



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

## **Výpočet dlouhodobých nákladů zdrojů elektřiny**

### **Long-term electricity sources cost calculation**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Martin Beneš, PhD.

**Michal Košťál**

---

**2016**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Košťál Michal**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Elektrotechnika a management

*Název tématu:*

### **Výpočet dlouhodobých nákladů zdrojů elektřiny**

*Pokyny pro vypracování:*

1. Druhy zdrojů v ES ČR
2. Marginální náklady zdrojů
3. Výpočet LRMC
4. Citlivostní analýza a porovnání výsledků

*Seznam odborné literatury:*

1. NEA/IEA/OECD: Projected Costs of Generating Electricity 2015. OECD Publishing, 2015.
2. Doležal J.: Jaderné a klasické elektrárny. ČVUT, 2011.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Beneš, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2016/2017

L.S.

*Prof. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.*

vedoucí katedry

*Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.*

děkan

V Praze dne 10.2.2016

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokolešských závěrečných prací.

V Praze dne 27. 5. 2016

podpis

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Martinovi Benešovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Obsahem předkládané práce je popis způsobu výroby elektrické energie v uhelných a jaderných elektrárnách, jejich technologických částí a použitého paliva. Dále je v práci uvedeno celkové využití a řazení těchto elektráren v elektrizační soustavě České republiky. Hlavním cílem práce je popis a určení hlavních výrobních nákladů elektrické energie, včetně investičních nákladů na výstavbu. Součástí je také definice výpočtu měrných výrobních nákladů a rovněž jejich stanovení u vybraného vzorku elektráren v České republice. Následně je provedena citlivostní analýza jednotlivých vstupů a rozbor dopadu jednotlivých složek na celkové náklady. V závěru je srovnání těchto elektráren s obdobnými zařízeními v ostatních členských státech OECD.

## **Abstract**

The thesis describes a method of producing electricity in coal-fired and nuclear power plants, their technical parts and used fuel. The study also indicates total usage and sorting of the power plants in the electricity system in the Czech Republic. The key aim of the thesis is a description and identification of the main production cost of electricity, including capital construction costs. It also includes a definition of the production cost calculation, consequently calculating production costs in selected sample of plants in the Czech Republic. Finally, a sensitivity analysis of individual variables and analysis of the impact of different variables on overall costs are carried out. In conclusion, the plants under study are compared with those within other OECD Member States.

## **Klíčová slova**

Marginální náklady, výrobní náklady, výpočet nákladů, uhelné elektrárny, jaderné elektrárny

## **Key words**

Marginal costs, production costs, costs calculation, coal power plant, nuclear power plant

# Obsah

Úvod .....	8
1 Druhy zdrojů v elektrizační soustavě ČR .....	9
1.1 Elektrizační soustava .....	9
1.2 Prvotní zdroje.....	9
1.3 Zdroje elektrické energie .....	10
1.4 Uhelné elektrárny .....	10
1.4.1 Princip .....	10
1.4.2 Části elektrárny.....	10
1.4.3 Palivo .....	11
1.4.4 Odsiřování spalin .....	12
1.5 Jaderné elektrárny.....	13
1.5.1 Princip .....	13
1.5.2 Druhy jaderných elektráren .....	14
1.5.3 Jaderný reaktor.....	15
1.5.4 Jaderné palivo.....	15
1.6 Funkce a využití jednotlivých zdrojů v ES .....	16
1.6.1 Zastoupení zdrojů v ČR.....	16
1.6.2 Diagram zatížení .....	17
1.6.3 Řazení elektráren.....	18
1.6.4 Vyrobená elektřina jednotlivých zdrojů .....	18
2 Dlouhodobé náklady zdrojů.....	20
2.1 Dlouhodobé měrné náklady .....	20
2.2 Investiční výdaje .....	22
2.2.1 Výstavba.....	22
2.2.2 Likvidace.....	23
2.3 Fixní náklady .....	23
2.4 Variabilní náklady .....	23
2.4.1 Palivové náklady .....	24
2.4.2 Vodné a stočné .....	24
2.4.3 Poplatky související s ochranou životního prostředí .....	25
2.4.4 Ostatní variabilní náklady.....	25
2.5 Diskontování a inflace .....	26
3 Výpočet dlouhodobých nákladů.....	27
3.1 Vybrané elektrárny.....	27
3.1.1 Jaderné elektrárny v ČR.....	27
3.1.2 Uhelné elektrárny v ČR.....	28
3.2 Výsledky výpočtu .....	29
4 Citlivostní analýza a porovnání výsledků.....	31
4.1 Vliv doby využití na nákladech .....	31
4.2 Závislost nákladů na ceně paliva.....	33
4.3 Srovnání nákladů s ostatními zeměmi OECD .....	34
Závěr.....	36
Literatura.....	38
Seznam obrázků.....	40
Seznam grafů .....	40

Seznam tabulek .....	40
Seznam příloh .....	40
Přílohy .....	41
Příloha 1: Vybrané specifikace elektrárny Temelín.....	41
Příloha 2: Vybrané specifikace elektrárny Dukovany .....	41
Příloha 3: Vybrané specifikace elektrárny Prunéřov II.....	42
Příloha 4: Vybrané specifikace elektrárny Dětmarovice .....	42
Příloha 5: Vybrané specifikace elektrárny Ledvice.....	43

# Úvod

Elektrická energie zůstává nedílnou součástí dnešního světa, protože se dotýká všech jeho aspektů, jako jsou domácnosti, průmysl a veřejný sektor. Z tohoto důvodu je velmi důležitým tématem její výroba, která musí splňovat určité požadavky, zejména pokud jde o spolehlivost dodávky, kvalitu a o dostatečné množství. S tímto přímo souvisí způsob výroby, ekonomická efektivnost zdroje a v neposlední řadě také dopad na životní prostředí. Ekonomická efektivnost, přesněji řečeno náklady na výrobu elektrické energie, představuje důležitý parametr pro rozhodování o výstavbě nového zdroje. Laická veřejnost má dostatek informací o nákladech elektrické energie vyrobené z obnovitelných zdrojů, jako jsou například solární a větrné elektrárny. Avšak znalosti o klasických elektrárnách, především o jejich nákladech, zůstávají poněkud omezené.

Cílem této práce je popsat způsob výroby a určit měrné výrobní náklady již postavených klasických elektráren. V práci se zaměřuji na elektrárny, které produkují největší část elektrické energie v České republice. Jedná se o jaderné a uhelné elektrárny. Zásadní otázkou je, jakých výrobních nákladů dosahují a jaké je jejich složení.

V první části předkládané práce jsou popsány zdroje elektrické energie se zaměřením na uhelné a jaderné elektrárny, kde je vysvětlen princip a technologické části těchto zdrojů elektrické energie v elektrizační soustavě. Dále se kapitola zaměřuje na funkčnost a využití jednotlivých zdrojů a na význam uhelných a jaderných elektráren pro stabilitu sítě v ČR a zařazení do křivky trvání výkonů.

V dalších částech práce je definován výpočet měrných výrobních nákladů a proveden popis jednotlivých vstupních prvků, které se podílejí na konečných nákladech. Pro výpočet měrných výrobních nákladů jsem zvolil jediné dvě jaderné elektrárny v ČR, jmenovitě Temelín a Dukovany. V případě uhelných elektráren byla volba složitější. Aby byly zahrnuty veškeré technologické možnosti, vybral jsem elektrárny Prunéřov II., Dětmarovice a Ledvice. Zmíněné elektrárny spalují jak hnědé, tak černé uhlí a elektrárna Ledvice využívá z dnešního pohledu i nejmodernější technologické části s vysokou účinností.

Součástí práce se stala také citlivostní analýza, sledující konečné náklady při změně určitých vstupních parametrů, které mohou reálně nastat, a konečné srovnání jednotlivých zdrojů z pohledu využití.



# 1 Druhy zdrojů v elektrizační soustavě ČR

## 1.1 Elektrizační soustava

Elektrizační soustava (dále ES) je definována jako „vzájemně propojený soubor zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektřiny, včetně elektrických přípojek a přímých vedení, a systému měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky.“ [1] Zjednodušeně lze říci, že ES zahrnuje různé typy zdrojů elektrické energie, síť, která tuto energii přesouvá, a spotřebiče, jež danou elektrickou energii spotřebovávají. Hlavními úkoly ES je:

- zajištění dostatečného množství elektrické energie při jakémkoliv zatížení,
- zajištění požadované kvality (velikost napětí, frekvence, výkon),
- spolehlivost,
- ekonomická efektivnost.

Zdrojem elektrické energie je chápána elektrárna, která přeměňuje primární zdroj energie nebo jinými slovy prvotní zdroje energie na energii elektrickou.

## 1.2 Prvotní zdroje

Mezi prvotní zdroje energie jsou řazeny přírodní zdroje, které nebyly člověkem vytvořeny, ale pouze vytěženy či jinak získány za účelem přeměny na jiný druh energie. Tyto zdroje lze rozdělit do tří hlavních skupin, kde se rozlišuje jejich obnovitelnost nebo neobnovitelnost. Jedná se o:

- zdroje vázané na určité místo s omezenou a zmenšující se kapacitou, tedy neobnovitelné zdroje (uhlí, zemní plyn, ropa, jaderná paliva),
- zdroje vázané na určité místo s obnovující se kapacitou (vodní toky, geotermální energie),
- zdroje, které nejsou „vázané“ na místo, s prakticky nelimitovanou kapacitou (sluneční záření, větrná energie, přílivové vlny) [2].

Poslední dvě skupiny patří mezi obnovitelné zdroje. Všechny zdroje jsou teoreticky obnovitelné, avšak fosilní paliva (tj. uhlí, zemní plyn, ropa) budou vyčerpána v řádu několika stovek let. Jejich obnova je mnohonásobně delší, a proto, jsou tyto zdroje označovány neobnovitelné. Totéž platí pro jaderné palivo, s tím rozdílem, že vyčerpání zásob je mnohonásobně delší.

## 1.3 Zdroje elektrické energie

Elektrická energie představuje druhotnou energií, získanou přeměnou prvotní energie. Samotné zdroje elektrické energie, tedy elektrárny, se dělí podle toho, jaký druh prvotního zdroje využívají pro přeměnu. Základní rozdělení může být následující:

- Parní elektrárny
  - Pevná paliva
  - Kapalná paliva
  - Plynná paliva
- Sluneční elektrárny
  - Fotovoltaické
  - Tepelné
- Jaderné elektrárny
- Vodní elektrárny
  - Průtočné
  - Akumulační
  - Přečerpávací
  - Slapové
- Větrné elektrárny

## 1.4 Uhelné elektrárny

Parní elektrárny zůstávají nejrozšířenějším typem elektrárny, spalujícím fosilní paliva. Na začátku roku 2015 byl instalovaný výkon v ČR 21 920,3 MW [3], z toho 10 836,7 MW, tedy přes 49 %, připadalo právě na uhelné elektrárny.

### 1.4.1 Princip

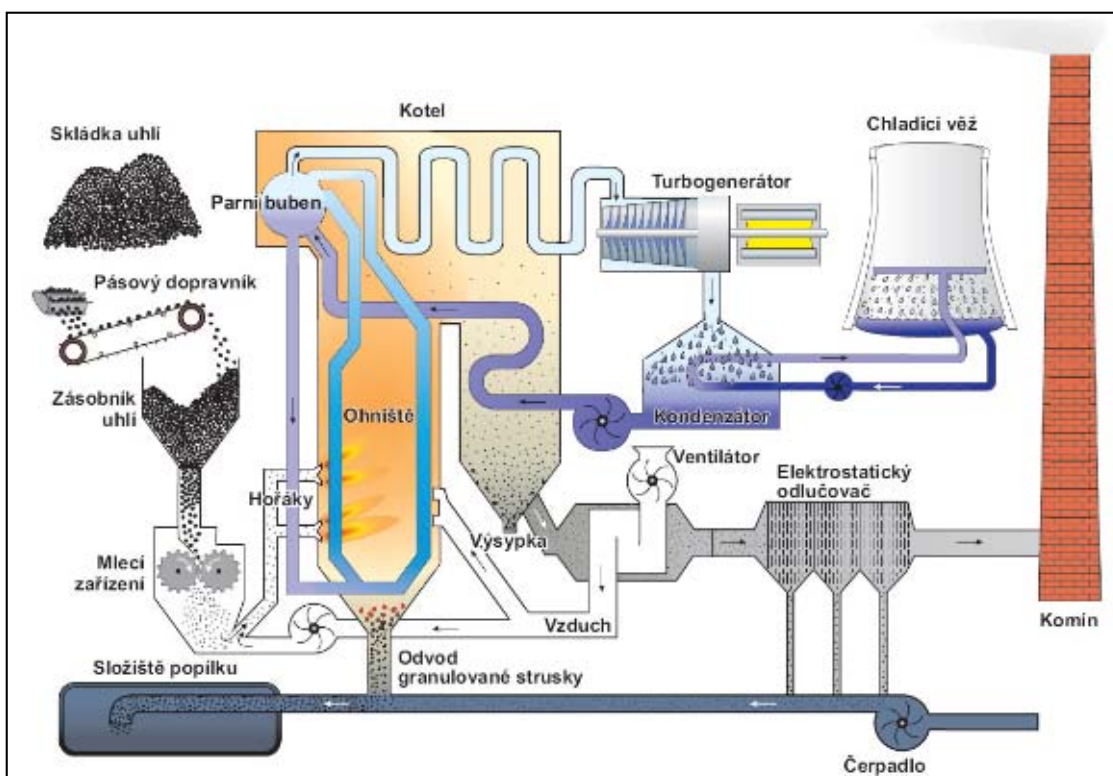
Princip uhelné elektrárny je založen na využívání tepelné energie, která je vytvořena spalováním tuhých (černé a hnědé uhlí), paliv při teplotě v rozmezí 700 – 900 °C, v závislosti na použité technologii kotle. Vytvořené teplo v kotli ohřívá vodu, jež se transformuje na páru, obsahující malé množství energie, z toho důvodu je dále tlačena přes vysokotlaký ohřívák. Pára přehřátá na teplotu 550 °C je poté rozdílem tlaku mezi kotlem a turbínou přivedena do parní turbíny. Tepelná a tlaková energie páry působí na lopatky turbíny, která se v důsledku popsaného procesu roztočí. Turbína je spojena s alternátorem, který přemění mechanickou energii na elektrickou. Pára vycházející z turbíny o teplotě 40 °C kondenzuje a je čerpána zpátky do kotle, kde se opět ohřívá. Tento cyklus se opakuje. V případě kombinované výroby je možné vytvořené teplo využít k teplotně-energetickým účelům.

### 1.4.2 Části elektrárny

Celý proces přeměny zdroje energie na elektrickou energii je rozdělen na sebe navazující technologické okruhy, které se klasifikují podle toku provozních hmot:

- okruh paliva, škváry a popela,
- okruh vzduchu a kouřových plynů,
- okruh páry, napájecí a chladicí vody,
- okruh elektrický,
- okruhy pomocné.

Pokud je některý okruh vyřazen z provozu, jsou přerušeny i ostatní a celý blok elektrárny musí být odstaven. Celkový instalovaný výkon elektrárny proto není soustředěn jen do jednoho místa, ale do několika výrobních bloků. Jednotlivý blok obsahuje řadu zařízení pro výrobu. Skládá se z kotle, turbíny, generátoru (turboalternátor), blokového transformátoru o výkonu stovek MVA a vyvedení výkonu do sítě [2]. V blocích se nachází také odsiřovací zařízení a elektrostatický odlučovač popílku, omezující vypouštění znečišťujících emisí do ovzduší. Všechny bloky jsou spojeny s centrální budovou, která řídí výrobu v jednotlivých blocích. Celý proces je znázorněn na obrázku č. 1.



**Obrázek 1:** Schéma bloku uhlé elektrárny [4]

### 1.4.3 Palivo

Palivem uhlých elektráren je zejména černé a hnědé uhlí. Černé uhlí je geologicky starší a nachází se v hloubce přibližně 1 200m. Hnědé uhlí bývá mladší a těží se především povrchově [2]. Hlavním a nejdůležitějším rozdílem je výhřevnost, obsah síry a množství spotřeby uhlí na vyrobenou jednotku elektrické energie. Výhřevnost černého uhlí je 19 – 24MJ/kg , hnědého 10 – 13MJ/kg. Na vyrobení 1 kWh je teoreticky potřeba přibližně 1kg hnědého uhlí [2], avšak ve skutečnosti bývá spotřeba vyšší. Palivo je nutné před použitím nejprve upravit. Aby došlo k nejdokonalejšímu spálení, je nezbytné uhlí v sušících a drtících komorách vysušit a nadrtit na jemný prášek nebo granule. Uhlé prášek je poté

vháněn ventilátory do kotle, kde dojde k oxidaci paliva. V případě granulačního kotle je palivo postupně vsypáno.

#### 1.4.4 Odsiřování spalin

Největším nedostatkem uhelných elektráren zůstává vypouštění škodlivých látek do ovzduší, kde zatěžují životní prostředí. Z tohoto důvodu se v elektrárnách instalují tzv. odsiřovací jednotky, snižující obsah  $\text{SO}_2$  ve spalinách. V nově postavených elektrárnách bývají zmiňované jednotky už součástí stavby. U starších elektráren docházelo k instalaci těchto jednotek v 90. letech minulého století. Odsiřovací jednotky spalin se řadí až na konec spalovacího cyklu, tedy mezi kotel a komín. Odsiřovací metody se dělí podle způsobu zachycení  $\text{SO}_2$ :

- mokré –  $\text{SO}_2$  se zachycuje v kapalině,
- polosuché – aktivní látka se vstříkuje do spalin, která je ochladí. Kapalina se odpaří a zůstane pouze tuhá forma,
- suché – spaliny reagují s aktivní látkou pouze v tuhé formě.

V ČR se používají pouze první dvě metody, konkrétně mokrá a polosuchá vápencová metoda [2].

##### **Mokrá vápencová metoda**

Základním principem této metody je vázání oxidu siřičitého na absorpční látku, v tomto případě vápenec. Mezi další absorpční látky se řadí také magnezit a dolomit. Vápenec je formě vodní suspenze, ve které je jemně namletý. Spaliny z kotle jsou vháněny do odsiřovacího zařízení (absorbér). V absorbéru jsou umístěny trysky rozprašující suspenzi vápence v co nejmenších kapkách, aby byla zajištěna co nejlepší reakce vápence a oxidu siřičitého. Vháněné spaliny reagují s kapkami, absorbujícími  $\text{SO}_2$ . Vyčištěné spaliny dále stoupají do horní části zařízení, kde jsou zbaveny nadbytečné vlhkosti, poté jsou vypouštěny komínem do ovzduší. Kapky s obsahem oxidu siřičitého v nádobě padají do jímky, ve které dochází k oxidaci na konečný tzv. energosádrovec. Tato látka se využívá především ve stavebnictví pro výrobu sádkokartonu.

##### **Polosuchá vápencová metoda**

Polosuchá metoda spočívá v rozprašování vodní suspenze s páleným vápnem na vháněné spaliny. Suspenze chemicky reaguje se siřičitými složkami spalin. Jelikož se spaliny vyznačují vysokou teplotou, voda se vypaří a zbylé částičky vzniklé reakcí jsou unášeny proudem spalin do filtru, kde se zachytí. Vyčištěný proud spalin je poté vháněn do komína a vypouštěn do ovzduší. Částice zachycené ve filtru se na rozdíl od mokrého způsobu dále nevyužívají a musejí být uloženy na skládce.

## **Další metody odsíření**

Výše popsané způsoby odsíření jsou řazeny z hlediska výrobní fáze za spalovací cyklus, avšak existují způsoby odsíření ještě před samotným spalováním paliva nebo přímo během spalování.

První způsob lze realizovat pomocí separace minerálů obsahující vysoké procento síry od samotného uhlí. Rozemleté palivo se pročišťuje proudem vody, jelikož uhlí má menší hmotnost než minerály obsahující vysoké procento síry, je unášeno proudem a tímto způsobem vyčištěno, i když za cenu energetické ztráty.

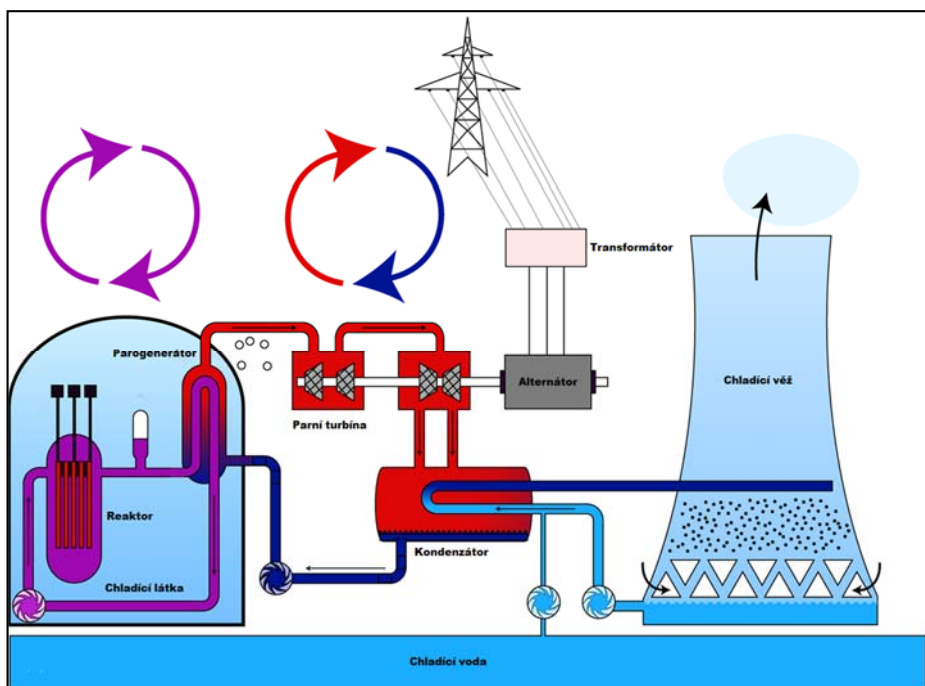
Dalším způsobem, jak omezit množství oxidu siřičitého v ovzduší, představuje použití fluidních kotlů, jež ve fluidní vrstvě spalují rozemleté uhlí na prášek. Fluidní vrstva je tvořena vhněným vzduchem do kotle ve vertikálním směru. Malé částice paliva postupně vyhořívají a posouvají se do vyšších fluidních vrstev a poté jsou vyneseny z ohniště. V důsledku popsaného procesu se palivo v práškové formě lépe, rychleji a rovnoměrněji spaluje. Výhodou této úpravy je, že lze do kotle přidávat drcený vápenec, který na sebe váže oxid siřičitý. Mezi jeho další přednosti patří regulace teploty spalování, pomocí níž lze omezit vytváření dalších nežádoucích látek (např. oxidu dusíku). Nevýhodou fluidního kotle zůstává vysoká technologická náročnost a navíc je před spalováním nutné palivo upravit [2].

## **1.5 Jaderné elektrárny**

V České republice jsou v provozu dvě jaderné elektrárny s celkovým instalovaným výkonem 4 290 MW. Obě využívají reaktor typu VVER (vodo-vodní energetický reaktor), který je nejrozšířenější typem ve světě (68 % všech instalovaných reaktorů). Za rok 2015 vytvořili jaderné elektrárny přes 38 % celkové elektrické energie v ČR [3].

### **1.5.1 Princip**

Jaderné elektrárny fungují na podobném principu jako tepelné. Využívají tepelné energie k ohřevu vody (pracovní látka), která se přemění na páru pohánějící turbínu spojenou s alternátorem. Teplo však nezískávají oxidací fosilních paliv, ale pomocí řízené nukleární, přesněji štěpné reakce. Celkový fyzikální proces štěpení je velmi složitý a obsáhlý, z tohoto důvodu je zde popsán ve zjednodušené formě. Nestabilní atom je odstřelován jinou částicí, nejčastěji neutronem, částice pronikne do jádra atomu a svou energií rozdělí atom. Rozdělené části se od sebe začnou vysokou rychlostí vzdalovat a při nárazu do dalších atomů nebo moderátoru se jejich pohybová energie přemění na tepelnou. Při rozpadu atomu v palivu se rovněž uvolňují další neutrony, způsobující řetězovou reakci. Avšak aby došlo k takto řízené reakci, musejí se uvolněné neutrony zpomalit moderátorem, nejčastěji ve formě vody. Celý tento proces probíhá v jaderném reaktoru.

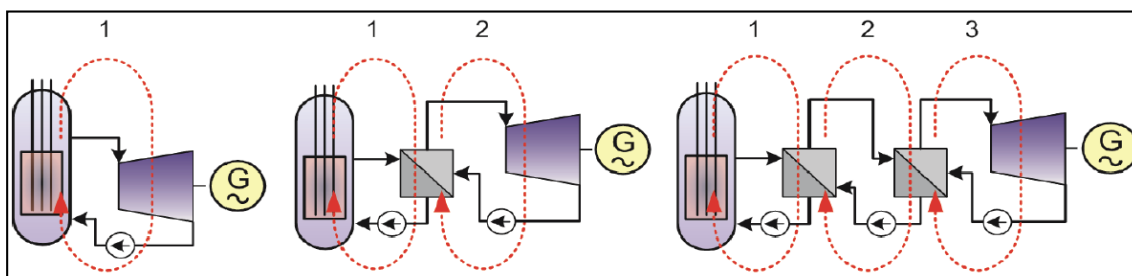


Obrázek 2: Schéma jaderné elektrárny [5]

### 1.5.2 Druhy jaderných elektráren

Existují tři základní typy jaderných elektráren, odlišujících se počtem okruhů, které lze vzájemně kombinovat, ale v praxi se využívají především základní, přičemž výběr okruhu závisí především na zvolené technologii reaktoru.

- jednookruhová – pracovní látka slouží jako chladivo, proudí přes reaktor do turbíny a zpět. Výhodou je větší tepelná účinnost, avšak ozářená pracovní látka prochází všemi výrobními částmi elektrárny, které musejí být více zabezpečeny a uzpůsobeny k práci v radioaktivním prostředí. V tomto případě je patrná vyšší ekonomická náročnost,
- dvouokruhová – pracovní látka je zcela oddělena od reaktoru, v důsledku čehož lze použít jiný druh chladicí látky a nejsou nutná zvýšená bezpečnostní opatření. Vytvořené teplo je možné využít k teplotěnským účelům jako u běžných elektráren,
- tříokruhová – použité chladivo je ve formě tekutého kovu (sodík). V tomto případě je nutné vložit další okruh, který napomáhá izolovat radioaktivní látky v případě havárie.



Obrázek 3: Schéma okruhů v JE [2]

### 1.5.3 Jaderný reaktor

Jaderný reaktor slouží ke kontrolované jaderné reakci pro získání tepelné energie. Skládá se z jaderného paliva, moderátoru (voda, grafit, těžká voda), chladiwa, hermetického systému, stínění, reflektoru, množivé zóny a dalších podpůrných systémů zajišťující řízení a bezpečnost [2]. Jaderné reaktory lze rozčlenit do několika skupin a podskupin:

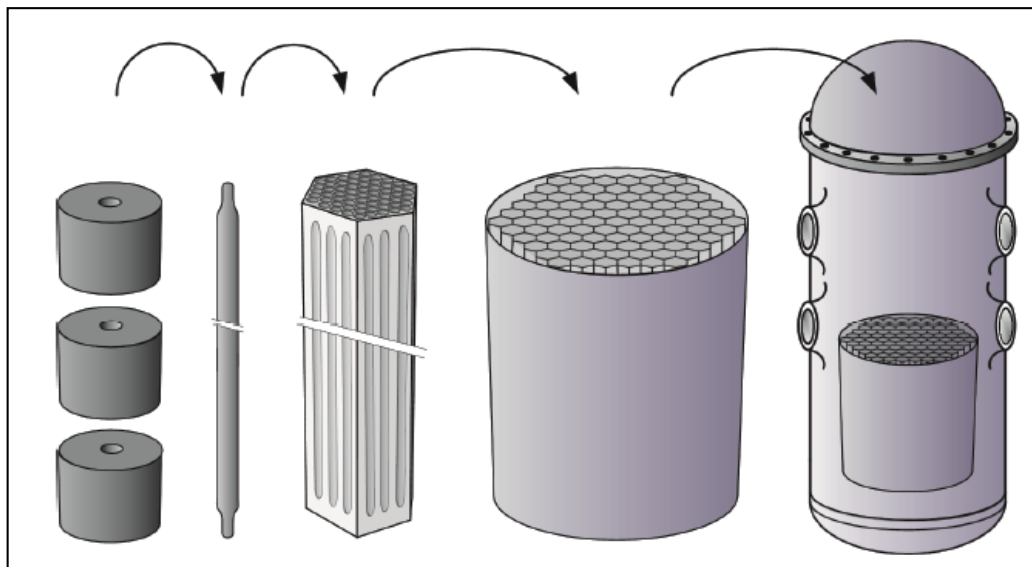
- homogenní reaktor – jaderné palivo je součástí moderátoru,
- heterogenní reaktor – jaderné palivo je hermeticky odděleno od moderátoru a chladicí vody.

V současných jaderných elektrárnách se používají heterogenní reaktory, které se dále dělí na rychlé a tepelné.

- tepelné reaktory – štěpení paliva probíhá pomocí neutronu s energií maximálně 1 eV za přítomnosti moderátoru, který snižuje energii nově vniklých neutronů,
- rychlé reaktory – energie neutronu přesahuje 0,1 MeV, v těchto reaktorech není potřeba moderátor ke snížení energie.

### 1.5.4 Jaderné palivo

Palivem pro jaderný reaktor se stal obohacený uran 235, přírodní uran nebo směsné palivo MOX (mixed oxide), skládající se z ochuzeného uranu a plutonia získaného z vyhořelého jaderného paliva [2]. Palivo má podobu menších pelet uložených v kovových trubicích. Ty jsou posléze skládány do palivových souborů, které jsou umístěny v tlakové nádobě v aktivní zóně reaktoru.



**Obrázek 4:** Sestavení komponentu jaderného paliva [2]

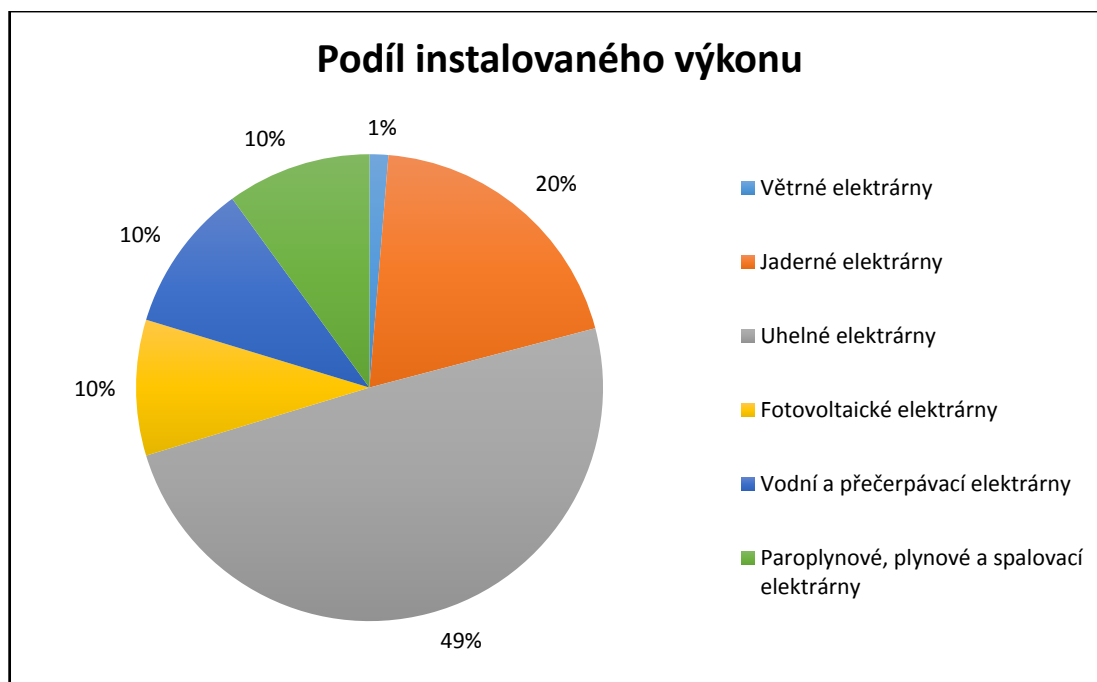
Na rozdíl od uhelných elektráren je palivo uloženo vždy na určité období (kampaň) v reaktoru a není s ním dále manipulováno, po roce se vymění jedna pětina paliva. Naopak uhlí se dodává z vnějšku kontinuálně po celou dobu provozu. Vyhořelé palivo zůstává radioaktivní a po skončení kampaně musí být bezpečně uloženo. Uložení probíhá tzv. mokřým nebo suchým způsobem.

Mokrý způsob uchovává vyhořelé palivo v bazénu, kde voda slouží jako ochrana proti záření a současně odvádí teplo. Voda musí být stále chlazena v radiátorech a čištěna. Druhý způsob je suchý, kdy je palivo uloženo v kontejnerech, které zabraňují šíření záření po okolí. Takto je palivo uloženo do doby, než v něm poklesne koncentrace aktivních látek. Poté dochází k dalšímu zpracování nebo k dlouhodobému uložení paliva v podzemním komplexu přímo určenému k uchovávání vyhořelého jaderného paliva.

## 1.6 Funkce a využití jednotlivých zdrojů v ES

### 1.6.1 Zastoupení zdrojů v ČR

V České republice je celkový instalovaný výkon elektráren 21 920,3 MW. V roce 2005 byl instalovaný výkon 17 412,0 MW [3], za posledních 10 let tak vzrostl o plných 25,9 %. Největší nárůst podílu zaznamenaly obnovitelné zdroje, především fotovoltaické a větrné elektrárny.



**Graf 1:** Graf podílu instalovaného výkonu v ES ČR v roce 2014 [3]

Snahou České energetické koncepce je snížení podílu elektráren na tuhá paliva především ve prospěch obnovitelných zdrojů a jaderných elektráren. Do roku 2030 by mělo být dosaženo následujících rozdělení primárních zdrojů, které budou využívány na přeměnu v elektrickou energii [2].

- Tuhá paliva 31 – 33 %
- Plyná paliva 19 – 20 %
- Kapalná paliva 12 – 13 %
- Jaderné palivo 23 – 24 %
- Obnovitelné zdroje 12 – 13 %

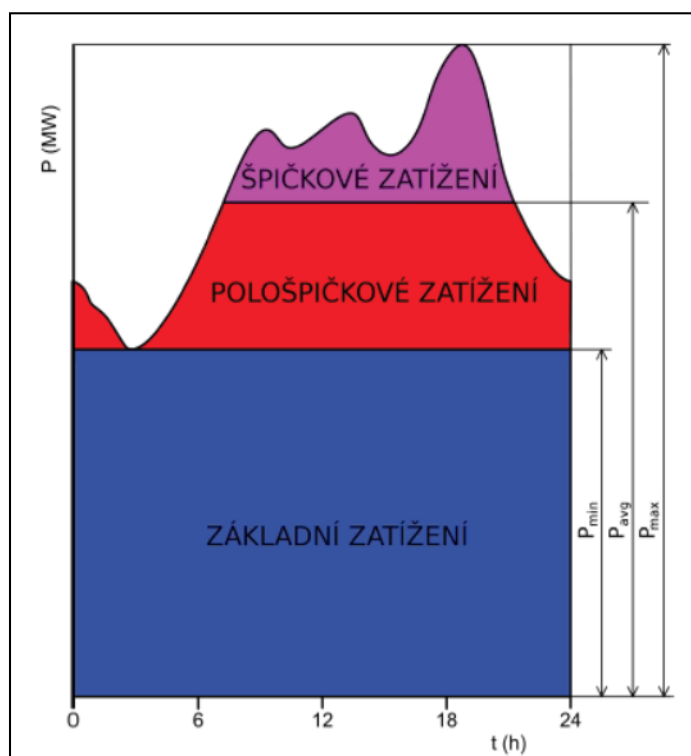


Hlavními důvody této snahy je snížení vypouštění škodlivých emisí do ovzduší (ochrana životního prostředí) a také blízké vyčerpání zásob tuhých paliv, především černého a hnědého uhlí a ropy.

## 1.6.2 Diagram zatížení

Zatížení sítě odběrateli není po celou dobu měření konstantní, ale lze v různých časových intervalech pozorovat rozdílné hodnoty. Získané údaje se poté vnášejí do grafu, který se nazývá diagram zatížení. Spotřeba elektrické energie má časově proměnný charakter. Diagram zatížení se dělí podle toho, jaký časový úsek zaznamenává:

- denní diagram zatížení – zaznamenává především střídání pracovní doby, kdy začíná nebo končí provozu průmyslové výroby. Je ovlivňován také dnem a nocí,
- týdenní diagram zatížení – ovlivňován pracovními dny,
- roční diagram zatížení – průběh zatížení závisí především na ročním období.



Obrázek 5: Denní diagram zatížení [6]

Spotřebovávaný výkon se dělí do tří hladin:

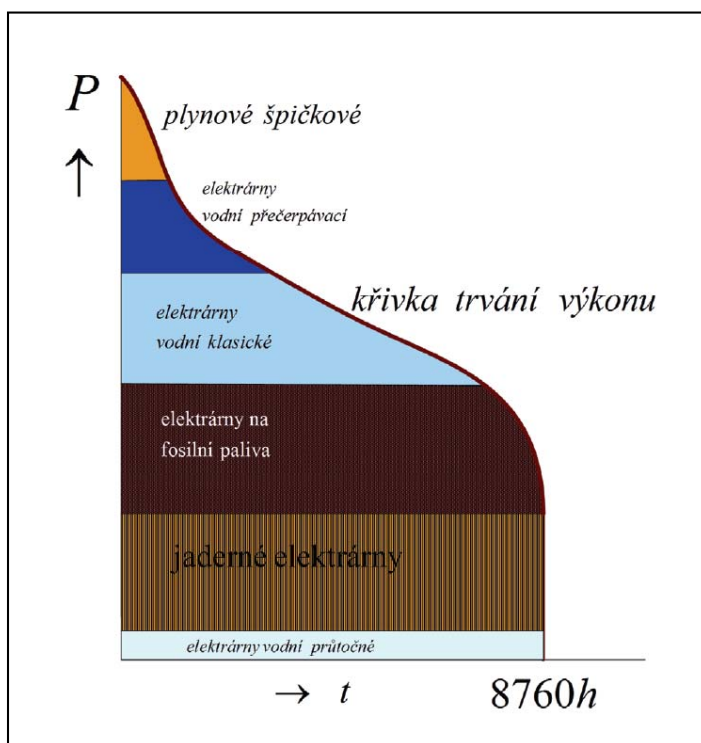
- základní zatížení – část diagramu ležící pod minimálním zatížením za dobu sledování
- pološpičkové zatížení – část zatížení mezi středním a základním zatížením,
- špičkové zatížení – část zatížení nad středním zatížením,
- střední zatížení – trvalé zatížení, při němž by zařízení dosáhlo za celé sledované období stejné práce jako při proměnlivém zatížení.

Správné řízení ES zajišťuje bezproblémové pokrytí všech výkonových špiček, které se vyskytnou v síti.

### 1.6.3 Řazení elektráren

Elektrickou energii nelze efektivně skladovat, proto je nutné, aby její výroba probíhala ve stejnou dobu jako její spotřeba. Uvedenou podmínku lze zajistit vhodným řazením elektráren do křivky trvání výkonu, řadící zatížení od největšího po nejmenší v závislosti na době trvání spotřebovaného výkonu. Pokud zdroje elektrické energie nestačí dodávat výkon do sítě, dochází k výpadkům a ke zhoršení kvality dodávané elektřiny, především ke kolísání definovaného napětí a frekvence.

Do základního zatížení se řadí elektrárny, u kterých technologie nebo přírodní síly nedovolují změnu dodávaného výkonu. Jedná se především o jaderné a průtočné elektrárny. V jaderných elektrárnách lze velmi těžko regulovat výkon z důvodu trvajících kampaně a zejména kvůli bezpečnosti. U průtočných elektráren nelze regulovat vodu v řece. V pološpičkovém zatížení pracují především elektrárny na fosilní paliva, které dokážou dodávat proměnlivý výkon a jsou schopné přejít z nulového výkonu na jmenovitý výkon do několika hodin. Špičkové zatížení pokrývají přečerpávací a plynové elektrárny, jejichž hlavní schopností zůstává rychlá reakce na požadovaný výkon, navíc dokáží dodat jmenovitý výkon z nuly do několika minut.



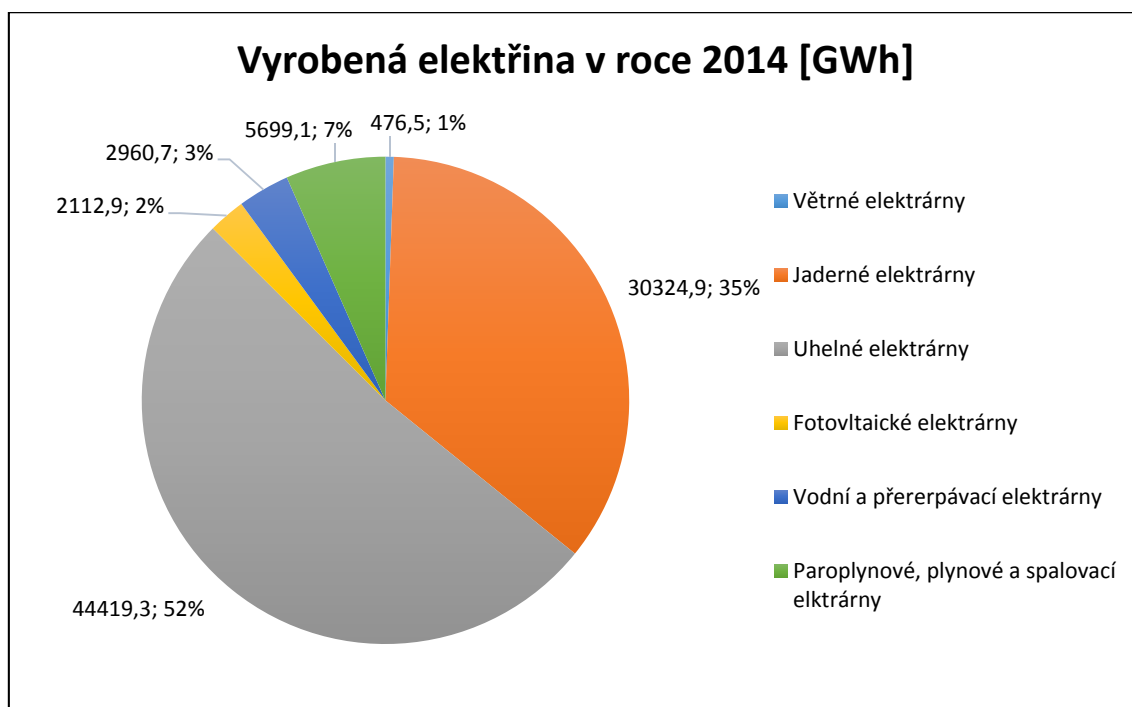
Obrázek 6: Řazení elektráren [2]

### 1.6.4 Vyrobená elektřina jednotlivých zdrojů

Z křivky trvání výkonu lze vyčíst, že nejvíce využívané jsou zdroje ze základního zatížení. Jaderné elektrárny dosahují ročního využití přes 80 %, v případě uhelných se jedná o přibližně 50 %. Průtočné elektrárny bývají také velmi využívané, přibližně z 85 %. Využití ostatních druhů elektráren závisí na klimatických podmínkách a jejich roční využití se pohybuje v rozmezí 10-30 %.

Zbytek doby se vztahuje na odstávky za účelem údržby (opravy, výměna paliva), nečekané poruchy nebo na nepříznivé počasí. Z tohoto důvodu dosahují jaderné a uhelné elektrárny největší ekonomické efektivity, náklady na jednotku vyrobené elektrické energie jsou menší než u ostatních zdrojů, pokud se nezapočítají průtočné zdroje.

V roce 2014 se v ČR vyrobilo 86 003,4 GWh elektrické energie. Podíl výroby od jednotlivých zdrojů je znázorněn v následujícím grafu [3].



**Graf 2:** Graf vyrobené elektřiny v ČR v roce 2014 [3]

Jaderné a uhelné elektrárny se v ČR podílejí 87 % na celkové výrobě elektrické energie. Uvedenou skutečnost lze opět porovnat s křivkou trvání výkonu, kde zajišťují dodávku do základního zatížení. Ostatní spalovací elektrárny mají 7% podíl. Elektrická energie vyrobená z obnovitelných zdrojů, především fotovoltaickými a větrnými elektrárnami, je silně závislá na klimatických podmínkách v daném roce. Pokud jsou velmi nepříznivé, může roční koeficient využití dosáhnout nízkých hodnot, konkrétně kolem 10 %. V roce 2014 byl podíl z těchto zdrojů pouze 3 %. I přes vysoké využití průtočných elektráren se podílejí na výrobě pouze 3 %. Důvodem je málo vodních toků, které by byly vhodné k stavbě zdroje [7].

## 2 Dlouhodobé náklady zdrojů

Ekonomické srovnání různých zdrojů elektrické energie, v tomto případě uhelné a jaderné elektrárny, lze z několika úhlů. Příkladem může být porovnání investičních nákladů, které zahrnují přípravu, výstavbu elektrárny, její uvedení do provozu a udržování provozu elektrárny. Aby mohly být porovnány různé technologie výroby, bývají investiční náklady vztaženy k instalovanému výkonu, nejčastěji Kč/kW nebo Kč/MW. Avšak už na první pohled je jasné, že náklady na jadernou elektrárnu budou mnohonásobně větší než na elektrárnu uhelnou. Další metodu, kterou lze použít pro srovnání, představuje porovnání výrobních nákladů na jednotku elektrické energie, tedy Kč/kWh nebo Kč/MWh. Tato metoda je vhodnější, protože lze se získanými výsledky nadále pracovat a například posuzovat ekonomickou efektivnost elektrárny. V tomto bodě je důležité rozlišit marginální a měrné výrobní náklady, i když oba pojmy vedou ke stejnému posouzení elektrárny, tedy laicky řečeno, kolik stojí vyrobit jednotku elektrické energie.

Marginální náklady jsou definovány jako přírůstek nákladů vyvolaných mezním přírůstkem produkce [8] a jsou počítány pro budoucí závěrné elektrárny, které uzavírají bilanci. Existují hlavní dva způsoby výpočtu, systémová metoda a metoda reprezentantů. Systémová metoda vychází z matematicko-ekonomického modelu ES, který zahrnuje proměnné a stálé provozní náklady a anuitní hodnotu investičních nákladů všech zdrojů v ES. Metoda reprezentantů počítá se závěrnými elektrárnami, které uzavírají bilanci výroby elektřiny v ES. Tyto elektrárny splňují určitá kritéria, především neomezenou výstavbu (dostatek lokalit pro výstavbu, ekologické problémy) a neomezený provoz (dostatek paliva, nezávislost na vnějších podmínkách) [9].

Měrné náklady představují náklady na jednotku energie vyprodukovanou v již postavené elektrárně a způsob výpočtu je definován v následující kapitole. V této práci se zabývám výpočtem výrobních nákladů elektráren, které jsou již postaveny a uvedeny do provozu, metodou reprezentantů.

### 2.1 Dlouhodobé měrné náklady

Pro srovnání nákladů výroby elektřiny od různých již postavených zdrojů je nejvhodnější metoda dlouhodobých marginálních či měrných nákladů (dále LRMC či LCOE), kterou lze použít pro účely výpočtu ekonomické efektivnosti v energetice. Další výhodou zůstává snadná aktualizace výpočtu při změně vstupních dat.

V této práci vycházím z metody dlouhodobých marginálních nákladů metodou reprezentantů, které v budoucnu uzavírají bilanci. Při samotném výpočtu však jako reprezentanty volím již provozované uhelné a jaderné elektrárny. Způsob výpočtu je podle publikace "Projected Cost of Generating Electricity 2015" definován takto:

$$LRMC = \frac{\sum(Capital_t + O\&M_t + Fuel_t + Emissions_t + D_t) * (1+r)^{-t}}{\sum E_t * (1+r)^{-t}} \quad (1)$$

kde	<i>LRMC</i>	[Kč/Wh]	jsou dlouhodobé marginální náklady,
	<i>Capital<sub>t</sub></i>	[Kč]	je výše nákladu na výstavbu v roce t,
	<i>O&amp;M<sub>t</sub></i>	[Kč]	jsou náklady na provoz a údržbu v roce t,
	<i>Fuel<sub>t</sub></i>	[Kč]	je cena paliva v roce t,
	<i>Emissions<sub>t</sub></i>	[Kč]	jsou ekologické poplatky v roce t,
	<i>D<sub>t</sub></i>	[Kč]	jsou náklady na likvidaci v roce t,
	<i>E<sub>t</sub></i>	[Kč]	je množství vyrobené elektřiny v roce t,
	<i>r</i>	[Kč]	je diskontní míra.

U tohoto vyjádření LRMC však nelze blíže rozlišit nejdůležitější vstupní náklady na výrobu elektřiny a popřípadě určit jejich dopad na celkové náklady. Z toho důvodu jsem vzorec upravil tak, aby nejdůležitější proměnné byly zřetelné. Konečný způsob výpočtu celkových měrných nákladů provozovaných elektráren definuji takto:

$$LCOE = \frac{\sum(N_{It} + N_{Pt} + N_{Ovt} + N_{Ft} + N_{VSt} + N_{Lt} + N_{Et}) * (1+r)^{-t}}{\sum E_t * (1+r)^{-t}} \quad (2)$$

kde	<i>LCOE</i>	[Kč/Wh]	jsou dlouhodobé měrné náklady,
	<i>N<sub>It</sub></i>	[Kč]	jsou investiční náklady v roce t,
	<i>N<sub>Pt</sub></i>	[Kč]	jsou palivové náklady v roce t,
	<i>N<sub>Ovt</sub></i>	[Kč]	jsou ostatní variabilní náklady v roce t,
	<i>N<sub>Ft</sub></i>	[Kč]	jsou fixní náklady v roce t,
	<i>N<sub>VSt</sub></i>	[Kč]	jsou náklady na vodné a stočné v roce t,
	<i>N<sub>Lt</sub></i>	[Kč]	je likvidace v roce t,
	<i>N<sub>Et</sub></i>	[Kč]	jsou poplatky na ochranu životního prostředí v roce t,
	<i>E<sub>t</sub></i>	[Wh]	je množství vyrobené elektřiny v roce t,
	<i>r</i>	[-]	je diskontní míra.

Výsledkem tohoto vyjádření jsou náklady vztažené na výrobu elektrické energie, neboli na práci.

Dalším vhodným vyjádřením je také vztažení nákladů na výkon elektrárny. Při tomto vyjádření lze posléze určit průsečíky těchto nákladů od různých zdrojů a stanovit jejich výhodnost. Tento způsob je proveden v kapitole „Výpočet dlouhodobých nákladů“.

## 2.2 Investiční výdaje

### 2.2.1 Výstavba

Výstavba elektráren je velice finančně náročná, přičemž investiční výdaje na výstavbu představují jednu z důležitých položek v nákladech na výrobu elektřiny. Na první pohled je zřejmé, že uhelné elektrárny jsou levnější než jaderné, avšak mezi investiční výdaje nepatří jen samotná stavba, ale i projektové plánování, veškerá administrativa, mzdy dělníkům apod..

Stavba elektrárny zahrnuje z ekonomického hlediska dva případy. Prvním je klasický postup stavby, který zahrnuje přípravu, samotnou stavbu, vybavení a zprovoznění. Tyto úkony trvají několik let, konkrétně u jaderných elektráren 7 let a v uhelných 4 roky [10]. V tomto případě se projeví proměnná hodnota peněžních toků a samotný výpočet nákladů na výrobu je složitý v důsledku úrokových sazeb a inflace, popřípadě vliv nečekaných událostí na celkovou výstavbu. Druhým příkladem, který je využit i v této práci, je okamžitá dostavba elektrárny v jednom okamžiku, tento způsob zahrnuje takzvané „overnight costs“, tedy jednorázové náklady na elektrárnu, která je okamžitě schopna provozu. K těmto investičním nákladům se navíc přičte procentuální částka z investic, která zahrnuje nečekané zvýšení celkových investic na výstavbu.

V obou případech jsou zahrnuty všechny položky výstavby určité elektrárny. Jak již bylo řečeno, výstavba jaderné elektrárny je delší a dražší. Uvedenou skutečnost způsobuje především složitější technologie a větší nároky na bezpečnost, které se projeví na výši investice. Jiným investičním nákladem jsou zkoušky před zahájením provozu, speciální školení zaměstnanců a bezpečnostních složek jaderné elektrárny. Mezi další položky, ovlivňující možné budoucí investice do stavby, lze zařadit nehody elektráren v ostatních zemích po celém světě. Příkladem může být nehoda jaderné elektrárny Fukušima v Japonsku v březnu 2011. Po této události jaderné elektrárny v ČR vynaložily další investice do bezpečnosti, například pro případ výpadku elektrické energie zakoupily diesellové generátory [11]. Z dlouhodobého pohledu na investice, nelze opomenout také instalování nových technologií, které nahrazují staré a především prodlužují životnost, účinnost a výkon celé elektrárny.

Ve srovnání s jadernými elektrárnami jsou investiční náklady uhelných elektráren o 30 % nižší [2]. Důvody jsou popsány výše, jestliže se jedná o moderní elektrárny s nadkritickými turbínami a nejnovějšími odsiřovacími technologiemi. Právě odsiřovací technologie zůstávají velkou investiční položkou, jelikož jejich životnost dosahuje pouze 15 let [2]. V minulém století nebyl kladen velký důraz na ochranu životního prostředí, přehlíženo bylo i působení látek, vypouštěných elektrárnami, jak na prostředí, tak na lidské zdraví. Z tohoto důvodu byl v devadesátých letech realizován projekt ekologizace největších uhelných elektráren v ČR v hodnotě 100 mld. Kč., v přepočtu 15 mil. Kč na 1 MW instalovaného výkonu [2]. Tyto investice se pochopitelně projevují v konečných nákladech na výrobu elektřiny.

## 2.2.2 Likvidace

Životnost celé elektrárny závisí především na životnosti strojního zařízení na přeměnu elektrické energie. U uhelných elektráren se jedná o kotel, parogenerátor a turbínu. Jaderné elektrárny jsou závislé na jaderném reaktoru. Veškeré zařízení lze vyměnit za novější nebo plně nahradit za nové technologie, po ekonomické stránce jsou tyto investice nižší, než pokud by se blok odstavil a postavil nový. Modernizace prodlouží životnost elektráren přibližně o 25 let a také omezí jejich dopad na životní prostředí, avšak tuto variantu do výpočtu nezahrnuji a počítám s kompletní likvidací elektrárny [2].

Určení životnosti elektrárny je velmi složité a záleží na tom, do jaké míry je vlastník elektrárny ochotný investovat do modernizace. Pro výpočty jsou použity následující hodnoty životnosti [10]:

- jaderné elektrárny – 60 let,
- uhelné elektrárny – 40 let.

Po uplynutí životnosti nastávají dvě možnosti, první je obnovení technologických okruhů elektrárny, čímž se prodlouží její činnost, druhou odstavení elektrárny a její postupná likvidace. Likvidační náklady jsou stanoveny následně a jsou započítány do celkových výrobních nákladů [10]. Je důležité zdůraznit, že částka na likvidaci není zvyšována inflací, přesněji řečeno se jedná pouze o procentuální hodnotu z „overnight costs“

- 15 % z celkové investice u jaderných elektráren,
- 5 % z celkové investice u uhelných elektráren.

## 2.3 Fixní náklady

Fixní náklady nejsou ovlivněny objemem výroby, u elektráren zahrnují veškeré energie nevztahující se na výrobu, mzdy zaměstnanců, administrativu pravidelná bezpečnostní cvičení, revizi strojního zařízení, plánovanou údržbu, školení, pojištění, úroky, úmory a také především odpisy, které nejsou pevným výdajem, ale zahrnují se do fixních nákladů. Jaderné elektrárny navíc hradí ukládání vyhořelého paliva, kde správa a údržba skladu není závislá na množství uloženého paliva. Všechny zmiňované náklady musejí být uhrazeny i v případě nulové výroby elektřiny. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tabulce příslušné elektrárny.

## 2.4 Variabilní náklady

Variabilní náklady jsou závislé na objemu produkce, tedy na množství vyrobené elektřiny. Tyto náklady jsou velmi důležité pro celkové ekonomické zhodnocení zdroje.

### 2.4.1 Palivové náklady

Další důležitou položkou po investicích jsou palivové náklady. U uhelných elektráren se jedná především o hnědé a černé uhlí, u jaderných jde o jaderné palivo ve formě palivových tyčí obsahující pelety, uzavřené v kontejneru.

Palivové náklady nezahrnují pouze cenu paliva, ale také jeho přepravu do místa elektrárny, zpracování a jeho následnou likvidaci po vyhoření či ukončení kampaně. V případě uhelných elektráren se palivové náklady také odvíjejí od toho, jestli je palivo přiváženo ze vzdálenějšího místa těžby, nebo je elektrárna umístěna v bezprostřední blízkosti uhelného dolu. V druhém případě je možné uhlí přepravovat po dopravních pásech, takže dopravní náklady odpadají. Konečná výše výdajů závisí také na výhřevnosti paliva a použitém ohništi.

Průměrná cena hnědého uhlí za rok 2015 činila 1 200 Kč/t, černého uhlí 1 825 Kč/t. U těchto hodnot však dochází k veliké nejistotě, protože výrobny nezveřejňují nákupní cenu paliva a lze předpokládat nižší cenu z důvodu velkoodběru, který je zajištěn na několik let dopředu. Cenu paliva jsem považoval po celou dobu životnosti elektrárny za konstantní.

Palivo jaderných elektráren je dováženo od dodavatele už v připraveném stavu. Tím odpadají náklady na úpravu paliva, jako je tomu u uhelných elektráren, kdy se uhlí musí nejprve nadrtit a vysušit, avšak vznikají náklady na uschování vyhořelého jaderného paliva. Energetická účinnost jaderného paliva je mnohonásobně vyšší než u uhlí. Jaderná elektrárna je schopna z 1 kg paliva vyprodukovat přibližně 1 GWh elektrické energie [2]. Cena jaderného paliva je stanovena na 3 250 Kč/kg [10]. Náklady na jaderné palivo nepředstavuje jen čistá cena za kilogram, ale také se do nich započítává doprava a uschování před použitím. I v tomto případě je cena paliva po celou dobu životnosti konstantní.

Spotřeba jednotlivých druhů paliva závisí na účinnosti a technologii elektrárny. V případě jaderných elektráren počítám se spotřebou 1 kg jaderného paliva na vyrobenou GWh. Určení spotřeby v uhelných elektrárnách je složitější, takže jsem vycházel z hodnot poskytnutých provozovatelem. Ten uvádí spotřebu hnědého uhlí v elektrárně Prunéřov II 1,32 t/MWh, elektrárna Ledvice díky lepším technologiím spotřebuje pouze 1,1 t/MWh. Černouhelná elektrárna Dětmarovice vyrobí 1 MWh z 0,93 t uhlí.

### 2.4.2 Vodné a stočné

Voda je velmi důležitou položkou v provozních výdajích, jelikož ji nelze vynechat nebo nijak nahradit, takže zůstává nenahraditelnou technologickou součástí výroby. S tímto souvisí vodné a stočné. Průměrná spotřeba vody v uhelných elektrárnách dosahuje 2,85 m<sup>3</sup>/MWh, z toho 0,02 m<sup>3</sup>/MWh připadá na pitnou vodu, v případě jaderných je průměrná hodnota 2,773 m<sup>3</sup>/MWh, s podílem 0,018 m<sup>3</sup>/MWh pitné vody [12]. Cena za vodné a stočné je stanovena podle dat ČSÚ pro jednotlivé kraje, kde se elektrárna nachází. Cena průmyslové vody pro výrobu je pro velkoodběratele 15 Kč/m<sup>3</sup> [13]. U těchto



hodnot opět nastává stejný problém jako u paliva, kdy položky postihuje nejistota z důvodu nezveřejňování smluv o ceně mezi odběratelem a dodavatelem.

### **2.4.3 Poplatky související s ochranou životního prostředí**

Energetické zdroje při spalování paliva na výrobu elektřiny vypouštějí do ovzduší škodlivé látky, jedná se o tuhé znečišťující látky (TZL), oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>), oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) a oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>). Uvedené látky zatěžují životní prostředí a snahou všech států je omezit jejich množství v ovzduší, přičemž se příslušné množství zpoplatňuje. Emisní povolenky se týkají oxidu uhličitého a ostatní látky se zpoplatňují podle sazby obsažené v zákoně o ochraně ovzduší (předpis č. 201/2012 Sb. ze dne 2. 5. 2012).

Evropská komise stanovuje množství emisí, které mohou členské státy vyprodukovat, a přidělí jim určitý počet emisních povolenek. Jedna emisní povolenka dovoluje vypustit tunu oxidu uhličitého. Povolenky jsou následně státem rozděleny a zároveň lze s emisními povolenkami obchodovat na burze [14]. Cena jedné povolenky je proměnná a závisí na aktuální poptávce a nabídce. Průměrná cena za 3Q 2015 činí 212,8 Kč [15]. Určení dlouhodobé ceny emisní povolenky je velmi obtížné, a to hned z několika důvodů. Prvním zůstává nevyzpytatelnost Evropské unie, potažmo Evropské komise, kdy jakékoliv spekulace o změně legislativy upravující emisní povolenky způsobí vysoké výkyvy na trhu s povolenkami. Dalším důvodem jsou změny postoje vlád členských států EU a dalších evropských zemí k nahrazování spalovacích zdrojů obnovitelnými zdroji, kdy může dojít k přesycení trhu nebo naopak k nedostatku emisních povolenek. Z těchto důvodů používám ve výpočtu konstantní hodnotu povolenek po celou dobu životnosti elektrárny.

Zákon o ochraně ovzduší definuje povolené množství znečišťujících látek v ovzduší, způsoby posuzování úrovně znečištění a nástroje ke snížení znečištění. Elektrárna je podle tohoto zákona definována jako stacionární zdroj znečištění, takže podléhá poplatkové povinnosti, jejíž výše je rovněž uvedena v zákoně [16].

Provozovatelé jaderných elektráren jsou dále povinni hradit poplatky na tzv. jaderný účet, vztahující se na výstavbu a údržbu skladu na ukládání jaderného paliva. Tuto povinnost stanovuje atomový zákon (zákon č. 18/1997 Sb. ze dne 24. 1. 1997) a výše poplatků upravuje nařízení vlády č. 417/2002 Sb. ze dne 28. 8. 2002. V případě jaderných elektráren se za vyrobenou MWh odvádí 50 Kč [17].

### **2.4.4 Ostatní variabilní náklady**

Ostatní variabilní náklady jsou závislé na objemu výroby a mezi ně jsou raženy především různé opravy opotřebovaného zařízení, částečné energie, úkolové mzdy, apod. Jejich výše závisí na typu a velikosti elektrárny.

## 2.5 Diskontování a inflace

Při zabývání se náklady na výrobu elektřiny je nutné brát ohled na proměnnou hodnotu peněz, která se v závislosti na čase mění. Pro přepočítání finančních toků, v mém případě nákladů, z různých období na současnou hodnotu za dobu  $t$  je třeba využít diskontování, které je definováno podle vzorce [8]:

$$PV = \frac{R}{(1+r)^t} \quad (3)$$

kde  $PV$  [Kč] je současná hodnota,  
 $R$  [Kč] je budoucí hodnota,  
 $r$  [-] je diskontní míra.

Nejdůležitějším proměnou při diskontování je diskontní míra nebo sazba. Její velikost vychází z nákladu ušlé příležitosti, uvažuje tedy, jakého zaručeného procentuálního výnosu se investor vzdává z důvodu investování do nového zdroje. Dále se musí rozlišit nominální a reálná míra. Nominální diskontní míra započítává vliv změn cen, tedy inflaci nebo deflaci. Naopak reálná diskontní sazba tyto změny nezahrnuje.

Výpočty v této práci jsou provedeny ve stálých cenách, takže nejsou ovlivněny inflací. V důsledku tohoto přístupu lze výsledky porovnávat s ostatními státy, kde míra inflace může mít různou hodnotu. Po zavedení stálých cen je použita reálná diskontní míra ve výši 3 %, odpovídající podnikání v oblasti energetiky [10].

## 3 Výpočet dlouhodobých nákladů

### 3.1 Vybrané elektrárny

Pro výpočet nákladů výroby elektřiny jsem zvolil skutečné uhelné a jaderné elektrárny v České republice tak, aby v případě uhelných elektráren byly zastoupeny nejběžnější technologie a typ paliva. Veškeré technické parametry elektráren byly zveřejněny provozovatelem. Ekonomické ukazatele jsou z velké části publikovány, pokud údaje chyběly, byly převzaty z odborné literatury nebo analyzovány na trhu.

Při výpočtu předpokládám konstantní produkci elektřiny během celé životnosti elektrárny. V případě jaderných elektráren počítám s koeficientem využití  $k = 80\%$  (7008 hodin za rok), u uhelných elektráren jsem použil  $k = 47\%$  (4117 hodin za rok) [3].

#### 3.1.1 Jaderné elektrárny v ČR

V České republice jsou pouze dvě jaderné elektrárny, starší z nich – elektrárna Dukovany se nachází na východě země v kraji Vysočina a je v provozu od roku 1987. Elektrárna Temelín se nachází v Jihočeském kraji a její provoz byl zahájen v roce 2002. Následující tabulky shrnují nejdůležitější hodnoty vztahujících se k jednotlivým elektrárnám.

Technické ukazatele elektráren	Temelín	Dukovany
Instalovaný výkon [MW]	2 133	2 040
Vyrobená elektřina za rok [GWh]	14 948	14 296
Roční spotřeba paliva [t]	14,98	14,29
Roční spotřeba pitné vody [mil. m <sup>3</sup> ]	0,26	0,25
Roční spotřeba průmyslové vody [mil. m <sup>3</sup> ]	41,45	39,64

Tabulka 1: Technické údaje o JE v ČR [2] [5] [10] [11] [12] [18]

Peněžní ukazatele elektráren	Temelín	Dukovany
Výstavba [mld. Kč]	98	25
Další investiční výdaje [mld. Kč]	4,0	32,2
Roční fixní výdaje [mld. Kč]	2,4	2,2
Roční palivové výdaje [mld. Kč]	0,048	0,046
Roční ostatní variabilní výdaje [mld. Kč]	1,79	2,57
Vodné a stočné [mld. Kč]	1,78	1,58
Likvidace [mld. Kč]	15,30	8,58
Ekologické poplatky [mld. Kč]	0,74	0,71

Tabulka 2: Ekonomické údaje o JE v ČR [2] [5] [10] [11] [12] [18]

Do dalších investičních výdajů řadíme v případě elektrárny Temelín bezpečnostní prvky, které jsou pořízovány zvláště po různých katastrofických událostech ve světě. Investiční náklady elektrárny Dukovany jsou způsobeny renovací zařízení, aby se prodloužila její životnost a zvýšil elektrický výkon.

### 3.1.2 Uhelné elektrárny v ČR

V České republice existovalo ke konci roku 2015 25 uhelných elektráren. Výpočet nákladů na výrobu elektřiny byl proveden jen u vybraných vzorků. Veškeré údaje pro výpočet jsou uvedeny v následující tabulce.

Technické ukazatele elektráren	Pruněřov II	Dětmarovice	Ledvice
Palivo	hnědé uhlí	černé uhlí	hnědé uhlí
Kotel	granulační	granulační	Fluidní
Instalovaný výkon [MW]	1 050	800	330
Vyrobená elektřina za rok [GWh]	4 323	3 293	1 358
Roční spotřeba paliva [mil. t]	5,70	3,06	1,49
Roční spotřeba pitné vody [mil. m <sup>3</sup> ]	0,86	0,65	0,27
Roční spotřeba průmyslové vody [mil. m <sup>3</sup> ]	12,32	9,38	3,87

**Tabulka 3:** Technické údaje o vybraných UE v ČR [2] [19] [20] [21] [22] [23]

Peněžní ukazatele elektráren	Pruněřov II.	Dětmarovice	Ledvice
Výstavba [mld. Kč]	24,6	20,4	11,8
Další investiční výdaje [mld. Kč]	15,75	12	4,95
Roční fixní výdaje [mld. Kč]	0,6	0,5	0,2
Roční palivové výdaje [mld. Kč]	6,84	5,59	1,79
Roční ostatní variabilní výdaje [mld. Kč]	0,43	0,32	0,13
Vodné a stočné [mld. Kč]	0,66	0,41	0,20
Likvidace [mld. Kč]	2	1,62	0,84
Ekologické poplatky [mld. Kč]	0,31	0,23	0,10

**Tabulka 4:** Ekonomické údaje o vybraných UE v ČR [2] [19] [20] [21] [22] [23]

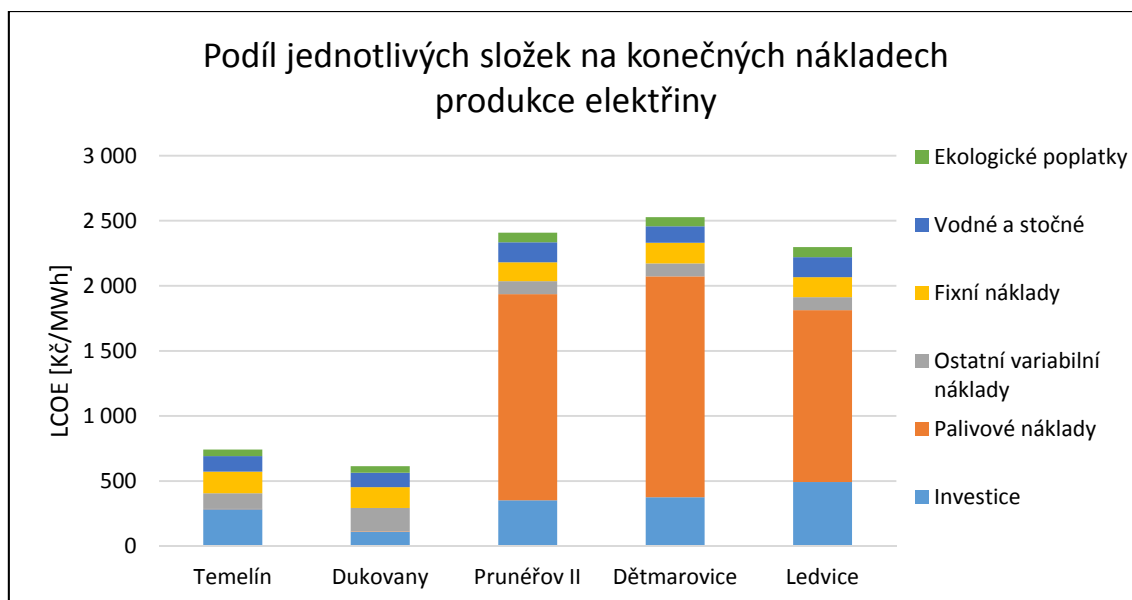
## 3.2 Výsledky výpočtu

Podle zvolené metodiky a koeficientu využití jsem stanovil následující výrobní náklady ve vybraných uhelných a jaderných elektrárnách v ČR za dobu celé jejich životnosti.

Elektrárna	Celkové náklady [mld. Kč]	LCOE [Kč/MWh]	Náklady vztažené na vý- kon [Kč/MW]
Temelín	306	741	5 015 571
Dukovany	242	613	4 150 898
Pruněřov II	240	2 407	9 983 600
Dětmarovice	192	2 528	10 479 354
Ledvice	72	2 297	9 482 515

**Tabulka 5:** Výrobní náklady elektřiny ve vybraných elektrárnách ČR

Přímé srovnání výsledků výpočtu mezi jadernými a uhelnými elektrárnami nelze provést z důvodu rozdílného koeficientu využití, tato problematika je popsána v další kapitole kdy se zaměřuji přímo na porovnání, při jakém koeficientu je konkrétní elektrárna ekonomicky efektivnější. Z uvedených výsledků lze však provést analýzu dopadu jednotlivých výdajů na celkové náklady výroby elektřiny, které jsou zobrazeny na grafu č.4.



**Graf 3:** Podíl vstupních hodnot nákladů

V grafu jsou vidět podíly jednotlivých výdajů na celkových nákladech. Na první pohled jsou zřejmé velké rozdíly mezi palivovými náklady jaderných a uhelných elektráren. V případě JE Temelín tvoří palivové náklady pouze 0,44 % celkových nákladů, u elektrárny Dukovany je tato hodnota o něco vyšší, konkrétně dosahuje 0,53 %. Naproti tomu, palivové náklady uhelných elektráren tvoří většinu všech

výdajů na výrobu elektřiny, přesněji 57 % - 68 % z celkových nákladů, což je způsobeno především energetickou hodnotou paliva.

Druhou důležitou položku představují investice, které jsou u jaderných elektráren největší. U elektrárny Temelín tvoří 38 % z celkových nákladů, avšak u elektrárny Dukovany tvoří pouze 18 %. Důvodem je levná výstavba a použití starších technologií, kterou jsou nahrazovány v pozdějších letech životnosti. Důsledkem jsou vysoké ostatní variabilní náklady na nečekané opravy, dosahující 29 % celkových nákladů. Pro srovnání, u elektrárny Temelín ostatní variabilní náklady tvoří pouze 16 % celkových nákladů. I přes tyto vysoké náklady jsou celkové náklady na výrobu při reálném využití nejmenší. Investice u uhelných elektráren s granulačním ohništěm se podílejí 15 % na celkových nákladech, v případě fluidních kotlů dokonce 21 %.

U jaderných elektráren jsou také vysoké fixní náklady, dosahující 22 %, respektive 26 % celkových nákladů. Důvodem jsou větší nároky na bezpečnost a kvalifikaci zaměstnanců, popřípadě pravidelná školení a cvičení. V případě uhelných elektráren tvoří uvedené náklady pouze 6 %.

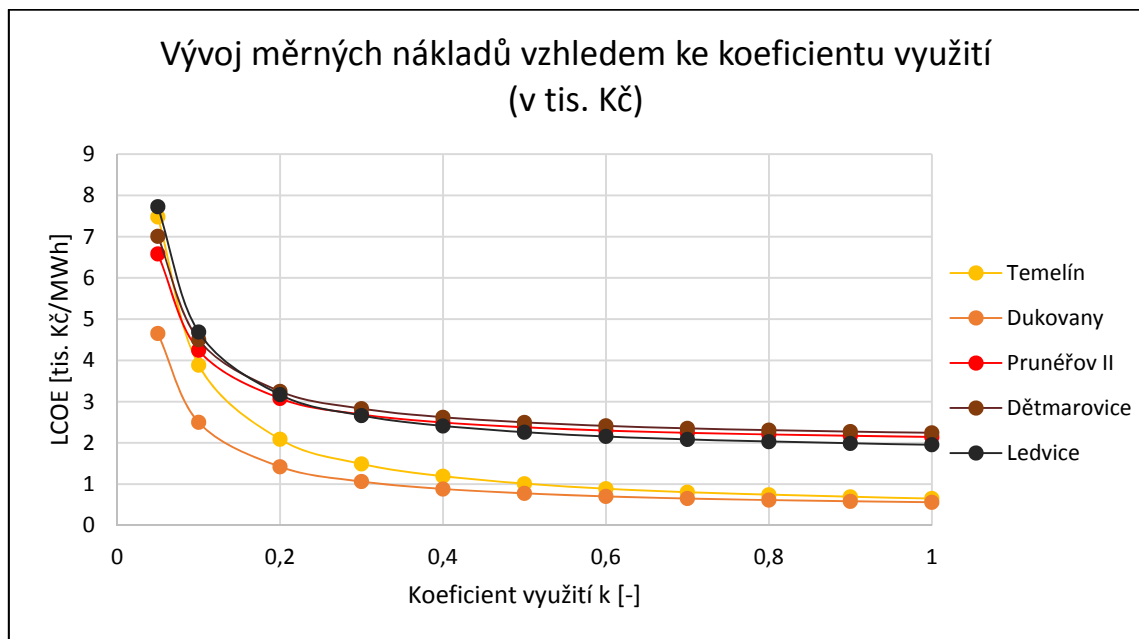
Veškeré ostatní položky, mezi které patří poplatky na ochranu životního prostředí a vodné a stočné, přispívají na celkové výrobní náklady jednotlivě 3 - 10 %. Lze tedy shrnout, že hlavními položkami, které se podílejí na tvorbě celkových nákladů, jsou u jaderných elektráren především investiční výdaje a u uhelných elektráren palivové náklady.

## 4 Citlivostní analýza a porovnání výsledků

### 4.1 Vliv doby využití na nákladech

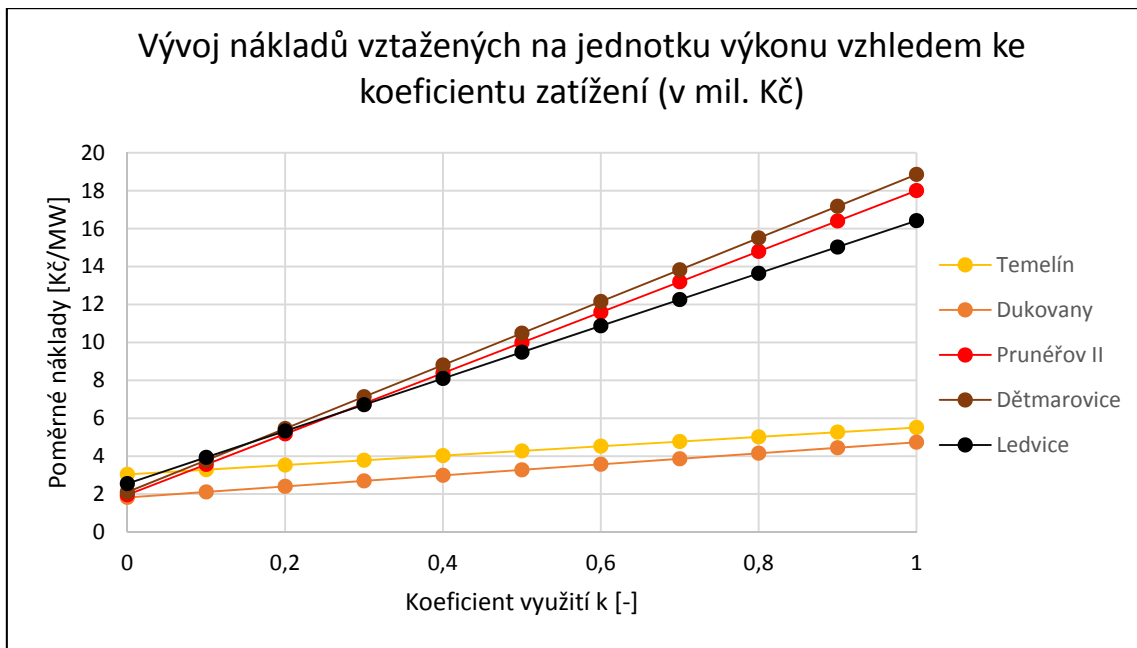
Výrobní náklady elektrické energie se skládají z fixních a variabilních nákladů, které jsou podrobně analyzovány v předchozí kapitole. Z tohoto důvodu je vhodné provést citlivostní analýzu vzhledem ke koeficientu využití, neboli v mikroekonomickém pohledu vzhledem k produkci.

Ve výpočtu jsem změnil koeficient využití  $k$  v intervalu  $<0,05;1>$  a sledoval změny měrných nákladů. Výsledky jsou vyneseny do následujícího grafu.



Graf 4: Závislost měrných nákladů na koeficientu využití

Křivka je podobná křivce stálých průměrných nákladů určující výsledné náklady na jednotku produkce, v našem případě na koeficient využití. Z grafu lze velmi obtížně rozhodnout, který zdroj elektrické energie je při určitém využití z ekonomického hlediska výhodnější. K lepší rozlišovací schopnosti využijí citlivostní analýzu celkových nákladů vztažených na instalovaný výkon vzhledem ke koeficientu využití. Koeficient  $k$  jsem v tomto případě změnil v intervalu  $<0;1>$  tak, aby byly zachyceny i náklady při nulové produkci. Následně jsem výsledky vynesl do grafu.



**Graf 5:** Závislost nákladů na instalovaný výkon ke koeficientu využití

Pomocí grafického řešení soustav rovnic jsem určil průsečíky jednotlivých křivek nákladů a určil roční dobu provozu, kdy jsou jednotlivé elektrárny výhodnější než ostatní.

Při nulové výrobě jsou největší náklady v elektrárně Temelín důsledkem vysokých investic do výstavby. V případě Dukovan jsou srovnatelné s uhelnými elektrárnami a při zvyšující se produkci povolna rostou. Tento jev je pro tuto elektrárnu typický, takže ji v další analýze vynechám a nalezu průsečíky pouze pro Temelín a ostatní uhelné elektrárny.

V intervalu  $k < 0 ; 0,045$ ) jsou náklady v jaderné elektrárně vyšší než v případě uhelných elektráren. V bodě  $k = 0,045$  nastává zlom a výroba v elektrárně Ledvice je dražší než v Temelíně. Důvodem je cena paliva a výše investic do fluidních kotlů.

V intervalu  $k (0,045 ; 0,065)$  je výroba ve zbytku uhelných elektráren levnější. K dalšímu zlomu dochází v bodě  $k = 0,065$ , kdy je výroba v černouhelné elektrárně Dětmarovice dražší než v případě Temelína. Popsanou skutečnost způsobuje především cena paliva, i přes vyšší energetickou hodnotu černého uhlí ve srovnání s hnědým uhlím se černé uhlí nemůže rovnat energetickým účinkům jaderného paliva, a náklady se se zvyšující produkcí projeví.

Poslední úsek, kde je výroba v uhelné elektrárně levnější než v jaderné, leží v intervalu  $k < 0,065 ; 0,08$ , poté se již na celkových nákladech na výrobu plně projeví vliv paliva v uhelných elektrárnách. Z těchto dílčích výsledku lze usoudit, že výrobní náklady v jaderných elektrárnách jsou nízké i při nízkém využití kolem 700 hodin.

Další vhodnou analýzou je určení rozdílu mezi hnědým a černým uhlím. Provedl jsem opět grafické řešení soustav rovnic, abych našel průsečíky uhelných elektráren. V intervalu  $k < 0 ; 0,27$ ) pro-

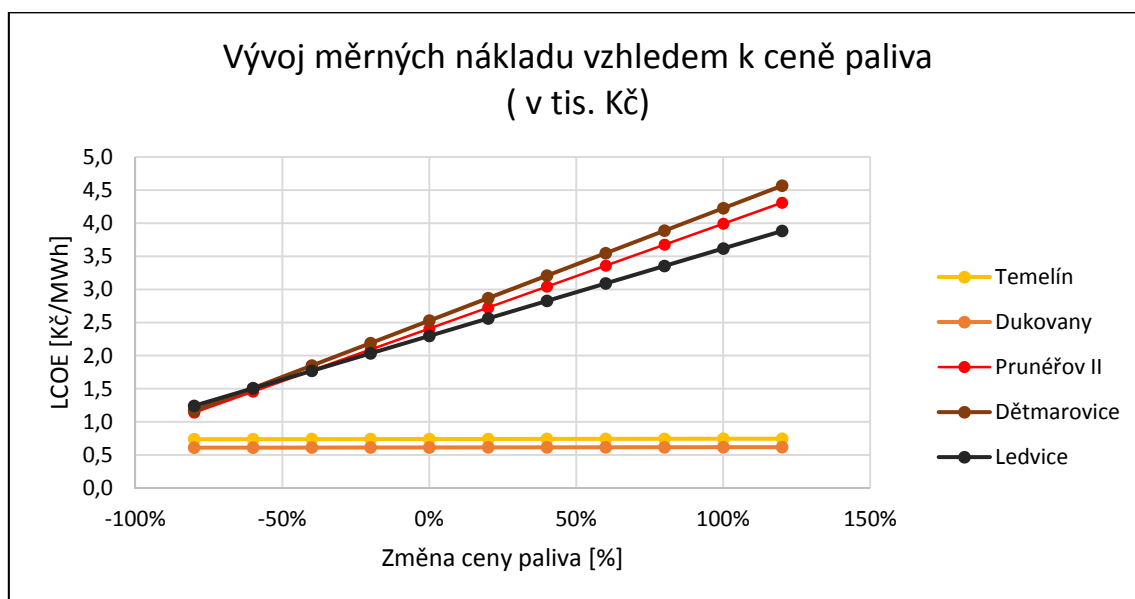


bíhá nejlevnější výroba v elektrárně Prunéřov. Poté v intervalu (0,27;1> se jako nejlevnější ukazuje výroba v elektrárně Ledvice využívající fluidní kotle. Důvodem je především menší spotřeba paliva, než je tomu v případě Prunéřova.

Zajímavým zjištěním jsou náklady v elektrárně Dětmarovice, využívající černé uhlí. I přes vyšší energetické schopnosti černého uhlí jsou náklady v této elektrárně po většinu využití větší než v hnědouhelných elektrárnách. Pouze v intervalu  $k < 0; 0,15$  je výroba v Dětmarovicích levnější než v Ledvicích. Je to dáno především vyšší cenou černého uhlí, která není dostatečně kompenzována jeho výhřevností.

## 4.2 Závislost nákladů na ceně paliva

Nejdůležitější položkou pro provoz elektráren zůstává palivo, které se přemění na elektrickou energii. Proto je vhodné posoudit vliv jeho ceny na konečných nákladech výroby elektřiny. Z analýzy vlivu jednotlivých výdajových položek je zřejmé, že růst či pokles cen paliva může způsobit výkyvy, které se musejí zahrnout do případných rizik investice. Z těchto důvodů jsem provedl citlivostní analýzu zahrnující proměnou cenu paliva a její vliv na celkových nákladech. Cenu paliva jsem měnil v rozmezí -100 % až +120 % z původní ceny. Výsledky jsem poté vynesl do následujícího grafu.



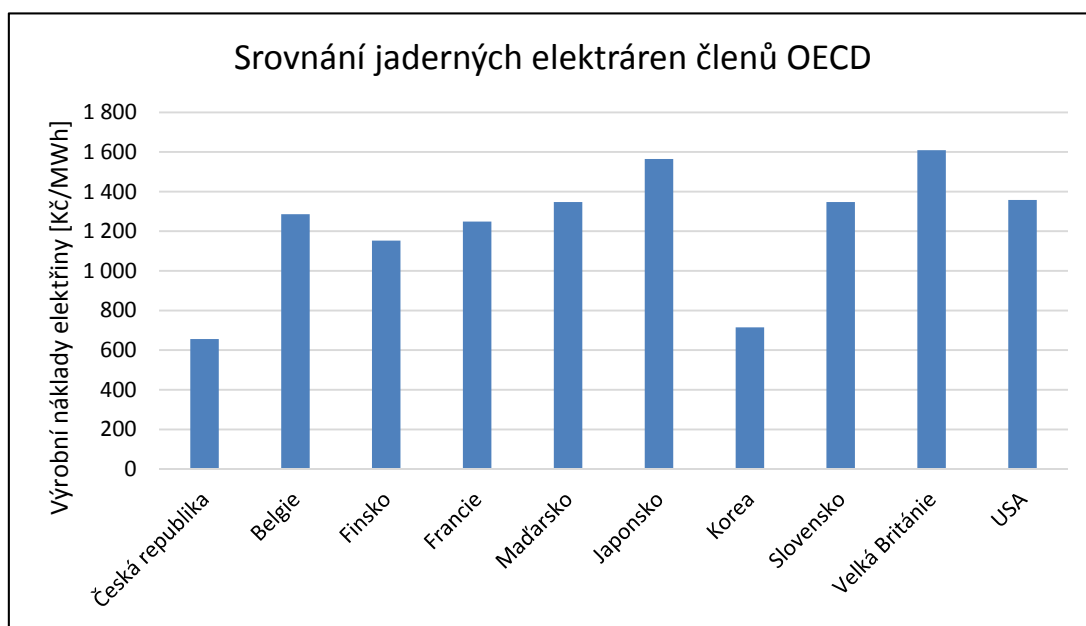
**Graf 6:** Citlivostní analýza ceny paliva

Z grafu je vidět hlavní výhoda jaderných elektráren, kde je jejich závislost na ceně paliva minimální. Porovnáním dvou mezních případů, kdy se cena paliva sníží o 100 % a na druhé straně zvýší o 120 %, je rozdíl v konečných nákladech pouze 2,44 %, tedy v případě elektrárny Temelín vzrůst z původní hodnoty 738 Kč/MWh na 745 Kč/MWh. Lze tedy konstatovat, že jaderné elektrárny jsou skutečně velmi nezávislé na vývoji cen paliva. Na druhé straně citlivostní analýza potvrdila vysokou závislost uhelných elektráren na ceně paliva. Příkladem je elektrárna Dětmarovice, jestliže se na jedné straně opět sníží cena o 100 % a na druhé zvýší o 120 %, je rozdíl v konečných nákladech 74,3 %. Vyčísleno v Kč se náklady zvedly z 1 170 Kč/MWh na 4 565 Kč/MWh.

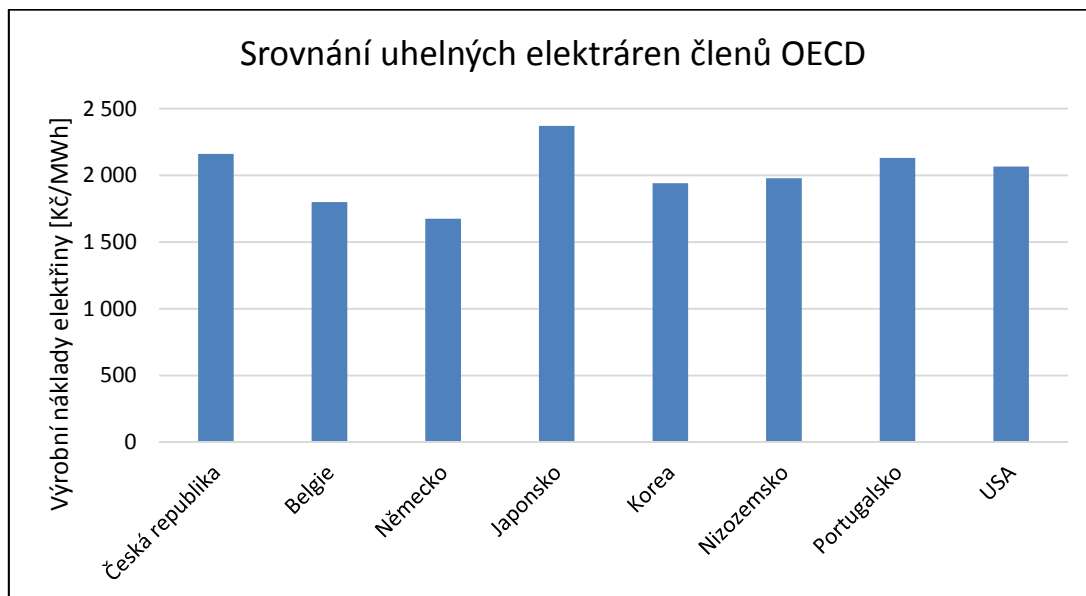
Snižující se zásoby fosilních paliv způsobí narůst cen uhlí, a to pravděpodobně až o 100 %. Je velmi reálné, že vzhledem k jejich dlouhé životnosti dosahující až 40 let se tento problém dotkne i dnešních uhelných elektráren.

### 4.3 Srovnání nákladů s ostatními zeměmi OECD

Pro další srovnání jsou vybrány členské státy OECD, které poskytly údaje o nákladech na výrobu elektrické energie pro rok 2015. Jedná se o průměrné hodnoty daného státu z uhelných a jaderných elektráren při reálné diskontní míře 3% a koeficientu využití  $k = 0,85$  [10].



Graf 7: Srovnání výrobních nákladů jaderných elektráren členů OECD



Graf 8: Srovnání výrobních nákladů uhelných elektráren členů OECD

Z prvního grafu vyplývají nejmenší výrobní náklady v jaderných elektrárnách, které se nacházejí v České republice a Jižní Koreji, což je způsobeno především variabilními náklady, protože investiční náklady jsou srovnatelné a odchylují se pouze v rozmezí  $\pm 10\%$ .

Výrobní náklady v uhelných elektrárnách jsou ve všech členských státech OECD velmi podobné. Důvodem jsou srovnatelné jak investiční, tak i variabilní a fixní náklady. Investiční náklady jsou shodné v důsledku použití zavedených technologií, které se neliší, a lze říci, že jsou unifikované. Variabilní náklady tvoří především palivo. Většina zemí provozuje vlastní těžbu uhlí a nejsou nijak omezeny importem palivových surovin.

## Závěr

V první části práce jsem popsal typy zdrojů elektrické energie v elektrizační soustavě České republiky se zaměřením na jaderné a uhelné elektrárny, u kterých jsem podrobněji popsal princip fungování a jejich hlavní technologické části včetně paliva. Celkový instalovaný výkon těchto dvou hlavních zdrojů elektrické energie představuje většinu veškerého instalovaného výkonu v ČR a taktéž vytvoří největší množství elektrické energie oproti ostatním zdrojům. Zmiňované elektrárny jsou tedy nedílnou součástí elektrizační soustavy. Avšak snahou České energetické koncepce je omezit uhelné elektrárny a podporovat pouze jaderné a obnovitelné zdroje, i přes důležitý význam uhelných elektráren. Uhelné a jaderné elektrárny pokrývají většinu základního zatížení z důvodu technologických procesů výroby a nezávislosti na vnějších přírodních podmínkách. Z těchto skutečností vyplývá, že většina vyrobené elektřiny pochází právě z nich.

Ve druhé části jsem se zaměřil na definici a způsob výpočtu dlouhodobých měrných nákladů výroby elektrické energie již postavených elektráren, přičemž jsem vycházel z publikace OECD, která se těmito výpočty zabývá. Avšak použitím uvedené metody nebylo možné přesně určit vliv jednotlivých složek na celkové náklady. Z tohoto důvodu jsem metodu výpočtu upravil tak, aby byly zřejmé hlavní složky podílející se na konečných nákladech, a následně zmiňované složky analyzoval a popsal.

V následující části jsem provedl samotné výpočty nákladů na výrobu elektřiny u reálných uhelných a jaderných elektráren. Použil jsem stálé ceny, které nejsou ovlivněny inflací, a veškeré náklady jsem přepočítal pomocí diskontování na současnou hodnotu podle předchozí definice výpočtu. Výrobní kapacity jednotlivých elektráren jsem uvažoval podle jejich skutečných využití. Musím v této souvislosti zdůraznit, že některé náklady provozovatel elektráren nezveřejňuje. Potřebné hodnoty, které nejsou k dispozici pro výpočet, jsem proto získal rozbořením trhu a tržních cen v daném oboru. Z tohoto důvodu provází některé vstupy jistá míra nejistoty, která ovšem nezkrsluje samotné výsledky výpočtu.

Konečné výrobní náklady jaderných a uhelných elektráren se odvíjejí podle využití daného zdroje. Při nízkém využití jsou výrobní náklady v uhelné elektrárně nižší než v jaderné. Avšak při zvýšení využití se projeví velká závislost na palivu a výroba v jaderných elektrárnách je levnější i přes vysoké investiční výdaje. Uvedená skutečnost je způsobena především vysokou energetickou hodnotou jaderného paliva, kterého je potřeba mnohem méně než v případě uhlí. Na výrobních nákladech se nepodílí pouze palivo, ale i další náklady, jako jsou poplatky související s ochranou životního prostředí, vodné a stočné či fixní náklady. Všechny uvedené složky jsou podrobněji popsány v praktické části.

Citlivostní analýzou byla potvrzena hypotéza, že uhelné elektrárny jsou velmi závislé na palivových nákladech, kde i nepatrná změna vede k velkému nárůstu nebo poklesu celkových nákladů. Jaderné elektrárny jsou v tomto ohledu velmi odolné a výkyvy cen uranu je neohroží.

Na závěr jsem porovnal mé výsledky výpočtu s ostatními zeměmi OECD. Výrobní náklady jaderných elektráren v ČR jsou velmi nízké, srovnatelné pouze s elektrárnami v Jižní Koreji, v případě uhelných elektráren jsou náklady ve srovnání s většinou členských států OECD mírně vyšší.

Z výsledků práce lze usuzovat, že elektrárny na tuhá paliva ve formě uhlí a uranu budou v ČR nedílnou součástí elektrizační soustavy několik dalších desítek let. Nicméně předpokládá se, že náklady na provoz uhelných elektráren se budou postupně zvyšovat z důvodu tenčících se vhodných zásob nezbytného paliva. Náhradou může být jaderná energetika, která se stále rozvíjí, přičemž její hlavní výhodou zůstává ekonomická stálost po celou dobu jejich životnosti, a to i přes palivové výkyvy. Velký nedostatek zůstává problém vyhořelého jaderného paliva a jeho následné uschování, nebo další zpracování, která však není tématem této práce. Další otázkou je efektivnost těchto zdrojů na trhu, přesněji zdali se vyplatí do takového zdroje investovat. Na nalezení odpovědi je vhodné použít některý nástroj na zhodnocení investičních záměrů, jako například čistou současnou hodnotu nebo vnitřní výnosové procento. Díky těmto nástrojům lze posoudit uhelné a jaderné elektrárny z dalšího úhlu pohledu.

## Literatura

- [1]. **Toman, P., Drápela, J., Mišák, S., Orságová, J., Paar, M. a Topolánek D.** *Provoz distribučních soustav*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [2]. **Doležal, J., Štastný, J., Špetlík, J., Bouček, S. a Brettschneider, Z.** *Jaderné a klasické elektrárny*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04936-5.
- [3]. **ERÚ.** *Roční zpráva o provozu ES ČR*. [PDF] Praha : Energetický regulační úřad, 2014.
- [4]. **ČEZ a.s.** Uhelné elektrárny. *EnergyWeb*. [Online] Simopt Multimedia. [Citace: 27. 10 2015.] [http://www.energyweb.cz/web/index.php?display\\_page=2&subitem=1&ee\\_chapter=2.5.3](http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=2.5.3).
- [5]. **ČEZ a.s.** Výroba elektřiny. *Jaderné elektrárny ČEZ*. [Online] on-line team Skupiny ČEZ. <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/jaderna-energetika/jaderna-elektřiny-cez.html>.
- [6]. **Procházka, R.** Základní pojmy a definice. *PowerWiki*. [Online] [Citace: 12. 11 2015.] <https://www.powerwiki.cz/attach/EN1Podklady/1-Elektroenergetika%201-Zakladni%20pojmy%20a%20definice.pdf>.
- [7]. **Mastný, P., Drápela, J., Mišák, S., Macháček, J., Ptáček, M., Radil, L., Bartošík, T. a Pavelka, T.** *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [8]. **Fialová, H. a Fiala, J.** *Ekonomický výkladový slovník*. Praha : A plus, 2011. ISBN 978-80-903804-5-5
- [9]. **Vastl, J. a Vašíček, J.** Marginální náklady. *Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd*. [Online] 2015. [Citace: 16. 4 2016.] <https://ekonom.feld.cvut.cz/cs/student/predmety/ekonomika-v-elektroenergetice/prednasky/08%20EKE%20Marginalni%20naklady.pdf>.
- [10]. **NEA/IEA/OECD.** *Projected Costs of Generating Electricity 2015*. Paris : OECD Publishing, 2015. ISBN 978-92-64-24443-6.
- [11]. **Tramba, D., Lukáč, P., Trejbal, V., Zelenka, R.** *Atom Energy Outlook 2015*. Praha : Economia a.s., 2015.
- [12]. **ČEZ, a.s.** *Zpráva o společenské odpovědnosti Skupiny ČEZ*. [PDF] Praha : on-line team Skupiny ČEZ, 2013.
- [13]. **Český statistický úřad.** Vodovody, kanalizace a vodní toky - 2014. *Český statistický úřad*. [Online] 2. 6 2015. [Citace: 6. 3 2016.] <https://www.czso.cz/csu/xh/spotreba-vody-v-kraji-opet-klesla>.
- [14]. **Metodický portál RVP.** Emisní povolenky. *Metodický portál*. [Online] 9. 8 2010. [Citace: 3. 11 2015.] [http://wiki.rvp.cz/Knihovna/1.Pedagogicky\\_lexikon/U/Udr%C5%BEiteln%C3%BD\\_rozvoj/Emisni%C3%AD\\_povolenky](http://wiki.rvp.cz/Knihovna/1.Pedagogicky_lexikon/U/Udr%C5%BEiteln%C3%BD_rozvoj/Emisni%C3%AD_povolenky).
- [15]. **EEX.** Emission Allowences. *European Energy Exchange*. [Online] 10 2015. [Citace: 22. 11 2015.] <https://www.eex.com/en/market-data/emission-allowances/auction-market/european-emission-allowances-auction#!/2015/11/19>.
- [16]. Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. *Sbírka zákonů*. 2.5.2012.
- [17]. Nařízení vlády č. 416/2002. 28.8.2002.

[18]. **Raška, J.** Temelín a jeho návratnost. *Fio Banka*. [Online] 26. 7 2013. [Citace: 12. 1 2015.] [http://www.fio.cz/docs/zpravodajstvi/3/cz/134069\\_Odborny\\_clanek\\_9x.pdf](http://www.fio.cz/docs/zpravodajstvi/3/cz/134069_Odborny_clanek_9x.pdf).

[19]. **Beneš, I. et al.** . *Ekonomické posouzení rekonstrukce elektrárny Pruněřov II.* [PDF] Praha : CITYPLAN spol. s r. o., 2010.

[20]. **ČEZ a.s.** Životní prostředí. *Množství emisí*. [Online] on-line team Skupiny ČEZ. <http://www.cez.cz/cs/odpovedna-firma/zivotni-prostredi/sledovani-parametru-pro-ochranu-ovzdusi/mnozstvi-emisi.html>.

[21]. **ČEZ a.s.** Uhelné elektrárny v ČR. *Elektrárny Pruněřov*. [Online] on-line team Skupiny ČEZ. <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/prunerov.html>.

[22]. **ČEZ a.s.** Uhelné elektrárny v ČR. *Elektrárna Dětmarovice*. [Online] on-line team Skupiny ČEZ. <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/detmarovice.html>.

[23]. **ČEZ a.s.** Uhelné elektrárny v ČR. *Elektrárna Ledvice*. [Online] on-line team Skupiny ČEZ. <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/ledvice.html>.

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma bloku uhelné elektrárny [4].....	11
Obrázek 2: Schéma jaderné elektrárny [5].....	14
Obrázek 3: Schéma okruhů v JE [2] .....	14
Obrázek 4: Sestavení komponentu jaderného paliva [2] .....	15
Obrázek 5: Denní diagram zatížení [6] .....	17
Obrázek 6: Řazení elektráren [2] .....	18

## Seznam grafů

Graf 1: Graf podílu instalovaného výkonu v ES ČR v roce 2014 [3].....	16
Graf 2: Graf vyrobené elektřiny v ČR v roce 2014 [3] .....	19
Graf 3: Podíl vstupních hodnot nákladů .....	29
Graf 4: Závislost měrných nákladů na koeficientu využití .....	31
Graf 5: Závislost nákladů na instalovaný výkon ke koeficientu využití .....	32
Graf 6: Citlivostní analýza ceny paliva .....	33
Graf 7: Srovnání výrobních nákladů jaderných elektráren členů OECD .....	34
Graf 8: Srovnání výrobních nákladů uhelných elektráren členů OECD .....	34

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Technické údaje o JE v ČR [2] [5] [10] [11] [12] [18] .....	27
Tabulka 2: Ekonomické údaje o JE v ČR [2] [5] [10] [11] [12] [18] .....	27
Tabulka 3: Technické údaje o vybraných UE v ČR [2] [19] [20] [21] [22] [23] .....	28
Tabulka 4: Ekonomické údaje o vybraných UE v ČR [2] [19] [20] [21] [22] [23].....	28
Tabulka 5: Výrobní náklady elektřiny ve vybraných elektrárnách ČR.....	29

## Seznam příloh

Příloha 1: Vybrané specifikace elektrárny Temelín .....	40
Příloha 2: Vybrané specifikace elektrárny Dukovany .....	40
Příloha 3: Vybrané specifikace elektrárny Prunéřov II. ....	41
Příloha 4: Vybrané specifikace elektrárny Dětmarovice .....	41
Příloha 5: Vybrané specifikace elektrárny Ledvice .....	42



## Přílohy

### Příloha 1: Vybrané specifikace elektrárny Temelín

Koeficient zatížení k	0,8
Spotřeba paliva na 1 GWh [kg]	1
Spotřeba pitné vody na MWh [m <sup>3</sup> ]	0,018
Spotřeba průmyslové vody na MWh [m <sup>3</sup> ]	2,773

Cena paliva za kg [Kč]	3250
Ostatní variabilní výdaje [Kč/MWh]	120
Vodné [Kč/m <sup>3</sup> ]	35,3
Stočné [Kč/m <sup>3</sup> ]	27,6
Průmyslová voda [Kč/m <sup>3</sup> ]	15
Odvody na jaderný účet [Kč/MWh]	50

### Příloha 2: Vybrané specifikace elektrárny Dukovany

Koeficient zatížení k	0,8
Spotřeba paliva na 1 GWh [kg]	1
Spotřeba pitné vody na MWh [m <sup>3</sup> ]	0,018
Spotřeba průmyslové vody na MWh [m <sup>3</sup> ]	2,773

Cena paliva za kg [Kč]	3250
Ostatní variabilní výdaje [Kč/MWh]	180
Vodné [Kč/m <sup>3</sup> ]	33,8
Stočné [Kč/m <sup>3</sup> ]	24,7
Průmyslová voda [Kč/m <sup>3</sup> ]	15
Odvody na jaderný účet [Kč/MWh]	50

### Příloha 3: Vybrané specifikace elektrárny Pruněřov II.

Koeficient zatížení k	0,47
Spotřeba paliva na 1 MWh [t]	1,32
Spotřeba pitné vody na MWh [m <sup>3</sup> ]	0,02
Spotřeba průmyslové vody na MWh [m <sup>3</sup> ]	2,85
TZL [kg/MWh]	0,0396
SO <sub>2</sub> [kg/MWh]	0,6732
NO <sub>x</sub> [kg/MWh]	0,5364
CO <sub>2</sub> [kg/MWh]	336,4308

Cena paliva za t [Kč]	1200
Ostatní variabilní výdaje [Kč/MWh]	100
Vodné [Kč/m <sup>3</sup> ]	40,9
Stočné [Kč/m <sup>3</sup> ]	38,4
Průmyslová voda [Kč/m <sup>3</sup> ]	15
Poplatek za TZL [Kč/t]	4200
Poplatek za SO <sub>2</sub> [Kč/t]	1350
Poplatek za NO <sub>x</sub> [Kč/t]	1100
Cena emisní povolenky [Kč/t]	212,8

### Příloha 4: Vybrané specifikace elektrárny Dětmorovice

Koeficient zatížení k	0,47
Spotřeba paliva na 1 MWh [t]	0,93
Spotřeba pitné vody na MWh [m <sup>3</sup> ]	0,02
Spotřeba průmyslové vody na MWh [m <sup>3</sup> ]	2,85
TZL [kg/MWh]	0,0144
SO <sub>2</sub> [kg/MWh]	0,2304
NO <sub>x</sub> [kg/MWh]	0,468
CO <sub>2</sub> [kg/MWh]	326,72

Cena paliva za t [Kč]	1825
Ostatní variabilní výdaje [Kč/MWh]	100
Vodné [Kč/m <sup>3</sup> ]	31,5
Stočné [Kč/m <sup>3</sup> ]	29,1
Průmyslová voda [Kč/m <sup>3</sup> ]	15
Poplatek za TZL [Kč/t]	4200
Poplatek za SO <sub>2</sub> [Kč/t]	1350
Poplatek za NO <sub>x</sub> [Kč/t]	1100
Cena emisní povolenky [Kč/t]	212,8

## Příloha 5: Vybrané specifikace elektrárny Ledvice

Koeficient zatížení k	0,47
Spotřeba paliva na 1 MWh [t]	1,1
Spotřeba pitné vody na MWh [m <sup>3</sup> ]	0,02
Spotřeba průmyslové vody na MWh [m <sup>3</sup> ]	2,85
TZL [kg/MWh]	0,0468
SO <sub>2</sub> [kg/MWh]	2,3904
NO <sub>x</sub> [kg/MWh]	0,9108
CO <sub>2</sub> [kg/MWh]	342,8

Cena paliva za t [Kč]	1200
Ostatní variabilní výdaje [Kč/MWh]	100
Vodné [Kč/m <sup>3</sup> ]	40,9
Stočné [Kč/m <sup>3</sup> ]	38,4
Průmyslová voda [Kč/m <sup>3</sup> ]	15
Poplatek za TZL [Kč/t]	4200
Poplatek za SO <sub>2</sub> [Kč/t]	1350
Poplatek za NO <sub>x</sub> [Kč/t]	1100
Cena emisní povolenky [Kč/t]	212,8