



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Jaderné elektrárny – současný stav a rozvoj

Nuclear Power Plants – Actual State and Development

Bakalářská práce

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

Vedoucí práce: Ing. Martin Beneš, PhD.

Kateřina Drtinová

Praha 2016

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Drtinová Kateřina**

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

Název tématu:

Jaderné elektrárny - současný stav a rozvoj

Pokyny pro vypracování:

1. Jaderné zdroje - technologie
2. Provozované zdroje
3. Ekonomie provozu a výstavby
4. Citlivostní analýza a výsledky

Seznam odborné literatury:

1. Brealey R., Myers A., Allen F.: Principles of Corporate Finance. McGraw-Hill/Irwin, 2013.
2. UK Parliament, House of Commons, Energy and Climate Change Committee: Building New Nuclear: The Challenges Ahead, Sixth Report of Session 2012-13.

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 vykonala 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

podpis

Poděkování

Chtěla bych poděkovat panu Ing. Martinu Benešovi, PhD. za odborné vedení, za pomoc a cenné rady. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Petru Nejedlému za cenné informace z praxe a za trpělivou pomoc při zpracovávání této práce.

Abstrakt

Obsahem této práce jsou náklady jaderných elektráren v České republice. První část se zabývá přehledem nejdůležitějších technologií jaderných elektráren. Druhá část se zaměřuje na jaderné elektrárny Temelín a Dukovany, jejich současný stav a případné možnosti dostavby. Ve třetí části je ekonomie provozu a výstavby jaderných elektráren obecně i konkrétní výpočty pro obě elektrárny tohoto typu v České republice. Čtvrtá část obsahuje citlivostní analýzu, která ukazuje vliv změn ceny uranové rudy například na palivové náklady na 1MWh elektrické energie a na 1 kg jaderného paliva.

Abstrakt

Content of my Bachelo's thesis are costs of nuclear power plants in Czech Republic. The first part deals with summary of the most important technologies of power plants. The second part focuses on nuclear power plants Temelín and Dukovany, their actual state and possibilities of completion. In the third part is economy of operation and construction of nuclear powerplants in general and also concrete calculations for both powerplants of this type in Czech Republic. The fourth part contents sensitivity analysis, which shows the impact of changes in the price of uranium for example to the fuel costs of 1MWh of electrical energy and on 1 kg of nuclear fuel.

Klíčová slova

Jaderná elektrárna, Temelín, Dukovany, provozní náklady, provozní výnosy

Key words

Nuclear power plant, Temelín, Dukovany, operating costs, operating revenues

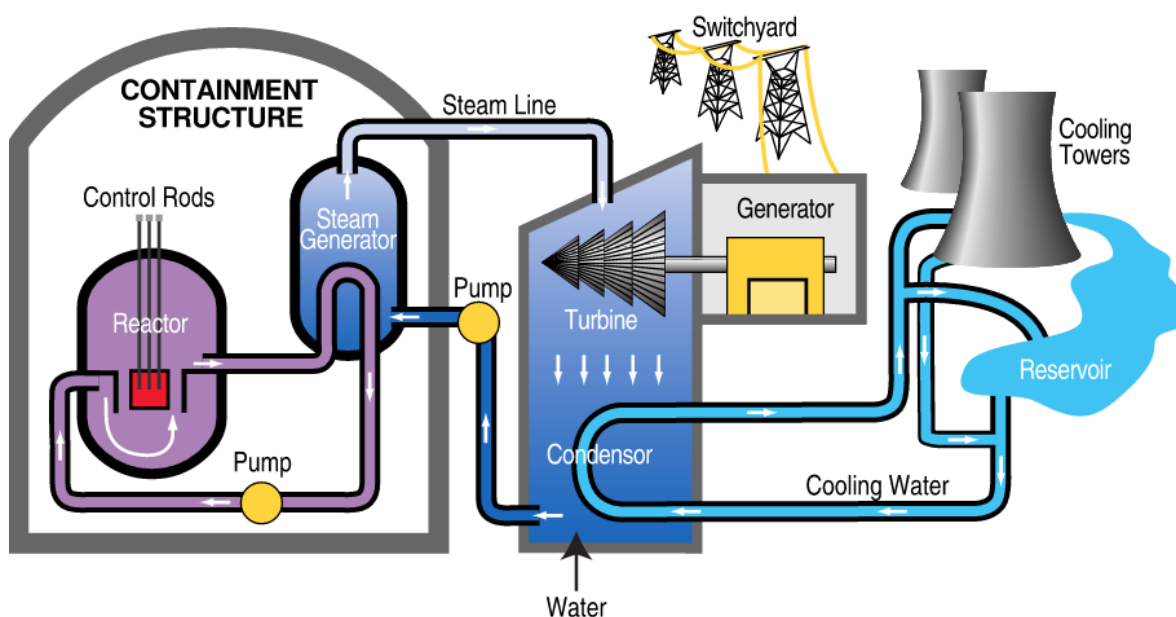
Obsah

1 Jaderné zdroje - technologie	7
1.2.1 Reaktor	8
1.3 PWR (VVER) reaktor	9
1.2.2 Parogenerátor	12
2 Provozované zdroje	13
2.1.1 JE v provozu	13
2.2.1 Dukovany	13
2.2.2 Temelín	20
2.1.2 JE připravované	24
2.2.1 Stav EDU a ETE	24
2.2.2. Možnosti výstavby NJZ (= nových jaderných zdrojů)	25
3 EKONOMIE PROVOZU A VÝSTAVBY	27
3.1.1 Náklady jaderné elektrárny	27
3.2.1 Investiční náklady	27
3.2.2 Provozní náklady	28
3.2.3 Ostatní	28
3.1.2 Výnosy jaderné elektrárny	29
3.1.3 Aplikace na EDU a ETE	29
3.2.1 Investiční náklady	29
3.2.2 Provozní náklady	31
3.2.3 Provozní výnosy	33
3.2.4 Výsledky	34
4 Citlivostní analýza a výsledky	40
4.1.1 Vliv změny ceny uranové rudy na 1 kg paliva	41
4.1.2 Vliv změny ceny uranové rudy na palivové náklady na 1 MWh	42
Závěr	43
Použitá literatura	44
Zdroje obrázků	46
Seznam obrázků	47
Seznam grafů	47
Seznam tabulek	47
Seznam vzorců	47
Seznam příloh	48
Seznam zkratk	48

1 Jaderné zdroje - technologie

V této kapitole budou na úvod nastíněny technologie využívané v jaderných elektrárnách. Obsahově není možné pojmout všechny technologie, text bude tedy zaměřen hlavně na technologie tlakovodních reaktorů, které jsou využity v elektrárnách na našem území.

Obecně fungování jaderné elektrárny je pravděpodobně známé, takže bude popsáno jen velmi stručně na úplný úvod. Díky štěpné reakci se uvolňuje teplo v aktivní zóně reaktoru, to ohřívá vodu v primárním okruhu, která jej v parogenerátoru předává okruhu sekundárnímu. Pára z parogenerátoru dopadá na turbínu, roztáčí ji a díky společné hřídeli s generátorem se na svorkách generátoru indukuje napětí a proud. Využitá pára se v kondenzátoru ochladí vodou z terciálního okruhu a vrátí se zpět do parogenerátoru. Vše je vidět na následujícím schématu a dále bude o daných technologiích řečeno více.



Obrázek 1 – Schéma jaderné elektrárny

(Zdroj: TENNESSEE VALLEY AUTHORITY. Wikimedia Commons: [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupný z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/PWR_nuclear_power_plant_diagram.svg>)

1.2.1 Reaktor

S tím, jaké byly a jsou uskutečňovány pokroky ve vědě a výzkumu, se vyvíjely a vyvíjejí stále nové typy reaktorů. Tyto reaktory se rozdělují do generací podle období výstavby a provozu, stupně technického a technologického vývoje a podle spolehlivosti a bezpečnosti. (1)

Do první generace se řadí prototypy jaderných reaktorů z 50. a 60. let 20. století, kde se teprve zjišťovalo, jestli tuto technologii bude možné dále využívat. S těmito reaktory se v dnešní době již prakticky není možné setkat. (2)

Reaktory druhé generace se už využívaly ve velkém v komerčních elektrárnách a jde i o dodnes využívané typy PWR (Pressurized light-Water moderated and cooled Reactor = tlakovodní lehkou vodou chlazený i moderovaný reaktor) resp. VVER (vodo -vodjanoj energetičeskij reaktor = tlakovodní reaktor s lehkou vodou), BWR (Boiling Water Reactor = varný reaktor). Je řeč o reaktorech uvedených do provozu v 70. a 80. letech 19. století, které v současné době stále tvojí páteř naší energetiky, i když bude postupně snaha je nahrazovat technologiemi novými. (2)

Od devadesátých let se začíná hovořit o reaktorech třetí generace. S třetí generací přichází mnohem větší důraz na bezpečnost (doplnění standardních aktivních prvků o pasivní bezpečnostní prvky), zvyšuje se procento využití paliva a standardní doba životnosti elektrárny by měla být 60let. Někdy se mezi třetí a čtvrtou generací vymezuje takzvaná III+ generace, která se od třetí odlišuje tím, že by se v případě nestandardní situace měla elektrárna sama dostat do požadovaného stavu bez jakéhokoli aktivního zásahu. (3) V současnosti jsou v podstatě všechny nabízené bloky k výstavbě z této generace. (1)

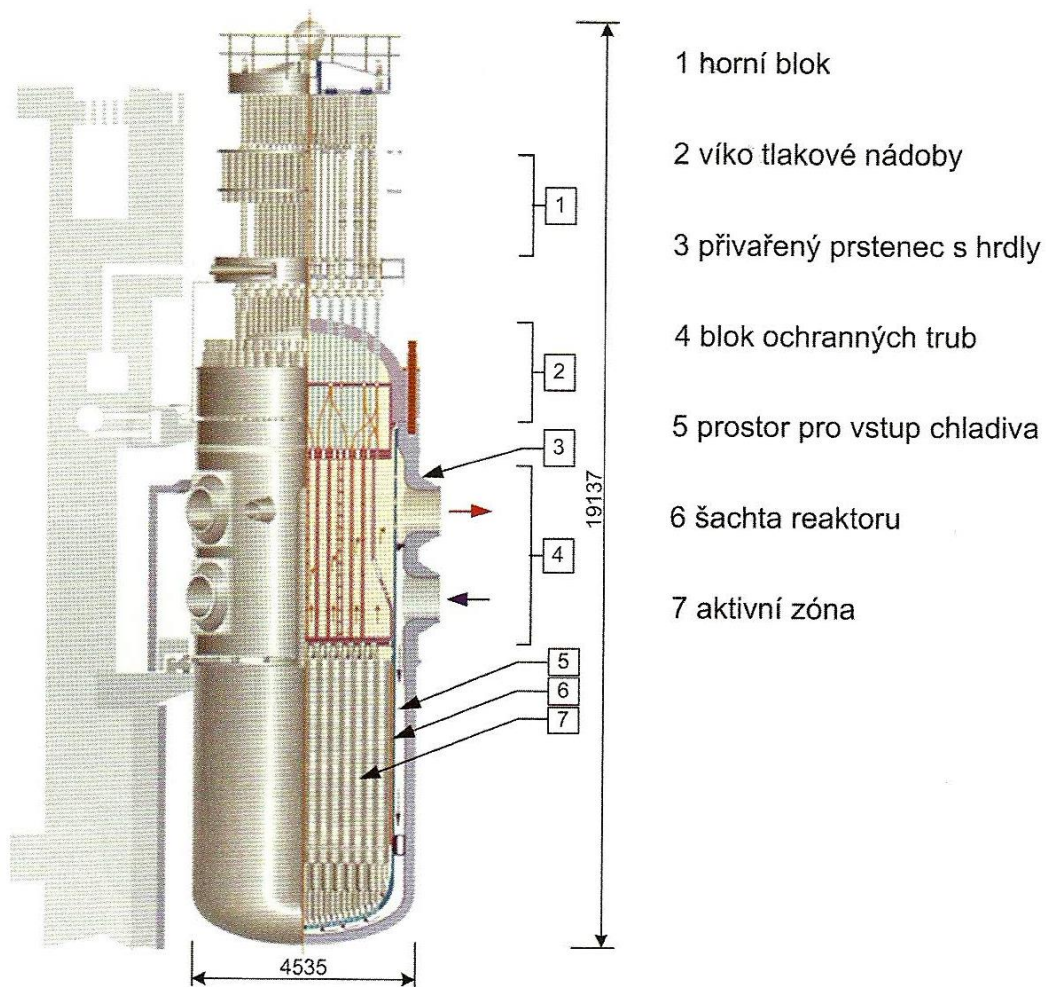
V posledních letech se hodně diskutuje čtvrtá generace reaktorů. Jde o generaci, která se vymyká dosavadnímu vývoji tím, že by měla používat jiné technologie, než generace předchozí, které na sebe víceméně navazovaly. V současné době probíhají výzkumy, přičemž cílem je sestavit takový reaktor, který dosáhne mnohem vyššího využití paliva, než jsou současné reaktory schopné. Z tohoto důvodu by se snížilo množství vyhořelého paliva a jeho radioaktivita. Také je cílem výrazně prodloužit palivový cyklus (až na 20 let). (4) Jejich využití se předpokládá kolem roku 2030. (1)

Jak je z textu vidět, reaktorů je velké množství. Dále se tato práce bude zabývat technologiemi, využívanými v současnosti v elektrárnách v ČR, neboť s tímto souvisí délka palivového cyklu a množství paliva, s kterým bude dále v ekonomické části práce kalkulováno.

1.3 PWR (VVER) reaktor

U nás používané reaktory jsou typu VVER, který se v některých zdrojích řadí mezi reaktory typu PWR, v některých zdrojích se vyčleňuje jako speciální typ ruské konstrukce. Podle zdroje (5) jsou reaktory typu PWR a VVER evidovány společně a k datu 15.3.2016 je v provozu 283 těchto reaktorů, což z něj činí nejpoužívanější typ. (5)

Na následujícím obrázku je reaktor VVER (konkrétně typ VVER1000):



Obrázek 2 - Reaktor typu VVER

(Zdroj: TENNESSEE VALLEY AUTHORITY. Wikimedia Commons: [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/VVER#/media/File:Wwer-1000-scheme.png>>)

Základní rozdíly mezi PWR a VVER reaktory jsou následující. Systémy a komponenty reaktoru VVER nejsou v primární části tak kompaktní, jako u reaktoru PWR. Z toho plynou výhody i nevýhody tohoto typu. (2)

Výhodou ruské verze VVER oproti PWR je větší množství vody v primárním okruhu (praktičtější pro řešení úniků). Většina bloků PWR jsou projektově navrženy tak, že komponenty primárního okruhu jsou vtěsnány do malého prostoru, což sice zmenšuje zastavěnou plochu, je to ale nevýhodné pro opravárenské a manipulační práce, kdy jsou technici v těsnějším kontaktu se zařízeními. Koncepce VVER 440/V – 213 nemá klasický kontejnment, ale takzvaný skrytý kontejnment ve stavbě, koncepce VVER 1000/V – 320 použitá v Jaderné elektrárně Temelín (dále jen ETE) má kontejnment, ovšem prostornější než většina reaktorů typu PWR, tedy výhody přetrvávají. (2)

Nevýhodou, která plyne z uvedených vlastností, je vyšší ekonomická náročnost rozsáhlejších zařízení (například redundance havarijních systémů je u těchto bloků až 200 %, což se také podepisuje na ekonomické náročnosti). (2)

PWR je typem reaktoru lehkovodního (LWR = Light-water reactor). Jako moderátor i jako chladivo je používána tlaková voda. Jako palivo nemůže být použit přírodní uran, obohacuje se uranem 235. Palivo je hermeticky odděleno od chladiva i moderátoru. Uran (konkrétně jeho oxid UO_2) se lisuje do tablet (pelet), tyto pelety jsou vkládány do palivového elementu, palivové elementy do plechového pouzdra (tímto pouzdrem prochází chladivo zespodu nahoru), s kterým tvoří palivový soubor. Palivový soubor (často nazývaný palivovou kazetou) je nejmenší část, která se vkládá do a vyjímá z aktivní zóny při výměně paliva. Z těchto souborů je sestavena aktivní zóna, která se nachází v koši, což je vyjímatelný válec aktivní zóny. (1)

U reaktorů typu VVER se palivové kazety během výměny paliva několikrát přemisťují na různá místa aktivní zóny, takže vystřídají až pět různých pozic. Toto umístění je propočítáváno reaktorovými fyziky a musí být velmi přesné, aby byla ta která kazeta s různým stupněm vyhoření umístěna na správné místo. Musí se při tom dbát i na to, aby byla nádoba reaktoru tepelně a radiačně namáhána ve všech místech co nejrovnoměrněji. Dříve se praktikoval systém, kdy se zavážely nové kazety na vnější stranu aktivní zóny, nyní se od něj ale upustilo i právě z důvodu nadměrného namáhání nádoby. Je důležité na začátku kampaně¹ dosáhnout v reaktoru nadkritických parametrů, neboť u tohoto typu reaktoru není možné kontinuálně doplňovat nebo měnit palivo a je nutné, aby vydržel reaktor nějakou dobu bez tohoto zásahu. Na začátku kampaně se tedy vysoký koeficient reaktivity kompenzuje kyselinou boritou rozpuštěnou v chladivu. Jakmile se reaktor začne blížit ke kritickým

¹ Kampaň reaktoru – doba mezi výměnou paliva

parametrům bez zvýšené koncentrace kyseliny borité (nebo jiného absorbéru) je třeba zahájit výměnu paliva. Kdyby parametry klesly pod kritické, zanikla by řetězová štěpná reakce. (1)

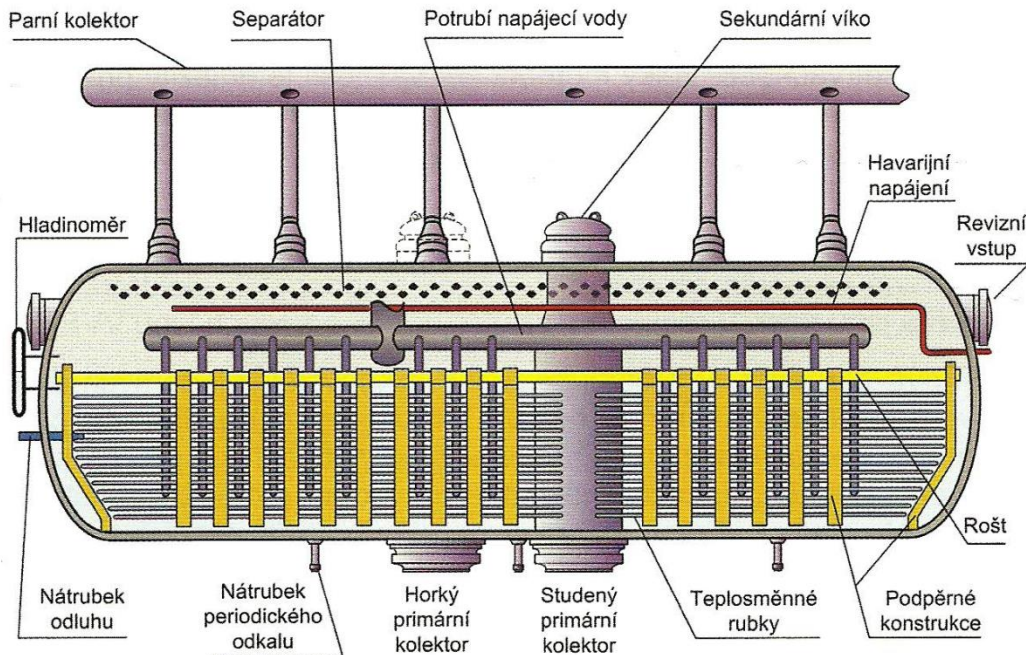
Kvůli výměně paliva se tento typ reaktoru musí odstavit. Výměna probíhá takzvanou mokrou cestou, což znamená, že se zaplaví šachta reaktoru, spojovací kanál i bazén vyhořelého paliva a pod vodou potom probíhá manipulace s palivem. (1) Pro tento účel je v reaktorovém sále instalován takzvaný zavážecí stroj, což je mohutná konstrukce s ramenem, které provádí vyjmutí palivové kazety z aktivní zóny, její umístění do bazénu vedle reaktoru a znovuumístění nové kazety do palivové zóny.

Nádoba reaktoru svou životností limituje i životnost jaderné elektrárny, neboť díky svým rozměrům a radioaktivitě je téměř nemožné ji měnit za novou. Její výroba musí být tedy perfektně technologicky zvládnuta, neboť během životnosti elektrárny na ni působí velmi vysoké teploty, tlaky a radioaktivita, která podporuje korozi i zhoršuje mechanické vlastnosti – nádoba se stává křehčí. (1)

Elektrárny s reaktory typu PWR (VVER) jsou zásadně dvouokruhové, což znamená, že chladivo reaktoru není zároveň i pracovní látkou v turbíně, ale pouze předává v parogenerátorech své teplo vodě sekundárního okruhu, která je pracovní látkou na turbíně. Z bezpečnostního hlediska je toto řešení praktičtější, než elektrárna s jedním okruhem. U dvouokruhové elektrárny se omezí výskyt radioaktivních látek pouze na primární okruh a z tohoto důvodu mohou být bezpečnostní systémy ve strojovně mnohem jednodušší. Stále se zde ale nacházejí a to pro případ, že by se porušila těsnost parogenerátoru a radioaktivita pronikla do sekundárního okruhu. (1)

1.2.2 Parogenerátor

Na následujícím obrázku je schéma parogenerátoru:



Obrázek 3 - Schéma parogenerátoru

(Zdroj: DOLEŽAL, Jaroslav, Jiří ŠTASTNÝ, Jan ŠPETLÍK a Zbyněk BRETTSCHEIDER: *Jaderné a klasické elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. Str. 123. ISBN 978-80-01-04936-5.)

Parogenerátor u reaktorů typu PWR/VVER je konstruován tak, že soustavou trubek prochází chladivo primárního okruhu a ohřívá vodu, která jej obklopuje. Je to z toho důvodu, že voda v primárním okruhu je pod velkým tlakem, což by zvyšovalo nároky na konstrukci tlakové nádoby. Další výhodou je to, že separátor může být umístěn přímo v nádobě parogenerátoru nad hladinou vroucí vody. Také teplotní výměna je při tomto uzpůsobení efektivnější, neboť předávání tepla voda – kov – voda je účinnější než kov – voda – kov. (1)

Parogenerátory mohou být jak vertikální, tak horizontální konstrukce. Jak již bylo uvedeno v rozdílech mezi typem PWR a ruskou konstrukcí VVER, rozdíl je ve využití ploše. U typu VVER se využívá parogenerátorů horizontálních, což sice zabírá více plochy, ovšem výhody jsou nesporné. Je zde větší plocha hladiny vody, nedochází ke strhávání kapek a stačí použít pouze žaluziový separátor. Také dochází méně často k poruchám v místě spojení trubkovnice – trubka, jelikož jsou trubky do kolektorů zalisovány z boku a neusazuje se tak v místě přechodu kal. (1)

2 Provozované zdroje

V této kapitole se budu věnovat přehledu jaderných zdrojů na území dnešní ČR.

2.1.1 JE v provozu

V ČR jsou provozovány dvě jaderné elektrárny – Temelín a Dukovany. JE Dukovany se spouštěly od roku 1985 do roku 1987, kdy byl spuštěn poslední, čtvrtý blok. Najíždění Dukovan je spojeno se světovým unikátem, kdy se do provozu současně uváděly dva bloky elektrárny v jednom roce a v jedné lokalitě, což se do dnešní doby nikde ve světě nezopakovalo. Zároveň je tato elektrárna nejstarší jadernou elektrárnou na našem území. (6) Pokud tedy bereme v potaz pouze území dnešní České republiky. Pokud bychom brali tehdejší ČSSR, musíme uvažovat Jaslovské Bohunice, která byla spuštěna již 1972. (7) Dále v této práci se budu soustředit pouze na území dnešní ČR.

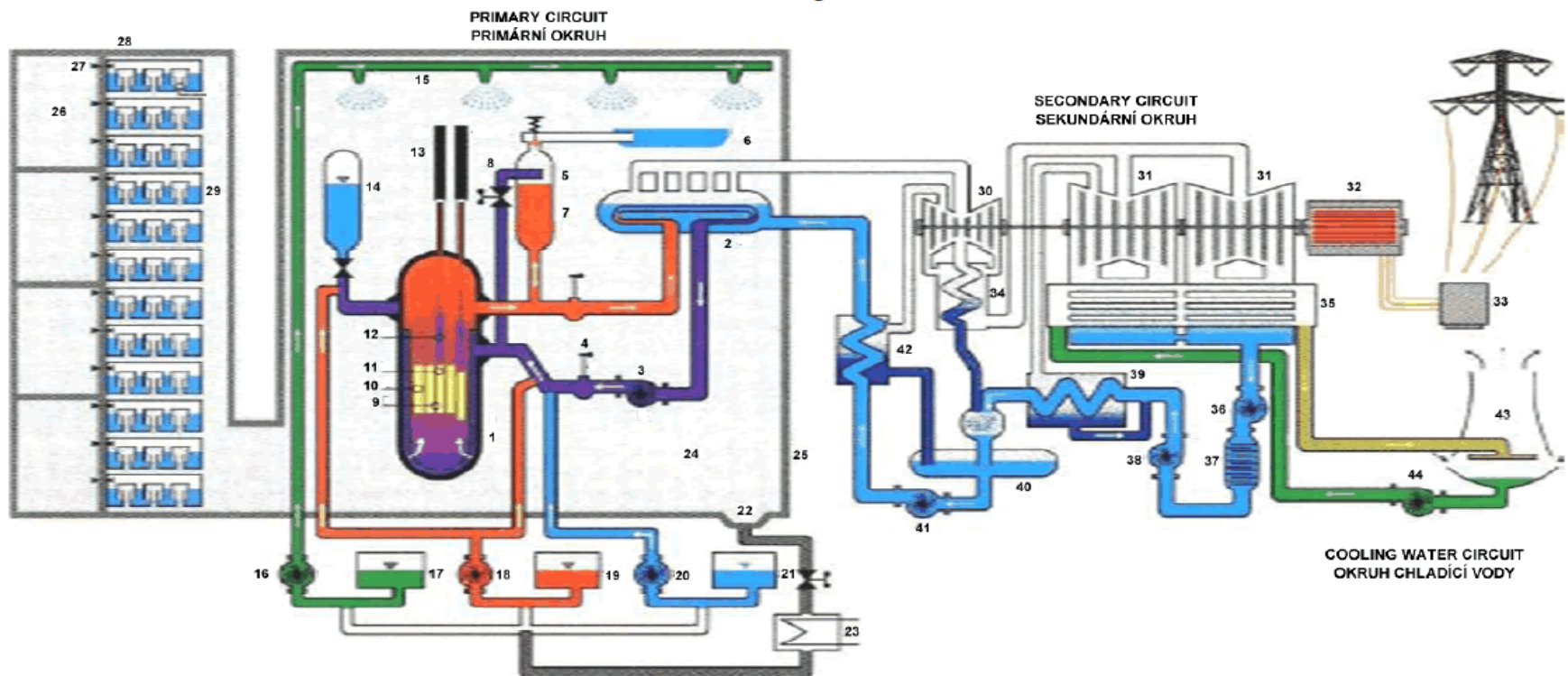
Jelikož mezi stavbou Dukovan a Temelína je velký časový rozdíl, je i použitá technologie rozdílná. V dalších podkapitolách budou popsány odděleně.

2.2.1 Dukovany

Dukovany začaly vznikat díky mezivládní dohodě s tehdejším SSSR o spolupráci na přípravě a realizaci elektrárny, která byla uzavřena v roce 1970. Generální projektant primární části byla firma LOTEK (z bývalého SSSR) a sekundární části Energoprojekt Praha (včetně dozoru na celou stavbu). Hlavní výrobní zařízení primární části byla vyrobena v bývalé ČSSR, tedy bylo možno dokumentovat a řídit jakost a na rozdíl od dodávek ze SSSR nebyla u těchto zařízení větší vadovost a potřeba náhradních dílů. (8) (9)

V následujícím textu budou rozepsány hlavní technologické prvky elektrárny.

Na následující straně je schéma jaderné elektrárny Dukovany (EDU) pro snadnější orientaci v dalším textu.



1 - Reaktor, 2 - Parogenerátor, 3 - Hlavní cirkulační čerpadlo, 4 - Hlavní uzavírací armatura, 5 - Kompenzátor objemu - pára, 6 - Barbotážní nádrž, 7 - KO - voda, 8 - Vstříky KO, 9 - Aktivní zóna, 10 - Palivová kazeta, 11 - Regulační kazeta (HRK), palivová část, 12 - Regulační kazeta (HRK), absorpční část, 13 - Pohony HRK, 14 - Hydroakumulátor, 15 - Sprchový systém, 16 - Sprchové čerpadlo, 17 - Zásobní nádrž sprchového systému, 18 - Nízkotlaké havarijní čerpadlo, 19 - Zásobní nádrž nízkotlakého havarijního systému, 20 - Vysokotlaké havarijní čerpadlo, 21 - Zásobní nádrž VT havarijního systému, 22 - Sání z hermetické zóny, 23 - Chladič sprchového systému, 24 - Kontejnment, 25 - Ochranná obálka kontejnmentu, 26 - Záchytný plynem barbotážní věže, 27 - Zpětná klapka, 28 - Brbotážní věž, 29 - Žláby barbotážní věže, 30 - VT díl turbíny, 31 - NT díl turbíny, 32 - Elektrický generátor, 33 - Blokový transformátor, 34 - Separátor a přihřivač páry, 35 - Kondenzátor, 36 - Kondenzátní čerpadlo I^o, 37 - Eloková úprava kondenzátu, 38 - Kondenzátní čerpadlo II^o, 39 - NT regenerace, 40 - Napájecí nádrž, 41 - Elektronapájecí čerpadlo, 42 - VT regenerace, 43 - Chladicí věž cirkulační vody, 44 - Čerpadla CV

Obrázek 4 - Schéma EDU

(Zdroj: ČEZ, a.s.: *Provedení a výsledky zátěžových testů JE Dukovany*. [online] [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/jaderna-energetika/zatezove-testy-eu/provedeni-a-vysledky-zatezovych-testu-je-dukovany.html>.)

2.3.1 Reaktor

V roce 1973 bylo rozhodnuto o výstavbě dvou bloků, které měly mít reaktory typu VVER 440/230, což bylo později změněno na čtyři bloky s reaktory typu VVER 440/213. (6) Hlavní rozdíly mezi původně plánovaným reaktorem VVER 440 typu 230 a použitým 213 jsou následující. U typu 230 je jako nejzávažnější projektová havárie² stanovena trhlina v primárním potrubí ≤ 32 mm. Typ 213 je vlastně druhá generace VVER 440/230. U přechodu na tuto generaci došlo k výraznému posílení bezpečnosti, kde se již jako maximální projektovou havárií rozumí úplné roztržení cirkulačního potrubí (průměr 50 cm), v jehož důsledku dojde k výraznému úniku chladicí látky. Navíc byla u typu 213 přidána barbotážní věž³. (10)

Parametry použitého reaktoru VVER 440/213 byly v době zprovoznění tyto:

- Instalovaný tepelný výkon: 1375 MW
- Instalovaný elektrický výkon: 440 MW
- Výkon dodávaný do sítě: 388 MWe
 - Vlastní spotřeba: 52 MWe
- Počet smyček primárního okruhu: 6
- Tlak vody v reaktoru: 12,25 MPa
- Teplota vody na vstupu do reaktoru: 267 °C
- Teplota vody na výstupu z reaktoru: 299 °C
- Počet palivových proutků v 1 kazetě: 126
- Počet palivových kazet v reaktoru: 312
- Počet regulačních kazet v reaktoru: 37
- Celková hmotnost uranu v reaktoru: 42 t
- Cyklus výměny paliva: 4 roky (postupně se přechází na 5 let)

(11)

² Projektová havárie je taková havárie, která je zvládnutelná bezpečnostními systémy a nedojde k roztavení aktivní zóny.

³ Barbotážní věž – má za úkol snížit tlak na budovu reaktoru při úniku paliva. Pára by zde kondenzovala v barbotážních zařízeních a nekondenzující plyny by byly zadrženy lapači vzduchu se zpětnými klapkami. Tím, že se sníží tlak, sníží se pravděpodobnost úniku radioaktivity mimo hermetické prostory. (10)

2.3.2 Zvyšování výkonu Dukovan

Bloky nainstalované v Dukovanech měly nominální výkon 440 MWe (1375 MWt) na každý blok, což je 1760 MWe celkem. Není to ale maximální dosažitelný výkon, neboť existují projektové rezervy, které je snaha využít. (12)

V letech 2005 – 2008 byly prováděny modernizace nízkotlakých částí turbín, kdy díky zlepšení termodynamické účinnosti byl zvýšen výkon na 455,5 MWe/blok, čímž byl elektrický výkon celkově zvýšen na 1822 MWe. (12)

Od roku 2009 do roku 2012 se v rámci projektu Využití projektových rezerv bloků Jaderné elektrárny Dukovany dále zvyšovala účinnost až na 550 MWe/blok. Tento projekt je součástí širšího programu společnosti ČEZ, který má snahu využít projektových rezerv a prodloužit reálnou životnost jaderných elektráren. Na Dukovanech zároveň zvýšení výkonu zvýšilo hranici reálné doby životnosti na rok 2045. Na EDU bylo jako cíl stanoveno zvýšení tepelného výkonu z 1375 MWt na 1444 MWt, což je 5 %. (12)

Tento projekt se skládal z dílčích samostatných projektů:

- **Výměna průtočných částí vysokotlakých dílů turbogenerátorů**
 - Zahrnuje náhradu vysokotlakých rotorů, rozváděcích kol, vnitřních těles vysokotlakých dílů, případně repasi vnějších vysokotlakých těles, repasi ložisek a výměnu ucpávek regulačních ventilů
 - Díky modernějšímu tvaru lopatek a využití nových materiálů i konstrukčních možností se snížila měrná spotřeba tepla
- **Úprava statorů generátorů**
 - Původní výkon generátoru: 259 MVA (účinnost 0,85)
 - Po modernizaci: 300 MVA (účinnost 0,85)
 - Jmenovitý proud statoru původní: 9,5 kA
 - Po modernizaci: 11 kA
- **Náhrada měřicích dýz a vysokotlakých odlučovačů na parovodech**
 - Důvod: snížení ztrát v parním potrubí na cestě z parogenerátoru do turbosoustrojí
- **Zvýšení hltnosti přepouštěcích stanic do kondenzátorů**
 - Na 480 t/hod z důvodu zvládnutí přechodových stavů bez otevření přepouštěcích stanic do atmosféry

- **Regulace hladin v hlavním kondenzátoru s korekcí na hladinu v napájecí nádrži**
 - Podle nového dynamického chování bloků
- **Modernizace blokových transformátorů**
 - Jmenovitý výkon zvýšen z 250 MVA na 300 MVA kvůli spolehlivému vyvedení výkonu po zvýšení výkonu generátorů a současně snížení ztrát blokových transformátorů
 - Blokové transformátory byly také vybaveny monitorovacím systémem (který zahrnuje sledování blokových a odbočkových transformátorů) pro kontinuální sledování jejich stavu
- **Rekonstrukce vyvedení výkonu generátorů**
 - Kvůli zvýšení jmenovitého proudu statorů generátoru bylo nutné provést výměnu a přemístění kondenzátorů u generátorového vypínače, úpravy připojení generátorového vypínače a blokových transformátorů na zapouzdřené vodiče, úpravy zapouzdřených vodičů v uzlu generátoru a ve fázových vývodech
 - Byly provedeny úpravy pro rozšíření kompenzace zapouzdřených vodičů na celou délku vedení
- **Upgrade SW systému SCORPIO – VVER (=systém monitorující stav aktivní zóny reaktoru)**
- **Zpracování programu a realizace ověřovacího měření na 3. reaktorovém bloku**
- **Zpracování programů, realizace a vyhodnocení zkoušek a testů pro náběh bloku na vyšší výkon**
- **Zabezpečení složení a transportu těžkých břemen uvnitř areálu EDU**
- **Modifikace jeřábů 125 t na strojovnách hlavních výrobních bloků**
- **Úprava příčných kolejí před strojovny 1. a 4. bloku**

(12)

Realizační tým projektu byl ŠKODA PRAHA Invest a spolupracoval se specialisty jak ze skupiny ČEZ, tak z ÚJV Řež. ŠKODA PRAHA Invest v projektu figuroval jako generální dodavatel a spolupracoval s cca 20 poddodavateli. Nejvýznamnější z nich byli například: ŠKODA POWER, BRUSH SEM, ETD TRANSFORMÁTORY, ČEZ ENERGOSERVIS a další. (12)

Po realizaci projektu je výkon Dukovan 1997 MWe. (12)

Shrnutí

- Požadavky smlouvy o dílo: 499,250 MW
- Naměřený výkon po korekcích: 501,330 MW
- Ověřovaná hodnota měrné spotřeby tepla: 10,47 GJ/MWh
- Naměřená hodnota měrné spotřeby tepla po korekcích: 10,359 GJ/MW

(12)

Největším příspěvkem k dosažení těchto hodnot bylo zvýšení termodynamické účinnosti turbín o 2,6 %. (12)

2.3.3 Prodlužování životnosti EDU

Každá elektrárna má svou projektovou životnost. U nás v ČR je to v případě EDU 30 let. Po uplynutí této doby se žádá Státní úřad pro jadernou bezpečnost o posouzení elektrárny a případné prodloužení životnosti (u nás zpravidla o 10 let).

Provozovatel realizuje program se zkratkou LTO (long term operation), což je označení dlouhodobého provozu jaderné elektrárny za horizontem projektové životnosti. Dlouhodobý provoz EDU byl zahájen po roce 2015, kdy končila projektová životnost prvnímu ze čtyř bloků. Už v roce 1996 byly zahájeny přípravy k dlouhodobému provozu EDU a v roce 2009 byla společností ČEZ schválena Strategie zajištění LTO Elektrárny Dukovany. (13)

Cíle programu LTO jsou:

- Realizovat opatření nutná k zajištění bezpečného dlouhodobého provozu bloků Jaderné elektrárny Dukovany po roce 2015
- Prokázat podle Atomového zákona a mezinárodních doporučení připravenost k provozu po roce 2015
- Obdržet kladné rozhodnutí k provozu bloků Jaderné elektrárny Dukovany po roce 2015 od Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (13)

Dlouhodobý provoz EDU je pro Českou republiku velmi důležitý z toho důvodu, že je to náš mohutný zdroj (ročně vyrobí až 15 miliard kWh, což pokryje spotřebu všech domácností v ČR) a jeho výpadek by nám způsobil deficit mezi produkcí a poptávkou. Předpoklady jsou ale takové, že s tímto problémem nebude. Kvalitu a spolehlivost EDU potvrzuje i fakt, že je podle kritérií WANO (Sdružení provozovatelů jaderných elektráren) mezi 20 % nejlépe provozovanými elektrárnami na světě. (13)

S ohledem na přípravu EDU na další dlouhodobý provoz, bylo realizováno více než 280 investičních akcí, které byly především zaměřeny na zvýšení bezpečnosti (zodolnění reaktoroven prvního i druhého výrobního bloku proti extrémním vlivům klimatu, zahájení stavby ventilátorových věží, zvýšení počtu záložních dieselagrerátů na 18). (14)

Akce LTO – EDU byly v roce 2015 dokončeny na prvním bloku, v roce 2016 budou dokončeny na druhém a v roce 2017 na třetím čtvrtém bloku. Do nynějška jsou v různém stupni rozpracovanosti. (14)

2.2.2 Temelín

Původní projekt na výstavbu Jaderné elektrárny Temelín (ETE) počítal se 4 bloky (VVER 1000). O nich bylo rozhodnuto roku 1980. O dva roky později 1982 byla se SSSR uzavřena smlouva o dodávce technického projektu, která zahrnovala hlavní výrobní blok, budovu pomocných provozů a dieselagregátové stanice. Zbývající části byly projektovány českou stranou. 1987 byla zahájena samotná výstavba, ale po změně politické situace v roce 1989 byl původní záměr přehodnocen a v roce 1993 byla schválena výstavba dvou bloků. (15)

90 % primární části a téměř ze 100 % strojevna (turbogenerátor ŠKODA 1000MW) je vyrobeno v České republice nebo jiných západních vyspělých zemích. (16)

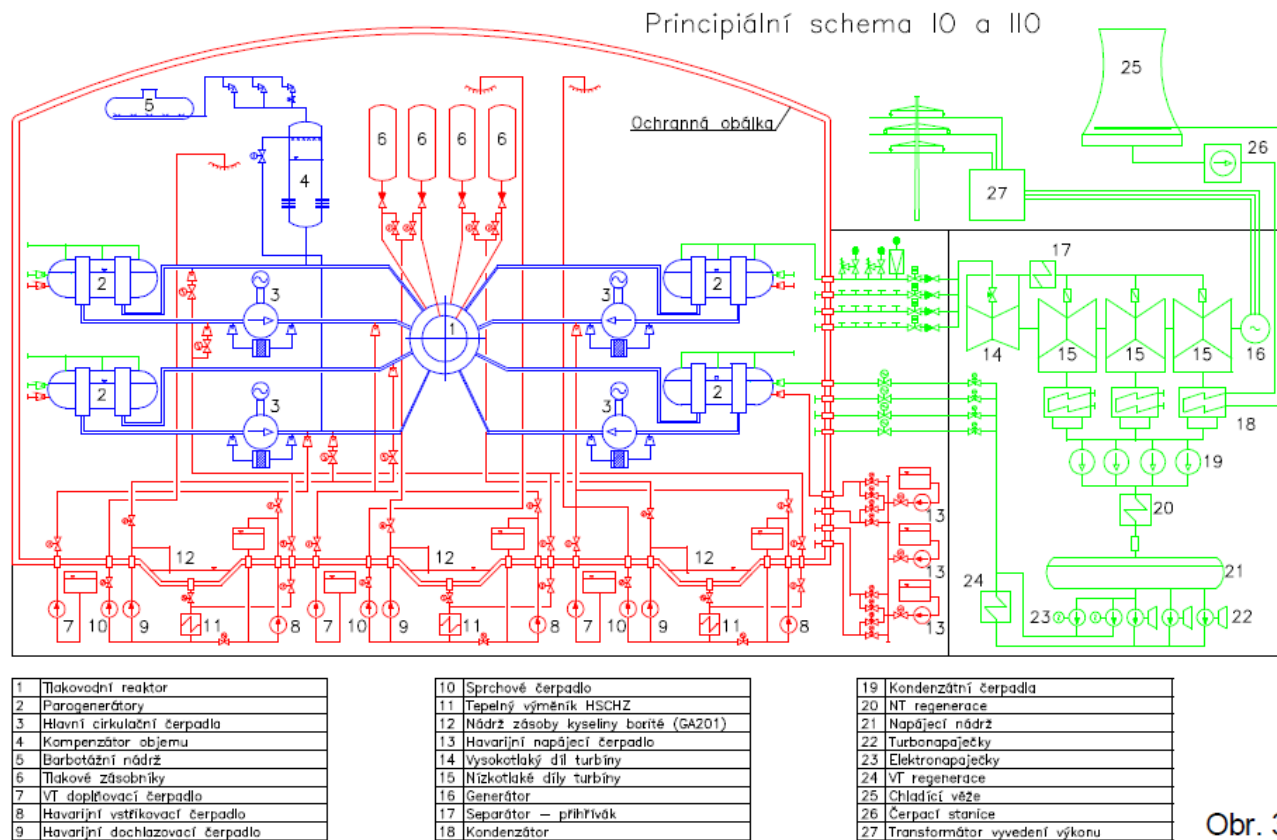
Při výstavbě a projektování byla snaha přiblížit ETE standardům jaderných elektráren ze západního světa a tak probíhalo velké množství kontrol, expertíz a dialogů například s MAEA (Mezinárodní agentura pro jadernou energii). Výsledkem byly některé změny v projektu, například:

1. Záměna řídicího systému obou bloků za digitální systém firmy Westinghouse
2. Doplnění řídicího systému on-line systémem monitorování rozložení vývinu tepla v aktivní zóně při provozu (BEACON)
3. Záměna jaderného paliva a projektu aktivní zóny
 - Zvýšení bezpečnosti
 - Zlepšení ekonomie provozu
4. Dodávka stendu na inspekci a případné opravy ozářených palivových souborů
5. Záměna systému monitorování radiační situace v JE a jejím okolí (RMS)
6. Implementace systému provozní diagnostiky (TMDS)
7. Záměna důležité kabeláže za nehořlavé a ohnivzdorné kabely
8. Změny v elektrické části bloku a záměna některých prvků
9. Realizace systému monitorování a spalování pohavarijního vodíku v ochranné obálce

(16)

Provoz 1. bloku byl zahájen v roce 2002, 2. bloku 2003. (15)

Dále budou popsány některé technologické části elektrárny, reaktor však podrobněji. Na následující stránce je schéma jaderné elektrárny Temelín (ETE), pro snadnější orientaci v dalším textu.



Obr. 3

(Zdroj: ČEZ, a.s.: *Provedení a výsledky zátěžových testů JE Temelín*. [online] [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/zatezove-testy-eu/provedeni-a-vysledky-zatezovych-testu-je-temelin.html>>)

2.3.4 Reaktor

Temelínské reaktory jsou typu VVER 1000, což jsou nástupci typů VVER 440. Konkrétně jsou použity reaktory VVER 1000/V 320. (15)

Zásadní změny mezi generací VVER 440 (použité v Dukovanech) a generací VVER 1000 se opět týkají bezpečnosti provozu a zvládnání mimořádných stavů. Novější generace již má kontejnment (bude popsán dále) a projektová havárie musí být zvládnuta bez přívodu elektřiny z vnějšku elektrárny, tedy musí být absolutně soběstačná. Také je blok seismicky odolnější oproti svému předchůdci. Také už zde není 6 smyček primárního okruhu, ale pouze 4 a pára z jednoho reaktoru je odváděna pouze na jednu turbínu. (10)

Základní parametry tohoto reaktoru byly v době uvedení do provozu:

- Instalovaný tepelný výkon: 3000 MW
- Instalovaný elektrický výkon: 1000 MW
- Do sítě: 912 MWe
 - Vlastní spotřeba: 68 MWe
- Počet smyček primárního okruhu: 4
- Tlak vody v reaktoru: 15,7 MPa
- Teplota vody na vstupu do reaktoru: 290 °C
- Teplota vody na výstupu z reaktoru: 320 °C
- Počet palivových proutků v 1 klastru: 312
- Počet palivových klastrů v reaktoru: 163
- Počet řídicích svazků v reaktoru: 61
- Celková hmotnost uranu v reaktoru: 92 t
- Cyklus výměny paliva: čtyřletý

(11)

Jaderná elektrárna Temelín už má plnotlaký kontejnment. Kontejnment je ochranná obálka. Uvnitř něj je umístěn reaktor, primární okruh, bezpečností a pomocná zařízení. Je to válcovitá stavba se stěnou silnou 1,2 metru a kopulí o tloušťce 1,1 m. Průměr kontejnmentu je 45 m. Zevnitř je pokryt vrstvou oceli, čímž je hermeticky uzavřen. Celou konstrukcí procházejí předpjatá lana, která by, v případě vzniku havárie, zabránila rozpadu kontejnmentu. Uvnitř je udržován podtlak, aby v případě drobných úniků bylo možné radioaktivní látky odfiltrovat, pro případ velkých havárií je možné vypnout

ventilaci a radioaktivitu udržet uvnitř kontejmentu. Také představuje mechanickou ochranu v něm umístěných zařízení (musí například vydržet i pád letadla). (17) (15)

2.3.5 Zvyšování výkonu Temelína

Jak již bylo zmíněno u EDU, tak i u ETE výkon, s kterým bloky najížděly do provozu, není zdaleka výkon maximální možný, ale byl pouze projektový. Díky projektovým rezervám a modernizacím je možné se dostat k výkonům vyšším.

V roce 2007 bylo docíleno zvýšení výkonu výměnou vysokotlakých dílů turbíny.

V roce 2013 Státní úřad pro jadernou bezpečnost odsouhlasil provozovateli ETE (ČEZ, a.s.) navýšení tepelného výkonu obou bloků na 3120 MW, což činí 104 % výkonu původního. (18) Tedy další změny bylo dosaženo zvýšením výkonu reaktoru o 4 %.

O odstávkách v letech 2014 a 2015 byly vyměněny nízkotlaké části turbíny a tím se výkon hlavního výrobního bloku dostal na hodnotu 1080 MW (z původních 981 MW). Reálně a za příznivého (tedy chladného) počasí se výkon bloku dostane až k 1095 MW díky vyšší účinnosti chladícího okruhu.

(19)

2.1.2 JE připravované

2.2.1 Stav EDU a ETE

Jelikož životnost jaderných elektráren není neomezená a pravděpodobné odstavení současných dukovanských bloků není v nedohlednu, bude nutné hledat další řešení. Tím se nabízí jako ideální řešení výstavba nových bloků (ať už ve stávajících lokalitách EDU/ETE, nebo na vhodných, zcela nových, místech). A to zejména kvůli ekologii jaderných elektráren (oproti elektrárnám uhelným), stálosti dodávky elektrické energie (oproti solárním nebo větrným elektrárnám) a možnosti naskladnit palivo na určitou dobu dopředu, jestliže si to vyhrocená politická situace v okolních státech nebo jakákoli jiná hrozba v omezení dodávky vyžádá (oproti plynovým elektrárnám).

Projektová životnost jaderné elektrárny Dukovany je 30 let (do roku 2015, 2016, 2017) s tím, že dle Národního akčního plánu pro rozvoj jaderné energetiky se předpokládá jejich periodické prodlužování o 10 let. Jako krajní časový interval se uvádí rok 2045 jako nejzazší termín ukončení provozu EDU. V USA je praxe prodlužování maximálně na 60 let, v EU zatím na 50 let. (20)

Současná licence, vydaná pro první blok EDU 30.3.2016, má platnost na dobu neurčitou. Je ovšem podmíněn mnoha podmínkami. Když tyto nebudou splněny, bude povolení pro provoz zrušeno.

K dnešnímu datu (7.5.2016) je životnost stávajících bloků následující:

Elektrárna	Temelín		Dukovany			
Blok	1	2	1	2	3	4
Povolení k provozu do roku	2032	2033	NEURČITO	2016	2017	2017

Tabulka 1 – Životnost bloků

ETE i EDU patří podle kritérií WANO k nejlépe provozovaným elektrárnám ve světě, tedy se nepředpokládá, že by nebylo možné úspěšně plnit projekt LTO (long term operation). (20)

2.2.2. Možnosti výstavby NJZ (= nových jaderných zdrojů)

Včasné zahájení výstavby nových jaderných zdrojů není důležité pouze z pohledu udržitelného rozvoje české energetiky ve smyslu zajištění zdrojů elektrické energie, ale i pro udržení lidských zdrojů a kapacit. Je nutné, aby know – how, které máme z výstavby EDU a ETE, bylo dále využíváno a aby nedošlo k odlivu kapacit v oboru do zahraničí. (20)

Národní akční plán rozvoje jaderné energetiky doslovně uvádí: *„S ohledem na zajištění energetické bezpečnosti ČR, ale i s ohledem na celkový sociálně-společenský přínos je z pohledu státu žádoucí neodkladně zahájit přípravu na umístění a výstavbu jednoho jaderného reaktoru v lokalitě Temelín a jednoho reaktoru v lokalitě Dukovany a zároveň ochránit možná rizika tím, že budou zajištěna potřebná povolení pro možnost výstavby dvou reaktorů na obou lokalitách.“* (Zdroj: Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, Ministerstvo financí ČR: *Národní akční plán rozvoje jaderné energetiky*. [online]. 2015 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <<http://www.mpo.cz/dokument166679.html>>.)

S tím, že dále v kapitole klade důraz na výstavbu v lokalitě Dukovany z důvodu jejich pravděpodobného odstavování po roce 2035. (20)

2.3.1. Lokalita Temelín

Velmi pravděpodobná je dostavba v této lokalitě i z toho důvodu, že projekt byl původně zamýšlen se čtyřmi bloky, což bylo po roce 1989 přehodnoceno. Lokalita Temelín je již tím pádem prověřená z hlediska geologického podloží, dostupnosti chladicí vody (studie zabývající se časovým horizontem roku 2085 potvrzuje, že bude v lokalitě dostatek vody pro všechny v současnosti připravované varianty výkonu, tedy až 3400 MW nového výkonu). Je zde ověřená dopravitelnost nadrozměrných a velmi těžkých zařízení. Neméně podstatnou věcí je to, že veškeré potřebné pozemky ke stavbě jsou již ve vlastnictví ČEZ, a.s. (20)

Je také podepsána smlouva o smlouvě budoucí se společností ČEPS, tedy je již smluvně ošetřeno a dohodnuto vyvedení výkonu. (20)

Současný stav potřebných povolení a licencí je následující. 18.1.2013 bylo vydáno (MŽP ČR) pozitivní stanovisko EIA – platnost pět let s možností prodloužení o dalších pět let. Je vydáno povolení k umístění dle Atomového zákona (č.18/1997 Sb.). Je připravena dokumentace pro územní řízení a jsou zajištěna práva k pozemkům pro silniční část kombinované vodní a silniční trasy s objezdy vodních děl

byla v lokalitě Slapy, Kamýk, Orlík a Týn nad Vltavou. Ve schvalovacím procesu jsou navíc i stavby související s úpravou komunikací, transferem živočichů a tak dále. (20)

2.3.2. Lokalita Dukovany

Jako u lokality Temelín, je zde výhoda prozkoumaného podloží, dostatečného zdroje vody, infrastruktury a ostatních podmínek, které souvisí s tím, že jsou zde již provozované bloky. (20)

Byla zde provedena studie proveditelnosti, která zkoumala různé typy reaktorů:

- Malé – výkon do 1 200 MW.
- Střední – výkon 1 455 MW.
- Velké – výkon 1 750 MW.

(20)

Z pohledu množství vody je podle studií v oblasti po odstavení 1. až 4. bloku EDU možné provozovat buďto jeden velký blok, jeden střední blok nebo dva malé bloky. Z pohledu neoptimalnějšího využití by připadaly v úvahu dva malé bloky. (20)

Také je podepsána smlouva o smlouvě budoucí se společností ČEPS o vyvedení výkonu, veškeré potřebné pozemky jsou také ve vlastnictví ČEZ, a.s. již v současné době. (20)

V případě EDU 5, který by byl směřován kolem roku 2035, kdy podle platné legislativy bude pravděpodobně ukončován provoz prvního bloku současné elektrárny, by mohlo spíš jít o nahrazení, nežli o rozšiřování elektrárny. (20)

V současné době neprobíhá a ani není zahajováno žádné licenční nebo povolovací řízení, pouze se monitoruje vývoj legislativy, aktualizace SEK a tak dále. EDU 5 je zaprojektováno do všech stupňů územně plánovací dokumentace. (20)

3 EKONOMIE PROVOZU A VÝSTAVBY

Propočet ekonomie elektrárny je důležitá součást rozhodování zda postavit nebo nepostavit nové bloky, v jaké oblasti a za jak dlouho se pravděpodobně investice vrátí.

Ekonomie provozu a výstavby jaderné elektrárny je složitý problém a dalo by se jím zabývat velmi dalekosáhle, což není v rámci této práce možné. Také z důvodu toho, že se jedná o elektrárny jaderné, velké množství informací není vůbec dostupné veřejnosti. Tyto obtíže byly ve výpočetním modelu vyřešeny různými způsoby, které budou v následujících podkapitolách objasněny.

3.1.1 Náklady jaderné elektrárny

3.2.1 Investiční náklady

Investiční náklady zahrnují náklady na přípravu staveniště, stavbu, uvedení do provozu, náklady na pracovní sílu, materiál a vše ostatní spojené s přípravou, výstavbou a uváděním do provozu. Aby se tento údaj dal srovnávat s ostatními elektrárnami, je nutné ve studiích uvádět částku v nákladech na výrobní kapacitu elektrárny, tedy například v CZK/kW_e. (21)

Tyto náklady se mohou uvažovat s finančními náklady⁴, nebo bez. Pokud jsou tyto zahrnuty, celkové investiční náklady se mění s délkou trvání výstavby a uvádění do provozu. Pokud zahrnuty nejsou, nazývají se tyto náklady jako overnight costs, neboť se s nimi pracuje tak, jako kdyby elektrárna byla ze dne na den připravena k plnému provozu. (21)

⁴ Finanční náklady souvisejí s finančními operacemi, například úroky, kurzové ztráty atd.

3.2.2 Provozní náklady

Do provozních nákladů se zahrnují jak náklady spojené s palivovým cyklem, provozem a údržbou elektrárny, tak i náklady na vytváření rezerv na pozdější likvidaci elektrárny, uložení a likvidaci vyhořelého paliva. Tyto rezervy ovšem nejsou v účetním slova smyslu rezervami, neboť jde skutečně o přesun finančních prostředků na jiný účet, z kterého není možné čerpat na jiné účely, než na jaké byl založen. Rezervy jsou zde v tomto případě platby.

Tyto náklady se dělí na fixní a variabilní. Fixní náklady jsou stále stejné a nezávislé na množství vyrobené elektřiny. Variabilní jsou naopak závislé na množství vyrobené energie. Pro možnost srovnání elektráren mezi sebou se uvádí například v CZK/MWh.

Při práci s provozními náklady se musí brát v potaz časová hodnota peněz a pracovat s diskontem. Většinou se diskontuje až výsledný hotovostní tok (cash flow) daného období (zpravidla jednoho roku).

3.2.3 Ostatní

U jaderných elektráren se v některých zdrojích uvádějí i systémové náklady a takzvané externality, které ale v této práci nebudou uvažovány, neboť se částky v různých zdrojích výrazně liší z důvodu složitosti stanovení těchto nákladů.

Externí náklady reprezentují vyčíslení vlivu na zdraví a životní prostředí. Tyto náklady se u jaderných elektráren výrazně liší ve studiích z různých let a mají značné rozpětí hodnot. (21)

Systémové náklady jsou také mimo úroveň elektrárny a jsou do nich započítávané především náklady na síť. (21)

3.1.2 Výnosy jaderné elektrárny

Výnosy jaderné elektrárny jsou převážně výnosy z provozní činnosti, s kterými je v této práci výhradně počítáno.

3.1.3 Aplikace na EDU a ETE

V tomto výpočetním modelu není uvažována daň z toho důvodu, že daňová politika tak rozsáhlé skupiny, jako je ČEZ, a.s. je natolik složitá, že toto není možné v této práci obsáhnout.

3.2.1 Investiční náklady

Investiční náklady na stavbu elektrárny jsou v této práci uvažovány v roce předcházejícím rok uvedení do provozu s následnými lineárními odpisy. Dále jsou brány v potaz i velké investiční akce v rámci modernizací a zvyšování výkonu. V EDU je řeč konkrétně o období od roku 2005 (kdy začala modernizace za účelem zvýšení výkonu a využití projektových rezerv, v jejímž rámci došlo k výměně 8 generátorů, nízko i vysokotlakých částí turbín a přechodu na jiné palivo) do roku 2016, kdy byla dokončena výměna systému kontroly a řízení (SKŘ). (22) V ETE se jednalo o zvyšování výkonu a využití projektových rezerv v letech 2007 až 2015. Jde o akce investičně velmi náročné a není možné zjistit informace o konkrétním rozložení investic v jednotlivých letech, ve výpočtovém modelu je tedy uvažováno lineární rozložení investic i jejich následné odepisování (uvažujeme, že částka byla využita na dlouhodobý hmotný majetek).

V ideálním případě by tyto investice byly rozděleny podle toho, na co byly využity a jaká je předpokládaná životnost těchto zařízení. Například je známo, že systémy kontroly a řízení (SKŘ) stárnou poměrně rychle a nejsou použitelné bez rekonstrukce po celou životnost elektrárny. V Dukovanech již výměna SKŘ proběhla, kdy byl vyměněn analogový systém za modernější digitální od firmy ZAT. (22) Bohužel toto není z důvodu nedostupnosti těchto informací možné, tedy je uvažováno, že celá tato částka byla použita jako investice do dlouhodobého hmotného majetku, který je ve výpočetním modelu odepisován 50 let. Ve studii OECD (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, NUCLEAR ENERGY AGENCY, ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT: Projected costs of generating electricity. Paris : OECD PUBLICATIONS, 2010. ISBN 978-92-64-08430-8.*) je počítáno

se životností 60 let (23), v této práci je uvažováno 50 let z důvodu směřování k roku 2035 jako k možnému počátku odstavování současných bloků EDU, v souladu s předpokladem Národního akčního plánu rozvoje jaderné energetiky.

V početním modelu jsou uvažovány i větší investiční akce do budoucna. Je známo, že SKŘ může bez rekonstrukce fungovat 15 až 20 let a že jeho výměna stála v Dukovanech přibližně 2,2 miliard Kč. (22) Také životnost turbín je podstatný parametr. Nelze přesně určit intervaly investic do turbín ani jejich částky, pro výpočet je tedy vytvořen model, kdy proběhne větší investiční akce (celková modernizace, oprava/výměna rotorů turbín, výměna SKŘ) vždy po dvaceti letech a náklady budou rovnoměrně rozděleny do deseti let (odhad na základě velké investiční akce na ETE v době trvání devět let a na EDU s dobou trvání dvanáct let). Tyto investice jsou opět považovány do investice do dlouhodobého hmotného majetku, který bude odepisován rovnoměrně. Celková částka na tyto průběžné modernizace bude uvažována přibližně ve výši 4,92 miliard Kč na jeden výrobní blok. Tato částka vychází z reálných investičních akcí na EDU i ETE, kdy na ETE šlo o částku 4,5 miliardy mezi lety 2007 a 2015 a na EDU o 25 miliard během let 2005 a 2016. Tato částka byla u každé elektrárny vydělena počtem výrobních bloků a z těchto dvou byl spočítán vážený průměr, čímž byla stanovena částka 4,92 miliardy Kč na každý výrobní blok s intervalem dvacet let a v délce trvání deset let. Toto číslo je velmi přibližné a jedná se spíše o odhad, neboť není možné zjistit do čeho konkrétně a v jakém množství byly finance vloženy, natož kdy bude nutná oprava nebo rekonstrukce jakékoli technologické části.

Podle tohoto modelu se již EDU velké investiční akce na výměnu SKŘ a rotorů turbín v horizontu do roku 2035 netýkají (s ohledem na dokončení poslední této investice v roce 2016). Není ovšem možné očekávat, že se elektrárna obejde bez investic až do konce své životnosti (respektive namodelovanému konci životnosti v roce 2035). V modelu je počítáno s údajem, že 6 % celkových provozních ročních nákladů elektrárny jde na údržbu. Bude tedy uvažováno, že každý rok na toto finance plynou, navíc bude ale každých deset let (počítáno od roku 2016, předpokládá se, že investiční akce před tímto rokem jsou známé) uvažována jednorázová částka ve výši 500 milionů Kč (zaokrouhlená částka 4,92 miliard Kč, jejíž výpočet byl popsán výše, vydělen počtem deseti let, během kterých probíhá velká investice). Tato práce uvažuje případ, že pětimilionová investice bude použita na dlouhodobý hmotný majetek (výměna části technologických systémů). Opět se jedná o velmi hrubý odhad, spíše modelovou situaci. Stejný postup je proveden i u ETE.

Velké investiční akce jsou v modelu odepisovány od roku následujícímu první investiční rok lineárně do konce modelové životnosti elektrárny (EDU) případně do další velké investiční akce (ETE) za předpokladu, že je nutné vyměnit SKŘ, rotory turbín a tak dále. Jednorázové investiční akce ve výši

500 milionů Kč jsou odepisovány do konce modelové životnosti elektrárny (EDU) nebo do prvního roku nové investiční akce (ETE).

3.2.2 Provozní náklady

3.3.1 Náklady na palivo:

U nákladů na palivo vycházím v početním modelu z konkrétního množství vyrobené elektrické energie. Pro predikci roční vyrobené energie od roku 2016 do konce životnosti elektrárny jsem použila výpočet zohledňující instalovaný výkon bloků a jejich disponibilitu. Pro disponibilitu bloků jsem použila hodnotu 85 %, stejně jako experti v již zmiňované studii OECD.

U výpočtu ceny paliva jsem vycházela z cen uranové rudy od roku 1988 do roku 2016. (24) U výpočtů pro EDU, kde je třeba znát cenu rudy zpětně z let 1985, 1986 a 1987 jsem diskontovala cenu z roku 1988, neboť na konci osmdesátých let cena významně nekolísala. Pro EDU i ETE jsem pro zjištění ceny rudy do budoucích let vypočítala aritmetický průměr cen uranové rudy za posledních deset let a z této jsem vypočítala budoucí hodnoty pomocí geometrického průměru indexů růstu průmyslových cen za posledních deset let. Dalším předpokladem bylo, že z 8,9 kg uranové rudy se získá 1 kg paliva, z kterého je výtěžnost 360 000 kWh. (21) Tato informace je opět pouhý odhad, který slouží k namodelování situace. Ve skutečnosti se tento údaj liší v závislosti na použitém reaktoru a stupni obohacení paliva. Tento údaj je převzatý ze studie OECD a je velmi zobecněný.

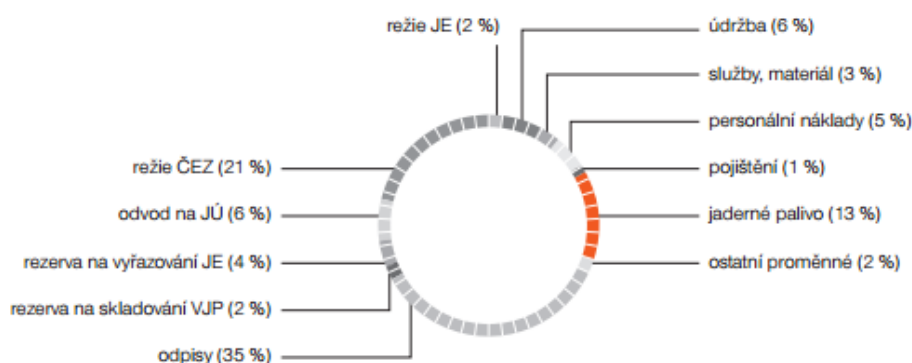
Dále je uvažován fakt, že cena rudy tvoří 46 % ceny paliva, zbylých 54 % ceny tvoří jeho obohacování a výroba samotného paliva. (21)

3.3.2 Ostatní provozní náklady:

Provozními náklady jsou také odvody na jaderný účet. Tyto odvody v současné době činí 50 Kč za každou vyrobenou MWh. Zmínka o povinnosti tvořit rezervy na vyřezování jaderného zařízení je v zákoně č.593/1992 Sb. a atomovém zákoně, přičemž v zákoně 360/2002 Sb. je stanovena konkrétní částka 50 Kč/MWh. Tyto rezervy nejsou ale rezervami v účetním slova smyslu. Jedná se o finance, které jsou fyzicky přesunuty na účet, je to tedy platba. Je tedy jisté, že tyto rezervy byly tvořeny od samotného začátku fungování jaderné energetiky u nás, zpočátku ovšem nebylo potřeba ukotvení

v zákoně a tyto historické částky nejsou dohledatelné, ve výpočetním modelu je tedy počítáno od roku již od samého začátku s částkou 50 Kč/MWh.

U zbylých položek provozních nákladů je vycházeno z grafu ve výroční zprávě divize výroby ETE z roku 2005 (25), kde jsou náklady procentuálně rozděleny. Předpoklad je takový, že v roce 2005 byla elektrárna již uvedena do plného provozu na jmenovitém výkonu, tedy se v ostatních letech dramatická změna v procentuálním složení nákladů pravděpodobně neodehrála a z toho, že vypočítaná cena paliva v modelu je 13 % celkových nákladů.



Obrázek 6 - Složení nákladů ETE (rok 2005)

(Zdroj: ČEZ, a.s.: *Roční zpráva 2005*. [online] [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/cez-rocni-zprava-provozu-je-05.pdf>>)

Položky, které jsou v grafu uvedeny jako rezervy, jsou v účetním slova smyslu platbami, neboť jsou to finance, které fyzicky odchází na jiný účet, nejsou to pouze tvořené rezervy.

Některé z položek grafu jsou ve výpočetním modelu sloučené do položky jedné, neboť se jimi následně není zabýváno podrobněji a nebylo nutné je uvádět odděleně.

3.2.3 Provozní výnosy

Provozní výnosy jsou počítány z vyrobené energie (na svorkách generátoru) a z ceny silové elektrické energie. V současné době se silová energie obchoduje na energetické burze. Samotný pojem silová energie je ale používán většinou až od roku 2006, kdy se platba za elektřinu rozdělila do několika částí. (26) Dříve se cena energie stanovovala jinými způsoby. V modelu je použita cena silové elektřiny od roku 2008 do roku 2016, zpětně je potom diskontována průměrná cena z let 2008 až 2016, do budoucnosti je vypočítána budoucí hodnota. Pro oba tyto výpočty byl použit geometrický průměr růstu indexů průmyslových cen za posledních deset let.

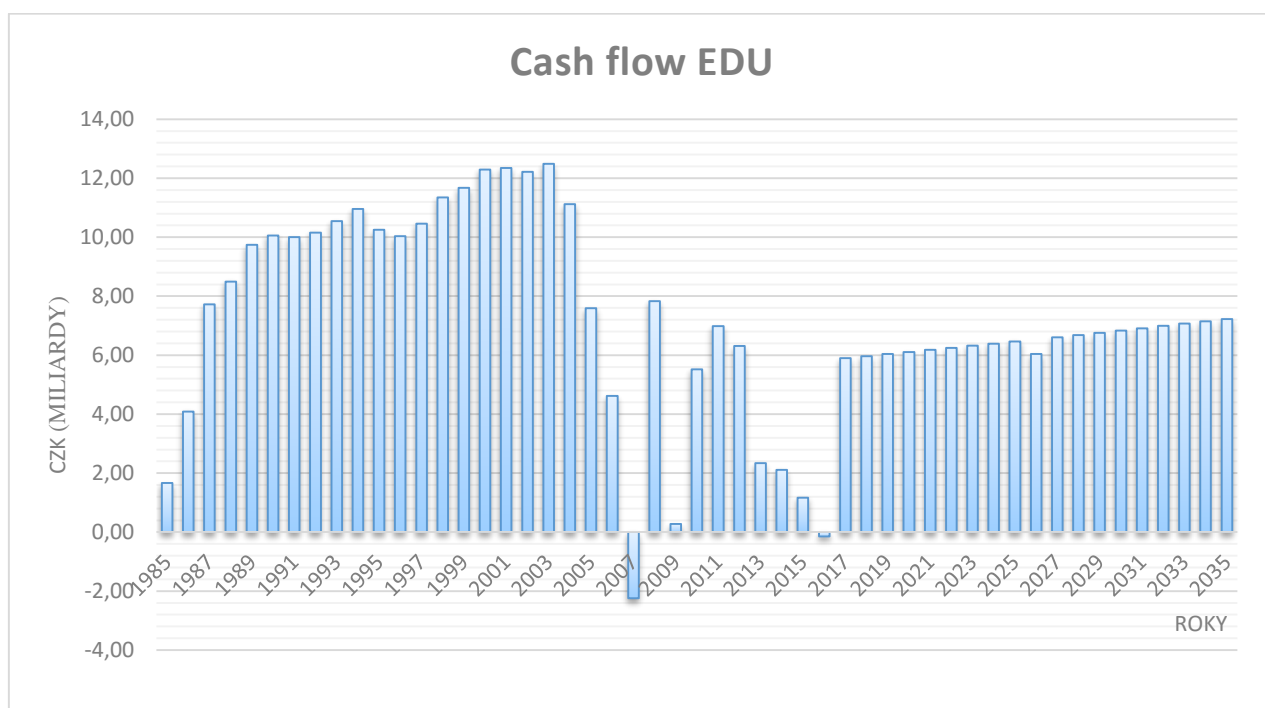
Údaje z let 2010 až 2014 jsou čerpány z výročních zpráv Skupiny ČEZ, kde je uvedena průměrná cena base load silové elektřiny za MWh. (27) Z let 2008, 2009, 2015 a 2016 z ročních zpráv o trhu společnosti OTE. (28)

Z ročních zpráv o trhu společnosti OTE jsou použity ceny v EUR, které jsou následně přepočítány kurzem 1EUR = 27,04 CZK, který je použit v celé práci.

3.2.4 Výsledky

3.3.3 Cash – flow

Z výše uvedených informací vyplývá následující cash - flow (finanční tok), které je složeno z provozního a investičního. Finanční cash - flow nebereme v potaz (vyplácení dividend, emise akcií atd.). V grafu také není zanesen rok 1984, ke kterému uvažujeme investici do výstavby z toho důvodu, že velká záporná částka v prvním roce by zkreslila graf.

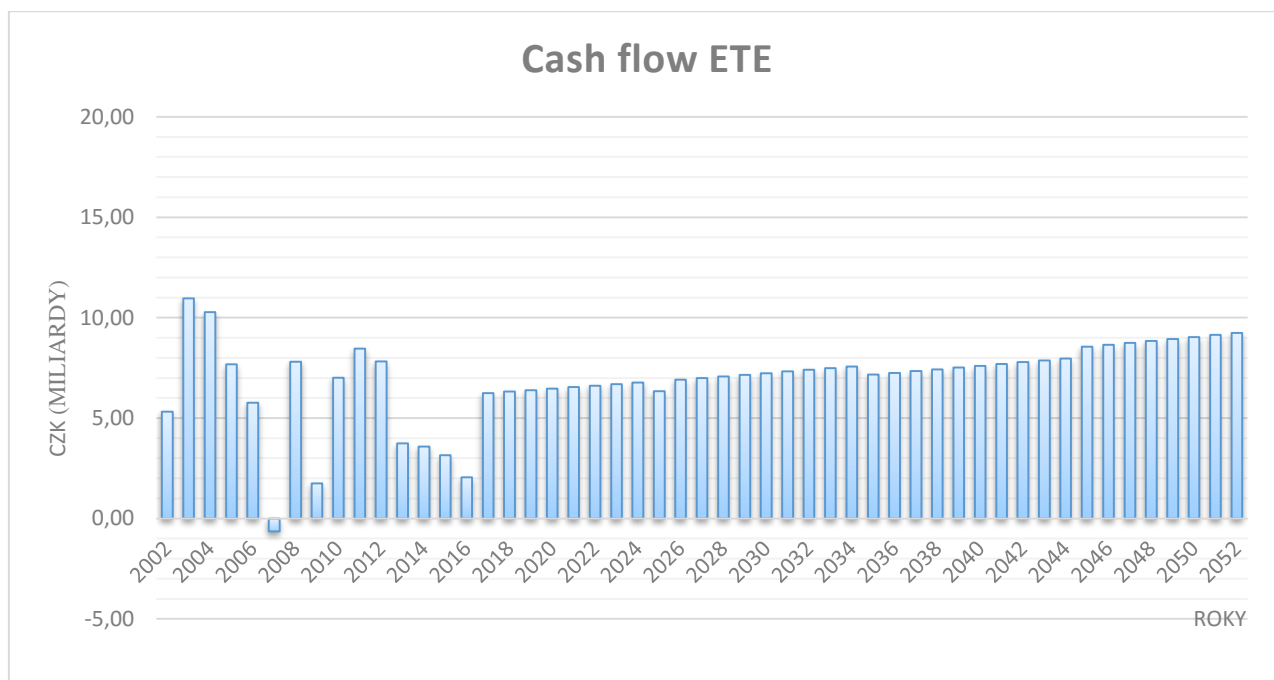


Graf 1 - Cash - flow EDU

V grafu cash – flow roste s rostoucí výrobou a uváděním do provozu dalších bloků až do roku 2004, kdy došlo k nárůstu cen uranové rudy a tedy vyšším nákladům na výrobu za téměř nezměněné výkupní ceny elektrické energie. Od roku 2005 je znatelné další snižování cash – flow z důvodu investičních akcí, které trvaly až do roku 2016. V roce 2007 se cash – flow pro použitý výpočetní model pohybuje v záporných číslech především kvůli zvýšení ceny uranové rudy téměř o 85 % oproti roku 2006. V roce 2008 je znatelný nárůst z důvodu růstu výkupní ceny elektrické energie, což se v následujícím roce opět otočilo. Obecně se dá říci, že na hodnotách (výjimečně dokonce záporných) hotovostního toku se mezi lety 2005 a 2016 projevíly velké investiční akce a výrazné změny ve výkupních cenách elektřiny. Od roku 2016 do roku 2035 je graf na poměrně stálých hodnotách, neboť

je uvažováno s průměrnou cenou výkupní ceny elektrické energie, nákupní cenou uranové rudy a tyto jsou pouze vypočítány do budoucna jako budoucí hodnota. Není zde tedy obraz reálného trhu, který reaguje na různé podněty a změny situace. Mírný pokles v roce 2026 je způsoben jednorázovou investicí ve výši 500 milionů Kč.

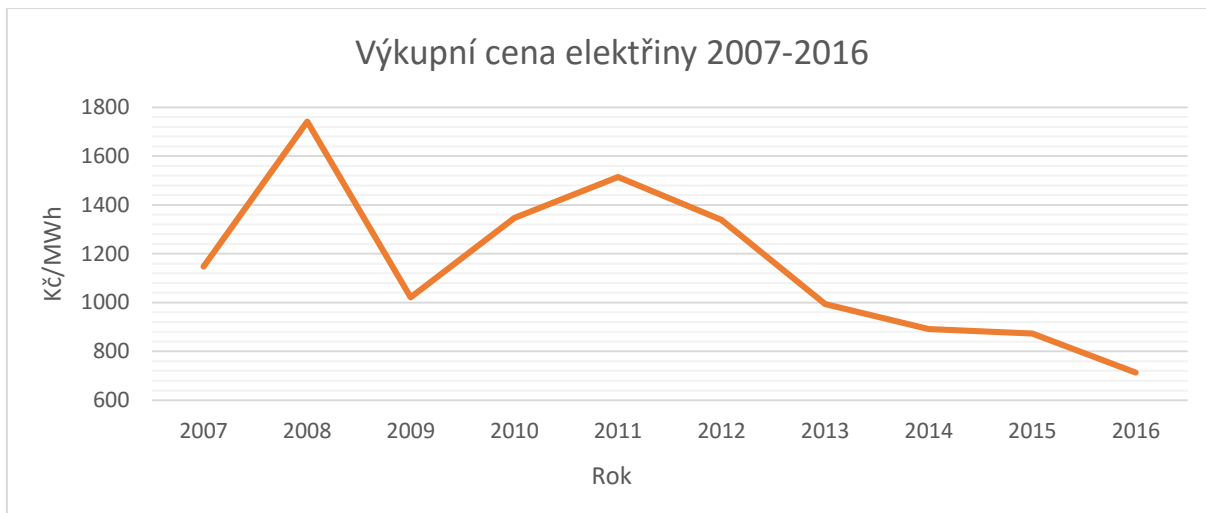
Jedná se tedy o model, reálná situace bude pravděpodobně mnohem složitější, než odráží graf.



Graf 2 - Cash - flow ETE

Opět graf nezahrnuje počáteční investici do výstavby, neboť by velké záporné cash – flow zkruslo celý graf. Do roku 2007 se u ETE stejně jako u EDU projevil nárůst ceny uranové rudy až o 85 %, tedy cash – flow v tomto roce dosahuje záporných hodnot. Od roku 2007 do roku 2015 probíhaly zmiňované investiční akce, tedy cash – flow v těchto letech je v průměru nižší. Další změny, zejména po roce 2012, jsou způsobeny klesající výkupní cenou elektrické energie. Stejně jako v grafu EDU, od roku 2016 nejsou v grafu promítnuty okamžité reakce trhu na aktuální situaci, neboť je počítáno s průměrnou výkupní cenou elektrické energie i nákupní uranové rudy za poslední roky, která je pouze přepočítána do budoucích hodnot pomocí diskontu. Diskont byl stanoven z indexů růstu průmyslových cen za posledních deset let.

Následující graf zobrazuje vývoj výkupních cen elektrické energie mezi lety 2007 a 2016, neboť tato informace se značně projevuje na cash – flow obou jaderných elektráren. Údaje z let před tímto rokem a po tomto roce nejsou z hlediska grafického zobrazení zajímavé, neboť byly dopočteny a rostou lineárně s časem.



Graf 3 – Vývoj výkupní ceny elektřiny (2007-2016)

3.3.4 NPV

Dalším ukazatelem finanční analýzy je NPV, tedy čistá současná hodnota. Jde o zdiskontované hodnoty finančních toků z jednotlivých let podle vzorce:

$$NPV = \sum_1^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - INV \quad (1)$$

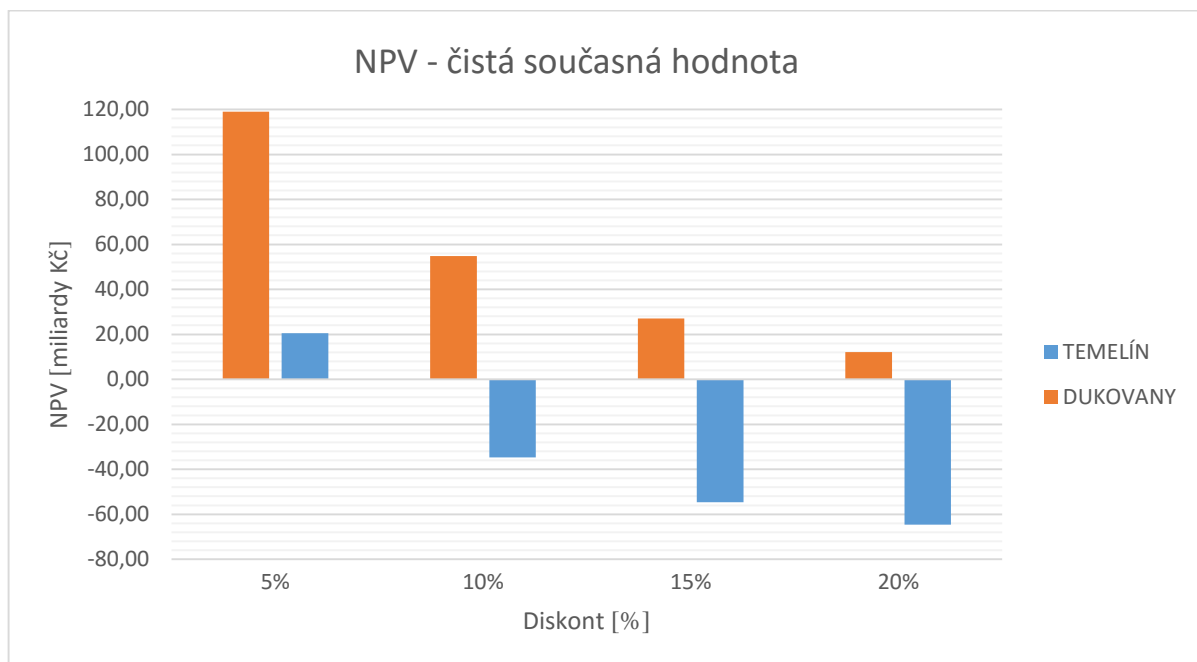
Kde: n = počet let trvání projektu (v našem případě životnost elektrárny, tedy 50let v případě EDU i ETE)

r = diskontní sazba

INV = hodnota investice

CF_t = peněžní toky v jednotlivých letech

Pro výpočty jsem zvolila různé hodnoty diskontu pro ilustraci vývoje NPV.



Graf 4 – NPV – čistá současná hodnota

Je velmi obtížné srovnávat naše dvě elektrárny, neboť jejich výstavba probíhala za jiné politické i ekonomické situace, což vidíme i z grafu NPV, kdy nízkou čistou současnou hodnotu u ETE zapříčiňují z velké části vyšší investiční náklady.

3.3.5 IRR

IRR je čisté výnosové procento a vyjadřuje to, jaký relativní výnos projekt během své životnosti představuje. Číselně je IRR rovno diskontu, při kterém je NPV rovno nule.

Pro IRR platí:

$$0 = \sum_0^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \quad (2)$$

Kde: n = doba životnosti elektrárny

INV = počáteční investice

CF_t = peněžní toky v jednotlivých letech

r = diskontní sazba

IRR EDU je 27,3 %

IRR ETE je 6,2 %

Z těchto výsledků je patrné, že projekt elektrárny Dukovany je rentabilnější než Temelín.

3.3.6 Index rentability

Index rentability je podíl čisté současné hodnoty projektu na hotovostním toku nultého roku, tedy na investičních nákladech. Jinak řečeno: říká, kolik korun čistého diskontovaného přínosu připadá na jednu investovanou korunu. Počítá se podle vzorce:

$$\frac{NPV}{I} = \frac{NPV}{-CF_0} = \frac{\sum_1^t \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{-CF_0} \quad (3)$$

Index rentability EDU je 14,56

Index rentability ETE je 3,62

Finanční ukazatel u obou elektráren je větší než jedna, tedy je projekt přijatelný. Je zde ale vidět velký vliv rozdílně velkých počátečních investic a opět je ETE méně ekonomicky výhodné než EDU.

3.3.7 REH - Roční ekvivalentní hodnota NPV

Roční ekvivalentní hodnota se počítá podle vzorce:

$$REH = NPV * a(r, T_z) \quad (4)$$

Kde a je anuita, která je dopočítána podle vzorce:

$$a(r, T_z) = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r*(1+r)^{T_z}} \right)^{-1} \quad (5)$$

Kde: NPV = čistá současná hodnota (viz vzorec č.1)

a = anuita (s parametry r, T_z)

r = diskont

T_z = doba životnosti projektu

Roční ekvivalentní hodnota NPV EDU je:

- **Diskont 20 %: 2,42 miliard Kč**
- **Diskont 15 %: 4,06 miliard Kč**
- **Diskont 10 %: 5,53 miliard Kč**
- **Diskont 5 %: 6,52 miliard Kč**

Roční ekvivalentní hodnota NPV ETE je:

- **Diskont 20 %: -12,92 miliard Kč**
- **Diskont 15 %: -8,21 miliard Kč**
- **Diskont 10 %: -3,5 miliard Kč**
- **Diskont 5 %: 1,12 miliard Kč**

4 Citlivostní analýza a výsledky

Pro citlivostní analýzu je vybráno palivo, neboť zde jsou vidět výhody jaderných elektráren oproti elektrárnám, u nichž činí palivové náklady větší část celkových nákladů.

Na ose x je vynesena změna ceny uranové rudy v procentech, na ose y jak se tato změna projeví na ceně za 1 kg jaderného paliva. Výpočty vychází z předpokladu, že z 8,9 kg uranové rudy je možno vyrobit 1 kg jaderného paliva, přičemž cena uranové rudy v tomto 1 kg paliva tvoří 46 % jeho celkové ceny. (21) V praxi se ovšem palivo na kg nepočítá. Jako v celém početním modelu, je to situace velmi zjednodušená a zobecněná, ve skutečnosti toto závisí na stupni obohacení uranu, typu reaktoru a dalších parametrech.

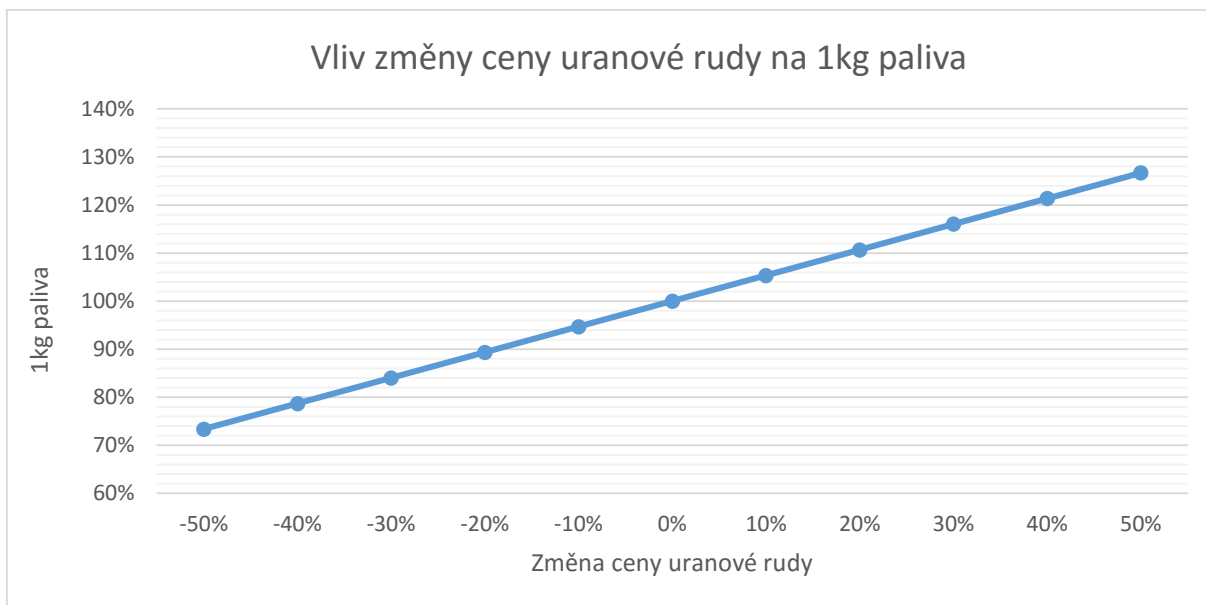
Jako 100 % ceny uranové rudy je uvažována průměrná cena rudy za posledních 10 let, tedy 3144 Kč/1kg.

Cena 1 kg paliva je tvořena cenou rudy, obohacováním a zpracováním. Obohacování a zpracování činí 1019 USD/1kg jaderného paliva. V citlivostním modelu je tedy počítáno s fixní částkou 1019 USD/1kg jaderného paliva, tedy se 24466,19 Kč/kg. (21)

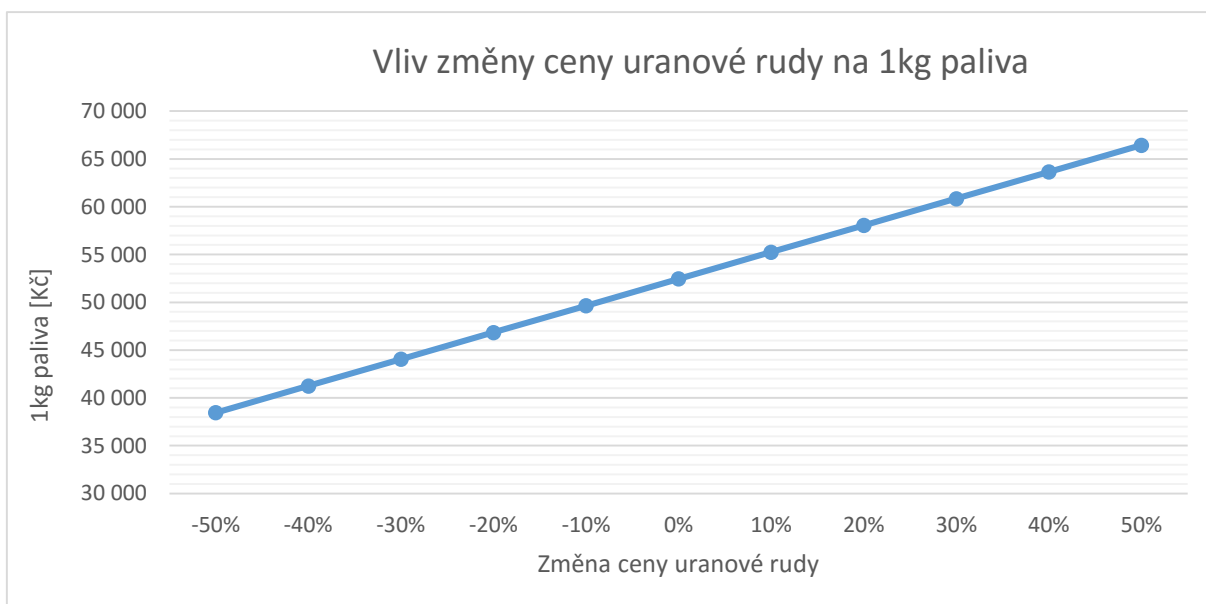
Následující dvojice grafů vždy vyjadřují tu samou závislost, ovšem jednou v procentech, podruhé v konkrétní částce, aby bylo jednodušší si vliv představit.

4.1.1 Vliv změny ceny uranové rudy na 1 kg paliva

Z grafů je patrné, že při změně ceny uranové rudy o 50 % vzrostou náklady na výrobu 1 kg paliva zhruba o 13 991 Kč, tedy o 26,7 %.



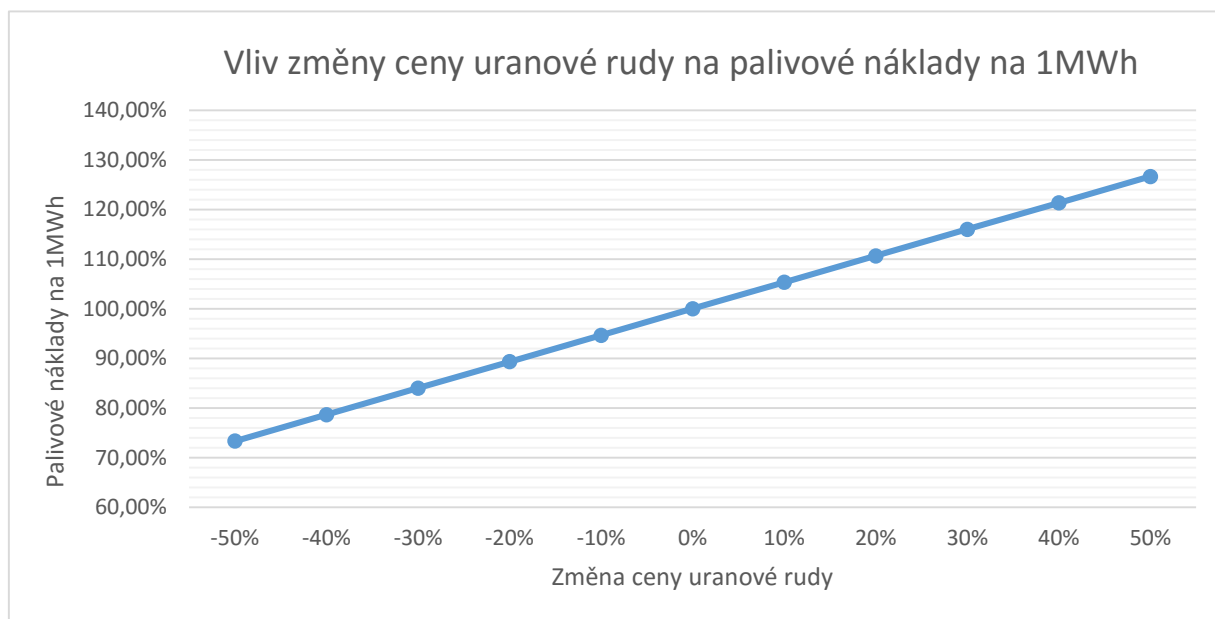
Graf 5 – Vliv změny ceny uranové rudy na cenu 1 kg paliva [%]



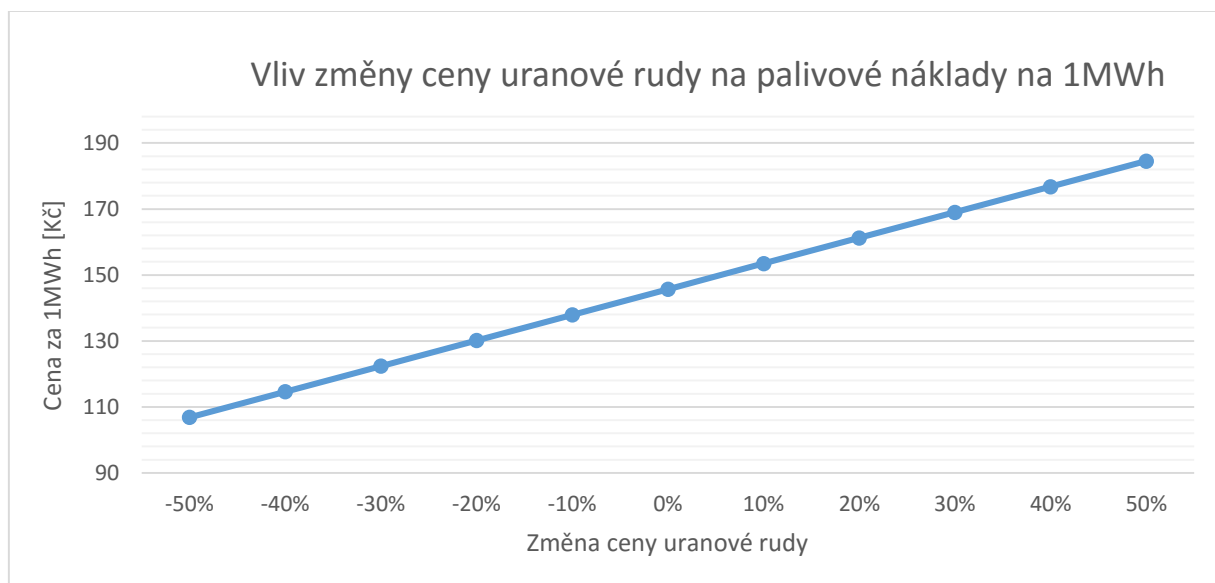
Graf 6 – Vliv změny ceny uranové rudy na cenu 1 kg paliva [Kč]

4.1.2 Vliv změny ceny uranové rudy na palivové náklady na 1 MWh

Palivové náklady na 1 MWh jsou změnou ceny uranové rudy ovlivněny procentuálně stejně, ovšem výsledná částka je relativně malá. Z grafu je patrné, že při změně ceny rudy o 50 % se změní palivové náklady na 1 MWh o 26,7 %, tedy o 38,9 Kč.



Graf 7 – Vliv změny ceny uranové rudy na palivové náklady na 1 MWh [%]



Graf 8 – Vliv změny ceny uranové rudy na palivové náklady na 1 MWh [Kč]

Závěr

Z výsledků předložené práce vyplývá, že Jaderná elektrárna Dukovany je rentabilnější projekt než jaderná elektrárna Temelín. Ukazatel čisté současné hodnoty (NPV) dosáhl pro Temelín kladné hodnoty až při diskontu 5 %, přičemž z výsledku vnitřního výnosového procenta je patrné, že NPV je nulové pro hodnotu 6,2 %. Toto procento je zlomové a pro vyšší diskont je čistá současná hodnota záporná, pro nižší kladná. U Jaderné elektrárny Dukovany jsou odpovídající ukazatele výrazně rozdílné. Čistá současná hodnota je kladná až do hodnoty diskontu nižší než 27,3 %, při níž dosáhne nulové hodnoty. Dalším zkoumaným parametrem je index rentability, který pro EDU vykazuje hodnotu 14,56, pro ETE 3,62. Potvrzuje tedy závěr z výše diskutovaných ekonomických ukazatelů, že Temelín je podstatně méně ekonomicky výhodný projekt.

Další část práce se zabývala citlivostní analýzou, která dokladuje výhody elektrárny jaderné oproti jiným typům. Především stojí za povšimnutí závěr, že při změně ceny uranové rudy o + 50 % se změní palivové náklady na 1 MWh o 38,9 Kč (26,7 %).

Závěr lze tedy konstatovat, že z ekonomických ukazatelů vyplývá rentabilita obou elektráren (Temelín i Dukovany), Dukovany jsou ale výrazně ekonomicky výhodné. V této souvislosti je nutné zdůraznit, že se jedná o výpočty pouze z modelu, u kterého nebyly všechny informace k dispozici, tudíž velké množství údajů bylo dopočítáno náhradními metodami či dokonce bylo stanoveno odhadem. Reálné výsledky by se oproti definovanému modelu jistě částečně lišily.

14. ČEZ, a.s.: *Aktuální stav přípravy na dlouhodobý provoz JE Dukovany*. [online] [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/dlouhodoby-provoz-je-dukovany/aktualni-stav-pripravy-na-dlouhodoby-provoz-je-dukovany.html>>.
15. ČEZ, a.s.: *Provedení a výsledky zátěžových testů JE Temelín*. [online] [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/zatezove-testy-eu/provedeni-a-vysledky-zatezovych-testu-je-temelin.html>>.
16. ČEZ, a.s.: *Předprovozní bezpečnostní zpráva JE Temelín*. Praha, 2015. Kap: 1.4.1.
17. ČEZ, a.s.: *Technické provedení JE Temelín*. [online] [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete/technologie-a-zabezpeceni/8.html>>.
18. Státní úřad pro jadernou bezpečnost: *SÚJB povolil provozovateli jaderné elektrárny Temelín zvýšení projektového výkonu*. [online] 2013. [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <<https://www.sujb.cz/aktualne/detail/clanek/sujb-povolil-provozovateli-jaderne-elektrarny-temelin-zvyseni-projektoveho-vykonu/>>.
19. ČEZ, a.s.: *Největší turbína ve střední Evropě projde modernizací*. [online] [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/cs/pro-media/aktuality-z-jadernych-elektraren/13111.html>>.
20. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, Ministerstvo financí ČR: *Národní akční plán rozvoje jaderné energetiky*. [online] 2015. [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <<http://www.mpo.cz/dokument166679.html>>.
21. World nuclear association: *The Economics of Nuclear Power*. [online] 2016. [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: <<http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>>.
22. Hospodářské noviny: *Česko získalo navíc pátý blok Dukovan. Díky modernizaci*. [online] 2015. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <<http://archiv.ihned.cz/c1-64111640-cesko-ziskalo-navic-paty-blok-dukovan-diky-modernizaci>>.
23. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, NUCLEAR ENERGY AGENCY, ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *Projected costs of generating electricity*. Paris: OECD PUBLICATIONS, 2010. ISBN 978-92-64-08430-8.
24. Cameco corp.: *Uranium price*. [online] [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <<https://www.cameco.com/invest/markets/uranium-price>>.
25. ČEZ, a.s., Divize výroba: *Roční zpráva 2005 Jaderné elektrárny společnosti ČEZ, a. s.* [online] 2005. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/eede/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/cez-rocni-zprava-provozu-je-05.pdf>>.
26. Ceny energie: *Silová elektřina*. [online] 2010. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <<http://www.cenyenergie.cz/silova-elektrina/#/promo-ele>>.
27. ČEZ, a.s.: *Výroční zprávy*. [online] [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/cs/pro-investory/hospodarske-vysledky/vyrocnizpravy.html>>.
28. OTE, a.s.: *Roční zpráva*. [online] [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <<http://www.ote-cr.cz/statistika/rocni-zprava>>.

29. ČEZ, a.s. *Provedení a výsledky zátěžových testů JE Dukovany*. [online] [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/zatezove-testy-eu/provedeni-a-vysledky-zatezovych-testu-je-dukovany.html>>.

30. ČEZ, a.s. *Provedení a výsledky zátěžových testů JE Temelín*. [online] [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/zatezove-testy-eu/provedeni-a-vysledky-zatezovych-testu-je-temelin.html>>.

Zdroje obrázků

1. TENNESSEE VALLEY AUTHORITY. Wikimedia Commons: [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupný z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/PWR_nuclear_power_plant_diagram.svg

2. TENNESSEE VALLEY AUTHORITY. Wikimedia Commons: [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/VVER#/media/File:Wwer-1000-scheme.png>

3. DOLEŽAL, Jaroslav, Jiří ŠŤASTNÝ, Jan ŠPETLÍK a Zbyněk BRETTSCHEIDER: *Jaderné a klasické elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. Str. 123. ISBN 978-80-01-04936-5.

4. ČEZ, a.s. *Provedení a výsledky zátěžových testů JE Dukovany*. [online] [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/zatezove-testy-eu/provedeni-a-vysledky-zatezovych-testu-je-dukovany.html>>.

5. ČEZ, a.s. *Provedení a výsledky zátěžových testů JE Temelín*. [online] [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/zatezove-testy-eu/provedeni-a-vysledky-zatezovych-testu-je-temelin.html>>.

6. ČEZ, a.s.: *Roční zpráva 2005*. [online] [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/cez-rocni-zprava-provozu-je-05.pdf>.

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Schéma jaderné elektrárny.....	7
Obrázek 2 - Reaktor typu VVER.....	9
Obrázek 3 - Schéma parogenerátoru.....	12
Obrázek 4 - Schéma EDU.....	14
Obrázek 5 - Schéma ETE.....	21
Obrázek 6 - Složení nákladů ETE (rok 2005).....	32

Seznam grafů

Graf 1 - Cash – flow EDU	34
Graf 2 - Cash – flow ETE.....	35
Graf 3 - Vývoj výkupní ceny elektřiny (2007-2016)	36
Graf 4 - NPV – čistá současná hodnota	37
Graf 5 - Vliv změny ceny uranové rudy na cenu 1 kg paliva [%].....	41
Graf 6 - Vliv změny ceny uranové rudy na cenu 1 kg paliva [Kč].....	41
Graf 7 - Vliv změny ceny uranové rudy na palivové náklady na 1 MWh [%].....	42
Graf 8 - Vliv změny ceny uranové rudy na palivové náklady na 1 MWh [Kč].....	42

Seznam tabulek

Tabulka 1 – životnost bloků.....	24
----------------------------------	----

Seznam vzorců

Vzorec 1 - NPV.....	37
Vzorec 2 - IRR	38
Vzorec 3 – Index rentability.....	38
Vzorec 4 – REH - Roční ekvivalentní hodnota NPV.....	39
Vzorec 5 – anuita.....	39

Seznam příloh

Příloha 1	CD
-----------------	----

Seznam zkratk

BWR - Boiling Water Reactor.....	8
PWR – Pressurized-Water Reactor.....	8
VVER - Vodo - vodjanoj energetičeskij reaktor = lehkovodní tlakový reaktor.....	8
LWR – Light-water Reactor.....	10
ETE – Jaderná elektrárna Temelín.....	10
JE – jaderná elektrárna.....	13
EDU – Jaderná elektrárna Dukovany.....	13
SW - software.....	17
ÚJV – Ústav jaderného výzkumu.....	17
WANO - The World Association of Nuclear Operators (=sdružení provozovatelů jaderných elektráren).....	18
LTO – Long Term Operation.....	18
MAAE – Mezinárodní agentura pro atomovou energii.....	20
SEK – Státní energetická koncepce.....	26
SKŘ – Systémy kontroly a řízení.....	29
NPV – čistá současná hodnota.....	37
IRR – čisté výnosové procento.....	38
REH – roční ekvivalentní hodnota NPV.....	39