

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

---



Technicko-ekonomické posouzení výměny  
plynové turbíny v paroplynové elektrárně

Technical and economic assessment of gas turbine replacement in  
combined cycle power plant

Diplomová práce

Diploma Thesis

**Bc. David Hroníček**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

Vedoucí práce: Doc. Ing. Milan Jäger, CSc.

2015

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: David Hroníček

Studijní program: elektrotechnika, energetika a management  
Obor: ekonomika a řízení energetiky

Název tématu: Technicko-ekonomické posouzení výměny plynové turbíny v paroplynové elektrárně

Pokyny pro vypracování:

- současný stav plynové turbíny a elektrárny
- možnosti záměn
- ekonomické posouzení výměny
- výběr varianty

Seznam odborné literatury:

Starý, Oldřich: Ekonomické hodnocení investic v energetice: Habilitační práce, Praha, 1997, ČVUT FEL, katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd  
Valach, Josef: Investiční rozhodování a dlouhodobé financování, Praha: Ekopress, 2006, ISBN 80-86929-01-9

Vedoucí diplomové práce: Doc.Ing. Milan Jäger, CSc. – ČVUT FEL, K 13116

Platnost zadání: do konce letního semestru akademického roku 2015/2016

Doc.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.  
vedoucí katedry



Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 4.11.2014

## 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 vysokoškolských závěrečných prací.“*

V Praze dne

podpis

## Poděkování

---

Zde bych rád poděkoval především třem osobám, které přispěly k vypracování této práce. Na prvním místě bych tedy rád poděkoval svému vedoucímu práce Doc. Ing. Milan Jäger, CSc., jenž mi poskytl cenné připomínky jak po obsahové tak i po stylistické stránce. Dále bych rád poděkoval zaměstnancům Sokolovské uhelné, právní nástupce a.s. konkrétně panu Petru Stankovi, který byl velice ochoten při zajišťování potřebných dat a osobních konzultacích a také panu Davidu Najvarovi při osvětlování problematiky poskytování podpůrných služeb a závěrečném hodnocení.

# Anotace

---

Diplomová práce je vypracována na základě poskytnutých údajů ze společnosti Sokolovská uhelná, právní nástupce a.s. Zabývá se problematikou výměny spalovacích turbín v obou identických blocích paroplynové elektrárny (PPC) Vřesová, která vyrábí elektrickou energii především ze zplyněného hnědého uhlí, ale i ze zemního plynu. Problematika je řešena jak z hlediska dopadů na provozní režim zařízení, tak i z hlediska ekonomické efektivity přijatých opatření na základě výběru optimální varianty. Zvoleným ekonomickým kritériem je čistá současná hodnota (NPV) v její nákladové formě, kdy jsou uvažovány investiční a provozní náklady jednotlivých navržených variant. Rozhodujícím parametrem výpočtu je měrná spotřeba paliva spalovacích turbín, která ovlivňuje celé hodnocení v největší míře. Jsou uvažovány dva dostupné typy spalovacích turbín a jejich různé kombinace osazení v blocích PPC Vřesová.

## Klíčová slova

---

Technicko-ekonomické hodnocení, spalovací turbína, paroplynová elektrárna, PPC Vřesová, čistá současná hodnota.

# Annotation

---

The diploma thesis is developed on the basis of the data from the company Sokolovska uhelna, pravni nastupce a.s. It deals with the issue of replacing gas turbines in both identical blocks of a combined cycle power plant (PPC) Vresova which produces electricity from gasified coal and natural gas. The issue is being solved both in terms of the impact on the operating mode of the device and from the perspective of economic efficiency of the measures taken on the basis of selecting the optimal variant. The selected economic criteria is a net present value (NPV) of the cost as they are considered an investment and operating costs of each proposed variants. The critical parameter for calculating the heat rate is the consumption of the gas turbines which influences the assessment the most. Two available types of gas turbines and their various combinations are considered with both blocks in PPC Vresova.

# Keywords

---

Technical and economic assessment, combustion turbine, combined cycle power plant, PPC Vresova, net present value.

# Obsah

---

Obsah.....	6
1. Úvod .....	8
2. Paroplynová elektrárna Vřesová .....	9
2.1 Základní principy provozu.....	9
2.2 Tepelné schéma elektrárny a jeho jednotlivé prvky .....	11
2.3 Základní charakteristické znaky bloků .....	18
3. Účast na krytí zatížení ES ČR.....	21
3.1. Poskytované podpůrné služby (PpS) .....	22
3.2. Spolupráce s ES ČR.....	25
4. Inspekce spalovacích turbín .....	31
4.1. Hlavní vlivy na dobu životnosti a četnost inspekcí .....	31
4.2. Typy inspekcí.....	34
4.3. Důvody inspekcí.....	36
5. Současný stav zařízení PPC Vřesové .....	37
5.1. Ekologické dopady užití PPC Vřesové .....	39
5.2. Spalovací turbína 9E.03 .....	41
6. Variantní řešení výměny spalovacích turbín .....	46
6.1. Varianta A – GO spalovacích turbín 9E.03 bloku 1 a 2 .....	47
6.2. Varianta B – Nová 9E.03 bloku 1, GO 9E.03 bloku 2 .....	47
6.3. Varianta C – Nová 9E.04 bloku 1, GO 9E.03 bloku 2 .....	48
6.4. Varianta D – Nové spalovací turbíny 9E.04 bloku 1 a 2.....	50
7. Ekonomické hodnocení návrhu řešení.....	51
7.1. Čistá současná hodnota (NPV).....	51
7.2. Vstupní hodnoty - předpoklady .....	51
7.3. Investiční a provozní náklady .....	59
7.4. Ekonomická efektivnost navržených variant.....	60
7.5. Citlivostní analýza .....	61

7.6. Návrh optimálního řešení .....	66
8. Závěr .....	68
Seznam obrázků .....	71
Seznam tabulek .....	72
Seznam grafů .....	73
Zdroje .....	74
Příloha 1 – Poškození turbíny .....	77
Příloha 2 – Provozní náklady variantních řešení .....	78
Varianta A – Provozní hotovostní toky .....	78
Varianta B – Provozní hotovostní toky .....	80
Varianta C – provozní hotovostní toky .....	82
Varianta D – provozní hotovostní toky .....	84



# 1. Úvod

---

Cílem této práce je technicko-ekonomické zhodnocení výměny spalovací turbíny v paroplynové elektrárně, konkrétně v elektrárně Vřesová, která se vyznačuje ojedinělým způsobem získávání plynného paliva. PPC Vřesová sice využívá méně kvalitní hnědé uhlí ze Sokolovské pánve, avšak toto uhlí zplyňuje a získává tak výsledný energoplyn, který lze nejen lépe čistit, ale i efektivněji spalovat. Kromě toho lze PPC Vřesová provozovat také na zemní plyn, avšak tato možnost je za současných podmínek ekonomicky nerentabilní. Z předpokladů Sokolovské uhelné vyplývá, že bude možné vlastní hnědé uhlí využívat až do roku 2040. Do tohoto roku se musí rovněž rozhodnout, jakým směrem se bude podnik dále vyvíjet a zda bude možné jej ekonomicky provozovat. Vše bude záviset na aktuální situaci na trhu s hnědým uhlím a na trhu s elektřinou, zemním plynem a podpůrnými službami. Státní energetická koncepce předpokládá využívání uhlí pouze u zdrojů pracujících s vysokou účinností. Vzhledem k využívání paroplynového cyklu, kterým lze dosáhnout vysoké účinnosti v důsledku kombinované výroby elektřiny a tepla lze předpokládat, že takovýto zdroj bude využívat uhlí v souladu s předpoklady SEK. [6]

První problematikou, kterou se tato práce bude zabývat, je čistě věcného charakteru se zaměřením na provozní problematiku PPC Vřesová a jeho využívání při kombinovaném režimu provozu, a to jak k výrobě el. en. do základního zatížení elektrizační soustavy, tak i k poskytování podpůrných služeb pro přenosovou soustavu v dobách výkyvu výkonu.

Obsahem druhé části práce pak bude vlastní ekonomické zhodnocení investičního záměru a o výběr optimálního řešení z několika posuzovaných variant. V rámci hodnocení variant bude nutné zvolit určité předpoklady, které jsou převážně výsledkem analýzy minulých dat, a na základě této analýzy pak určit jejich možný budoucí vývoj. Tato oblast je velice nejistá, jelikož situace se může v důsledku mnoha faktorů rychle změnit. Důležitou roli zde hraje energetická politika odvíjející se od státní energetické koncepce, ale také i vývoj na energetickém trhu, na kterém může docházet k rychlým změnám. Proto parametry podléhající nejistotě určení, budou analyzovány pomocí citlivostní analýzy, aby bylo možno zjistit váhu jejich výsledného dopadu na výběr optimální varianty.

## 2. Paroplynová elektrárna Vřesová

### 2.1 Základní principy provozu



Obr. 1: Pohled na PPC Vřesová, zdroj [23]

Společnost Sokolovská uhelná, právní nástupce a.s. se zaměřuje na těžbu hnědého uhlí v Sokolovské pánvi (nejmenší hnědouhelná těžební společnost v ČR), jeho zpracování a prodej výsledných produktů. Zpočátku se jednalo o výrobu svítiplynu a jeho dodávku do plynárenské soustavy, ale v roce 1996, když ČR přestoupila na užívání zemního plynu, se v areálu PPC Vřesová

vybudovala paroplynová elektrárna, která z části využívá zde vyrobený energoplyn.

Hnědé uhlí těžené ve vlastních lomech se po rozdrčení předsouší a třídí. Vytríděná jemná frakce (podsítné) je spalována v klasické teplárně, která byla uvedena do provozu v roce 1966. Hrubá frakce tvoří vsázku pro tlakovou plynárnu. Uhlí je za tlaku 2,7 MPa zplyňováno kyslíkoparní směsí v generátorech se sesuvným ložem (Lurgi). I přes svůj dobrý technický stav je tato část nejslabším článkem celého komplexu. Zplyňovací generátory jsou totiž nejstarším technologickým celkem. Výměnou za novou technologii fluidního tlakového zplyňování by došlo k podstatnému zlepšení technických, ekologických i ekonomických parametrů. Vyrobený surový plyn je čištěn vypírkou podchlazeným metanolem v zařízení RECTISOL. Vyčištěný plyn (energoplyn) je základním palivem pro paroplynovou elektrárnu a postačí na pokrytí 80 % výkonu elektrárny. Pokud je tedy potřeba dosáhnout vyššího výkonu, je již zapotřebí zemního plynu, čímž dochází k růstu provozních nákladů.

PPC Vřesová se soustředí převážně na výrobu elektrické energie a s ní spojené poskytování podpůrných služeb provozovateli přenosové soustavy České republiky (ČEPS). Vedle výroby elektrické energie byla do provozu uvedena distribuční tepelná síť, která slouží

k zásobování teplem sídelní aglomerace v okolí Karlových Varů. Odebírá se pouze zbytkové teplo ze spalínového kotle.

Kogenerace je vysoce efektivní jak ekologicky tak ekonomicky. Tímto způsobem je možnost dosáhnout využití tepelného potenciálu paliva v PPC Vřesová s účinností až 54 % (brutto) a dosáhnout tak finančních úspor.

Při zaměření na specifický koncept získávání primárního paliva PPC Vřesová, který je ojedinělým řešením u nás i ve světě, bychom zjistili, že podobné projekty jsou spíše jen demonstrativními jednotkami než trendem. Technologie zplyňování uhlí je investičně příliš nákladná a za současného stavu trhu s elektřinou a teplem nevýhodná. Důvodem je cenová úroveň vykupované elektrické energie, protože vlivem výstavby a následného výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie dochází ke snižování cenové úrovně el. en. V době výstavby a dokončení projektu PPC Vřesová (1996), byl plánovaný projekt ekonomicky efektivní a jeho prostá doba návratnosti činila 8 let, jelikož ceny uvažovaných forem energie na trhu byly na vyšší hladině. Dalším faktorem zlepšujícím ekonomickou efektivnost projektu byla úspora investičních nákladů na zplyňování hnědého uhlí. Jelikož zplyňovací generátory Lurgi zde již byly vystavěny, snížily se o tuto částku celkové investiční náklady.

V rámci technologického řešení PPC Vřesová je využito paroplynového cyklu, jehož součástí jsou dále popsána zařízení [kapitola 2.2]. Specifické vlastnosti paroplynového cyklu umožňují vyrábět jak silovou elektrickou energii pro základní zatížení elektrizační soustavy, tak i energii na krytí výkonových špiček denního diagramu zatížení ES ČR. PPC Vřesová je zaměřena na poskytování podpůrných služeb, které jsou značným ekonomickým přínosem a zajišťují ekonomicky výhodný provoz. V minulých letech se PPC Vřesová podílela na poskytování podpůrných služeb 5,00 % v roce 2012, 8,98 % v roce 2013, 9,06 % v roce 2014 a 7,50 % v roce 2015, přičemž více podpůrných služeb vysoutěžily pouze společnosti Alpiq (13,97 %) a ČEZ (41,58 %). Společnost Alpiq Energy SE je však primárně zaměřena na poskytování podpůrných služeb a společnost ČEZ vlastní převážnou většinu různorodých výrobních zdrojů elektrické energie v České republice.

Paroplynové elektrárny začaly vznikat v ČR v 90. letech. Z prvního dokončeného projektu vyplynulo, že tento koncept je možné uskutečnit, a co více, je možné jej i ekonomicky provozovat. V té době se jevílo rozvíjení soustavy tímto směrem správnou volbou vzhledem k vysoké účinnosti provozu paroplynového zařízení. Toto zařízení je navíc

ekologičtější a v neposlední řadě vhodné pro krytí pološpičkových a špičkových výkonů soustavy.

Vlivem současného trendu rozvoje elektrizační soustavy ČR a okolních států je v dnešní době paroplynové zařízení nákladné provozovat, jelikož provozní náklady jsou vysoké, a to zejména v souvislosti s přednostním využíváním podporovaných s obnovitelných zdrojů energie. Toto způsobuje, že většina klasických výrobních zdrojů není provozována s maximálně možnou kapacitou, protože elektrizační soustava je předimenzována. Obnovitelné zdroje energie tak mohou způsobit řadu provozovaných problémů ES, neboť nelze přesně předpovědět jejich budoucí výrobu. V ČR je instalovaný výkon solárních a větrných elektráren asi 2,5 GW což v případě odlišné výroby od predikce zatížení vyvolává nutnost regulačních zásahů s dopadem na velikost zatížení klasických zdrojů.

## 2.2 Tepelné schéma elektrárny a jeho jednotlivé prvky

PPC Vřesová je složena ze dvou identických bloků. Složení každého z bloků:

- a) Plynové turbíny FRAME 9E (9171E) od francouzské firmy EGT (GEC Alsthon)
- b) Spalinové kotle od české firmy ABB První brněnská strojírna Brno s.r.o.
- c) Parní turbíny PP 60-71 od téže firmy
- d) Zařízení pro vyvedení elektrického výkonu
- e) Řídicí systém od firmy Honeywell

Jak již bylo řečeno, primárním palivem je energoplyn vlastní výroby. Doplnkovým palivem je zemní plyn. Zemní plyn je využit zejména pro rychlé výkonové změny bloku, ale také pro dosažení výkonového maxima. Obě paliva jsou spoluspalována ve spalovacích komorách jednotlivých spalovacích turbín. Kompresor dodává vzduch o vysokém tlaku jednak pro účely spalování v turbíně, ale také pro chlazení průtočné části turbíny. Kompresor má jednohřídelové uspořádání s turbínou a generátorem. Spalovací komory dodávají spaliny o průměrné teplotě 1100 °C. Tyto spaliny dále vstupují do turbíny, kde konají práci. Výstupní teplota spalin z turbíny je 540 °C. Dále odpadní spaliny vstupují do jednotlivých spalinových kotlů. Abychom snížili tvorbu NO<sub>x</sub>, je do spalovacích komor zařízen vstřík páry (dochází ke snížení teploty hoření a tím také k redukci NO<sub>x</sub>). Kotel je řešen jako dvojtlaký. Vysokotlaká pára o parametrech 7,3 MPa a 505 °C je přivedena na vysokotlaký díl kondenzační parní turbíny. Nízkotlaká pára o parametrech 6 MPa a 210 °C pak pokračuje na nízkotlaký díl parní turbíny. Kondenzační parní turbína je dvoutělesová s regulovanými odběry 0,5 MPa

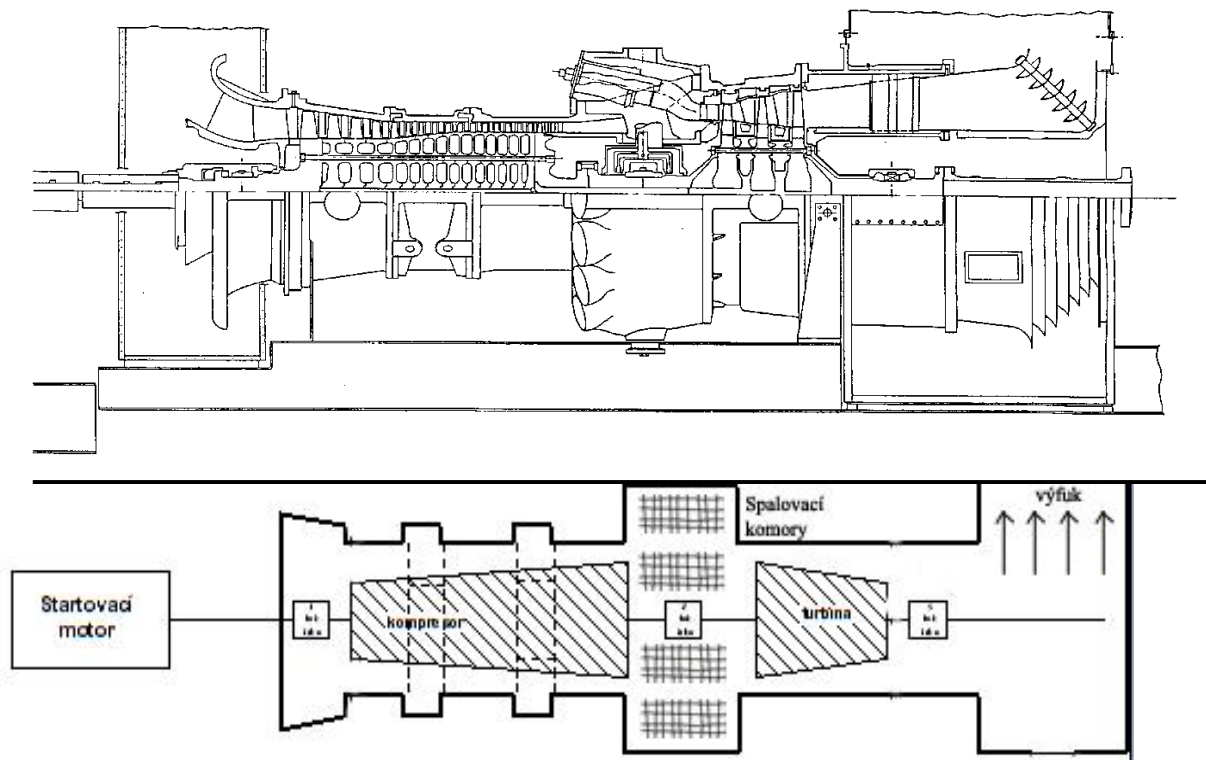
a 3,5 MPa. Zbytkové teplo z nízkotlakého stupně je dále využito, před vypuštěním do komína, na předehřev síťové vody. Spaliny vypouštěné do ovzduší mají maximální teplotu 100 °C, což plně vyhovuje všem normám pro ochranu ovzduší. Elektrická energie z obou generátorů je transformována v blokovém transformátoru 235 MVA a vyvedena linkou 220 kV do rozvodny Vítkov.

Řídicí systém umožňuje plnou automatizaci provozu. Lze automaticky spustit bloky dle zvoleného diagramu, přifázovat je na síť, automaticky regulovat a sekvenčně ovládat příslušenství a automaticky odstartovat zařízení v případě havárie. Řídicí systém plní hlavní funkci autonomní regulace a řízení spolu s dalšími funkcemi.

Díky regulačním vlastnostem a osazeným technologiím, je umožněno propojení PPC Vřesové se západoevropskou elektrizační soustavou (UCTE). Muselo být vyhověno určitým požadavkům, k jejichž splnění kromě zmíněných regulačních schopností přispělo i užívání nezávislých zdrojů paliva tj. energoplynu a zemního plynu.

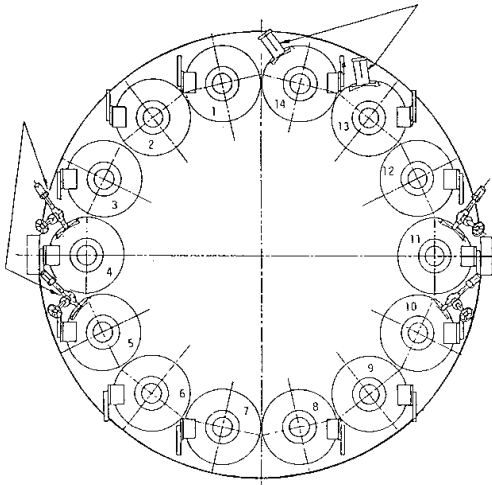
### 2.2.1 Spalovací turbína

Turbína FRAME 9E (9171E) je v EGT vyráběna v licenci GENERAL ELECTRIC od roku 1979 a je instalována již ve 245 jednotkách na celém světě.



Obr. 2: Řez spalovací turbínou FRAME PG 9171, zdroj [9]

V sací části turbíny dochází k přívodu upraveného vzduchu z kompresoru. V této části



jsou také umístěny vzduchové filtry a tlumiče hluku ze sání kompresoru. Musí zde být zajištěna i ochrana proti namrznání. Systém ohřívá vzduch o několik stupňů celsia (vždy nad bod mrazu). Vstupní statorové lopatky kompresoru jsou natáčivé (difuzor). Tato schopnost umožňuje omezit hmotnostní tok vzduchu při startu a také příznivě ovlivňuje účinnost spalovací turbíny při sníženém zatížení.

**Obr. 3: Spalovací komory, zdroj [27]**

Spalovací turbína je osazena 17-ti stupňovým turbokompresorem diskové konstrukce. Po obvodu je umístěno 14 spalovacích komor určených ke

spalování energoplynu či zemního plynu v celém rozsahu poměrů směsi. Je použita tryska tzv. duální. Konstrukčně je rozdělena na tři hlavní části. První částí je tryska vnitřní, kterou přichází do spalovacího prostoru zemní plyn. Tato tryska je volně vložena do části č. 2 - trysky vnější, kterou je do spalovacího prostoru vháněn energoplyn. Vnější tryska má na čele tělesa 16 otvorů s kosodélníkovým tvarem odtokové hrany a po obvodě tělesa závit, kterým jsou obě trysky zašroubovány do části třetí - tělesa trysek. Ty jsou proti otočení zajištěny ohnutím plechové pojistné podložky. Palivo je přiváděno a rozprášeno tryskou v příslušném množství do stlačeného vzduchu a celý spalovací proces je zažehnut dvojicí výsuvných 15kV svíček. Při zapalování zapaluje komoru jiskra z jedné nebo obou těchto svíček. Zbylé komory jsou zapáleny prošlehnutím plamene propojovacími trubkami. Ze spalovacích komor jsou spaliny vedeny přes přechodové kusy na rozváděcí lopatky turbíny. Největší část tvorby NOx je právě ve spalovacích komorách, kde teplota převyšuje hodnotu 1800 °C. Při snížení teploty jen o pár stupňů, dochází již ke značnému snížení produkce NOx bez vlivu na účinnost spalování. Proto se do komor vstřikuje pára, čímž dojde ke snížení teploty. Se standardními hořáky lze dosáhnout při vstřikování páry úrovně emisí NOx na 42 ppm (spalování zemní plyn) a 64 ppm (spalování olejů). Kompresor musí být stále pod kontrolou a udržován, jelikož během provozu společně s plynovou turbínou se na něm usazují nečistoty, které snižují účinnost komprese. Omývání kompresoru probíhá dvojím způsobem. Drobná údržba za běhu omýváním vodou a důkladná údržba při odstavení stroje.

Třístupňová turbína se samostatnými disky spojující šrouby, mezi které jsou vloženy distanční vložky, je jádrem celého soustrojí. Veškeré kusy turbíny jsou tvořeny jako přesné odlitky (statorové segmenty, rotorové lopatky). Turbínové disky jsou chráněny před vysokou teplotou proudu spalin prodlouženou nožkou na lopatkách rotoru. Ze spalovací turbíny postupují spaliny přes výstupní hrdlo a tlumič hluku do spalinového kotle. Ve výstupním hrdle je taktéž umístěn i hřídel propojený s generátorem.

Dalším pomocným zařízením sloužícím ke snížení hladiny hluku je akustický kryt, umístěný kolem turbíny i všech pomocných. Ve vzdálenosti jednoho metru od krytu nepřevyšuje hladina hluku 85 dB (např. vysavač, sekání trávy).

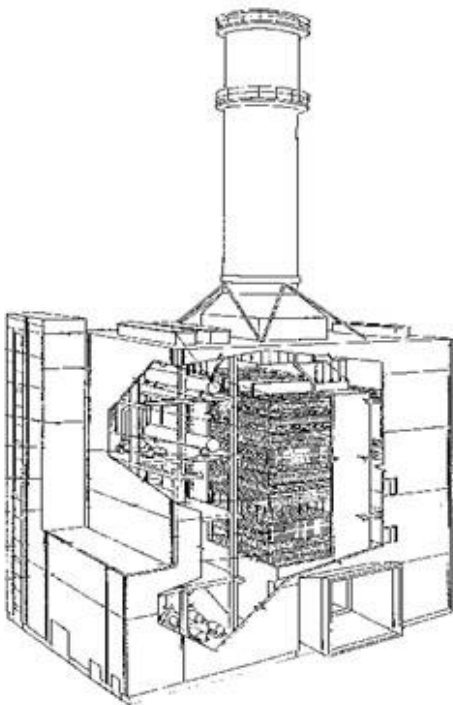
Turbína je vhodná téměř pro veškerá dostupná paliva (zemní plyn, plyny vyrobené z uhlí, těžké i lehké ropné destiláty a LPG).

Základní startovací procedura umožňuje přifázování stroje do 8 min, přičemž na plný výkon je možno se dostat během 12 min.

Aplikace vhodné pro tuto spalovací turbínu jsou velice různorodé vzhledem k její robustnosti, flexibilitě v palivech, nízkým emisím a vysoké pružnosti. Příklady vhodných aplikací mohou být v zásadě tyto:

- a) Otevřený cyklus (vykrytí energetických špiček nebo jako záloha)
- b) Kombinovaný cyklus (základní výkon, kombinace základního a špičkového výkonu)
- c) Kogenerace

Zdroj [23] a [27].



Obr. 4: Spalinový kotel, zdroj [26]

### 2.2.2 Spalinový kotel

Spalinové kotle bez přitápění se konstruují vertikálně a k přenosu tepla využívají soustavu trubek opatřené žebrováním pro lepší přenos tepla (ohřívák kondenzátu, ohřívák síťové vody, ekonomizér, výparník a přehřívák nízkotlaké a vysokotlaké páry). Tento typ kotle se používá v PPC Vřesová. V našem případě je použit dvojtakový kotel. Jedná se o provedení bez dodatečného přitápění a pro využití odpadního tepla

obsaženého ve spalinách vystupujících ze spalovací turbíny (výroba páry). Zdroj [26].

<b>Teplota napájecí vody</b>	105 °C		
<b>Teplota spalin na vstupu do kotle</b>	530 °C		
<b>Teplota spalin na výstupu z kotle</b>	100 °C		
	Množství (kg/s)	Tlak (Mpa)	Teplota (°C)
<b>Vysokotlaká pára</b>	47.9	6,65	500
<b>Nízkotlaká pára</b>	12,6	0,6	225
<b>Ohřívák síťové vody</b>	70.0	1,6	125
<b>Ohřívák kondenzátu</b>	101.7	0,3	85

Tab. 1: Parametry spalinového kotle

### 2.2.3 Parní turbíny

PPC Vřesová je osazena parní turbínou typu PP 60/57 – 6,6/3,5/0,55. Tento typ turbíny je dvoutělesový, kondenzační s regulovanými odběry za účelem vytápění. Vysokotlaká část turbíny je hlavním zdrojem energie a je napojena na vysokotlakou část spalinového kotle. Druhý, nízkotlaký stupeň, je napojen na nízkotlakou část kotle tak, že přednostně je pára využívána pro technologické účely a až následně jako vstup pro nízkotlaký stupeň.

<b>Vstupní pára (na rychlouzávěrných ventilech):</b>		
<b>Jmenovitý tlak</b>	6,6	Mpa
<b>Jmenovitá teplota</b>	495	°C
<b>Rozsah tlaku vstupní páry</b>	5,0 - 6,8	MPa
<b>Rozsah teploty vstupní páry</b>	400 - 510	°C
<b>Regulovaný odběr:</b>		
<b>Jmenovitý tlak</b>	3,5	MPa
<b>Rozmezí tlaku</b>	3,3 - 3,8	MPa
<b>Maximální průtok páry</b>	116	t/h
<b>Regulovaný odběr II:</b>		
<b>Jmenovitý tlak</b>	0,55	MPa
<b>Rozmezí tlaku</b>	0,45 - 0,7	MPa
<b>Maximální průtok páry</b>	97	t/h
<b>Přídavná pára (na vstupu do NT - turbíny):</b>		
<b>Rozmezí tlaku</b>	0,45 - 0,7	MPa
<b>Rozsah teploty</b>	210 - 230	°C
<b>Průtok páry</b>	34	t/h
<b>Chladicí voda (na vstupu do kondenzátoru):</b>		
<b>Jmenovitá teplota</b>	21	°C
<b>Maximální teplota</b>	33	°C



<b>Průtok vstupní páry při jmenovitých parametrech</b>	185	t/h
<b>Průtok páry do ST-části při tlaku v regulovaném odběru 3,5 Mpa</b>	185	t/h
<b>Průtok páry do NT-části při tlaku v regulovaném odběru 0,55 Mpa</b>	222	t/h
<b>Předané teplo v síťové vodě při spalování:</b>		
<b>Energoplynu</b>	14.73	MW <sub>t</sub>
<b>Zemního plynu</b>	14,9	MW <sub>t</sub>
<b>Směsi obou plynů</b>	15.0	MW <sub>t</sub>

Tab. 2: Technické parametry parní turbíny

## 2.2.4 Vyvedení elektrického výkonu

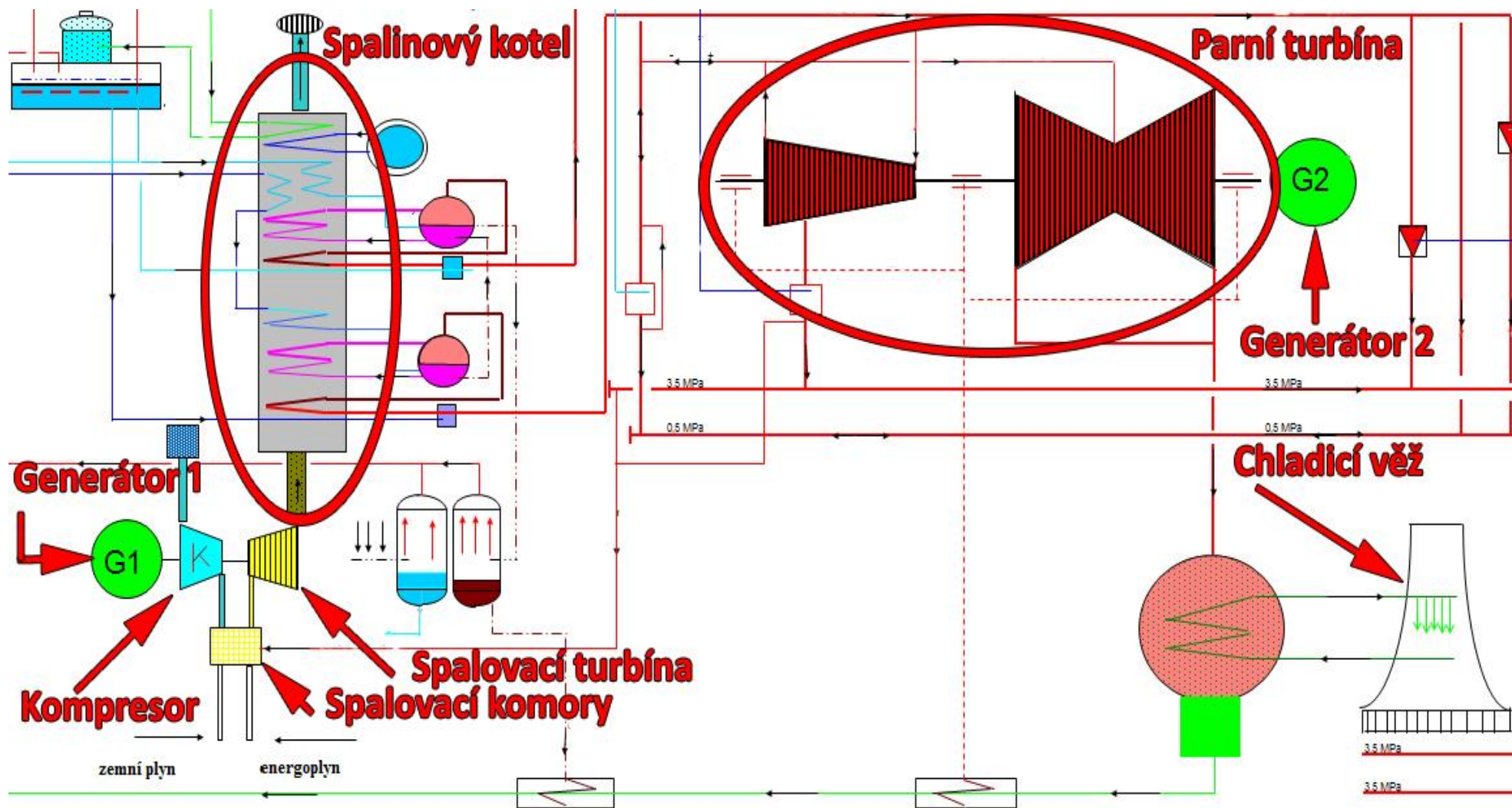
Vyrobená elektrická energie je ze svorek generátorů o napětí 11,5 kV vyvedena zapouzdřenými vodiči na blokové transformátory 235 MVA, 11,5/220 kV. Blokové transformátory jsou dva, každý pro jeden výrobní blok. Před vývodovými transformátory je na vedení 11,5 kV provedena odbočka na transformátory 12,5 MVA, 11,5/6,3 kV, které slouží jako záskokové transformátory pro vlastní spotřebu, přičemž základní napájení vlastní spotřeby je řešeno ze stávající rozvodny 110 kV. Z každého blokového transformátoru je výkon vyveden volným vedením a odtud na koncové stožáry linek 220 kV vedoucí z Vřesové do rozvodny Vítkov.

<b>Činný výkon</b>	58 [MW]
<b>Zdánlivý výkon</b>	72,5 [MVA]
<b>Účinník</b>	0,8
<b>Kmitočet</b>	50 [Hz]
<b>Jmenovitý proud</b>	3640 [A]
<b>Izolace třídy</b>	F
<b>Spojení fází</b>	Y
<b>Budící proud naprázdno</b>	268 [A]
<b>Budící proud při jmen. zatížení</b>	681 [A]

Tab. 3: Generátor pro parní turbínu

<b>Činný výkon</b>	135 [MW]
<b>Zdánlivý výkon</b>	157,34 [MVA]
<b>Účinník</b>	0,8
<b>Otáčky</b>	3000 [ot/min]
<b>Kmitočet</b>	50 [Hz]
<b>Budící proud-rotor</b>	2151 [A]
<b>Budící napětí-rotor</b>	190 [V]
<b>Izolace třídy</b>	F
<b>Spojení fází</b>	Y

Tab. 4: Generátor pro spalovací turbínu



Obr. 5: Tepelné schéma PPC Vřesová

## 2.3 Základní charakteristické znaky bloků

<b>Počet bloků</b>	2	
<b>Údaje jednoho bloku</b>		
<b>Jmenovitý výkon</b>	192	MW
<b>Spalovací turbína (PG 9171E)</b>	135	MW
<b>Parní turbína (PP 60-6,6/3,5/0,55)</b>	57	MW
<b>Spalinový kotel</b>	200	MW <sub>t</sub>
<b>Tepelná účinnost</b>	34,8	%
<b>Účinnost paroplynové elektrárny při kondenzačním provozu parní turbíny</b>	50,2	%
<b>Účinnost paroplynové elektrárny při kondenzačním provozu parní turbíny včetně tepla předaného síťové vodě</b>	54,3	%

Tab. 5: Základní parametry PPC Vřesová

<b>Výkon spalovacích turbín</b>	270 MW <sub>e</sub> ve špičkách
<b>Výkon parních turbín</b>	114 MW <sub>e</sub> ve špičkách
<b>Celkový výkon (dle teploty vzduchu)</b>	384 MW <sub>e</sub> při -8 °C
<b>Minimální výkon</b>	146 MW <sub>e</sub>
<b>Maximální dodávka elektřiny</b>	2750 GWh / rok
<b>Maximální odběry pro teplofikaci</b>	148 MW <sub>t</sub> v páře 3,5 MPa
	206 MW <sub>t</sub> v páře 0,5 MPa
<b>Maximální odběr tepla za rok</b>	2200 TJ
<b>Spotřeba zemního plynu</b>	4,2 mil. m <sup>3</sup> /rok
<b>Spotřeba energoplynu</b>	1100 mil.m <sup>3</sup> /rok

Tab. 6: Provozní parametry PPC Vřesová

PPC Vřesová využívá jako základního paliva energoplynu. Energoplyn je získáván z části vlastního vytěženého uhlí, drceného na hrubou frakci a v tlakové plynárně následně zplyněného. Takto hrubě nadrcené uhlí je zplyněno za tlaku 2,7 MPa v kyslíkoparní směsi v generátorech Lurgi (technologie se sesuvným ložem). Vyrobený surový plyn je čištěn vypírkou. Využívá se podchlazeného metanolu v zařízení RECTISOL. Takto je získáván čistý energoplyn, který je již možno použít ke spalování ve spalovacích komorách plynové turbíny. Druhá část uhlí je drcena na jemnou frakci a spalována po vysušení v klasickém teplotěnském provozu.

<b>A: Průměrné složení surového hnědého uhlí (v %)</b>		
Hořlavina	47,60%	+/- 4,2 %
Voda	39,00%	+/- 2,0 %
Popel	14,40%	+/- 1,8 %
spalné teplo:	15,18 MJ/kg	
výhřevnost	13,59 MJ/kg	
<b>B: Složení suchého uhlí (v %)</b>		
uhlík	56,60%	+/- 2,5 %
kyslík	15,10%	+/- 1,0 %
vodík	4,60%	+/- 0,15 %
síra	0,90%	+/- 0,3 %
dusík	0,80%	+/- 0,2 %
popel	22,00%	+/- 3,0 %

Tab. 7: Složení uhlí (%)

% obj.	Energoplyn	Zemní plyn	Svítiplyn
CO <sub>2</sub>	24,5	1	9,4
CO	15	0	19,56
H <sub>2</sub>	46,8	0	54,1
N <sub>2</sub>	0,6	0,8	1
CH <sub>4</sub>	11,6	98,1	14,4
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,65	0,7	0,5
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,14	0	0,1
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,16	0,2	0,1
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0,07	0	0,05
C <sub>4</sub> H <sub>10+</sub>	0,004	0,1	0,002
Ar	0,35	0	0,71
O <sub>2</sub>	0,1	0	0,08
Hustota kg/Nm <sup>3</sup>	0,824	0,73	0,618
Výhřevnost kJ/Nm <sup>3</sup>	11,802	35,869	13,973
Wobbeho č.	871	2811	1190

Tab. 8: Charakteristické složení plynů

Získaný energoplyn má oproti svítiplynu nižší obsah hořlavých složek, nižší výhřevnost a nižší Wobbeho číslo.

Složení surového plynu lze rozdělit do několika skupin:

- Hořlavé látky (vodík, metan, oxid uhelnatý)
- Inertní látky (voda, oxid uhličitý)
- Malé množství dusíku a uhlovodíků C<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>
- Sirovodíky, sirouhlíky, amoniak, benzín, fenol, dehet

e) Toxické, korozivní a jiné škodlivé látky

Poslední skupina látek je odstraňována v čistících technologiích. Po částečném ochlazení pak kondenzují vodní a dehtové podíly.

Organické látky, sirovodík a benzíny jsou odstraněny v první fázi selektivní vypírky podchlazeným metanolem. V další fázi vypírky se odstraňují také popeloviny, které by působily nepříznivě v dalších technologiích. V čistém energoplynu je ponechán veškerý oxid uhličitý, jelikož je tento nehořlavý plyn použit dále na turbíně, kde vykonává mechanickou práci. Dále tento plyn příznivě ovlivňuje tvorbu oxidů dusíku při spalování energoplynu.

Odpady se dělí na dvě části:

- a) Odpadní vody – Jsou čištěny jednak vyvářením, což nám izoluje amoniak a jednak extrakcí butylacetátu, čímž odstraníme fenoly
- b) Plynné odpady – čištěny odsiřováním (po průchodu Rectisolem), kde získáváme až 95% koncentraci kyseliny sírové.

Takto ošetřený plyn lze bez dodatečné komprese přivést přímo do spalovacích komor turbíny, protože výstupní tlak je 2,1 až 2,4 MPa.

Kapitola 2 „Paroplynová elektrárna Vřesová“ je zpracována na základě údajů v lit [23].

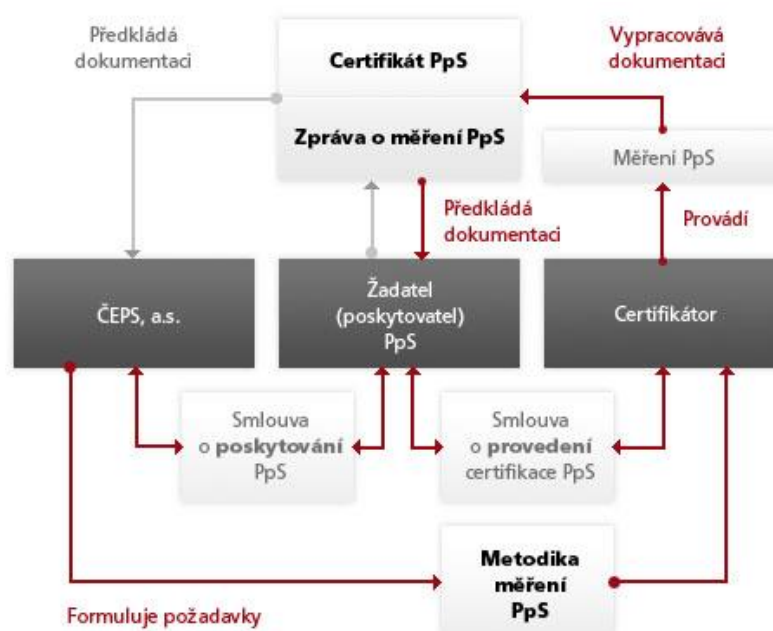
### 3. Účast na krytí zatížení ES ČR

PPC Vřesová je nedílnou součástí elektrizační soustavy České republiky, kde zastává významnou pozici poskytovatele podpůrných služeb. Výnosy z poskytnutých podpůrných služeb slouží poskytovateli jako příjem, kterým pokrývá svou činnost zajišťující spolehlivost a kvalitu provozu.

Zapojení jednotlivých subjektů do elektrizační soustavy, a do poskytování podpůrných služeb zvláště, se řídí dle pravidel vydávaných provozovatelem soustavy. Všechna pravidla potřebná k zařazení do soustavy jsou shrnuta do tzv. Kodexu přenosové soustavy. Tento kodex je sepsán provozovatelem soustavy, společností ČEPS, a.s. Pokud se jakýkoliv subjekt chce zařadit do soustavy, musí tato pravidla a předpisy splnit.

Je nutné zmínit, že provozovatel elektrizační soustavy není pouze odběratelem služeb, ale je také odběratelem silové elektřiny, která pokrývá základní část denního diagramu zatížení (DDZ) ES ČR. Služby jsou využívány, a tím pádem i odkupovány převážně při nutnosti regulace či obnovy soustavy.

Pro poskytování podpůrných služeb je zapotřebí certifikace bloku. Certifikací se ověří parametry, kterých je daný blok schopen dosáhnout buď při automatické regulaci nebo na pokyn dispečinku. Z tohoto plyne, že jediným omezením pro poskytování podpůrných služeb jsou technické možnosti jednotlivě certifikovaných bloků. Certifikační pravidla a průběh certifikace sleduje společnost ČEPS, a.s., která také tato pravidla shrnuje v kodexu přenosové soustavy.



Obr. 6: Průběh certifikace žadatele, zdroj ČEPS, a.s.

<b>Certifikovaná elektrárna</b>		PPC Vřesová
<b>Typ elektrárny</b>		paroplyn
<b>Nominální výkon bloku - P<sub>n</sub></b>		192 MW
<b>Certifikované parametry PR</b>		
<b>+ RRPR</b>	Základní regulační rozsah	+ - 9,4 MW
<b>S</b>	Statika bloku	8%
<b>Certifikované parametry SR</b>		
<b>+ RR SR</b>	Regulační rozsah SR	73 - 187 MW
<b>TR SR</b>	Rychlost změny výkonu	12 MW/min
<b>P<sub>min-horní</sub></b>	Minimální výkon horního pásma	155 MW
<b>P<sub>min-dolní</sub></b>	Minimální výkon dolního pásma	75 MW

Tab. 9: Vybrané údaje z protokolu certifikačního měření

Z uvedených údajů vyplývá, že pro poskytování podpůrných služeb jsou bloky PPC Vřesová více než vhodné. Již na první pohled jsou patrné rychlosti změny výkonů pro různé podpůrné služby. Chtěl bych upřesnit, že se jedná pouze o výběr (PR, SR) z certifikačního měření. Jednotlivé bloky mohou poskytovat i další podpůrné služby. Například bloky PPC Vřesová umí také provozovat ostrovní režim či regulovat jalový výkon.

### 3.1. Poskytované podpůrné služby (PpS)

Vřesová poskytuje sedm PpS, které jsou přesně definované v Kodexu přenosové soustavy část II. „V této části je popsána metodologie určování celkového objemu (PpS) hlediska zajištění spolehlivého a bezpečného provozu ES ČR. Jsou zde popsány **PODPŮRNÉ SLUŽBY** (podrobnosti jaké funkce mají plnit) a podmínky pro jejich poskytování. Dále část stanovuje podmínky pro udělování a zánik autorizace pro provádění **CERTIFIKAČNÍCH MĚŘENÍ**. Popisuje se metodika měření a hodnocení jednotlivých (PpS). Definují se zde podmínky výběrového řízení obstarávání (PpS) a jeho vyhodnocení. Dokument popisuje koncepci provozování elektronického on-line Denního trhu s (PpS) ČEPS, a.s. na Internetu.“  
Převzato z lit. [5].

#### 3.1.1. Primární regulace f bloku (PR)

Jedná se o automatickou změnu výkonu bloku o přesně definované změně výkonu v závislosti na odchylce frekvence sítě od zadané hodnoty. Požadovanou změnu výkonu bloku udává regulační rovnice:

$$\Delta P = -\frac{100 P_n}{\delta f_n} \Delta f \text{ [W]}$$

**Rov. 1**

kde:  $\Delta P$  - Požadovaná změna výkonu bloku [W]

$P_n$  - Nominální výkon bloku [W]

$\Delta f$  - Odchylka frekvence od zadané hodnoty [Hz]

$\delta$  - Statika primární regulace [%], pro blok Vřesové se jedná při maximálním poskytování PR o statiku generátoru 8%.

$f_n$  - Zadaná frekvence [Hz] (obvykle 50 Hz)

Povinností poskytovatele PpS je zajistit rezervovanou kapacitu (u Vřesové +- 10 MW, což je i maximální dovolená hodnota) do 30 sekund od vzniku systémové odchylky frekvence. Největší dosažitelné rezervy bloku je dosaženo při změně kmitočtu o 200 mHz (u bloků nad 300 MW- 100 mHz).

### **3.1.2. Sekundární regulace P bloku (SR)**

Sekundární regulace zajišťuje změnu výkonu elektrárenského bloku dle požadavku přicházejícího ze sekundárního regulátoru frekvence a rozdílu předávaných výkonů.

Poskytovatel této služby je povinen regulovat výkon bloku tak, aby reakce na požadavek nebyla delší než 10 min. Minimální dosahovaná rychlost změn výkonu bloku je 2 MW/min, pro regulační rychlost Vřesové (7MW/min) vyhovující. Celkové množství poskytované SR na jednom bloku je povoleno na 70 MW.

### **3.1.3. Snížení výkonu (SV30)**

Služba je využívána při záporné odchylce v soustavě vzniklé nedodržením jednotlivých dohod mezi poskytovateli služeb a vlastníkem přenosové soustavy nebo nedodržením smlouvy o dodávce. Jednotlivé bloky poskytující tuto službu jsou schopny snížení výkonu o předem sjednanou hodnotu. Od jednoho poskytovatele lze rezervovat minimálně 30 MW výkonu po dobu minimálně 24 hodin od aktivace.

### **3.1.4. Minutová záloha (MZ5, MZ15, MZ30)**

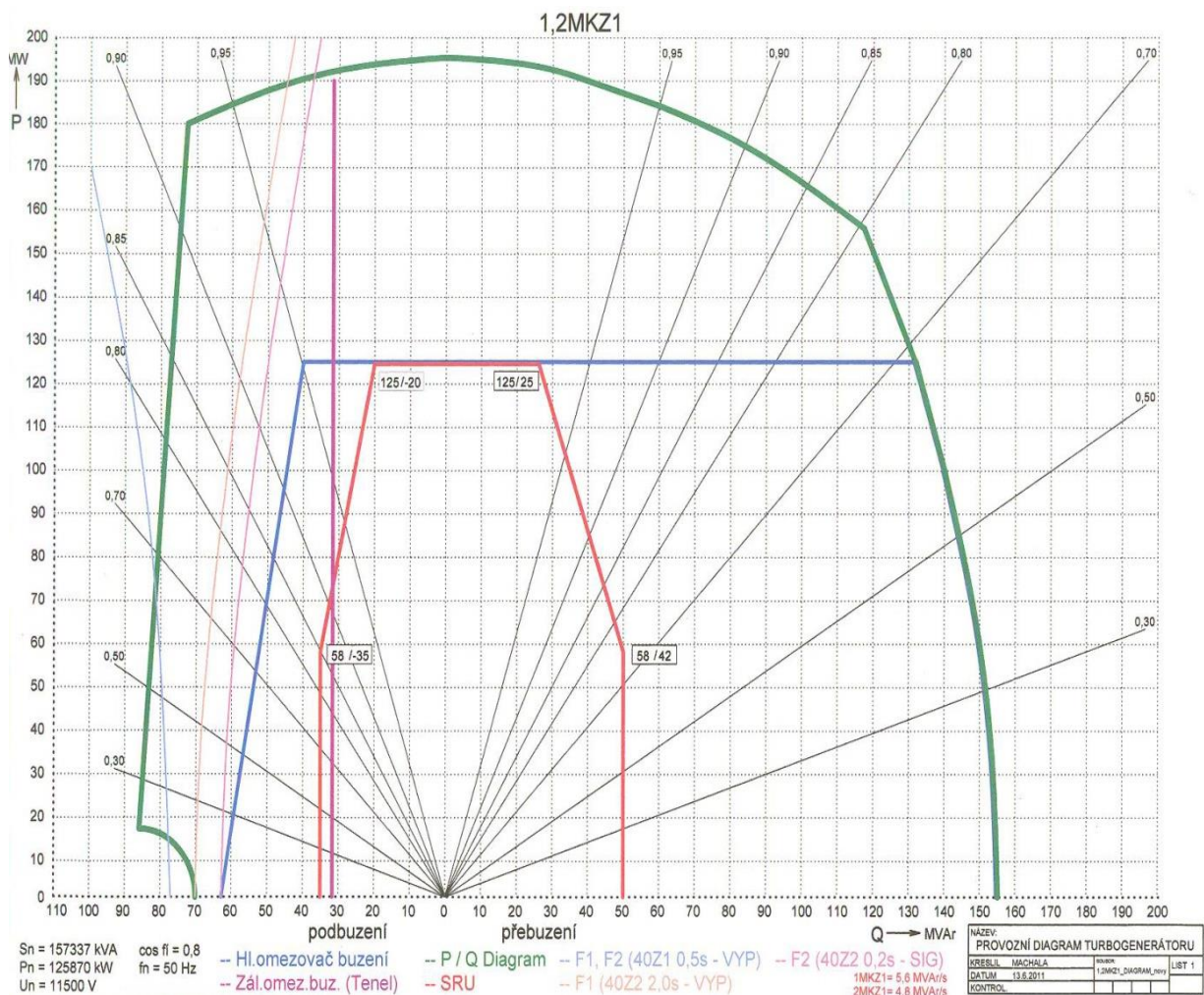
Jedná se o takové elektrárenské bloky, které jsou schopny rychlé změny výkonu, ať už kladné či záporné. Požadavek z dispečinku řízení je vyřízen během několika málo minut. Pokud bychom poskytovali 5-ti minutovou zálohu, tak je možno minimálně 30 MW a to po



dobu 4 hodin. Při naběhnutí do 15 nebo 30 min je minimální rezerva 10 MW a doba aktivace je neomezena.

### 3.1.5. Sekundární regulace U/Q (SRUQ)

Jedná se o automatickou regulaci domluveného rozsahu jalového výkonu bloku pro udržení napětí v pilotních uzlech. Řídí se křivkou generátoru (P/Q diagram). Regulace musí proběhnout maximálně do 2 minut.



Obr. 7: P/Q diagram generátorů Vřesová, zdroj [12]

### 3.1.6. Schopnost ostrovního provozu (OP)

Tato schopnost se využívá pouze při stavech nouze a jejich předcházení. Jedná se o činnost bloku do izolované části soustavy (ostrova). Ostrovní režim se vyznačuje vysokými nároky na regulační schopnosti elektrárny, jelikož dochází ke značným změnám veličin. Zatížení v takovéto části soustavy je značně kolísavé a blok tedy musí být schopen svou vlastní regulací tyto výkyvy pokrýt.

## 3.2. Spolupráce s ES ČR

Paroplynové zařízení má specifické provozní vlastnosti, které byly zmíněny již dříve (rychlost změny výkonu, specifická paliva, vysoká účinnost). Tyto vlastnosti charakterizují provozní režim, se kterým se takovéto zařízení při výrobě elektrické energie může provozovat. Volba režimu závisí na mnoha faktorech. Samozřejmě největší roli hraje ekonomika provozu. Ta je určena u každého zařízení samostatně vlivem rozdílných faktorů. Zařízení se obecně může pohybovat ve třech režimech. Tyto režimy budou vysvětleny níže, ale největší důraz bude kladen na režim, ve kterém je provozována PPC Vřesová.

### 3.2.1. Režim základního zatížení

Spolupráce s elektrizační soustavou je založena na krytí základního zatížení v DDZ. Je zde kladen důraz na co nejnižší variabilní (provozní, palivové) náklady. Zařízení převážně pracuje na stejné výkonové hladině. Příkladem elektrárny pracující v tomto režimu je jaderná elektrárna.

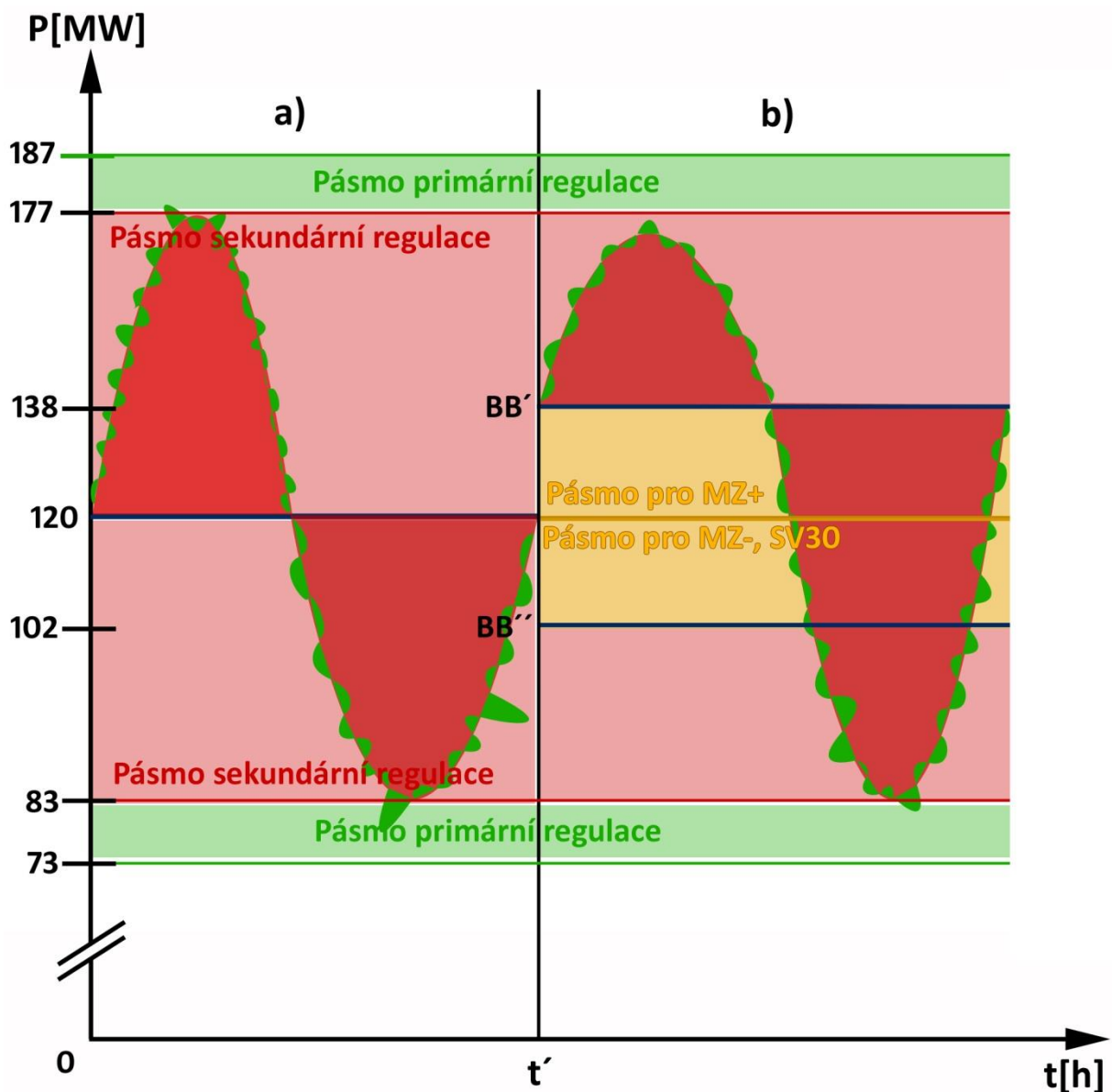
### 3.2.2. Režim rychle startující zálohy

V současné době se takováto zařízení příliš nepoužívají. Využívají technologii, která má rychlé regulační schopnosti. Nehrají zde roli provozní náklady, jelikož zařízení je převážnou část doby mimo provoz a při startu vysoké provozní náklady pokryjí příjmy z podpůrných služeb. Tato služba pokrývá špičkovou část DDZ. Režim rychle startující zálohy může být poskytován například elektrárnou využívající technologii plynové turbíny.

### 3.2.3. Kombinovaný režim

Využití kombinovaného režimu spočívá ve spojení výroby elektrické energie do základního pásma zatížení, schopnosti zařízení dostatečně rychlé regulace při uplatnění poskytování podpůrných služeb a pokrývání pološpičkových a špičkových částí denního diagramu zatížení. Prvotním úkolem je stanovení bazického bodu (BB), také zvaný diagramový bod (PGD) výroby elektrické energie, přičemž je nutno ponechat dostatečnou rezervu výkonu pro smluvená regulační pásma. Takovéto zařízení profituje jak z kontraktů na prodej elektřiny do hodnoty BB, tak z poskytování podpůrných služeb. Pouze na základním výkonu by nebylo možno získat dostatečné finanční prostředky zajišťující kvalitní a trvalý provoz.

V takovémto režimu například pracuje i PPC Vřesová, která má výhodu ve využívání vlastního paliva - zplyněného uhlí resp. energoplynu, pro výkony do BB. Vlastní palivo umožňuje minimalizaci provozních nákladů. Pro poskytování služeb je zde přiveden zemní plyn, který svými vlastnostmi a dostatečným množstvím umožní rychlé změny výkonu a je tedy využit při podpurných službách. I když je zemní plyn nákladnější, provoz je ekonomicky efektivní, jelikož podpurné služby jsou lépe oceněny než prodej el. en. do základního pásma. I přes využívání doplňkového paliva při poskytování podpurných služeb, je snaha ho co nejdříve nahradit vlastním palivem (energoplynem), které má nižší výrobní náklady.



Obr. 8: Schéma rozložení výkonu u bloku Vřesová a) Vyčerpání sekundárního pásma b) Posun BB vlivem  $MZ+$ ,  $MZ-$  a  $SV30$

Z Obr. 8 je patrné, že bazický bod (modrá přímka) je stanoven ve výši 120 MW. Tuto základní výrobu musíme dodržet, protože PPC Vřesová má nasmlouvány kontrakty na dodávku elektrické energie a nedodržení by mohlo znamenat pokutu jednak z pohledu nedodržení smlouvy, ale také by mohlo dojít k postihu operátorem trhu (OTE) za způsobenou systémovou odchylku, jelikož PPC Vřesová je subjektem zúčtování a zodpovídá za svou odchylku. Stanovením BB a respektováním technického minima (73 MW) a technického maxima (187 MW) vyplyne volné pásmo pro rezervaci podpůrných služeb. V tomto případě lze poskytnout pásmo pro kladnou regulaci o výši 67 MW a pro zápornou regulaci 47 MW, celková velikost regulačního pásma je tedy 114 MW.

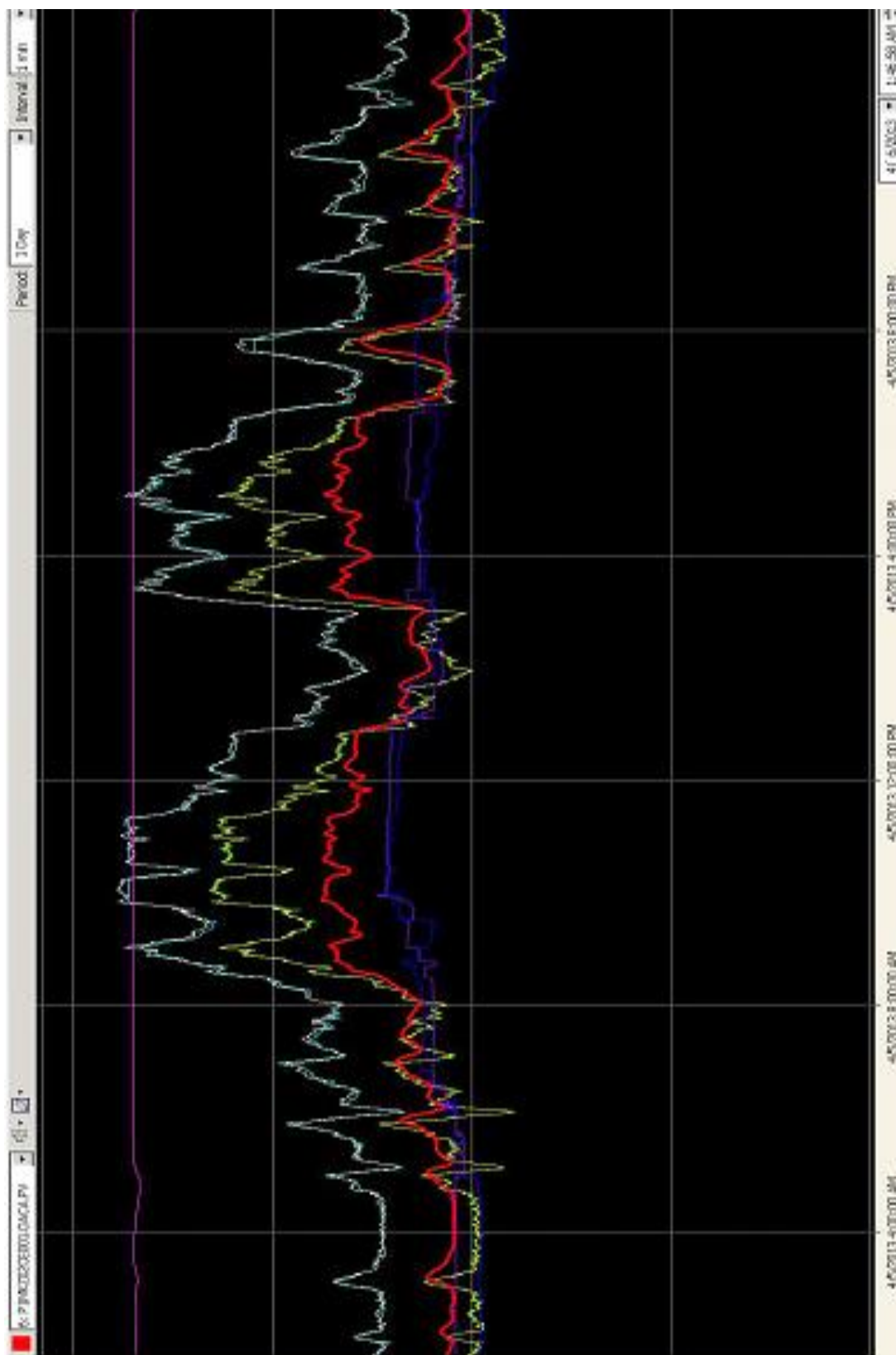
Zelené oblasti obrázku jsou rezervovaná pásma pro primární regulaci (kladná/záporná). Pásmo činí 10 MW pro kladnou a 10 MW pro zápornou regulaci. Pro další regulace se pásmo zúží o 20 MW na hodnotu 94 MW. Pásma primární regulace zůstávají neměnná, jelikož jsou vysoko oceněna.

Červenou oblastí je znázorněné pásmo pro sekundární regulaci (SR). Toto pásmo může vyčerpat zbytek volného pásma, jak ukazuje část a) Obr. 8, ale při pohledu na část b) zjistíme, že pokud pásmo nevyužijeme pouze pro SR, pak je pásmo volné pro další podpůrné služby (PpS). Pokud si tedy na další časový úsek  $t'$  rezervuji nižší pásmo pro SR, můžu poskytnout ve zbývajícím pásmu minutovou zálohu nebo snížení výkonu, oranžová oblast Obr. 8 část b).

Tendry na PpS i čerpání jednotlivých poskytovaných podpůrných služeb probíhá hodinově. Z toho plyne, že pro každou hodinu mohu mít různé strategie rozdělení volného výkonového pásma. PPC Vřesová upřednostňuje využívání primární regulace (PR), a proto má také stálé rezervované pásmo, následuje pak SR a dále jednotlivé minutové zálohy a snížení výkonu. Takže pokud situace na trhu spěje ke zvýšenému využívání SR tak celé pásmo se ponechá této regulaci, s výjimkou části pásma pro PR, které je neměnné. Aktivace služeb minutové zálohy či snížení výkonu vždy posune BB, k tomu se tedy musí přizpůsobit i zbývajícím pásmo. Při využití zbytkového pásma MZ+ se dostane bazický bod na novou hodnotu  $BB' = 138$  MW (tato situace je vyobrazena v Obr. 8). Zbyde zde pásmo pro kladnou SR o hodnotě 39 MW a zápornou SR o hodnotě 55 MW. Při využití MZ- nebo SV30 se dostane nový  $BB''$  na 102 MW (pro přehlednost není vyobrazeno, ale principiálně stejné jen posun BB jiným směrem) a tedy pásma pro SR jsou pro kladnou 75 MW a pro zápornou 19 MW. Změny bazického bodu v čase  $t'$  na hodnotu  $BB'$  či  $BB''$  nejsou nekonečně rychle, jak ukazuje Obr. 8. Obrázek je pouze ilustrativní. Tato změna probíhá

v závislosti na požadované službě. U MZ+ se jedná o časy 5, 15 nebo 30 min, za které se soustrojí dostane na požadovaný výkon. Na požadovaném výkonu a jeho rychlosti změny je také závislé použité palivo. Pro dosažení nejrychlejších změn se používá zemní plyn, i když je snaha o co největší podíl energoplynu, neboť má nižší pořizovací náklady. Dle certifikace nejrychlejší možné změny lze dosáhnout 12 MW/min.

Platby za poskytování podpůrných služeb jsou dvousložkové. Za rezervovaná pásma jsou různé platby, záleží na druhu služby. To zahrnuje první složka platby (zobrazena světle zeleně, červeně a oranžově v Obr. 8). Druhá složka platby je za již vykonanou regulační práci. V tomto případě pásmo MZ+ se prodalo celé, neboť se bazický bod posunul o celé rezervované pásmo této službě. Tyto hodnoty jsou v Obr. 8 vyznačeny tmavě červenou pro regulační práci v SR, tmavě zelenou pro regulační práci v PR a tmavě oranžovou pro regulační práci v ostatních službách. Obr. 8 je pouze ilustrativní. Skutečný průběh je uveden na výkonovém diagramu PPC Vřesová (denní diagram) – Obr. 9.



**světle modrá** – aktuální výsledný výkon jednoho bloku

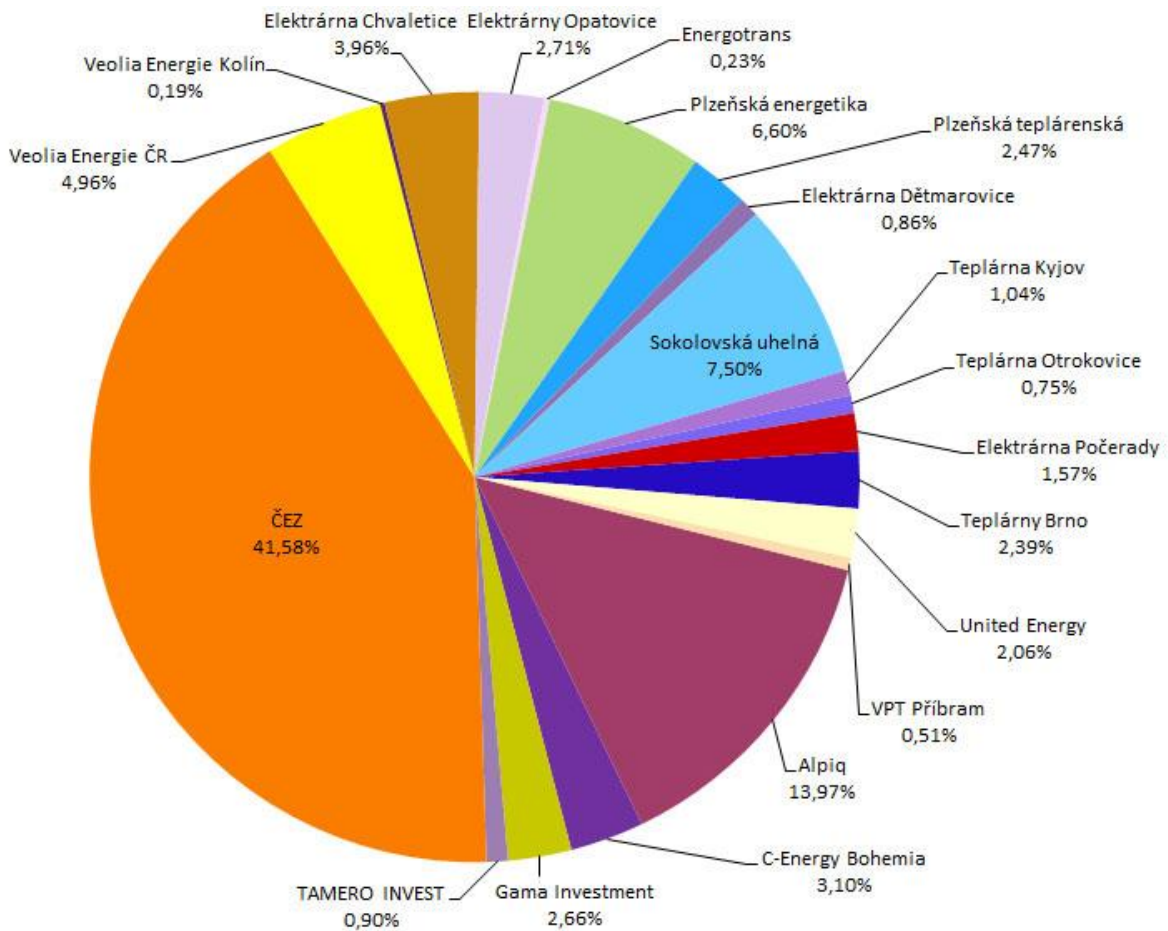
**žlutá** – výkon generátoru poháněného plynem

**červená** - výkon generátoru poháněného parou

**tmavě modrá** – svorkový jalový výkon

Obr. 9: Výkonový diagram PPC Vřesová

Obchod s poskytovanými podpůrnými službami se řídí podle klasického tržního mechanismu. Na trhu se setkává nabídka s poptávkou po produktech (v našem případě elektrickou energií), které jsou nabízeny poskytovateli (výrobci elektrické energie) a přijímány odběratelem (provozovatelem soustavy). Společnost ČEPS, a.s. vypisuje vždy výběrová řízení, která jsou až tříkolová a na základě výsledků těchto řízení pak vybírá vhodné subjekty a uzavře s nimi kontrakty.



Obr. 10: Poměrné zastoupení subjektů ve výběrovém řízení Pps pro rok 2015

## 4. Inspekce spalovacích turbín

---

Provoz PPC Vřesová jako i většina ostatních provozů, se neobejde bez pravidelných kontrol technologií. Kontrola se samozřejmě týká všech částí elektrárny. Následující rozbor bude souviset se spalovacími turbínami obou bloků, které jsou identické.

Tato oblast zájmu o PPC Vřesová se možná zdá být méně důležitou, avšak významově z hlediska mé práce jde o problematiku závažnou. Jedná se o pravidelné kontroly a v případě potřeby i výměny důležitých dílů technologie spalovací turbíny. Tyto kontroly se provádějí na doporučení výrobce zařízení, který udává pro dané díly jejich životnost buď v provozních hodinách, nebo v počtech startů a tato kritéria se vzájemně ovlivňují. Čím více startů, které ovlivňují stav materiálů, tím méně provozních hodin. Pravidelnou kontrolou se dá tedy docílit garantované životnosti dílů a spolehlivosti celé turbíny, což se dále promítne do provozních nákladů. Důležitou roli zde hraje také plánování těchto oprav. Toto plánování musí probíhat tak, aby doba odstávky byla minimální a tím také i náklady na tuto odstávku (ztráta z neuskutečněného zisku).

### 4.1. Hlavní vlivy na dobu životnosti a četnost inspekci

Hlavní roli při stanovení četnosti kontrol a případných oprav hraje plánování. Tato úloha je samostatnou částí problematiky a zahrnuje mnoho faktorů. Opravy jsou optimalizovány pro každý podnik jinak, aby se docílilo co nejnižších nákladů na údržbu a minimalizoval se čas odstávky.

V tomto směru se zaměřím na čtyři faktory, které ovlivňují oba aspekty. Jednak dobu životnosti, ale také četnost inspekci, přičemž tyto aspekty navzájem úzce souvisí.

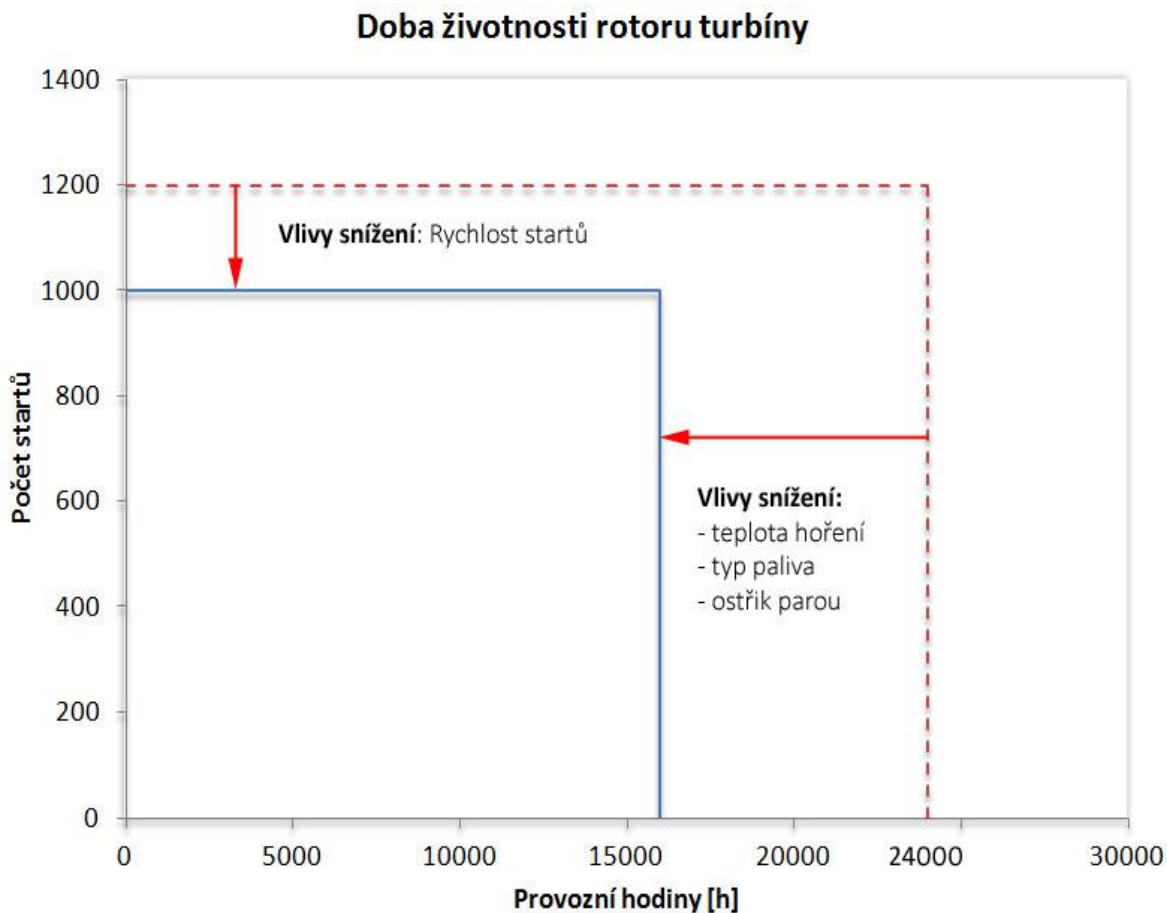
- Hlavní faktory:
- 1) Četnost startů
  - 2) Palivo
  - 3) Teplota hoření
  - 4) Ostřík parou

Ad. 1)

Četnost startů má velký dopad na dobu životnosti jednotlivých dílů. V provozním režimu v jakém pracuje PPC Vřesová, však nemá velký vliv. Doba životnosti má dvě složky. Jednak právě četnost startů, ale také doba provozu. Právě druhá již zmíněná složka je tou důležitou složkou při porovnávání životnosti v PPC Vřesová, jelikož turbína běžně přesáhne



za rok 7000 provozních hodin a má jen kolem 3 vynucených startů, které jsou zapříčiněny hlavně vymýváním kompresoru. Údržba kompresoru je velice důležitou součástí, protože při sebemenším znečištění kompresoru strmě klesá účinnost celé turbíny.

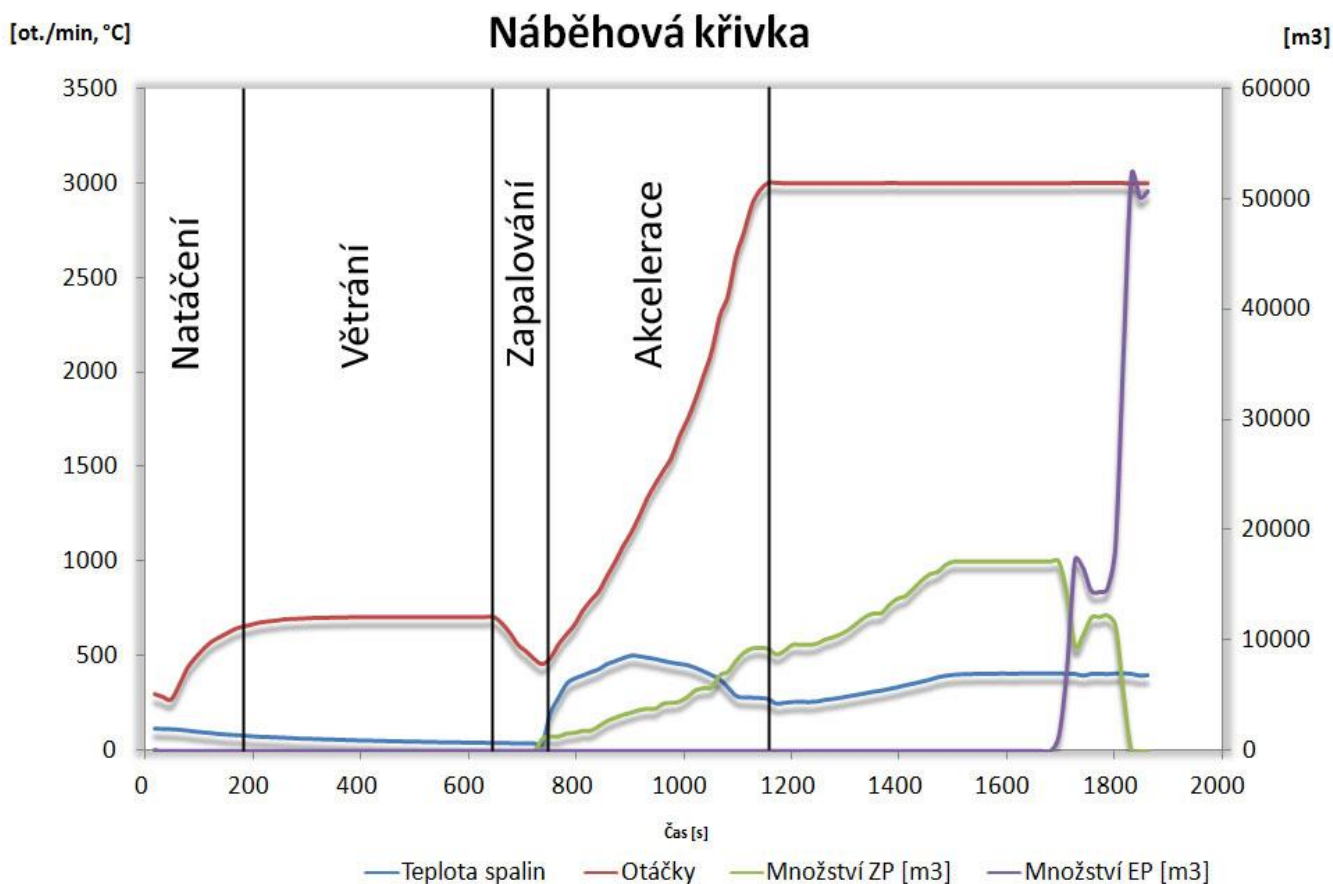


**Graf 1: Závislost doby životnosti rotoru turbíny**

Z Graf 1 je patrné, že doba životnosti je zavádějícím termínem. V podstatě se u dílů spalovací turbíny životnost udává v provozních hodinách či v počtu startů, vše závislé na provozním režimu zařízení. Graf 1 se sice týká rotoru turbíny, ale stejný princip lze uplatnit na veškeré díly, pouze s jinými hodnotami počtu startů či provozních hodin.

V následujícím **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je znázorněna náběhová řivka turbíny. Vidíme, že se jedná o velice náročný proces související se změnou teploty a s tím i se změnou otáček (670 s - 1080 s) a mechanické namáhání materiálů, kdy během několika vteřin se změní teplota o 500 °C. Dále si povšimněme, jak zde probíhá mísení paliv zemního plynu (ZP) a energoplynu (EP). Mísení je velice znatelné v rozmezí (1650 s – 1850 s).

Celý proces startu turbíny trvá 18 min vč. přifázování k síti prováděné automatem. Start turbíny je prováděn pomocí startovacího motoru, který ji roztáčí do 60 % otáček (1800 ot./min). Po nafázování na síť je turbína schopna měnit svůj výkon rychlostí až 12 MW/min při provozu jednak na zemní plyn, ale i na mix ZP a EP.



Graf 2: Náběhová křivka turbíny

Rok	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Provoz [h/r]	7300	7488	7814	8295	7760	9247	7501	7704

Tab. 10: Provoz plynové turbíny

Údaje v Tab. 10 jsou uvedeny za opravárenský rok, z čehož plyne, že pokud kontrola v jednom roce trvala kratší dobu a v následujícím roce byla naplánována na pozdější termín, je možné, aby využití turbíny trvalo déle než jeden rok (8760h). Toto je případ pro rok 2011, kde zároveň hrála roli i změna způsobu provádění kontrol. Do roku 2010 prováděly kontrolu zaměstnanci Sokolovské Uhelny, kterých bylo osm, a kontrola jim trvala déle. V následujícím roce kontrolu a opravy převzala společnost GE, přičemž se doba trvání odstávky při opravě zkrátila.

Ad. 2)

Vliv má také kvalita paliva. Tato část nejvíce ovlivňuje spalovací zařízení (trysky, komory, přechodové díly). Vše je závislé na obsahu korozivních látek ve využívaném plynu. Při velice nekvalitním palivu mohou být cykly oprav až třikrát častější.

Ad. 3)

Na vliv teploty se dá nahlížet dvěma způsoby. Jednak při práci v základním zatížení, kdy je důležitá výše pracovní teploty, která ovlivňuje opotřebení částí, ale také z hlediska pokrývání špičkových zatížení, kde jsou jednotlivé části hlavně zatíženy změnami teplot, což může způsobovat mikrotrhliny v kovu. Například provoz ve špičkovém zatížení, kdy dochází k rychlým změnám výkonu, ale také teplot, je zatížen zkrácením doby života, při zvýšení teploty o 56°C, o 6 provozních hodin v základním zatížení.

Ad. 4)

Účelem vstřikování páry či vody (Frame 9E.04 – ostřík parou) je kontrolování výše emisí ovlivňováním teploty hoření. Při standardním spalování zemního plynu převyšuje teplota hoření až 1 800°C. Již při malém snížení teploty hoření vstříknutou parou, dojde ke značné redukci tvorby NOx. V případě této turbíny se lze dostat na 42ppm. Doprovodným efektem, který souvisí se snížením teploty hoření, je prodloužení životnosti dílů spalování, jelikož nižší teplota není tak náročná na mechanické namáhání dílů.

## 4.2. Typy inspekcí

Při podrobnějším zkoumání lze zjistit, že pravidelné opravy zasáhnou do mnoha oblastí, které jsou dále důležité pro investiční rozhodování. Veškeré kontroly a následné opravy jsou rozděleny na tři druhy. Základní metodou analýzy je boroskopická inspekce u všech variant. Přičemž každá z inspekcí má své specifické vlastnosti a je zaměřena jen na část turbíny či na její celkovou kontrolu. Jednotlivé druhy inspekcí jsou následující:

### 4.2.1. Combustion inspection (CI)

Jedná se o inspekci čistě spalovací části, zahrnuje tedy palivové trysky, spalovací komory a přechodové kusy pro přenos spalin. Tato inspekce se provádí každý rok. Doba životnosti těchto dílů je 48 000h provozu, avšak inspekce a opravy či výměny částí musí probíhat v intervalu 8 000h, což odpovídá ročnímu provozu turbíny, jinak by mohlo dojít k závažnému problému a dané části či celé zařízení by mohlo být neopravitelně poškozené.

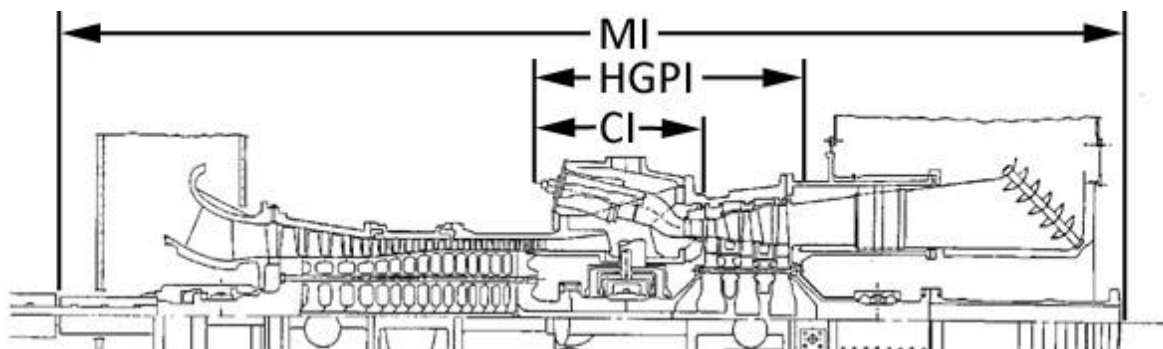
Není však potřeba ihned dané díly nahrazovat nově zakoupenými. Vřesová má více sad těchto dílů. Jedna sada je vždy na opravě (po dobu její životnosti) a další je instalována v turbíně (sada, která byla opravena minulý opravárenský cyklus). Toto řešení je kvůli minimalizaci doby odstávky bloku. Oprava opotřebené sady trvá kolem šesti měsíců, avšak pouhá výměna těchto dílů trvá maximálně devět dnů. Tímto způsobem lze tedy ušetřit značné náklady z odstávky.

#### 4.2.2. Hot Gas Path Inspection (HGPI)

Tato inspekce se koná jednou za tři roky. Součástí této inspekce je i každoroční inspekce CI, avšak zde jsou přidány další potřebné díly, kterými prochází horké spaliny (stator, rotor turbíny, krycí segmenty). Tyto části mají celkovou životnost 72 000h, ale opravárenský cyklus 24 000h, což odpovídá tříleté době. Při této činnosti je nutné demontovat horní kryt turbíny. I když je cyklus HGPI tříletý, pořád zde platí, že PPC Vřesová má více sad. Jedna opravena pro výměnu na místě a druhou sadu (vyjmutou) nechá v opravě u společnosti GE Energy. Délka této údržby trvá maximálně 20 dní.

#### 4.2.3. Major Inspection (MI)

Tento třetí druh inspekce má šestiletý cyklus. Účelem MI je prozkoumat všechny vnitřní rotační i stacionární komponenty od vstupu na turbínu až po výfukové cesty tzv. inspekce od příruby k přírubě. Cyklus inspekcí je stanoven tak, že tato inspekce zahrnuje jednak CI, ale také HGPI. Princip s náhradními díly je shodný jako u ostatních inspekcí. Maximální doba odstávky dosáhne až jednoho měsíce (kolem 32 dnů). Ve většině případů je společnost GE, která inspekce od roku 2010 provádí, schopna zvládnout inspekci rychleji. Nejdůležitější součástí přidanou do MI oproti HGPI je kompresor. V konkrétním případě v PPC Vřesová s kompresorem není žádný problém právě díky pravidelnému čištění a inspekčním. Jediný problém byl roku 2000, kdy byla havarijní situace, a některé části kompresoru byly vyměněny.



Obr. 11: Rozsah inspekcí

Takto probrané inspekce probíhají vždy na jednom ze dvou bloků PPC Vřesová. Cykly jsou posunuty, takže pokud na jednom bloku je MI, tak na druhém je CI a opačně. Je snaha inspekce provádět v letních měsících, jelikož je nižší výroba elektrické energie a nižší odběr tepla. Vždy jeden měsíc je vyhrazen inspekci na jednom z bloků.

### 4.3. Důvody inspekci

Jak již bylo zmíněno, veškeré inspekce se konají na doporučení výrobce zařízení. Avšak zkušenosti ukazují, že tyto inspekce jsou rozhodně potřebné. O všem vypovídají protokoly z inspekci a zobrazení měrné spotřeby paliv [kap. 5.2, Graf 7, str. 44]. Měření parametrů přímo v PPC Vřesová nám poskytuje potřebné údaje, které souvisí s nutností výměny či opravy jednotlivých součástí. Protokol obsahuje informace o CI inspekci z 2.7.2014 – 10.7.2014. Jedná se o inspekci na bloku č.1.

V první řadě se jedná o boroskopickou kontrolu, která nám ukáže opotřebení, ztrátu materiálu či trhliny [Příloha – Poškození turbíny]. Na základě vyhodnocení pak dochází k nahrazení dílu ze skladu zásob Vřesové a k následnému odvezení opotřebovaných dílů na opravu společností GE.

Komponent	Popis	Činnost
<b>Potrubí spalovací části</b>	Vyjmutí a inspekce	Vyjmutí a odeslání na inspekci
<b>Potrubí - těsnění</b>	Preventivní údržba	Instalace nového kusu
<b>Palivové trysky</b>	Preventivní údržba	Instalace nového kusu
<b>Spalovací vložka</b>	Visuální kontrola	Bez defektu
<b>Držáky spalovací vložky</b>	Preventivní údržba	Instalace nového kusu
<b>Tubus</b>	Vyjmutí a inspekce	Vyjmutí a odeslání na inspekci
<b>Přechodové díly - šrouby</b>	Preventivní údržba	Instalace nového kusu
<b>Přechodové díly - blokové desky</b>	Preventivní údržba	Instalace nového kusu
<b>Přechodové díly - boční těsnění</b>	Preventivní údržba	Instalace nového kusu
<b>Systém vstřiku páry - potrubí</b>	Vyjmutí a inspekce	Uspokojivý stav
<b>Systém vstřiku páry - těsnění</b>	Vyjmutí a inspekce	Uspokojivý stav
<b>Soustava trysek prvního stupně</b>	Visuální kontrola	Použito v současném stavu
<b>Kompresor</b>	Kontrola	Měření v toleranci
<b>Výfuk</b>	Prasklina	Oprava svařením

Tab. 11: Výběr z CI inspekce, zdroj [10]

V příloze lze nalézt fotodokumentaci z měření a můžeme tedy vidět např. trhliny, opotřebení vibracemi či poškození cizím předmětem.

## 5. Současný stav zařízení PPC Vřesové

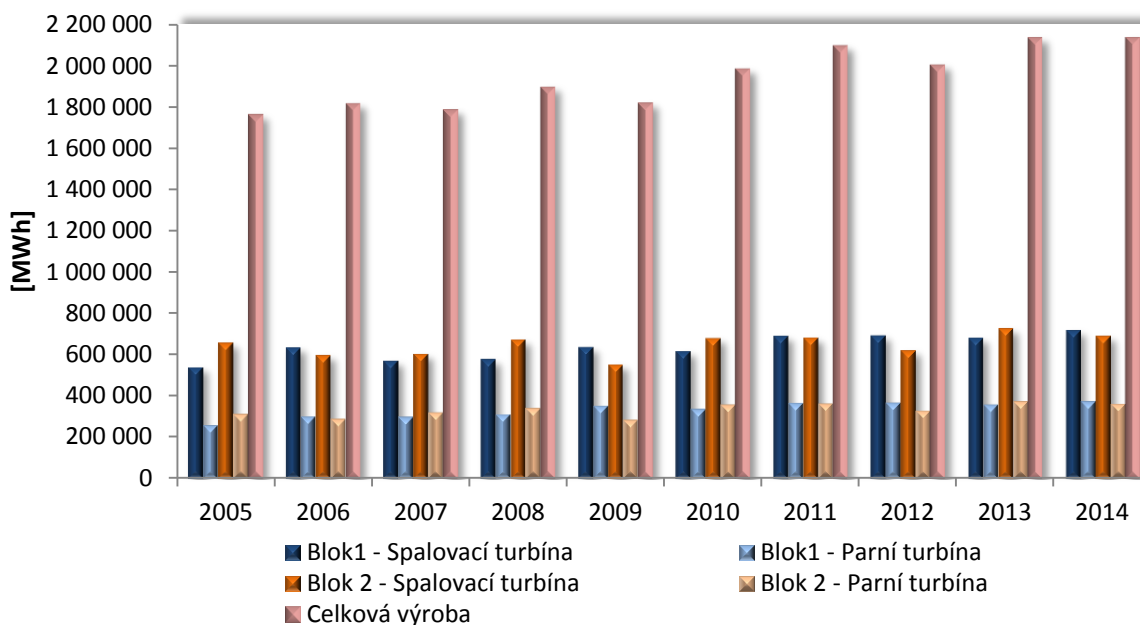
Celkový popis principu provozu Vřesové byl již v potřebné míře poskytnut. Nyní je zapotřebí přejít na popis daného stavu námi hodnoceného zařízení a jeho nároků.

Oba bloky PPC Vřesové o jmenovitém výkonu 384 MW jsou schopné vyrobit 2750 GWh elektrické energie za rok, za předpokladu teploty  $-8^{\circ}\text{C}$ , při které lze dosáhnout jmenovitého výkonu bloku. Roční průměrná výroba elektřiny je však snížena o téměř 30 % (800 GWh), jelikož musíme brát v úvahu další technické a ekonomické faktory. Základním důvodem je poptávka po elektrické energii. V případě zvýšení poptávky po elektrické energii na energetických trzích a příznivé výkupní ceně, je možné výrobu zvýšit, avšak za současné situace to není ekonomicky efektivní. Toto je jedna ze stránek - silová elektřina, avšak díky tomu, že PPC Vřesová poskytuje také podpůrné služby, je výroba spojena s výkonovými rezervami, kdy se výkonové pásmo pro dané podpůrné služby rezervuje (viz. 3.2.3, str. 25). Takto rezervované pásmo nelze využít pro výrobu silové elektřiny, která je vyráběna až po hodnotu bazického bodu. V daných případech tedy může dojít k rezervaci výkonového pásma, avšak pokud nebude podpůrná služba vyžádána dispečinkem, k vlastní výrobě elektřiny nedojde. V případě, že je služba žádána, dochází k poskytování tzv. regulační energie a to buď kladné či záporné viz Tab. 12, záleží na druhu poskytované služby.

	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec
<b>RE+</b> [MWh]	994	1 507	2 217	2 630	1 774	1 856	563
<b>RE-</b> [MWh]	-4 228	-3 562	-3 666	-2 997	-3 759	-4 268	-627
	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	Suma	
<b>RE+</b> [MWh]	1 237	2 519	2 929	2 215	1 854	<b>11 539</b>	
<b>RE-</b> [MWh]	-3 288	-2 777	-3 547	-2 795	-4 126	<b>-23 108</b>	

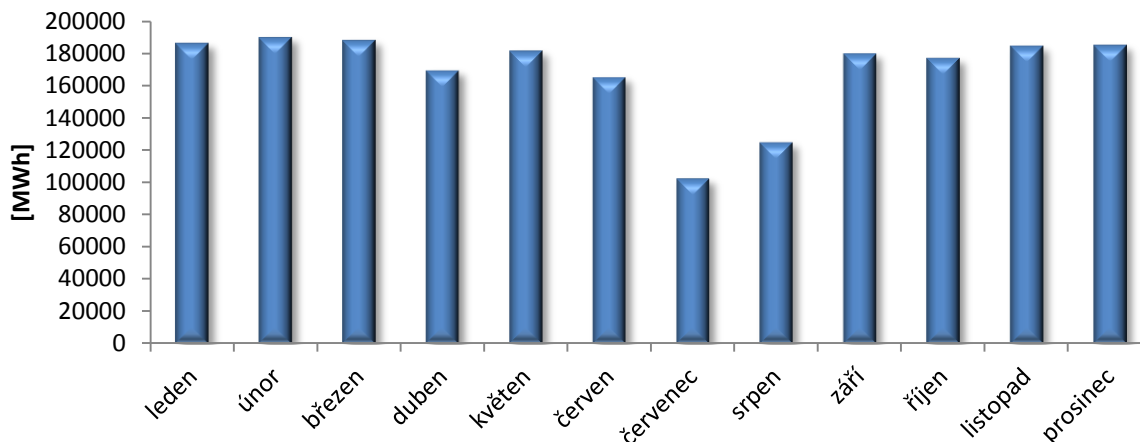
Tab. 12: Regulační energie za rok 2014

V Graf 3 uvádím přehled vyrobené elektrické energie jednotlivými turbínami bloků PPC Vřesová. Z přehledu je patrné, že velikost vyrobené el. en. obou bloků se meziročně mění, což je dáno dobou odstávky v letních měsících za účelem inspekce spalovacích turbín, ke které dochází v pravidelných ročních intervalech. Tyto inspekce způsobují pravidelnou nižší výrobu el. en., neboť doba trvání inspekcí a tím také i doba odstávky bloků je proměnná. Jednotlivé druhy inspekcí a jejich dopad na provoz je vysvětlen v kapitole [4, str. 31].



**Graf 3: Výroba elektrické energie V PPC Vřesová v letech 2005-2014**

Pro lepší názornost jsem zvolil detail výroby el. en. z roku 2012 viz Graf 4, kdy na prvním bloku probíhala inspekce spalovacích komor (CI- srpen) a na druhém inspekce spalovacích komor a spalinových cest (HGPI- červenec). Je vidět, že rozsah inspekcí je různý a tím i doba odstávky (nevýroby).



**Graf 4: Výroba el. en. v PPC Vřesová - rozdělena do měsíců (2012)**

Vzhledem ke specifice provozního režimu PPC Vřesové, ve kterém dochází kromě výroby silové elektřiny také k poskytování PpS, nelze jednoznačně určit trend výroby el. en., kromě měsíců července a srpna, kdy je jisté, že dojde ke snížení výroby vzhledem k pravidelně prováděným inspekcím. S ohledem na toto zjištění při výpočtech budu uvažovat roční hodnoty vyrobené elektřiny s přihlédnutím ke stanovenému bazickému bodu (základní výroba). Tento faktor reflektuje strategii provozu PPC Vřesová, jelikož

stanovením bazického bodu určují velikost volného výkonového pásma pro poskytování podpůrných služeb. Tuto strategii zohledním i ve vlastních výpočtech.

Aby PPC Vřesová byla schopna zajistit požadované množství el. en., musí mít zabezpečeno dostatečné množství hnědého uhlí, které zajišťuje „Úprava uhlí DZP“ taktéž vlastněna Sokolovskou uhelnou. Uhlí je těženo v Sokolovské hnědouhelné pánvi, kde se nachází nízkoenergetické uhlí. Takovéto uhlí má nižší výhřevnost o průměrné hodnotě  $Q_{\text{uhlí}} = 13 \text{ MJ/kg}$  a jsou vyšší emise škodlivých látek, ale díky vhodné úpravě - zplyňování v sesuvných generátorech Lurgi, kdy dochází k vytvoření syntetického plynu, který dále pokračuje jako palivo do spalovací turbíny - získáme ekologičtější a vhodnější způsob zpracování tohoto uhlí, než jeho pouhé spálení v kotli.

Doplňkovým palivem je zemní plyn, který je využíván pro svou vysokou výhřevnost  $Q_{\text{ZP}} = 34 \text{ MJ/m}^3$  a potřebné množství jako palivo při pokrývání podpůrných služeb zajišťujících stabilitu a kvalitu dodávek elektrické energie elektrizační soustavou.

		2005	2006	2007	2008	2009
<b>Uhlí</b>	[1000xt]	1372	1467	1427	1496	1514
<b>EP</b>	[1000xm <sup>3</sup> ]	1075840	1150446	1118447	1172220	1186955
<b>ZP</b>	[1000xm <sup>3</sup> ]	39198	39315	35768	42985	21991
		2010	2011	2012	2013	2014
<b>Uhlí</b>	[1000xt]	1472	1778	1665	1618	1664
<b>EP</b>	[1000xm <sup>3</sup> ]	1153598	1393483	1305170	1267909	1304032
<b>ZP</b>	[1000xm <sup>3</sup> ]	20819	12694	11819	4567	3333

Tab. 13: Přehled spotřeby paliva

## 5.1. Ekologické dopady užití PPC Vřesové

V současné době je kladen velký důraz na ochranu životního prostředí, a proto tento faktor bude velice významným při mém rozhodování. Při posuzování významu PPC Vřesová z lokálního hlediska se nesmíme zaměřit pouze na kalkulatelné emitované emise CO<sub>2</sub> či NO<sub>x</sub>, ale při zaměření na životní prostředí v okolí podniku vč. dopadu na okolní obyvatelstvo přilehlých aglomerací, dojdeme k závěru, že velký význam mají vedlejší zdroje znečištění, jako jsou složiště popelovin, emise tuhých prachových částic, které je sice podlimitní ale místy znatelné a zápach zpracovatelské části vlivem nepříznivých meteorologických podmínek, příčinou sirovodíku, který však překročil emisní limit jen jednou za poslední dva roky. V mém případě budu kalkulovat s emisemi, které ovlivní ekonomické hodnocení výměny plynové turbíny. Proto se zaměřím právě na emisní povolenky a tedy emise CO<sub>2</sub> a jejich ekvivalenty. Ostatní zdroje znečištění neovlivní mé rozhodování, i když nejsou méně důležité.



Při hodnocení vypouštěných emisí nedochází k přesnému měření v místě uvolnění škodlivin, ale v tomto případě se využívá výpočtu přes emisní a oxidační faktor. Metodika výpočtu bude předvedena v následujícím postupu (Rov. 2, Rov. 3, Rov. 4). Kalkulace je vypočtena pro hlavní zdroje paliva (hnědé uhlí a zemní plyn), do cyklu se dále využívá i dalších druhotných paliv, která vznikají z odpadů v procesu zplyňování, jako jsou dehtové kaly a generátorový plyn. Z 99 % jsou tyto produkty dále prodávány či jinak zpracovány, vše je závislé na vývoji cen na trhu s jednotlivými komoditami. Proto při neuvažování druhotných paliv vznikne záporná chyba (snížení celkových emisí, ale celkový výpočet ročních emisí to ovlivní pro počítané roky 2012, 2013 pouze z 0,05 %, proto s druhotnými palivy nebude dále počítáno. Avšak na druhou stranu musíme odečíst z vypočtených emisí CO<sub>2</sub> z primárních paliv, ty které vstupují do cyklu v uhlí na zplynění, ale nejsou ve výsledku vyprodukovány PPC Vřesovou. Tato situace nastane, jelikož část uhlí není přeměněna na energoplyn, který jde na spálení ve Vřesové, ale je přeměněna na odpady dále prodatelné či zpracovatelné (generátorový dehet, fenol, benzin) a část energoplynu je před spálením prodána.

Tepelný obsah paliv:

$$Q_{Px} = \frac{PA_x * PV_x}{1000} [TJ]$$

Rov. 2

kde:

**Q<sub>Px</sub>** – Tepelný obsah paliv [TJ]: u-uhlí, z-zemní plyn, gd-generátorový dehet, b-benzin, f-fenol, pep-prodej energoplyn

**PA<sub>x</sub>** – Množství vstupu: 1-uhlí [t], 2-zemní plyn [tis. m<sup>3</sup>], 3-generátorový dehet [t], b-benzin [t], f-fenol [t], pep-prodej energoplyn [tis. m<sup>3</sup>]

**PV<sub>x</sub>** – Výhřevnost: 1-uhlí [MJ/kg], 2-zemní plyn [MJ/m<sup>3</sup>], 3-generátorový dehet [MJ/kg], b-benzin [MJ/kg], f-fenol [MJ/kg], pep-prodej energoplyn [MJ/m<sup>3</sup>]

Velikost emisí CO<sub>2</sub>:

$$E_x = Q_{Px} * PE_x * PO_x [t CO_2]$$

Rov. 3

kde:

**E<sub>x</sub>** – Velikost emisí CO<sub>2</sub> [t CO<sub>2</sub>]: u-uhlí, z-zemní plyn, gd-generátorový dehet, b-benzin, f-fenol, pep-prodej energoplyn, p-přivedené emise, o-odvedené emise

**PE<sub>x</sub>** – Emisní faktor: 1-uhlí [t CO<sub>2</sub>/TJ], 2-zemní plyn [t CO<sub>2</sub>/TJ], 3-generátorový dehet [t CO<sub>2</sub>/TJ], b-benzin [t CO<sub>2</sub>/TJ], f-fenol [t CO<sub>2</sub>/TJ], pep-prodej energoplyn [t CO<sub>2</sub>/TJ]

**PO<sub>x</sub>** – Oxidační faktor: 1-uhlí [%], 2-zemní plyn [%], 3-generátorový dehet [%], b-benzin [%], f-fenol [%], pep-prodej energoplyn [%]

Celkové emise:

$$CE = E_p - E_o \text{ [t CO}_2\text{/rok]}$$

Rov. 4

Z těchto výpočtů dostaneme celkové množství emisí CO<sub>2</sub> v tunách za stanovené období pro zpracovatelskou část PPC Vřesová. Jelikož se budu dále zabývat současným stavem spalovací turbíny, která spotřebovává jednotlivé plyny, je důležitým údajem potřebné vstupní teplo a z něj vypočtené emise CO<sub>2</sub> a tedy potřebné emisní povolenky dále ovlivňující konečné provozní náklady spalovací turbíny, které musím uvažovat při mém rozhodování.

Pro názornou ukázkou jsem zvolil výpočet pro rok 2013.

	Vstupní teplo [TJ]	Emise CO2 [t CO2]
<b>Emise přivedené do cyklu</b>		
<b>Uhlí</b>	21067,411	2000867,55
<b>ZP</b>	404,14485	22559,1633
<b>celkem</b>	<b>21471,556</b>	<b>2023426,71</b>
<b>Emise odvedené před spálením</b>		
<b>Generátorový dehet</b>	1828,8465	147736,048
<b>Fenol</b>	461,36852	39798,5711
<b>Benzin</b>	0	0
<b>Prodej EP</b>	4,8691625	443,838766
<b>celkem</b>	<b>2295,0842</b>	<b>187978,457</b>
<b>Celkové emise CO2</b>	<b>19 176,472</b>	<b>1 835 448,25</b>

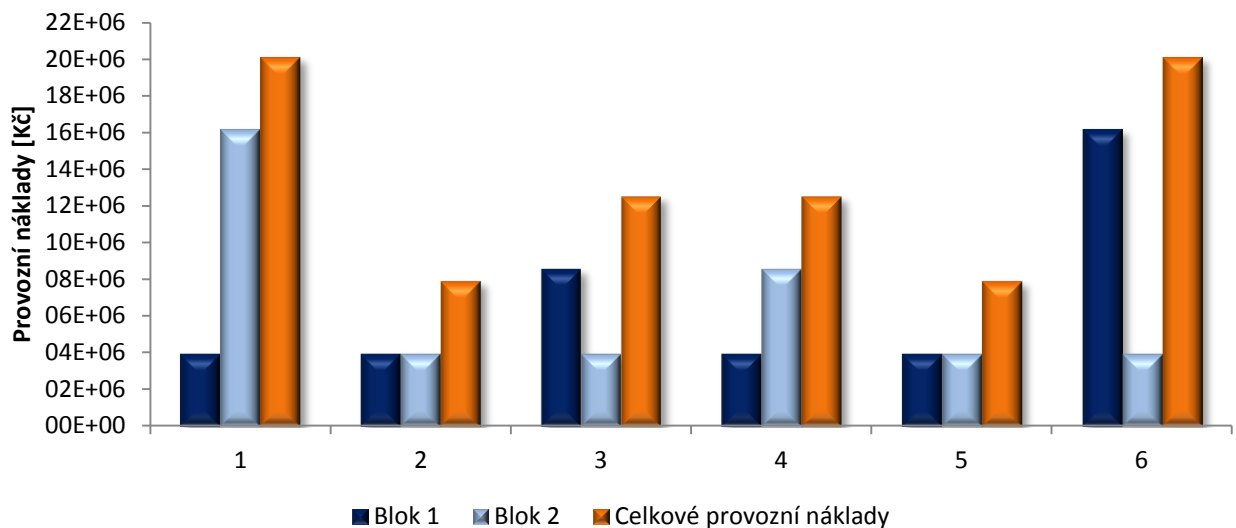
Tab. 14: Výpočet Emisí CO2

## 5.2. Spalovací turbína 9E.03

Takto označená turbína je nyní osazena v PPC Vřesová. Spalovací turbína byla pořízena roku 1996, kdy se stavěla paroplynová elektrárna na základech již existující společnosti vyrábějící z hnědého uhlí svítiplyn. Celková investice do obou spalovacích turbín činila téměř 1,22 mld. Kč. Turbína má garantovanou životnost danou 200 000h provozu a účetní dobu odepisování stanovenou na 20 let což bylo do roku 2016. Vzhledem k Tab. 10, ve které jsou uvedeny provozní hodiny turbíny, vyplývá, že turbína nebyla

vytěžována celoročně a má tedy rezervu na provoz kolem 60 000 h provozu, v rezervě se uvažuje i s opotřebením vlivem několika starty turbíny za rok, s těmito hodnotami se dá turbína provozovat maximálně do roku 2021.

Dále je zapotřebí uvést náklady, které souvisí bezprostředně se spalovacími turbínami. Tyto náklady jsou zobrazeny v následujícím Graf 5. Graf zobrazuje šestileté období, které je charakteristické svými provozními náklady. Hlavní roli zde hraje cyklus inspekce, který je taktéž šestiletý. Dalšími provozními náklady kromě nákladů na jednotlivé inspekce jsou druhotné. Jedná se o roční provozní náklady o maximální výši 50 000 Kč na turbínu a to hlavně na revize a kalibrace, což je částka zanedbatelná. V grafu nejsou zobrazeny náklady na paliva, jelikož se promítnou ve všech letech ve stejné výši (při předpokladu konstantní výroby el. en. a poskytovaných podpůrných služeb).



Graf 5: Roční provozní náklady v šestiletém cyklu

	1	2	3	4	5	6
<b>Blok 1</b>	CI	CI	HGPI	CI	CI	MI
<b>Blok 2</b>	MI	CI	CI	HGPI	CI	CI

Tab. 15: Šestiletý cyklus inspekcí

Nyní se zaměřím na kvantifikaci současného stavu spalovací turbíny, abych mohl dokázat opotřebením způsobené provozem. Nejdříve si musím stanovit výchozí parametry, z kterých budu vycházet. Já budu ověřovat stav turbíny na parametrech účinnost a měrná spotřeba paliva. Tyto parametry také hrají nejdůležitější roli v daném provozním režimu PPC Vřesové a nejvíce ovlivní její ekonomický provoz.

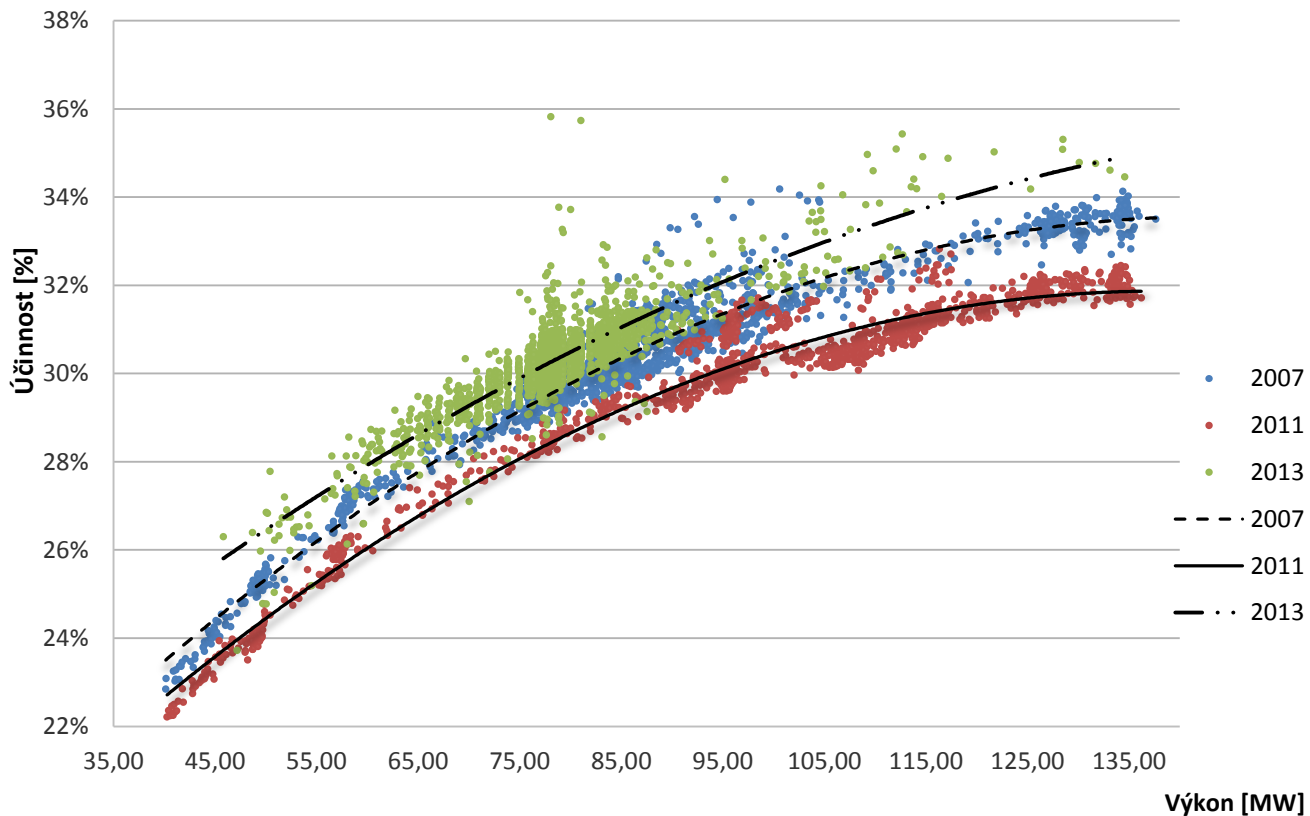
Výpočet účinnosti byl proveden na základních parametrech a to vstupující energii v palivu a výstupní energii tedy dosaženém výkonu spalovací turbíny v čase. Jelikož

nepočítám účinnost celé paroplynové elektrárny, nebudu uvažovat parní část a její využití zbytkového tepla ze spalovací turbíny. Při výpočtu zanedbám údaje, které jsou shodné, v čase téměř neměnné a jsou nezávislé na opotřebení. Jedná se hlavně o přivedený vzduch kompresorem a o zástřik parou. V obou těchto technologiích přivádíme další tepelnou a mechanickou energii do cyklu, která také provede práci na plynové turbíně. Oba parametry sice účinnost mohou ovlivnit, jelikož nám jde o zobrazení rozdílu účinností v čase tak se toto zkreslení na vypovídající hodnotě neprojeví. Snažím se pouze o zobrazení opotřebení spalovací turbíny v čase, jelikož je turbína v současné době provozována již 140 000 h. Jako charakteristické parametry jsem tedy zvolil energii přivedenou v palivu do spalovacích komor spalovací turbíny a výsledný výkon turbíny v čase a rozmezí od minimálního výkonu po maximální, přičemž minimální výkon je od 50 MW, v případě dalšího poklesu dochází k zhoršování parametrů páry ve spalínovém kotli a nemožnosti dlouhodobého provozu parní turbíny.

Veškeré potřebné údaje jsou z certifikačních měření podpůrné služby sekundární regulace výkonu, při kterých dochází k proměření dynamiky změny výkonu od technického minima po maximum (50 MW – 135 MW). Změna výkonu bloku probíhala několikrát směrem k maximu i směrem k minimu, z tohoto důvodu lze vycházet z 1440 hodnot, přičemž jednotlivé údaje jsou minutové. K porovnání jsou data z roku 2007, 2011 a 2013. I přes zkoumaný kratší časový úsek v porovnání s životností turbíny lze pozorovat značný pokles účinnosti mezi roky 2007 - 2012 a tedy zvýšení měrné spotřeby dle Graf 6 a Graf 7. Vzhledem k provedené MI inspekci (generální oprava) v roce 2013, kdy došlo k navýšení parametrů spalovací turbíny na původní hodnoty, můžeme potvrdit důležitost jednotlivých inspekcí, které PPC Vřesová každoročně podstupuje, i když jsou pro podnik značným provozním nákladem, ale vzhledem k jejich nutnosti nevyhnutelným.

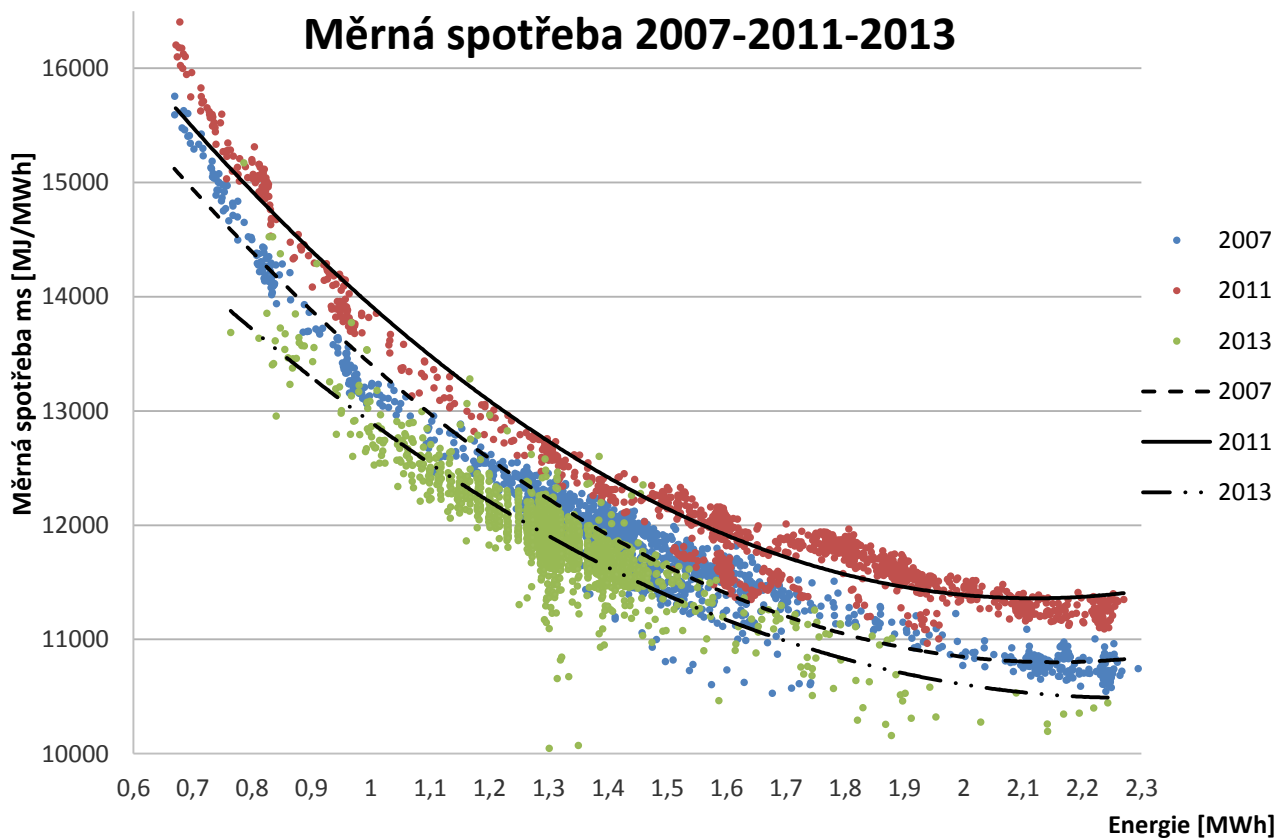
Turbína dosahuje nejvyšší účinnosti v oblasti technického maxima, ale také je zde patrný nejvyšší pokles účinnosti v porovnání s rokem 2013. Konkrétně turbína pracovala při certifikaci s maximální účinností 35,2 % v roce 2013, 33,6 % v roce 2007 a 31,9 % v roce 2011. Při bližším zkoumání zjistíme, že účinnost průměrně klesne během období mezi inspekcemi HGPI a MI (tříleté období) o necelé 4 % což znamená zvýšení měrné spotřeby paliva o 1720 MJ/MWh a tudíž potřebu dodat o 150 m<sup>3</sup> více energoplynu o průměrné výhřevnosti 11,5 MJ/m<sup>3</sup>.

### Porovnání účinnosti 2007-2011-2013



Graf 6: Porovnání účinnosti spalovací turbíny

### Měrná spotřeba 2007-2011-2013



Graf 7: Porovnání měrné spotřeby spalovací turbíny

Z údajů měrné spotřeby paliva spalovací turbíny zjistíme potřebné množství energie k výrobě elektřiny v PPC Vřesová z alternátoru, který je umístěn na stejné hřídeli jako hodnocená plynová turbína. Vzhledem ke znalosti průměrného množství hnědého uhlí na generování energoplynu ( $1\text{t uhlí} = 784\text{ m}^3$ ) a jeho výhřevnosti  $Q_{\text{uhlí}} = 11,5\text{ MJ/kg}$ , lze vypočítat měrnou spotřebu uhlí vztaženou na vyrobenou MWh.

Při zaměření se na shrnutí současného stavu spalovací turbíny, dojdeme k závěru, že není nutná okamžitá výměna, vzhledem k pravidelně prováděným inspekcím, které jsou schopny udržet parametry turbíny na hodnotách porovnatelných s parametry nového kusu. Výměna se bude konat na základě blížícího se ukončení životnosti 200 000 h, což se předpokládá kolem roku 2020. Vzhledem k tomu, že v tomto období bude končit také doba životnosti hlavním náhradním dílům a turbína bude již přes 20 let v provozu, je zde prostor na rozhodování mezi variantními řešeními obnovení spalovacích turbín. Tyto varianty by také měly zahrnovat významnou možnost snížení provozních nákladů, respektive úsporu na dodaném palivu. Pokud by k výměně v tomto období nedošlo, bylo by zvýšené riziko odstávky jednoho či obou bloků z důvodu možného výpadku spalovacích turbín a s tím spojené další náklady.

## 6. Variantní řešení výměny spalovacích turbín

---

Variantní řešení se zabývá výměnou spalovacích turbín v identických blocích paroplynové elektrárny Vřesová. Vzhledem ke stávajícímu osazení zařízení se variantní řešení omezí na jednoho dodavatele, jelikož s technologiemi od ostatních dodavatelů by mohl nastat problém (viz níže). Zaměřím se tedy na několik možných kombinací výměn a generálních oprav. Řešení vždy počítá s úpravou obou výrobních bloků.

Nedílnou součástí je při úpravě obou bloků také generální oprava (GO) generátorů, které zde jsou od prvního spuštění PPC Vřesová (r. 1996). Tyto generátory začínají být v nevyhovujícím stavu, a tedy je nutné provést jejich GO, jinak by mohlo dojít k havarijní situaci. Vzhledem k plánování GO generátorů je vhodné ji spojit s nahrazením dožívajících spalovacích turbín, a to i přes jejich předpokládanou dobu životnosti do roku 2021, vzhledem k ročnímu počtu provozních hodin. Proto je GO generátorů i výměna spalovacích turbín plánována na rok 2018. U generátorů dojde k nahrazení rotorů za nové a k překlínování a převinutí statorů, přičemž tato GO potrvá přibližně 8 týdnů. V tomto období odstávky ve výrobě je vhodné nahradit také spalovací turbíny. GO generátorů nebude brána v úvahu při hodnocení jednotlivých variant výměny spalovacích turbín, jelikož do všech zasáhne stejnými investičními náklady a u žádné z variant neprodlouží dobu nutnou na jejich provedení. Po dokončení výměny spalovacích turbín a GO generátorů budou veškeré technologie provozuschopné po dobu hodnocení, tedy do roku 2042.

Výběr dodavatele byl zúžen pouze na společnost General Electric Energy Parts Inc. (GE). Kromě společnosti GE dodala nabídku také společnost Siemens. Tato nabídka byla zajímavá pouze pořizovací cenou příslušné spalovací turbíny. Ostatní aspekty možnost využití vylučují. Jedná se hlavně o další nutné investice:

a) Investice do základů turbíny, jelikož turbína Siemens má jiné rozměry a bylo by tedy nutné stávající základy přizpůsobit.

b) Jiné připojení ke spalínovému kotli.

c) Nemožnost využití stávajícího řídicího systému GE Mk VI - turbína od společnosti Siemens vyžaduje pořízení řídicího systému od společnosti Siemens.

Toto jsou hlavní problémy s nabídkou od firmy Siemens. Jsou však natolik závažné a investičně náročné, že se neuvažuje o přijetí této nabídky.

Charakteristika navržených variant řešení je uvedena dále:

## 6.1. Varianta A – GO spalovacích turbín 9E.03 bloku 1 a 2

U této varianty se jedná o odeslání obou spalovacích turbín ke společnosti GE na generální opravu, což je jedna z hlavních nevýhod této varianty, jelikož GO obou spalovacích turbín trvá 6 měsíců a je tedy delší než GO generátorů. To by znamenalo pro PPC Vřesová šestiměsíční odstávku ve výrobě elektřiny, jelikož by výroba byla pozastavena do doby dokončení GO spalovacích turbín. Turbíny zůstanou neměnných parametrů a provozní režim se tedy nezmění, tzn., že další pokračování výroby by bylo ve stejném režimu popsaném v kapitole [3.2.3, str.25]. Cyklus inspekcí zůstává také neměnný (CI,CI,HGPI,CI,CI,MI). Doba odstávky ve výrobě (ztráta z neuskutečněného zisku) je tedy plně dostačující pro GO generátorů.

Dalším důležitým parametrem, který je ovlivněn tím, že se nejedná o pořízení nového stroje, ale využilo by se GO, je doba životnosti. U nového stroje je doba životnosti garantována na 200 000 provozních hodin. U stroje po generální opravě se udává životnost 100 000 provozních hodin, ale bez garance (garancí myslíme prohlášení výrobce, že turbína při dodržení údržby dle pokynů výrobce má stanovenou dobu životnosti). To by pro podnik znamenalo riziko, že turbína nemusí být po dobu 100 000 provozních hodin provozuschopná. Pokud by byl požadavek na garantování 100 000 h od společnosti GE, tak je to možné, ale garanční měření jsou velmi nákladná.

Vzhledem k neměnnému provoznímu režimu i všech parametrů spalovací turbíny v porovnání se současným stavem je tato varianta brána jako srovnávací z hlediska provozních hotovostních toků.

## 6.2. Varianta B – Nová 9E.03 bloku 1, GO 9E.03 bloku 2

V této variantě se jedná o vyhodnocení celkového provozního stavu obou spalovacích turbín a jejich jednotlivých komponent, přičemž z komponent, které budou dále provozuschopné, bude sestavena spalovací turbína pro blok 2. Vzhledem k tomu, že celá spalovací turbína je sestavena v tzv. modulech, je možné jednotlivé díly mezi sebou zaměnit a tedy toto sestavení uskutečnit.

Nejdříve je tedy důležité obě spalovací turbíny posoudit z hlediska technického stavu, a ta, která bude technicky zastaralejší, bude nahrazena novou turbínou 9E.03 se stejnými



parametry. Druhá turbína bude odvezena na GO společností GE, která po takto provedené GO prohlašuje, že doba životnosti stroje bude 100 000 provozních hodin, ovšem bez garance. V mezidobí, kdy bude spalovací turbína u společnosti GE, bude blok osazen zbylou spalovací turbínou. V této variantě je odstávka kolem 8 týdnů tedy srovnatelný s potřebnou odstávkou pro GO generátorů. Nová spalovací turbína 9E.03 má dobu životnosti 200 000 provozních hodin. To je oproti opravené turbíně dvojnásobná doba, tudíž během hodnocení bude muset dojít ještě k jedné GO turbíny po 100 000 h.

### **6.3. Varianta C – Nová 9E.04 bloku 1, GO 9E.03 bloku 2**

Průběh této varianty je shodný s variantou B, avšak na místo osazení bloku 1 novou spalovací turbínou 9E.03 o stejných parametrech, dojde ke koupi spalovací turbíny nového typu 9E.04, taktéž od společnosti GE Energy. Popis a rozdílné parametry jsou popsány v následující kapitole [6.3.1., str.48]. Parametry prvního bloku by se tedy zlepšili, konkrétně výkon bloku by vzrostl (192 WM ->199 MW) a průměrná měrná spotřeba paliva by klesla (12 862 MJ/MWh -> 12 103 MJ/MWh). Důležitým faktorem by zde také byly potřebné inspekce, jelikož nový typ turbíny má delší časový cyklus inspekcí.

#### **6.3.1. Spalovací turbína FRAME 9E.04**

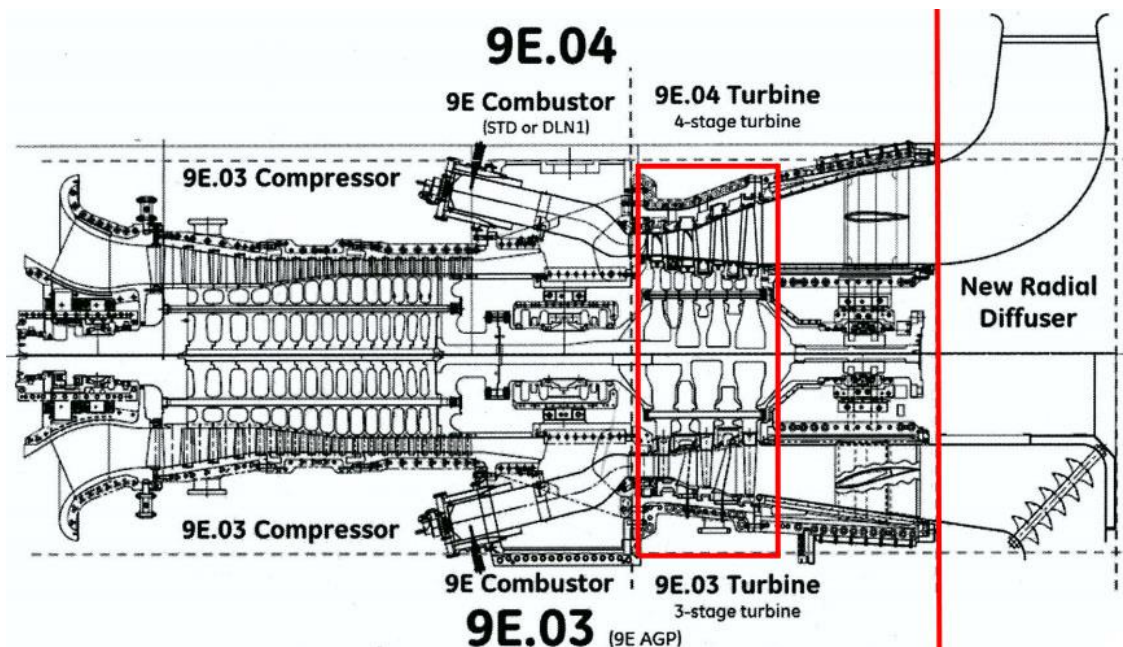
Na základě dožívající plynové turbíny FRAME 9E.03 bylo rozhodnuto o možném nástupci z řad GE, a to následující řadě FRAME 9E.04. Tato jednotka, stejně jako ta předchozí, bude provozována v kombinovaném režimu s využitím jednak zemního plynu, ale hlavně energoplynu. Obě jednotky využívají kontrolní systém Mk VI taktéž dodaný společností GE.

Hlavním rozdílem nového typu turbíny oproti staré je přidání jednoho stupně lopatkování, tudíž je turbína nyní čtyřstupňová. I přes přidání stupně zůstávají rozměry turbíny neměnné a je možné ji osadit do stávajících základů bez nutnosti stavebních úprav. Veškeré úpravy by měli být minimální, jelikož se jedná o výměnu od příruby k přírubě. Druhou znatelnější úpravou je difusor výfukového vedení. Tato úprava také napomáhá k zvýšení účinnosti a výkonu.

Vzhledem k provoznímu režimu PPC Vřesová byl kladen důraz více na snížení měrné spotřeby paliva, než na zvýšení výkonu. To by mohlo být výhodné, pokud by společnost vyráběla elektrickou energii v režimu základního zatížení [viz kap. 3.2.1, str.25]. Vyšší výkon přináší určité výhody, zejména z hlediska širšího pásma poskytovaných služeb,

ale vzhledem k současnému stavu ES ČR je to však méně zajímavé, jelikož požadované služby je turbína schopna pokrýt ve stávajícím výkonovém pásmu. Výkon se i tak zvýší o 5,2 % (7 MW). Turbína Frame 9E.04 má tedy vyšší účinnost ve všech výkonových oblastech v porovnání s původní turbínou 9E.03. Účinnost se průměrně zvýší o 1,9 % a měrná spotřeba se sníží o 5,9 % (759 MJ/MWh), což znamená úsporu paliva.

Společnost GE využívá u této i předchozí spalovací turbíny tzv. modulovou konstrukci. Spalovací turbína jako celek je rozdělena do čtyř částí - kompresor, spalovací část, turbína, výfuková část. Každou z těchto částí lze zaměnit za shodný modul. Toto modulové uspořádání umožňuje mnoho variant výměn, jelikož rozměry jednotlivých modulů se shodují s původními rozměry turbíny. Je tedy možné provést výměnu od příruby k přírubě či jen modulů.



Obr. 12: Rozdíl mezi současnou a novou turbínou, zdroj [10]

Z Obr. 12 lze vidět rozdíly mezi současně instalovanou turbínou Frame 9E.03 a jejím následujícím typem Frame 9E.04. Rozdíly jsou v samotné části s lopatkováním, kde přibyl jeden stupeň (ze třístupňové -> čtyřstupňová) a v části výfuku, kde se změnilo tvarování difusoru.

Díky užití nových materiálů namáhaných dílů je nutné dodat, že spalovací turbína bude schopna delšího provozu bez nutnosti inspekcí, dojde tedy k prodloužení opravárenského cyklu a tím ke snížení provozních nákladů.

	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Blok 1</b>	CI	CI	CI	HGPI	CI	CI	CI	MI
<b>Blok 2</b>	CI	CI	HGPI	CI	CI	CI	MI	CI

Tab. 16: Cyklus inspekcí 9E.04

#### **6.4. Varianta D – Nové spalovací turbíny 9E.04 bloku 1 a 2**

Při takovéto výměně by došlo k navýšení původních parametrů, jelikož by oba bloky byly osazeny novými stroji. Výkon PPC Vřesová vzroste (384 MW -> 404 MW) a měrná spotřeba klesne (12 862 MJ/MWh -> 12 103 MJ/MWh). Vzhledem k výměně turbíny od příruby k přírubě je doba odstávky srovnatelná s GO generátorů, čímž nedojde k prodloužení odstávky.

## 7. Ekonomické hodnocení návrhu řešení

Výsledkem této práce má být doporučení optimální varianty pro rozhodnutí o provedení GO či o výměně spalovacích turbín za nový typ. Vzhledem k tomuto záměru je potřebné zjistit vstupní ekonomická data, která jsou pro výpočet nezbytná.

### 7.1. Čistá současná hodnota (NPV)

Jedním z důležitých faktorů této metody je zohlednění faktoru času, jelikož současné finance mají vyšší hodnotu, nežli budoucí finance. Vzhledem k dlouhodobosti investičních záměrů je tato vlastnost důležitá. Princip spočívá v tom, že všechny peněžní prostředky během života investice přepočteme na jejich současnou hodnotu a odečteme investiční náklady. Suma těchto rozdílů je naše hledaná hodnota NPV. Pro volbu přepočítacího kritéria lze použít diskont či WACC. Volba závisí na pokrytí financování investice, zda je z vlastních prostředků nebo z cizích. Rizikovost investice lze zohlednit v úpravě  $r$ . Řídíme se dle následujícího vzorce.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad [K\check{c}]$$

Rov. 5

kde:	NPV [Kč] –	Čistá současná hodnota
	t –	Aktuální rok
	T –	Doba hodnocení (životnost investice)
	$CF_t$ [Kč] –	Hotovostní tok v roce t
	r –	Přepočítací koeficient (diskont, WACC)

Kritérium je maximalizační a je v konkrétních hodnotách, které značí přírůstek hodnoty firmy aplikováním dané investice. Kritérium může být také záporné. V takovém případě, pokud se nejedná o nutnou investici, je záměr nevýhodný.

### 7.2. Vstupní hodnoty - předpoklady

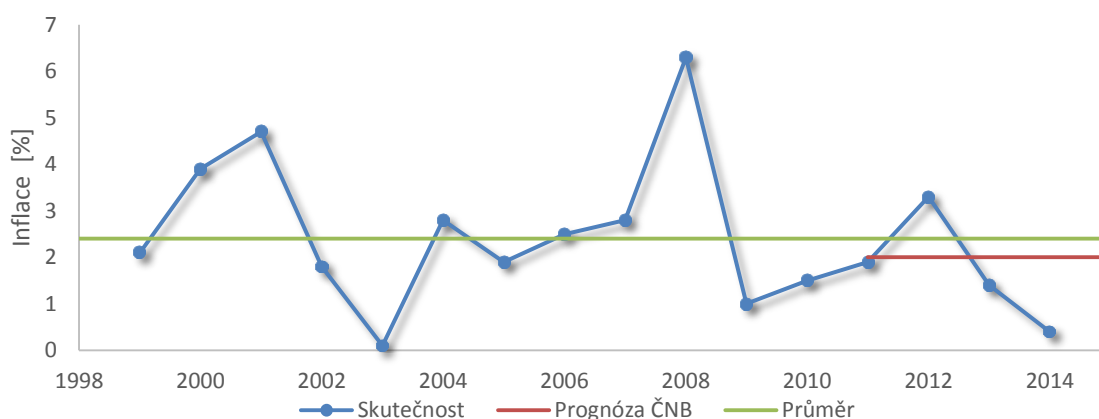
Výstup všech variant je shodný neboť se jedná o výrobu elektrické energie do základního pásma DDZ i o poskytování podpůrných služeb o stejném množství ve všech

zmíněných variantách. Budu tedy předpokládat, že všechny varianty generují stejné budoucí příjmy i přes drobné zkreslení pro varianty, které počítají s novou spalovací turbínou o lepších parametrech, konkrétně o zvýšení jejího výkonu. Protože se v současné době neplánuje využívání vyššího výkonového pásma, je možné s uvedeným předpokladem počítat. Z tohoto důvodu nebudu v práci počítat s příjmy a pro hodnocení jednotlivých variant postačí využití nákladového kritéria vztaženého k současné hodnotě za dobu životnosti jednotlivých variant. Jelikož se jedná o nákladové kritérium, dojde k výběru nejvhodnější varianty podle kritéria minimalizace - tedy varianty s nejnižším součtem současné hodnoty nákladů lze považovat za nejvýhodnější.

Celková doba hodnocení společná pro všechny varianty je celkově 200 000 provozních hodin do roku 2040. V případě variant využívajících nových typů spalovacích turbín 9E.04 je to doba životnosti stroje. Pro varianty počítající s GO technicky opotřeбенé turbíny se jedná o opakovanou investici. Jelikož doba životnosti turbíny po GO je 100 000 h do roku 2028 musí dojít ještě k jedné GO v polovině období, abychom dobu porovnání měli shodnou pro všechny varianty.

### 7.2.1. Inflace

Při stanovení míry inflace zohledňuji vývoj hodnot za posledních 15 let, což je zobrazeno v následujícím Graf 8, ve kterém lze vysledovat také průměrné hodnoty a prognózu inflace dle ČNB [14]. Vzhledem k dlouhodobému průměru inflace 2,4 % a prognóze ČNB 2 % stanovím inflaci při výpočtech taktéž na 2 %.

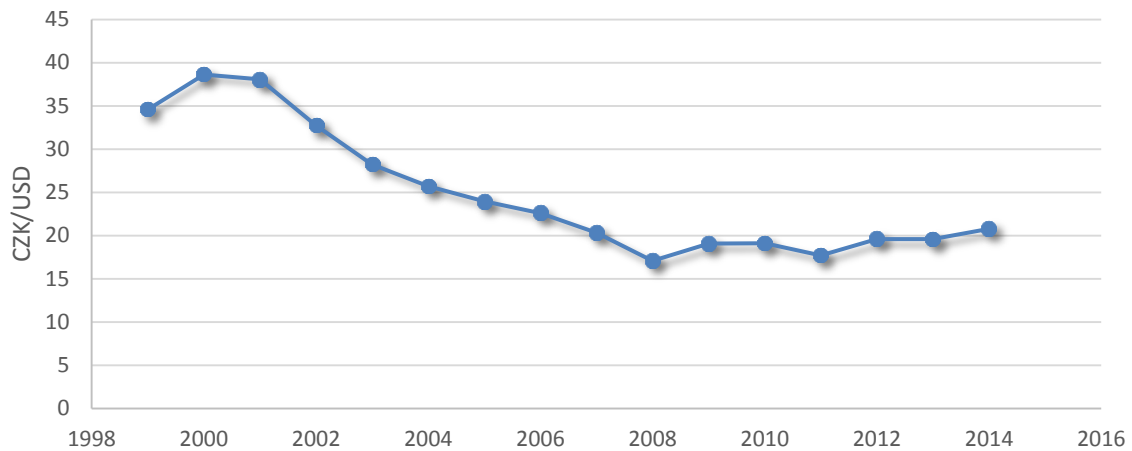


Graf 8: Míra inflace, zdroj [13]

### 7.2.2. Kurz CZK/USD

Kurz jsem stanovil na základě vyhodnocení minulých let. Od roku 2008 se hodnota pohybuje v rozmezí 18,5 CZK/USD a to kolem hodnoty 19 CZK/USD s mírně rostoucím

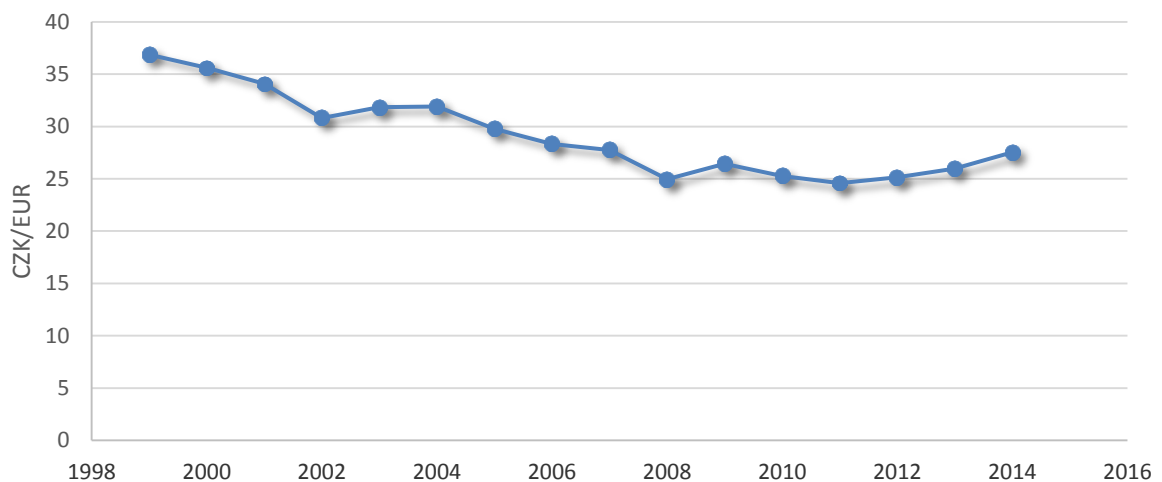
trendem. Hodnotu pro výpočty tedy stanovím na 21 CZK/USD. Průběh lze vidět v Graf 9. Stanovení kurzu má vliv na konečnou hodnotu provozních nákladů, jelikož veškeré inspekce jsou hrazeny společností GE Energy v devizové měně.



Graf 9: Kurz CZK/USD, zdroj [15]

### 7.2.3. Kurz CZK/EUR

Kurz jsem stanovil na základě vyhodnocení kurzu z minulých let. Stejně jako v případě kurzu CZK/USD se budeme zabývat vývojem od roku 2008, kdy se hodnota ustálila přibližně na hodnotě 25 CZK/EUR. S touto hodnotou však nelze počítat, jelikož současná situace naznačuje pokračující oslabování koruny vůči Euru. Proto jako konečnou hodnotu použiji kurz 28 CZK/EUR. Stejně jako u ceny silové elektřiny není potřeba predikce na celé hodnocené období, jelikož kurz využiji v roce 2018. Následující Graf 10 zobrazuje vývoj kurzu CZK/EUR za posledních 15 let.



Graf 10: Kurz CZK/EUR, zdroj [21]

### 7.2.4. Daň z příjmu

Vzhledem k tomu, že se v této práci zabývám Sokolovskou uhelnou, právní nástupce a.s., tak se musím řídit zákonem č. 586/1992 Sb., o daních z příjmu, v platném znění, část druhá, § 17 - Poplatníci daně z příjmů právnických osob. Zde je stanovena daňová sazba ve výši 19 %. Jelikož se zabývám obdobím dalších 25 let, budu předpokládat mírný růst a tedy počítat s hodnotou 21 %. Vzhledem k využívání nákladového kritéria potřebuji tuto sazbu na výpočet daňového štítu. V tomto výpočtu budu také předpokládat, že společnost generuje zisk jak je tomu do této doby a má možnost daňový štít uplatnit.

### 7.2.5. Daňové odpisy

Předmětem výměny jsou spalovací turbíny obou bloků, které podle zákona č. 586/1992 Sb., o dani z příjmu patří do 3. odpisové skupiny odpisující 10 let. Odpisy budou lineární, jelikož lépe reflektují skutečné opotřebení spalovacích turbín. Jejich výpočet proběhne dle výše zmiňovaného zákona (Rov. 6, Rov. 7). Roční hodnotu odpisů pak stanovíme jako násobek odpisové sazby a celkových investičních nákladů.

Odpisová sazba v prvním roce provozu se určí ze vztahu:

$$Q_1 = \frac{1}{2 * T - 1} \quad [-]$$

Rov. 6

Odpisová sazba pro roky 1+:

$$Q_{T>1} = \frac{2}{2 * T - 1} \quad [-]$$

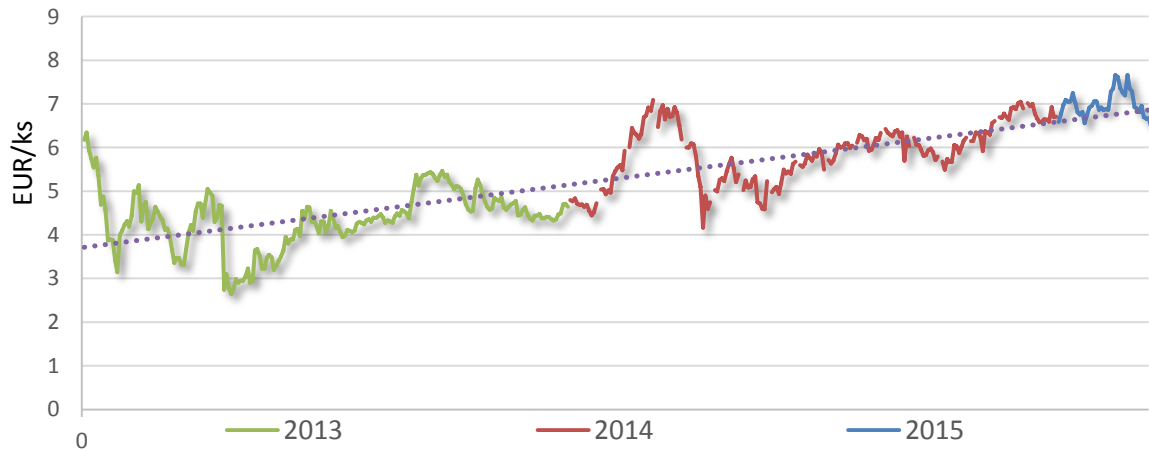
Rov. 7

T [rok] – Doba odpisování

Q [-] – Roční odpisová sazba

### 7.2.6. Emisní povolenky

Tento faktor je důležitým, jelikož se zabývám měrnou spotřebou spalovacích turbín, a tedy i množstvím emisí, které jednotlivé typy turbín emitují. Při stanovení základu ceny emisní povolenky jsem vycházel z minulých hodnot, které podnik zaplatil za rok 2013, kdy za emisi tuny CO<sub>2</sub> zaplatil 200,- Kč/ks.



**Graf 11: Vývoj ceny emisní povolenky, zdroj [16]**

Z dat European Energy Exchange jsem získal hodnoty cen emisních povolenek od třetí fáze obchodování (Graf 11). V tomto grafu nejde o zobrazení hodnoty emisní povolenky, ale o eskalaci ceny. Je patrné, že trend ceny je rostoucí, přičemž tento fakt lze také připisovat zásahům Evropské komise [17]. Pro další výpočty v práci budu uvažovat do roku 2021 s rostoucím trendem ve výši 18 %. Následně do roku 2040 se stagnací ceny.

### 7.2.7. Diskontní sazba

Diskontní sazba je základním parametrem, jelikož se v ní skrývá míra rizika investice, zohledňuje vlastní (odměna pro vlastníky) i cizí kapitál (pokrytí úroků) a je také nezbytná při stanovení čisté současné hodnoty (NPV), kterou v této práci využiji pro hodnocení jednotlivých variant. Tato sazba tedy může ovlivnit výsledek ekonomického rozhodování. [7]

Vzhledem k předpokladu financování takto rozsáhlé investice z části cizím kapitálem a z části vlastními prostředky, použiji při výpočtu diskontní sazby model WACC.

Vážená reálná cena kapitálu je dána vztahem:

$$WACC_r = r_d * (1 - d) * \frac{D}{C} + r_e * \frac{E}{C} \quad [\%]$$

#### Rov. 8

kde:	$r_d$ [%] -	Náklad cizího kapitálu
	$d$ [-] -	Daňová sazba
	$D$ [Kč] -	Cizí kapitál společnosti
	$E$ [Kč] -	Vlastní kapitál společnosti
	$C$ [Kč] -	Celkový kapitál společnosti



$r_e$  [%] - Náklad vlastního kapitálu

$$r_e = r_f + \beta * (r_m - r_f) \text{ [%]}$$

**Rov. 9**

$r_f$  [%] - Výnos bezrizikové investice

$\beta$  [-] - beta koeficient

$r_m$  [%] - očekávaný výnos tržního portfolia

Pro stanovení nákladů na cizí kapitál jsem využil dat společnosti Sokolovská uhelná. V současné době sice není známo přesné financování hodnoceného projektu, ale bylo použito úrokové míry z obdobně vysoké investice, kde náklad cizího kapitálu činil 3,5 %. Daňová sazba je již zmíněna [kapitola 7.2.4] a stanovena ve výši 21 %. Pro stanovení výnosu vlastního kapitálu jsem použil model CAPM (Rov. 9), přičemž výnos bezrizikové investice jsem stanovil pomocí dlouhodobého státního dluhopisu na 0,35 %, očekávaný výnos tržního portfolia na 6,7 % jako dlouhodobý průměr indexu PXE a beta koeficient z dat uznávaného ekonoma Damodarana, který stanovil beta koeficient pro střední Evropu a obor energetika na hodnotu 0,61 [22]. Zbylé veličiny jsem určil pomocí finančních výkazů [19]. Z rozvahy jsem určil cizí kapitál na 4 995 211 tis. Kč, vlastní kapitál na 14 232 489 tis. Kč a celkový na 19 227 700 tis. Kč.

Při uvažování zmíněných hodnot činí hodnota reálného diskontu stanovena dle vztahu Rov. 8 na hodnotu 3,845 %. Vzhledem k užívání nominálních hodnot ve výpočtech, je nutné provést přepočítání WACC na nominální hodnotu dle Rov. 10.

$$WACC_n = WACC_r + \alpha + WACC_r * \alpha \text{ [%]}$$

**Rov. 10**

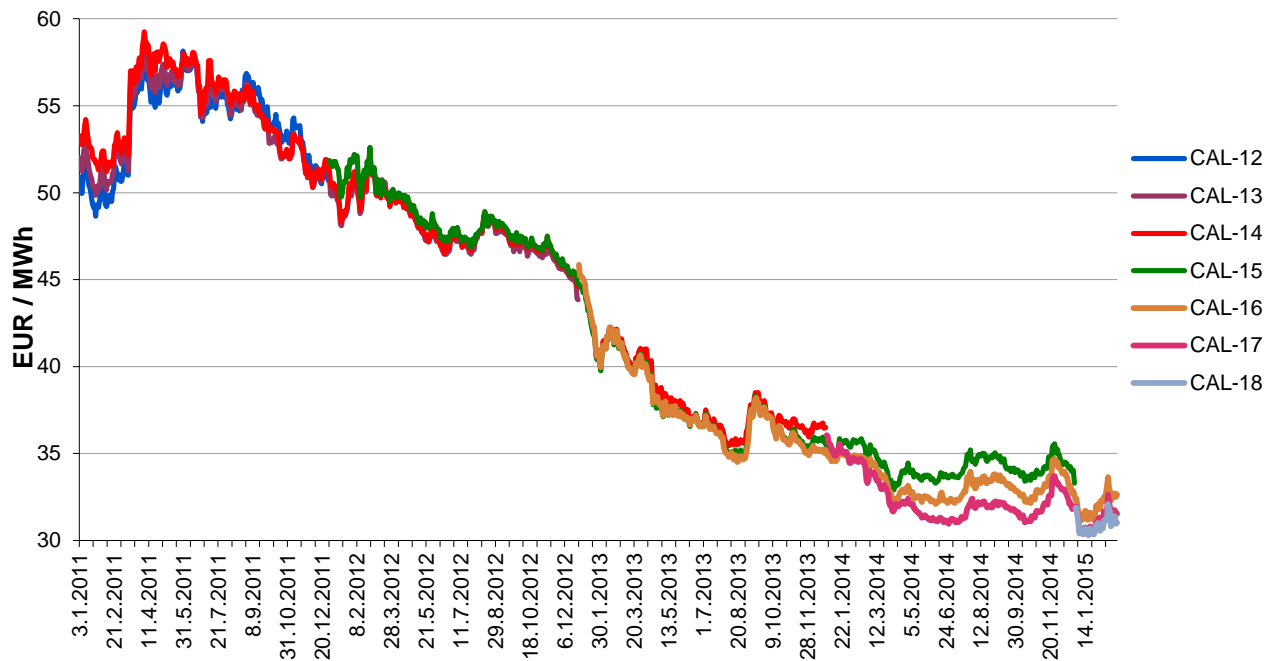
kde:  $WACC_n$  [%]- Vážená nominální cena kapitálu

$\alpha$  [%]- Míra inflace

Po dosazení do vzorce Rov. 10 získám hodnotu 5,921 %, kterou pak použiji v dalších výpočtech.

### 7.2.8. Cena silové elektřiny

Nezbytný údaj pro ocenění odstávky. Stanovení proběhne na základě údajů komoditních futures na obchodním portálu Power Exchange Central Europe (PXE). Zabýval jsem se vývojem kontraktů na dodání elektřiny do základního pásma zatížení. Jak ukazuje zdroj [20] – Graf 12, cena silové elektřiny dlouhodobě klesá, až poslední rok (3.3.2014 – 3.1.2015) je cena ustálena.



Graf 12: Vývoj ceny dodávky elektřiny, zdroj [20]

Pro mé účely výpočtu stanovím cenu silové elektřiny jako průměrnou za poslední rok 2014, z čehož dostanu hodnotu 34,51 EUR/MWh. Vzhledem k využití této hodnoty pouze při hodnocení odstávky (6 měsíců) není zapotřebí stanovit dlouhodobý trend.

### 7.2.9. Zemní plyn

Vzhledem k využití zemního plynu jako přídavného paliva dochází k pokrytí spotřeby energie pouze z 1 %. Tedy 99 % energie v palivu je dodáno energoplynem vlastním zplyněním hnědého uhlí. Tudíž postačí data z CEGH Gas Exchange, která jsou pouze od roku 2014, jelikož na začátku tohoto roku bylo spuštěno obchodování s futures na zemní plyn. Trend ceny je klesající, ale vzhledem k době hodnocení 25 let nepředpokládám, že cena bude pouze klesat a proto jsem tedy určil eskalaci na 1,5% a podrobím tento parametr bližšímu zkoumání pomocí citlivostní analýzy.



Graf 13: Vývoj ceny zemního plynu PXE, kurzy.cz

### 7.2.10. Odstávka

Pro účely varianty A je zapotřebí ocenit odstávku, kdy nebude docházet k výrobě el. en, a tudíž dojde ke ztrátě z neuskutečněného zisku. Ocenění stanovíme rozdílem příjmů z vyrobené el. en. a nákladů na paliva vč. potřebných emisních povolenek. Takto vytvořené náklady tvoří hlavní složku provozních nákladů PPC Vřesová. Příjmy jsem stanovil z množství vyrobené el. en. a z ceny za tuto energii.

Celkové příjmy:

$$TR = CV * C_{MWh} * k_{CZK/EUR} \text{ [Kč]}$$

Rov. 11

kde:	CV [MWh] -	Celková výroba
	$C_{MWh}$ [Kč/MWh]-	Cena silové elektřiny
	$k_{CZK/EUR}$ -	Kurz koruny vůči euru

Náklady na paliva a emisní povolenky:

$$N = S_{EP} * C_{EP} + S_{ZP} * C_{ZP} + S_{pov} * C_{pov} \text{ [Kč]}$$

Rov. 12

kde:	$S_{EP}$ [m <sup>3</sup> ] -	Spotřeba energoplynu
	$C_{EP}$ [Kč/m <sup>3</sup> ] -	Cena energoplynu
	$S_{ZP}$ [m <sup>3</sup> ] -	Spotřeba zemního plynu
	$C_{ZP}$ [Kč/m <sup>3</sup> ] -	Cena zemního plynu
	$S_{pov}$ [ks] -	Množství emisních povolenek

$C_{\text{pov}}$  [Kč/ks] - Cena emisní povolenky

Zisk za dané období:

$$Z = (TR - N) * (1 - d) \text{ [Kč]}$$

**Rov. 13**

kde:  $d$  [%] - Sazba daně

Jelikož se jedná o půlroční odstávku ve výrobě u varianty A, vztahujeme hodnotu ztráty ze zisku k tomuto období, přičemž ztráta dosáhne částky 232 098 476 Kč.

## 7.3. Investiční a provozní náklady

### 7.3.1. Investiční náklady

Investiční náklady jsou stanovené ze zpracovaných obchodních nabídek společnosti GE Energy pro Sokolovskou uhelnou, přičemž jsem měl přístup k celkovým částkám, ve kterých je již zahrnuta doprava, práce, dokumentace, materiál potřebný pro uvedení do provozu i potřebné náhradní díly pro turbíny. Investiční náklady jsou ve variantách B, C, D, jelikož ve variantě A se jedná pouze o uvedení zařízení na původní parametry. Celkový investiční rozpočet na turbínu 9E.04 je tedy 515 500 tis. Kč, na turbínu 9E.03 480 598 tis. Kč, přičemž uvedení turbíny na původní parametry si vyžádá 315 000 tis. Kč.

### 7.3.2. Provozní náklady

Provozní náklady spalovacích turbín lze rozdělit na tři hlavní položky, které tvoří jejich největší část. Nejvyšší z těchto tří položek jsou náklady na jednotlivá paliva tvořící 89 % provozních nákladů. Tuto položku jsem určil pomocí výpočtu přes měrnou spotřebu paliva spalovacích turbín. Zde bylo důležité rozlišit turbíny 9E.03 a 9E.04, které se liší v měrné spotřebě o 5,9 %. Při znalosti měrné spotřeby a předpokladu konstantní výroby el. en. ze spalovacích turbín 1320 000 MWh za rok, jak tomu bylo do současné doby, jsem určil potřebnou energii, kterou je nutno dodat. Jak již bylo zmíněno, uvažoval jsem, že zemní plyn pokrývá přibližně 1 % en. dodané, což vyplývá z dat za poslední tři roky. Z těchto hodnot jsem stanovil spotřebu jednotlivých druhů paliv pro starý i nový typ spalovací turbíny a dané spotřeby pak vynásobil cenou výroby energoplynu či čerpání zemního plynu.

Druhou položkou tvořící přibližně 10 % provozních nákladů jsou emisní povolenky, které jsou potřebné v závislosti na množství vstupujícího uhlí a zemního plynu. Výpočet

objemu emitovaných emisí je uveden v kapitole 5.1., str. 39. Je samozřejmé, že bylo nutné rozlišit výpočet pro všechny tři kombinace spalovacích turbín, které jsou využity ve variantách.

Kombinace turbín	[t CO <sub>2</sub> ]
9E.03 a 9E.03	1 874 996
9E.03 a 9E.04	1 814 138
9E.04 a 9E.04	1 753 280

Tab. 17: Kombinace turbín

Poslední položkou tvořící přibližně 1 % provozních nákladů jsou nutné inspekce spalovacích turbín, jelikož je potřeba dané turbíny udržovat s provozuschopnými parametry. Právě díky inspekcím mají turbíny téměř neměnné parametry za dobu životnosti, a tudíž nedochází ke zvyšování měrné spotřeby a narůstání provozních nákladů. Vše o inspekcích se nachází v kapitole 4., str. 31.

U všech variant je uvažováno s 3% ročním růstem nákladů na inspekce. Tento růst platí také pro růst cen hnědého uhlí a z toho odvozeného nárůstu cen energoplynu, jelikož Sokolovská uhelná využívá vlastního hnědého uhlí a tedy ceny uhlí rostou pouze v závislosti na růstu jejich nákladů na těžbu.

#### 7.4. Ekonomická efektivnost navržených variant

Základním parametrem shodným pro všechny varianty je doba porovnání, kterou jsem stanovil na 25 let, tedy do roku 2042, za předpokladu uvedení zařízení do provozu v roce 2018, což odpovídá přibližně 200 000 provozních hodin turbíny. Druhým parametrem shodným pro všechny varianty je hodnota WACC přepočtená na nominální hodnotu o velikosti 5,921 %. Na základě dříve uvedených a těchto ekonomických údajů je pak možné přistoupit k výpočtu NPV navržených variant resp. jejich rozdílů vztažených k základní srovnávací variantě A, odpovídající současnému stavu zařízení, ve kterém je provozováno (viz. Tab. 18).

	Varianta A	Varianta B	Varianta C	Varianta D
<b>Nákladové NPV [mld. Kč]</b>	50,4	50,2	48,7	47,2
<b>Roční ekvivalentní hodnota hotovostní tok [mld. Kč/rok]</b>	3,9	3,89	3,8	3,67
<b>Rozdílové hodnocení</b>	<b>Rozdíl NPV</b>	<b>Rozdíl RCF</b>	<b>Doba návratnosti [roky]</b>	
<b>A-B [mil. Kč]</b>	222	17	Shodné hotovostní toky	

<b>A-C [mil. Kč]</b>	1 705	132	8
<b>A-D [mil. Kč]</b>	3 170	246	6

Tab. 18: Porovnání variant

Z uvedených výsledků je patrné, že jako ekonomicky nejefektivnější se jeví varianta D, charakterizovaná nejvyššími investičními náklady, ale zároveň i nejnižšími provozními náklady, u které dojde k nahrazení původních turbín 9E.03 turbínami nového typu 9E.04. Z tohoto důvodu je možné variantu D ještě modifikovat.

V modifikované variantě D by se jednalo o úpravu investičních nákladů, v důsledku možného využití modulového sestavování spalovacích turbín díky shodnosti rozměrů nových dílů turbíny 9E.04 se staršími díly turbíny 9E.03. Vzhledem k dobrému stavu kompresoru bloku 1 je možné snížit investiční náklady právě o náklady na koupi nového kompresoru, čímž by se investice omezila jen na část s turbínou. V tomto případě by se tedy ve variantě D snížily investiční náklady z 1,031 mld. Kč na hodnotu 0,998 mld. Kč, při pouhé generální opravě kompresoru bloku 1. Při této změně nedojde k volbě jiné optimální varianty, pouze se zlepší ekonomická efektivnost uvažované varianty D a její prostá doba návratnosti klesne na 5 let oproti původním 6-ti letům.

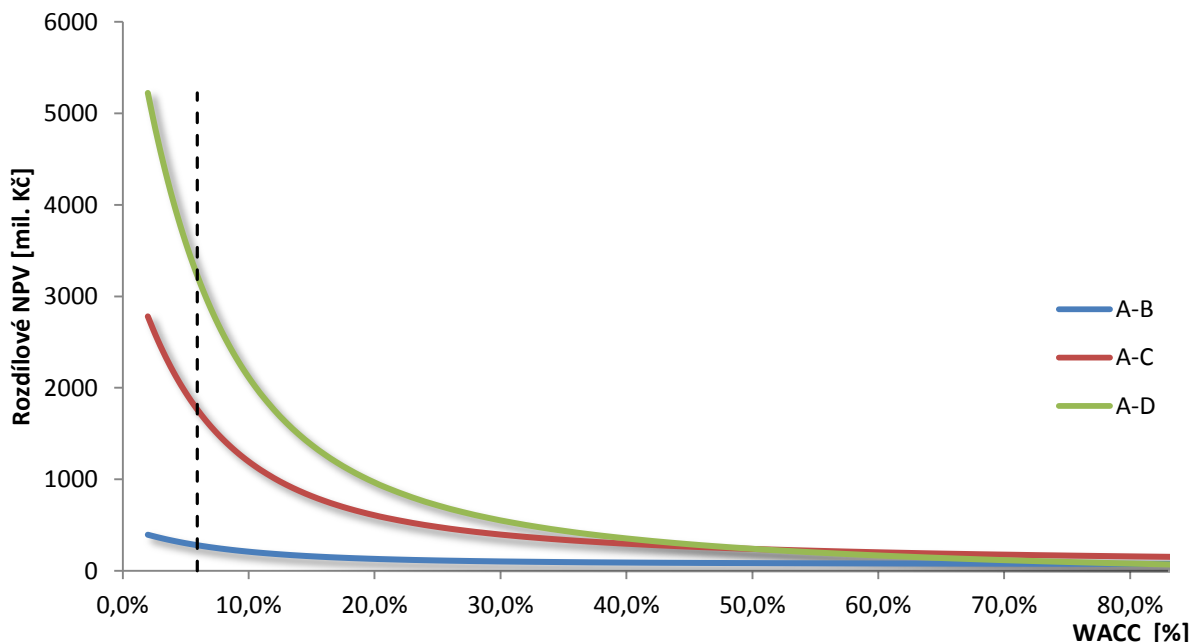
## 7.5. Citlivostní analýza

Citlivostní analýza je nezbytná pro ověření výsledků řešení z hlediska možných změn hodnot některých parametrů zahrnujících určitá rizika daná buď okolním prostředím či nejistými podmínkami jejich stanovení. Je tedy nutné zjistit, zda případné změny parametrů nemohou ovlivnit výběr optimálního řešení při investičním rozhodování. V mém případě se jedná o ověření finančního, výrobního, legislativního a ekonomického rizika. Veškeré citlivostní analýzy budou znázorněny jako funkční závislosti rozdílového NPV na změně příslušného parametru. Parametry, které podrobím bližšímu zkoumání, jsou tyto:

- WACC
- Daň z příjmu
- Cena energoplynu => úměrná ceně hnědého uhlí
- Cena emisní povolenky
- Růst nákladů => úměrný růstu cen hnědého uhlí
- Růst cen zemního plynu

### 7.5.1. WACC

Prvním zkoumaným parametrem je diskontní sazba v podobě WACC, zahrnující v sobě financování cizím kapitálem. Vypočtená hodnota činí 5,92 %, což je vyznačeno v Graf 14 přerušovanou čarou.

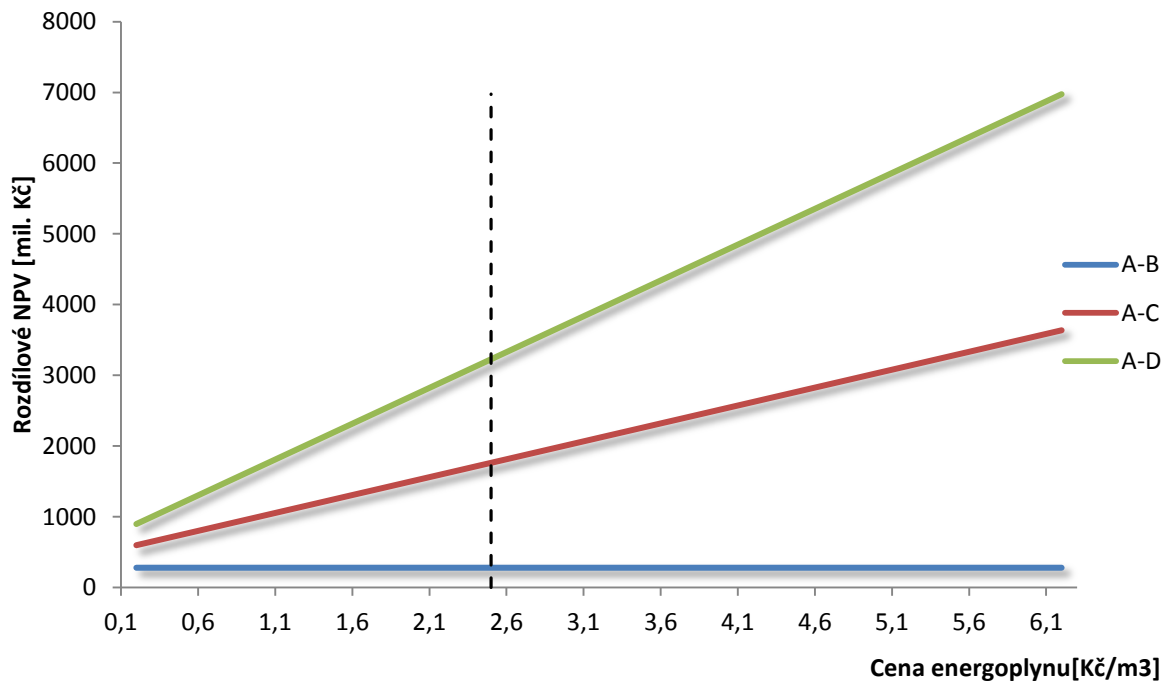


Graf 14: Závislost na WACC

Z grafu je patrné, že s rostoucím diskontem jsou jednotlivé varianty více vyrovnané. K výběru jiného optimálního řešení však dojde až při hodnotě diskontu 51 %, což je hodnota již nepravděpodobná, která nereflektuje skutečnost. A až při hodnotě diskontu 81 % zjistíme, že varianta D je ekonomicky nejméně efektivní variantou. Do hodnoty diskontu 51 % dochází sice k ovlivnění rozdílu NPV mezi jednotlivými variantami, ale výběr optimálního řešení zůstává neměnný, tedy varianta D. V této citlivostní analýze je zahrnuto finanční riziko projektu.

### 7.5.2. Cena energoplynu

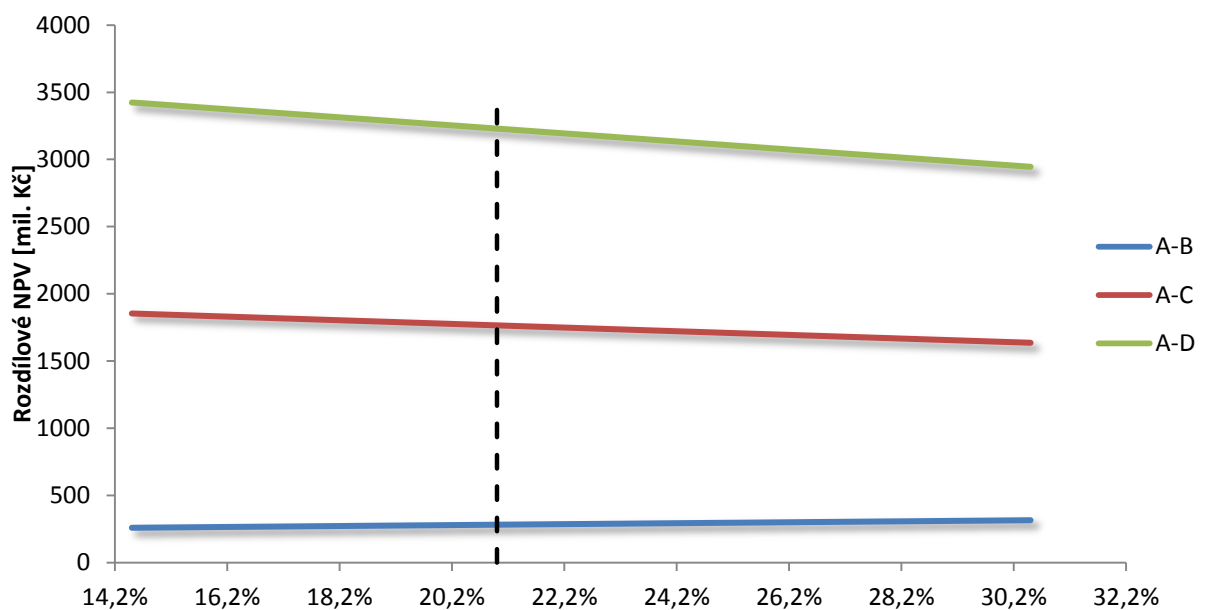
Cena energoplynu je přímo odvozena od ceny vlastního hnědého uhlí a nákladů na jeho zplynění. Vzhledem k tomu, že může dojít k problémům s těžbou uhlí, které mohou ovlivnit výslednou cenu energoplynu (výrazné zhoršení kvality uhlí, legislativní opatření omezující těžbu, případný dovoz uhlí), jsou zde tato rizika zahrnuta (legislativní a výrobní riziko).



Graf 15: Závislost na ceně energoplynu

### 7.5.3. Daň z příjmu

Jedná se o čistě legislativní riziko, kdy může dojít k nárůstu během pár let o celé procentní body, ale spíše se předpokládá mírný postupný růst. Ve výpočtech uvažují s hodnotou 21 %. Je patrné, že vlivem daňového štítu dochází k poklesu hodnoty NPV varianty D pomaleji než v případě varianty A, neboli rozdílové NPV variant A-D ve výsledku klesá.

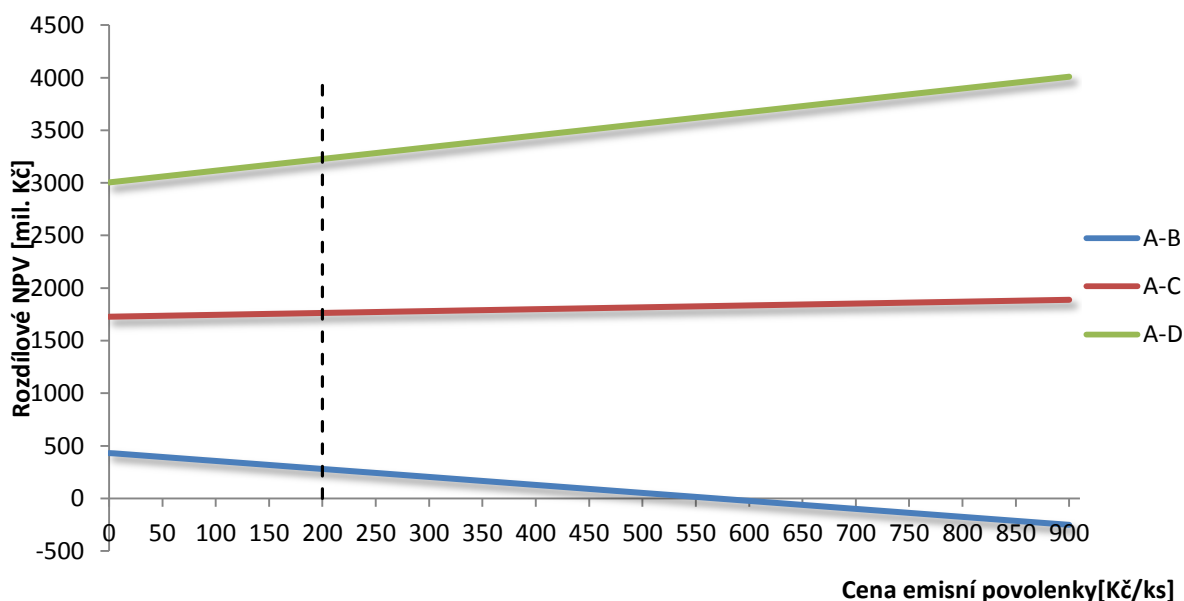


Graf 16: Závislost na dani z příjmu



#### 7.5.4. Cena emisních povolenek

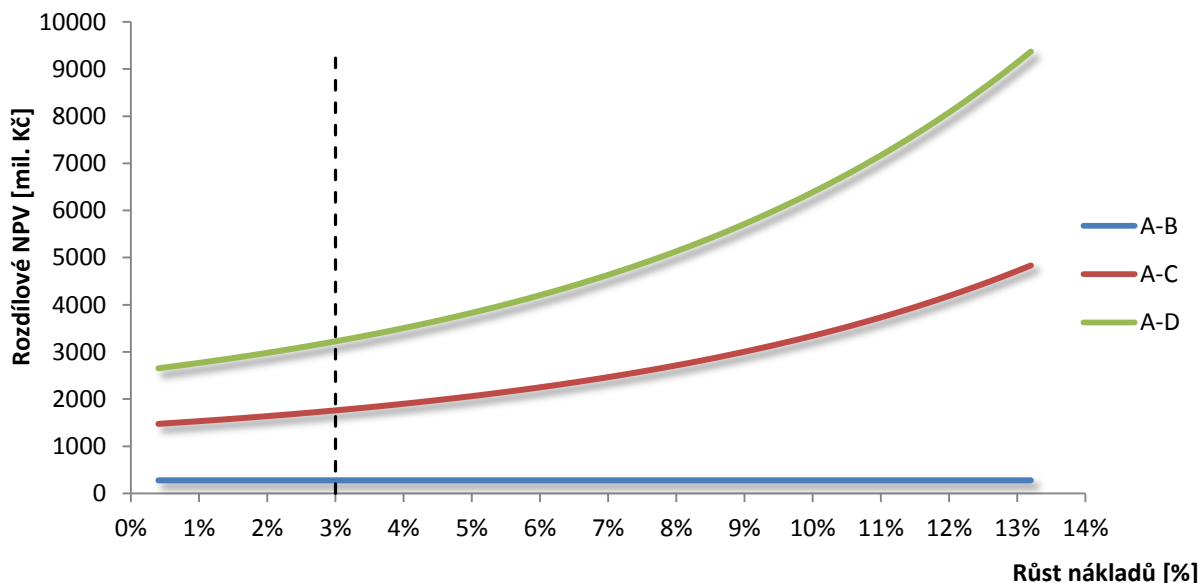
Emisní povolenky jsou v případě Sokolovské uhelné důležitým parametrem, jelikož zde dochází ke zpracování méně kvalitního hnědého uhlí a spalování zemního plynu. Emisní povolenky jsou další z legislativního rizika, jelikož Evropská komise do této problematiky zasahuje. V roce 2021 končí třetí obchodovací období, s nejistým výsledkem, neboť nebylo zatím vydáno žádné oficiální stanovisko. Z tohoto důvodu jsem do analýzy zvolil poměrně široký rozsah ceny emisních povolenek a počítám i se situací, že by emisní povolenky mohly být zrušeny úplně, i když v případě zrušení by byl jistě nastaven jiný nástroj na snižování emisí do ovzduší. Ze zobrazené situace v Graf 17 je patrné, že nedojde k ovlivnění výběru optimální varianty. S rostoucí cenou emisní povolenky dochází k ovlivnění ekonomické efektivity daných variant. V případě varianty A dochází s rostoucí cenou ke klesání nákladů na odstávku, jelikož ztráta z neuskutečněného zisku je nižší. Proto dojde k výměně varianty A a B při hodnotě emisní povolenky 550 Kč/ks, ale výběr optimální varianty není ovlivněn.



Graf 17: Závislost na ceně emisní povolenky

#### 7.5.5. Růst nákladů

Tento faktor zahrnuje rostoucí náklady na inspekce, které jsou prováděny společností GE Energy, ale také zahrnuje rostoucí náklady na těžbu a zpracování hnědého uhlí do výsledného energoplynu, jak již bylo zmíněno výše, tudíž se jedná o riziko výrobní.

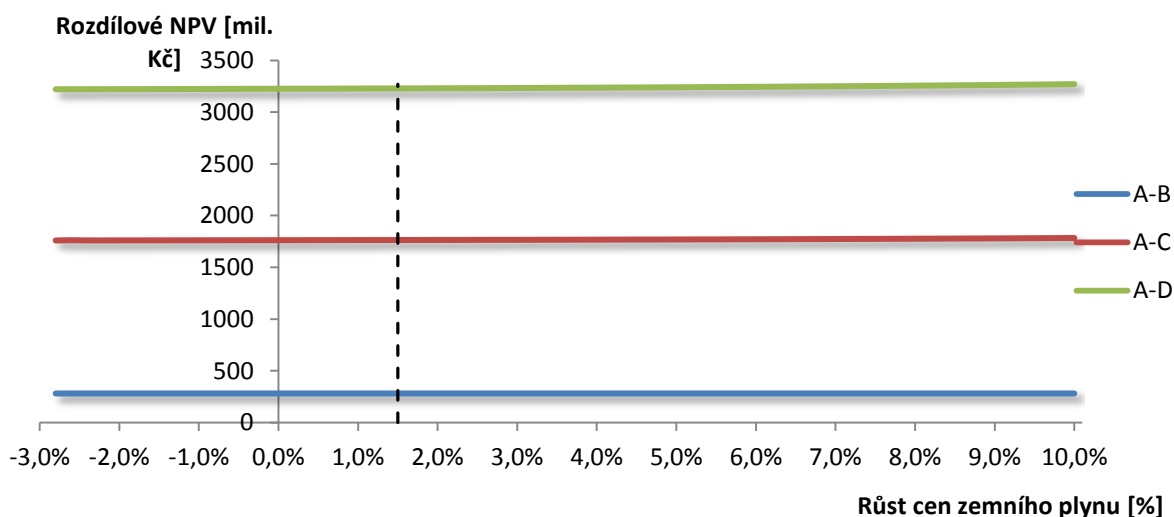


Graf 18: Závislost na růstu nákladů

Závislost růstu nákladů zvýhodňuje varianty, které využívají nového typu turbíny 9E.04, jelikož mají delší cykly mezi inspekcemi a tudíž dochází k úspoře.

### 7.5.6. Růst cen zemního plynu

Nyní se vracím k již dříve provedené predikci růstu ceny zemního plynu. Jelikož při stanovení eskalace jsem vycházel z trhu, který je v provozu pouze rok, bylo nezbytné zhodnotit dopad tohoto odhadu na výběr optimální varianty.



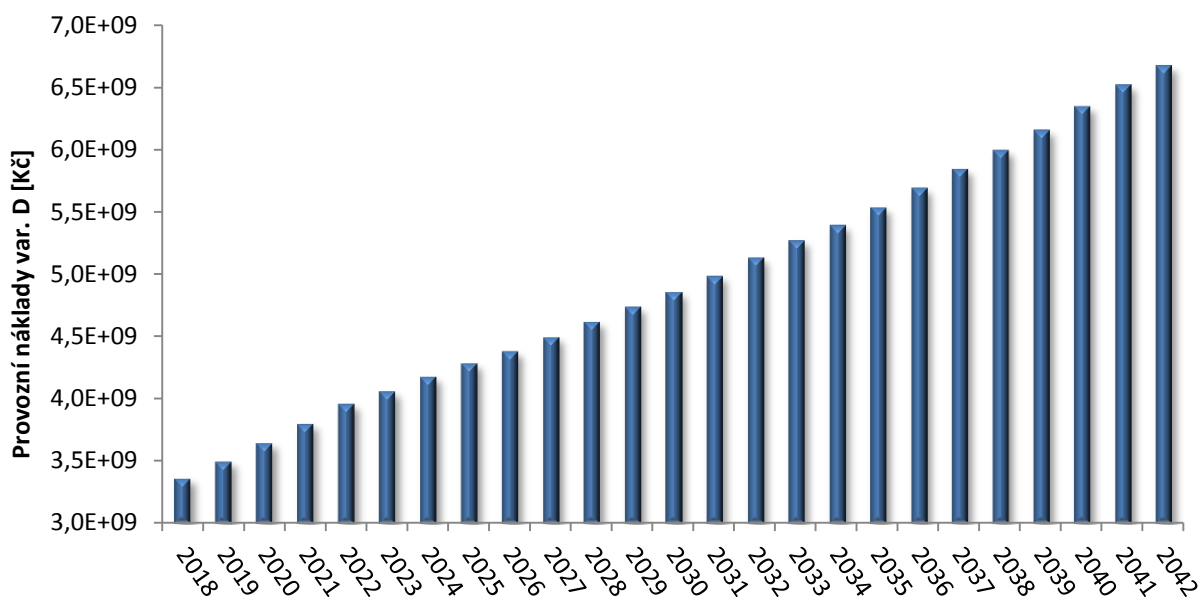
Graf 19: Závislost růstu cen zemního plynu

Z Graf 19 lze vyčíst, že stanovení ceny zemního plynu a jejího růstu v žádném případě neovlivní výběr optimálního řešení a ve velice malé míře ovlivňuje ekonomii

projektu. Pro obsazení všech možných variant jsem zvolil i případ klesající ceny, ale také bez většího vlivu na ekonomii.

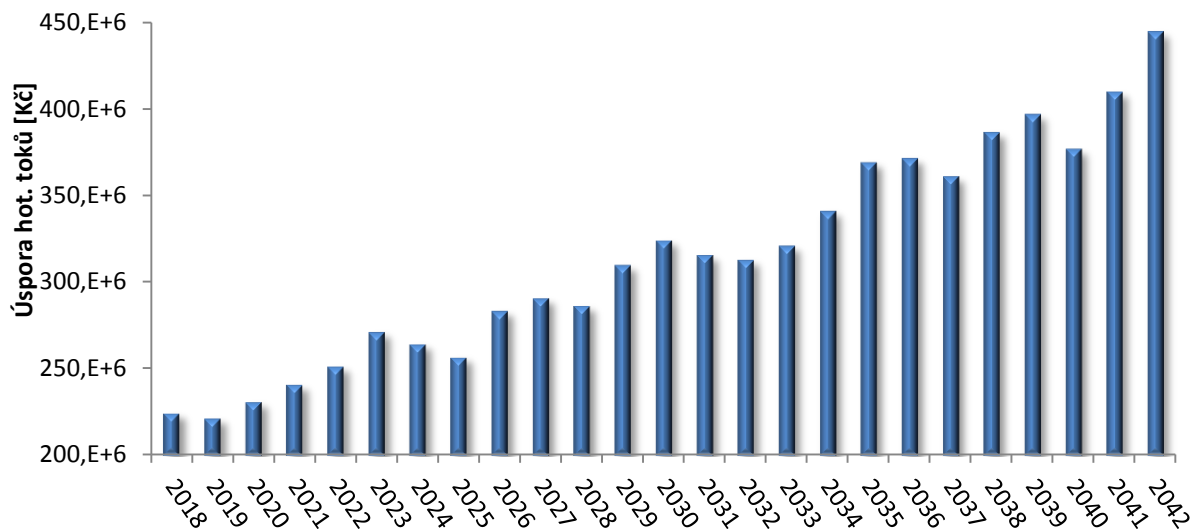
## 7.6. Návrh optimálního řešení

Při výběru optimální varianty vycházím z ekonomických výpočtů pomocí kritéria NPV a ze zohlednění rizik (finanční, legislativní, ekonomické a výrobní) v citlivostních analýzách zásadních parametrů. Při tomto zohlednění navrhuji zvolit variantu D, která má nejnižší hodnotu kritéria za dobu porovnání, a to 47,2 mld. Kč. Rovněž hodnocení rizik prokázalo, že změna zvolených parametrů v reálných mezích neovlivní výběr optimální varianty. Varianta D představuje výměnu obou spalovacích turbín za nové turbíny typu 9E.04, popřípadě pokud by to podrobnější měření současného kompresoru prokázala, je vhodné využít opraveného stávajícího kompresoru a snížit tím investiční náklady o 35,5 mil. Kč. Tím bychom danou variantu ještě více upřednostnili.



Graf 20: Provozní náklady varianty D

V Graf 20 jsou uvedeny provozní náklady varianty D, kterou jsem zvolil jako optimální řešení. Z grafu je patrný vzrůstající trend nákladů, jelikož zvolené eskalace nepočítají s poklesem cen hnědého uhlí, zemního plynu, prováděných inspekcí zařízení ani emisních povolenek. Dopady na výběr optimálního řešení jsou probrány v kapitole 7.5., str. 61. Pro přehlednější zobrazení úspory jsem zvolil rozdíl hotovostních toků (Graf 21) varianty A, která zobrazuje současný stav a varianty D - zvoleného optimálního řešení.



**Graf 21: Úspora provoz. hot. toků vůči variantě A**

V Graf 21 lze vidět porovnání variant A a D z hlediska provozních nákladů za dobu životnosti 200 000 provozních hodin. Rostoucí trend byl vysvětlen již dříve. Při bližším zkoumání však lze upozorovat, že jsou zde důležité také různě dlouhé cykly inspekcí, které způsobují odlišné hotovostní toky v průběhu let. Přesto hlavní rozdíl provozních nákladů mezi variantami tvoří měrná spotřeba paliv, která je u nových turbín o 5,9 % nižší a tudíž jsou i nižší náklady na paliva, které tvoří 89 % celkových provozních nákladů.

## 8. Závěr

---

Cílem diplomové práce je posouzení výměny spalovacích turbín v obou identických blocích paroplynové elektrárny Vřesová, patřící společnosti Sokolovská uhelná, právní nástupce a.s.

V první části práce jsem se zabýval současným stavem paroplynové elektrárny Vřesová. Konkrétně jsem se více zaměřil na spalovací turbíny 9E.03, které jsou jádrem výrobní technologie. Turbíny spalují energoplyn o výhřevnosti 11,7 MJ/m<sup>3</sup> a zemní plyn o výhřevnosti 34 MJ/m<sup>3</sup>, přičemž energoplyn je vyráběn ve zplyňovacích generátorech Lurgi. Bezprostředně navazující technologií na spalovací turbíny jsou spalinové kotle a parní turbíny, díky nimž dochází k lepšímu využití odpadního tepla a elektrárna jako celek může dosáhnout účinnosti až 54 % (brutto). Dvojice generátorů, které jsou součástí soustrojí se spalovací i parní turbínou jsou ve stavu, kdy musí dojít k jejich generální opravě, která bude současně spojena s výměnou spalovacích turbín. Případná výměny generátorů není předmětem hodnocení této práce. Jediným aspektem, kterým ovlivní řešenou úlohu, je doba trvání generální opravy generátorů v délce 8 týdnů. Proto je vhodné do této odstavky také začlenit i výměnu obou spalovacích turbín. Ostatní technologie jsou provozuschopné po celou dobu životnosti hodnocených variant (200 tis. provozních hodin) odpovídající době životnosti nových spalovacích turbín 9E.03 resp. 9E.04.

Po objasnění současného stavu posuzovaných technologií jsem se zaměřil na analýzu provozního režimu PPC Vřesová, který je také výchozím podkladem pro ekonomické hodnocení jednotlivých variant projektu. Uvažovaný kombinovaný režim, při kterém dochází jak k výrobě elektřiny do základního pásma zatížení ES ČR, tak i k poskytování vybraných podpůrných služeb v předem určeném výkonovém pásmu, které se pohybuje okolo bazického bodu od technického minima (75 MW/blok) až po technické maximum (187 MW/blok), je více než vhodný i pro kombinaci obou užívaných paliv. V tomto případě levný energoplyn pokrývá základní pásmo výroby elektřiny, zatímco zemní plyn, jakožto doplňující palivo, je využíván pro pokrývání požadavků podpůrných služeb. V současné době je jen asi 1 % dodávané energie vyrobeno ze zemního plynu.

Abychom docílili stavu, při kterém jsou základní provozní parametry spalovacích turbín (účinnost, spolehlivost) v čase téměř neměnné nebo změněné pouze v přijatelné míře, je nutné provádět pravidelné každoroční inspekce. Ty mají za účel odhalit opotřebení

dílů a jejich následnou výměnu. Bez těchto inspekcí by spalovací turbíny velice rychle ztrácely svou účinnost, čímž by u nich také rostla měrná spotřeba paliva, jak ukazuje Graf 7, str.44. Na tomto grafu lze názorně pozorovat důležitost prováděných inspekcí. Pro spalovací turbínu 9E.03 je cyklus inspekcí šestiletý, přičemž inspekce typu MI, která je nejrozsáhlejší představuje přibližně 1 % provozních nákladů. Pokud by však nebyly inspekce prováděny, ovlivnilo by to měrnou spotřebu paliva, která se podílí přibližně 89 % na celkových provozních nákladech. Z toho plyne, že neuskutečněním nákladově přijatelné inspekce bychom několikanásobně zvýšili provozní náklady vlivem zvýšené spotřeby paliv.

Poslední stěžejní částí práce bylo samotné ekonomické zhodnocení návrhu variant řešení a výběr optimální varianty při uvažování kritéria NPV včetně podrobné citlivostní analýzy možných rizik. Základem návrhu řešení jsou čtyři možné varianty výměny spalovacích turbín. Základní varianta A předpokládá generální opravu spalovacích turbín obou bloků, přičemž provozní náklady jsou shodné se současnou situací. Varianta B počítá s generální opravou jedné z turbín a koupí nové turbíny stejného typu. Tímto bychom docílili shodných hotovostních toků, ale byla by prodloužena doba životnosti na 200 tis. provozních hodin a tudíž by se na jednom stroji nemusela provádět dodatečná generální oprava. Varianta C počítá již s uvedením do provozu nového typu spalovací turbíny 9E.04. Vyšší investiční náklady tohoto řešení jsou kompenzovány nižší měrnou spotřebou turbíny ovlivňující celkovou spotřebu paliva, nižším množstvím emisních povolenek, jakož i prodloužením cyklu inspekcí, čímž dochází k úspoře provozních nákladů. Poslední varianta D spočívá v nahrazení obou spalovacích turbín již zmíněným novým typem 9E.04.

Jednotlivé varianty jsou odlišné především buď nutností nových investic, či pouhou generální opravou. V případě generální opravy se sice dosáhne nižších celkových nákladů v roce výměny (náklady na GO jsou nižší než investiční náklady nové turbíny), avšak životnost turbín se prodlouží pouze na 100 tis. provozních hodin. Proto je uvažováno ještě s jednou generální opravou. S ohledem na charakter kritéria, bylo nezbytné určit množství elektrické energie vyrobené spalovacími turbínami. Tato hodnota byla stanovena na základě dlouhodobého trendu výroby na 1 320 000 MWh/rok. Z této hodnoty jsem dále určil pomocí měrné spotřeby paliva jednotlivých typů spalovacích turbín potřebné množství paliva (mix zemní plyn a energoplyn), a tomu odpovídající množství potřebných emisních povolenek. Z těchto hodnot jsem určil celkové provozní náklady turbín a zhodnotil jednotlivé varianty. V případě faktoru času jsem využil hodnoty WACC, kde jsem použil také modelu CAPM pro stanovení nákladu vlastního kapitálu. Konečná hodnota

WACC, s kterou jsem počítal, činila 5,92 %. V následující tabulce je provedeno porovnání jednotlivých variant.

	Varianta A	Varianta B	Varianta C	Varianta D
<b>Kritérium NPV [mld. Kč]</b>	50,4	50,2	48,7	47,2
<b>Roční ekvivalentní hodnota hotovostní tok [mil. Kč/rok]</b>	3,89	3,9	3,8	3,67
<b>Rozdílové hodnocení</b>	<b>Rozdíl NPV</b>	<b>Rozdíl RCF</b>	<b>Roční úspora paliva</b>	<b>Doba návratnosti [roky]</b>
<b>A-B [mil. Kč]</b>	222	17	Shodné hotovostní toky	Shodné hotovostní toky
<b>A-C [mil. Kč]</b>	1 705	132	94	8
<b>A-D [mil. Kč]</b>	3 170	246	188	6

**Tab. 19: Závěrečné porovnání variant**

Ze závěrečného porovnání vyplývá, že z hlediska kritéria NPV, které vychází z hotovostních toků, zvolíme za optimální variantu D. V té se sice uvažuje s nejvyššími investičními náklady ve výši 1,031 mld. Kč, ale vlivem snížení měrné spotřeby paliva o 5,9 % jsou zde dosahovány nejnižší provozní náklady. Tím se při době porovnání 25 let vykompenzují vysoké investiční náklady. Vzhledem k získaným úsporám se tato varianta splatí za 6 let ve srovnání se současnými hotovostními toky a proto je také doporučena jako optimální. Vzhledem k dobrému stavu kompresoru bloku 1 navrhuji tuto variantu dodatečně upravit. Tím by došlo k úspoře na investičních nákladech, jelikož díky modulovému sestavování spalovacích turbín navrhuji zakoupit pouze nový modul se samotnou turbínou (část konající práci) a využít starého kompresoru, který by vyžadoval pouze generální opravu. V takovémto případě by došlo k úspoře 35,5 mil. Kč. Tato varianta vyhovuje také i z hlediska analýzy vlivu možných finančních, ekonomických, výrobních či legislativních rizik (citlivostní analýza). Podrobeno zkoumání bylo celkem šest parametrů (WACC, daň z příjmu, cena energoplynu => úměrná ceně uhlí, cena emisních povolenek, růst nákladů => úměrný růstu cen hnědého uhlí a růst cen zemního plynu), přičemž se prokázala závislost na výběru jiné optimální varianty pouze při posuzování vlivu změny WACC. Do hodnoty 51 % je stále vybrána jako optimální varianta D, ale nad hodnotou vyšší než 51 %, dojde k výběru varianty C jako optimální, přičemž dosažení hodnoty 51 % je velice nepravděpodobné.

## Seznam obrázků

---

Obr. 1: Pohled na PPC Vřesová, zdroj [23] .....	9
Obr. 2: Řez spalovací turbínou FRAME PG 9171, zdroj [9] .....	12
Obr. 3: Spalovací komory, zdroj [27] .....	13
Obr. 4: Spalinový kotel, zdroj [26] .....	14
Obr. 5: Tepelné schéma PPC Vřesová.....	17
Obr. 6: Průběh certifikace žadatele, zdroj ČEPS, a.s.....	21
Obr. 7: P/Q diagram generátorů Vřesová, zdroj [12] .....	24
Obr. 8: Schéma rozložení výkonu u bloku Vřesová a) Vyčerpání sekundárního pásma b) Posun BB vlivem MZ+, MZ- a SV30 .....	26
Obr. 9: Výkonový diagram PPC Vřesová .....	29
Obr. 10: Poměrné zastoupení subjektů ve výběrovém řízení Pps pro rok 2015.....	30
Obr. 11: Rozsah inspekcí.....	35
Obr. 12: Rozdíl mezi současnou a novou turbínou, zdroj [10] .....	49
Obr. 13: Poškození spalovací turbíny cizím předmětem, zdroj [11] .....	77
Obr. 14: Praskliny - sací část turbíny, zdroj [11] .....	77



# Seznam tabulek

---

Tab. 1: Parametry spalínového kotle.....	15
Tab. 2: Technické parametry parní turbíny .....	16
Tab. 3: Generátor pro parní turbínu.....	16
Tab. 4: Generátor pro spalovací turbínu .....	16
Tab. 5: Základní parametry PPC Vřesová.....	18
Tab. 6: Provozní parametry PPC Vřesová .....	18
Tab. 7: Složení uhlí (%).....	19
Tab. 8: Charakteristické složení plynů .....	19
Tab. 9: Vybrané údaje z protokolu certifikačního měření.....	22
Tab. 10: Provoz plynové turbíny.....	33
Tab. 11: Výběr z CI inspekce, zdroj [10].....	36
Tab. 12: Regulační energie za rok 2014.....	37
Tab. 13: Přehled spotřeby paliva .....	39
Tab. 14: Výpočet Emisí CO <sub>2</sub> .....	41
Tab. 15: Šestiletý cyklus inspekcí.....	42
Tab. 16: Cyklus inspekcí 9E.04 .....	49
Tab. 17: Kombinace turbín .....	60
Tab. 18: Porovnání variant .....	61
Tab. 19: Závěrečné porovnání variant.....	70

# Seznam grafů

---

Graf 1: Závislost doby životnosti rotoru turbíny .....	32
Graf 2: Náběhová křivka turbíny .....	33
Graf 3: Výroba elektrické energie V PPC Vřesová v letech 2005-2014 .....	38
Graf 4: Výroba el. en. v PPC Vřesová - rozdělena do měsíců (2012) .....	38
Graf 5: Roční provozní náklady v šestiletém cyklu .....	42
Graf 6: Porovnání účinnosti spalovací turbíny .....	44
Graf 7: Porovnání měrné spotřeby spalovací turbíny .....	44
Graf 8: Míra inflace, zdroj [13] .....	52
Graf 9: Kurz CZK/USD, zdroj [15] .....	53
Graf 10: Kurz CZK/EUR, zdroj [21] .....	53
Graf 11: Vývoj ceny emisní povolenky, zdroj [16] .....	55
Graf 12: Vývoj ceny dodávky elektřiny, zdroj [20] .....	57
Graf 13: Vývoj ceny zemního plynu PXE, kurzy.cz .....	58
Graf 14: Závislost na WACC .....	62
Graf 15: Závislost na ceně energoplynu .....	63
Graf 16: Závislost na dani z příjmu .....	63
Graf 17: Závislost na ceně emisní povolenky .....	64
Graf 18: Závislost na růstu nákladů .....	65
Graf 19: Závislost růstu cen zemního plynu .....	65
Graf 20: Provozní náklady varianta D .....	66
Graf 21: Úspora provoz. hot. toků vůči variantě A .....	67

## Zdroje

---

- [1] VASTL, Jaromír. *Management a ekonomika energetických soustav*. (přednášky) Praha: ČVUT, 2015.
- [2] STARÝ, Oldřich. *Finanční management*. (přednášky) Praha: ČVUT, 2014.
- [3] VAŠÍČEK, Jiří. *Finanční účetnictví*. (přednášky) Praha: ČVUT, 2013.
- [4] BENEŠ, Martin. *Výroba energie*. (přednášky) Praha: ČVUT, 2013.
- [5] KODEX PŘENOSOVÉ SOUSTAVY, Část II. *Podpůrné služby (PpS)*, 2014, [date of last update 2014]. Čeps,a.s., [online] Dostupné z [http://www.ceps.cz/CZE/Data/Legislativa/Kodex/Documents/%C4%8C%C3%A1stII\\_14\\_fin.pdf](http://www.ceps.cz/CZE/Data/Legislativa/Kodex/Documents/%C4%8C%C3%A1stII_14_fin.pdf)
- [6] SEK. Aktualizace státní energetické koncepce. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu*, 08-2012 Praha [cit. 8.3.2014]. [online] Dostupné z <http://www.mpo.cz/assets/cz/2012/11/ASEK.pdf>
- [7] SYNEK, Miloslav a Eva KISLINGEROVÁ. *Podniková ekonomika*. 5., přeprac. a dopl. vyd. Praha: C.H. Beck, 2010, xxv, 445 s. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 978-80-7400-336-3.
- [8] BALEVIČ, David a BURGER, Robert. *Heavy-Duty Gas Turbine Operating and Maintenance Considerations*, 53 s., Atlanta: GE Energy, 2005
- [9] KOLEKTIV AUTORŮ. *Extra Work Proposal for 9e Four Stage Turbine Flange to Flange Replacement, Turbine Module and Compressor Rotor Refurbishment*, 36 s., Atlanta: GE Energy, proposal: CQ584426A, 2013
- [10] HUTTON, David. *MS9001E COMBUSTION INSPECTION to SOKOLOVSKA UHELNA, PRAVNI NASTUPCE, AS – DIVIZE SL*, 71 s., Atlanta: GE Energy, Oracle Project Id: 157977, 10.7.2014
- [11] KOLEKTIV AUTORŮ. *Gas Turbine Component Condition Report*, 19 s., Atlanta: GE Power and Water, Job Number: 36359, 10.2.2015
- [12] Sokolovská uhelná, právní nástupce a.s., Interní materiály společnosti, osobní setkání s David Najvar (vedoucí sekce obchod s energiemi), Petr Stanka (vedoucí sekce PPC)
- [13] Míra inflace. In: *Český statistický úřad* [online]. 2015 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/mira\\_inflace](https://www.czso.cz/csu/czso/mira_inflace).
- [14] Zpráva o inflaci. In: *Česká národní banka* [online]. 2015 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z:

[https://www.cnb.cz/miranda2/export/sites/www.cnb.cz/cs/menova\\_politika/zpravy\\_o\\_inflaci/2015/2015\\_I/download/zoi\\_I\\_2015.pdf](https://www.cnb.cz/miranda2/export/sites/www.cnb.cz/cs/menova_politika/zpravy_o_inflaci/2015/2015_I/download/zoi_I_2015.pdf).

- [15] Kurzy devizového trhu. In: *Česká národní banka* [online]. 2015 [cit. 2015-03-30].  
Dostupné z:  
[http://www.cnb.cz/cs/financni\\_trhy/devizovy\\_trh/kurzy\\_devizoveho\\_trhu/prumern\\_e\\_mena.jsp?mena=USD](http://www.cnb.cz/cs/financni_trhy/devizovy_trh/kurzy_devizoveho_trhu/prumern_e_mena.jsp?mena=USD).
- [16] EEX. In: *European Energy Exchange AG* [online]. 2015 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z:  
<http://www.eex.com/en/market-data/emission-allowances/auction-market/european-emission-allowances-auction/european-emission-allowances-auction-download>
- [17] POPELKOVÁ, Pavla. *Technicko-ekonomické posouzení výměny kouřových ventilátorů v elektrárně Mělník II*. Praha, 2013. Diplomová práce (Ing.). České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd. Vedoucí práce Václav Fialka
- [18] BARROSO, Manuel José. *NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č.176/2014*. Změna nařízení (EU) č. 1031/2010 zejména s cílem stanovit objem povolenek na emise skleníkových plynů, které se mají dražit v období 2013-2020. Brusel: 25. 2. 2014, Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0176&from=EN>
- [19] Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s. *Zpráva o hospodaření za rok 2013*. [online]. 2015 [cir. 2015-03-31]. Dostupné z:  
[http://suas.cz/uploads/517855890539d383f1057c\\_Hospodarske\\_vysledky\\_2013.pdf](http://suas.cz/uploads/517855890539d383f1057c_Hospodarske_vysledky_2013.pdf)
- [20] Statistika ceny dodávky. In: *Power Exchange Central Europe* [online]. 2015 [cir. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.pxe.cz/dokument.aspx?k=Statistika>
- [21] Kurzy devizového trhu. In: *Česká národní banka* [online]. 2015 [cit. 2015-03-30].  
Dostupné z:  
[http://www.cnb.cz/cs/financni\\_trhy/devizovy\\_trh/kurzy\\_devizoveho\\_trhu/prumern\\_e\\_mena.jsp?mena=EUR](http://www.cnb.cz/cs/financni_trhy/devizovy_trh/kurzy_devizoveho_trhu/prumern_e_mena.jsp?mena=EUR)
- [22] Total beta by industry sector. In: *Damodaran Online* [online]. 2015 [cit. 2015-08-04].  
Dostupné z: <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>
- [23] BUČKO, Zdeněk. *Nové technologie*. Sokolov, 2010. Učební texty. 119 s.

- [24] HRONÍČEK, David. *Analýza provozních podmínek paroplynové elektrárny Vřesová*. Praha, 2013. Bakalářská práce (Bc.). ČVUT v Praze. Fakulta elektrotechnická, katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd. Vedoucí práce Milan Jäger.
- [25] Zpráva o provozu ES ČR 2013. In: *ERU* [online]. 2015 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni\\_zprava\\_provoz\\_ES\\_2013.pdf/20c3f587-a658-49f7-ace9-56be8a66b7b9](http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2013.pdf/20c3f587-a658-49f7-ace9-56be8a66b7b9)
- [26] STANKO, Petr. *Provozní předpis Kotel PPC*. 3. Revize, Vřesová, 76 s. 15. 9. 2010. č. dokumentu 000.PPR.PPC.PPC.004.04
- [27] STANKO, Petr. *Provozní předpis plynové turbíny Frame PG 9171*. 3. Revize, Vřesová, 115 s. 26. 10. 2010. č. dokumentu 000.PPR.PPC.PPC.024.04

## Příloha 1 – Poškození turbíny

---



Obr. 13: Poškození spalovací turbíny cizím předmětem, zdroj [11]



Obr. 14: Praskliny - sací část turbíny, zdroj [11]

## Příloha 2 – Provozní náklady variantních řešení

### Varianta A – Provozní hotovostní toky

Varianta A	0	1	2
Náklady prostoje (Kč)	232 098 476 Kč		
Náklady na opravu 9E.03(Kč)	315 000 000 Kč		
Náklady na opravu 9E.03(Kč)	315 000 000 Kč		
<b>Provozní náklady</b>			
Cena energoplynu (Kč)		3 155 307 692	3 249 966 923
Cena zemní plyn (Kč)		37 290 000	37849350
Cena emisních povolenek (Kč)		374 999 128	423749015,1
Inspekce (Kč)		19 215 000	7 786 800
<b>Celkové provozní náklady (Kč)</b>		<b>3 586 811 822</b>	<b>3719352090</b>
Daňový štít (Kč)		753230482,6	781063938,9
<b>Provozní hotovostní tok (Kč)</b>	<b>862 098 476 Kč</b>	<b>2 833 581 339 Kč</b>	<b>2938288151</b>

### 3 4 5 6

3 347 465 931	3 447 889 909	3 551 326 606	3 657 866 404
38417090,25	38993346,6	39578246,8	40171920,5
478836387	541085117,4	611426182,6	611426182,6
12 698 973	13 079 942	8 508 847	22 275 451
<b>3877418384</b>	<b>4041048315</b>	<b>4210839882</b>	<b>4331739959</b>
814257860,7	848620146,1	884276375,2	909665391,3
<b>3063160523</b>	<b>3192428169</b>	<b>3326563507</b>	<b>3422074567</b>

### 7 8 9 10 11

3 767 602 396	3 880 630 468	3 997 049 382	4 116 960 864	4 240 469 690
40774499,31	41386116,8	42006908,55	42637012,18	43276567,37
611426182,6	611426182,6	611426182,6	611426182,6	611426182,6
22 943 715	9 297 846	15 163 238	15 618 135	10 160 008
<b>4442746793</b>	<b>4542740614</b>	<b>4665645711</b>	<b>4786642193</b>	<b>4905332447</b>
932976826,5	953975528,9	979785599,4	1005194861	1030119814
<b>3509769967</b>	<b>3588765085</b>	<b>3685860112</b>	<b>3781447333</b>	<b>3875212633</b>

12	13	14	15	16
	Oprava 9E.03(Kč)	<b>315 000 000 Kč</b>		
	Oprava 9E.03(Kč)	<b>315 000 000 Kč</b>		
4 367 683 780	4 498 714 294	4 633 675 722	4 772 685 994	4 915 866 574
43925715,88	44584601,61	45253370,64	45932171,2	46621153,77
611426182,6	611426182,6	611426182,6	611426182,6	611426182,6
26 598 054	27 395 995	11 102 115	18 105 699	18 648 870
<b>5049633733</b>	<b>5182121073</b>	<b>5 301 457 391</b>	<b>5448150047</b>	<b>5592562780</b>
1060423084	1088245425	1113306052	1144111510	1174438184
<b>3989210649</b>	<b>4093875648</b>	<b>4 818 151 339</b>	<b>4304038537</b>	<b>4418124596</b>

17	18	19	20	21
5 063 342 571	5 215 242 848	5 371 700 134	5 532 851 138	5 698 836 672
47320471,07	48030278,14	48750732,31	49481993,29	50224223,19
611426182,6	611426182,6	611426182,6	611426182,6	611426182,6
12 131 581	31 759 467	32 712 251	13 256 506	21 619 151
<b>5734220806</b>	<b>5906458776</b>	<b>6064589300</b>	<b>6207015819</b>	<b>6382106229</b>
1204186369	1240356343	1273563753	1303473322	1340242308
<b>4530034436</b>	<b>4666102433</b>	<b>4791025547</b>	<b>4903542497</b>	<b>5041863921</b>

22	23	24	25
5 869 801 772	6 045 895 825	6 227 272 700	6 414 090 881
50977586,54	51742250,34	52518384,1	53306159,86
611426182,6	611426182,6	611426182,6	611426182,6
22 267 726	14 485 742	37 922 465	39 060 139
<b>6554473267</b>	<b>6723550000</b>	<b>6929139732</b>	<b>7117883362</b>
1376439386	1411945500	1455119344	1494755506
<b>5178033881</b>	<b>5311604500</b>	<b>5474020388</b>	<b>5 623 127 856 Kč</b>



## Varianta B – Provozní hotovostní toky

<b>Varianta B</b>		<b>0</b>	<b>1</b>		
Investice 9E.03 (Kč)		<b>480 598 000 Kč</b>			
Oprava 9E.03 (Kč)		<b>315 000 000 Kč</b>			
<b>Provozní náklady</b>					
Cena energoplynu (Kč)				3 155 307 692	
Cena zemní plyn (Kč)				37 290 000	
Cena emisních povolenek (Kč)				374 999 128	
Inspekce (Kč)				19 215 000	
<b>Celkové provozní náklady (Kč)</b>				<b>3 586 811 820,70 Kč</b>	
Odpisy (Kč)				26 432 890	
Daňový štít (Kč)				758 781 389	
<b>Provozní hotovostní tok (Kč)</b>		<b>795 598 000 Kč</b>		<b>2 828 030 431,45 Kč</b>	
<b>2</b>					
<b>3</b>					
<b>4</b>					
<b>5</b>					
	3 249 966 923	3 347 465 931	3 447 889 909	3 551 326 606	
	37849350	38417090,25	38993346,6	39578246,8	
	423749015,1	478836387	541085117,4	611426182,6	
	7786800	12698973	13079942,19	8508846,604	
	<b>3719352088</b>	<b>3877418381</b>	<b>4041048315</b>	<b>4210839882</b>	
	50462790	50462790	50462790	50462790	
	791661124,4	824855045,9	859217332	894873561,1	
	<b>2927690964</b>	<b>3052563335</b>	<b>3181830983</b>	<b>3315966321</b>	
<b>6</b>					
<b>7</b>					
<b>8</b>					
<b>9</b>					
<b>10</b>					
	3 657 866 404	3 767 602 396	3 880 630 468	3 997 049 382	4 116 960 864
	40171920,5	40774499,31	41386116,8	42006908,55	42637012,18
	611426182,6	611426182,6	611426182,6	611426182,6	611426182,6
	22275451,34	22943714,88	9297846,423	15163237,87	15618135,01
	<b>4331739959</b>	<b>4442746793</b>	<b>4542740614</b>	<b>4665645711</b>	<b>4786642193</b>
	50462790	50462790	50462790	50462790	50462790
	920262577,2	943574012,4	964572714,8	990382785,3	1015792047
	<b>3411477381</b>	<b>3499172781</b>	<b>3578167899</b>	<b>3675262926</b>	<b>3770850147</b>

11	12	13	14	15
		Oprava 9E.03 (Kč)	315 000 000 Kč	
4 240 469 690	4 367 683 780	4 498 714 294	4 633 675 722	4 772 685 994
43276567,37	43925715,88	44584601,61	45253370,64	45932171,2
611426182,6	611426182,6	611426182,6	611426182,6	611426182,6
10160007,83	26598053,83	27395995,44	11102114,87	18105699,01
<b>4905332447</b>	<b>5049633733</b>	<b>5182121073</b>	<b>5301457391</b>	<b>5448150047</b>
1030119814	1060423084	1088245425	1113306052	1144111510
<b>3875212633</b>	<b>3989210649</b>	<b>4093875648</b>	<b>4 503 151 339</b>	<b>4304038537</b>

16	17	18	19	20
4 915 866 574	5 063 342 571	5 215 242 848	5 371 700 134	5 532 851 138
46621153,77	47320471,07	48030278,14	48750732,31	49481993,29
611426182,6	611426182,6	611426182,6	611426182,6	611426182,6
18648869,98	12131580,68	31759467,25	32712251,27	13256505,76
<b>5592562780</b>	<b>5734220806</b>	<b>5906458776</b>	<b>6064589300</b>	<b>6207015819</b>
1174438184	1204186369	1240356343	1273563753	1303473322
<b>4418124596</b>	<b>4530034436</b>	<b>4666102433</b>	<b>4791025547</b>	<b>4903542497</b>

21	22	23	24	25
5 698 836 672	5 869 801 772	6 045 895 825	6 227 272 700	6 414 090 881
50224223,19	50977586,54	51742250,34	52518384,1	53 306 160
611426182,6	611426182,6	611426182,6	611426182,6	611 426 183
21619151,48	22267726,02	14485741,77	37922464,81	39 060 139
<b>6382106229</b>	<b>6554473267</b>	<b>6723550000</b>	<b>6929139732</b>	<b>7 117 883 362</b>
			<b>Kč</b>	
1340242308	1376439386	1411945500	1455119344	1 494 755 506
<b>5041863921</b>	<b>5178033881</b>	<b>5311604500</b>	<b>5474020388</b>	<b>5 623 127 856</b>

## Varianta C – provozní hotovostní toky

Varianta C	0	1
Investice 9E.04 (Kč)	515 500 000 Kč	
Oprava 9E.03 (Kč)	315 000 000 Kč	
<b>Provozní náklady</b>		
Cena energoplynu (Kč)		3 062 226 115 Kč
Cena zemní plyn (Kč)		36 189 945 Kč
Cena emisních povolenek (Kč)		362827581,2
Inspekce 9E.03 (Kč)		3780000
Inspekce 9E.04 (Kč)		3780000
<b>Celkové provozní náklady (Kč)</b>		<b>3 468 803 642 Kč</b>
Odpisy (Kč)		28352500
Daňový štít (Kč)		734402789,7
<b>Provozní hotovostní tok (Kč)</b>	<b>830 500 000 Kč</b>	<b>2 734 400 852 Kč</b>

	2	3	4	5
	3154092899	3248715686	3346177156	3446562471
	36732794,18	37283786,09	37843042,88	38410688,52
	409995166,8	463294538,4	523522828,4	591580796,1
	3893400	8688771	4130508,06	4254423,302
	3893400	4010202	8949434,13	4254423,302
	<b>3608607660</b>	<b>3761992983</b>	<b>3920622970</b>	<b>4085062802</b>
	54127500	54127500	54127500	54127500
	769174383,6	801385301,5	834697598,7	869229963,5
	<b>2 839 433 276 Kč</b>	<b>2 960 607 682 Kč</b>	<b>3 085 925 371 Kč</b>	<b>3 215 832 839</b>

	6	7	8	9	10
	3549959345	3656458126	3766151869	3879136425	3995510518
	38986848,85	39571651,58	40165226,36	40767704,75	41379220,32
	591580796,1	591580796,1	591580796,1	591580796,1	591580796,1
	17893395,34	4513517,681	4648923,211	10374846,97	4932042,635
	4382056,001	4513517,681	18983103,11	4788390,908	4932042,635
	<b>4202802442</b>	<b>4296637609</b>	<b>4421529918</b>	<b>4526648164</b>	<b>4638334620</b>
	54127500	54127500	54127500	54127500	54127500
	893955287,7	913660672,8	939888057,8	961962889,5	985417045,2
	<b>3 308 847 154</b>	<b>3 382 976 936</b>	<b>3 481 641 860</b>	<b>3 564 685 275</b>	<b>3 652 917 575</b>

11	12	13	14	15
		Oprava 9E.03 (Kč)	315 000 000 Kč	
4115375834	4238837109	4366002222	4496982289	4631891757
41999908,63	42629907,26	43269355,87	43918396,2	44577172,15
591580796,1	591580796,1	591580796,1	591580796,1	591580796,1
5080003,914	21365649,79	5389376,152	5551057,437	12388109,85
5080003,914	11336875,4	5389376,152	5551057,437	5717589,16
<b>4759116546</b>	<b>4905750337</b>	<b>5011631126</b>	<b>5458583596</b>	<b>5286155425</b>
999414474,7	1030207571	1052442537	1146302555	1110092639
3759702072	3875542766	3959188590	4312281041	4176062785
16	17	18	19	20
4770848510	4913973965	5061393184	5213234980	5369632029
45245829,73	45924517,18	46613384,93	47312585,71	48022274,49
591580796,1	591580796,1	591580796,1	591580796,1	591580796,1
5889116,835	6065790,34	25511703,2	6435196,971	6628252,881
24047227,08	6065790,34	6247764,05	6435196,971	14361214,57
<b>5437611480</b>	<b>5563610859</b>	<b>5731346833</b>	<b>5864998756</b>	<b>6030224567</b>
1141898411	1168358280	1203582835	1231649739	1266347159
4295713069	4395252579	4527763998	4633349017	4763877408
21	22	23	24	25
5530720990	5696642620	5867541898	6043568155	6224875200
48742608,61	49473747,74	50215853,96	50969091,76	51733628,14
591580796,1	591580796,1	591580796,1	591580796,1	591580796,1
14792051,01	7031913,481	7242870,885	30462307,8	7683961,722
6827100,467	7031913,481	7242870,885	30462307,8	7683961,722
<b>6192663546</b>	<b>6351760991</b>	<b>6523824290</b>	<b>6747042659</b>	<b>6 883 557 548</b>
			<b>Kč</b>	
1300459345	1333869808	1370003101	1416878958	1 445 547 085
4892204202	5017891183	5153821189	5330163700	5438010463

## Varianta D – provozní hotovostní toky

Varianta D	0	1
Investice 9E.04 (Kč)	515 500 000 Kč	
Investice 9E.04 (Kč)	515 500 000 Kč	
<b>Provozní náklady</b>		
Cena energoplynu (Kč)		2969144538
Cena zemní plyn (Kč)		35089890
Cena emisních povolenek (Kč)		350656034
Inspekce (Kč)		7560000
<b>Celkové provozní náklady (Kč)</b>		<b>3 362 450 462 Kč</b>
Odpisy (Kč)		56705000
Daňový štít (Kč)		718022647,1
<b>Provozní hotovostní tok (Kč)</b>	<b>1 031 000 000 Kč</b>	<b>2 644 427 815 Kč</b>

2	3	4	5
---	---	---	---

3058218875	3149965441	3244464404	3341798336
35616238,35	36150481,93	36692739,15	37243130,24
396241318,4	447752689,8	505960539,5	571735409,7
7786800	12698973	13079942,19	8508846,604
<b>3497863231</b>	<b>3646567586</b>	<b>3800197625</b>	<b>3959285723</b>
108255000	108255000	108255000	108255000
757284828,6	788512743	820775051,2	854183551,8
2740578403	2858054843	2979422574	3105102171

6	7	8	9	10
---	---	---	---	----

3442052286	3545313855	3651673271	3761223469	3874060173
37801777,2	38368803,85	38944335,91	39528500,95	40121428,46
571735409,7	571735409,7	571735409,7	571735409,7	571735409,7
8764112,002	22943714,88	23632026,32	9576781,815	9864085,27
<b>4060353585</b>	<b>4178361783</b>	<b>4285985042</b>	<b>4382064161</b>	<b>4495781096</b>
108255000	108255000	108255000	108255000	108255000
875407802,9	900189524,5	922790408,9	942967023,8	966847580,2
3184945782	3278172259	3363194634	3439097137	3528933516

11	12	13	14	15
3990281978	4109990437	4233290150	4360288855	4491097520
40723249,89	41334098,64	41954110,12	42583421,77	43222173,1
571735409,7	571735409,7	571735409,7	571735409,7	571735409,7
16086679,06	16569279,43	10778752,3	11102114,87	29064411,56
<b>4618827316</b>	<b>4739629225</b>	<b>4857758422</b>	<b>4985709801</b>	<b>5135119515</b>
969953736,5	995322137,2	1020129269	1046999058	1078375098
3648873580	3744307088	3837629154	3938710743	4056744417

16	17	18	19	20
4625830446	4764605359	4907543520	5054769826	5206412921
43870505,69	44528563,28	45196491,73	45874439,1	46562555,69
571735409,7	571735409,7	571735409,7	571735409,7	571735409,7
29936343,91	12131580,68	12495528,1	20378123,74	20989467,46
<b>5271372705</b>	<b>5393000913</b>	<b>5536970950</b>	<b>5692757798</b>	<b>5845700353</b>
1106988268	1132530192	1162763899	1195479138	1227597074
4164384437	4260470721	4374207050	4497278661	4618103279

21	22	23	24	25
5362605308	5523483468	5689187972	5859863611	6035659519
47260994,03	47969908,94	48689457,57	49419799,43	50161096,43
571735409,7	571735409,7	571735409,7	571735409,7	571735409,7
13654200,93	14063826,96	36817927	37922464,81	15367923,44
<b>5995255913</b>	<b>6157252613</b>	<b>6346430766</b>	<b>6518941285</b>	<b>6672923949</b>
1259003742	1293023049	1332750461	1368977670	1401314029
4736252171	4864229564	5013680305	5149963615	5271609919