

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2341 Profesní bakalářské studium
Studijní zaměření: Zabezpečování jakosti

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Optimalizace výkonu TG 5 a spotřeby páry pro vlastní spotřebu
elektrárny Tisová pomocí metody DMAIC**

Autor: **Miroslav Silvester**
Vedoucí práce: **Ing. Helena Zídková, Ph.D.**

Akademický rok 2015/2016

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

Podpis autora:

Autorská práva

Podle *Zákona o právu autorském. č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17* a *Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb.* je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské/diplomové práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Anotace

Tato práce se zabývá stanovením optimálních výkonů protitlaké turbíny TG 5 v různých provozních režimech výroby páry pro vlastní spotřebu elektrárny Tisová. K dosažení optimalizace poslouží analytická metoda DMAIC. Pomocí metody DMAIC budou odhalena možná zlepšení v užívání páry pro vlastní spotřebu Elektrárny Tisová, které lze poté využít k celkovému zvýšení ekologie, bezpečnosti a také hospodárnosti energetického procesu výroby elektrické energie.

Annotation

This work is concerned determine optimization performance back-pressure turbine TG5 in the various operating modes steam production for own consumption of the power station Tisová. To achieve the optimization, we will help the analytical method DMAIC. Thanks to the method of the DMAIC will be revealed possible improvements in the use of steam own consumption of the power station Tisová, which can then take use of an overall increase in the ecology, safety and also efficiency of the energy process for the production of electrical energy.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat své vedoucí bakalářské práce Doc. Ing. Heleně Zídkové, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

OBSAH

1. Úvod.....	9
1.1 Charakteristika společnosti Elektrárna Tisová.....	9
1.1.1 Současný stav ETI.....	10
1.1.2 Popis technologií.....	10
1.1.3 Historie ETI.....	12
1.2 Definice problému.....	13
1.3 Představení metody DMAIC.....	14
1.3.1 Six Sigma.....	15
1.3.2 Akronymy metodik v Six Sigma.....	16
1.3.3 Cyklus metody DMAIC.....	16
1.3.4 D (Define) definovat.....	17
1.3.5 M (Measure) měřit.....	18
1.3.6 A (Analyze) analyzovat.....	19
1.3.7 I (Improve) zlepšovat.....	19
1.3.8 C (Control) řídit.....	20
2. Současný stav vlastní spotřeby.....	21
2.1 Turbína TG 5.....	22
2.2 Regulace TG 5.....	23
2.3 4. Odběry turbín TG2 a TG3.....	23
2.4 Ostatní zdroje sítě 1MPa.....	23
2.5 Spotřebiče sítě 1MPa.....	24
3. Návrh a řešení optimalizace pomocí metody DMAIC.....	26
3.1 D – define – definovat.....	26
3.1.1 Vstupy procesu.....	26
3.1.2 Výstupy procesu.....	27
3.1.3 Rozdělení TG a jejich parametry před red.stanicemi.....	28
3.2 M – measure – měřit.....	30
3.2.1 Turbína TG 5 průběh výkonu.....	30
3.2.2 4. Odběr TG 2 a TG 3 průběh výkonu a průtok 4.odběrem.....	31
3.2.3 4. Odběr TG 1.....	32

3.2.4	Náhradní zdroje - HRS 1,2 a RCHS 1,2	33
3.2.5	Běžný provoz a hodnoty vlastní spotřeby a teplofikace.....	34
3.3 A	– Analyze – analyzovat.....	35
3.3.1	Porovnání účinnosti TG 5 a 4.Odběru TG2 a 3.....	35
3.3.2	Analýza Vlastní spotřeby, Ishikawův diagram.....	37
3.4 I	– Improve – zlepšovat.....	39
3.4.1.	Odstavení TG5 v letních měsících.....	39
3.4.2.	Využití co nejvyššího výkonu TG5	40
3.4.3.	Vyhodnocení Ishikawova diagramu.....	40
3.5 C	– Control – řídit.....	44
3.5.1	Nové předpisy.....	44
3.5.2	Provozní dokumentace.....	44
3.5.3	Kontrola nových opatření.....	44
4.	Závěr.....	45
	Seznam literatury a informačních zdrojů.....	47

1 Úvod

Tato práce se zabývá stanovením optimálního řízení vlastní spotřeby elektrárny Tisová, s čímž souvisí vypracování optimálního výkonu turbíny TG 5, která je hlavním zdrojem páry vlastní spotřeby. Proces výroby páry musí vyhovovat nejpřísnějším normám a kvalitě výroby, aby mohla být elektrárna hospodárná a konkurenceschopná v současném energetickém prostředí. Důraz není kladen jen na ekonomii, ale neméně důležitým faktorem je ekologie a bezpečnost práce. Ke zlepšení použijeme metodu DMAIC. Výrobu páry lze charakterizovat jako proces, který lze zanalyzovat a zlepšit. Vypracované výsledky navrhne vedení tak, aby změny bylo možno zakomponovat do provozních předpisů a metod v elektrárně.



Obrázek č.1 Elektrárna Tisová[8]

1.1 Charakteristika společnosti Elektrárna Tisová

Elektrárna Tisová leží v západní části Sokolovské pánve mezi Krušnými horami a Slavkovským lesem. Je nejzápadněji situovaným energetickým zdrojem ČEZ, a. s., a patří k nejstarším hnědouhelným elektrárnám. Leží v nadmořské výšce 405 m a geograficky je téměř v geometrickém středu lázeňského trojúhelníku, jehož vrcholy tvoří lázeňská města Karlovy Vary, Mariánské Lázně a Františkovy Lázně. Je vybudována na místě původní

hornické obce Tisová, která musela svého času ustoupit důlní činnosti. O jejím umístění právě do těchto míst rozhodly dva důležité faktory - řeka Ohře, ze které je zásobována vodou, a blízké zásoby sokolovského hnědého uhlí.[8]

1.1.1 Současný stav ETI

Elektrárna je rozdělena na dva úseky ETI I a ETI II, které využívají společnou budovu strojovny a částečně také kotelny.

Popis ETI I - současný stav

ETI I se sběrníkovým uspořádáním tvoří dva fluidní kotle, každý o výkonu 350 t/h, jedna kondenzační rovnotlaká dvoutělesová turbína o výkonu 57 MW, dvě turbíny 57 MW kondenzační rovnotlaké dvoutělesové s jedním regulovaným odběrem páry a turbína 12,8 MW protitlaková, kombinovaná, jednotělesová.

Popis ETI II současný stav

ETI II s blokovým uspořádáním tvoří granulační kotel 330 t/h a kondenzační rovnotlaká třítělesová turbína 112 MW s přihříváním páry.

Celkový instalovaný výkon elektrárny je 240,8MW. Rozvod tepla elektrárna zajišťuje pro Sokolov, Habartov, Bukovany, Březová a Královské Poříčí. Zdrojem vody je řeka Ohře

1.1.2 Popis technologií:

Chlazení generátoru

Každý turbogenerátor pracuje do jednoho vývodového transformátoru. Turbogenerátory ETI I jsou chlazeny vzduchem a turbogenerátor 100 MW bloku ETI II je chlazen vodíkem. [8]

Elektrifikační síť

Vyvedení elektrického výkonu elektrárny do rozvodny Sokolov - Vítkov je prostřednictvím linek 110 kV u ETI I a linkou 220 kV u ETI II. [8]

Teplárenství

Vyvedení dodávky tepla je prostřednictvím parní soustavy o jmenovitých parametrech tlaku 1,1 MPa a teploty 240 °C. [8]

Roční výroba

Roční výroba elektřiny se pohybuje okolo 1,6 TWh, dodávka tepla odběratelům okolo 1500

TJ.[8]

Zdroj paliva

Zdrojem paliva je sokolovské hnědé uhlí, v současnosti je aktivních několik soudních sporů mezi společnostmi *ČEZ a.s* a *Sokolovská Uhelná a.s.* ohledně platnosti smluv o cenách uhlí.

[8]

Zdroj technologické vody

Zdrojem technologické vody pro elektrárnu je řeka Ohře a také přilehlé odkaliště bývalého lomu Silvestr.[8]



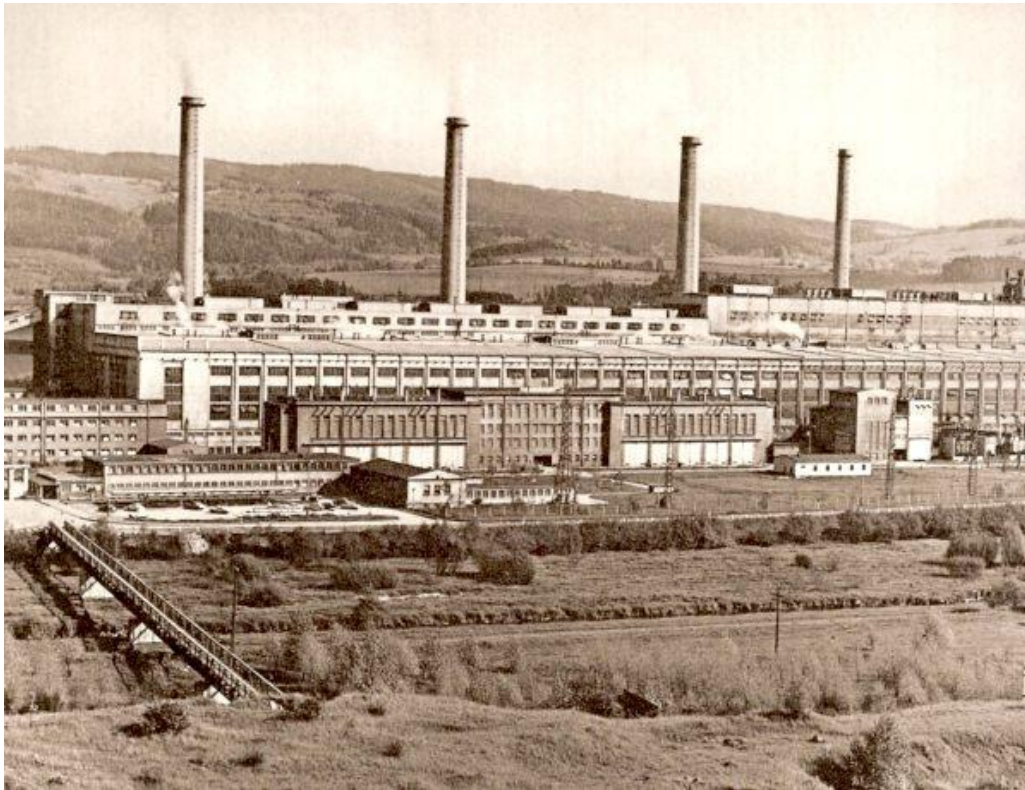
Obrázek č. 2 Sokolovské hnědé uhlí [Těžba hnědé uhlí, ilustrační foto autor: czechcoal.cz]

1.1.3 Historie ETI

Následující tabulka ukazuje průřez od výstavby elektrárny až po současnost.

Tabulka č.1 instalovaného výkonu napříč historií ETI+technologie[8]

Rok	ETI I / ETI II	Instalovaný výkon [MW]	Technologie - poznámky
1954	ETI I	0	Zahájení výstavby ETI I – 8 kotlů 125 t/h, 4 turbosoustrojí 50MW
1955	ETI II	0	Zahájení výstavby ETI II – 3 kotle 330 t/h, 3 turbosoustrojí 100MW
1958	ETI I	200	Zahájení provozu
1959	ETI I	212	Instalována protitlaká turbína 12MW
1960 – 62	ETI II	312 - 512	Postupné zahájení provozu bloků ETI II
1983 – 87	ETI I	522	Na ETI I nahrazeny kondenzační turbíny turbínami s regulovaným odběrem pro teplárství o výkonu 55MW
1990 – 91	ETI II	422 - 322	Postupné odstavování bloků na ETI II (Útlumová vlna hnědouhelných elektráren)
1993 – 97	ETI I, II	322	Výstavba 1. a posléze 2. fluidního kotle 350t/h a nahrazení granulačních kotlů na ETI I, instalace odsiřovací jednotky na kotli ETI II – program snížení emisí ETI
1998	ETI I	272	Odstavení jedné kondenzační turbíny ETI I o výkonu 50MW
1998 - 2012	ETI I + II	272 - 296	Zlepšování ekologie a modernizace k současným trendům pro výrobu elektřina a tepla
2013	ETI I + II	296	Omezení dodávání paliva, spor s dodavatelem, z toho vyplývající šetření paliva
2015	ETI I	296	Možné odstavení turbíny 57MW, konec životnosti průtočné části TG – záleží na ekonomické situaci cena elektrické energie



Obrázek 3. V šedesátých letech byla Tisová první československou velkoelektrárnou [8]

1.2 Definice problému

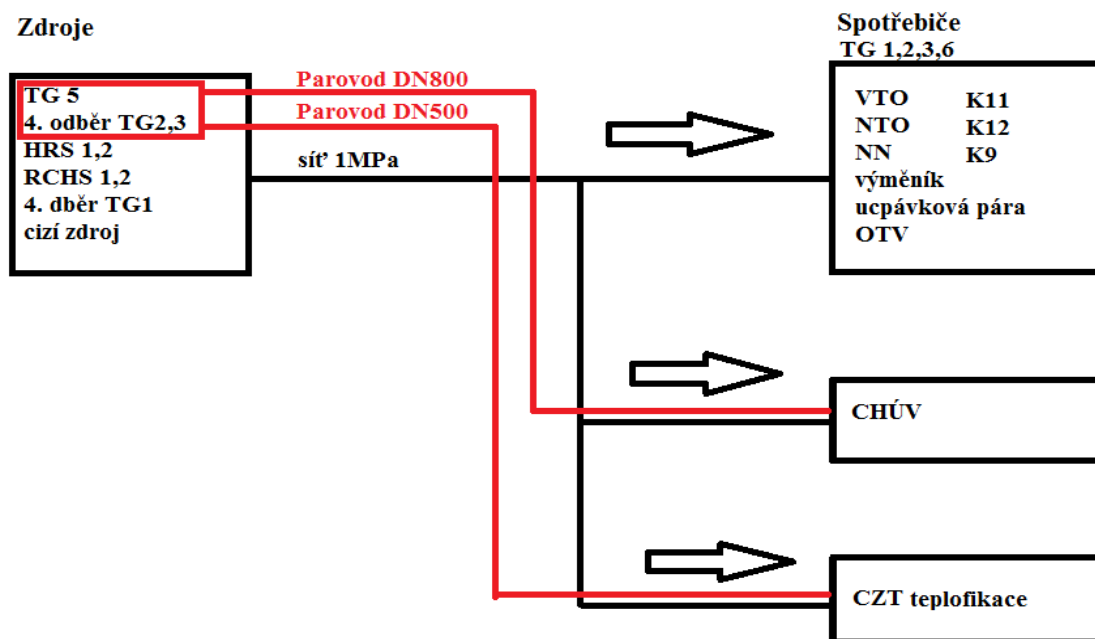
V energetice se klade velký důraz na co největší efektivitu. Konkurenční prostředí vytváří tlak na co nejefektivnější výrobu elektrické energie. Z toho vyplývá snaha o zdokonalení procesů ve výrobě. V tomto případě se jedná o úsek vlastní spotřeby páry v elektrárně, kde je možné docílit zlepšení efektivity. Snížení spotřeby páry lze docílit optimalizací výkonu turbíny TG 5, stanovením jejího režimu, který se přizpůsobí aktuálnímu provozu.

Elektrárna se provozuje na základě vytváření produktu pro spotřebitele. Produktem elektrárny je elektrická energie, která je řízena na základě daných faktorů. Nejdůležitějším faktorem je udržení elektrifikační sítě a spotřeba elektrické energie, proto je celkový výkon řízen centrálním dispečinkem. Ten požaduje v danou chvíli určité množství výkonu (v megawatttech) a rozděluje výkony všech elektráren v síti dle aktuální spotřeby elektrické energie v České Republice. Dalším faktorem jsou údržba a opravy zařízení, ať už plánované nebo vynucené, určují celkový provoz kotlů a turbín a tím také ovlivňují celkový výkon v elektrárně. Protože je elektrárna Tisová také teplárna, ovlivňuje její provoz také spotřeba

páry pro teplofikaci. Proto se provoz v elektrárně často mění a tím se mění také vlastní spotřeba páry v návaznosti na výkon turbíny TG 5.

K definování možných zlepšení bude použita metoda DMAIC, která patří ke strategii řízení Six Sigma vyvinutou značkou Motorola. Six Sigma si klade za cíl identifikovat a zlepšit postupy v procesech výroby a obchodu, k čemuž používá metodiky DMAIC

schéma 1. Zdroje páry + spotřebiče páry



1.3 Představení metody DMAIC

DMAIC - cyklus zlepšování je univerzálně použitelná metoda postupného zlepšování, která je integrální součástí metody Six Sigma (na obrázku č.4 jsou uvedeny jednotlivé kroky ve správné posloupnosti). Používá se pro jakékoliv zlepšování - například kvality výrobků, služeb, **procesů**, aplikací, dat. Jednotlivé fáze reprezentované písmeny tohoto cyklu ukazují možnosti od výběru řešeného problému, přes vyřešení problému, až k následnému zajištění zlepšení. Jedná se o zdokonalený PDCA cyklus. [10]



Obrázek č. 4 metoda DMAIC[9]

1.3.1 Six Sigma

Je filozofie vyvinuta americkou firmou Motorola v roce 1986. Dnes se používá v různých odvětvích průmyslu. Six Sigma si klade za cíl identifikovat a odstranit příčiny defektů a chyb v procesech výroby a obchodu. V koncepci Six Sigma je každý následník činnosti nebo procesu chápán jako zákazník. Zákazník zde vždy definuje kvalitu a je tedy hlavním hodnotitelem výkonnosti.

Z tohoto pohledu jsou určovány procesy, které jsou vyhodnocovány jako slabé a je nutné provádět jejich zlepšení až na požadovanou úroveň kvality. Tu neovlivňuje nikdo jiný než sami zaměstnanci. Právě část zaměstnanců bývá vyčleněna, spolu s dostatečným množstvím zdrojů, pro práci na projektech zlepšování. S rostoucí úrovní rostou také nároky na manažerské dovednosti pracovníků zastupujících danou pozici a jsou vyžadovány podrobné znalosti statistických metod potřebných ke zpracování sledovaných hodnot.

Six Sigma bývá v podniku aplikována prostřednictvím projektů využívajících **DMAIC** anebo **DMADV** cyklus. Tyto projekty jsou směřovány k dosažení cílené úrovně kvality. Kritickým faktorem u Six Sigma je bezesporu výběr počátečních projektů, který musí být

prováděn velmi obezřetně s ohledem na rozsah projektu a požadované cíle. Důležitým faktorem ovlivňujícím chod Six Sigma ve společnosti je podpora vrcholovým managementem. Bez podpory a prosazování vrcholovým managementem nemůže tato metodika fungovat a přinášet očekávané výsledky. [12]

1.3.2 Akronymy metodik v Six Sigma

Six Sigma je filozofií, která se soustředí na vyhledávání slabých míst a jejich odstraňování. Soustředí se na maximalizaci zisku, efektivní využívání zdrojů, redukci procesů a minimalizaci ztrát, neshod, defektů a reklamací. K tomu využívá metod ke zlepšení stávajících procesů nebo navrhování nových procesů. [10]

Zlepšování stávajících procesů

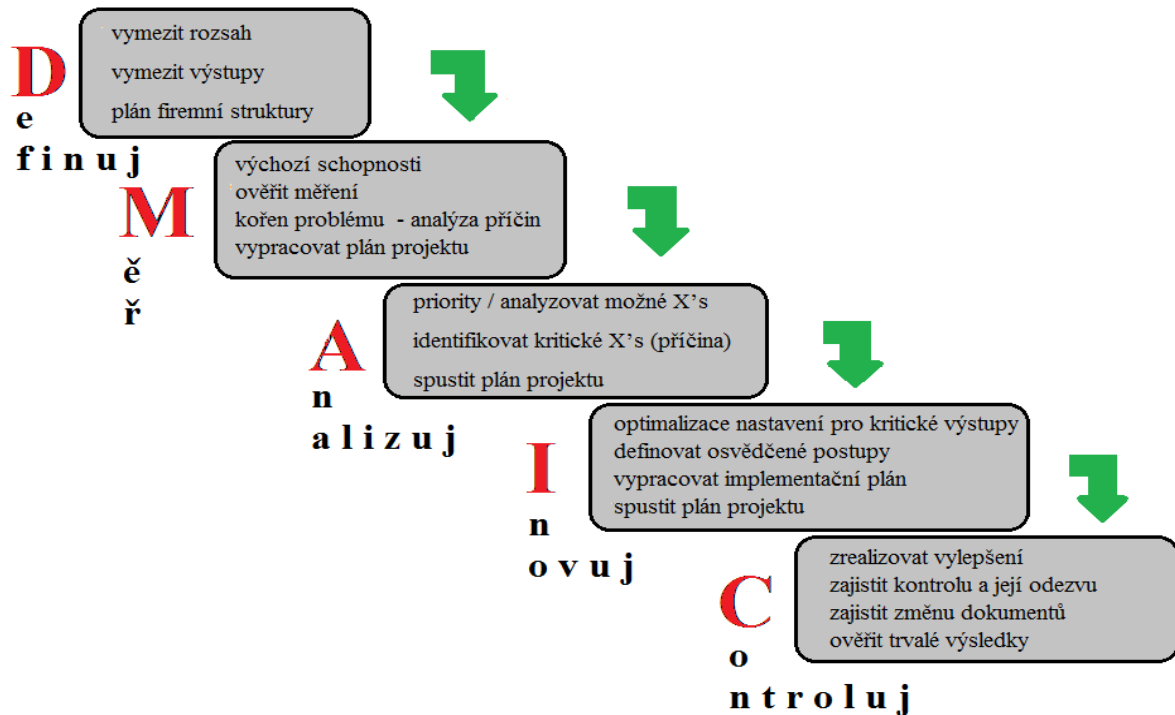
- **DMAIC - jedna z metodik Six Sigma, zaměřená na proces řízení.**
- DPMO – počet vad na milión příležitostí (Defects Per Milion Opportunities)
- CTQ – hraniční meze rozhodující o kvalitě (Critical To Quality)
- DOE - plánovaný experiment (Design of Experiments). [10]

Navrhování nových procesů

- DFSS (Design for Six Sigma) - nástroje pro navrhování a znovunavrhování produktů a procesů nebo SSPD (Six Sigma Process Design)
- DCDOC - akronym Define, Conceptualize, Design, Optimize, Control - je to obdoba základního DMAIC pro DFSS
- CDOC - akronym Conceptualize, Design, Optimize, Control - je to obdoba základního DMAIC pro metodiku SSPD (Six Sigma Process Design).
- DMADV - jedna z metodik Six Sigma, zaměřená proces vývoje. Jde o zkratku slov: Define (definice), Measure (měření), Analyze (analýza), Design (návrh), Verify (ověření). [5]

1.3.3 Cyklus metody DMAIC

Cyklus zlepšování je univerzálně použitelná metoda postupného zlepšování, která je integrální součástí metody Six Sigma. Používá se pro jakékoliv zlepšování - například kvality výrobků, služeb, procesu aplikací a dat. Jednotlivé fáze celého cyklu pomáhají docílit skutečného zlepšení. Jedná se o zdokonalený PDCA cyklus. [7]



Obrázek č.5. metody DMAIC

1.3.4 D (Define) definovat

Definují se cíle, popisuje se předmět a cíle zlepšení (výrobek, služba, proces, data, atd.). Cílem fáze Definování je jasné vymezení toho „co, kdo, proč, s kým, jak moc a do kdy“ bude zlepšováno.

Kvalitně provedená definice cíle a všech okolností a prostředků potřebných pro jeho dosažení je klíčovou částí celého procesu zlepšování. Dokonce tak klíčovou, že většina neúspěchů při zlepšování má své kořeny už v zanedbané definiční fázi.

Metody a nástroje:

- Audit
- benchmarking
- zadání projektu (project charter)
- QFD, mapování toku hodnot
- FMEA

- logický rámec
- Paretova analýza
- výpočet nákladů a přínosů
- diagram klíčových problémů – TOC
- IPO (Inputs, Process, Outputs) diagram
- SIPOC diagram
- VOC (Voice of Customer) [6]

1.3.5 M (Measure) měřit

Měření výchozích podmínek ve smyslu principu “co neměřím, neřídím”. Cílem kroku měření je získat maximum objektivních (nebo také kvantifikovatelných) informací o procesech nebo předmětu, který chceme zlepšovat. Pro kvalifikované změření např. náročnosti procesů je třeba mít k dispozici dostatečně kvalitní a přesnou procesní mapu, ohodnocení činností, kterými se chceme zabývat, jejich četnost, chybovost případně další parametry podstatné pro další práci. Výběr kritérií je důležitý, ale náročnější bývá spíše jejich optimalizace z hlediska nákladů na pořízení a vyhodnocení dat.

Metody a nástroje:

- Paretova analýza
- Ishikawův diagram
- PF diagram
- mapa toku hodnot
- FMEA
- procesní mapy
- Chi2 test
- strom rizika
- 7/7 nástrojů kvality
- statistické nástroje
- kontrolní diagramy
- snímkování procesů
- procesní audity [6]

1.3.6 A (Analyze) analyzovat

Analýza zjištěných skutečností, příčin nedostatků. Cílem etapy analýzy je nalézt skutečnou příčinu problémů. Analýza jde za hranice intuice i zkušeností pracovníků a konzultantů a snaží se vystopovat skutečnou společnou příčinu problémů. Pro analýzu se používají různé metody. Etapa ale nekončí samotnou analýzou, která sama o sobě nic nevyřeší. Důležitý je druhý krok - ověření, že metriky, které jsme definovaly v předchozím kroku, jsou relevantní k identifikované příčině problémů. Jednoduše řečeno, jestli metriky skutečně vyjadřují stav kroků, procesů nebo technologií, které jsou identifikovány jako problematické.

Metody a nástroje:

- Ishikawův diagram
- FMEA
- analýza rizika
- strom poruch
- kontrolní diagramy
- způsobilost procesů – Cp a Cpk
- Reliability Analysis 0073
- Root Cause Analysis
- 5 x proč?
- systémové inženýrství
- hodnotová analýza
- analýza úzkých míst
- brainstorming
- simulace
- regresní analýza

[6]

1.3.7 I (Improve) zlepšovat

Klíčová fáze celého cyklu, ve které dochází ke zlepšení na základě analyzovaných a měřených skutečností. Teprve poslední fáze vytváří a přináší skutečné zlepšení. To je třeba v první řadě nalézt. Najít nejlepší způsob, jak dosáhnout zlepšení a tento návrh ověřit na pilotním vzorku (např. 1 projektu, omezené sérii výrobků apod.).

Metody používané při identifikaci zlepšení závisí na oblasti, která je řešena. Typickým nástrojem je brainstorming, ale často je třeba nové zadání pro vývojovou kancelář, kontrolu způsobu práce lidí nebo jiné metody. Rozhodně standardně neplatí, že se zlepšení hledají u stolu „bílých límečků“. Fáze zlepšování je sama o sobě projektem zahrnujícím plánování, kalkulaci, řízení rizik. Samotná implementace začíná analýzou a pokračuje přes pilotní nasazení k samotné produkci. Na konci projektu musí přijít vyhodnocení, které prokáže, jakých výsledků bylo skutečně dosaženo.

Metody a nástroje:

- Brainstorming
- DoE
- modelování a simulace
- Robust Design
- PDCA
- FMEA
- TPM
- SMED
- 5S
- Vizualizace
- tahové systémy řízení
- Kaizen
- KVP
- Poka- yoke
- workshopy
- analýza a měření práce

[6]

1.3.8 C (Control) řídit

Má za cíl dotáhnout změny do konce. V rámci etapy je třeba ověřit, že všechny změny skutečně byly provedeny, dostaly se tam, kam měly, a lidé nové postupy znají a používají. Je známou pravdou (a ta pravda má dokonce své jméno - Hawthornův efekt), že když s

jakoukoli činností ve firmě děláte nějaké změny, dostaví se zlepšení. Důvodů je řada, ale zásadní je, že když se na cokoli soustředíte, děláte to lépe. Větší pozor si dají i ostatní, aby jejich chyby nebyly tolik vidět. Je proto typické, že už samotnou pozorností na problémové oblasti dosáhnete zlepšení. Toto zlepšení ale trvá jen dotud, dokud pozornost skutečně věnujete a jakmile se pozornost odvrátí, problémy se vrátí. Kontrolní etapa má za cíl nejenom dotáhnout navržené změny a potvrdit, že se nezůstalo v půli cesty, ale také zajistit dlouhodobé ověření, že změny přinesly zlepšení trvalé a ne pouze náhodné, vyvolané aktuální pozorností.

Metody a nástroje:

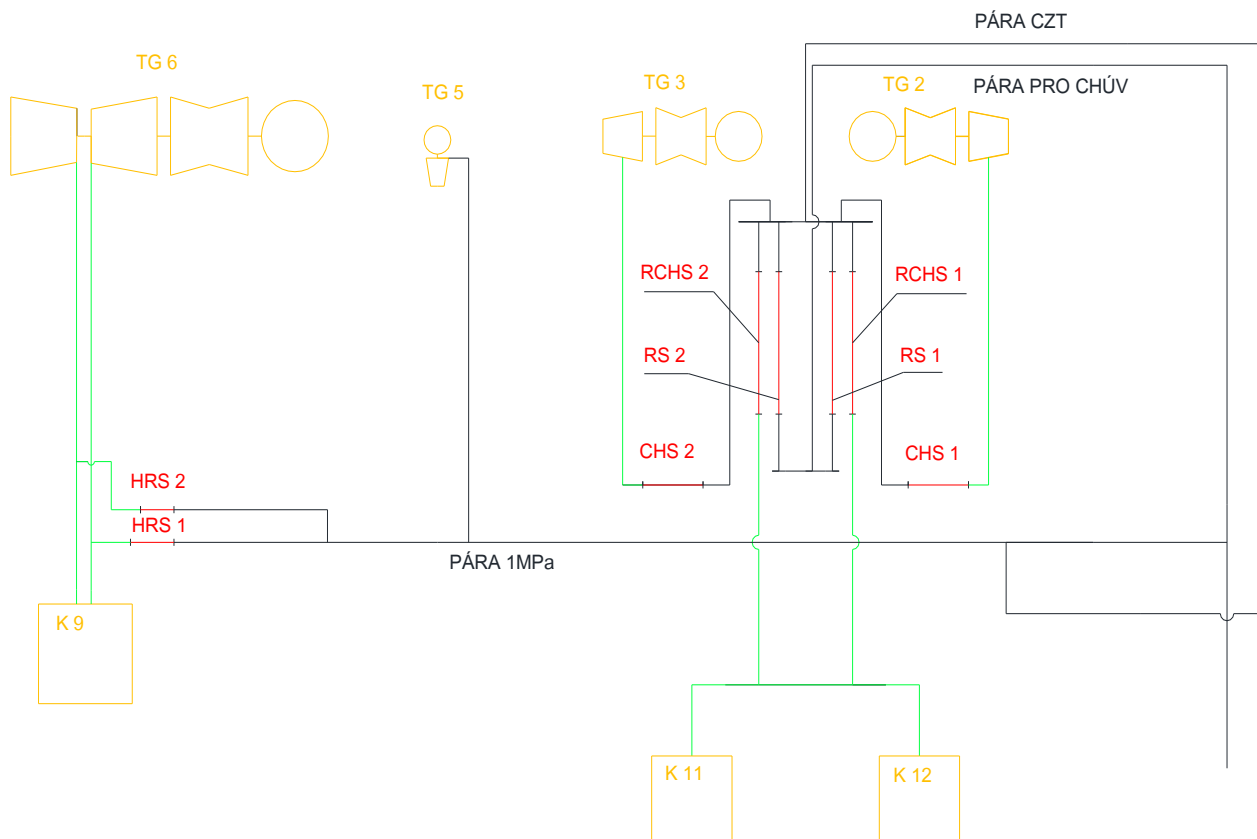
- SPC
- kontrolní diagramy
- časové řady
- BSC
- řízení podle cílů
- preventivní plánování
- vizuální řízení
- standardizace procesů
- FMEA
- kontrolní archy

[6]

2. Současný stav vlastní spotřeby

Vlastní pára nebo také síť 1MPa je pára o určitých parametrech, tj. **tlak 0,78MPa a teplota 240°C**. Tato pára je důležitá pro chod elektrárny. **Její hlavním zdrojem je TG 5**. Další zdroje jsou 4. odběry TG2, TG3, odběry TG6 (HRS1,HRS2), RCHS1,2 a 4.odběr TG1. Přehled všech zdrojů je schematicky zobrazen na *obrázku č. 6*.

CZT nebo také centrální zásoba teplem (teplofikace) + spotřebiče, které potřebují tuto páru (napájecí nádrže=NN, nízkotlaké ohříváky = NTO, Vysokotlaké ohříváky = VTO, atd.) jsou nutné v ekonomickém procesu výroby elektrické energie. Tudiž patří k základnímu pilíři procesu výroby elektrické energie tohoto typu elektrárny.



Obrázek 6. Schéma zdrojů páry sítě 1MPa

2.1 Turbína TG 5

Jmenovitý výkon TG 5 je 12MW. Může být řízen ve výkonové regulaci nebo regulaci protitlaku (tj. na výstup páry z TG 5). Regulace protitlaku je řízena tlakem na výstupu, kde regulátor udržuje tlak na hodnotě 0,78 MPa a tím určuje výkon turbíny TG. Při poklesu tlaku na výstupu z TG (což je také tlak vlastní spotřeby) se zvyšuje odběr páry pro vlastní spotřebu a výkon turbíny TG 5 se musí zvyšovat tak, aby udržoval tlak ve vlastní spotřebě 0,78MPa. Při zvyšování tlaku na výstupu z turbíny naopak regulace tlaku výkon TG snižuje a tlak v síti 1MPa klesá.

Není stanoven pevný režim, kde by bylo nastaveno ekonomické pásmo výkonu TG 5. Soustrojí je schopno provozu v rozsahu 4 až 12 MW. Při každém výkonu však TG odebírá různé množství tun na jednu megawatu a tím je rozdílná účinnost. Dále je důležité, jakým

množstvím tun se TG 5 podílí na celkovém množství vlastní spotřeby a teplofikace. To závisí na mnoha faktorech.

Důležité je roční období, kdy v letním období stačí TG 5 zásobovat parou jak vlastní spotřebu elektrárny, tak i teplofikaci Sokolova a okolních obcí, protože je odběr tepla nízký. Naproti tomu v zimním období je odběr páry pro teplofikaci o hodně vyšší, proto je teplofikace zajišťována z odběru rovnotlaké dvoutělesové turbíny TG 55MW(TG2, 3) a vlastní spotřeba je zajišťována z TG 5.

2.2 Regulace TG 5

Regulace TG 5 řídí proces vlastního výkonu TG. Její úlohou je vyjízdnění na provozní otáčky při najíždění, řízení výkonu přiřázaného stroje k elektrické síti 50Hz rychlostní či tlakovou regulací. Regulace původně hydraulická je postupně nahrazována moderními elektrohydraulickými regulačními prvky, které zjednodušují provoz TG. Generální oprava a modernizace na elektrohydraulickou regulaci proběhla na podzim roku 2015.

2.3 4. Odběry turbín TG2 a TG3

Jsou to odběry za pátým regulačním stupněm TG 55MW. Tyto odběry dokážou plně nahradit TG 5 a zajistit tak páru pro vlastní spotřebu přes RS1,2. Pára v těchto odběrech se dá regulovat pomocí čtyř přepouštěcích ventilů. Ty jsou za pátým regulačním stupněm. V otevřeném stavu je turbína v kondenzačním provozu. Při tomto provozu pára proudí k dalším pracovním stupňům TG a tam odevzdává práci, to znamená, že turbína není omezena a má nejvyšší účinnost. Při provozu, kdy regulační ventily začínají zavírat, se přepouští část páry do 4. odběru. Tlaková regulace, uzavírá postupně regulační ventily a tím zajišťuje požadovaný tlak ve 4. odběru. Do zadní části turbíny proudí méně páry a účinnost je nižší. Maximální množství páry ve 4. odběru je 230 t/h a vždy musí proudit na další pracovní stupně vysoko a nízkotlaké části alespoň 80 t/h.

2.4 Ostatní zdroje sítě 1MPa

Při nestandardních režimech lze využít i páru z TG6 110MW, přes HRS 1 (množství až 150t/h) nebo HRS 2 (60t/h). Je zde využívána pára z odběrů vratných parovodů z mezipřihřáté páry z kotle přes HRS 1 a odběru výstupu z vysokotlaké části TG přes HRS 2.

Protože by pára z TG 6 zhoršovala ekonomii vlastní TG, používají se HRS 1,2 jen jako náhradní či pomocný zdroj. Do budoucnosti se předpokládá, že provoz HRS1 bude čtenější kvůli odstávkám ETI I.

Dále lze využít RCHS 1,2 kde se jedná o páru přímo z FK11,12, tedy přehřátou páru z kotle o vysokých parametrech, která se však musí škrtit z tlaku 9MPa na tlak 0,78MPa a ochlazovat z teploty 500°C na teplotu 240°C. Tento proces je neekonomický, tak se RCHS používají při odstavování FK11,12, to znamená, že se využije pára, která již svými parametry neodpovídá přehřáté admisní páře pro TG nebo při najíždění kotlů, kdy jsou naopak parametry příliš nízké pro využití v turbínách.

2.5 Spotřebiče sítě 1MPa

Spotřebiče jsou zařízení, které ke svému provozu potřebují páru ze sítě 1MPa . Jedná se zejména o ohříváky ať už rekuperační nebo směšovací, popis je na *obrázku č. 8*. Ohříváky jsou v energetice důležité z hlediska ekonomie a celkové účinnosti provozu, zejména NTO (nízkotlaké ohříváky) a VTO (vysokotlaké ohříváky). Tyto rekuperační ohříváky využívají soustrojí TG 1,2,3 a TG 6., které využívají páru z meziodběrů, tj. odběr z pracovní části turbíny sloužící k ohřátí kondenzátu (NTO) či napájecí vody (VTO).

U TG 1,2,3 je využita pára ze sítě 1MPa pro 3. NTO v závislosti na aktuálním výkonu TG. Je – li výkon TG vysoký, je pára z vlastního odběru dostatečná a není nutné přitápění ze sítě 1MPa. Je-li výkon nižší, poklesne tlak v 3.NTO a regulátor automaticky otevírá přitápění ze sítě 1MPa a zajišťuje teplotu za 3. NTO v rozmezí 110 – 130°C.

Pro VTO je využita pára ze sítě 1MPa trvale. U TG 2,3 nahrazuje zdroj páry, který je ze 4. odběru využit k teplárenství. Turbína TG1 má 4.odběr neregulovaný, proto z něho využívá páru pro VTO a napájecí nádrž. Pokud má turbína nižší výkon, jsou parametry nedostatečné a je nutné brát páru z vlastní spotřeby.

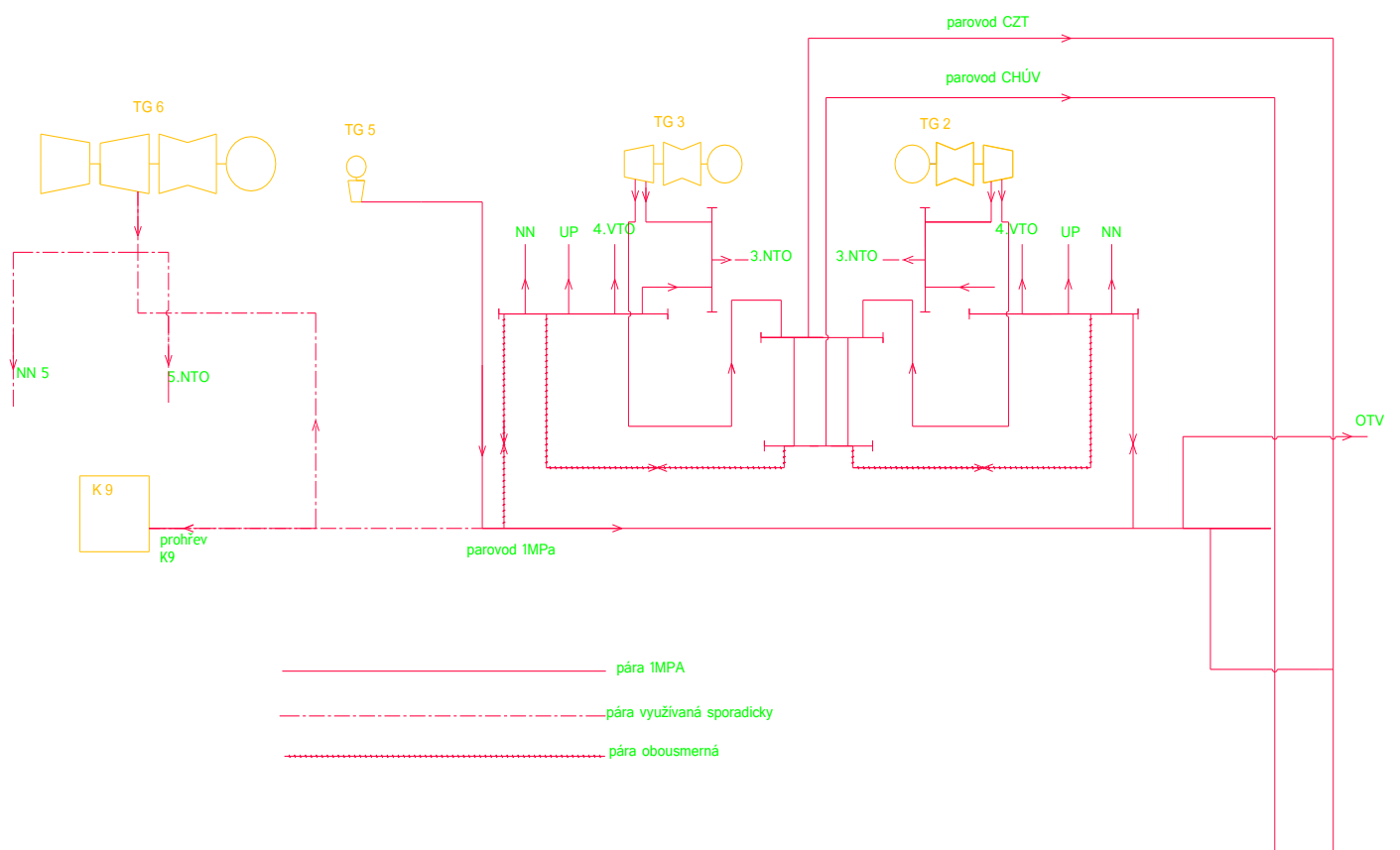
Dále síť 1MPa slouží k vytváření parního polštáře, tj. udržování tlaku v napájecí nádrži 1, 2 a 3. Je důležité udržovat potřebný tlak a teplotu, protože napájecí nádrž je zásobník vody pro elektronapájecí čerpadla (EN), které napájí vodou fluidní kotle FK11,12. EN musí mít na sání

čerpadla minimálně 280kPa. Tlak v napájecích nádržích udržuje automaticky pomocí regulačních armatur ze sítě 1MPa, zároveň dochází ke směšovacímu vytápění.

Důležitá je pára ze sítě 1MPa pro ucpávkovou páru TG1,2,3. Tato pára slouží k udržení vakua v podtlakové části a kondenzátorech TG.

U TG 6 využíváme páru sítě 1MPa také pro NTO a napájecí nádrž, ale jen při najíždění a nestandardních stavech, například při odstavení TG a udržování tlaku v NN. Za normálního provozu pára ze sítě 1MPa není potřeba.

Pára je také využívána v chemické úpravně vody a pro výměníky teplé vody pro celou elektrárnu.



Obrázek 8. Schéma spotřebičů páry sítě 1MPa

3. Návrh a řešení optimalizace pomocí metody DMAIC

Cílem této kapitoly je připravit návrhy a optimální řešení pro vlastní spotřebu a výkon TG 5 tak, aby byl co nejefektivnější. Tyto návrhy a řešení následně zpracovat pomocí kroků definovaných v metodice DMAIC. Součástí návrhu bude použití metod a nástrojů popsanych ve zmíněné metodice.

3.1 D – define – definovat

Důležité je v tomto kroku jasně definovat, co chceme zlepšit. V našem případě se jedná o **snížení množství páry pro vlastní spotřebu**, což je jednoznačný cíl této práce. V současném stavu je řízení procesu vlastní spotřeby funkční, nicméně chybí jakýkoliv plán či předpis, který by obsluham definoval, jak mohou rozdělit výkony turbogenerátorů, tzn. TG 1,2,3,5 a 6 tak, aby byly co nejefektivnější. Záleží také na tom, jaké zdroje a spotřebiče jsou v provozu. Vstupem procesu jsou zdroje páry pro vlastní spotřebu a výstupem jsou spotřebiče a zásobování parou pro teplofikaci Sokolova a okolních obcí.

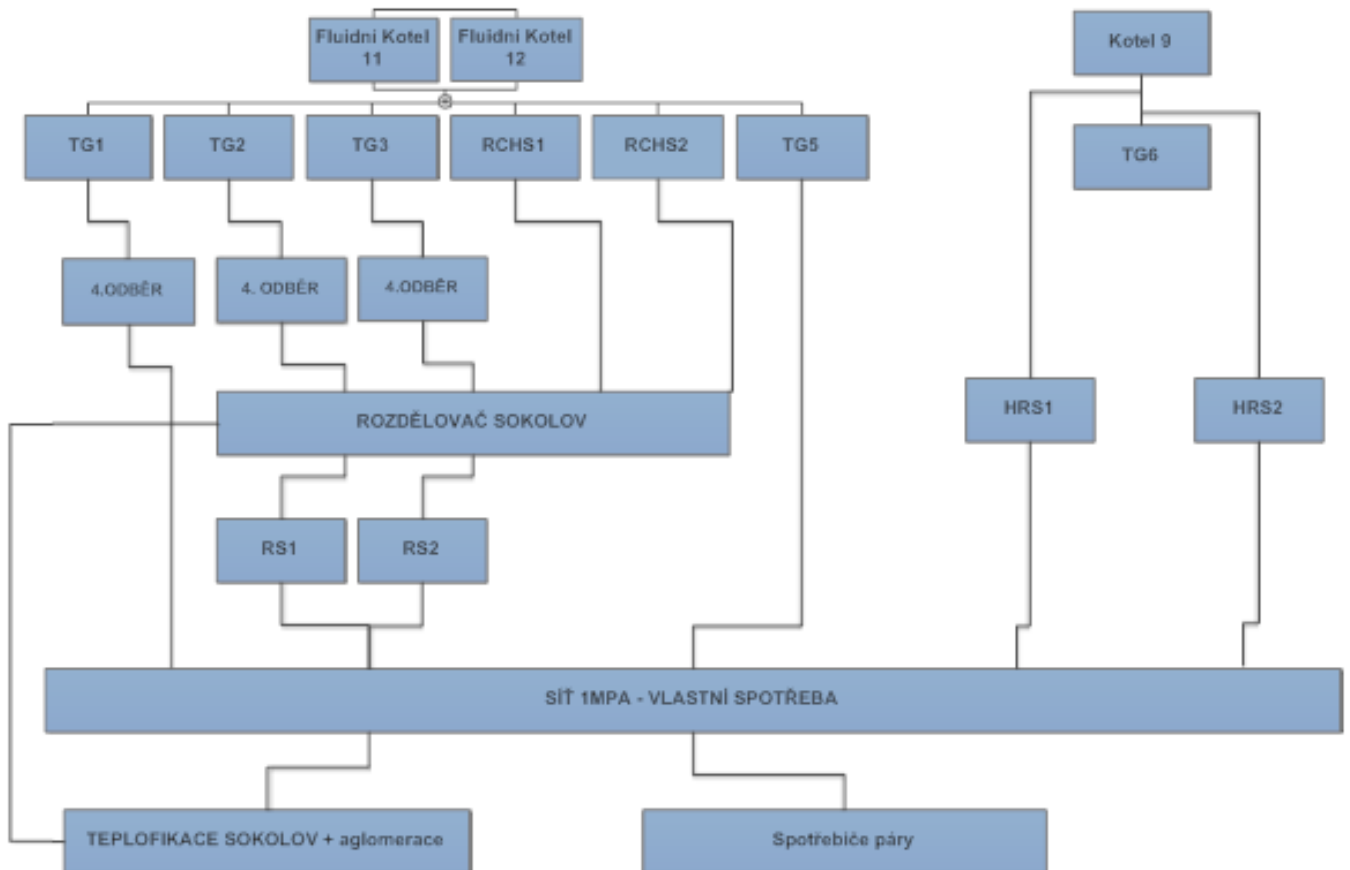
3.1.1 Vstupy procesu:

Vstupem procesu je pára ze zdrojů. Hlavním úkolem je vymezit důležité zdroje, které jsou nejvhodnější z hlediska ekonomie a mají co nejnižší ztráty ovlivňující provoz elektrárny.

TG 5 představuje zdroj páry pro vlastní spotřebu nejvíce využívaný a ve většině režimů i neekonomičtější. Náhradním zdrojem jsou 4. odběry TG 2, 3, které mohou TG 5 plně nahradit. Ostatní zdroje se používají jen při odstávkách nebo při poruchách. Následující přehled ukazuje jednotlivé zdroje páry a jejich maximální množství, které lze využít.

Maximální množství

- Hlavním zdrojem je **TG 5 (12MW)** – neekonomičtější provoz - 100 t/h
- **Další zdroje**
- **4. odběr TG 2, 3** přes redukční stanice **RS 1 a RS 2** - 60 + 60 t/h
pouze pro teplofikaci do parovodu CZT - 180t/h
- **HRS 1, HRS 2** – odběr z mezipřihřáté páry TG 6 (110MW) - 150, 60 t/h
- **4. Odběr TG 1** – při vyšším výkonu než cca 42 MW - 50 t/h
- **RCHS 1, 2** – pára z Fluidního kotle 11, 12 - 100 t/h



Procesní mapa – zdroje páry

Procesní mapa znázorňuje cestu páry od kotlů do jednotlivých turbín až po využití páry v **síti 1MPa**, z které pára proudí ke spotřebičům nebo teplofikaci.

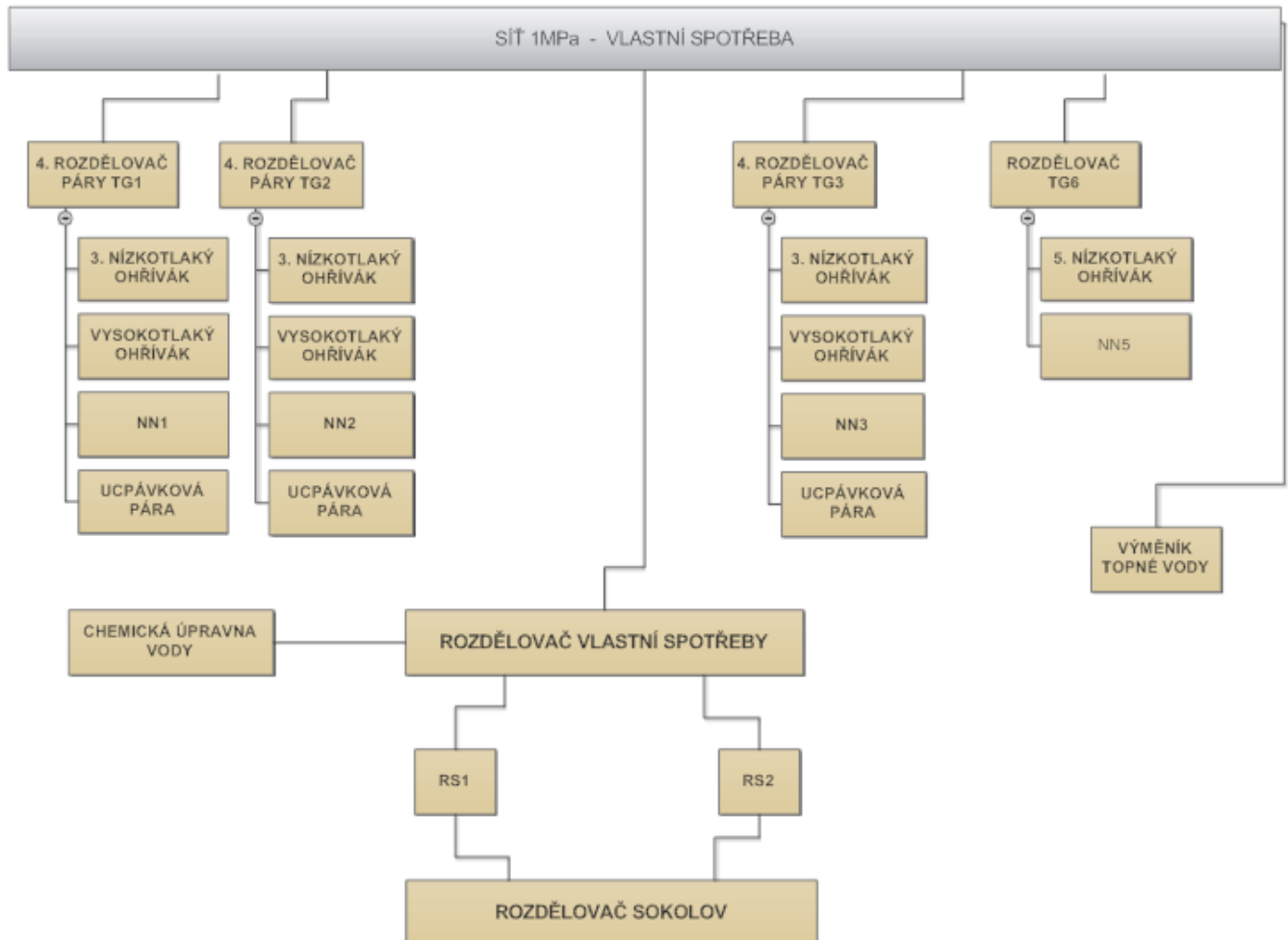
3.1.2 Výstupy procesu:

Spotřebiče páry jsou důležité v celém energetickém procesu, lze je však nastavit tak, aby jejich spotřeba byla co nejnižší a používala co nejvhodnější zdroj páry. Přehled a jejich maximální spotřeba jsou uvedeny v přehledu níže a na procesní mapě.

max. spotřeba

- | | |
|----------------------|--------------|
| – Teplofikace | - 150 t/h |
| – VTO | - 3 x 15 t/h |
| – NTO | - 3 x 5 t/h |

- NN - 3 x 7 t/h
- Ucpávková pára - 3 x 1 t/h
- Chemická úpravna vody - 15 t/h
- Výměníky topné vody - 5 t/h



Procesní mapa – Spotřebiče páry

Procesní mapa ukazuje, jaké zařízení pro svůj chod potřebují páru ze sítě 1MPa.

3.1.3 Rozdělení TG a jejich parametry před redukčními stanicemi

V této kapitole je důležité definovat, jaké tlaky a teploty jsou před redukčními stanicemi, kde dochází k nejvyšším tlakovým i teplotním ztrátám a tím určit vhodné využití pro vlastní spotřebu elektrárny, která má parametry o tlaku **0,78MPa** a teplotu **240°C**. Pro přehlednost je

vytvořena *tabulka č.2*, která uvádí zdroje a spotřebiče jednotlivých TG a ukazuje tlaky a teploty před vstupem do sítě 1MPa.

	zdroj	spotřebiče	redukce	Vstupní tlak do sítě 1MPa	Vstupní teplota do sítě 1MPa
TG 1	4. odběr při výkonu vyšším než 42 MW	NTO, VTO, UP, NN, OTV, výměník		0,5 - 1 MPa závislost na výkonu TG	260 – 300°C
TG 2	4. odběr tlaková regulace	NTO, VTO, UP, NN, OTV	CHS 1, RS 1,2	0,7 – 1,3 MPa lze nastavit v tlakové regulaci TG	260 – 300°C
TG 3	4. odběr tlaková regulace	NTO, VTO, UP, NN, OTV	CHS 2, RS 1,2	0,7 – 1,3 MPa lze nastavit v tlakové regulaci TG	260 – 300°C
TG 5	Emisní pára			tlaková regulace řídí výkon a udržuje tlak emisní páry 0,78	260 – 320°C
TG 6	odběr vratné parovody z MPP páry, odběr výstupu z vysokotlaké části TG	NTO, NN	HRS 1,HRS 2	1,8 – 2,2 MPa	HRS 1 500°C HRS 2 300- 350°C

Tabulka č. 2 tlak a teplota před RS

Z tabulky vyplývá, že největší tlaková i teplotní ztráta je z HRS 1, HRS 2 a proto se nevyplatí trvale využívat tyto zdroje, je tedy nutné se zaměřit na zdroje ostatní. Naopak výhodným zdrojem je 4. odběr turbíny TG1, kde je tlaková a teplotní ztráta minimální a při výkonu nad 42MW má téměř ideální parametry. V tabulce je také uvedeno přes jakou redukční stanici musí jednotlivé turbíny výstupní páru upravovat na požadovaný tlak a teplotu.

V následném zlepšování se musíme zaměřit především na optimalizování výkonu TG 5 a zjistit, v jakém výkonovém pásmu je její provoz nejekonomičtější. Musí se také potvrdit, zda je turbína TG5 pro provoz dostatečně výhodná oproti provozu ze 4. odběru turbín TG2 a TG3. Je patrné, že dalším vhodným zdrojem je turbína TG1, která má malou tlakovou i teplotní ztrátu, proto je dobré ji zahrnout jako výhodný pomocný zdroj.

3.2 M – measure – měřit

Je třeba sbírat co nejvíce dat, která se týkají vlastní spotřeby a výkonů turbín. Tato data charakterizují provoz a mohou pomoci při analýze projektu.

3.2.1 Turbína TG 5 - průběh výkonu

Dodává výkon 0 – 12 MW, množství páry 0 – 100 t/h. Čím je výkon vyšší, tím vyšší je množství páry dodávané pro vlastní spotřebu (tj. síť 1MPa) či teplofikaci (vytápění Sokolova + přilehlých obcí) nebo jejich sloučení či kombinaci. Obvykle v letních měsících postačuje emisní pára pro zajištění vlastní spotřeby a teplofikaci Sokolova a okolních obcí a v zimě zajišťuje vlastní spotřebu.

V následující tabulce je uvedeno průměrné množství páry pro vlastní spotřebu a průměrný výkon TG 5 ve vybraných měsících, kdy byla TG v provozu.

	Červenec 2014	Září 2014	Říjen 2014	Březen 2015	Duben 2015	Červenec 2015
Výkon[MW]	4,93	5,88	6,88	7,78	9,23	6,3
Emisní pára průtok [t/h]	50,9	58,6	65,7	69,3	77,6	58,9

Tabulka č.3 průměrný výkon, průměrné množství emisní páry

Z hodnot v tabulce č.3. se ukazuje, že v podzimních a jarních měsících jsou průměrné hodnoty výkonu TG5 na hodnotách okolo 7MW. Proto je turbína v dobrém ekonomickém pásmu. Hodnoty v zimních měsících nejsou k dispozici z důvodu generální opravy turbíny, ale v těchto měsících bývají vysoké z důvodu velkého odběru páry pro teplofikaci. Největší problém nastává v letních měsících, kdy je v provozu méně zařízení a je také nízké množství páry pro teplofikaci. V případě trvalejšího poklesu TG5 pod 5MW je vhodné turbínu odstavit a páru zajistit ze 4.odběru TG 2,3. Další možností je takzvané umělé vytížení TG5, kdy se na turbínách TG1, 2, 3 uzavírají 3. a 4. odběry a zásobování spotřebičů nízko a vysokotlakých ohříváku a napájecích nádrží je v tu chvíli ze sítě 1MPa. Proto se zvýší vlastní spotřeba a výkon TG5 roste.

Z různých výkonů a průtoku emisní páry lze jednoduše stanovit, kolik páry je potřeba na výrobu jedné MW.

$$5 \text{ MW} \rightarrow \text{průtok } 52,2 \text{ t/h} \Rightarrow 52,2/5 = \mathbf{10,44} \text{ t/h na 1 MW}$$

$$7 \text{ MW} \rightarrow \text{průtok } 65,1 \text{ t/h} \Rightarrow 65,1/7 = \mathbf{9,3} \text{ t/h na 1 MW}$$

$$9,3 \text{ MW} \rightarrow \text{průtok } 78,8 \text{ t/h} \Rightarrow 78,8/9,3 = \mathbf{8,5} \text{ t/h na 1 MW}$$

$$10,7 \text{ MW} \rightarrow \text{průtok } 88,9 \text{ t/h} \Rightarrow 88,9/10,7 = \mathbf{8,3} \text{ t/h na 1 MW}$$

$$11,6 \text{ MW} \rightarrow \text{průtok } 95,2 \text{ t/h} \Rightarrow 95,2/11,6 = \mathbf{8,2} \text{ t/h na 1 MW}$$

Z přehledu vyplývá, že účinnost roste s vyšším výkonem turbíny TG5.

3.2.2 4. Odběr TG 2 a TG 3 - průběh výkonu a průtok 4. odběrem

Plně nahrazuje TG 5, když je mimo provoz z důvodu oprav či výpadků. Pára proudí přes redukční stanice RS1,2 do sítě vlastní spotřeby. V zimních měsících může také vypomáhat TG5 množstvím páry přes RS1,2 do sítě vlastní spotřeby, ale hlavní náplní 4. odběru je v tomto období je zajištění teplofikace, která při nízkých venkovních teplotách může dosahovat až 150 t/h.

V následující tabulce jsou vyčísleny průměrné hodnoty výkonu TG 3, množství admisní páry TG 3, množství páry ve 4. odběru a množství páry zkondenzované v kondenzátoru.

	Prosinec 2014	Únor 2015	Březen 2015	Květen 2015	Červen 2015
Výkon [MW]	41,1	45,9	40,8	36,8	39,5
Množství AP[t/h]	214,3	220,0	187,7	172,1	172,1
Množství 4.odb[t/h]	94,9	77,6	77,5	53,4	38,6
Množství kondenzátu[t/h]	141,1	143,3	145,8	123,8	124,6

Tabulka č. 4 průměrné hodnoty TG3 ve vybraných měsících

Důležitou informací z této tabulky je, že nejvyšší hodnoty množství páry ve 4.odběru jsou v zimních měsících. Odběr páry pro teplofikaci je velmi vysoký, proto jej zajišťuje samostatně 4.odběr z TG 2 nebo TG3. Pro parovod Sokolov je v zimních měsících nastaven vyšší tlak na hodnotu 1,0 – 1,1MPa. Turbína TG 5 zásobuje parou pouze vlastní spotřebu o tlaku 0,78MPa, z toho důvodu nemůže v zimním období zásobovat teplofikaci.

V tabulce je také uvedeno množství AP čili admisní páry (vstupní pára z kotle) a množství kondenzátu (pára kondenzující na vodu v kondenzátoru na výstupu z nízkotlaké části turbíny). Je nutné, aby množství kondenzátu bylo vyšší než 80t/h, aby nedošlo ke spálení parní vývěvy. Proto se do kondenzátoru musí přidávat chemicky upravená voda, neboť při vyšším odběru pro teplofikaci, může být množství kondenzátu nízké. Hodnoty množství kondenzátu v tabulce jsou uvedené i s přídatnou chemicky upravenou vodou.

3.2.3 4. Odběr TG 1

Pro síť 1MPa lze použít pouze při výkonu vyšším 42 MW TG a správné funkci zpětných odběrových ventilů (donesávena zhoršená funkce). Nedochozí však u něj k tlakovým ani tepelným ztrátám a neomezuje výkon samotné TG 1. V následující tabulce č. 5 zjišťujeme využití výkonu TG 1 pro síť 1MPa.

	listopad	únor	Březen	duben	květen	červen	červenec
výkon[MW]	43,4	48	36,8	36,3	39,1	34,6	36
Tlak ve 4. odběru[MPa]	0,74	0,78	0,6	0,6	0,66	0,58	0,6

Tabulka č. 6 průměrné hodnoty výkonu a tlaku ve 4.odběru TG1

Tlak ve 4. Odběru závisí na výkonu TG. Čím větší výkon, tím větší podpora sítě 1MPa. Po opravě zpětného odběrového ventilu se změnila tlaky ve 4. odběru viz tabulka č.6

Výkon TG1[MW]	Tlak ve 4.odb. před opravou [MPa]	Tlak ve 4.odb po opravě [MPa]
30	0,47	0,49
35	0,56	0,58
40	0,65	0,67
45	0,75	0,82
50	0,83	0,92

Tabulka č. 7 tlak ve 4.odběru TG1 před a po opravě ZOV

3.2.4 Náhradní zdroje HRS 1,2 a RCHS 1,2

Náhradní zdroje využíváme jen v případech nezbytně nutných pro provoz. Nebo když je odstavena ETI I dodává páru do sítě 1MPa a teplofikace HRS1 nebo HRS2.

HRS 1,2 15 – 150 t/h, 5 – 55 t/h

Využívá se při poruchových stavech ETI I (tj. fluidních kotlů 11, 12). Při odstavení ETI I musí blok ETI II omezit výkon a dodat potřebné množství páry pro síť 1MPa a teplofikaci, z čehož vyplývá jeho horší účinnost a ekonomie.

RCHS 1,2 120t/h

Regulace škrcením admisní páry přímo z fluidních kotlů FK 11, 12 ⇒ neekonomické, používá se při najíždění a odstavování FK 11, 12. Zde se dá zhodnotit pára, která ještě nedosahuje parametrů pro parní turbínu. V letních měsících, když je malá vlastní spotřeba a teplofikace, nastává problém při najíždění a odstavování kotle s přebytkem páry a dochází k omezení výkonu TG 5 i dočasné možnosti odstavení z důvodu nízkých parametrů turbíny.

3.2.5 Běžný provoz a hodnoty vlastní spotřeby a teplofikace

Při běžném provozu se monitorují hodnoty množství páry pro síť 1MPa a teplofikaci. Zde jsou uvedeny průměrné hodnoty v zimním a letním období. V tabulce jsou uvedeny průměrné měsíční hodnoty.

CZT – Teplofikace

- **Zimní období** množství 43,2 t/h tlak 1 – 1,1MPa
- **Letní období** množství 18,9 t/h tlak 0,73 – 0,78MPa

Síť 1MPa – vlastní spotřeba

- největší vliv na vlastní spotřebu má celkový provoz elektrárny, tzn. čím více turbogenerátorů a zařízení, tím větší vlastní spotřeba
- **Zimní období** množství 45,1 t/h tlak 0,73 – 0,78MPa
- **Letní období** množství 41,6 t/h tlak 0,73 – 0,78MPa

	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listop	pros.
Síť 1MPa	42,5	39,8	67	30,6	37,1	40,7	45,6	48,4	42,2	35,8	44,6	46
CZT (t/h)	51,1	55,1	41,8	26,7	23,1	17,6	15,2	13,5	15,8	28	38,4	46

Z uvedené tabulky průměrných hodnot spotřeby páry pro síť 1MPa a teplofikaci plyne, že **množství páry pro teplofikaci nejvíce ovlivňují klimatické podmínky**. Proto je velký rozdíl mezi zimním a letním obdobím. **Hodnoty uvedené červeně umožňují provoz turbíny TG5 pro vlastní spotřebu a zároveň pro teplofikaci**. Součet množství páry pro teplofikaci a síť 1MPa se pohybuje v rozmezí 60 do 70t/h, proto je výkon TG5 efektivní kolem 7MW.

Hodnoty množství pro vlastní spotřebu jsou nečekaně konstantní. Jejich změnu ovlivňuje zejména počet zařízení v provozním stavu (kotle a turbíny). **Abnormálně vysoká je hodnota v březnu 2015**, kdy byl v provozu 4. odběr TG 2 zároveň s turbínou TG5. Po důkladnějším srovnání hodnot bylo zjištěno, že množství páry ze 4. odběru bylo 77,5t/h kdežto pro teplofikaci pouze 41,8t/h, z čehož plyne, že pára ze 4.odběru TG 2 proudila do sítě 1MPa přes

redukční stanici. Tento provoz je velmi neefektivní, protože snižuje výkon TG5 a zároveň snižuje účinnost TG2.

Kapitola Measure pomohla odhalit, jaké režimy je efektivní využívat **vzhledem k ročnímu období a klimatickým změnám**. Z měření bylo také zjištěno, že operátoři dostatečně nevyužívali co nejvyššího výkonu TG5, zejména v březnu 2015. Proto byl provoz velmi neekonomický z důvodu nižšího výkonu TG5 a zhoršení účinnosti TG2, protože pára nevykonala práci v nižších stupních TG2. Při tomto provozu je důležité kontrolovat nastavení regulace tlaku na RS1,RS2. Tyto redukční stanice přepouštějí páru ze 4.odběru TG2,3 do sítě 1MPa, což je důležité při výpadku TG5 nebo při rychlých změnách v síti 1MPa. **Při běžném provozu musí být tlak nastaven tak, aby redukce zůstaly uzavřené a tlak v síti 1MPa řídila samostatně TG5.**

3.3 A – Analyze – analyzovat

Pro ověření, zda by nebylo efektivnější TG 5 odstavit a provozovat jen 4. odběr TG2,3 byl proveden výpočet výkonu turbíny TG5 a výkonu ze 4.odběru TG2,3. Pro analýzu a zjištění dalších příčin nedostatků byl využit analytický nástroj **Ishikawův diagram**.

3.3.1 Porovnání účinnosti TG 5 a 4.Odběru TG2 a 3

TG 5 potřebná entalpie při chodu naprázdno – k dosažení 3000ot./min

Vstupní parametry - tlak $p = 9,25\text{MPa}$ teplota $T = 482^\circ\text{C}$ entalpie $h_1 = 3333\text{KJ/kg}$

Výstupní parametry - $p = 0,78\text{MPa}$ $T = 382^\circ\text{C}$ $h_2 = 3225\text{KJ/kg}$

Energie potřebná pro udržení TG na 3000ot./min

(množství t/h) při 3000 ot./min

$$v = v_1 - v_2 = 13 - 1 = 12\text{t/h} = 3,33\text{kg/s}$$

v_1 - naměřené množství před TG v_2 - množství páry procházející odvodněním

$$P_{3000} = (h_1 - h_2) \cdot v = (3333 - 3225) \cdot 10^3 \cdot 3,33 = 108 \cdot 10^3 \cdot 3,33 = 360 \cdot 10^3\text{W}$$

Je nutné vyčíslit tuto energii, protože počítáme energii nutnou k provozu TG. V případě provozu ze 4. odběru musí být TG 2,3 v provozu neustále.

Rozdíl energie při provozu TG 5 a při provozu přes 4. odběr

TG 5 při výkonu 5MW $v = 50\text{t/h} = 13,8\text{kg/s}$

Vstupní parametry $p = 9\text{ MPa}$ $T = 500^\circ\text{C}$ $h_1 = 3387\text{ KJ/kg}$

Výstupní parametry $p = 0,8\text{ MPa}$ $T = 288^\circ\text{C}$ $h_2 = 3035\text{ KJ/kg}$

$$P_f = (h_1 - h_2) \cdot v = (3387 - 3035) \cdot 10^3 \cdot 13,8 = 352 \cdot 10^3 \cdot 13,8 = 4857,6 \cdot 10^3\text{ W}$$

Musíme odečíst energii nutnou pro najetí TG na 3000ot/min naprázdno

$$P_{TG5} = E_f - E_{3000} = 4857,6 \cdot 10^3 - 360 \cdot 10^3 = 4497 \cdot 10^3\text{ W}$$

TG 3 výkon 30MW množství ve 4. Odběru $v = 50\text{t/h}$

Vstupní parametry $p = 9\text{ MPa}$ $T = 500^\circ\text{C}$ $h_1 = 3387\text{ KJ/kg}$

Výstupní parametry $p = 1\text{ MPa}$ $T = 292^\circ\text{C}$ $h_2 = 3038\text{ KJ/kg}$

$$P_{4.Odb.} = (h_1 - h_2) \cdot v = (3387 - 3038) \cdot 10^3 \cdot 13,8 = 4816,2 \cdot 10^3\text{ W}$$

Z výpočtu je patrné, že při odběru kolem 50t/h a nižším výkonu TG5 je výhodnější pára ze 4.odběru

TG 5 při výkonu 7MW $v = 64\text{t/h} = 17,7\text{kg/s}$

Vstupní parametry $p = 9\text{ MPa}$ $T = 500^\circ\text{C}$ $h_1 = 3387\text{ KJ/kg}$

Výstupní parametry $p = 0,8\text{ MPa}$ $T = 274^\circ\text{C}$ $h_2 = 2998\text{ KJ/kg}$

$$P_f = (h_1 - h_2) \cdot v = (3387 - 2998) \cdot 10^3 \cdot 17,7 = 389 \cdot 10^3 \cdot 17,7 = 6885,3 \cdot 10^3\text{ W}$$

Musíme odečíst energii nutnou pro najetí TG na 3000ot/min naprázdno

$$P_{TG5} = E_f - E_{3000} = 6885,3 \cdot 10^3 - 360 \cdot 10^3 = 6525,3 \cdot 10^3\text{ W}$$

TG 3 výkon 40MW množství ve 4. Odběru $v = 64\text{t/h} = 17,7\text{kg/s}$

Vstupní parametry $p = 9 \text{ MPa}$ $T = 500^\circ\text{C}$ $h_1 = 3387 \text{ KJ/kg}$

Výstupní parametry $p = 1,1 \text{ MPa}$ $T = 292^\circ\text{C}$ $h_2 = 3030 \text{ KJ/kg}$

$$P_{4.Odb.} = (h_1 - h_2) \cdot v = (3387 - 3030) \cdot 10^3 \cdot 17,7 = 6318,9 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Z výpočtu plyne, že při vyšším odběru páry ve vlastní spotřebě a vyšším výkonu TG5 je efektivní turbínu TG5 plně využívat. Další nevýhodou 4. odběru TG 2,3 je nemožnost regulace na nižší tlak při výkonech přesahující 45MW. V tomto provozu je tlak za pátým regulačním stupněm vysoký a nelze ho zregulovat na nižší hodnotu.

3.3.2 Analýza vlastní spotřeby - Ishikawův diagram

Řešení pomocí Ishikawova diagramu má pomoci odhalit největší příčiny nedostatků v našem procesu. Ke zjištění konkrétních příčin nedostatků bylo využito brainstormingu. Toho se účastnili kolegové operátoři turbín, technik provozu, mistr kotelny a strojovny a zámečnick kondenzace. K vybraným oblastem tým společně hledal příčiny možných nedostatků, tak aby jich bylo co nejvíce.

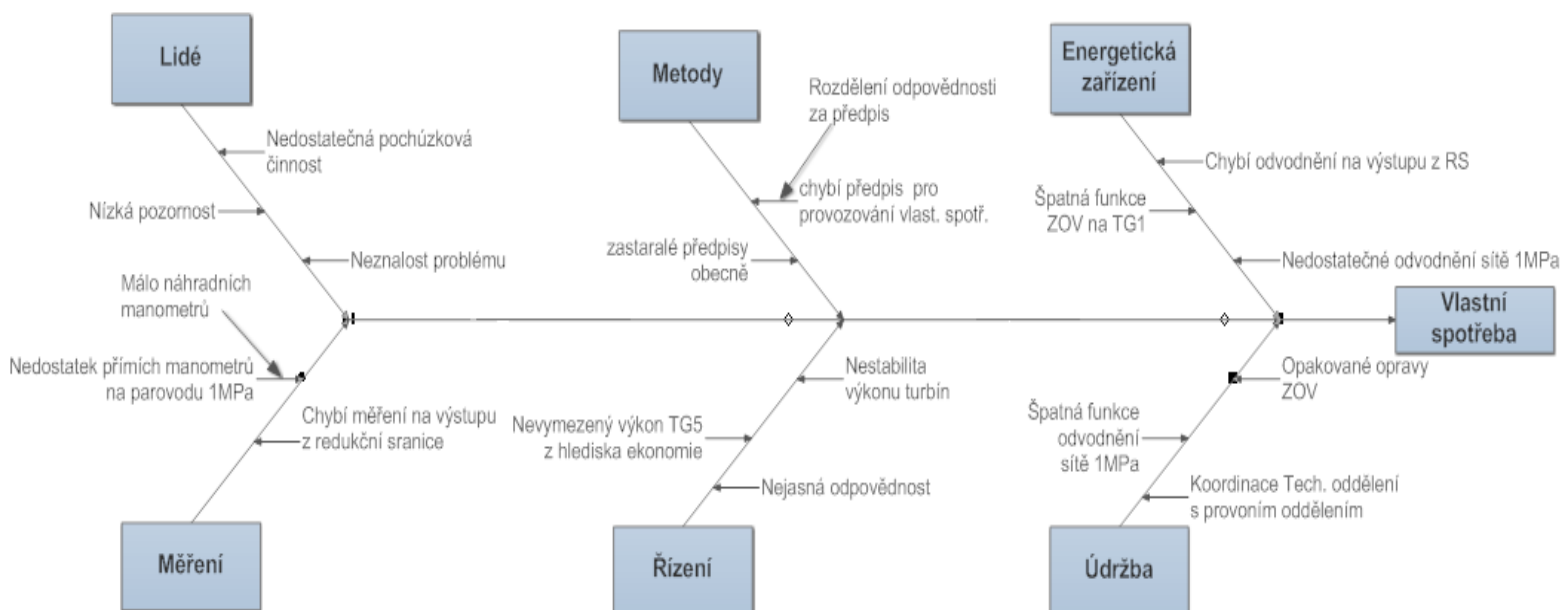


Schéma - Ishikawův diagram

Po vyčerpání nápadů k navrženým příčinám nedostatků bylo na každém účastníkovi, aby ohodnotil navržený diagram váhovým koeficientem. Všichni účastníci ohodnotili každou příčinu váhovým koeficientem, který se předem stanovil od 1 do 10 (kde 10 - nejvyšší, 1 - nejnižší nedostatek). Na závěr byl vyhodnocen průměr jednotlivých váhových koeficientů ke každé příčině.

Vyhodnocení na základě váhových koeficientů

Lidé

Nedostatečná pochůzková činnost – 1,3

Nízká pozornost – 2

Neznalost problému – 3

Metody

Zastaralé předpisy – 4,8

Chybí předpis pro vlastní spotřebu – 5,2

Rozdělení odpovědnosti za předpis – 3

Energetická zařízení

Chybí odvodnění na výstupu z redukční stanice – 5,2

Špatná funkce ZOV na TG1 – 6

Nedostatečné odvodnění – 7,8

Údržba

Koordinace technického oddělení s provozním oddělením – 3,3

Špatná funkce odvodnění sítě 1MPa – 8,5

Opětovné opravy 3. A 4.ZOV – 2

Řízení

Nestabilita výkonů turbín – 1,3

Nevymezený výkon z hlediska ekonomie – 6,7

Nejasná odpovědnost – 3,3

Měření

Chybí měření na výstupu z redukční stanice – 2

Nedostatek přímých měření – 2,2

Málo náhradních měření – 2,7

Na základě Ishikawova diagram jsme si stanovili nejdůležitější úkoly, které potřebujeme vyřešit nebo zlepšit. Na to se zaměříme v další kapitole.

3.4 I – Improve – zlepšovat

Ve fázi improve se vyhodnotí kroky vycházející z rozdílu účinnosti TG 5 a 4. odběru TG2,3 a z toho pramenící co nejefektivnější provoz TG5. Ve druhé fázi je věnována pozornost oblasti možných příčin, které byly vyhodnoceny pomocí Ishikawova diagramu.

3.4.1. Odstavení TG5 v letních měsících

Z analýzy výkonu TG 5 plyne, že je účinné udržovat výkon co nejvyšší. Stejná úvaha vyplývá i z výpočtu množství t/h na 1 MW při různém výkonu TG5. Z tabulky je patrné, že nejnižší výkony jsou v letních měsících, protože je nižší spotřeba pro teplofikaci a v elektrárně je naplánována údržba a je odstaveno zařízení (běžné či generální opravy na kotelně a strojovně). Z toho plyne nižší vlastní spotřeba a TG 5 je často provozována s nízkým výkonem. V případě trvalejšího poklesu výkonu pod 5 MW je potřeba turbínu odstavit a vlastní spotřebu najet ze 4. Odběru TG 2 či TG 3. Jedná se však pouze o několik týdnů v letních měsících, kdy je teplota přes den i noc poměrně vysoká. V těchto dnech se pohybuje

množství páry pro teplofikaci pod 20t/h a nižší je i vlastní spotřeba páry. Turbína TG5 má proto výkon nižší než 5MW a z toho důvodu je provoz neekonomický.

3.4.2. Využití co nejvyššího výkonu TG5

Je-li potvrzeno, že účinnost TG s vyšším výkonem roste, musíme klást důraz na to, aby se TG provozovala na co největším výkonu. V případě, že je v provozu TG5 a zároveň 4. odběr TG2 nebo TG3, je potřeba, aby pára ze 4. odběru nevypomáhala přes redukční stanici pokrytí množství vlastní spotřeby. Jedná se zejména o zimní provoz s vysokým odběrem vlastní spotřeby i teplofikace, kdy jsou v provozu oba zdroje páry. Je nutno nastavit redukční stanice, tak aby nedocházelo k jejich automatickému otevírání a vypomáhání TG 5 s vlastní spotřebou. Tím by docházelo ke snižování výkonu TG 5 a neekonomickému provozu. Proto je důležité správné nastavení protitlaké regulace TG 5 a regulace redukční stanice RS1 a RS2.

Samotné nastavení regulací provádí operátor TG. Dříve docházelo vinou pomalé regulace k velkému rozkmitu výkonu TG5, a z toho důvodu si operátor nastavil vyšší tlak na RS1 a RS2, tím se snížil rozkmit výkonu TG5. Po generální opravě regulace TG5 regulaci hydraulickou nahradila regulace elektrohydraulická a k velkému rozkmitu již nedochází. Navíc lze nastavit omezení výkonu omezovací regulací, která zabrání vyjetí výkonu nad 12MW. Omezovací regulace upozorní operátora signalizací.

3.4.3. Vyhodnocení Ishikawůva diagramu

Z vyhodnocení možných příčin Ishikawova diagramu plynou oblasti, které měly nejvyšší hodnoty váhových průměrů. V těchto oblastech je největší pravděpodobnost nedostatků a je nutné je zlepšit.

1. Špatná funkce odvodnění sítě 1MPa – 8,5
2. Nedostatečné odvodnění sítě 1MPa – 7,8
3. Nevymezený výkon z hlediska ekonomie – 6,7
4. Špatná funkce ZOV na TG1 – 6
5. Chybí odvodnění na výstupu z redukční stanice – 5,2
6. Chybí předpis pro vlastní spotřebu – 5,2

7. Zastaralé předpisy – 4,8

Špatná funkce odvodnění sítě 1MPa – 8,5

Vinou špatného odvodnění dochází k potížím zejména při přejíždění teplofikace ze zimního provozu (ze 4. Odběrů TG2,3) na letní provoz, kde je parovod pro Sokolov a další obce, je zásoben ze sítě 1MPa, tj. hlavním zdrojem je TG 5. Je nutné vytvořit odvodnění před zaústěním parovodu sítě 1MPa do parovodu Sokolov. V tomto místě dnes existuje jen odvodnění, které je vyvedeno do volna. Proto odvodnění nelze otevřít naplno pro dostačující a rychlé prohřátí. Nové odvodnění musí mít dostatečnou jmenovitou světlost, aby prohřívání mohlo mít rychlost 4°C/min (dáno normou ČSN 69 0012 - tlakové nádoby stabilní). Také by mělo být opatřeno automatickými odvodňovači pro trvalé odvodnění a zamezení zavodnění potrubí před armaturou JS 500 a zpětnou klapkou (před zaústěním do parovodu Sokolov).

Nedostatečné odvodnění sítě 1MPa – 7,8

Parovod sítě 1MPa je potrubí, které je velmi dlouhé a prochází po celé délce strojovny. Vzhledem ke své velikosti nemá dostatečný počet odvodnění. Odvodnění má také nedostatečnou jmenovitou světlost, která by zajišťovala možnost potrubí rychle prohřát. V případě, že potrubí není dostatečně prohřáté, hrozí, že dojde k jeho zavodnění, z čehož pramení velké rázy potrubí. Následkem rázů vznikají velké netěsnosti u přírubových spojů. Po vzniku velké netěsnosti se z pravidla musí odstavit celý parovod a s ním také celá ETI I, protože je pro ni pára ze sítě 1MPa nezbytná. Nebezpečí hrozí v období, kdy je provoz ustálený a náhle dojde například k výpadku TG5. Pára začne proudit jinou trasou, kde může být parovod zavodněn. Z toho důvodu je důležitá možnost potrubí rychle odvodnit a prohřát.

Nevymezený výkon z hlediska ekonomie – 6,7

Nevymezený výkon z hlediska ekonomie souvisí s výkonem TG5 popsaném v předchozích kapitolách. Management podniku by měl pověřit technické oddělení vytvořením provozního předpisu, který nastaví pravidla pro zajištění ekonomického provozu turbíny TG5 v souvislosti s vlastní spotřebou. Je důležité, aby byl ekonomický provoz vlastní spotřeby jasně popsán a definoval operátorům, v jakém výkonovém pásmu turbínu provozovat.

Špatná funkce ZOV na TG1 – 6

Zpětný odběrový ventil je složitá armatura, jejíž funkcí je bezpečně uzavřít odběr v případě výpadku TG. Proto má hydraulický mechanismus, který armaturu uzavírá při ztrátě rychlozávěrného oleje, tj. při výpadku turbíny. Jeho špatná funkce spočívala v nedostatečném otevření při provozu TG. U zařízení už proběhla oprava, proto lze vyhodnotit zlepšení.

Výkon TG1[MW]	Tlak ve 4.odb. před opravou [MPa]	Tlak ve 4.odb po opravě [MPa]
30	0,47	0,49
35	0,56	0,58
40	0,65	0,67
45	0,75	0,82
50	0,83	0,92

Tabulka č. 7 tlak ve 4.odběru TG1 před a po opravě ZOV

Z tabulky je patrné, že tlak za 4. ZOV je vyšší a proto při vysokém výkonu postačuje pára ze 4. Odběru pro vlastní zařízení VTO (15t/h), napájecí nádrž (7t/h) a ucpávkovou páru (1t/h). To znamená, že v síti 1MPa ušetříme až 20t/h. V případě výkonu nad cca 42MW 4. Odběr zásobí síť 1MPa a stává se tak dalším zdrojem páry pro vlastní spotřebu.

Chybí odvodnění na výstupu z redukční stanice – 5

Na výstupu z redukční stanice nebylo v minulosti instalováno žádné odvodnění, to způsobovalo zavodňování parovodu na výstupu tohoto úseku parovodu. Toto nedopatření bylo vyřešeno novým odvodněním. Nově bylo zhotoveno **odvodnění na výstupu z redukční stanice** i s automatickým odvaděčem gestra (fungujícím na principu bimetalu, při ochlazení média automaticky otevírá a tím potrubí udržuje prohřáté). Provozování s nově zabudovaným odvodněním potvrdilo svoji užitečnost a parovod byl bezproblémově uveden do provozu.

Chybí předpis pro vlastní spotřebu – 5,2

Provozování vlastní spotřeby je důležitou částí pro provoz elektrárny. Velkým nedostatkem je fakt, že chybí předpis nebo stať v předpisu pro TG 5, která by se důkladně věnovala

provozování vlastní spotřeby. Stávající předpis pro TG 5 se zabývá zejména samotnou TG, ačkoliv v kapitole ekonomie provozu jsou popsány podmínky pro provoz **s nebo bez TG 5**. Na základě kontrolního měření jsou popsány následující podmínky.

Podmínky ekonomického provozu TG 5

a) TG 5 v provozu - $N \geq 5 MW$ (odběr páry 50t/h a více)

Při výkonu TG 5 5MW a vyšším je turbogenerátor provozován.

b) TG 5 lze odstavit – $4 MW < N < 5 MW$ (odběr páry od 40 do 50 t/h)

Při výkonu TG 5 nad 4MW do 5MW lze turbogenerátor odstavit, není-li předpoklad opětného zvýšení odběru páry a tím i výkonu TG.

c) TG 5 odstavit – $N \leq 4 MW$ (odběr páry 40t/h a méně)

Při poklesu výkonu TG 5 pod 4 MW je nutno turbogenerátor odstavit.

Z Předpisu TG5

Předpis potvrzuje naše výpočty z kapitoly 3.3.1., ale neukazuje podrobnější výpočet a nepoukazuje na předpoklad provozu např. HRS1 či HRS2. V dnešní době je síť 1MPa připravena k využití náhradních zdrojů z ETI II. Tyto regulační stanice lze využít za předpokladu, že bude v provozu pouze ETI II. Proto by měly být vytvořeny předpisy pro provoz sítě 1MPa.

Zastaralé předpisy – 4,8

Obecný problém se týká i ostatních předpisů. Přestože jsou předpisy platné, v mnoha případech popisují zařízení, která už neexistují nebo naopak nejsou o nových zařízeních žádné celistvé pokyny pro jeho obsluhu. Operátoři nemají adekvátní pokyny pro obsluhování zařízení. Často jsou pokyny pro obsluhování nových zařízení neucelené dokumenty, napsané nahodilou formou a obsahující nepřesnosti. Většinou dokumenty nejsou uspořádané a lze je jen obtížně dohledat.

V oblasti vlastní spotřeby páry obsluhují zařízení operátoři TG. Je velmi důležité, aby se dokázali zorientovat v problému, aby měli potřebnou dokumentaci s přehlednou metodikou popsanou v místním provozním předpisu.

3.5 C – Control – řídit

Poslední a závěrečný krok spočívá v zavedení změn do procesů nebo systémů. V případě sítě 1MPa a TG5 se zavedené změny musí zakomponovat do provozních předpisů. Důležité je přesvědčit se, že se provedené změny řádně dodržují a uplatňují v každodenním provozu.

3.5.1 Nové předpisy

Vytvoření nových provozních předpisů není záležitost, kterou lze provést v krátkém časovém horizontu. Faktem je, že struktura zaměstnanců v elektrárně už není tak široká, jako tomu bývalo v minulosti. Proto by měl management pověřit zaměstnance odpovědností za zhotovení nových předpisů. Je třeba vytvořit časový horizont a harmonogram, který by určoval hraniční termíny pro vytvoření jednotlivých částí předpisů.

3.5.2 Provozní dokumentace

Předpisy lze měnit i formou změnových listů. Ty jsou poměrně běžnou formou, ale v současné době není tento způsob vhodný, protože je kvůli své šíři nepřehledný. Vznikly proto nové desky, kam se umísťují pokyny, předpisy a manuály k novým zařízením. Je to sice náhradní řešení, ale je nutné, aby se zachovala nějaká přehlednost v podkladech důležitých pro provoz zařízení. Zodpovědností za tuto agendu byl pověřen technik provozu, který by se měl podílet také na nových předpisech. Technik provozu má na starosti také kontrolu provozu z hlediska dodržování provozních předpisů operátory. Proto také kontroluje dodržování změn, které se v souvislosti s TG 5 a sítí vlastní spotřeby již podařilo prosadit.

3.5.3 Kontrola nových opatření

Nové změny, které byly navrženy v provozu, už potvrzují svůj kladný přínos. Jedná se zejména o dodržování správného výkonu TG5, tak aby byl ekonomický a využíval se co nejvyšší výkon. Provoz TG5 je monitorován zejména směnovými inženýry, kteří upozorňují operátory, aby TG5 byla provozována efektivně.

Další pozitivní změna je v odvodnění na výstupu z redukční stanice do parovodu Sokolov. Při najíždění tohoto parovodu došlo k mnohem rychlejšímu stoupání teploty páry a snížilo se

riziko zavodnění parovodu. To potvrdilo důležitost investice do dalšího odvodnění, které bylo navrženo na síti 1MPa.

Vzhledem k dlouhodobému odstavení TG1 nelze úplně prokázat zlepšení v provozu s opravenými 3. a 4. ZOV Na základě hodnot uvedených v *Tabulce č.7* je zlepšení velmi pravděpodobné.

Nevýhodou je, že tento rok bude velká část elektrárny odstavena v rámci strategie celého podniku, na kterou má velký vliv současná cena za elektrickou energii a vyšší cena uhlí od dodavatele. Bohužel, v tomto režimu nelze plnohodnotně ověřit ekonomickou výhodnost s možným odstavováním TG5 při nízkých hodnotách pod 5MW. Ale protože je cyklus DMAIC nepřetržitý, musí probíhat zlepšování neustále. Lze očekávat, že potvrzení správnosti a výhodnosti změn bude pokračovat i v příštím roce a v blízké budoucnosti.

4. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo optimalizovat řízení vlastní spotřeby elektrárny Tisová a stanovit optimální výkon TG. Pro tento cíl bylo použito metody DMAIC, která je součástí manažerské filosofie SIX SIGMA. V rámci metody DMAIC bylo využito nástrojů jako je procesní mapa, Ishikawův diagram a brainstorming.

V úvodní, teoretické části, je práce zaměřena na seznámení se s elektrárnou Tisová. Jsou zde popsány zdroje a technologie, které elektrárna využívá. Další část teorie se věnuje metodě DMAIC, která je součástí strategie řízení Six Sigma. V této části jsou popsány jednotlivé kroky této metody včetně nástrojů, které můžeme využít v praktické části.

V další části je popsán současný stav elektrárny zaměřený na vlastní spotřebu a její hlavní zdroj turbínu TG5. Další důležitou částí vlastní spotřeby je 4.odběr TG 2.3, který dokáže plně nahradit TG5 a popis dalších zdrojů, které můžeme využít jako zdroje páry pro vlastní spotřebu. Potom zde jsou popsány spotřebiče páry a jejich funkce a využití. Zdroje i spotřebiče jsou také znázorněny do jednoduchých schémat, které mohou pomoci pochopit oběh páry v elektrárně.

V praktické části dochází k přímé aplikaci metody DMAIC na optimalizaci výkonu TG5 a spotřebu páry v síti 1MPa. Práce je ucelená podle jednotlivých kroků metody s využitím možných nástrojů. Kromě hlavní části práce, která se soustředila na výkon TG5, se podařilo díky nástrojům řízení kvality brainstorming a Ishikawův diagram poukázat na další problémy v síti 1MPa. Šlo zejména o problémy s odvodněním parovodu sítě 1MPa a zpracováním předpisů.

V posledním kroku metody je popis aplikovaných změn v síti 1MPa. Pozornost je věnována především implementaci změn do provozních předpisů a činnostem, které se podařilo zlepšit. Pozitivní změny jsou v ekonomičtějším provozu TG5, který je více kontrolován ze strany managementu a operátoři už vnímají potřebu provozovat výkon TG5 tak, aby byl efektivní. Mezi další pozitiva patří vybudování odvodnění na výstupu z redukční stanice a oprava 3. a 4. odběru TG1. Bohužel vytvoření nových předpisů dosud nebylo prosazeno. Důvodem je zejména složité období, které nepřeje hnědohelným elektrárnám. Pozornost vedení je věnována jiným záležitostem a nová opatření se prosazují obtížně. Je však důležité prosazovat nová opatření nadále, i když realizace proběhne v delším časovém horizontu.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] STANĚK, Jiří; NĚMEJC, Jiří. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací*. Plzeň : Západočeská univerzita,, 2005. 58 s. ISBN 80-7043-363-9.
- [2] ZÍDKOVÁ, Helena; ZVONEČEK, František. *Jakost - styl života pro třetí tisíciletí* . Plzeň : Západočeská univerzita,, 2003. 139 s. ISBN 80-7043-243-8.
- [3] ČSN 69 0012 (690012). *Tlakové nádoby stabilní. Provozní požadavky*. Český normalizační institut, (ČSN 69 0012)
- [4] KORTUS, Petr. *Místní provozní předpis TG 5 pro elektrárnu Tisová 6/1996*
- [5] TÖPFER, Armin a kolektiv. *Koncepce a příklady pro řízení bez chyb*. Computer press/CP books,, 2007. 508s.ISBN 978-80-251-1766-8
- [6] KORMANEC, Peter. IPA Czech, s.r.o. *IPA: DMAIC - Model řízení Six Sigma projektu*. [online]. [cit. 2016-05-08] Dostupné z: <http://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/dmaic-model-rizeni-six-sigma-projektu>
- [7] STŘELEK, Jiří. *Vlastnicesta.cz*. [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.vlastnicesta.cz/metody/metody-kvalita-system-kvality-iso/ishikawa-diagram/>
- [8] ČEZ, a. s. *Elektrárna Tisová*. [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/tisova.html>
- [9] STŘELEK, Jiří. *DMAIC Metoda* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.vlastnicesta.cz/metody/dmaic-metoda-1/>
- [10] CPI Web servis s.r.o. *SVĚT PRODUKTIVITY: DMAIC - Model řízení Six Sigma projektu*. [online]. [cit. 2016-05-17] Dostupné z: <http://www.svetproduktivity.cz/slovník/DMAIC-Model-rizeni-Six-Sigma-projektu.htm>
- [11] PDQM, s.r.o *PDQM: S PDQM standardy skutečně pomáhají* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.pdqm.cz/Standards/Business-Excellence/DMAIC.html>
- [12] VAVRUŠKA, Jan. *DMAIC Definuj, Měř, Analyzuj, Inovuj, Kontroluj* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/5632128-Dmaic-definuj-mer-analyzuj-inovuj-kontroluj.html>

