

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Analýza současného stavu v Plzeňské teplárenské a.s.

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce ve své první části popisuje technologické vybavení společnosti Plzeňská Teplárenská a.s. především pak kotlů a turbín. Ve druhé části se zaměřuje na princip absorpčního chlazení, jeho výhody a jednotlivé chladicí jednotky po Plzni. V poslední části jsou spočteny účinnosti jednotlivých turbín při různých provozních stavech a jejich zhodnocení.

Klíčová slova

kogenerace, teplárna, centrální rozvod tepla, výroba elektrické energie a tepla, odsíření, kotel, turbína, absorpční chlazení, termodynamické výpočty, účinnost

Abstract

The presented bachelor thesis in first part describes the technological equipment of Plzeňská Teplárenská, a.s. in particular boilers and turbines. The second part focuses on the principle of absorption cooling, advantages and individual cooling units in Pilsen. The last part calculates the efficiency of individual turbines in different operating states and their evaluation.

Key words

cogeneration, heating plant, central heat distribution, electricity and heat generation, desulphurization, boiler, turbine, absorption cooling, thermodynamic calculations, efficiency

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 6.6.2017

Karel Úlovec

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Hromádkovi za rady, připomínky a odborné vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Černíkovi za všechna poskytnutá data a provedení provozem Plzeňské Teplárenské a.s. a také panu Ing. Skřivánkovi za poskytnutí bilančních schémat.

Obsah

OBSAH	6
ÚVOD	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
1 VÝROBA TEPELNÉ A ELEKTRICKÉ ENERGIE – KOGENERACE	9
1.1 POPIS KOGENERAČNÍ VÝROBY.....	9
1.2 TECHNICKÉ PARAMETRY.....	10
1.3 POPIS KOTLŮ K4 A K5.....	11
1.4 POPIS FLUIDNÍHO KOTLE K6.....	13
1.5 POPIS FLUIDNÍHO KOTLE K7.....	15
1.6 TECHNOLOGICKÝ ZPŮSOB ODSÍŘENÍ.....	18
1.7 POPIS PROTITLAKOVÉ TURBÍNY TG1.....	19
1.8 KONDENZÁTOR CHLAZENÝ ATMOSFÉRICKÝM VZDUCHEM.....	20
1.9 KONDENZAČNÍ TURBÍNA TG2.....	21
1.10 KONDENZAČNÍ TURBÍNA TG3.....	22
2 ABSORPČNÍ CHLAZENÍ	23
2.1 TRENDY, VÝHODY A NEVÝHODY ABSORPČNÍHO CHLAZENÍ.....	23
2.2 PRINCIP ABSORPČNÍHO CHLAZENÍ.....	23
2.3 CHLADÍČÍ JEDNOTKA V PLZEŇSKÉM PIVOVARU.....	24
2.4 DALŠÍ CHLADÍČÍ JEDNOTKY PO PLZNI.....	27
3 VÝPOČTY PARAMETRŮ PROVOZNÍCH STAVŮ	29
3.1 PROVOZNÍ STAVY NA TURBÍNĚ TG1.....	29
3.2 PROVOZNÍ STAVY NA TURBÍNĚ TG2.....	32
3.3 PROVOZNÍ STAVY NA TURBÍNĚ TG3.....	36
3.4 VYHODNOCENÍ PROVOZNÍCH STAVŮ TG1.....	39
3.5 VYHODNOCENÍ PROVOZNÍCH STAVŮ TG2.....	40
3.6 VYHODNOCENÍ PROVOZNÍCH STAVŮ TG3.....	41
ZÁVĚR	42
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	43
PŘÍLOHY	45

Úvod

Plzeňská teplárenská a.s. je společností zaměřující se na výrobu a rozvod tepelné energie, výrobu elektřiny a obchod s elektřinou. Podnikatelská činnost firmy probíhá na území města Plzně. Společnost během svého působení na trhu od roku 1994 prošla několika změnami a modernizace proběhla ve všech odvětvích společnosti. Mezi hlavní cíle společnosti patří spokojený zákazník, maximální efektivita práce, ekologický provoz a také minimalizace nákladů.

Hlavním úkolem společnosti je zajištění základních potřeb pro obyvatele města Plzně, což je teplo, elektřina a chlad. Výroba a distribuce těchto tří služeb od jedné společnosti nabízí zákazníkům ekologické a efektivní nakládání se základními zdroji. Dlouhodobým cílem společnosti je zvyšování kvality služeb všem svým zákazníkům a vybudování efektivní a ekologické dodávky energie.

Plzeňská teplárenská a.s. je společnost, která intenzivně pracuje na minimalizaci ekologické zátěže svého okolí a soustředí se na všechny ukazatele kvality vypouštěných emisí. Mezi sledované složky patří množství vyprodukovaných emisí kouřových plynů, emise CO₂, množství produkovaných odpadů z centrálního zdroje, množství vyprodukovaných popelovin, množství odebrané surové vody, množství a kvalita vypouštěných vod a spotřeba paliva. Všechny faktory, které negativně ovlivňují sledované ekologické ukazatele, jsou odstraňovány a minimalizovány. Proces minimalizace ekologické zátěže je prováděn v souladu českých i evropských norem. Plzeňská teplárenská a.s. se řadí mezi společnosti, které jsou nejšetrnější k životnímu prostředí v kategorii výroby tepla a elektřiny. Tato skutečnost je každoročně potvrzena výsledky z laboratoří. [1]

Seznam symbolů a zkratk

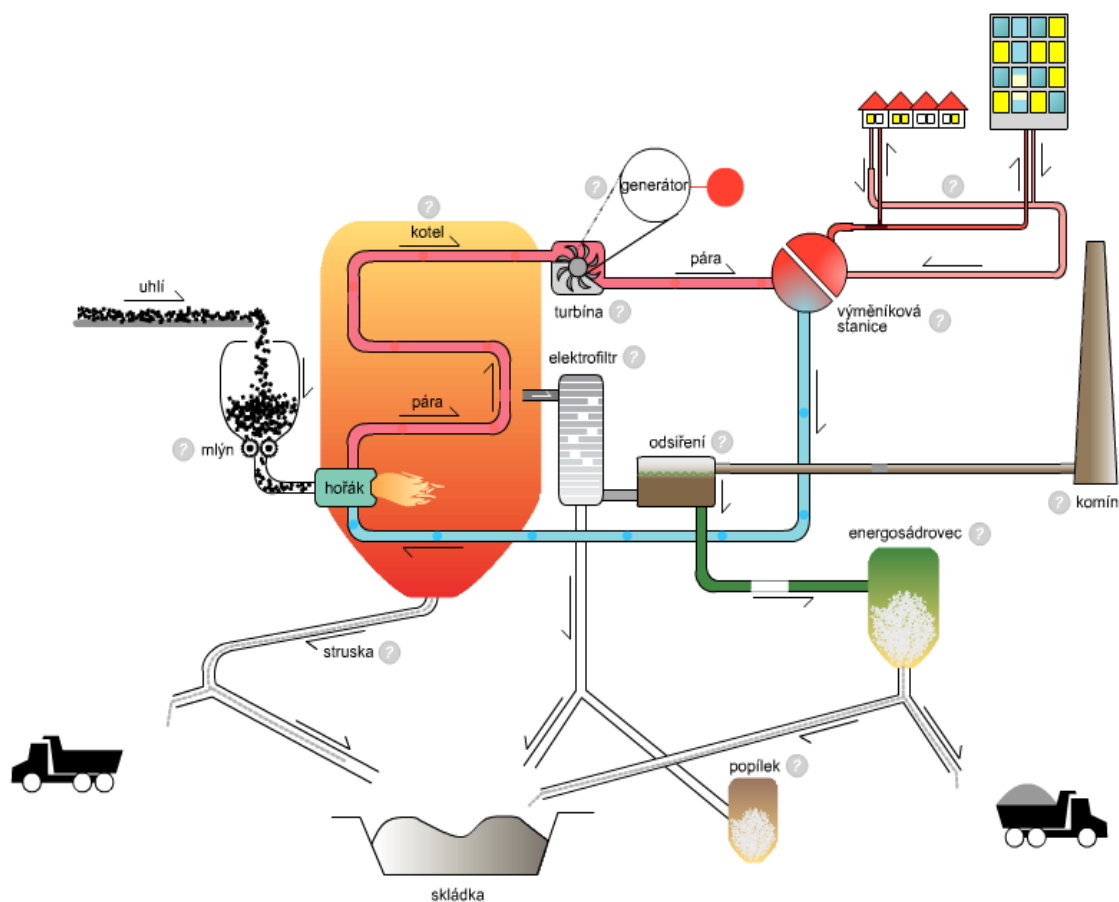
Symbol	Jednotka	Popis
PT a.s.	-	Plzeňská teplárenská a.s.
K2 a K3	-	Horkovodní kotle
K4 a K5	-	Granulační kotle
K6 a K7	-	Fluidní kotle
TG1	-	Protitlaková turbína
TG2 a TG3	-	Kondenzační turbíny
KVET	-	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
ČEPS a.s.	-	Česká přenosová soustava a.s.
P_t	MW_t	Tepelný výkon (Megawatty tepelné)
P_e	MW_e	Instalovaný elektrický výkon (Megawatty elektrické)
P_{ch}	MW_{ch}	Chladicí výkon (Megawatty elektrické)
RO	-	Regenerativní ohřívák
VT	-	Vysokotlaký
NT	-	Nízkotlaký
η_e	%	elektrická účinnost
η_t	%	tepelná účinnost
η_c	%	celková účinnost
t	$^{\circ}C$	teplota
i	kJ/kg	entalpie
p	Pa	tlak
M_p	t/h	hmotnostní průtok
M_{pa}	t/h	hmotnostní průtok admisní páry před turbínou
i_a	kJ/kg	entalpie admisní páry před turbínou
M_{pn}	t/h	hmotnostní průtok odběrů páry z turbín
i_n	kJ/kg	entalpie odběrů páry z turbín
M_{pk}	t/h	hmotnostní průtok napájecí vody před kotlem
i_k	kJ/kg	entalpie napájecí vody před kotlem
M_{pe}	t/h	hmotnostní průtok emisní páry za turbínou
i_e	kJ/kg	entalpie emisní páry za turbínou
M_{ptn}	t/h	hmotnostní průtok topné a vratné vody v horkovodu
i_{ptn}	kJ/kg	entalpie topné a vratné vody v horkovodu

1 Výroba tepelné a elektrické energie – kogenerace

Kogenerace je technologie, která představuje nejefektivnější využití energie. Pro výrobu elektřiny je využita část energie z páry, která se následně využívá i pro dodávku tepla do sítí centralizovaného zásobování teplem. Tato výrobní technologie má oproti samostatné výrobě elektřiny, při které je větší část tepla předávána bez užitku do okolí, nevyvratitelné ekologické a ekonomické výhody. Při samostatné výrobě elektřiny ekologicky zatěžuje krajinu velké množství odpadního tepla a je potřeba většího množství paliva, což má za následek větší množství škodlivin v ovzduší. Použitím kogeneračního způsobu výroby můžeme dosáhnout úspor paliva až 32% a významného snížení ekologické zátěže na okolní krajinu.

1.1 Popis kogenerační výroby

Kotel je zařízení, ve kterém dochází k přeměně energie obsažené v palivu na tepelnou energii. Tato tepelná energie se používá pro přeměnu vody procházející kotlem na vodní páru. Vodní pára vstupuje do turbíny a poté dále do výměňkové stanice, kde dochází k předání tepelné energie. Vodní pára se v turbíně přeměňuje na energii mechanickou a v generátoru je tato energie využita pro přeměnu na energii elektrickou. Z výměňkové stanice se ochlazená voda vrací zpět do kotle. Čištění spalin je prováděno v elektrofiltru a pomocí odsíření. [2]



Obr. 1: Schéma výroby [3]

1.2 Technické parametry

- 2 horkovodní kotle K2 a K3 každý o výkonu 35 MW_t
- 2 parní kotle K4 a K5 (granulační, práškové) každý o výkonu 128 MW_t
- fluidní kotel K6 o výkonu 128 MW_t
- fluidní kotel K7 o výkonu 38,5 MW_t
- protitlaková turbína TG1 - P_{jn} = 67 MW_e - P_{max} = 70 MW_e
- vstupní pára tlak 13,6 MPa - vstupní pára teplota 540°C
- kondenzační odběrová turbína TG2 - P_{jn} = 67 MW_e - P_{max} = 70 MW_e
- vstupní pára tlak 13,6 MPa - vstupní pára teplota 540°C
- kondenzační turbína TG3 - P_{jn} = 10,5 MW_e - P_{max} = 13,5 MW_e
- vstupní pára tlak 6,7 MPa - vstupní pára teplota 490°C

1.3 Popis kotlů K4 a K5

Kotle K2 a K3 jsou mimo provoz už více než tři roky a jsou určeny k demolici, proto se o nich nebudu více rozepisovat. Parní kotle K4 a K5 jsou dvoutahové a jsou řešeny jako granulační jednotky s přirozenou cirkulací syté vody. Každý kotel je vybaven dvěma radiálními vzduchovými ventilátory. Spalovací vzduch se nasává za provozu z kotelny a při chlazení kotle před opravou z okolní atmosféry. Vertikální nasávací potrubí má zabudované tlumiče hluku. Ventilátory dopravují vzduch přes regenerativní ohřívák do dyšen práškových ohříváků a dohořivacího vzduchu. Pro plynové hořáky se používá vzduch odebíraný před regenerativním ohřívákem vzduchu dvěma vzduchovými ventilátory plynových hořáků, umístěných po stranách kotle mezi ventilátorovými mlýny. Jeden ventilátor slouží vždy pro dvojici plynových hořáků.

Pro přípravu práškového paliva je každý kotel vybaven čtyřmi jednotkovými mlýnicemi s ventilátorovými mlýny. Každý mlýn pracuje pro jeden práškový rohový hořák. Sušícím a dopravním médiem jsou spaliny, odsávané ventilačním účinkem mlýna z horní části spalovací komory kotle. Teplota spalin na vstupu do mlýna se reguluje míšením s horkým vzduchem. Surové palivo se dopravuje řetězovými podavači ze zásobníků do mlýnů. Uzávěry zásobníků jsou deskové, ovládané elektropohony. Množství paliva do mlýnů se reguluje plynulou změnou otáček podavačů frekvenčními měniči pohonů. Podavače jsou zaústěny do svodek, které jsou napojeny do sušících šachet před mlýny. Ve svodkách a v třídičích paliva jsou instalovány automatické protivýbuchové systémy.

Granulovaná struska padá z granulační výsyvky ve spodní části spalovací komory svisle na pohyblivý pás (tvořený nosnými plechovými deskami) nového vynašeče škváry. Vodorovná část vynašeče je uložena na podlaze kotelny a šikmá část je zavedena nad primární drtič. Pod výstupem primárního drtiče je nainstalována další část vynašeče, tzv. vychlazovací pásový vynašeč, který je také vybaven vodorovnou a šikmou částí. Pod výsyvkou je umístěna skříň s pneumaticky ovládanou překlápěcí klapkou, která umožní v případě poruchy následného sekundárního drtiče nebo pneumatického dopravního systému vysypávat škváru do přistaveného kontejneru přes svodku zakončenou dvojitou klapkou.

V samostatném tahu za kotlem je umístěn 8 metrů nad zemí svislý regenerativní ohřívák vzduchu. Spaliny vystupují z ohříváku vzduchu dvěma ocelovými kanály, které jsou vybaveny před vstupem do elektroodlučovačů uzavíracími klapkami. Elektroodlučovač je horizontální, dvojitý, tříkomorový. Vnitřní část odlučovače se skládá z vysokonapěťového systému, usazovacího systému a oklepávání.

Popílek z výsypek pod jednotlivými sekcemi padá do komorových podavačů pneumatické dopravy a je v husté fázi dopravován do expedičních sil. Z elektroodlučovače se spaliny odsávají dvěma oboustranně sacími radiálními ventilátory, vybavenými na sací straně regulačními klapkami. V sacím potrubí mezi elektroodlučovačem a regulačními klapkami jsou vmontovány výměníky spaliny-voda, ve kterých je využíváno zbytkové teplo spalin k ohřevu topné vody, čímž se zmenšuje komínová ztráta kotle. Ve společném výtlačném potrubí ventilátorů jednoho kotle je umístěna elektricky ovládaná uzavírací klapka. Výtlačná potrubí od obou kotlů jsou spojena do jednoho kouřového kanálu 2440 x 2500 milimetrů, napojeného podle provozního stavu na odsíření nebo přímo do komína.

Pro čištění ohříváku vzduchu jsou instalovány dva výkyvné ofukovače, které umožňují jejich použití jak pro páru (za provozu kotle), tak pro vodu (při odstaveném kotli). Ofukovače jsou zabudovány na spalínové straně v přechodových spalínových kanálech, jeden ofukovač nad rotorem a druhý pod rotorem. Pára pro ofukovače se odebírá ze spojovacího potrubí deskového přehříváku. Voda pro promývání se dodává čerpadlem z nádrže promývací vody. Ofukovače lze rovněž použít při eventuálním požáru ohříváku vzduchu k hašení.

Spodní část prvního tahu tvoří sálavé topeniště čtvercového průřezu zcela vychlazené celokovovými tvarovanými trubkovými stěnami z varných trubek výparníku. Horní část prvního tahu je zúžena vyhnutím zadní stěny výparníku směrem k topeništi. V zúžené části je umístěn sálavý deskový přehřívák páry. Strop topeniště je proveden z trubek vstupního přehříváku. Na výstupu spalin ze spalovací komory před výparníkovou mříží (přední spalínová mříž) je umístěn výstupní přehřívák. Ve vodorovném tahu za výparníkovou mříží je umístěn vstupní díl výstupního přehříváku a výstupní díl vstupního konvekčního přehříváku. Ve druhém svislém tahu kotle jsou umístěny dva vstupní bloky vstupního konvekčního přehříváku páry a třívazkový ohřívák vody.

Výparný systém kotle je vybaven jedním kotlovým bubnem s vnitřní vestavbou, která je určena pro odlučování vody od syté páry. Z kotlového bubnu je vyveden zavodňovací systém, který je tvořen čtyřmi trubkami velkého průměru pro zavodnění spodních komor výparníku kotle. Výparník je vyroben z trubek vnějšího průměru 60 mm s roztečí 80 mm. Z kotlového tělesa proudí sytá pára trubkami stěnových přehříváků, které tvoří strop a stěny zadního tahu a mezitahu, do vodorovného dílu vstupního konvekčního přehříváku ve druhém tahu kotle a dále do svislého dílu tohoto přehříváku v mezitahu. Z tohoto přehříváku se pára vede vnějším spojovacím potrubím do deskového přehříváku, z něhož se odvádí dalším spojovacím potrubím do výstupního přehříváku.

Teplota přehřáté páry se reguluje vstřikem napájecí vody zavedeným do spojovacího potrubí mezi jednotlivými díly přehříváku. Dva vstřikovací ejektory paralelně řazené jsou situovány mezi prvním (konvekčním) a deskovým přehřívákem. Další dva ejektory jsou umístěny paralelně mezi deskovým a výstupním přehřívákem. Na výstupním potrubí z kotle před hlavním parním šoupátkem jsou umístěny dva impulsní pojistné ventily a armatury najíždění do atmosféry.

Pro zapálení a stabilizaci hoření práškového paliva jsou instalovány na bočních stěnách kotle čtyři plynové hořáky, které jsou jednotlivě plynule řízené regulační klapkou. Je možné nastavit různý počet a různé kombinace provozovaných hořáků. Plynové hořáky jsou opatřeny automatikou.

1.4 Popis fluidního kotle K6

Fluidní kotel s cirkulujícím fluidním ložem K6 slouží k zabezpečení výroby páry jmenovitých parametrů pro provoz turbogenerátorů a ohřev topné vody primárního okruhu. Proces spalování v cirkulujícím fluidním loži je z ekonomického i z ekologického hlediska mimořádně výhodný, neboť umožňuje uvolnění tepelné energie ze směsi hnědého uhlí a biomasy (dřevních štěpků), a to při dodržování přísných požadavků na emisní limity ve spalinách.

Spalování směsi hnědého uhlí a biomasy (dřevních štěpků), v poměru zajišťujícím dostatečnou tvorbu ložového popele a tím dodržení předepsané tlakové diference fluidní vrstvy, a přidávaný mletý vápenec (částice menší než 1 mm), jsou při relativně nízkých teplotách 840 – 900°C spalovány na popelové částice menší než 5 mm.

Fluidizace ložového popele (způsobující, že tuhé částice mohou volně téci a chovají se téměř jako kapaliny) je vytvářena jak primárním spalovacím vzduchem, zaváděným přes dýzové dno v nejnižší části ohniště, tak vztlakem hořením vznikajících spalin. Sekundární vzduch, potřebný pro dosažení stupňovitého a úplného spalování, se přidává ve čtyřech výškových úrovních nad dýzovým dnem ohniště.

Tlak pevnými částicemi silně zhuštěných spalin se po výšce ohniště pozvolně snižuje, a to až k mírnému podtlaku na výstupu z horní části ohniště. Téměř všechny pevné a žhavé částice jsou poté od spalin odděleny v odlučovacím cyklonu, prochází vzduchem fluidizovaným sifonem a přes jeho vnitřní přepadovou hranu jsou nepřetržitě vráceny samospádem popelovou svodkou opět nad dýzové dno ohniště.

Opoždění pohybu pevných částic za rychleji proudícími spalinami prodlužuje dobu setrvání uhlí v ohništi, což má za následek vysokou spalovací účinnost. Fyzikální podmínky v cirkulujícím fluidním loži přitom umožňují intenzivní rozklad přidávaného vápence a následné zachycení hořením uhlí vznikající SO_2 (chemická reakce za vzniku CaSO_4) do žhavého popela při poměrně nízkém molárním poměru vápníku z přidávaného vápence k síře z uhlí.

Ve srovnání s klasickým spalováním relativně nízká teplota celého cirkulujícího fluidního lože (počínaje dýzovým dnem a konče výstupem z ohniště) a odstupňované zavádění spalovacího vzduchu do ohniště jsou přitom účinnými primárními opatřeními pro potlačení tvorby kyslíčků dusíku (NO_x), jak z palivového, tak i ze vzdušného dusíku.

Dvěma výpustmi v dýzovém dně je přebytečný popel kontinuálně odváděn z ohniště. Zde se však již nejedná o spontánní odtékání popela samospádem, nýbrž o jeho regulovaný odběr vodou chlazenými šnekovými vynašeči. Kritériem pro regulaci zmíněného odvodu popela je přitom tlakový spád cirkulujícího fluidního lože mezi nejnižší a nejvyšší částí vzestupného ohniště. Ten je ve velké míře závislý na koncentraci popela ve spalinách. Vysoké cirkulační číslo žhavého popela, jež je charakteristickým rysem kotle s cirkulujícím fluidním ložem, má za následek stejnoměrnou teplotu v celém ohništi a v navazující sestupné části popelového traktu. Tato skutečnost vytváří velmi příznivé provozní dynamické vlastnosti celého kotle.

Spaliny, vystupující z cyklonu, obsahují již jen asi 1% z celkového množství cirkulujícího popela. Svoje teplo předávají ve druhém kotlovém tahu jak teplosměnným plochám přehříváku a ohříváku vody, tak i trubkovému spalinovému ohříváku primárního a sekundárního vzduchu.

Určitá část úletového popílku se při ostrém pravoúhlém ohybu spalinového proudu pod spalinovým ohřívákem vzduchu odloučí ve čtyřech poměrně malých popelových výsypkách. Odchozí spaliny o teplotě asi $140 - 145^\circ\text{C}$ jsou dále nasávány přes elektroodlučovače popílku spalinovým ventilátorem a odváděny do komína.

1.5 Popis fluidního kotle K7

Kotel K7 je navržen jako jednobubnový s přirozenou cirkulací, třítahový s děleným – odskočeným druhým tahem. Ve spodní části ohniště jsou umístěny dva stacionární rošty, každý s bočním odpouštěním popele. Jsou to pevné, stacionární rošty, které jsou tvořeny vedle sebe rovnoběžně položenými roštnicemi ze žáruvzdorné litiny. Rošty jsou vyspádovány k odpouštěcímu otvoru. K nim je přiváděn primární spalovací vzduch ze vzduchové komory a palivo svodkami s protiplamennou uzávěrou. Příslušenství roštu obsahuje zavzdušňovací komory, vypouštěcí zařízení a odsávací potrubí.

Do prostoru roštů je přiváděn primární spalovací vzduch a palivo. K palivu – biomase je v případě potřeby přidáván inertní materiál, který fluidní lože stabilizuje a zvyšuje jeho tepelnou kapacitu. Tím jsou vytvořeny podmínky nejen pro potřebné vysušení mokré biomasy, ale i dosažení stability fluidního lože a omezení vlivu výrazných změn kvality paliva. Tepelná kapacita fluidního lože umožňuje najetí kotle po krátkodobé odstávce bez potřeby využití najížděcích hořáků.

Nad rošty je do ohniště přiváděn dýzami sekundární spalovací vzduch pro dohoření hořlavých plynů z fluidního lože a úletového podílu z něj odcházejícího. Sekundární vzduch je přiváděn ve dvou výškových úrovních, vždy z přední a zadní stěny spalovací komory. [4] Část sekundárního vzduchu je využita i k podpoře dopravy paliva do kotle, tzv. dopravní vzduch je zaústěn do svodek paliva. Svodky paliva jsou umístěny na čele kotle. Jsou vybaveny protiplamennou uzávěrou (rychlzhášecí zařízení).

Nad roštem se vypíná vysoká spalovací komora o rozměrech cca 6 x 3,8 x 21 m. Je tvořena membránovými stěnami, ve spodní části je vyzděna lehčenými šamotovými cihlami a kryta šamotovým omazem, který kryje i spodní části membránových stěn tlakového systému. V úrovni 13,5 m jsou ve střední části na levém boku umístěny dva najížděcí monoblokové plynové hořáky, každý o výkonu 5,6 MW.

V horní části pod stropem kotle je umístěno šest desek výstupního sálavého přehříváku. Spaliny přecházejí obratem pod stropem kotle přes trubkovou mříž do druhého tahu, který je vyplněn deskovými šoty výparníku a přehříváku páry. Druhý tah je přibližně v půli rozdělen žaluziovým odlučovačem. Odloučený popílek propadá do výsyvky, pod kterou jsou instalovány spirálové dopravníky. Popílek je dopravován zpět do prostoru roštů dvěma bezosými spirálovými dopravníky, vždy jedním ke každému roštu. Dopravníky jsou navrženy pro teplotu popela i pláště dopravníku 1000°C. Dopravník je poháněn přes čelní převodovku motorem. Vysoká spalovací komora společně s odlučovačem zajišťuje

dostatečné vyhoření paliva. V této části až k odlučovači proudí spaliny stále v kanálu tvořeném membránovými stěnami výparníku. V něm dojde k vychlazení spalin na teploty, které umožňují jejich další vedení v plechovém kanálu.

V odsunutém pokračování druhého tahu jsou umístěny další výhřevné plochy kotle. Dva bloky konvekčního přehříváku páry, čtyři svazky ohříváku vody a výstupní část ohříváku vzduchu. Trubky přehříváku a ohříváku vzduchu jsou chráněny proti opotřebení umístěním odlučovače do tahu kotle (tj. snížení množství abrazivních částic ve spalinách), dále vhodnou konstrukcí ploch (uspořádání trubek „za sebou“) a vhodně volenými rychlostmi spalin na jedné straně a krytováním nejvíce namáhaných částí. Krytovány jsou vždy první čtyři řady každého bloku chráničkami a zároveň jsou všechna kolena odstíněna od toku spalin. V místě svazků výhřevných ploch jsou umístěny dva svislé ofukovače, které zajišťují jejich čištění za provozu kotle redukovanou parou z kotle. Součástí je i potrubí rozvodu ofukovací páry včetně armatur.

Výstupní ohřívák vzduchu a druhý blok ohříváku vzduchu jsou vodorovné, trubkové. Spaliny proudí vně a vzduch uvnitř trubek. Řady trubek jsou po směru toku spalin řazeny za sebou. Vstupní díl ohříváku vzduchu je svislý, trubkový, spaliny proudí uvnitř a vzduch vně trubek. Za ohřívákem vzduchu pokračují spaliny do výstupního kusu spalinovodu, který je osazen výstupní přírubou.

Výhřevné plochy výparníku jsou tvořeny membránovými stěnami spalovací komory a vrchní částí druhého tahu, mříží a kotlovými šoty ve druhém tahu. Šest výparníkových šotů ve druhém tahu je konstruováno jako desky. Voda je z bubnu svedena zavodňovacím potrubím do rozdělovacích komor výhřevných ploch. Ve výparníku dochází k tvorbě parovodní směsi, která je přes sběrné komory a převáděcí potrubí zavedena zpět do bubnu kotle. Výparník je částečně nesen (buben) a částečně zavěšen (stěny a šoty) v nosné konstrukci kotle.

Sytá pára prochází v bubnu přes vestavby, které zajišťují její požadovanou kvalitu vodivosti, a dále je převáděcím potrubím přes rozdělovací komoru zavedena do konvekčního svazku vstupního dílu přehříváku páry v odskočeném druhém tahu.

Z něj je pára přes druhý konvekční svazek zavedena do šotového přehříváku, který je umístěn v horní (neodskočené) části druhého tahu. Pára projde hady bloku, sběrnou komorou a převáděcím potrubím do druhého obdobného konvekčního bloku a následně do osmi deskových ploch šotového přehříváku, čtyřmi proudí pára dolů a následně čtyřmi vzhůru. Jednotlivé desky jsou tvořeny sedmnácti trubkami. Z nich je pára zavedena do regulační komory, která je umístěna na pravém boku pod stropem kotle. Regulace teploty přehřátí je

provedena vstřikem napájecí vody do chladiče páry umístěného v regulační komoře. Uzavírací a regulační armatury vstřikové hlavy jsou umístěny na stropu kotle nad regulační komorou. Zchlazená pára pokračuje do výstupního sálavého dílu přehříváku páry, který je tvořen šesti deskovými šoty, které jsou zavěšeny na chlazených závěsech pod stropem spalovací komory. Pára proudí třemi plochami k zadní stěně a přes obratovou komoru zpět k přední stěně kotle. Vlastní desky jsou tvořeny patnácti trubkami, které jsou v desce vinuty čtyřikrát. Přehřátá pára vystupuje z kotle výstupní komorou, která je umístěna na stropu kotle a je vybavena povinnou výstrojí, jako je impulsní pojistný ventil, najížděcí ventil, měřením tlaku a teploty apod.

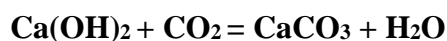
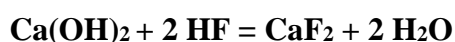
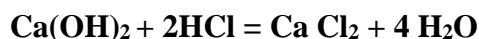
Kotel je částečně nesen a částečně zavěšen v nosné konstrukci, která je vyrobena z válcovaných profilů. K ní jsou zároveň připojeny obslužné plošiny kotle a stropy. V místě plošin jsou umístěny průlezy do kotle, které umožňují přístup ke každé výhřevné ploše.

Odpouštění páry z pojistného a najížděcího ventilu je zavedeno do tlumiče hluku, který je umístěn na střeše kotelní. Povinná výstroj je umístěna i na bubnu, jde zejména o vodoznaky a tlakoměry. Buben je osazen také hrdlem dávkování chemikálií včetně potrubí, odluhem, odvodněním vestaveb, rychloodpouštěním a odvzdušněním s potřebnými armaturami. Tlakový systém je s výjimkou sálavého přehříváku plně vypustitelný a spodní komory výparníku jsou osazeny odkalováním. Potrubí rychloodpouštění, odkalů a vypouštění je osazeno potřebnými armaturami a je svedeno do najížděcího expandéru. Obdobně je vybaveno potrubí odluhu a odvodnění vestaveb, které je však svedeno do expandéru odluhu a dále přes chladič odluhu do stávající horkovodu.

Dodávku vzduchu, který je nutný pro provoz kotle, zajišťuje primární a sekundární ventilátor. Vzduch je k ventilátorům přiváděn sacími vzduchovody, které jsou vybaveny tlumičem hluku a v potřebném rozsahu klapkami. Sací vzduchovody se ze společné vstupní části rozdělují na primární a sekundární část. [5] Do sacích vzduchovodů je zapojeno potrubí recirkulovaných spalin. Z ventilátorů je vzduch zaveden výtlačnými primárními a sekundárními vzduchovody do vstupního bloku ohříváku vzduchu, který je umístěn na vrchu třetího tahu. Tento ohřívák je koncipován jako jednotahový na straně spalin a dvoutahový na straně vzduchu. Spaliny proudí uvnitř trubek a vzduch vně. Z něho vzduch pokračuje do druhého bloku ohříváku vzduchu, který je umístěn ve třetím tahu. Vzduch je dále zaveden do třetího bloku ohříváku vzduchu, jež je umístěn ve spodní části druhého (odskočeného) tahu. Spaliny proudí vně trubek a vzduch uvnitř. V podkotlí se nachází skříně propadu, odpouštění popele a popílku z obratu pod druhým a třetím tahem, které jsou ukončeny přírubami.

1.6 Technologický způsob odsíření

Spaliny vstupují kouřovodem do absorbéru, kde se ochlazují na teplotu cca 72°C vstříkovaním vody. Do absorbéru je dávkován odsiřovací prostředek hydroxid vápenatý Ca(OH)_2 . V absorbéru dochází k reakci kouřových plynů s hydroxidem vápenatým:



Směs spalin, polétavého prachu a hydroxidu vápenatého po reakci ve fluidním loži opustí absorbér na absorpční hlavě a vstoupí přes žaluziový odlučovač do hybridního filtru. Zde se spaliny očistí od zbytků polétavého prachu. Usazené zbytky popílku a prachu v hybridním filtru s příměsí zreagovaného Ca(OH)_2 se nazývají produkt.

(Nezreagované – tj. aktivní Ca(OH)_2 v produktu se pohybuje od 20%. Optimum je méně než 10%). Účinnost odsíření závisí na smíchání pevné látky (mraku) v absorbéru se spalinami a množstvím dávkovaného hydroxidu vápenatého a reakční teplotě cca 76 – 78°C.

Tento postup čištění spalin je tzv. čištění spalin polosuchou cestou - vstupující látky do absorbéru - hydroxid vápenatý a recirkulující produkt nemá mít vlhkost vyšší než 1,5 % (optimálně 1 – 1,5% při dlouhodobém provozu, max. 2 – 2,5% krátkodobě, max. 4%.)

1.7 Popis protitlakové turbíny TG1

Turbína TG1 je dvoutělesová přetlaková, s regulovaným odběrem páry a se čtyřmi neregulovanými odběry pro regenerativní ohřev napájecí vody. VT část je v jednom tělese a je provedena jako dvouproudá a s částečně dvojitou skříní. Mnohostupňovému přetlakovému lopatkování je předřazen rychlostní stupeň.

NT část je tvořena druhým tělesem. Je jednoproudá s regulačním stupněm a mnohastupňovým přetlakovým lopatkováním. Skříně turbíny jsou odlity ze speciální oceli a jsou děleny vodorovnou rovinou. Rotory turbíny spolu s rotorem alternátoru jsou spojeny pevnými spojkami v soustavu, jejíž kritické otáčky neovlivní provozní otáčky. Soustava rotorů je držena ve své poloze obousměrným axiálním ložiskem, které zachycuje nevyváženou osovou sílu a je umístěno v ložiskovém stojanu mezi VT a NT tělesem turbíny.

Dýzy a lopatky jsou vyrobeny ze speciální legované oceli. Přetlakové lopatky statorové i rotorové jsou zhotoveny z přesných tažených profilů. Lopatky posledního stupně NT části jsou frézovány. Ucpávky rotorů jsou labyrintové a jsou napojeny na automatickou regulaci ucpávkové páry.

Regulace turbíny je elektrohydraulická, sprážená s proměnným tlakem impulsního oleje. Regulační orgány VT části tvoří dva rychlozávěrné ventily s olejovými pohony s dálkovým ovládním s el. motory a 4 difuzorové regulační ventily. Každý rychlozávěrný ventil spolu se dvěma regulačními ventily tvoří blok umístěný po stranách VT tělesa turbíny. Regulační orgány NT části tvoří 4 difuzorové regulační ventily, které jsou rovněž umístěny v tělesech v bocích turbíny. Turbína je vybavena hydrodynamickým regulátorem otáček a měničem otáček. Regulace otáček je tak citlivá, že se při neváznoucích regulačních orgánech, při stálém výkonu a neměnicích se ostatních provozních poměrech nebudou otáčky měnit o více než 0,5 otáček jmenovitých. Pro regulaci tlaků páry v regulovaném odběru a v protitlaku má turbína regulátory tlaku s místním dálkovým ovládním. Regulace tlaku je citlivá, aby při stálém hmotnostním průtoku odběrové nebo protitlakové páry a neměnicích se ostatních provozních poměrech se tlak regulovaného odběru, nebo protitlaku neměnil o více než 20kPa. Při náhlém odlehčení turbíny ze jmenovitého výkonu na příkon vlastní spotřeby přechodné zvýšení otáček nebude tak velké, aby zasáhl pojistný regulátor otáček. V regulovaném odběru a neregulovaných odběrech jsou zabudovány olejem řízené zpětné odběrové klapky.

1.8 Kondenzátor chlazený atmosférickým vzduchem

Kondenzátor chlazeným atmosférickým vzduchem umožňuje, aby turbosoustrojí TG1 mohlo i v letním provozu teplárny a v přechodových ročních obdobích pracovat v optimálním režimu výroby elektrické energie nezávisle na odběru tepelné energie do systému tepelných rozvodů. Podstatná část tlakové páry z turbíny TG1, vstupující do parního dómu ohříváku vody, je v těchto obdobích odebírána nově instalovaným parovodem do vzduchem chlazeného kondenzátoru, kde kondenzuje a kondenzát je vrácen samospádem zpět do sání kondenzátních čerpadel ohříváku. Kondenzátor se provozuje do nejnižší teploty okolního vzduchu cca 5 – 10 °C. Po zbytek roku je kondenzátor odstaven.

Pára přicházející parovodem do rozdělovacích komor kondenzátoru je rozdělována do šesti řad trubek kondenzátoru z vnější strany žebrovaných. Chladicí vzduch proudící mezi žebry těchto trubek vzhůru ochlazuje a kondenzuje páru proudící trubkami horizontálně. Chladicí vzduch je dopravován pomocí axiálních ventilátorů. Vzniklý kondenzát stéká trubkami do sběrných komor kondenzátoru. Dále proudí kondenzát samospádem kondenzátním potrubím zpět do ohříváku. Nekondenzující plyny přicházejícími s parou se ze sběrných komor jímají odvodušňovacím potrubím k odlučovači a vypouštěcímu ventilu.

Kondenzátor se sestává z pěti sekcí. Každá sekce obsahuje 2 trubkové svazky a 2 ventilátory s elektromotorem. Ze tří stran jsou kolem bloku kondenzátoru obslužné plošiny. Každý svazek sestává z šesti řad žebrovaných trubek, sběrných komor kondenzátu a rozdělovací komory páry. Žebrované trubky sekcí mají válcované hliníkové žebro. Parní komora a kondenzátní komory se sběrným potrubím jsou opatřeny ochrannými sítí proti případnému popálení obsluhy (provozní povrchová teplota cca 100°C).

1.9 Kondenzační turbína TG2

Kondenzační turbína TG2 je v provozu od roku 1999. Po zprovoznění této turbíny se teplárna stala lépe regulovatelnou v dodávkách elektřiny a mohla začít obchodovat na trhu elektřiny. Turbína TG2 je jednotělesová, rovnotlaká, kondenzační se dvěma regulovanými a dvěma neregulovanými odběry. Směr otáčení turbíny je proti směru hodinových ručiček při pohledu od generátoru k přednímu ložiskovému stojanu. Turbína je uložena na stoličce společně s parními armaturami, VT regulací a generátorem. Těleso turbíny je horizontálně dělené, v oblasti vysoké teploty je řešeno s vnitřním tělesem.

Vysokotlaká část tělesa je vyrobena jako odlitek ze slitinové oceli, zadní nízkotlaká část je svařovaná. Nízkotlaká část je spojena pomocí vertikální příruby s přední vysokotlakou částí. Turbína je opatřena dvěma regulovanými a dvěma neregulovanými odběry. Druhý regulovaný odběr je regulován natáčivou mezistěnou, první je regulován čtyřmi regulačními ventily. Přehřátá pára vstupuje přes rychlozávěrný ventil a regulační ventily do vysokotlakého dílu turbíny. Přehřátá pára roztáčí rotor turbíny, který je přírubovou spojkou spojen s rotorem turboalternátoru. Vyexpandovaná pára je z turbíny zavedena do kondenzátoru, který je chlazen chladicí vodou věžového chladicího okruhu. Nekondenzované plyny z kondenzátoru jsou odsávány parními vývěrami. Konstrukce turbíny umožňuje provoz s proměnlivým zatížením.

Jmenovitý výkon TG2 je stejný jako u turbíny TG1 67 MW_e a maximální dosažitelný výkon 70MW_e. Účinnost je závislá na režimu, ve kterém se momentálně provozuje, a pohybuje se mezi 30 % až 70 %. Turbína TG2 je v celoročním provozu, a to jak v kondenzačním režimu, tak v režimu KVET. Na turbínu TG2 i na turbínu TG1 je napojen dvoupólový synchronní turbogenerátor. Pára, kterou je turbína zásobována, je z paralelního spojení kotlů K4, K5 a K6. Počáteční tlak turbíny je 13,6 Mpa a teplota 540°C.

1.10 Kondenzační turbína TG3

Parní turbína 11,5 MW je jednotělesová, vysokootáčková (8000 ot/min), rovnotlaká turbína se spojením s generátorem přes převodovku. Směr otáčení rotoru turbíny je proti směru hodinových ručiček při pohledu od turbíny směrem ke generátoru. Turbína je vybavena jedním regulovaným odběrem páry pro ohřev topné vody ve špičkovém ohříváku, dodávku páry do redukční stanice a topení napájecí nádrže a dvěma neregulovanými odběry pro regenerační ohřev v regeneračních ohřívácích. Je použit radiální výstup směrem dolů do vodou chlazeného kondenzátoru.

Turbínové těleso je horizontálně dělené na horní a spodní polovinu. Pro spojení těchto dvou částí je použito závrtných šroubů odolávajících vysokým teplotám. Vytápění přírub není použito. Turbínové těleso je jednoplášťové konstrukce. Přední část tělesa je odlévaná z oceli, zadní těleso je svařované z ocelových plechů. Přední a zadní turbínové těleso je spojeno pomocí šroubů ve vertikální přírubě. Výstupní hrdlo je obdélníkového průřezu. Odběrová hrdla jsou umístěna ve spodní polovině tělesa.

Přední část turbínového tělesa je upevněna pomocí pružných planžet k rámu turbíny. Přední ložiskový stojan je pevně uchycen k tělesu turbíny. Vzájemné spojení těles a ložiskových stojanů je navrženo tak, že relativní posuvy mezi rotujícími a statorovými částmi jsou minimalizovány. Zadní těleso je na rámu uloženo pomocí svařovaných kozlíků, které jsou umístěny na obou stranách výstupního tělesa. Rám turbíny je svařovaný z ocelových plechů. K základu jsou rám a kozlík převodovky připevněny pomocí základových šroubů a zalité betonovou zálivkou. Pevný bod statorové části je v patkách zadního tělesa. Při růstu teploty těleso expanduje směrem dopředu od pevného bodu. Těleso je pevně spojeno s předním ložiskovým stojanem, který tepelně expanduje spolu s tělesem. Turbína je navržena tak, aby měla požadovaný výkon, vysokou účinnost, odpovídající spolehlivost a snadnou nízkonákladovou údržbu.

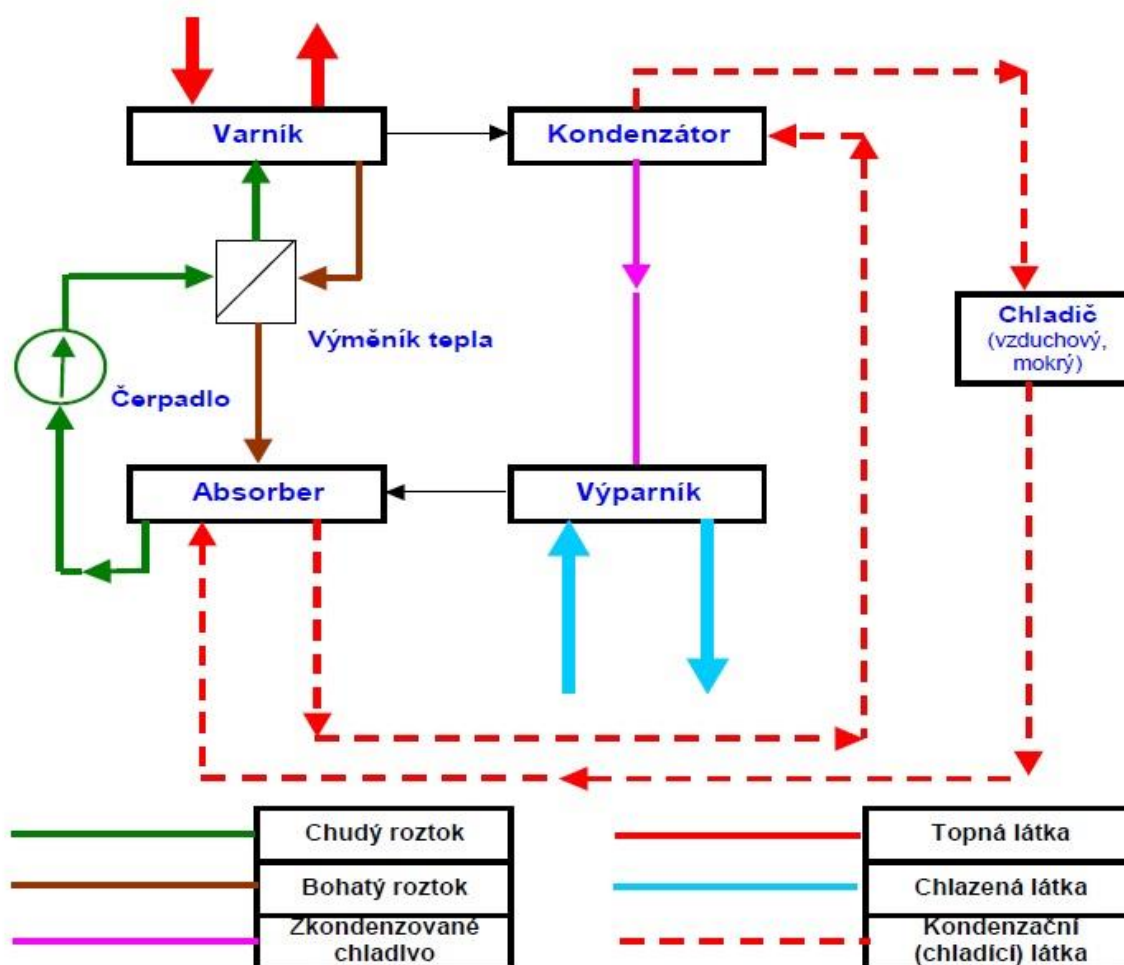
2 Absorpční chlazení

2.1 Trendy, výhody a nevýhody absorpčního chlazení

Oproti běžně rozšířenému kompresorovému chlazení má absorpční chlazení řadu nesporných výhod. Především absorpce představuje ekologicky příznivý, energeticky efektivní systém výroby studené vody. Místo elektřiny využívá teplo, což vede k účinnějšímu využití paliv a ke snížení emisní zátěže životního prostředí. Chladiva, jež se k absorpčnímu chlazení používají, neobsahují chlor ani prvky poškozující ozónovou vrstvu. Významná je také možnost plynulé regulace ve velkém rozsahu od 15 do 100 %. Další výhodou je jen minimální používání točivých strojů. Tím se významně omezují hluk a vibrace a prakticky na dvojnásobek se prodlužuje životnost zařízení, tj. minimálně na 30 let. Nižší ve srovnání s kompresorovým chlazením jsou i provozní náklady. Nevýhodou jsou vyšší prostorové nároky a přibližně o pětinu vyšší pořizovací náklady. Absorpční chlazení je proto častěji používáno pro střední a vyšší výkony. Absorpční chlazení dnes úspěšně nachází uplatnění v celé západní Evropě tam, kde je to vhodné, tedy především ve velkých výrobních halách, veřejných budovách a podobně. Je to dáno na jednu stranu určitou klimatickou změnou, kdy se v posledních desetiletích zvětšují rozdíly venkovních teplot během roku, ale také větší volatilitou v cenách elektrické energie. Zlepšení mikroklimatických podmínek si vyžadují také moderní technologické procesy, stejně jako trend zlepšování pracovního prostředí. Česká republika v tomto směru není výjimkou, proto i zde vidíme pro absorpční chlazení velkou perspektivu.

2.2 Princip absorpčního chlazení

Ve výparníku dochází vlivem odebrání tepla chlazené látky k odpařování chladiva. V absorbéru je roztokem absorbentu pohlcováno odpařené chladivo z výparníku. Absorbent s rozpuštěnými parami chladiva se nazývá bohatý roztok. Ten je přečerpán do varníku, kde jsou z něho přívodem tepla vypuzeny páry chladiva. Samotný absorbent neboli chudý roztok se vrací do absorbéru přes výměník. Ve výměníku je využíváno teplo horkého chudého roztoku k přehřátí bohatého roztoku. Do kondenzátoru přecházejí páry chladiva, kde je jim odebráno teplo působením kondenzační látky. Zpět do výparníku se přivádí zkondenzované kapalně chladivo a celý proces se opakuje. V praxi je využíváno takzvaných nadnulových a podnulových kombinací. Nadnulovou kombinací (cca 5 °C) tvoří jako chladivo voda a bromid lithný jako absorbent. Podnulovou kombinací pro teploty nižší než 0 °C, se jako chladivo používá čpavek a jako absorbent voda.



Obr. 2: Princip absorpčního chlazení [6]

2.3 Chladicí jednotka v Plzeňském pivovaru

Na stanici chladu jsou instalovány dvě absorpční chladicí jednotky každá o chladícím výkonu 1500 kW, které jsou napojené na primární síť topné vody Plzeňské teplárenské. Topná voda je zdrojem energie pro absorpční proces. Chlazení chladících jednotek je okruhem věžové vody s dvojicí otevřených chladících věží. Součástí technologie stanice chladu je i systém přídavné vody, zajišťující doplnění úbytků v okruzích chladící a chlazené vody. Stanice má také svoji chemickou úpravnu vody pro udržování vlastností věžové vody v přijatelných mezích. Pro konzervaci nezavodněného okruhu věžové vody v období mimo chladící sezónu je zde instalována inertizační stanice dusíku.

Celkový chladicí výkon stanice je 3000 kW a je regulovatelný proměnným výkonem paralelně řazených chladících jednotek. Při nízkých chladících výkonech stanice je v provozu pouze jedna chladicí jednotka, pro vyšší výkon je přiřazena druhá.

Regulační rozsah jednotek je 15 – 100 %. Regulace výkonu jednotek je prováděna změnou průtoku topné vody přes absorpční chladicí jednotku, regulace dodávky chladu do sladovny je prováděna změnou průtoku chlazené vody v sekundárním okruhu plynulou regulací otáček čerpadla s frekvenčním měničem.

Absorpční chladicí jednotka je zařízení, které pomocí fyzikálních procesů dvě tepelné energie přivedené do jednotky horkovodem a chlazenou vodou, přenáší pohybem roztoku, chladiva a par chladiva na okruh věžové vody. Věžové vodě je teplo odebráno v chladicích věžích.

Chladicí jednotka je sestava dvou válcových nádob umístěných nad sebou, ve kterých jsou vhodnými přepážkami odděleny čtyři výměníky tepla s dalším příslušenstvím. Válcové nádoby ještě doplňují dva vnější výměníky tepla roztok-roztok (primární a sekundární), regulační ventil topné vody, odplyňovací systém, propojovací potrubí s příslušnými armaturami a polní instrumentace včetně hlídačů průtoku chlazené a věžové vody. V jednotce jsou v oddělených prostorech dvě kapaliny, chladivo a roztok. Chladivo má proměnné skupenství, roztok bromidu lithia má proměnné koncentrace. Jejich cirkulaci zajišťují dvě čerpadla. Součástí chladicí jednotky je i řídicí panel vybavený jistíci a regulačními prvky umožňujícími plně automatický chod, vše je umístěno v rozvaděči. Chladicí jednotka je tlaková nádoba s několika společnými prostory a musí být chráněna proti přetlaku uvnitř. Ten může vzniknout například porušením těsnosti trubek některého vnitřního výměníku. Proti přetlaku je chladicí jednotka mechanicky chráněna grafitovou membránou, umístěnou na parním prostoru kondenzátoru. Výfuk z této membrány je potrubím vyveden nad střechu stanice chladu.

Použitý bromid lithný je ekologicky odbouratelný a ve vodě dobře rozpustný. Je to silně hygroskopická látka, krystalická, nevýbušná, nehořlavá a nejedovatá. Lze s ní manipulovat v otevřených nádržích. Roztok je chemicky stabilní a nepodléhá žádným významným změnám ve vlastnostech ani po letech používání v absorpčních strojích.

Roztok je silně korozivní se vzduchem, vyvolává velkou korozi potřísněného kovu. Aby nedošlo ke korozi vnitřních ploch jednotky působením roztoku bromidu lithia, přidává se do něj při prvním plnění inhibitor koroze. Ten při procesu nazvaném zahořování vytvoří tenkou vrstvu na vnitřním povrchu a zastaví korozi. Zahořování se provádí před prvním spuštěním jednotky. Chladivem je čistá demineralizovaná voda dodaná do chladicích jednotek z teplárny.



Obr. 3: Chladicí jednotka v Plzeňském pivovaru



Obr. 4: Chladicí jednotka v Plzeňském pivovaru



Obr. 5: Chladicí jednotka v Plzeňském pivovaru [7]

2.4 Další chladicí jednotky po Plzni

Fakultní nemocnice Plzeň

Tři absorpční jednotky o výkonu 1500 kW, 700 kW a 700 kW



Obr. 6: Fakultní nemocnice v Plzni [8]

Západočeská univerzita Plzeň

Absorpční jednotka o výkonu 420 kW



Obr. 7: Západočeská univerzita v Plzni [9]

ParkHotel Plzeň

Absorpční jednotka o výkonu 120 kW



Obr. 8: ParkHotel v Plzni [10]

Obchodní dům Galerie Slovany

Absorpční jednotka o výkonu 1 000 kW



Obr. 9: Obchodní dům Galerie Slovany [11]

3 Výpočty parametrů provozních stavů

3.1 Provozní stavy na turbíně TG1

Stav č. 1: 26. 10. 2005

TG1 – 1	M _p [t/h]	t [°C]	p [MPa]	i [kJ/kg]	M _p × i [MJ/h]
Admisní pára	350	535	13.35	3426.3	1 199 205
Odběr č. 5 neregulovaný	23.3	-	-	3130.5	72 940.65
Odběr č. 4 neregulovaný	19.6	-	-	3003.8	58 874.48
Odběr č. 3 regulovaný	40.5	-	-	2930.5	118 685.3
Z odběru č. 3 do tech. páry	34.79	249.6	-	2930.5	-
Do druhého dílu	264.75	-	-	2930.5	-
Odběr č. 2 neregulovaný	18.25	-	-	2832.2	51 687.65
Odběr č. 1 neregulovaný	13.5	-	-	2690.9	36 327.15
Emisní pára	233.12	-	-	2559.9	596 763.9
Tepelný spád na turbíně	-	-	-	-	263 925.93
Voda před kotlem (RO)	350	-	-	1025.6	358 960
Přívodní topná voda	6400	-	-	395.7	2 532 480
Vratná topná voda	6400	-	-	320	2 048 000
Celková tepelná energie	-	-	-	-	484 480

Tab. 1: Vypočítané hodnoty pro stav č. 1 na TG1 [12]

Výpočet elektrické účinnosti:

$$\eta_e = \frac{M_{pa} \times i_a - (\sum_{n=1}^5 M_{pn} \times i_n + M_{pe} \times i_e)}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 31.41 \% \quad (1)$$

Generátor vyrábí jmenovitý výkon **70 MWe**.

Výpočet tepelné účinnosti:

$$\eta_t = \frac{M_{pt1} \times i_{t1} - M_{pt2} \times i_{t2}}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 57.659 \% \quad (2)$$

Celková účinnost je dána **součtem elektrické η_e a tepelné η_t** :

$$\eta_e + \eta_t = 89.072 \% \quad (3)$$

Stav č. 2: 26. 10. 2005

TG1 – 2	M_p [t/h]	t [°C]	p [MPa]	i [kJ/kg]	$M_p \times i$ [MJ/h]
Admisní pára	300	535	13.35	3426.3	1 027 890
Odběr č. 5 neregulovaný	17.84	-	-	3109.2	55 468.128
Odběr č. 4 neregulovaný	15.28	-	-	2994.3	45 752.904
Odběr č. 3 regulovaný	170	-	-	2923.8	497 046
Z odběru č. 3 do tech. páry	141.06	246.7	-	2923.8	-
Do druhého dílu	95.02	-	-	2923.8	-
Odběr č. 2 neregulovaný	-	-	-	-	-
Odběr č. 1 neregulovaný	2.80	-	-	2649.4	7 418.32
Emisní pára	92.34	-	-	2611.4	241136.676
Tepelný spád na turbíně	-	-	-	-	181 067.972
Voda před kotlem (RO)	300	-	-	999.5	299 850
Přívodní topná voda	6 400	-	-	414.5	2 652 800
Vratná topná voda	6 400	-	-	389	2 489 600
Celková tepelná energie	-	-	-	-	163 200

Tab. 2: Vypočítané hodnoty pro stav č. 2 na TG1 [13]

Výpočet elektrické účinnosti:

$$\eta_e = \frac{M_{pa} \times i_a - (\sum_{n=1}^{n=5} M_{pn} \times i_n + M_{pe} \times i_e)}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 24.871 \% \quad (4)$$

Generátor vyrábí při výkonu **47.45 MW_e**.

Výpočet tepelné účinnosti:

$$\eta_t = \frac{M_{pt1} \times i_{t1} - M_{pt2} \times i_{t2}}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 22.416 \% \quad (5)$$

Celková účinnost je dána **součtem elektrické η_e a tepelné η_t** :

$$\eta_e + \eta_t = 47.287 \% \quad (6)$$

Stav č. 3: 16. 11. 2005

TG1 – 3	M _p [t/h]	t [°C]	p [MPa]	i [kJ/kg]	M _p × i [MJ/h]
Admisní pára	270	535	13.35	3426.3	925 101
Odběr č. 5 neregulovaný	14.7	-	-	3105.7	45 653.76
Odběr č. 4 neregulovaný	12.86	-	-	2998.9	38 565.854
Odběr č. 3 regulovaný	80	-	-	2939.6	235 168
Z odběru č. 3 do tech. páry	67.68	253.5	-	2939.6	-
Do druhého dílu	160.59	-	-	2939.6	-
Odběr č. 2 neregulovaný	11.14	-	-	2807.4	31 274.436
Odběr č. 1 neregulovaný	6.4	-	-	2683.3	17 173.12
Emisní pára	143.16	-	-	2601.3	372 402.108
Tepelný spád na turbíně	-	-	-	-	184 863.722
Voda před kotlem (RO)	270	-	-	982.6	265 302
Přívodní topná voda	2271	97.5	-	408.7	928 157.7
Vratná topná voda	2271	67	-	280.4	636 788.4
Celková tepelná energie	-	-	-	-	291 369.3

Tab. 3: Vypočítané hodnoty pro stav č. 3 na TG1 [14]

Výpočet elektrické účinnosti:

$$\eta_e = \frac{M_{pa} \times i_a - (\sum_{n=1}^{n=5} M_{pn} \times i_n + M_{pe} \times i_e)}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 28.018 \% \quad (7)$$

Generátor vyrábí při výkonu **48.48 MW_e**.

Výpočet tepelné účinnosti:

$$\eta_t = \frac{M_{pt1} \times i_{t1} - M_{pt2} \times i_{t2}}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 44.16 \% \quad (8)$$

Celková účinnost je dána součtem elektrické η_e a tepelné η_t :

$$\eta_e + \eta_t = 72.178 \% \quad (9)$$

3.2 Provozní stavy na turbíně TG2

Stav č. 1: 29. 4. 1997

TG2 – 1	M _p [t/h]	t [°C]	p [MPa]	i [kJ/kg]	M _p × i [MJ/h]
Admisní pára	250	535	12.8	3432.4	858 100
Ucpávková pára odběr č. 1	4.5343	-	-	3361	15 239.78
Ucpávková pára odběr č. 2	0.2505	-	-	3361	841.93
Ucpávková pára odběr č. 3	0.0761	-	-	3361	255.77
Odběr č. 4 neregulovaný	12.714	-	-	3050.3	38 781.51
Odběr č. 3 regulovaný	4.7177	-	-	2907.9	13 718.6
Do druhého dílu	223.57	-	-	2907.9	-
Odběr č. 2 neregulovaný	12.308	-	-	2792.2	34 366.4
Odběr č. 1 regulovaný	23.356	-	-	2671.7	62 400.23
Emisní pára	191.03	-	-	2332	445 482
Tepelný spád na turbíně	-	-	-	-	247 013.8
Voda před kotlem (RO)	180	-	-	924.11	166 399.8

Tab. 4: Vypočítané hodnoty pro stav č. 1 na TG2

Výpočet elektrické účinnosti:

$$\eta_e = \frac{M_{pa} \times i_a - (\sum_{i=1}^{n=3} M_{pun} \times i_{un} + \sum_{i=1}^{n=4} M_{pn} \times i_n + M_{pe} \times i_e)}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 35.708 \% \quad (10)$$

Generátor vyrábí při výkonu **65.947 MW_e**.

Celková účinnost je určena **pouze elektrickou účinností η_e** .

$$\eta_c = \eta_e = 35.708 \% \quad (11)$$

Stav č. 2: 6. 8. 1997

TG2 – 2	M _p [t/h]	t [°C]	p [MPa]	i [kJ/kg]	M _p × i [MJ/h]
Admisní pára	250	535	12.8	3432.4	858 100
Ucpávková pára odběr č. 1	4.5302	-	-	3363.4	15 236.87
Ucpávková pára odběr č. 2	0.315	-	-	2835.8	893.277
Ucpávková pára odběr č. 3	0.0957	-	-	2835.8	271.386
Odběr č. 4 neregulovaný	12.727	-	-	3052.3	38 846.62
Odběr č. 3 regulovaný	50.427	-	-	2910	146 742.6
Do druhého dílu	177.31	-	-	2910	-
Odběr č. 2 neregulovaný	17.238	-	-	2759.1	47 561.37
Odběr č. 1 regulovaný	157.29	-	-	2555.7	401 986.1
Emisní pára	6.4063	-	-	2572.3	16 478.93
Tepelný spád na turbíně	-	-	-	-	190 082.9
Voda před kotlem (RO)	180	-	-	924.45	166 401
Přívodní topná voda	389.12	-	-	3411	1 327 288
Vratná topná voda	294.16	-	-	3411	1 003 380
Celková tepelná energie	-	-	-	-	323 908.6

Tab. 5: Vypočítané hodnoty pro stav č. 2 na TG2

Výpočet elektrické účinnosti:

$$\eta_e = \frac{M_{pa} \times i_a - (\sum_{i=1}^{n=3} M_{pun} \times i_{un} + \sum_{i=1}^{n=4} M_{pn} \times i_n + M_{pe} \times i_e)}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 27.48 \% \quad (12)$$

Generátor vyrábí při výkonu **50.410 MW_e**.

Výpočet tepelné účinnosti:

$$\eta_t = \frac{M_{pt1} \times i_{t1} - M_{pt2} \times i_{t2}}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 46.828 \% \quad (13)$$

Celková účinnost je dána **součtem elektrické η_e a tepelné η_t** :

$$\eta_c = \eta_e + \eta_t = 74.308 \% \quad (14)$$

Stav č. 3: 25. 9. 1997

TG2 – 3	M _p [t/h]	t [°C]	p [MPa]	i [kJ/kg]	M _p × i [MJ/h]
Admisní pára	200	535	12.8	3432.4	686 480
Ucpávková pára odběr č. 1	3.2921	-	-	3323.9	10 942.61
Ucpávková pára odběr č. 2	0.315	-	-	2835.8	893.277
Ucpávková pára odběr č. 3	0.0957	-	-	2835.8	271.3861
Odběr č. 4 neregulovaný	9.6912	-	-	3033.7	29 400.19
Odběr č. 3 regulovaný	39.162	-	-	2929.5	114 725.1
Do druhého dílu	142.65	-	-	2929.5	-
Odběr č. 2 neregulovaný	16.457	-	-	2735.4	45 016.48
Odběr č. 1 regulovaný	86.066	-	-	2489.6	214 269.9
Emisní pára	44.01	-	-	2200.2	96 830.8
Tepelný spád na turbíně	-	-	-	-	174 130.3
Voda před kotlem (RO)	180	-	-	885.47	159 384.6
Přívodní topná voda	332.85	-	-	700	232 995
Vratná topná voda	85.243	-	-	700	59 670.1
Celková tepelná energie	-	-	-	-	173 324.9

Tab. 6: Vypočítané hodnoty pro stav č. 3 na TG2

Výpočet elektrické účinnosti:

$$\eta_e = \frac{M_{pa} \times i_a - (\sum_{i=1}^{n=3} M_{pun} \times i_{un} + \sum_{i=1}^{n=4} M_{pn} \times i_n + M_{pe} \times i_e)}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 33.036 \% \quad (15)$$

Generátor vyrábí při výkonu **46.123 MW_e**.

Výpočet tepelné účinnosti:

$$\eta_t = \frac{M_{pt1} \times i_{t1} - M_{pt2} \times i_{t2}}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 32.883 \% \quad (16)$$

Celková účinnost je dána **součtem elektrické η_e a tepelné η_t** :

$$\eta_c = \eta_e + \eta_t = 65.919 \% \quad (17)$$

Stav č. 4: 11. 4. 1997

KG2 – 4	M_p [t/h]	t [°C]	p [MPa]	i [kJ/kg]	$M_p \times i$ [MJ/h]
Admisní pára	250	535	12.8	3432.4	858 100
Ucpávková pára odběr č. 1	4.5302	-	-	3363.4	15 236.87
Ucpávková pára odběr č. 2	0.315	-	-	2835.8	893.277
Ucpávková pára odběr č. 3	0.0957	-	-	2835.8	271.3861
Odběr č. 4 neregulovaný	12.727	-	-	3052.3	38 846.62
Odběr č. 3 regulovaný	90.941	-	-	2910	264 638.3
Do druhého dílu	136.57	-	-	2910	-
Odběr č. 2 neregulovaný	7.3364	-	-	2732	20 043.04
Odběr č. 1 regulovaný	70.843	-	-	2600.5	184 227.2
Emisní pára	62.32	-	-	2264.4	141 117.4
Tepelný spád na turbíně	-	-	-	-	192 825.9
Voda před kotlem (RO)	180	-	-	924.45	166 401
Přívodní topná voda	441.16	-	-	3075	1 356 567
Vratná topná voda	390	-	-	3075	1 199 250
Celková tepelná energie	-	-	-	-	157 317

Tab. 7: Vypočítané hodnoty pro stav č. 4 na TG2

Výpočet elektrické účinnosti:

$$\eta_e = \frac{M_{pa} \times i_a - (\sum_{i=1}^{n=3} M_{pun} \times i_{un} + \sum_{i=1}^{n=4} M_{pn} \times i_n + M_{pe} \times i_e)}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 27.877 \% \quad (18)$$

Generátor vyrábí při výkonu **51.215 MW_e**.

Výpočet tepelné účinnosti:

$$\eta_t = \frac{M_{pt1} \times i_{t1} - M_{pt2} \times i_{t2}}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 22.744 \% \quad (19)$$

Celková účinnost je dána součtem elektrické η_e a tepelné η_t :

$$\eta_c = \eta_e + \eta_t = 50.621 \% \quad (20)$$

3.3 Provozní stavy na turbíně TG3

Stav č. 1: 21. 8. 2008

TG3 – 1	M _p [kg/s]	M _p [t/h]	t [°C]	p [MPa]	i [kJ/kg]	M _p × i [MJ/h]
Admisní pára	12.371	44.5356	485	6.6	3379.7	150 517
Odběr č. 3	0.55696	2.005	-	-	2844.8	5703.983
Odběr č. 2	0.42185	1.51866	-	-	2655.3	4032.498
Odběr č. 1	0.7696	2.77	-	-	2554.3	7076.841
Ucpávková pára odběr č. 1	0.26751	0.963	-	-	3206.5	3087.975
Ucpávková pára odběr č. 2	0.021081	0.07589	-	-	2836	215.2286
Emisní pára	10.294	37.0584	-	-	2321.5	86 031.08
Tepelný spád na turbíně	-	-	-	-	-	44 369.37
Voda před kotlem (RO)	12.441	44.7876	-	-	621.43	27 832.36

Tab. 8: Vypočítané hodnoty pro stav č. 1 na TG3

Výpočet elektrické účinnosti:

$$\eta_e = \frac{M_{pa} \times i_a - (\sum_{i=1}^{n=2} M_{pun} \times i_{un} + \sum_{i=1}^{n=3} M_{pn} \times i_n + M_{pe} \times i_e)}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 36.165 \% \quad (21)$$

Zadána účinnost generátoru: $\eta_{gen} = 99\%$

$$\eta = \eta_e \times \eta_{gen} = 35.8 \% \quad (22)$$

Generátor vyrábí při výkonu **11.5971 MW_e**.

Stav č. 2: 21. 8. 2008

TG3 – 1	M_p [kg/s]	M_p [t/h]	t [°C]	p [MPa]	i [kJ/kg]	$M_p \times i$ [MJ/h]
Admisní pára	12.371	44.5356	485	6.6	3379.7	150 517
Odběr č. 3	7.4338	26.7617	-	-	2835.8	75 890.77
Odběr č. 2	-	-	-	-	-	-
Odběr č. 1	-	-	-	-	-	-
Ucpávková pára odběr č. 1	0.27134	0.9768	-	-	3206.4	3132.088
Ucpávková pára odběr č. 2	0.021081	0.07589	-	-	2836	215.2286
Emisní pára	4.5691	16.4488	-	-	2337.6	38 450.62
Tepelný spád na turbíně	-	-	-	-	-	32 828.26
Voda před kotlem (RO)	12.441	44.7876	-	-	621.43	27 832.36
Přívodní topná voda	88.389	318.2	-	-	589.91	187 709.6
Vratná topná voda	88.389	318.2	-	-	420.13	133 685.5
Celková tepelná energie	-	-	-	-	-	54 024.06

Tab. 9: Vypočítané hodnoty pro stav č. 2 na TG3

Výpočet elektrické účinnosti:

$$\eta_e = \frac{M_{pa} \times i_a - (\sum_{i=1}^{n=2} M_{pun} \times i_{un} + M_{p3} \times i_3 + M_{pe} \times i_e)}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 26.758 \% \quad (23)$$

Zadána účinnost generátoru: $\eta_{gen} = 99\%$

$$\eta = \eta_e \times \eta_{gen} = 26.49 \% \quad (24)$$

Generátor vyrábí při výkonu **8.48339 MW_e**.

Výpočet tepelné účinnosti:

$$\eta_t = \frac{M_{pt1} \times i_{t1} - M_{pt2} \times i_{t2}}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 44.035 \% \quad (25)$$

Celková účinnost je dána **součtem elektrické η_e a tepelné η_t** :

$$\eta_c = \eta_e + \eta_t = 70.525 \% \quad (26)$$

Stav č. 3: 21. 8. 2008

TG3 – 1	M_p [kg/s]	M_p [t/h]	t [°C]	p [MPa]	i [kJ/kg]	$M_p \times i$ [MJ/h]
Admisní pára	12.371	44.5356	485	6.6	3379.7	150 517
Odběr č. 3	7.4335	26.7606	-	-	2835.8	75 887.71
Odběr č. 2	-	-	-	-	-	-
Odběr č. 1	-	-	-	-	-	-
Ucpávková pára odběr č. 1	0.27134	0.9768	-	-	3206.4	3132.088
Ucpávková pára odběr č. 2	0.021081	0.07589	-	-	2836	215.2286
Emisní pára	4.5695	16.45	-	-	2337.6	38 453.99
Tepelný spád na turbíně	-	-	-	-	-	32 827.95
Voda před kotlem (RO)	12.441	44.7876	-	-	621.43	27 832.36
Přívodní topná voda	89.25	321.3	-	-	462.33	148 546.63
Vratná topná voda	89.25	321.3	-	-	294.2	94 526.46
Celková tepelná energie	-	-	-	-	-	54 020.17

Tab. 10: Vypočítané hodnoty pro stav č. 3 na TG3

Výpočet elektrické účinnosti:

$$\eta_e = \frac{M_{pa} \times i_a - (\sum_{i=1}^{n=2} M_{pun} \times i_{un} + M_{p3} \times i_3 + M_{pe} \times i_e)}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 26.758 \% \quad (27)$$

Zadána účinnost generátoru: $\eta_{gen} = 99\%$

$$\eta = \eta_e \times \eta_{gen} = 26.49 \% \quad (28)$$

Generátor vyrábí při výkonu **8.48359 MW_e**.

Výpočet tepelné účinnosti:

$$\eta_t = \frac{M_{pt1} \times i_{t1} - M_{pt2} \times i_{t2}}{M_{pa} \times i_a - M_{pk} \times i_k} \times 100 = 44.03 \% \quad (29)$$

Celková účinnost je dána **součtem elektrické η_e a tepelné η_t** :

$$\eta_c = \eta_e + \eta_t = 70.52 \% \quad (30)$$

3.4 Vyhodnocení provozních stavů TG1

TG1	stav 1	stav 2	stav 3
η_e (%)	31.41	24.87	28.02
η_t (%)	57.66	22.41	44.16
η_c (%)	89.07	47.28	72.18

Tab. 11: Hodnoty účinností na TG1

Nejvyšší účinnosti dosáhneme u protitlakové turbíny TG1 při jmenovitém elektrickém výkonu 70 MW_e v režimu KVET. To můžeme vidět u prvního stavu, kde je hodnota účinnosti přes 89 %, což je nejefektivnější možný stav. V praxi bývá tato hodnota nižší. Aby mohla být turbína TG1 nazývána kogenerační, platí předpis, že její účinnost musí přesáhnout hodnotu 75%. Při provozu je důležitá úspora primární energie a plnění emisních limitů. Protitlaková turbína je někdy nazývána jako teplárenská turbína, což souvisí s odběrem tepla. Regulovaný odběr se řídí podle poptávky po energii. Pokud je odběr tepla nízký, rapidně klesá její účinnost. Turbína TG1 byla dovybavena suchým kondenzátorem, aby bylo možné vyrábět elektřinu v letních měsících. Jelikož ale cena elektřiny klesá, tak se v letních měsících její provoz nevyplatí, a proto bývá přes léto odstavená.

3.5 Vyhodnocení provozních stavů TG2

TG2	stav 1	stav 2	stav 3	stav 4
η_e (%)	35.7	27.48	33.036	27.877
η_t (%)	-	46.828	32.883	22.744
η_c (%)	35.7	74.308	65.919	50.621

Tab. 12: Hodnoty účinností na TG2

Kondenzační turbína TG2 je vybavena místo základního ohříváku kondenzátorem. Ten je umístěn za clonou, která se dá otevírat a zavírat. Čím chladnější je napájecí voda v kondenzátoru, tím snadněji probíhá kondenzace, vytvoří se větší tzv. vakuum (cca 10 kPa), které zajistí tah turbínou. Od teploty vody v kondenzátoru, která se v zimě pohybuje kolem 15 °C a v létě kolem 25°C se odvíjí účinnost, která je v zimních měsících vyšší. Dále účinnost závisí na počtu odběrů a na venkovní teplotě. Teplota oběhové vody v síti se při běžných teplotách pohybuje kolem 120 °C, při mrazech je tato hodnota až 135°C. V zimě, když se vyrábí i teplo, se turbína chová jako tzv. točivá redukce, kdy se účinnost pohybuje kolem 80%. Ztráty pak lze dělit na mechanické, ztráty v ložiskách, ventilační ztráty a ztráty sáláním. Účinnost také souvisí se vstupními parametry páry, čím lepší parametry páry jsou, tím je i lepší účinnost. V kondenzačním režimu je reálná dosažitelná hodnota účinnosti kolem 32 %.

3.6 Vyhodnocení provozních stavů TG3

TG3	stav 1	stav 2	stav 3
η_e (%)	35.8	26.49	26.49
η_t (%)	-	44.035	44.03
η_c (%)	35.8	70.525	70.52

Tab. 13: Hodnoty účinností na TG3

Kondenzační turbína TG3 může vyrábět v kondenzačním i kogeneračním režimu. Čím více vyrábíme kogeneračně, tím se dostáváme na lepší parametry účinnosti. Aby byla turbína TG3 nazývána kogenerační, je předepsáno, že musí být její účinnost přes 80%. Tato hodnota však není momentálně dosažitelná. V současné době je provozována v kondenzačním režimu kvůli tzv. zelenému bonusu. Zelený bonus je platba za výrobu energie z obnovitelných zdrojů. Zelených bonusů existuje několik druhů např. za spalování biomasy, kogenerační výrobu atd. V současné době teplárna dostává zelený bonus pouze za výrobu elektřiny, za výrobu tepla nikoliv. V nejbližší době se nepředpokládá změna legislativy, která by měla změnit způsob provozování turbíny TG3. Další výhodou je, že emise vzniklé spalováním biomasy se nezapočítávají do celkového přehledu emisí CO₂. Na emise vzniklé spalováním fosilních paliv musí teplárna vlastnit tzv. emisní povolenky.

Závěr

Práce v první části popisuje princip kogenerace. Dále popisuje granulační kotle K4 a K5, fluidní kotle K6 a K7 včetně technických parametrů jednotlivých zařízení. Následně je uveden technologický popis odsíření. Poté je technologicky popsána protitlaková turbína TG1 i se suchým kondenzátorem a kondenzační turbíny TG2 a TG3. Několik stránek je také věnováno absorpčnímu chlazení, jeho principu, popisu chladicí jednoty v Plzeňském pivovaru a přehledu dalších chladících jednotek po Plzni. V další části jsou počítány účinnosti v jednotlivých stavech u turbín TG1, TG2 a TG3. Protitlaková turbína TG1 není vhodná pro regulaci, ale pokud je zaručený tepelný odběr, může turbína pracovat s vysokou účinností. Teplárna je smluvně vázána na poskytování primární, sekundární regulace a minutové zálohy elektřiny pro ČEPS, a.s. a nastavení parametrů na turbínách se musí měnit. Energetickým omezením turbíny rapidně klesá její účinnost. Kondenzační turbína TG2 má horší parametry účinnosti, ale je lépe regulovatelná, je flexibilnější a dá se s ní lépe pracovat. Můžeme si ji dovolit snižovat, zvyšovat, prostě variabilně měnit v dodávce tepelné a elektrické energie. Turbína TG3 je v současné době provozována v kondenzačním režimu a je zatížena zeleným bonusem. Výhledově mají být kotle K2 a K3 do roku 2020 nahrazeny za jeden plynový kotel.

Seznam literatury a informačních zdrojů

[1]

Plzeňská Teplárenská, a.s. PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ, A.S. *Kniha o Systému Centralizovaného Zásobování Teplem* [online]. 1. Plzeň: Plzeňská Teplárenská, [cit. 2017-05-20]. Dostupné z WWW: http://www.pltep.cz/upload/File/kniha_o_sczt.pdf

[2]

Plzeňská Teplárenská, a.s. PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ, A.S. *Kniha o Systému Centralizovaného Zásobování Teplem* [online]. 1. Plzeň: Plzeňská Teplárenská, [cit. 2017-05-20]. Dostupné z WWW: http://www.pltep.cz/upload/File/kniha_o_sczt.pdf

[3]

Schéma výroby In: *Plzeňská Teplárenská, a.s.* [online]. [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: http://www.pltep.cz/upload/File/kniha_o_sczt.pdf

[4]

Invelt. *KOTLE NA SPALOVÁNÍ BIOMASY* [online]. [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: http://www.invelt.cz/media/soubory/downloads/servis/prospekt_biomasa.pdf

[5]

Invelt. *KOTLE NA SPALOVÁNÍ BIOMASY* [online]. [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: http://www.invelt.cz/media/soubory/downloads/servis/prospekt_biomasa.pdf

[6]

Princip absorpčního chlazení. In: *Plzeňská Teplárenská, a.s.* [online]. [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: http://www.pltep.cz/upload/File/kniha_o_sczt.pdf

[7]

Dodávka chladu Plzeňský Prazdroj, a.s. In: *Plzeňská Teplárenská, a.s.* [online]. [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: http://www.pltep.cz/upload/File/kniha_o_sczt.pdf

[8]

FN Lochotín. In: *Region Plzeň* [online]. [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: http://www.regionplzen.cz/uws_images/firmy/049557/clanky/fn-plzen-letos-rekonstruuje-centralni-prijem-postavi-psihiatrii-a-dokonci-parkovaci-dum-135209/lochotin-letec_28263_plzensko_h.jpg

[9]

Zcu_fel. In: *Wikimedia* [online]. 2017 [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bb/Zcu_fel.jpg

[10]

ParkHotel Plzeň. In: *Kultura* [online]. [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <http://www.kultura.cz/runtime/cache/files/lightbox/parkhotel-plzen6.jpg>

[11]

Galerie Slovany. In: *ZvolanekDental* [online]. [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: http://www.zvolanekdental.cz/gallery/galerie_slovany_plzen.jpg

[12]

HROMÁDKA, Aleš. *Analýza a optimalizace procesního řízení*. Plzeň, 2015. Diplomová práce. ZČU Plzeň.

[13]

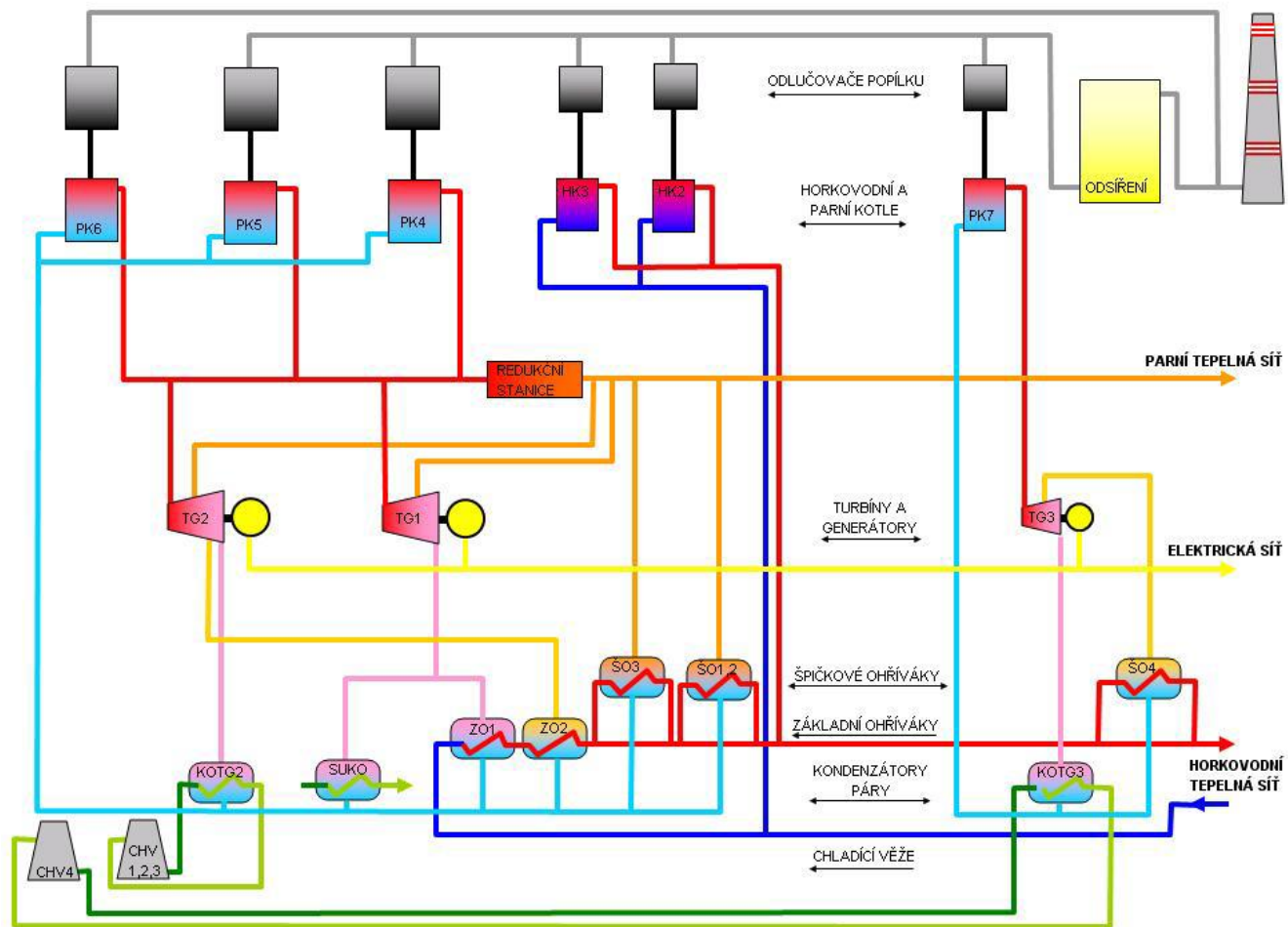
HROMÁDKA, Aleš. *Analýza a optimalizace procesního řízení*. Plzeň, 2015. Diplomová práce. ZČU Plzeň.

[14]

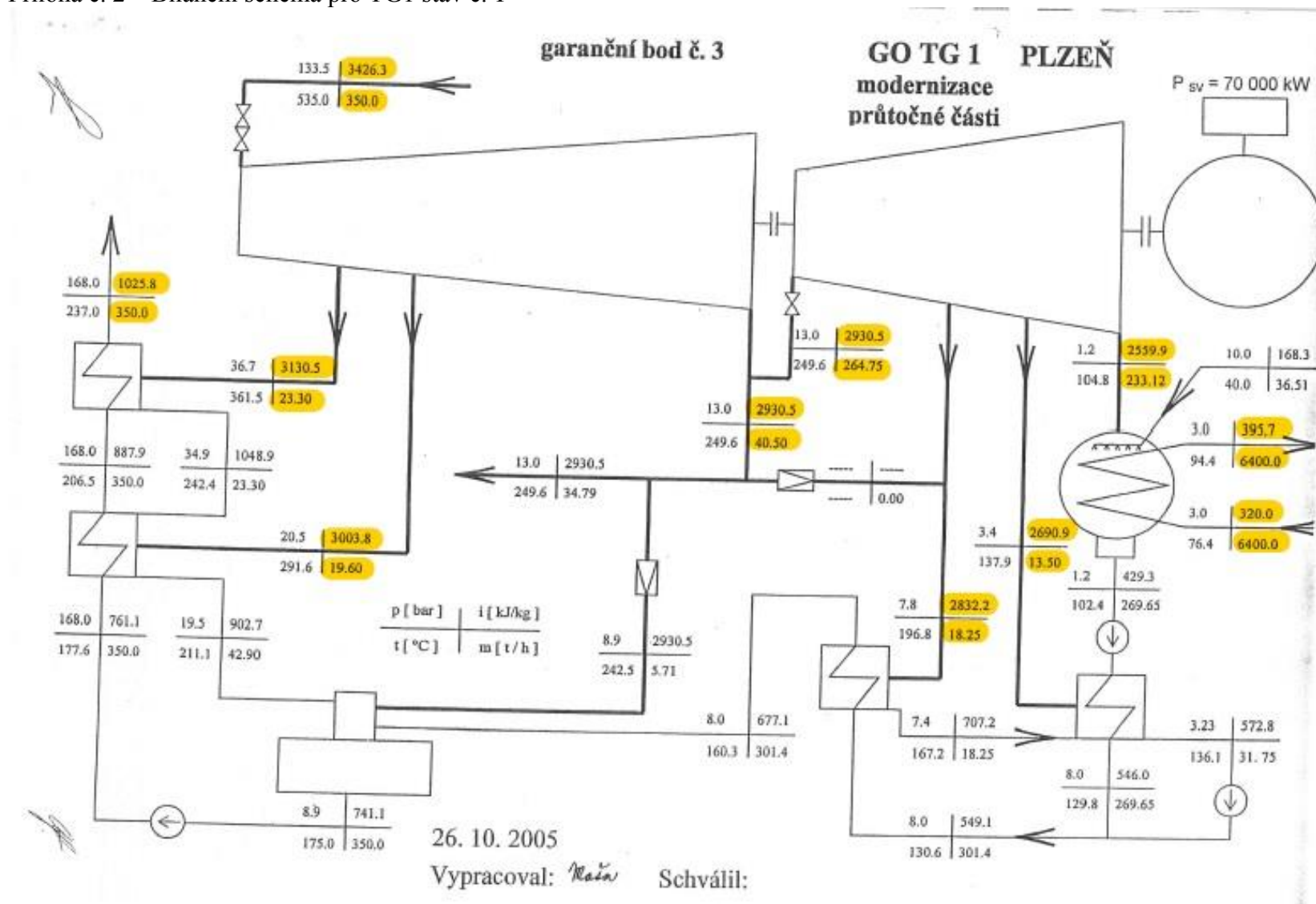
HROMÁDKA, Aleš. *Analýza a optimalizace procesního řízení*. Plzeň, 2015. Diplomová práce. ZČU Plzeň.

Přílohy

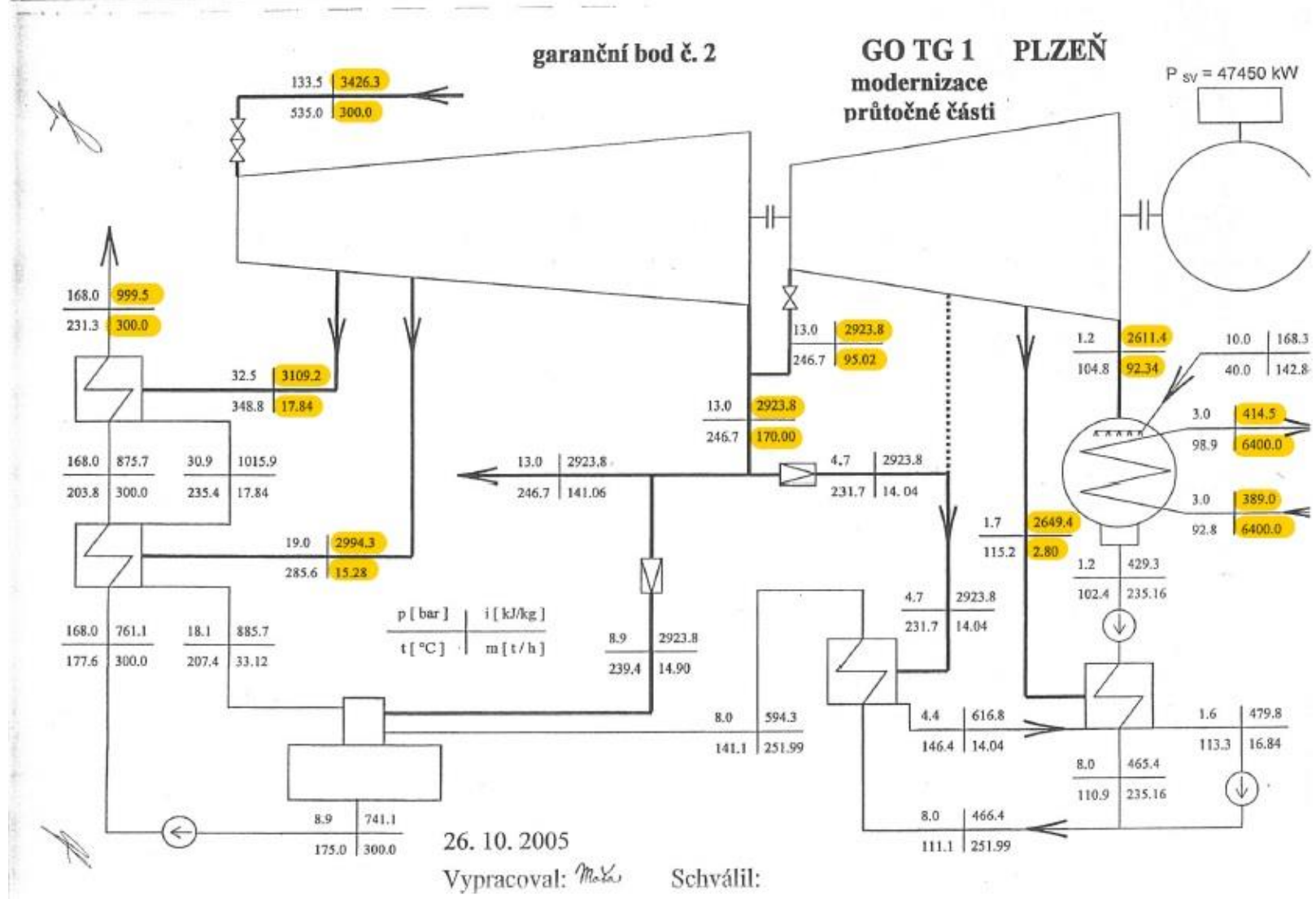
Příloha č. 1 – Schéma výroby tepelné a elektrické energie



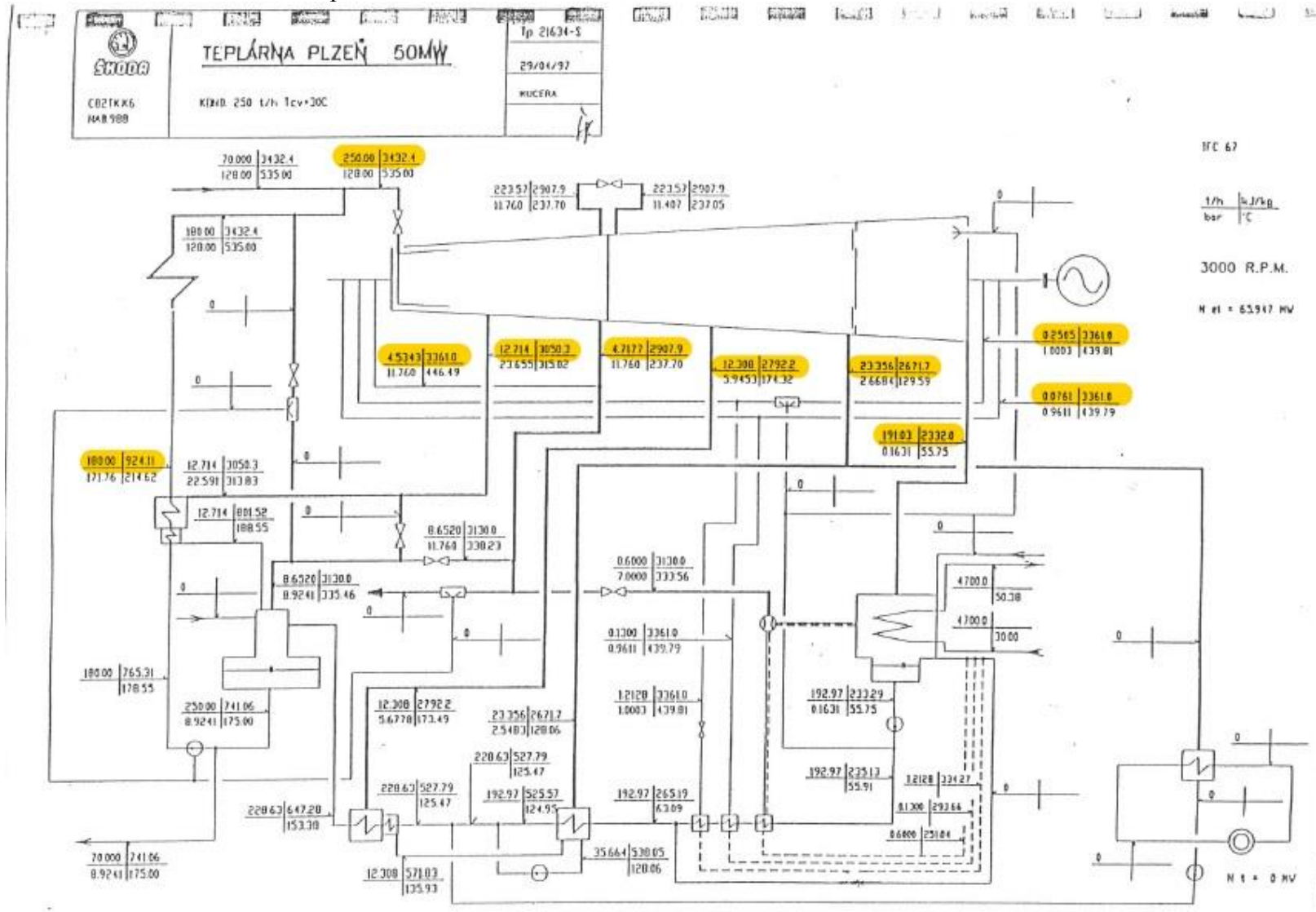
Příloha č. 2 – Bilanční schéma pro TG1 stav č. 1



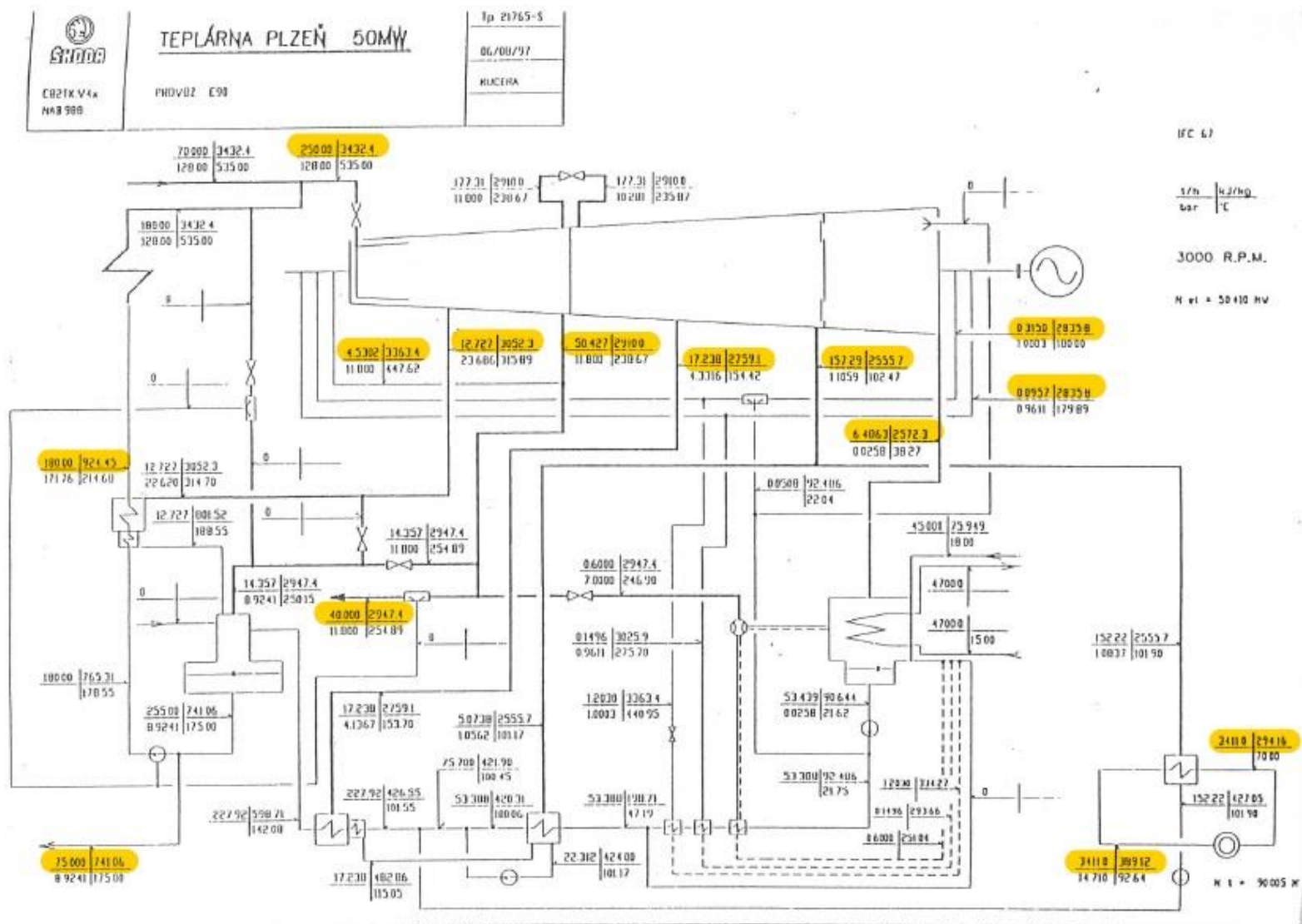
Příloha č. 3 – Bilanční schéma pro TG1 stav č. 2



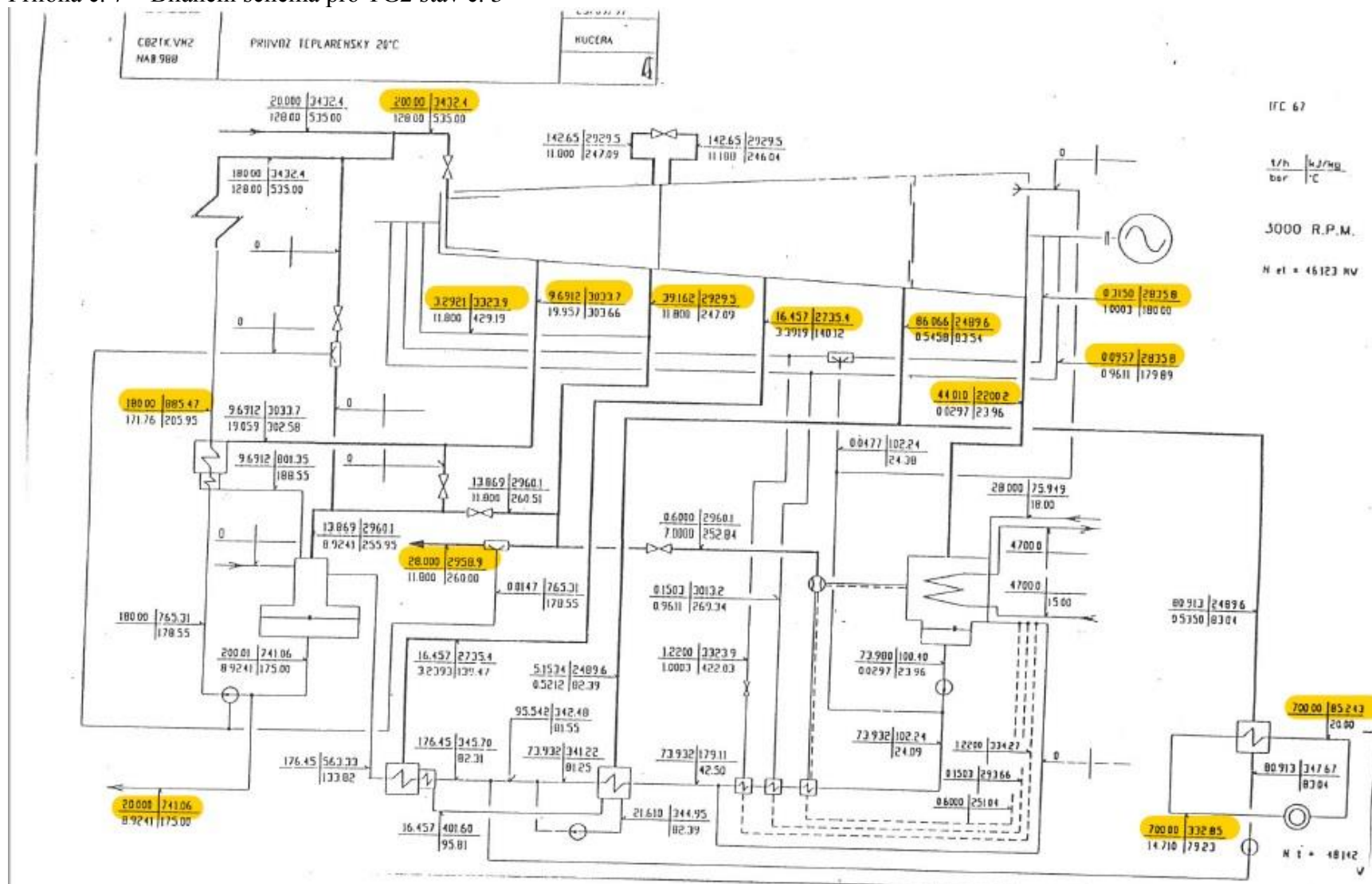
Příloha č. 5 – Bilanční schéma pro TG2 stav č. 1



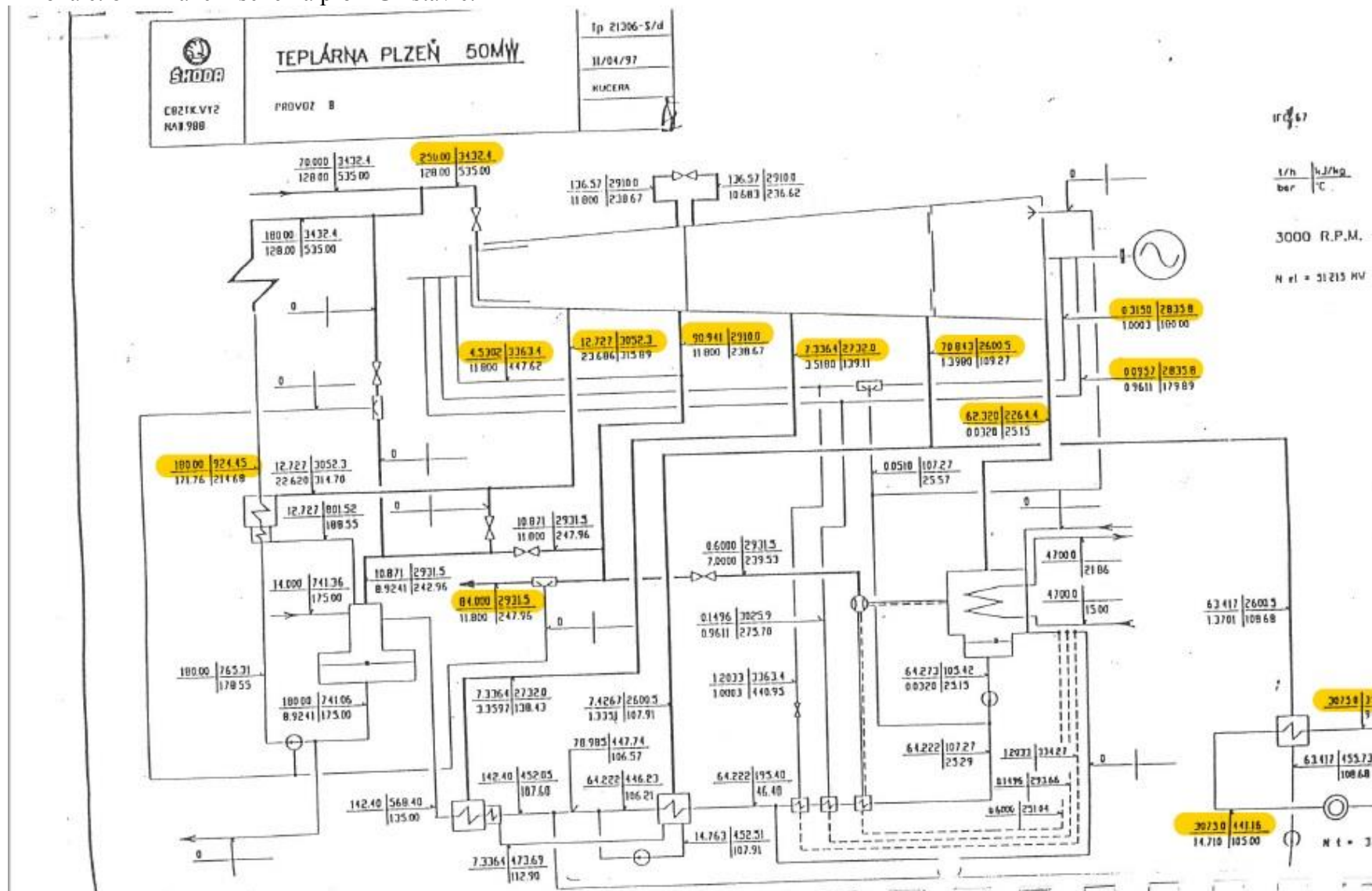
Příloha č. 6 – Bilanční schéma pro TG2 stav č. 2



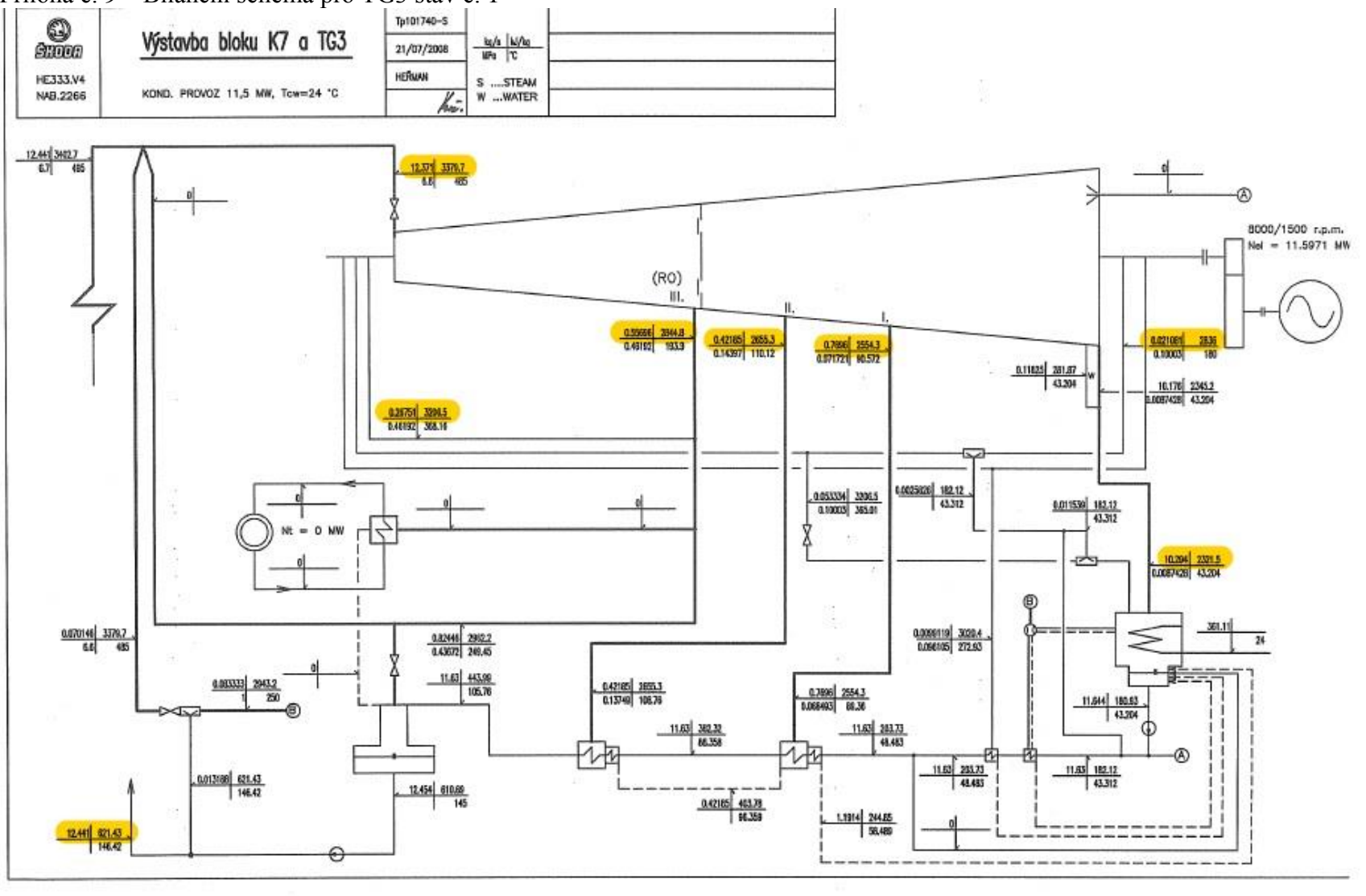
Příloha č. 7 – Bilanční schéma pro TG2 stav č. 3



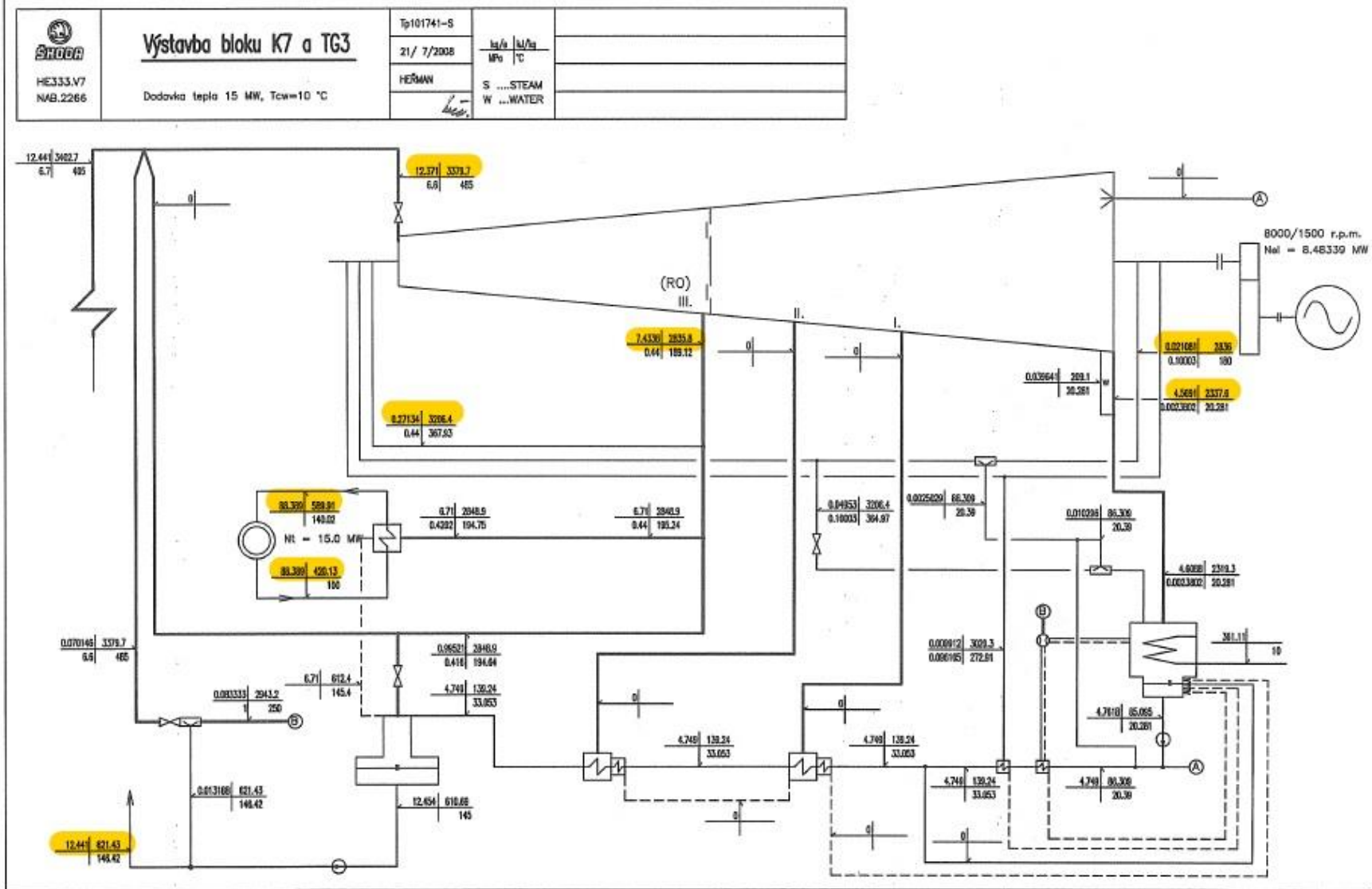
Příloha č. 8 – Bilanční schéma pro TG2 stav č. 4



Příloha č. 9 – Bilanční schéma pro TG3 stav č. 1



Příloha č. 10 – Bilanční schéma pro TG3 stav č. 2



Příloha č. 11 – Bilanční schéma pro TG3 stav č. 3

