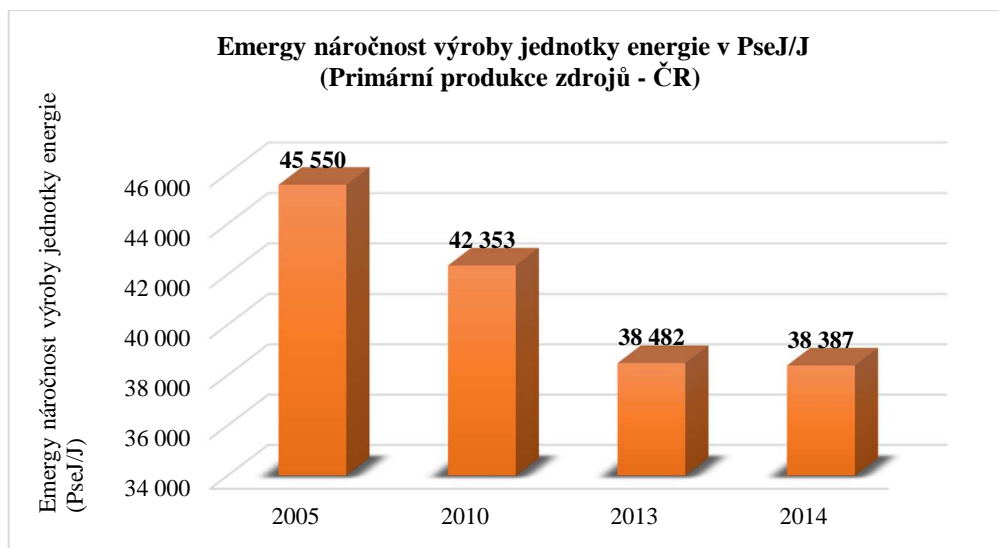
Obrázek 44 Složení primární produkce energetických zdrojů (%) a celková primární produkce energetických zdrojů (PseJ/rok) – ČR (B)

U primární produkce energetických zdrojů přepočtených na emery jednotky je trend primární produkce solárních Joulů stejný včetně měnící se struktury. Rozdílná je výše zastoupení jednotlivých zdrojů, zejména u jaderné energie, kdy po přepočtech na emery jednotky je hodnota daleko nižší díky nízkému transformitě uranu. Tím se výrazně zvýšil podíl fosilních paliv na celkové primární produkci energetických zdrojů po přepočtu na emery jednotky.

Poslední krokem je spočítat emery náročnost výroby jednoho Joulu primární produkce energie. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 30 a získala jsem je jako podíl celkového emery (v PseJ/rok) a celkové energie primární produkce zdrojů pro každý rok (v PJ/rok). Jedná se o hodnoty uvedené v posledním řádku tabulek 28 a 29.

Výroba jednotky energie v PseJ/J (Primární produkce zdrojů - ČR)				
Rok:	2005	2010	2013	2014
Česká republika	45 550	42 353	38 482	38 387

Tabulka 30 Emery náročnost výroby jednotky energie v PseJ/J – ČR (B)



Obrázek 45 Emergy náročnost výroby jednotky energie – ČR (B)

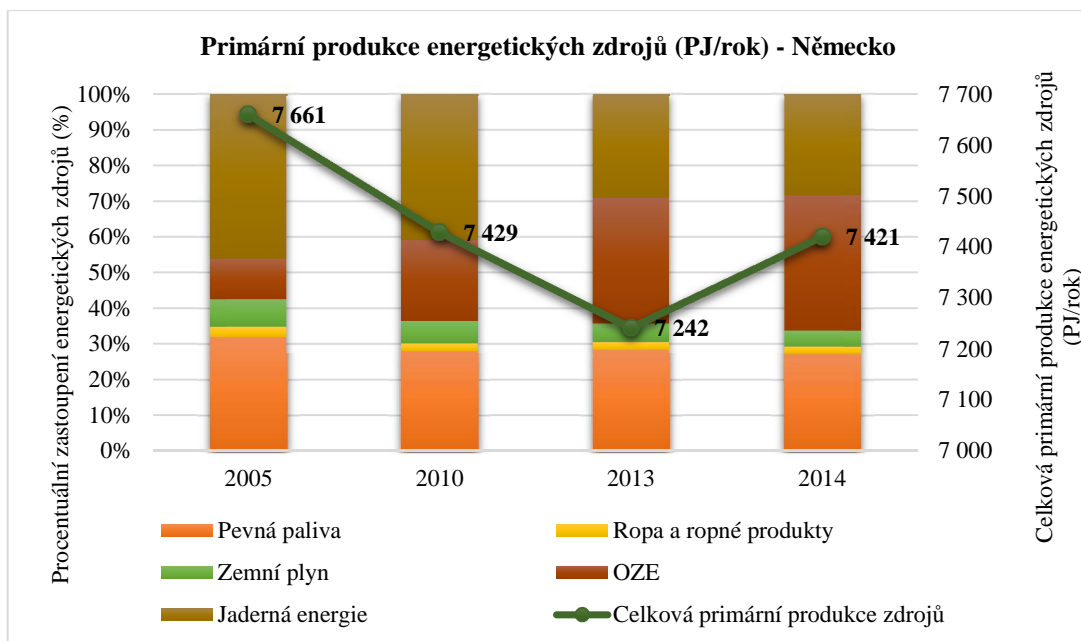
Údaje z tabulky 30 jsou přehledně zaneseny do grafu na obrázku 45. Z grafu je patrné, že emergy náročnost výroby jednotky energie se postupně snižovala. To příkládám zvyšujícími se podílu jaderné energie a snižujícímu se podílu fosilních paliv. Bližší analýzu jsem umístila až do kapitoly 3.4.1.4., kde se nachází výsledné hodnoty emergy náročnosti všech zemí.

3.4.1.2. Německo – primární produkce zdrojů varianta B

Složení primární produkce energetických zdrojů (v %) a celková primární produkce energetických zdrojů (v PJ/rok) v Německu v jednotlivých letech se nachází v grafu na obrázku 46 a v tabulce 31. Stejně tak je tomu u grafu na obrázku 47 a u tabulky 32, kde je primární produkce energetických zdrojů uvedena v emergy jednotkách (v PseJ/rok).

	Primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok) - Německo				Primární produkce energetických zdrojů (%) - Německo			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	2 442,24	2 085,63	2 058,41	2 027,97	31,88%	28,07%	28,42%	27,33%
Ropa a ropné produkty	218,44	158,02	157,51	146,29	2,85%	2,13%	2,18%	1,97%
Zemní plyn	600,16	465,30	371,22	327,84	7,83%	6,26%	5,13%	4,42%
OZE	868,50	1 676,45	2 547,82	2 815,25	11,34%	22,57%	35,18%	37,94%
Jaderná energie	3 531,24	3 043,97	2 106,94	2 103,50	46,10%	40,97%	29,09%	28,35%
Celkem	7 661	7 429	7 242	7 421	100%	100%	100%	100%

Tabulka 31 Tabulka primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok)/(%) – Německo (B)

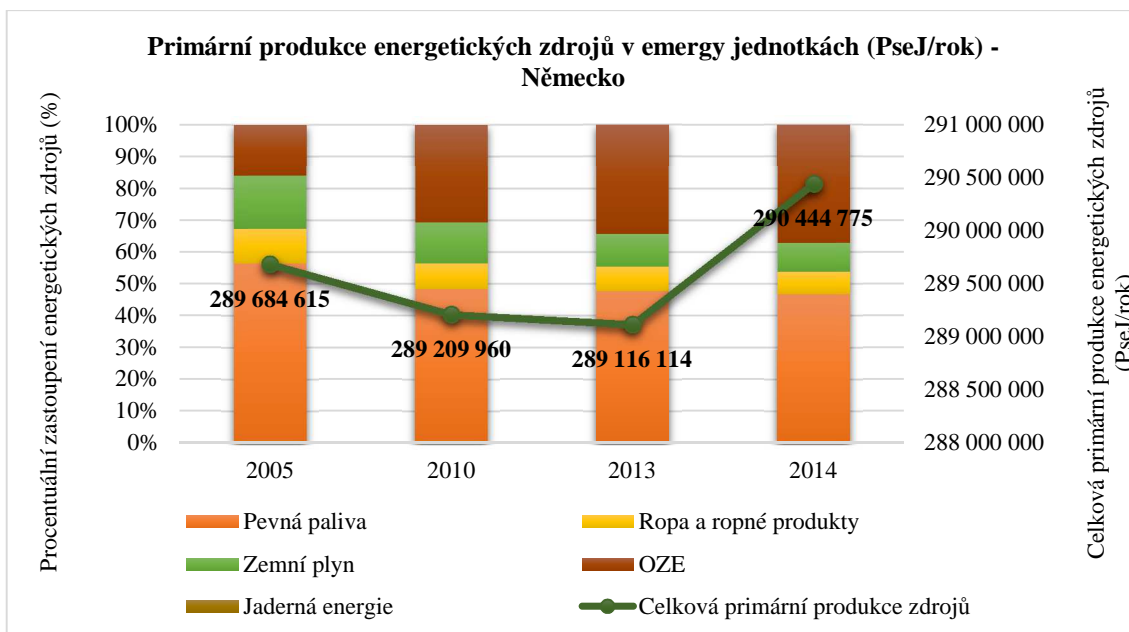


Obrázek 46 Složení primární produkce energetických zdrojů (%) a celková primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok) – Německo (B)

Jak je patrné z grafu na obrázku 46, případně z tabulky 31, primární produkce energetických zdrojů se postupně snižovala do roku 2013. Klesal podíl fosilních paliv, zemního plynu, jaderné energie a ropy na celkové primární produkci energetických zdrojů. Naproti tomu se zvyšoval podíl OZE, a to více než trojnásobně. Po přepočtech pro variantu B se zvýšil podíl jaderné energie a OZE stejně jako v případě ČR.

	Primární produkce energetických zdrojů v emery jednotkách (PseJ/rok) - Německo				Primární produkce energetických zdrojů (%) - Německo			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	163 591 658,71	139 737 105,48	137 913 666,98	135 874 221,15	56,47%	48,32%	47,70%	46,78%
Ropa a ropné produkty	31 658 116,35	23 154 821,79	22 040 577,35	20 505 225,39	10,93%	8,01%	7,62%	7,06%
Zemní plyn	48 253 232,23	37 410 225,32	29 846 041,37	26 358 504,84	16,66%	12,94%	10,32%	9,08%
OZE	46 036 736,59	88 782 927,22	99 229 389,51	107 620 526,66	15,89%	30,70%	34,32%	37,05%
Jaderná energie	144 871,49	124 880,67	86 438,62	86 297,41	0,05%	0,04%	0,03%	0,03%
Celkem	289 684 615	289 209 960	289 116 114	290 444 775	100%	100%	100%	100%

Tabulka 32 Tabulka primární produkce energetických zdrojů (PseJ/rok)/(%) – Německo (B)

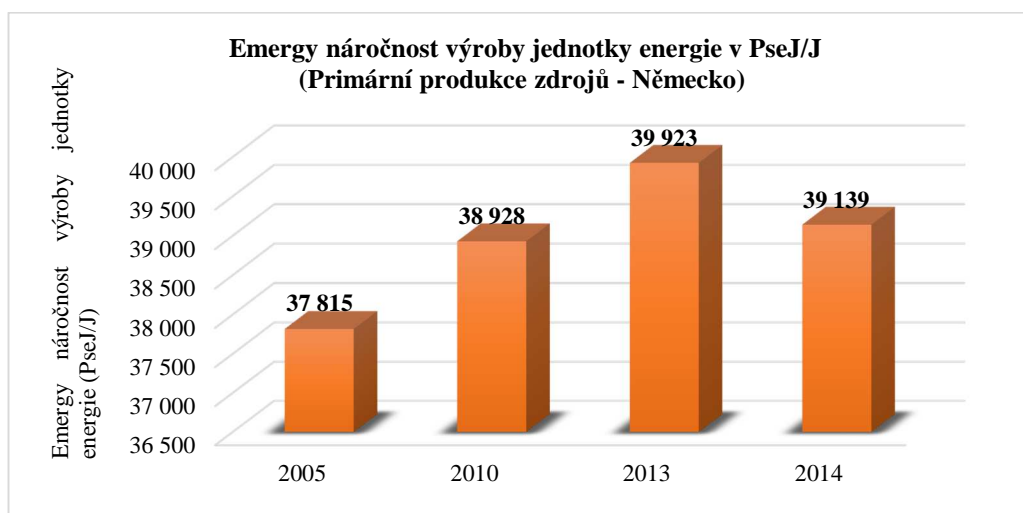


Obrázek 47 Složení primární produkce energetických zdrojů (%) a celková primární produkce energetických zdrojů (PseJ/rok) – Německo (B)

Hodnoty energy náročnosti výroby jednoho Joulu primární produkce energie jsou uvedeny v tabulce 33.

Výroba jednotky energie v PseJ/J (Primární produkce zdrojů - Německo)				
Rok:	2005	2010	2013	2014
Německo	37 815	38 928	39 923	39 139

Tabulka 33 Energy náročnost výroby jednotky energie v PseJ/J – Německo (B)



Obrázek 48 Energy náročnost výroby jednotky energie – Německo (B)

Údaje z tabulky 33 jsou přehledně zaneseny do grafu na obrázku 48. Z grafu je patrné, že energy náročnost výroby jednotky energie se v Německu zvyšovala do roku 2013 a pro rok 2014 se

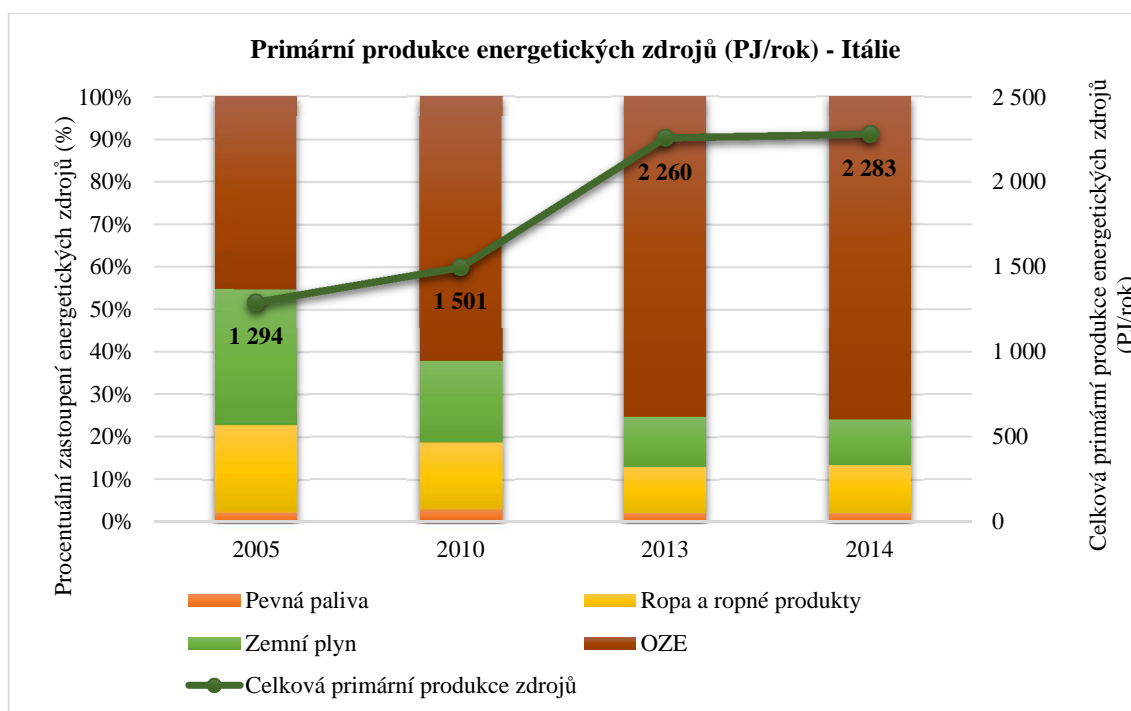
snížila. Jelikož je u varianty B výsledek dosti závislý na produkci jaderné energie, se snižující se produkcí se proto také zvyšovala emergy náročnost. Bližší analýzu jsem umístila až do kapitoly 3.4.1.4., kde se nachází výsledné hodnoty emergy náročnosti všech zemí.

3.4.1.3. Itálie – primární produkce zdrojů varianta B

Složení primární produkce energetických zdrojů (v %) a celková primární produkce energetických zdrojů (v PJ/rok) v Itálii v jednotlivých letech se nachází v grafu na obrázku 49 a v tabulce 34. Stejně tak je tomu u grafu na obrázku 50 a tabulky 35, kde je primární produkce energetických zdrojů uvedena v emergy jednotkách (v PseJ/rok).

	Primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok) - Itálie				Primární produkce energetických zdrojů (%) - Itálie			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	30,69	46,27	49,57	50,79	2,37%	3,08%	2,19%	2,22%
Ropa a ropné produkty	263,91	235,44	244,77	255,32	20,40%	15,69%	10,83%	11,18%
Zemní plyn	413,93	288,27	265,25	245,15	31,99%	19,21%	11,73%	10,74%
OZE	585,35	930,73	1 700,79	1 731,82	45,24%	62,02%	75,24%	75,85%
Jaderná energie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Celkem	1 294	1 501	2 260	2 283	100%	100%	100%	100%

Tabulka 34 Tabulka primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok)/(%) – Itálie (B)



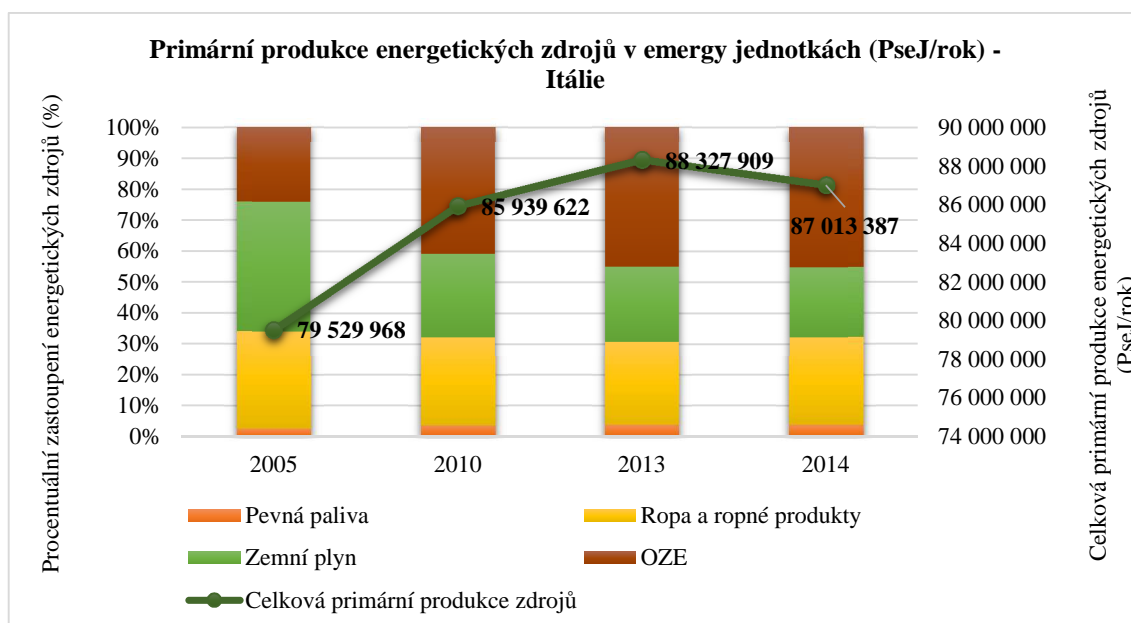
Obrázek 49 Složení primární produkce energetických zdrojů (%) a celková primární produkce energetických zdrojů (PJ/rok) – Itálie (B)

Jak je patrné z grafu na obrázku 49, případně z tabulky 34, primární produkce energetických zdrojů se v Itálii zvyšovala. V Itálii mají na primární produkci zdrojů největší podíl obnovitelné

zdroje. Tento podíl postupně stoupal. Jaderná energie se v energetickém mixu Itálie nenachází. Podíl fosilních paliv na primární produkci zdrojů je zanedbatelný a meziročně mírně stoupal. Podíl zemního plynu na celkové primární produkci energetických zdrojů klesl na téměř třetinu.

	Primární produkce energetických zdrojů v emeryg jednotkách (PseJ/rok) - Itálie				Primární produkce energetických zdrojů (%) - Itálie			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	2 056 277,57	3 099 845,45	3 321 463,36	3 402 816,77	2,59%	3,61%	3,76%	3,91%
Ropa a ropné produkty	25 023 919,53	24 636 831,38	23 923 785,28	24 696 956,70	31,46%	28,67%	27,09%	28,38%
Zemní plyn	33 279 716,33	23 177 305,98	21 325 814,58	19 709 967,54	41,85%	26,97%	24,14%	22,65%
OZE	19 170 054,74	35 025 639,41	39 756 846,23	39 203 646,42	24,10%	40,76%	45,01%	45,05%
Jaderná energie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Celkem	79 529 968	85 939 622	88 327 909	87 013 387	100%	100%	100%	100%

Tabulka 35 Tabulka primární produkce energetických zdrojů (PseJ/rok)/(%) – Itálie (B)

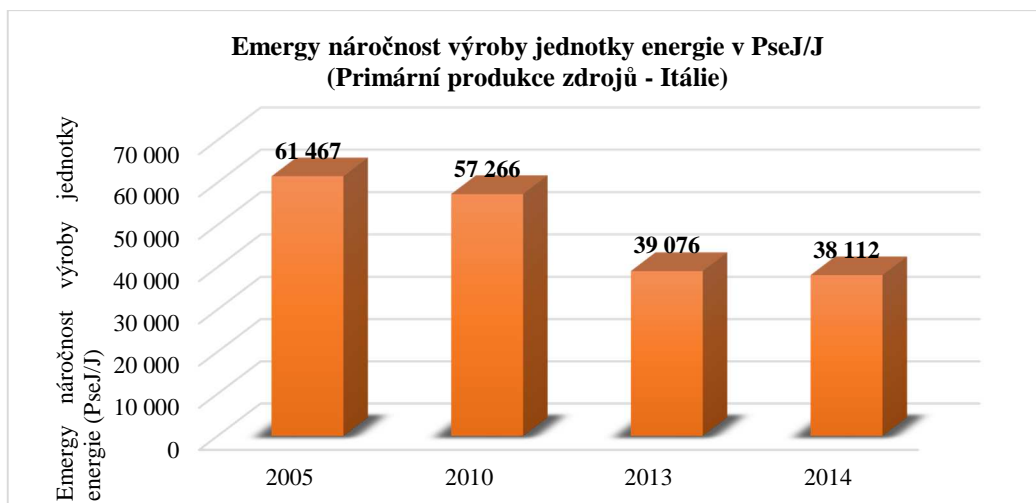


Obrázek 50 Složení primární produkce energetických zdrojů (%) a celková primární produkce energetických zdrojů (PseJ/rok) – Itálie (B)

Hodnoty emeryg náročnosti výroby jednoho Joulu primární produkce emeryg jsou uvedeny v tabulce 36 a v grafu na obrázku 51.

Výroba jednotky emeryg v PseJ/J (Primární produkce zdrojů - Itálie)				
Rok:	2005	2010	2013	2014
Itálie	61 467	57 266	39 076	38 112

Tabulka 36 Emeryg náročnost výroby jednotky emeryg v PseJ/J – Itálie (B)



Obrázek 51 Emergy náročnost výroby jednotky energie – Itálie (B)

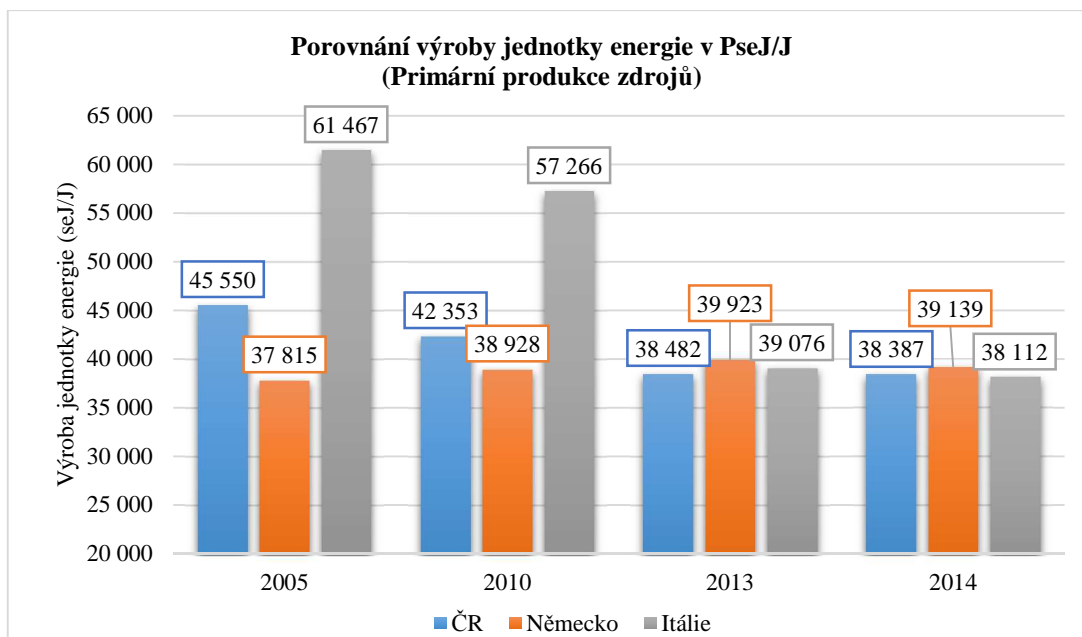
Údaje z tabulky 36 jsou přehledně zaneseny do grafu na obrázku 51. Z grafu je patrné, že emergy náročnost výroby jednotky energie se v Itálii snižovala. V Itálii má na primární produkci velký podíl obnovitelné zdroje s nízkým transformity. Proto se zvyšujícím se podíl OZE také klesala emergy náročnost. Bližší analýzu jsem umístila až do kapitoly 3.4.1.4., kde se nachází výsledné hodnoty emergy náročnosti všech zemí.

3.4.1.4. Porovnání výroby jednotky energie ve vybraných zemích

Pro porovnání emergy náročnosti výroby jednotky energie pro vybrané země vycházející ze základu primární produkce energetických zdrojů jsem vytvořila graf na obrázku 52 a tabulku 37.

Psej/J	ČR	Německo	Itálie
2005	45 550	37 815	61 467
2010	42 353	38 928	57 266
2013	38 482	39 923	39 076
2014	38 387	39 139	38 112

Tabulka 37 Porovnání emergy náročnosti výroby jednotky energie - primární produkce (B)



Obrázek 52 Graf porovnání emery náročnosti výroby jednotky energie ve vybraných zemích – primární produkce (B)

Z grafu na obrázku 52 vyplývá, že emery náročnost primární produkce energetických zdrojů se měnila v různých letech. V roce 2005 a 2010 mělo Německo nejnižší emery náročnost, ČR se umístila těsně na druhém místě a Itálie dopadla nejhůř. Tyto výsledky jsou velmi závislé na podílu jaderné energie a OZE včetně jejich struktury, jak již bylo uvedeno dříve. Jelikož v Německu se postupně snižuje podíl jaderné energie a OZE s vyšším transformity, zvyšuje se tak jeho emery náročnost výroby jednotky energie. I když emery náročnost v Německu v roce 2014 mírně klesla, stala se nejméně efektivní v porovnání s ostatními zeměmi. Emery náročnost výroby jednotky energie se v ČR postupně snižovala díky nárůstu jaderné energie a snižování podílu fosilních paliv. Itálie svou emery náročnost snižuje díky zastoupení OZE, které je většinové a jeho struktura se skládá z větší části z obnovitelných zdrojů s nízkou hodnotou transformity. Důvodem je také absence jaderné energie v energetickém mixu Itálie. U varianty B jsem přepočítala hodnoty primární produkce zdrojů některých OZE a jaderné energie na využitou geopotenciální energii vody, slunečního záření, potenciální energie větru a množství využitého jaderného paliva. Tyto energetické zdroje mají velmi nízké transformity, proto procentuální zastoupení na celkové produkci solárních Joulů je nízké. Jaderné palivo má oproti ostatním zdrojům vysokou výhřevnost, ale velmi nízké transformity, jelikož se jedná o přírodní surovinu. To způsobuje, že procentuální zastoupení měřené v Joulech je vysoké a pokud přepočteme tuto hodnotu na emery jednotky, je procentuální zastoupení jaderné energie velmi nízké (pod 1 %). Tento fakt je evidentní také při porovnání těchto výsledků s variantou A, kde se do produkce jaderné energie počítalo až teplo získané štěpením, nikoli energie paliva potřebná na jeho výrobu. Transformity jsem u varianty A použila pro jaderné teplo a procentuální zastoupení jaderné

energie tak bylo po přepočtu podobné pro energii v Joulech i v emery jednotkách. Emery náročnost se tedy u této varianty zmenšuje v závislosti na podílu OZE a jaderné energie v energetických mixech.

Výsledná emery náročnost výroby energie při použití přepočtených dat primární produkce energie vyjadřuje, kolik solárních Jouů je potřeba na výroby jednotky energie získané prvotními energetickými zdroji získanými na území jednotlivých zemí. Jedná se vlastně o vyjádření efektivnosti využití vlastních zdrojů v přepočtu na emery jednotky v jednotlivých zemích s uvažováním produkce čistě přírodních zdrojů, které jsem u některých OZE a jaderné energie musela získat výpočtem. Porovnáním s výsledky varianty A jsem zjistila, že výsledky jsou velmi citlivé na charakteristiku vstupních údajů.

3.4.2. Hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů

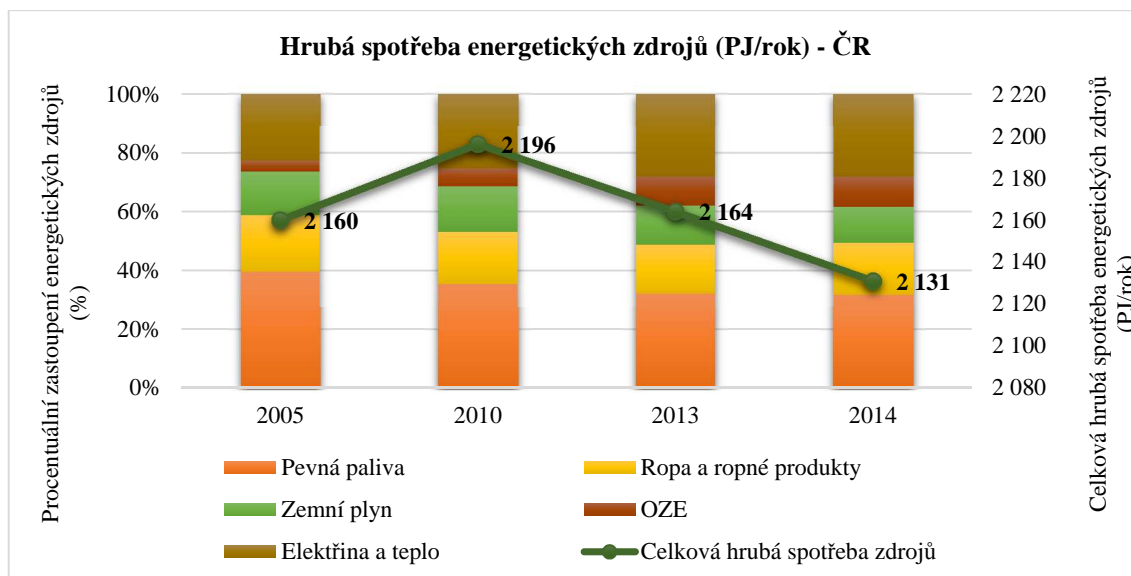
Kompletní výpočtové tabulky a grafy pro variantu B s využitím dat hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů se nacházejí v elektronické verzi na příloženém CD (soubor 3_4_2_ Hrubá domácí spotřeba B).

3.4.2.1. ČR – hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů varianty B

Složení hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů (v %) a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (v PJ/rok) v ČR v jednotlivých letech se nachází v grafu na obrázku 53 a v tabulce 38. Stejně tak je tomu u grafu na obrázku 54 a u tabulky 39, kde je hrubá spotřeba energetických zdrojů uvedena v emery jednotkách (v PseJ/rok).

	Hrubá spotřeba energetických zdrojů (PJ/rok) - ČR				Hrubá spotřeba energetických zdrojů (%) - ČR			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	855	777	695	675	39,58%	35,39%	32,11%	31,68%
Ropa a ropné produkty	414	389	359	380	19,19%	17,73%	16,58%	17,82%
Zemní plyn	323	338	291	259	14,93%	15,39%	13,44%	12,15%
OZE	76	137	212	217	3,51%	6,25%	9,82%	10,20%
Elektřina a teplo	492	554	607	600	22,78%	25,25%	28,05%	28,14%
Celkem	2 160	2 196	2 164	2 131	100%	100%	100%	100%

Tabulka 38 Tabulka hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů (PJ/rok)/(%) – ČR (B)

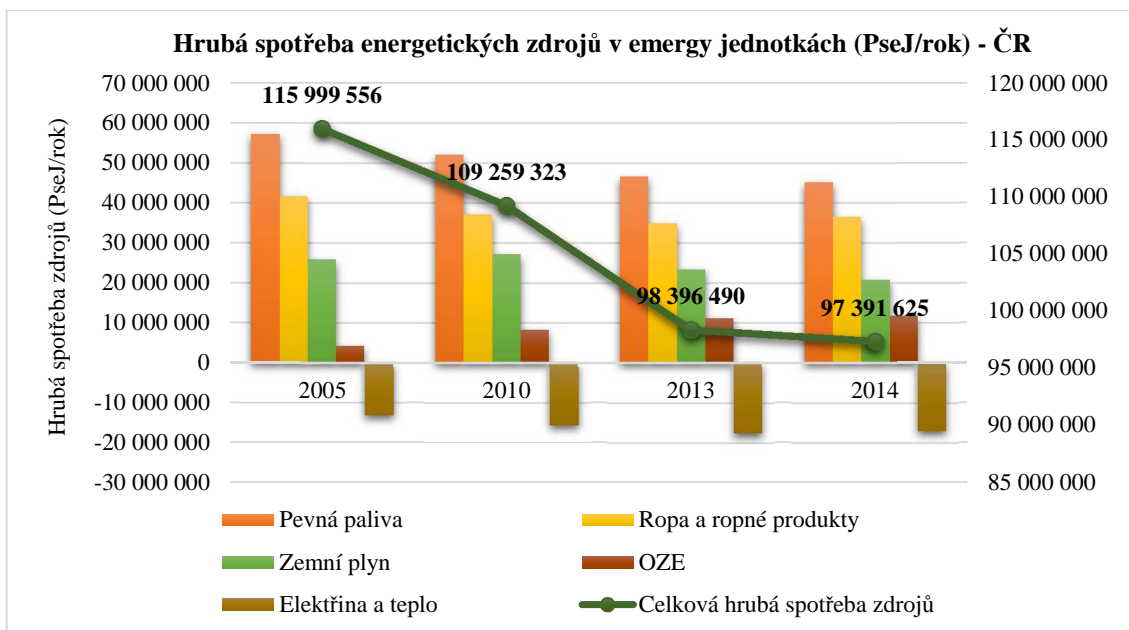


Obrázek 53 Složení hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů (%) a celková hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů (PJ/rok) – ČR (B)

Jak je patrné z grafu na obrázku 53, případně z tabulky 38, hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů od roku 2010 postupně klesala a s ní i podíl pevných fosilních paliv a zemního plynu na celkové hrubé domácí spotřebě energetických zdrojů. Naproti tomu se postupně zvyšoval podíl jaderné energie a elektřiny a OZE. V porovnání s variantou A je zastoupení OZE a elektřiny a tepla vyšší řádově o jednotky procent stejně jako u primární produkce energetických zdrojů.

	Hrubá spotřeba energetických zdrojů v emeryg jednotkách (PseJ/rok) - ČR				Hrubá spotřeba energetických zdrojů (%) - ČR			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	57 284 022	52 077 404	46 562 203	45 238 107	49,38%	47,66%	47,32%	46,45%
Ropa a ropné produkty	41 714 432	37 239 827	34 852 630	36 512 713	35,96%	34,08%	35,42%	37,49%
Zemní plyn	25 930 979	27 166 428	23 382 653	20 810 763	22,35%	24,86%	23,76%	21,37%
OZE	4 234 611	8 353 566	11 202 227	11 826 533	3,65%	7,65%	11,38%	12,14%
Elektřina a teplo	-13 164 487	-15 577 901	-17 603 223	-16 996 491	-11,35%	-14,26%	-17,89%	-17,45%
Celkem	115 999 556	109 259 323	98 396 490	97 391 625	100%	100%	100%	100%

Tabulka 39 Tabulka hrubé spotřeby energetických zdrojů (PseJ/rok)/(%) – ČR (B)



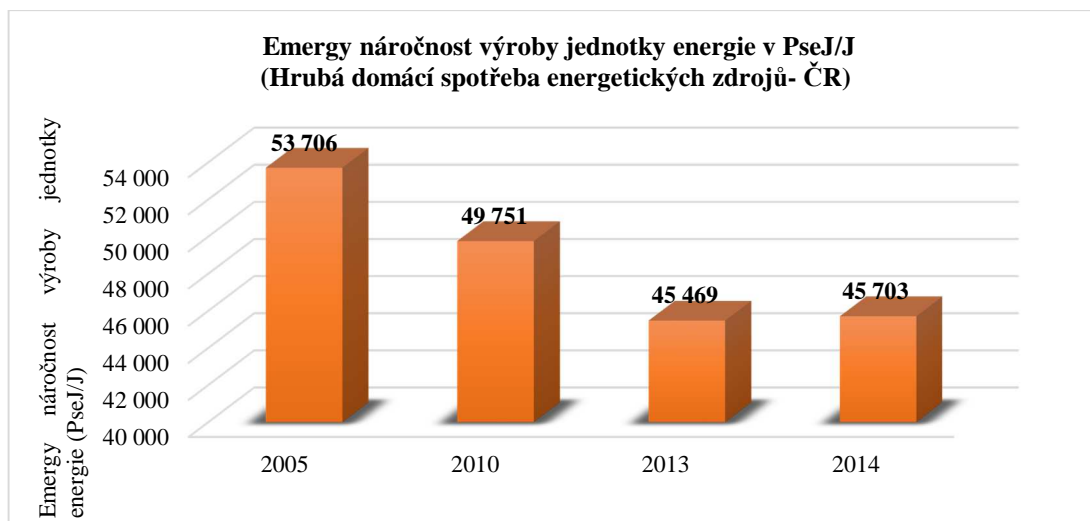
Obrázek 54 Hrubá spotřeba energetických zdrojů a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (PseJ/rok) – ČR (B)

U hrubé spotřeby energetických zdrojů přepočtené na emery jednotky je trend hrubé spotřeby solárních Joulů stejný včetně měnící se struktury. Transformity elektřiny je vysoké oproti jaderné energii a při přepočtu na solární Jouly převyšuje záporná hodnota elektřiny hodnotu jaderné energie emery jednotkách. Česká republika je totiž vývozcem elektřiny. Do hrubé spotřeby energetických zdrojů se započítává saldo elektřiny, které pro ČR dává zápornou hodnotu. Z tohoto důvodu je na obrázku 54 použit jiný typ grafu než u předešlých variant.

Poslední krokem je spočítat emery náročnost výroby jednoho Joulu hrubé spotřeby energie. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 40 a získala jsem je jako podíl celkového emery (v PseJ/rok) a celkové energie hrubé spotřeby zdrojů pro každý rok (v J/rok). Jedná se o hodnoty uvedené v posledním řádku tabulek 38 a 39.

Výroba jednotky energie v PseJ/J (Hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů - ČR)				
Rok:	2005	2010	2013	2014
Česká republika	53 706	49 751	45 469	45 703

Tabulka 40 Emery náročnost výroby jednotky energie v PseJ/J – ČR (B)



Obrázek 55 Emergy náročnost výroby jednotky energie – ČR (B)

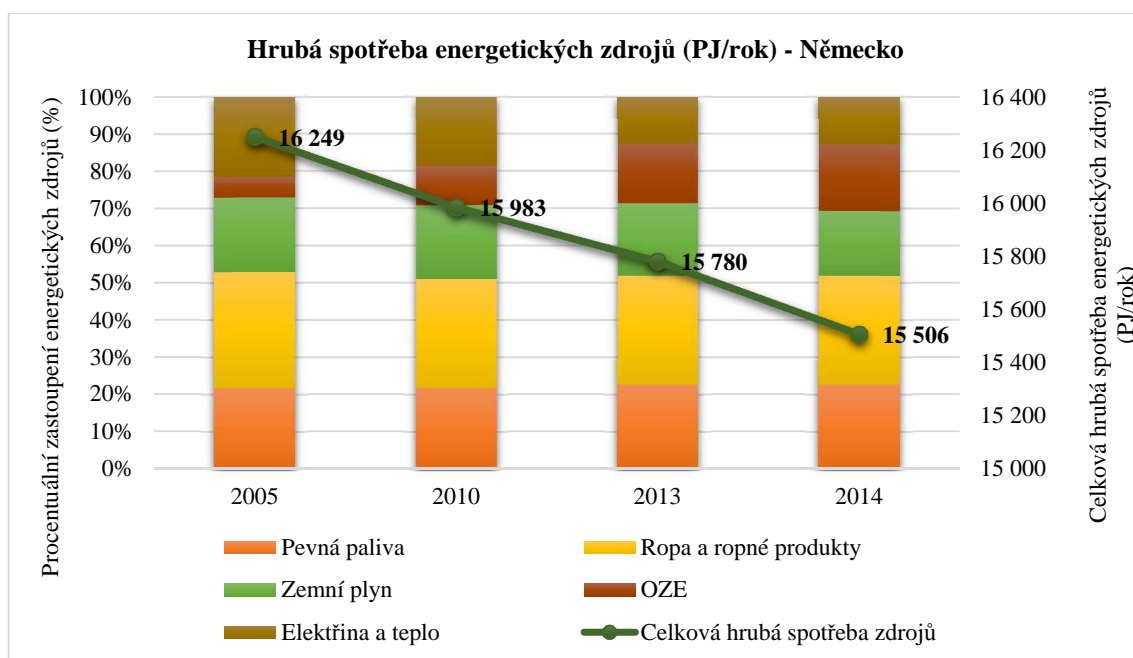
Údaje z tabulky 40 jsou přehledně zaneseny do grafu na obrázku 55. Z grafu je patrné, že emergy náročnost výroby jednotky energie se postupně snižovala a v roce 2014 mírně stoupla díky zvýšení podílu ropy. Bližší analýzu jsem umístila až do kapitoly 3.4.2.4., kde se nachází výsledné hodnoty emergy náročnosti všech zemí.

3.4.2.2. Německo – hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů varianta B

Složení hrubé spotřeby energetických zdrojů (v %) a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (v PJ/rok) v Německu v jednotlivých letech se nachází v grafu na obrázku 56 a v tabulce 41. Stejně tak je tomu u grafu na obrázku 57 a u tabulky 42, kde je hrubá spotřeba energetických zdrojů uvedena v emergy jednotkách (v PseJ/rok).

	Hrubá spotřeba energetických zdrojů (PJ/rok) - Německo				Hrubá spotřeba energetických zdrojů (%) - Německo			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	3 509	3 464	3 589	3 514	21,59%	21,67%	22,74%	22,66%
Ropa a ropné produkty	5 086	4 681	4 604	4 539	31,30%	29,29%	29,17%	29,27%
Zemní plyn	3 257	3 178	3 061	2 682	20,04%	19,88%	19,40%	17,30%
OZE	884	1 671	2 536	2 790	5,44%	10,45%	16,07%	17,99%
Elektřina a teplo	3 514	2 990	1 991	1 981	21,63%	18,70%	12,62%	12,78%
Celkem	16 249	15 983	15 780	15 506	100%	100%	100%	100%

Tabulka 41 Tabulka hrubé spotřeby energetických zdrojů (PJ/rok)/(%) – Německo (B)

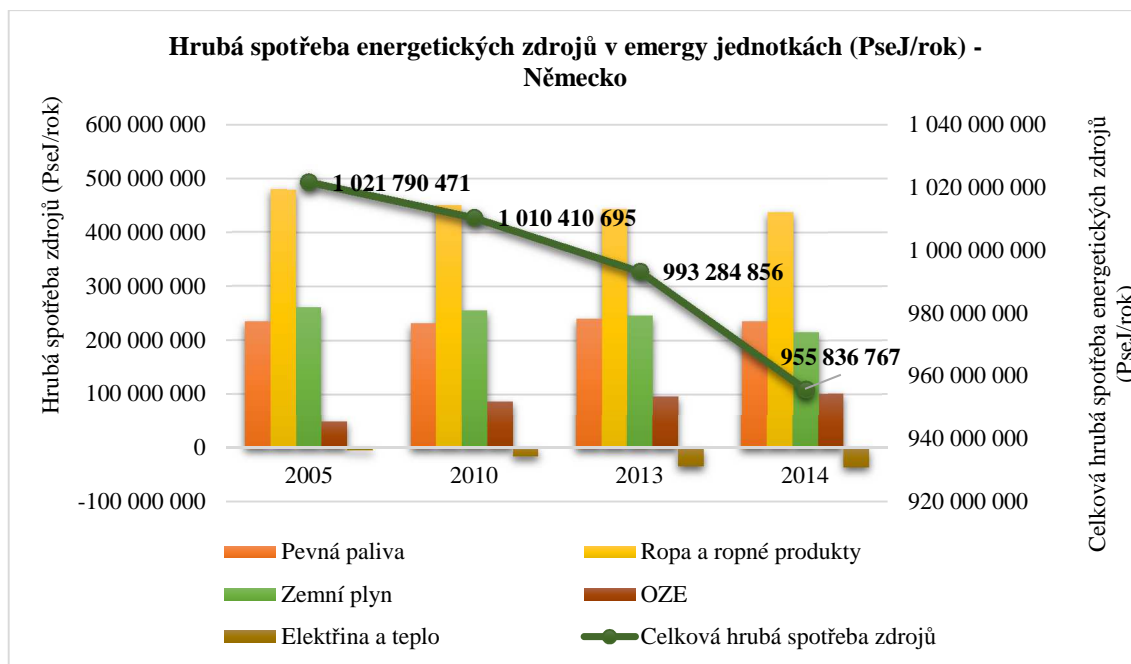


Obrázek 56 Složení hrubé spotřeby energetických zdrojů (%) a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (PJ/rok) – Německo (B)

Jak je patrné z grafu na obrázku 56, případně z tabulky 41, hrubá spotřeba energetických zdrojů postupně klesala. Klesal také podíl zemního plynu na celkové hrubé spotřebě energetických zdrojů. Podíl elektřiny a tepla a ropy a ropných produktů klesaly do roku 2013. Naproti tomu se zvyšoval podíl pevných fosilních paliv a OZE.

	Hrubá spotřeba energetických zdrojů v emeryj jednotkách (PseJ/rok) - Německo				Hrubá spotřeba energetických zdrojů (%) - Německo			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	235 074 886	232 081 642	240 458 238	235 417 132	23,01%	22,97%	24,21%	24,63%
Ropa a ropné produkty	479 992 404	450 877 367	443 771 086	438 376 576	46,98%	44,62%	44,68%	45,86%
Zemní plyn	261 841 280	255 522 645	246 086 771	215 638 154	25,63%	25,29%	24,78%	22,56%
OZE	49 508 974	87 419 179	96 492 222	101 701 281	4,85%	8,65%	9,71%	10,64%
Elektřina a teplo	-4 627 073	-15 490 138	-33 523 462	-35 296 375	-0,45%	-1,53%	-3,38%	-3,69%
Celkem	1 021 790 471	1 010 410 695	993 284 856	955 836 767	100%	100%	100%	100%

Tabulka 42 Tabulka hrubé spotřeby energetických zdrojů (PseJ/rok)/ (%) – Německo (B)



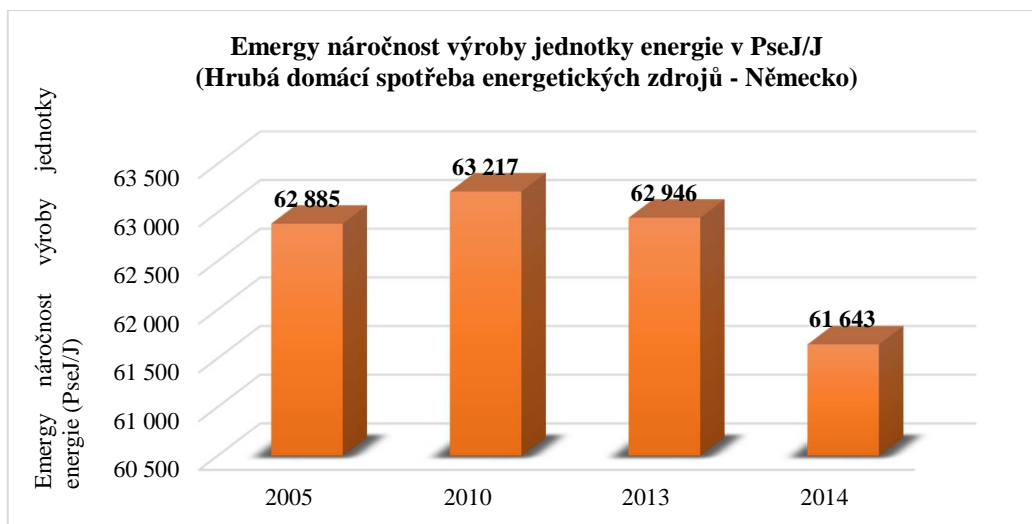
Obrázek 57 Hrubá spotřeba energetických zdrojů a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (PseJ/rok) – Německo (B)

U hrubé spotřeby energetických zdrojů přepočtených na emery jednotky je trend spotřeby solárních Joulů stejný včetně měnící se struktury. Z grafu na obrázku 57 je patrná převaha ropy a ropných produktů u hrubé spotřeby energetických zdrojů. To je dané vysokým transformitv pro ropné produkty, jejichž spotřeba je v Německu vysoká dle grafu na obrázku 56.

Hodnoty emery náročnosti výroby jednoho Joulu z dat hrubé domácí spotřeby energie jsou uvedeny v tabulce 43 a získala jsem je jako podíl celkového emery (v PseJ/rok) a celkové energie hrubé domácí spotřeby zdrojů pro každý rok (v J/rok). Jedná se o hodnoty uvedené v posledním řádku tabulek 41 a 42.

Výroba jednotky energie v PseJ/J (Hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů - Německo)				
Rok:	2005	2010	2013	2014
Německo	62 885	63 217	62 946	61 643

Tabulka 43 Emery náročnost výroby jednotky energie v PseJ/J – Německo (B)



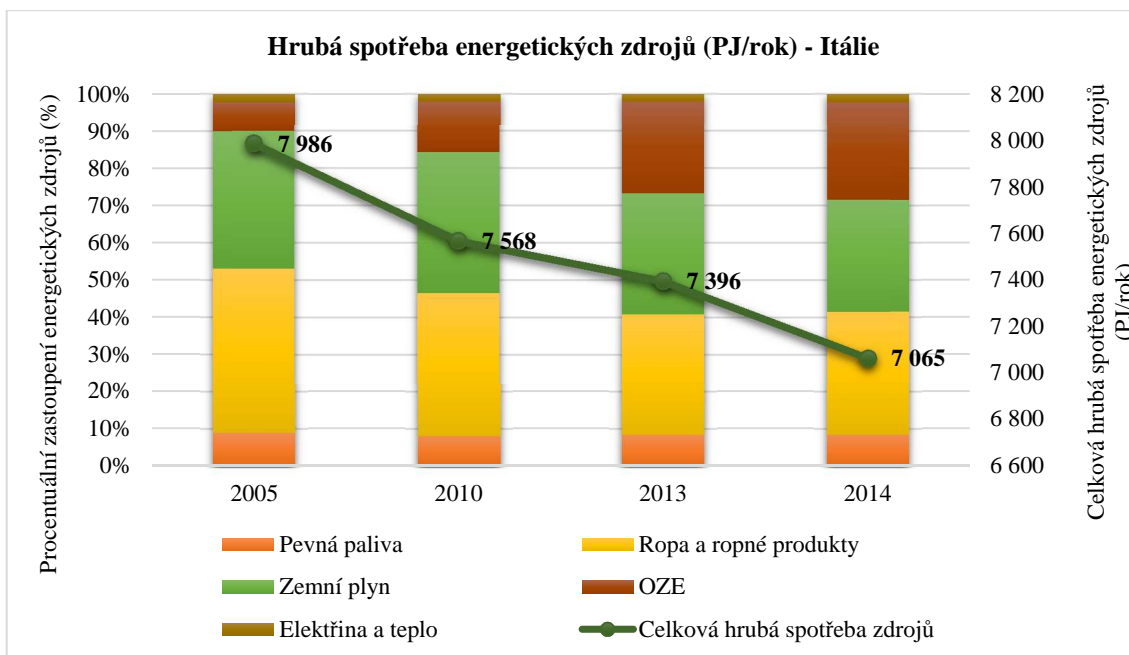
Obrázek 58 Emergy náročnost výroby jednotky energie – Německo (B)

3.4.2.3. Itálie – hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů varianta B

Složení hrubé spotřeby energetických zdrojů (v %) a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (v PJ/rok) v Itálii v jednotlivých letech se nachází v grafu na obrázku 59 a v tabulce 44. Stejně tak je tomu u grafu na obrázku 60 a u tabulky 45, kde je hrubá spotřeba energetických zdrojů uvedena v emergy jednotkách (v PseJ/rok).

	Hrubá spotřeba energetických zdrojů (PJ/rok) - Itálie				Hrubá spotřeba energetických zdrojů (%) - Itálie			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	717	616	615	596	8,98%	8,13%	8,31%	8,43%
Ropa a ropné produkty	3 516	2 910	2 405	2 337	44,02%	38,45%	32,52%	33,08%
Zemní plyn	2 958	2 850	2 403	2 123	37,04%	37,65%	32,49%	30,05%
OZE	618	1 034	1 821	1 852	7,74%	13,66%	24,62%	26,21%
Elektřina a teplo	177	159	152	157	2,22%	2,10%	2,05%	2,23%
Celkem	7 986	7 568	7 396	7 065	100%	100%	100%	100%

Tabulka 44 Tabulka hrubé spotřeby energetických zdrojů (PJ/rok)/(%) – Itálie (B)

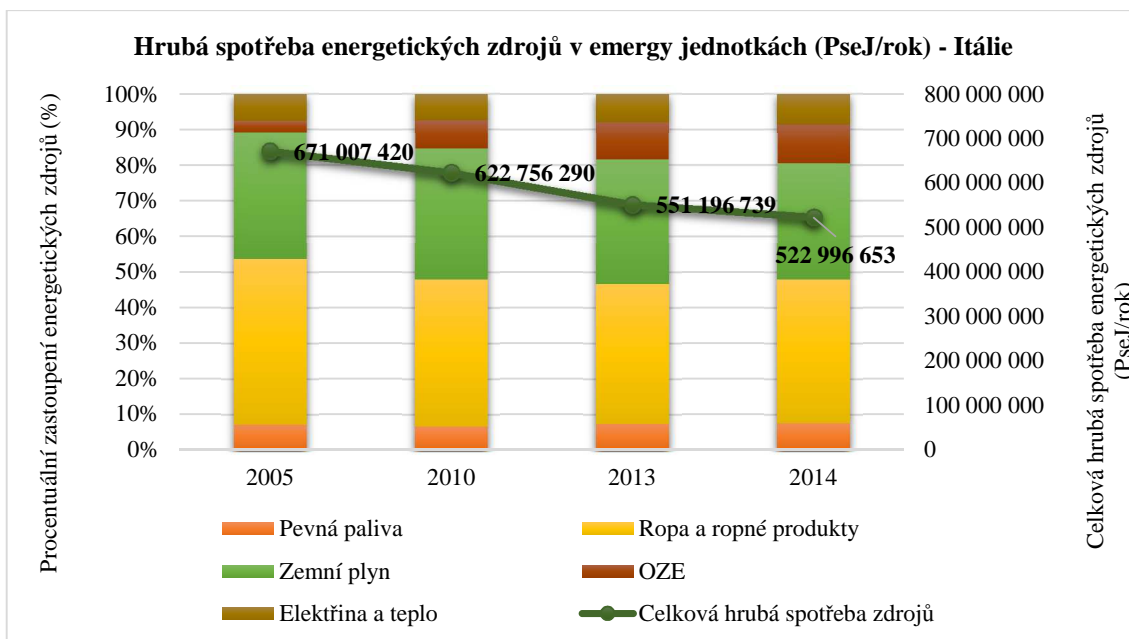


Obrázek 59 Složení hrubé spotřeby energetických zdrojů (%) a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (PJ/rok) – Itálie (B)

Jak je patrné z grafu na obrázku 59, případně z tabulky 44, hrubá spotřeba energetických zdrojů se snižovala. V Itálii mají na hrubé spotřebě energetických zdrojů největší podíl ropa a ropné produkty a zemní plyn. Tyto podíly mírně klesaly. Podíl pevných fosilních paliv na hrubé spotřebě energetických zdrojů od roku 2010 mírně stoupal. Podíl elektřiny a tepla je v Itálii kolem 2 %. Důvodem je absence jaderné energie. Saldo elektřiny je v Itálii kladné.

	Hrubá spotřeba energetických zdrojů v emeryjích jednotkách (PseJ/rok) - Itálie				Hrubá spotřeba energetických zdrojů (%) - Itálie			
	2005	2010	2013	2014	2005	2010	2013	2014
Pevná paliva	48 065 839	41 240 568	41 195 684	39 905 250	7,16%	6,62%	7,47%	7,63%
Ropa a ropné produkty	312 637 512	256 823 965	215 597 758	211 037 696	46,59%	41,24%	39,11%	40,35%
Zemní plyn	237 835 853	229 103 546	193 184 613	170 694 042	35,44%	36,79%	35,05%	32,64%
OZE	21 142 715	49 483 898	57 227 132	55 716 759	3,15%	7,95%	10,38%	10,65%
Elektrina a teplo	51 325 502	46 104 313	43 991 553	45 642 906	7,65%	7,40%	7,98%	8,73%
Celkem	671 007 420	622 756 290	551 196 739	522 996 653	100%	100%	100%	100%

Tabulka 45 Tabulka hrubé spotřeby energetických zdrojů (PseJ/rok)/ (%) – Itálie (B)



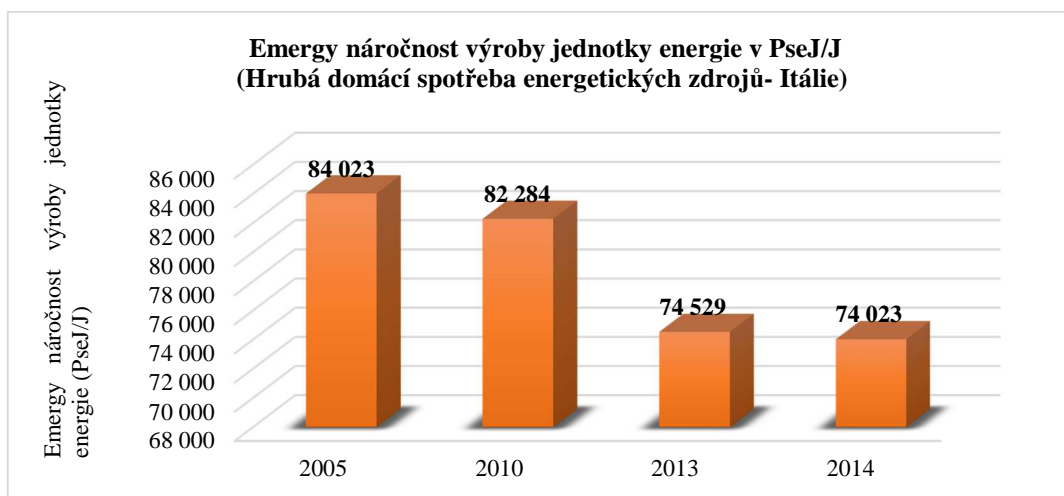
Obrázek 60 Složení hrubé spotřeby energetických zdrojů (%) a celková hrubá spotřeba energetických zdrojů (PseJ/rok) – Itálie (B)

U hrubé spotřeby energetických zdrojů přepočtených na emery jednotky je trend hrubé spotřeby solárních Joulů stejný včetně měnící se struktury.

Hodnoty emery náročnosti výroby jednoho Joulu z dat hrubé spotřeby energie jsou uvedeny v tabulce 46 a vyobrazeny v grafu na obrázku 61.

Výroba jednotky energie v PseJ/J (Hrubá domácí spotřeba energetických zdrojů - Itálie)				
Rok:	2005	2010	2013	2014
Itálie	84 023	82 284	74 529	74 023

Tabulka 46 Emery náročnost výroby jednotky energie v PseJ/J – Itálie (B)



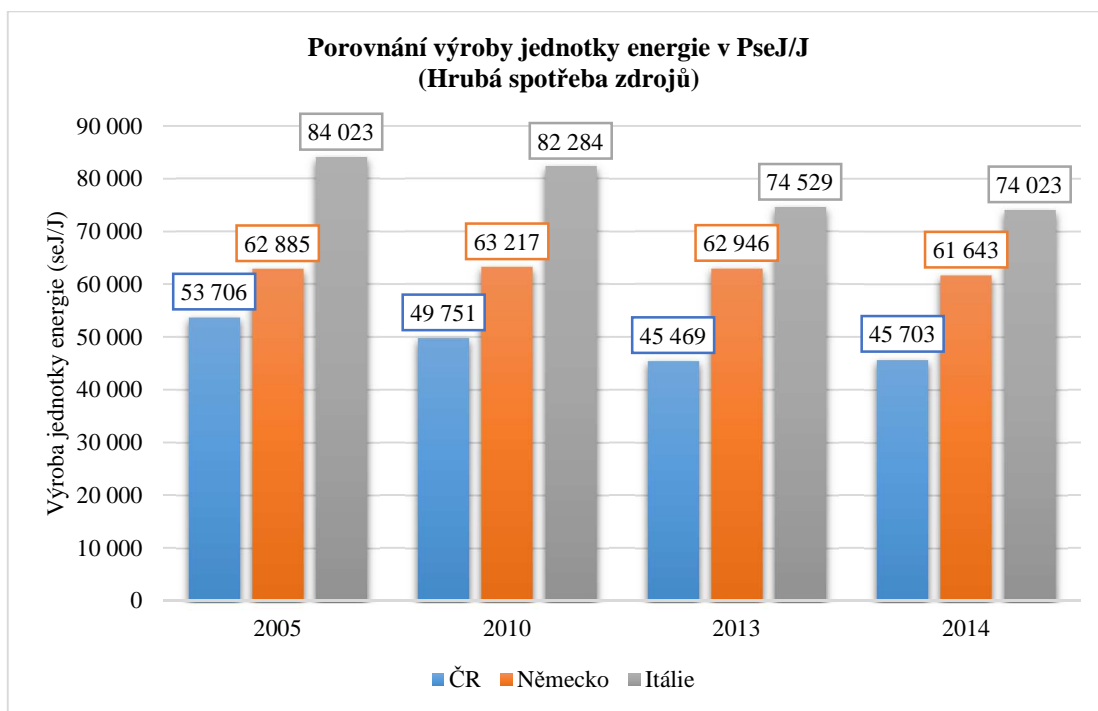
Obrázek 61 Emery náročnost výroby jednotky energie – Itálie (B)

3.4.2.4. Porovnání výroby jednotky energie ve vybraných zemích

Pro porovnání emery náročnosti výroby jednotky energie pro vybrané země vycházející z hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů jsem vytvořila graf na obrázku 62 a tabulku 47.

Psej/J	ČR	Německo	Itálie
2005	53 706	62 885	84 023
2010	49 751	63 217	82 284
2013	45 469	62 946	74 529
2014	45 703	61 643	74 023

Tabulka 47 Porovnání emery náročnosti výroby jednotky energie – hrubá spotřeba (B)



Obrázek 62 Graf porovnání emery náročnosti výroby jednotky energie ve vybraných zemích – hrubá spotřeba zdrojů (B)

Z grafu na obrázku 62 vyplývá, že nejnižší emery náročnost hrubé spotřeby energetických zdrojů u varianty B je v ČR a nejvyšší v Itálii. Důvodem je zejména zastoupení OZE, salda elektřiny a jaderné energie v energetických mixech jednotlivých zemí.

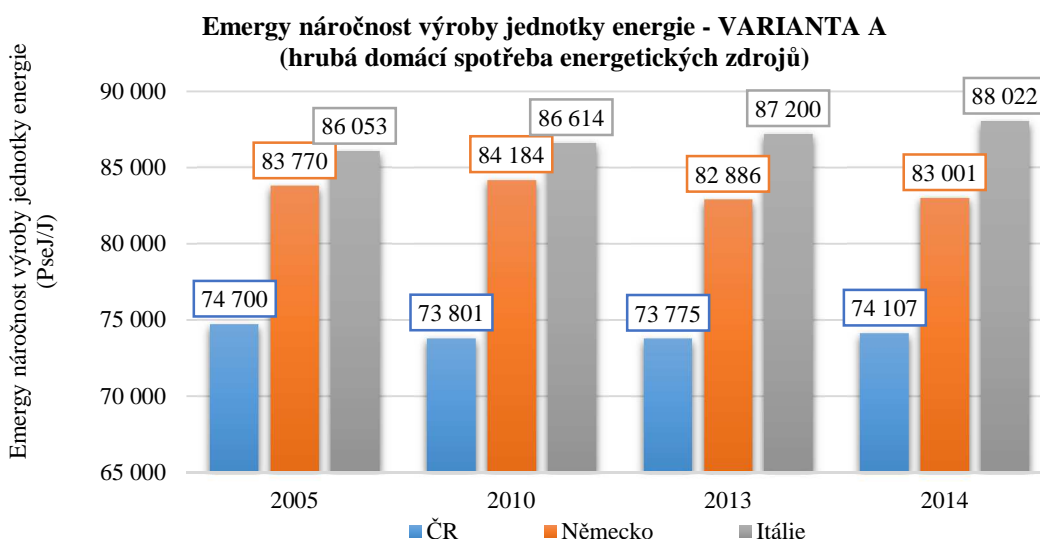
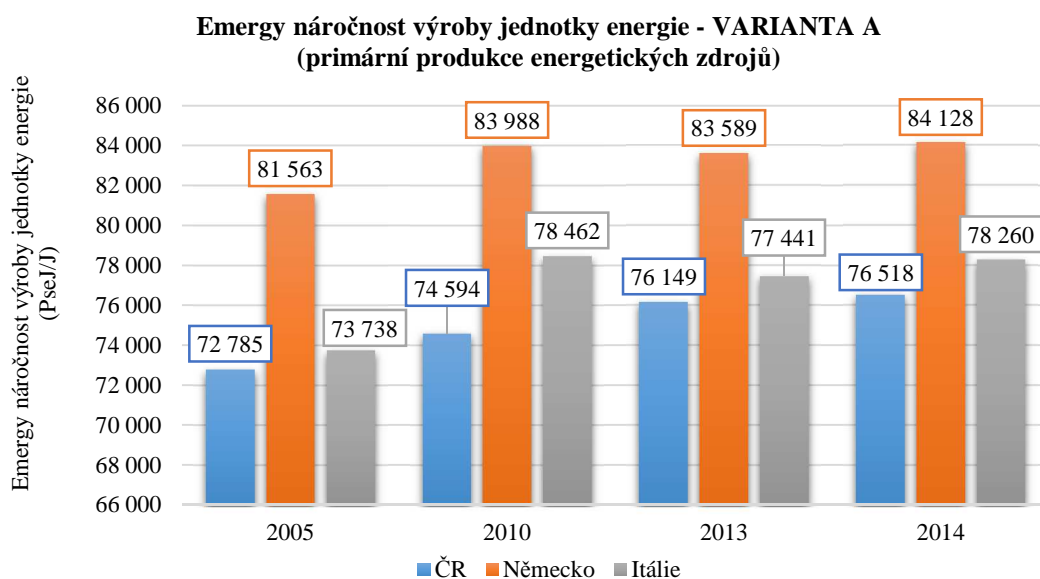
U varianty B jsem přepočítala hodnoty primární produkce zdrojů některých OZE a jaderné energie na využitou geopotenciální energii vody, slunečního záření, potenciální energie větru a množství využitého jaderného paliva. Tyto energetické zdroje mají velmi nízké transformity, proto procentuální zastoupení na celkové produkci solárních Joulů je nízké. Jaderné palivo má oproti ostatním zdrojům vysokou výhřevnost, ale velmi nízké transformity, jelikož se jedná o přírodní surovinu. To způsobuje, že procentuální zastoupení měřené v Joulech je vysoké a pokud přepočteme tuto hodnotu na emery jednotky, je procentuální zastoupení jaderné energie velmi nízké. Skupinu elektřina a teplo však velmi ovlivňuje saldo elektřiny. Jelikož je Česká republika

vývozcem elektřiny, je tato skupina po přepočtení na emery jednotky zastoupena v záporných číslech. Elektřina má totiž ve variantě B vysokou hodnotu transformity a jaderné palivo naopak nízké. Výhřevnost jaderného paliva je však velmi vysoká, proto procentuální zastoupení jaderné energie v Joulech převyšuje záporné saldo elektřiny a hodnota skupiny elektřina a teplo je pak kladná.

Výsledná emery náročnost výroby energie při použití těchto dat vyjadřuje, kolik solárních Joulů je potřeba na výroby jednotky energie spotřebované na území jednotlivých zemí. Jedná se vlastně o vyjádření efektivnosti využití všech energetických zdrojů včetně salda elektřiny v přepočtu na emery jednotky jednotlivých zemí s uvažováním spotřeby potenciální energie větru, energie slunečního záření, geopotenciální energie vody a energie potřebného uranu.

3.5. Zhodnocení variant

Ve variantě A jsem přepočítala energetická data tak, jak jsou uvedená ve statistikách databáze EUROSTAT. V této variantě se u hodnot některých OZE (vodní, fotovoltaické a větrné) uvádí množství energie vyrobené elektrické energie a u jaderné energie a solárních kolektorů hodnota vyrobeného tepla. Transformity pro elektrickou energii a teplo je vysoké, a proto s narůstajícím podílem vybraných OZE nebo jaderné energie se v některých případech zvětšovala emery náročnost, zejména u varianty primární produkce energie. Variantu B jsem následně vytvořila na základě vypočtení skutečně využité energie těchto obnovitelných zdrojů a množství potřebného uranu pro udávanou hodnotu energie. Transformity potenciální energie větru, geotermální energie země, slunečního záření nebo uranu jsou řádově nižší než ve variantě A. Nejvíce výsledek ovlivnila jaderná energie u ČR a Německa, jelikož uran má velmi vysokou výhřevnost a jeho transformity je velmi nízké v porovnání s ostatními zdroji. Výsledek však ovlivnila také rozdílná struktura energetických mixů porovnávaných zemí. Jelikož jsou podrobné analýzy provedeny u jednotlivých variant zvlášť v předchozí části kapitoly 3, pro názornější porovnání jednotlivých variant zde uvedu výsledné grafy porovnání včetně jejich základní interpretace a porovnání. Výsledné grafy se nacházejí na obrázku 63 pro variantu A a na obrázku 64 pro variantu B.

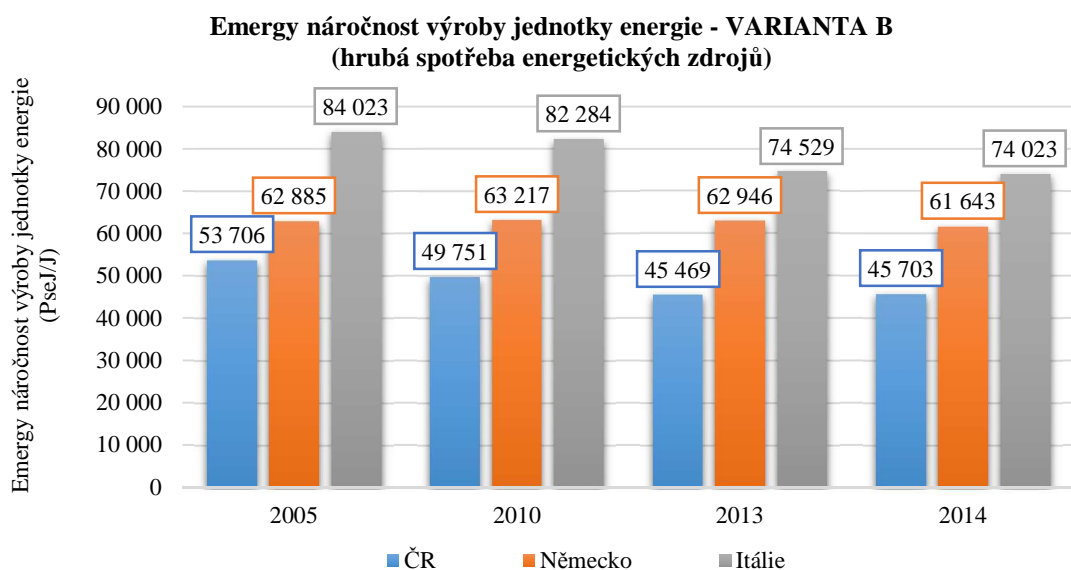
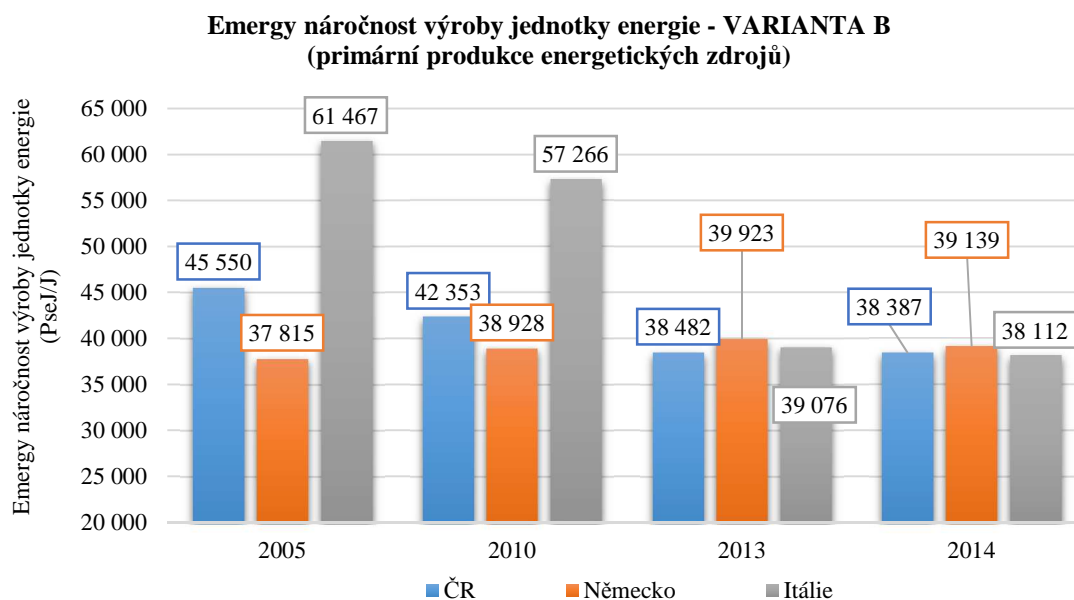


Obrázek 63 Grafy energy náročnosti výroby jednotky energie ve vybraných zemích – varianta A

U Varianty A primární produkce i hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů se stala z hlediska energy náročnosti produkce jednotky energie nejefektivnější zemí Česká republika. U primární produkce energetických zdrojů je to zejména díky nízkému energy fosilních paliv, které jsou nejvíce zastoupené v porovnání s ostatními zeměmi. U hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů je to dané zejména exportem elektrické energie, kterým ČR bez pochyby je.

Německo se stalo nejméně efektivní u primární produkce energetických zdrojů zejména díky vyššímu zastoupení OZE s vysokým transformity (hodnoty udávané jako množství elektrické energie) nebo v porovnání s ČR vyššímu zastoupení zemního plynu a ropy a ropných produktů s vyšším transformity. U hrubé domácí spotřeby energetických zdrojů však bylo Německo efektivnější než Itálie, a to díky tomu, že Německo je spíše exportérem elektrické energie, na rozdíl od Itálie, kde díky importu elektřiny je energy náročnost naopak vyšší. Itálie má také vyšší

zastoupení ropy a ropných produktů a zemního plynu, které mají opět vyšší transformity v porovnání s pevnými fosilními palivy. U primární produkce energetických zdrojů je emergy náročnost v Itálii nižší díky nezastoupení jaderné energie, která má u varianty A poměrně vysoké transformity v porovnání s ostatními energetickými zdroji.



Obrázek 64 Grafy emergy náročnosti výroby jednotky energie ve vybraných zemích – varianta B

Všeobecně u varianty B vyšly hodnoty emergy náročnosti nižší než u varianty A, je to zejména díky přepočtu některých zdrojů tak, jak je u vedeno výše. U Varianty B byly výsledky jednoznačné pouze u hrubé spotřeby energetických zdrojů. České republika se opět umístila na prvním místě jako nejefektivnější z porovnávaných zemí. U varianty B je to dané nejen převyšujícím exportem elektřiny s vysokým transformity, ale zejména díky vysokému zastoupení jaderné energie, která je díky vysoké výhřevnosti jaderného paliva využíváné ve variantě B

z pohledu emergy jednotek velmi efektivní. Nejméně efektivní je u hrubé domácí spotřeby varianty B Itálie stejně jako u varianty A.

Varianty primární produkce zdrojů mají dle mého názoru přesnější výsledky, jelikož se jedná pouze o produkci energie domácích energetických zdrojů. U varianty založené na základě dat hrubé domácí spotřeby je zanedbána energie potřebná k exportu a importu daných energetických zdrojů, avšak lépe vystihuje množství energie spotřebované na daném území. Proto je z mého pohledu nejpřesnější varianta B primární produkce zdrojů. V této variantě nejsou započítána exportovaná či importovaná množství energie a varianta B přepočítává některé OZE a jadernou energii na využití daných obnovitelných zdrojů. Pro tuto variantu však dopadly výsledky nejednoznačně, na rozdíl od ostatních výsledků, kde je porovnání evidentní. V roce 2005 a 2010 byla emergy náročnost nejnižší v Německu (a tím bylo Německo i nejefektivnější) a nejméně efektivní byla Itálie. V roce 2013 byla ČR nejefektivnější, v roce 2014 byla nejefektivnější Itálie, kdežto Německo dopadlo v obou letech nejhůře.

4. APLIKACE EMERGY SYSTÉMŮ PRO VÝPOČET EFEKTIVNOSTI

Využití emergy pro výpočet efektivity má velmi rozsáhlou škálu možností. Rozdíl ve vnímání výpočtů efektivity je zejména v tom, že emergy výpočty efektivity se dívají na problematiku spíše z ekologického a více globálního hlediska. Při výpočtech efektivity projektů z hlediska ekonomického vybíráme varianty, které nám přinesou například nejlepší rentabilitu, nejnižší dobu návratnosti nebo nejvyšší hodnotu čisté současné hodnoty a to s ohledem na peněžní stránku věci. Jelikož se podnikatelské subjekty snaží co nejvíce maximalizovat zisky bez ohledu na dopad na životní prostředí, snaží se vládní organizace zasahovat do tržního mechanismu různými regulačními prostředky. V energetice se jedná například o emisní povolenky, kdy při výběru nejvýhodnější varianty sice stále hledám co nejlepší ekonomické výsledky, ale musím uvažovat také výdaje týkající se těchto opatření.

V této části diplomové práce se věnuji porovnání efektivity spotřeby pohonných hmot automobilů využívajících různá pohonná paliva v přepočtu na emergy jednotky. V podstatě se jedná o výpočet spotřeby množství solárních Joulů pro ujetí 100 km porovnatelnými automobily poháněnými elektřinou, benzínem, motorovou naftou, vodíkem nebo bionaftou. Veškeré výpočty a výstupní grafy se nacházejí na příloženém CD tvořící přílohu 1 této práce (v souboru s názvem *4_Výpočet efektivity*).

4.1. Vstupní údaje

V první řadě je nutno získat data potřebná pro výpočet. Těmi jsou zejména transformity pro jednotlivé pohonné hmoty a energetická náročnost jednotlivých pohonných hmot v Joulech na litr.

4.1.1. Solární transformity

V tabulce 48 se nachází přehled solárních transformity pro vybrané pohonné hmoty. Údaje jsou převzaté z kapitoly 3.1.3.2. (motorová nafta a benzín), 3.1.3.6. (elektřina) a 3.1.3.4. (bionafta). Vodík získávaný elektrolýzou má transformity 139 000 seJ/J. [15]

Druh pohonné hmoty	Solární transformity (seJ/J)
Benzín	111 000
Motorová nafta	111 000
Vodík	139 000
Bionafta	231 000
Elektřina	290 000

Tabulka 48 Přehled solárních transformity pro vybrané pohonné hmoty

Pro pohonné hmoty jako je benzín a motorová nafta byla stanovena stejná hodnota transformity. Na základě údajů v tabulce 48 lze tvrdit, že spotřeba solárních Joulů na jeden J je největší u elektřiny. To vyplývá ze skutečnosti, že elektřina je v transformačním řetězci nejdále v porovnání s ostatními pohonnými hmotami. Jelikož hodnoty transformity jsou převzaty z podobných pramenů, předpokládám, že výpočet proběhl na stejném základě a tudíž je mohu využít v jednom výpočtu porovnání efektivnosti jednotlivých pohonných paliv.

4.1.2. Výběr variant automobilů

Dále bylo nutné vybrat automobily pro porovnání. Zvolila jsem osobní automobily s podobným maximálním výkonem motoru. Jelikož chci porovnat pouze náročnost jednotlivých pohonných paliv na spotřebu solárních Joulů, nepotřebuji pro další výpočty jiné údaje. Cílem je tedy porovnat jednotlivé automobily z hlediska spotřeby paliv na jednotku vzdálenosti v přepočtu na emergy jednotky. Přehled vybraných automobilů je uveden v tabulce 49.

	Nissan Leaf [42]		Nissan Quaschoa [43]				Honda FCX Clarity [35]			
Palivo:	elektřina		motorová nafta/ bionafta		benzín		vodík			
Maximální výkon (kW)	80		80		80		100			
Průměrná spotřeba	15,00	kWh/100 km	4,60	l/100 km	5,60	l/100 km	0,87	kg/100 km	12,27	l/100 km

Tabulka 49 Přehled vybraných automobilů pro porovnání

Nejdůležitějším parametrem je pro výpočet efektivnosti průměrná spotřeba paliva. Pro elektromobily se průměrná spotřeba uvádí nejčastěji v jednotkách kWh/100 km. U automobilů využívajících motorovou naftu, bionaftu a benzín je hodnota uváděna v l/100 km. Pro automobil poháněný vodíkem jsem našla průměrnou spotřebu v jednotkách kg/km [35]. Automobily poháněné vodíkem jsou zatím spíše ve fázi vývoje.

4.1.3. Výhřevnost a hustota pohonných paliv

Aby bylo možno vypočítat počet Joulů spotřebovaných na 100 km všech automobilů, je potřeba kromě průměrné spotřeby jednotlivých automobilů získat výhřevnosti jednotlivých pohonných paliv. K výpočtu výhřevností jsem využila průměrných hodnot hustoty, případně přímo výhřevnosti jednotlivých pohonných hmot.

4.1.3.1. Motorová nafta

Výhřevnost motorové nafty je 42,61 MJ/kg.[37] Hustota motorové nafty se pohybuje v rozmezí od 820 do 845 kg/m³. [38] Pro výpočet hustoty jsem využila průměrné hodnoty, tj. 832,5 kg/m³.

4.1.3.2. Benzín

Výhřevnost benzínu je 43,59 MJ/kg.[37] Hustota benzínu se pohybuje v rozmezí od 720 do 775 kg/m³. [38] Pro výpočet hustoty jsem využila průměrné hodnoty, tj. 747,5 kg/m³.

4.1.3.3. Bionafta

Výhřevnost bionafty je 37,3 MJ/kg.[41] Hustota bionafty se pohybuje v rozmezí od 860 do 900 kg/m³. [38] Pro výpočet hustoty jsem využila průměrné hodnoty, tj. 880 kg/m³.

4.1.3.4. Vodík

Výhřevnost kapalného vodíku je 119 MJ/kg.[39] Hustota kapalného vodíku je 70,849 kg/m³. [40]

4.1.3.5. Přehled získaných hodnot

Získané a přepočtené údaje jsem zpracovala přehledně do tabulky 50.

	Jednotka	Motorová nafta	Benzín	Bionafta	Vodík
Hustota	(kg/m ³)	832,50	747,50	880,00	70,85
	(kg/l)	0,83	0,75	0,88	0,07
Výhřevnost	(MJ/kg)	42,61	43,59	37,30	119,00
	(MJ/l)	35,47	32,58	32,82	8,43

Tabulka 50 Přehled výhřevností a hustoty vybraných pohonných paliv

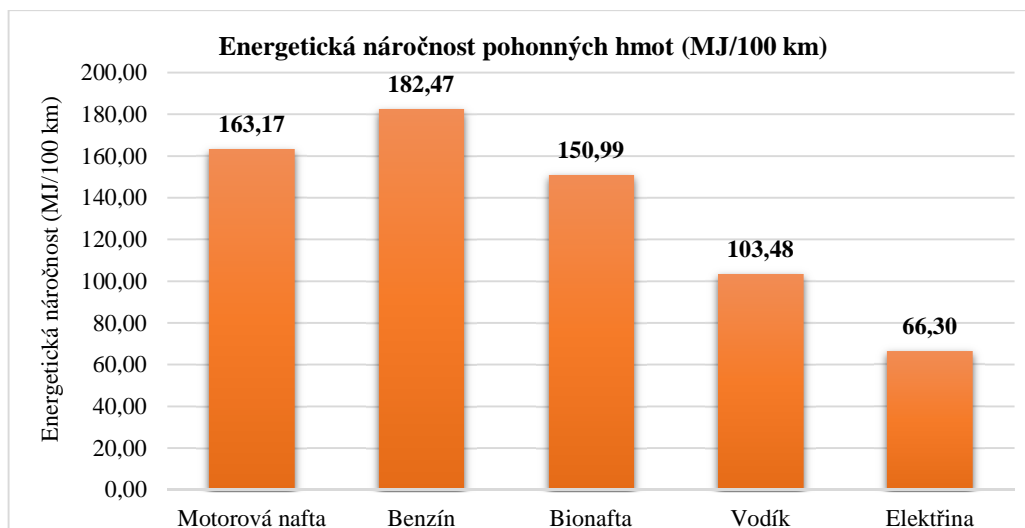
4.2. Výpočet energetické efektivity

Nyní potřebuji zjistit, jaké množství energie v Joulech spotřebuji na ujetí stokilometrové vzdálenosti s využitím různých druhů pohonných paliv. Tyto hodnoty získám vynásobením průměrné spotřeby paliva jednotlivých automobilů v l/100 km a výhřevnosti dané pohonné hmoty v MJ/l. Takto získám průměrnou spotřebu všech různých pohonných hmot v jednotkách MJ/100 km. Jinak je tomu u elektřiny, kde byla průměrná spotřeba elektřiny v kWh/100 km navýšena o ztráty při dobíjení a ztráty na vedení, které jsou 10 % a 9,5 %.[39] Přehled vypočítaných hodnot spotřeby se nachází v tabulce 51.

	Motorová nafta	Benzín	Bionafta	Vodík	Elektřina
Spotřeba (MJ/100 km)	163,17	182,47	150,99	103,48	66,30

Tabulka 51 Přehled energetické spotřeby dle druhu paliva

V grafu na obrázku 65 jsou hodnoty energetické náročnosti jednotlivých paliv z tabulky 51.



Obrázek 65 Porovnání energetické efektivity pohonných hmot

Nejvyšší energetická náročnost je u konvenčních paliv, jako je benzín nebo motorová nafta. Třetí nejhorší vyšla bionafta. Co se týče energetické efektivity paliv, nejlépe je na tom elektřina s nejnižší energetickou náročností.

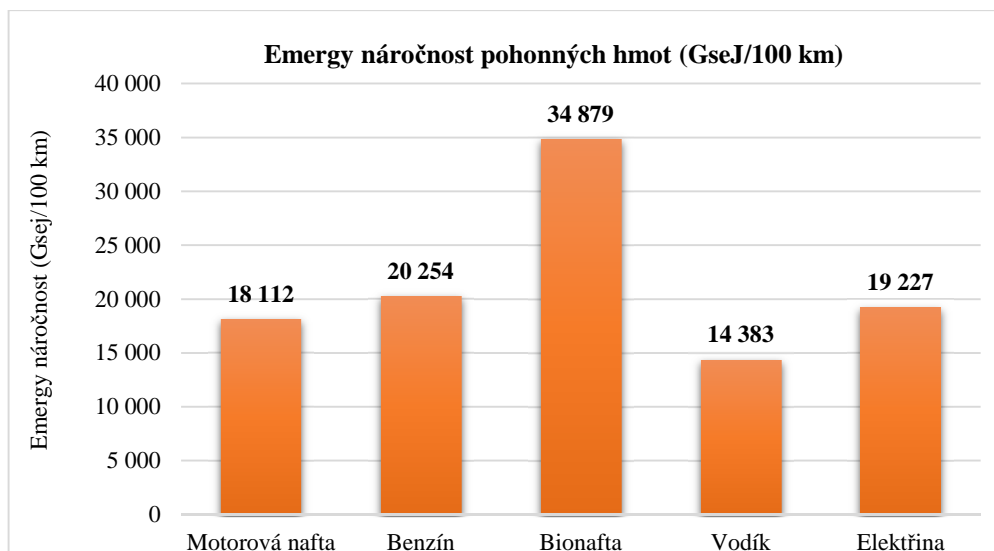
4.3. Výpočet emery efektivity

Nyní už je možno vypočítat emery efektivity jednotlivých pohonných paliv. Pro získání hodnoty emery efektivity v seJ/100 km jsem vynásobila průměrnou energetickou spotřebu v MJ/100 km a transformity v seJ/J. Tabulka 52 obsahuje vypočtené hodnoty pro všechny vybraná paliva.

	Motorová nafta	Benzín	Bionafta	Vodík	Elektřina
Spotřeba (MJ/100 km)	163,17	182,47	150,99	103,48	66,30
Solární transformity (seJ/J)	111 000	111 000	231 000	139 000	290 000
Emery náročnost (GseJ/100 km)	18 112	20 254	34 879	14 383	19 227

Tabulka 52 Emery efektivity jednotlivých pohonných paliv

Jak vyplývá z tabulky 52, nejlepší hodnota emery náročnosti je u vodíku. Co se týče motorové nafty a benzínu, hodnota je o něco málo vyšší, než hodnota vodíku. Zajímavého výsledku jsem dosáhla u elektřiny, kdy hodnota je vyšší než motorová nafta a něco málo nižší než benzín. Co se týče bionafty, emery efektivity je v tomto případě nejhorší. Nejhorší efektivity z pohledu emery vyšla pro využití bionafty a nejnižší u vodíku. Na obrázku 66 se nachází výsledky zanesené v grafu pro lepší porovnání.



Obrázek 66 Porovnání emergy efektivity pohonných hmot

Přesto, že jsou obvykle elektromobily považovány za ekologické vozy, v mém přepočtu na emergy jednotky vyšla spotřeba elektromobilu vyšší než u automobilu na motorovou naftu. Můj výpočet se zabývá spotřebou pohonných paliv a nezahrnuji do něj energetickou náročnost výroby jednotlivých automobilů nebo energetickou náročnost výstavby a provozu čerpacích, případně dobíjecích stanic. Z pohledu emergy jednotek je nejméně efektivní využití bionafty, a to zejména díky vysoké hodnotě transformity. Z uvedených hodnot transformity vyplývá, že emergy náročnost výroby bionafty je vyšší než u ostatních pohonných hmot jako je nafta nebo benzín. Elektřina má ze všech porovnávaných pohonných paliv nejvyšší transformity a přesto se nestala nejméně efektivním palivem. Vodík má druhé nejvyšší transformity a je dle mého výpočtu nejefektivnějším palivem. Je to z důvodu nízké energetické spotřeby v MJ uvedené v grafu na obrázku 65.

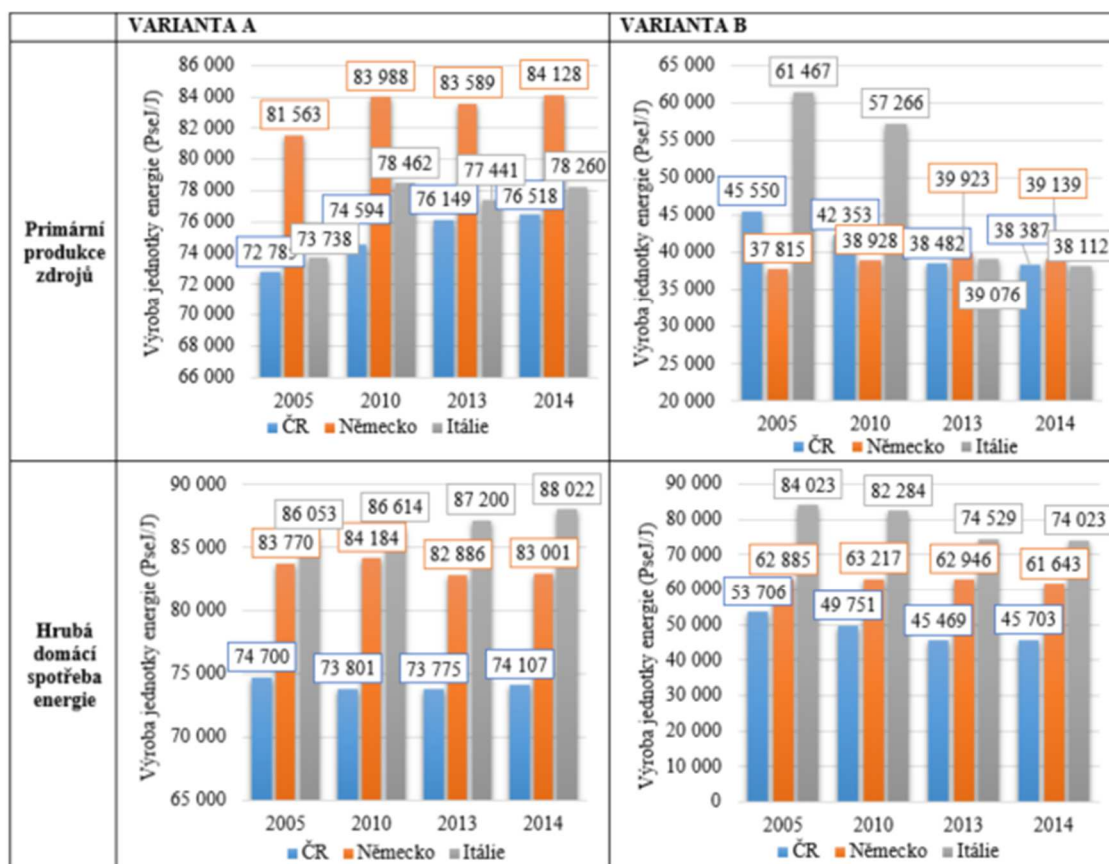
Ohledně výpočtu efektivity elektromobilů a nekonvenčních pohonných paliv se vedou různé diskuze a zpracovávají se různé studie. Výpočet v rámci této diplomové práce jsem provedla na základě emergy jednotky seJ, tedy solárních Joulů. Zjednodušeně řešeno jsem vypočetla, kolik energie slunečního záření je zapotřebí pro provoz automobilů na různá paliva pro ujetí stejné vzdálenosti (100 km). Jelikož se u automobilů průměrná spotřeba paliva uvádí v litrech, kg na kWh na 100 km, zvolila jsem právě tuto vzdálenost pro porovnání.

ZÁVĚR

Emergy systémy jsou rozvíjející se teorií založenou na myšlence vyjádření různých forem energie v jednotkách stojících na stejném základě. Doposud nebyla vydaná žádná veřejně dostupná publikace v českém jazyce týkající se emergy systémů, proto jsem v první části této práce shrnula základní informace týkající se emergy systémů obecně. Jelikož je tento pojem velmi rozsáhlý, nejprve bylo nutné nastudovat problematiku v širších souvislostech a následně shrnout ta nejdůležitější fakta do této rešeršní části. Dále jsem provedla analýzu existujících modelů a výpočtů souvisejících s emergy. Zjistila jsem, že existující dostupné emergy modely se týkají simulací vyčerpatelnosti různých zdrojů energie. Důležitým výstupem této analýzy je myšlenka, že pomocí správné kombinace čerpání obnovitelných a neobnovitelných zdrojů je z dlouhodobého hlediska toto portfolio nevyčerpatelné. V rámci této diplomové práce využívám jako základní emergy jednotku solární Jouly. Veškeré energetické produkty vzniknou transformačními procesy, na jejichž začátku se nachází energie slunečního záření.

Praktická část této práce využívá metody založené na výpočtech emergy náročnosti pomocí již určených transformity různých energetických zdrojů a pohonných paliv. Pomocí hodnot primární produkce či hrubé spotřeby energetických zdrojů jsem vypočetla emergy náročnost výroby jednotky energie v ČR, Německu a Itálii a provedla jsem pro všechny varianty podrobnou analýzu. Pro účely této práce jsem využila jako zdroj dat primární produkce a hrubé domácí spotřeby energie veřejně dostupnou databázi EUROSTAT. Předpokladem této práce je jednotnost stanovení výpočtu vstupních hodnot jednotlivých druhů energetických zdrojů zde uvedených pro všechny zkoumané země. Hodnoty transformity jsem získala z několika zdrojů, u kterých předpokládám jednotnou základní myšlenku jejich výpočtu. Ve variantě A jsem přepočítala energetická data tak, jak jsou uvedena ve statistikách databáze EUROSTAT. V této variantě se u hodnot některých OZE (vodní, fotovoltaické a větrné) uvádí množství energie vyrobené elektrické energie a u jaderné energie a solárních kolektorů hodnota vyrobeného tepla. Transformity pro elektrickou energii a teplo je vysoké, a proto s narůstajícím podílem vybraných OZE nebo jaderné energie se v některých případech zvětšovala emergy náročnost, zejména u varianty primární produkce energie. Variantu B jsem následně vytvořila na základě vypočtení skutečně využití energie těchto obnovitelných zdrojů a množství potřebného uranu pro udávanou hodnotu energie. Transformity potenciální energie větru, geotermální energie země, slunečního záření nebo uranu jsou řádově nižší než ve variantě A. Nejvíce výsledek ovlivnila jaderná energie u ČR a Německa, jelikož uran má velmi vysokou výhřevnost a jeho transformity je velmi nízké v porovnání s ostatními zdroji. Výsledek však ovlivnila také rozdílná struktura energetických mixů porovnávaných zemí.

V následující tabulce se nachází přehled výsledných grafů porovnávajících výrobu jednotky energie v přepočtu na emery jednotky pro vybrané země.



Varianty primární produkce zdrojů mají dle mého názoru přesnější výsledky, jelikož se jedná pouze o produkci energie domácích energetických zdrojů. U varianty založené na základě dat hrubé domácí spotřeby je zanedbána energie potřebná k exportu a importu daných energetických zdrojů, avšak lépe vystihuje množství energie spotřebované na daném území. Z mého pohledu je nejpřesnější varianta B primární produkce zdrojů. V této variantě nejsou započítána exportovaná či importovaná množství energie a varianta B přepočítává některé OZE a jadernou energii na využití daných obnovitelných zdrojů. Pro tuto variantu však dopadly výsledky nejednoznačně, na rozdíl od ostatních výsledků, kde je porovnání evidentní. V roce 2005 a 2010 byla emery náročnost nejnižší v Německu (a tím bylo Německo i nejefektivnější) a nejméně efektivní byla Itálie. V roce 2013 byla ČR nejefektivnější, v roce 2014 byla nejefektivnější Itálie, kdežto Německo dopadlo v obou letech nejhůře. Podrobnější analýza jednotlivých výsledných grafů se nachází v bodě 3 této práce.

V posledním bodě této diplomové práce jsem využila emery transformity pohonných hmot pro výpočet efektivnosti. Porovnála jsem spotřeby emery udané v solárních Joulech pro ujetí 100 km při využití benzínu, motorové nafty, bionafty, vodíku a elektřiny. V mém přepočtu na emery jednotky vyšla spotřeba elektromobilu vyšší než u automobilu na motorovou naftu. Můj výpočet

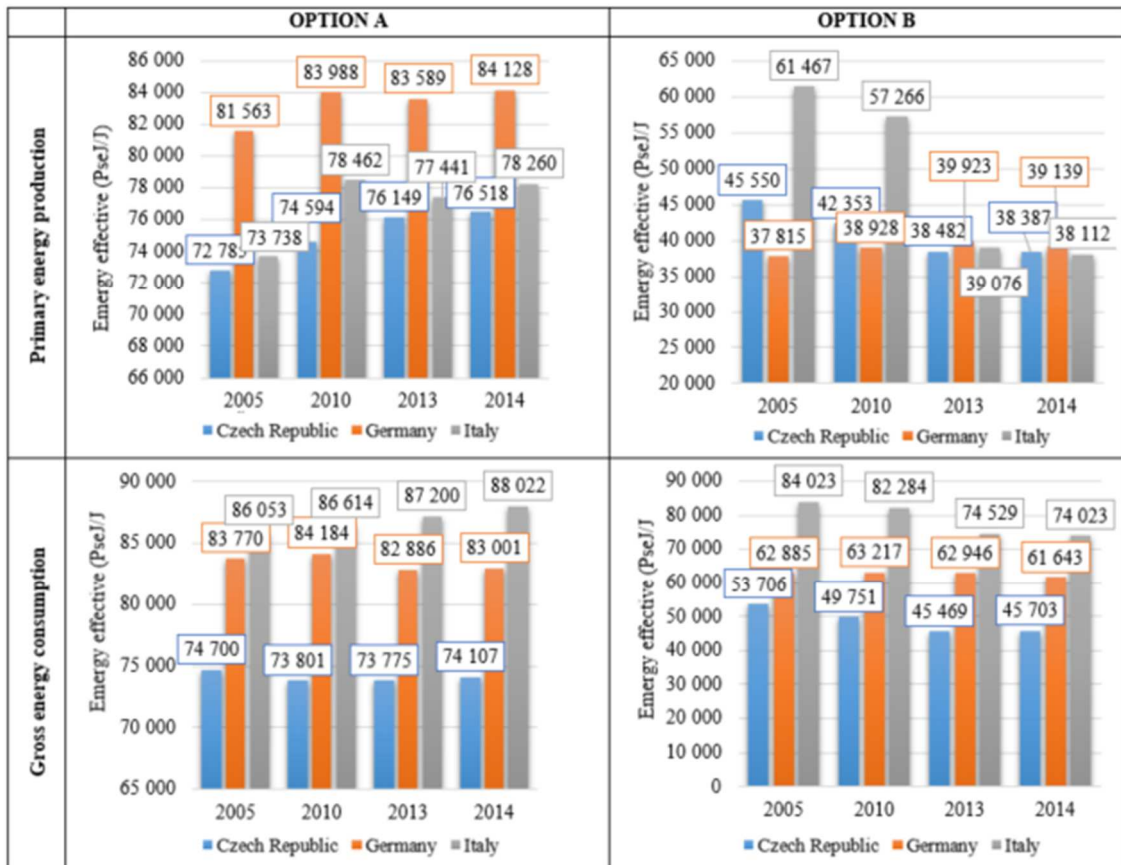
se zabývá spotřebou pohonných paliv a nezahrnuji do něj energetickou náročnost výroby jednotlivých automobilů nebo energetickou náročnost výstavby a provozu čerpacích, případně dobíjecích stanic. Z pohledu emery jednotek je nejméně efektivní využití bionafty, a to zejména díky vysoké hodnotě transformity.

SUMMARY

Emergy systems represent a developing theory based on the idea of expressing various forms of energy as units of the same basis. There has not been any work published in the Czech language on the emergy systems which would be available to the public so far, therefore I provided a general overview of the emergy systems basics in the first part of the thesis. Due to the subject's complexity, it was necessary to study the matter in a broader context and subsequently summarize the most relevant facts in the research part. Then, I performed an analysis of existing models and emergy related calculations. I found out that the existing and available emergy models were concerned with a simulation of the exhaustibility of various energy resources. An important finding of this analysis was the fact that with the right mixture of both renewable and non-renewable resources an inexhaustible energy resource can be achieved from a long-term perspective. I used a solar Joule as the basic emergy unit as part of this thesis. All energy products are the results of transformation processes which are triggered by the sunlight.

The practical part of this thesis uses methods based on the calculations of emergy intensity with the help of already identified transformity of different energy resources and motor fuels. Using the values of both primary production and gross consumption of energy resources I calculated the emergy intensity of an energy unit's production in the Czech Republic, Germany and Italy, and also performed a detailed analysis of all the variants. I used the primary production and gross consumption of energy resources (a publicly available database EUROSTAT) as the main data sources for this thesis. This work's prerequisite is a characteristics' uniformity of the various types of energy resources given for all the tested countries. I retrieved the transformity values from multiple sources of which I assumed a uniform basic idea in their calculation. I converted the energy data in a way given in the statistical database EUROSTAT as part of the option A. In this option, the values of some of the renewable energy resources (hydro, solar, and wind) state the energy of produced electricity and the amount of produced heat for the nuclear and solar energy. The transformity of electricity and heat are high, thus the higher the share of these renewables or nuclear energy the higher the emergy intensity. This is especially true for the option using primary energy production. The option B was based on the calculation of actually consumed energy from each of the renewables and on the amount of uranium needed for the given energy value. The transformity of wind energy, geothermal energy, sunlight and uranium are much lower than in the option A. The result was mainly affected by the nuclear energy in case of the Czech Republic and Germany due to uranium's high calorific value as well as its low transformity in comparison with other energy resources. Additionally, the result was affected by the distribution of the energy mix in the given countries. An overview of the resulting graphs providing comparison of the

production of an energy unit per energy unit for selected countries is given below.



The variants of primary resource production provide, in my opinion, more accurate results as they deal only with the production of domestic energy resources. The A variant based on the gross domestic consumption neglects energy required for export and import of the given energy resources, however it reflects the amount of energy consumed within a given territory better. From my point of view, the most accurate variant is the variant B – primary production of resources. This variant does not take into account both exported and imported energy and the variant B converts some renewable energy resources and nuclear energy for the usage of the given renewable energy resources. However, this variant provided ambiguous results in comparison with the others for which the comparison was evident. In 2005 and 2010 the energy intensity was the lowest in Germany and the least effective in Italy. The Czech Republic showed the most effective energy intensity values in 2013; In 2014 Italy and Germany had the worst results in a second consecutive year. The explanation of each of the resulting graphs depicting the comparisons can be found in Chapter 3.

I devoted the last part of the thesis to the energy transformity of motor fuels for the calculation of effectiveness. I compared the energy consumption (expressed in Joules per 100 km) of petrol, diesel, biodiesel, hydrogen and electricity. Even though electric cars are considered to be ecological vehicles, my research demonstrated that they consume more energy units than diesel

cars. The calculation that I made considers the consumption of motor fuels and does not include the energy intensity of the vehicles' production or the energy demands for construction and operation of a filling or charging station. From the energy units' point of view the biodiesel's usage is the least effective, mainly due to its high transformity.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1) ODUM, H.T. 1996. *Environmental Accounting, Emery and Decision Making*. John Wiley, NY, 370 stran.
- 2) Převodník jednotek. In: TZB-info [online]. Topinfo s.r.o. 2001-2016 [vid. 1.4.2016]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/49-prevodnik-jednotek>
- 3) ODUM, H.T. 1971. *Environment, Power and Society*. John Wiley, NY. 336 stran.
- 4) ODUM, H.T. and E.C. Odum. 1976. *Energy Basis for Man and Nature*. McGraw-Hill, NY. 297 stran
- 5) ODUM, H.T., M.T. BROWN A S.B. WILLIAMS. 2000. *Handbook of Emery Evaluation Folio 1 - Introduction and Global Budget*. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, 16 stran. Dostupné z: <http://www.cep.ees.ufl.edu/emery/publications/folios.shtml>
- 6) HOWARD T. ODUM. Self-Organization, Transformity, and Information. In: swarma.org, [online], 2012 – 2022 [vid. 29.11.2015]. Dostupné z: http://swarma.org/thesis/doc/jake_191.pdf
- 7) Fyzikální veličiny a jejich jednotky. Extenzivní a intenzivní veličiny [online]. In: Ústav fyziky, Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií v Brně [vid. 17.12.2015]. Dostupné z: <http://fyzika.feec.vutbr.cz/vyuka/fp1/00/00-1%20Fyzikalni%20veliciny.pdf>
- 8) Hrubý domácí produkt (HDP). In: Finance media [online]. Finance media a.s. [vid. 28.4.2016]. Dostupné z: <http://www.finance.cz/makrodata-eu/hdp/informace/>
- 9) Analýza a syntéza. In: Psaní prací [online]. Psanipraci.cz [vid. 3.2.2016]. Dostupné z: <http://psanipraci.cz/analyza-a-synteza/>
- 10) ODUM, E.C. A H.T. ODUM. 1980. Energy systems and environmental education. In, T.S. Bakshi and Z. Naveh (eds.) *Environmental Education - Principles, Methods and Applications*. New York: Plenum Press. 285 stran.
- 11) Simulation Models. In: *Emery systems* [online]. University of Florida, copyright 2003 – 2016 [vid. 5.12.2015]. Dostupné z: <http://www.cep.ees.ufl.edu/emery/resources/models.shtml>
- 12) Lecture 1: Systems Diagramming. In: *Emery systems* [online]. University of Florida, copyright 2003 – 2016 [vid. 20.12.2015]. Dostupné z: <http://www.cep.ees.ufl.edu/emery/resources/presentations.shtml>
- 13) Lecture 2: Energy. In: *Emery systems* [online]. University of Florida, copyright 2003 – 2016 [vid. 25.12.2015]. Dostupné z: <http://www.cep.ees.ufl.edu/emery/resources/presentations.shtml>

- 14) MARK T. BROWN, SERGIO F.ULGIATI, Lecture 3: Introduction to emergy. In: *Emergy systems* [online]. University of Florida, copyright 2003 – 2016 [vid. 5.1.2016]. Dostupné z: <http://www.cep.ees.ufl.edu/emergy/resources/presentations.shtml>
- 15) Lecture 4: Global Emergy. In: *Emergy systems* [online]. University of Florida, copyright 2003 – 2016 [vid. 5.1.2016]. Dostupné z: <http://www.cep.ees.ufl.edu/emergy/resources/presentations.shtml>
- 16) Lecture 6: Dynamic Emergy. In: *Emergy systems* [online]. University of Florida, copyright 2003 – 2016 [vid. 6.1.2016]. Dostupné z: <http://www.cep.ees.ufl.edu/emergy/resources/presentations.shtml>
- 17) Lecture 10: Emergy evaluation of environmentl Alternatives. In: *Emergy systems* [online]. University of Florida, copyright 2003 – 2016 [vid. 25.2.2016]. Dostupné z: <http://www.cep.ees.ufl.edu/emergy/resources/presentations.shtml>
- 18) MARK T. BROWN, Lecture 12: The future of the future. In: *Emergy systems* [online]. University of Florida, copyright 2003 – 2016 [vid. 20.4.2016]. Dostupné z: <http://www.cep.ees.ufl.edu/emergy/resources/presentations.shtml>
- 19) ODUM., H.T. 1994. *Ecological and General Systems: An Introduction to Systems Ecology*. Univ. Press of Colo. 644 stran.
- 20) ODUM, H.T. 2000. Handbook of Emergy Evaluation Folio 2: Emergy of Global Processes. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville. 30 stran. Dostupné z: <http://www.cep.ees.ufl.edu/emergy/publications/folios.shtml>
- 21) BROWN, M.T. AND E. BARDI. 2001. Handbook of Emergy Evaluation Folio 3: Emergy of Ecosystems. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville. 90 stran. Dostupné z: <http://www.cep.ees.ufl.edu/emergy/publications/folios.shtml>
- 22) KANGAS, R.C. 2002. Handbook of Emergy Evaluation Folio 5: Emergy of Landforms. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville. 16 stran. Dostupné z: <http://www.cep.ees.ufl.edu/emergy/publications/folios.shtml>
- 23) MARK T. BROWN, et al. Emergy synthesis 4: *Theory and Applications of the Emergy Methodology*. Prosinec 2007. 19 stran. In: *Emergy systems* [online]. University of Florida, copyright 2003 – 2016 [vid. 13.3.2016]. Dostupné z: http://www.cep.ees.ufl.edu/emergy/documents/conferences/ERC04_2006/ERC04_2006_Chapter_23.pdf
- 24) Notes and calculations for NEAD (Table 1). In: *Emergy systems* [online]. University of Florida, copyright 2003 – 2016 [vid. 13.3.2016]. Dostupné z: http://www.cep.ees.ufl.edu/emergy/documents/nead/NEAD_metadata_sds_InProgress.pdf

- 25) Energy statistics. In: Eurostat [online]. European Union, 1995-2016 [vid. 25.4.2016].
Dostupné z: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>.
- 26) S.E. JORGENSEN. BRIAN FATH. Ecological Indicators. Emergy. In: Encyclopedia of ecology. Druhé vydání. Amsterdam: Elsevier B.V. 2014. ISBN: 978-0-444-52033-3.
- 27) Energy statistics of the European union: Concepts and definitions on all flows and products used in the energy statistics on quantities. In: Eurostat [online]. Luxembourg, 12.2.2015. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/38154/4956233/RAMON-CODED-ENERGY-20150212.pdf/4814055b-de02-404a-b8e0-909fb82cbd54>
- 28) The emergy database. In: Emergy ISAER [online]. [vid. 21.2.2016]. Dostupné z: <http://emergydatabase.org/transformativities-view/all>
- 29) MASTNÝ P. Vodní energie. In: Mastný P. Malé zdroje elektrické energie. UEEN VUT FEKT v Brně. Strana 9. Dostupné z: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/~mastny/vyuka/mmze/skripta/voda.pdf>
- 30) BECHNÍK Bronislav, Ing., Ph.D. Roční využití výkonu větrných elektráren v České republice. In: TZB-info [online]. Topinfo s.r.o., 14.4.2014. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/11077-rocni-vyuziti-vykonu-vetrnych-elektren-v-ceske-republice>
- 31) JAKUBES Jaroslav, Ing. *Vyhodnocení provozu a benchmarking fotovoltaických elektráren* [přednáška online]. Workshop CZEPHO, 29.6.2012. Dostupné z: <http://www.solartec.eu/system/resources/BAhbBlSHOgZmSSI4MjAxMi8wNy8xNi8xNi80Ni8yNV80NTBfdnlob2Rub2NlbmlfcHJvdm96dV9mdmUucGRmBjoGRVQ/vyhodnoceni%20provozu%20fve.pdf>.
- 32) Předpis č. 441/2012 Sb. Vyhláška o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie ze dne 5.12.2012. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-441>
- 33) NEAD Data by Country. In: National Environmental Accounting Database [online]. University of Florida [vid 1.3.2016]. Dostupné z: <http://www.cep.ees.ufl.edu/nead/data.php>
- 34) DOLEŽAL Jaroslav, et al. Jaderné a klasické elektrárny [online]. České vysoké učení technické v Praze, Praha 2011. Strana 95 až 96. In: Katedra elektroenergetiky ČVUT. Dostupné z: http://k315.feld.cvut.cz/CD_MPO/CVUT-1-Elektarny.pdf
- 35) SOUKUP, Petr. Test vodíkového auta Honda FCX Clarity [online]. Hybrid.cz [vid 31.3.2011]. Chamanne s.r.o. 2006 – 2016. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/testy/autona-vodik-honda-fcx-clarity>
- 36) Jaderná tableta = 880 kg uhlí. In: Encyklopedie energetiky [online]. CEZ.cz [vid 1.5.2016]. Dostupné z:

https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/tableta_6.html

- 37) Výhřevnost paliv. Tabulky a výpočty. In: TZB-info.cz [online]. Topinfo s.r.o., 2001 – 2016. ISSN 1801 – 4399 [vid 2.5.2016]. Dostupné z: *<http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>*
- 38) Sortiment paliv. In: EuroOil [online]. ČEPRO, a.s. CTECH s.r.o. 2011, [vid 3.5.2016]. Dostupné z: *<https://www.ceproas.cz/eurooil>*
- 39) VRBICKÝ, Jiří. Paliva pro spalovací motory. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. Bakalářská práce, VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Dostupné z: *https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=14915*
- 40) FORBELSKÝ, Antonín. Spalování vodíku v pístových spalovacích motorech. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. Bakalářská práce, VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Dostupné z: *https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17041*
- 41) KOZÁK Petr. Biopaliva – nahradí, nebo pouze doplní sortiment pohonných hmot?. Technologie paliva, Základní vlastnosti paliv str. 28 až 31 [online]. Autoexpert, 2007. Dostupné z: *<http://www.znalec.tym.cz/biopaliva.pdf>*
- 42) TOMÍŠEK Marek. TEST: elektromobil Nissan Leaf (24 kWh) – skutečná spotřeba. In: usporne.info.cz [online]. Usporne.info, 2016. 11.11.2014. [vid 29.4.2016] *<http://www.usporne.info/358-nissan-leaf-skutecna-spotreba-elektromobilu/>*
- 43) Nový Nissan Qashqai [elektronická brožura online]. In: media.nissan.cz [vid 20.4.2016] Dostupné z: *http://media.nissan.eu/content/dam/services/CZ/prices_brossure/brossure/QASHQAI_BROCHURE_CZ.pdf*

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 CD s výpočty a elektronickou verzí práce