



Paroplynový cyklus Počerady

Tento učební text slouží jako podklad pro virtuální exkurzi do paroplynové elektrárny Počerady, která je jediná svého druhu v ČR. Nejvýznamnější části provozu PPC Počerady je možné projít online v rámci Virtuálních prohlídek ČEZ (<http://virtualniprohlidky.cez.cz/cez-pocerady/>).

Obsah

Obsah	1
Úvod a souvislosti	1
Charakter plynového zdroje.....	3
Základní princip činnosti.....	4
Plynový oběh spalovacích turbín	5
Spalinový výměník.....	7
Mezistrojovna	9
Strojovna parní turbíny.....	10
Chladicí okruh a věž	11
Reference.....	12

Úvod a souvislosti

PPC Počerady je paroplynová elektrárna, jejíž výstavba započala v první polovině roku 2011 a dokončena byla ve druhé polovině roku 2013. Instalovaný výkon elektrárny je 838 MW (2 x plynová spalovací turbína 284 MW a 1 x parní 270 MW ve více hřídelovém uspořádání). Investorem a provozovatelem je Skupina ČEZ, která na stavbu elektrárny vynaložila prostředky ve výši 20 miliard Kč. Počeradský energetický areál leží v ústeckém kraji nedaleko Krušných hor mezi městy Most, Louny a Žatec (na mapě EPC).





EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Nová paroplynová elektrárna je vybudovaná v těsném sousedství původní uhelné elektrárny Počerady. Původní uhelná elektrárna byla vybudovaná v letech 1970–77 a v současnosti představuje 5 bloků, každý o výkonu 200 MW. Přestože byla původní počeradská uhelná elektrárna odsířena jako jedna z prvních (1994-96), v současnosti je považovaná za jeden z nešpinavějších centralizovaných energetických zdrojů v ČR. Skupina ČEZ původní uhelnou elektrárnu Počerady I, II prodala na konci roku 2020 skupině Sev.en Energy za 2,5 miliardy Kč. Aby nový vlastník mohl původní elektrárnu i nadále provozovat, musí investovat do nezbytných rekonstrukcí pro splnění aktualizovaných emisních limitů, avšak i tak nebude splňovat předepsané limity na emise rtuti, přesto může požádat o částečnou a časově omezenou výjimku, a provozovat tak elektrárnu i po srpnu 2021.

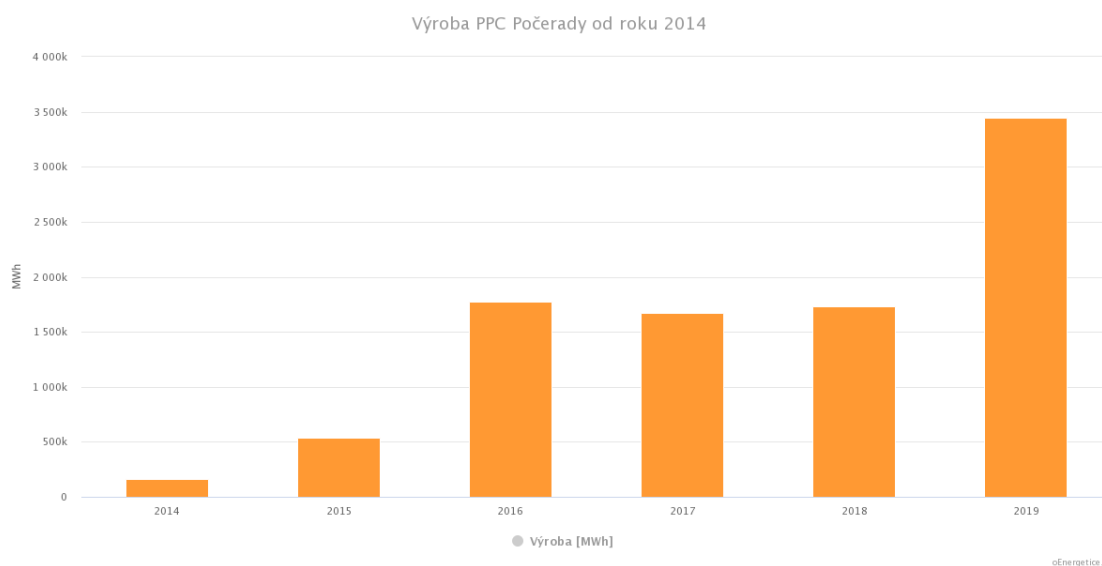
Generálním dodavatelem stavby PPC Počerady je ŠKODA PRAHA, která vybrala dodavatele dvou plynových turbín každé o výkonu 284 MW (Siemens), jedné parní turbíny o výkonu 273 MW (Doosan Škoda Power) a spalínového výměníku včetně příslušenství (SES Tlmače). Během výstavby elektrárny klesla cena elektřiny o cca 50 %, a proto byla elektrárna po skončení zkušebního provozu ponechána pouze jako záložní zdroj, jelikož by se její trvalý provoz ekonomicky nevyplácel. Přestože byla elektrárna původně plánovaná jako pološpičkový zdroj (provoz pouze ve všední dny 6 – 22 hodin), tehdejší nízká cena uhlí a emisních povolenek přispěla k tomu, že se elektrárna nasazovala prakticky jen v případě neočekávaných situací, případně během odstávek jaderných bloků. V roce 2015 dokonce ČEZ zvažoval odprodej PPC Počerady těžbařské společnosti Czech Coal patřící do holdingu Sev.en Energy, nicméně z prodeje nakonec sešlo. Zlom nastal v roce 2016 v reakci na aktuální situaci na trhu s elektřinou především díky růstu cen elektřiny a reformy obchodování s emisními povolenkami a v pozdější fázi díky nižším cenám zemního plynu způsobeným velkým množství zkapalněného plynu, který mířil do



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Evropy zejména z USA. Původní patnáctiletý kontrakt na dodávku plynu se společností Innogy byl ze strany ČEZ vypovězen v roce 2016. Od této doby ČEZ nakupuje palivo na plynových burzách, neboť je burzovní cena nižší než cena stanovená dlouhodobým kontraktem.



Současný trend vývoje na trhu s energiemi i nadále významně nahrává výrobě elektřiny z PPC Počerady. Jednak díky tomu, že dochází k nárůstu výkonu instalovaného v obnovitelných zdrojích, čímž se flexibilní paroplynový zdroj stává významnější a jednak díky vyšší hrubé marži paroplynových elektráren, která je určovaná účinností elektrárny a aktuální cenou elektřiny, zemního plynu a emisních povolenek. PPC Počerady v současnosti disponuje dobou využití maxima více než 50 % a v některých ročních obdobích se dokonce stává zdrojem základního zatížení. Jestliže aktuální situace na trhu s elektřinou nenahrává provozu, zdroj je odstaven a zakonzervován vysoušeným vzduchem, nebo dusíkem a čpavkovou vodou s hydrazinem.

Charakter plynového zdroje

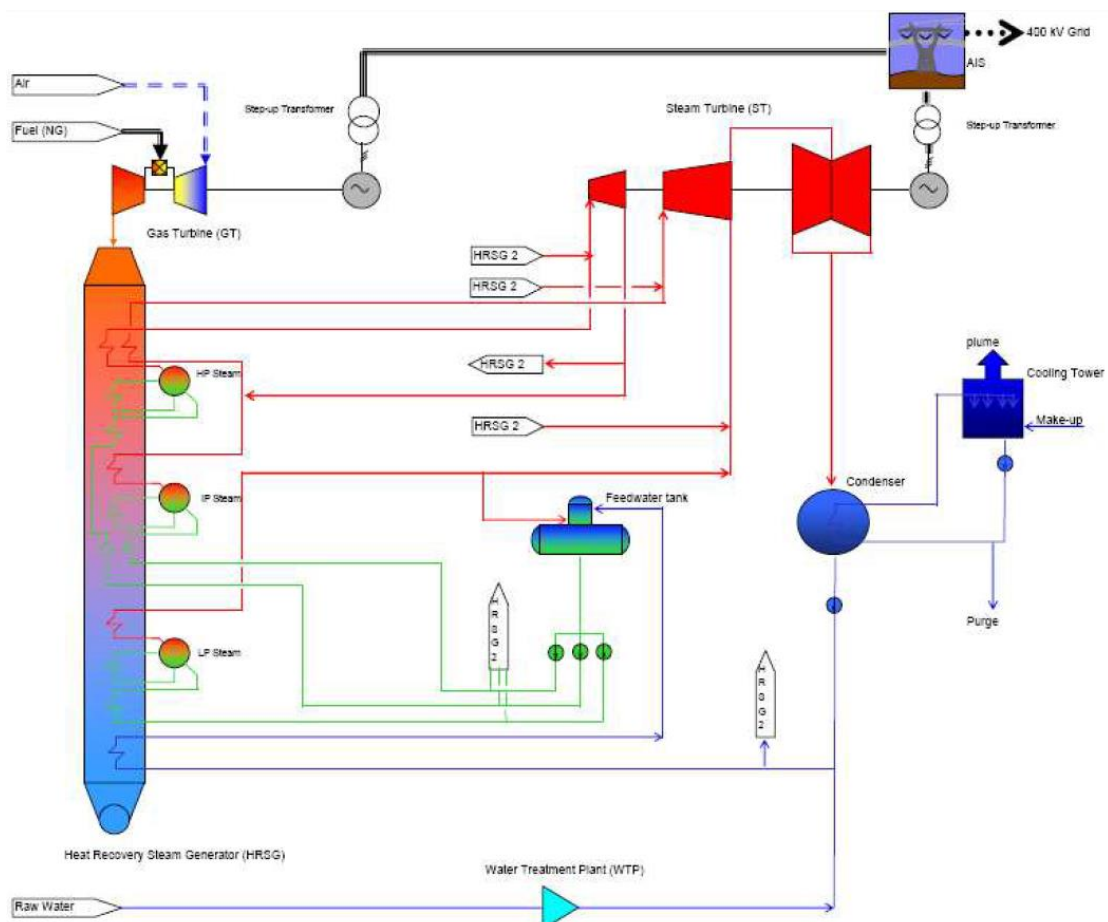
- Vysoká tepelná účinnost. Kombinace dvou tepelných oběhů – plynový Ericssonův-Braytonův cyklus + parní Rankin-Clausiiův cyklus. Celková hrubá účinnost PPC Počerady cca 58 %.
- Relativně nízké náklady na instalovaný MW a rychlá doba výstavby (30–40 měsíců). Avšak vliv kolísání cen všech paliv a energií je z hlediska ekonomiky provozu významnější (obtížnější plánování provozu).
- Poměrně ekologický fosilní zdroj – oproti uhelné elektrárně až o 70 % nižší emise CO₂, žádné emise síry a prachu, emise NO_x 45 mg/Nm³ a CO cca 60 mg/Nm³ (obě hodnoty v souladu s požadavkem BAT).
- Nutnost dodávky ušlechtilého a poměrně drahého paliva. Palivem je nejčastěji zemní plyn (PPC Počerady), méně často topný olej (Alpiq Kladno) a další plynná paliva například ze zplyňování uhlí (PPC Vřesová) nebo biomasy.



- Závislost výkonu na teplotě vzduchu prostředí, nadmořské výšce a relativní vlhkosti. V zimě vyšší účinnost (v zimě klesá teplota vzduchu i jeho vlhkost => roste měrná hmotnost vzduchu => vyšší průtok vzduchu kompresorem). PPC Počerady v zimě cca 888 MW, v létě až o 100 MW méně.
- Vysoká flexibilita – stabilizuje elektroenergetickou soustavu (připojení k síti v řádech minut).

Základní princip činnosti

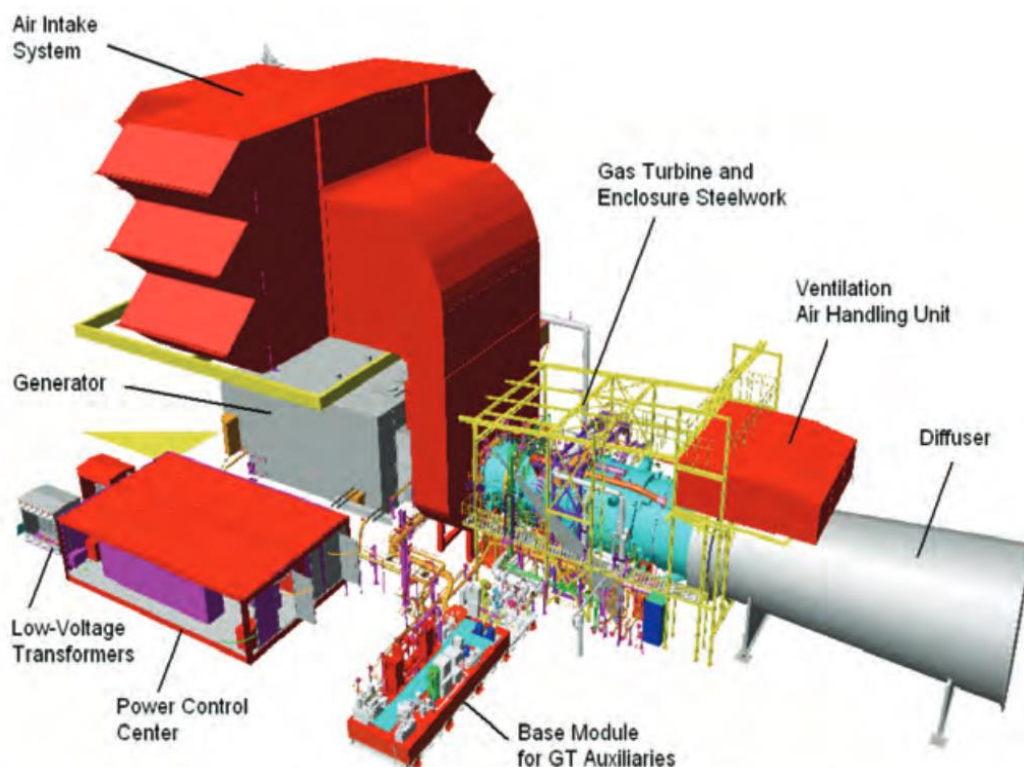
Kompresory plynových spalovacích turbín nasávají atmosférický vzduch, který ve spalovacích komorách turbín vytvoří smísením s palivem spalovací směs, jež je následně zapálena, aby vznikly horké spaliny, které expandují v turbinových částech, čímž je roztočena hřídel turbíny pohánějící jak generátor, tak kompresor. Z výstupních difuzorů turbín vstupují spaliny do spalínových výměníků (kotlů), kde předávají své citelné teplo pracovní látce parního okruhu. Voda se tím zahřeje na výparnou teplotu, vzniká pára a ta je následně ještě přehřátá. Přehřátá pára poté expanduje v parní turbíně a roztáčí tak její generátor. Pro uzavření parního oběhu je provedena kondenzace. Vzniklý kondenzát je pomocí kondenzátních čerpadel dopraven do napájecí nádrže, která plní zároveň funkci odplyňováku. Z napájecí nádrže pak oběhová čerpadla ženu vodu zpět do spalínového kotle, kde opět přijme teplo.





Plynový oběh spalovacích turbín

Plynový oběh je realizován prostřednictvím tepelného motoru s vnitřním spalováním s kontinuálním průtokem vzduchu a spalin, tedy pomocí plynové spalovací turbíny. Soustrojí turbíny tvoří 3 hlavní části – kompresorová část, spalovací komora a turbinová část. V PPC Počerady jsou instalované plynové turbíny SGT5-4000F od společnosti Siemens, která kromě samotných turbín dodala také dva vzduchem chlazené generátory SGen5-1000 a dále pak veškerá strojní, řídicí a elektrická zařízení potřebná k bezpečnému a spolehlivému provozu. Jedná se například o systémy pro řízení a monitoring technologických procesů plynových a parních turbín, parních generátorů (spalinových kotlů), vodního a plynového hospodářství, elektrorozvodny 400 kV atd. Účinnost turbín SGT5-4000F je po optimalizaci 39,8 %.



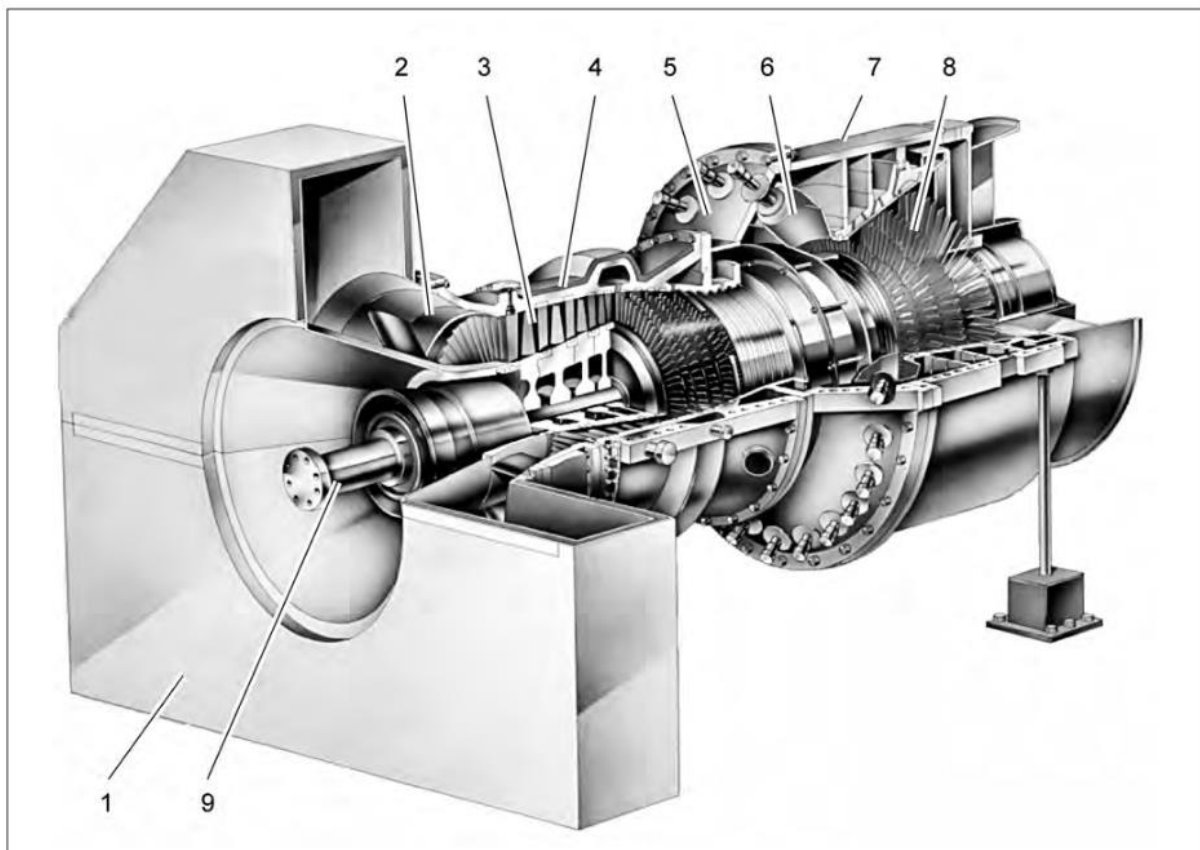
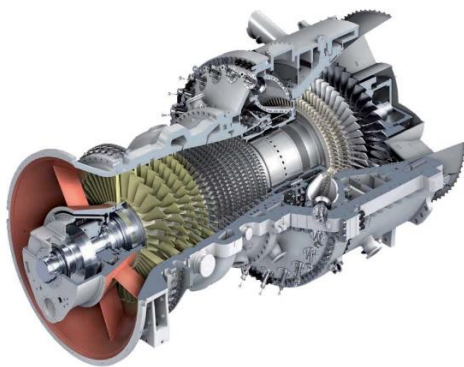
Kompresor turbíny je 15stupňový s optimalizovaným tokem a řízeným difúzním profilem pro lepší účinnost. Jeho robustní provedení umožňuje provoz v poměrně širokém rozmezí rychlostí. Kruhová spalovací komora zahrnuje 24 hybridních hořáků s cylindrickými nástavci pro zajištění rovnoměrného proudění plynu a rozdělení teploty, aby bylo hoření stabilní a s nízkou hladinou hluku. Uvnitř spalovací komory je dosahováno teploty až 1500 °C, tudíž je opatřena keramickými tepelnými štíty. Turbinovou část tvoří lopatky z tepelně odolných slitin tuhnuoucích v monokrystalické struktuře. Lopatky jsou navíc opatřeny keramickou vrstvou, což snižuje spotřebu chlazení lopatek. Lopatky jsou chlazeny vnitřně prostřednictvím vzduchových kanálků a externě ochlazováním tenké vrstvy. Rotorem turbíny lze



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

hydraulicky pohybovat v osové směru po zahřátí turbíny a při provozu s nedostatečným zatížením, kdy je potřeba snížit mezeru mezi lopatkami. Při odstavení turbíny je potřeba vhnát vysušený vzduch na sání kompresoru pro zamezení výskytu vlhkosti, o což se stará sušící jednotka umístěna v prostoru mezi oběma plynovými turbínami společně s CO₂ hasicí baterií.



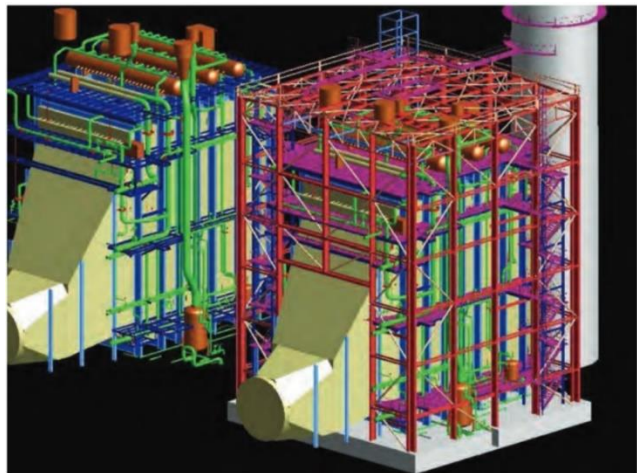
Plynová turbína SGT5-4000F

1 – Sací vývod • 2 – Ložiskové pouzdro kompresoru • 3 – Kompresor • 4 – Celok rozváděcích lopatek kompresoru 1 • 5 – Vnější pouzdro pod celkem rozváděcích lopatek kompresoru 1 • 6 – Spalovací komora • 7 – Pouzdro turbíny • 8 – Turbína • 9 – Rotor

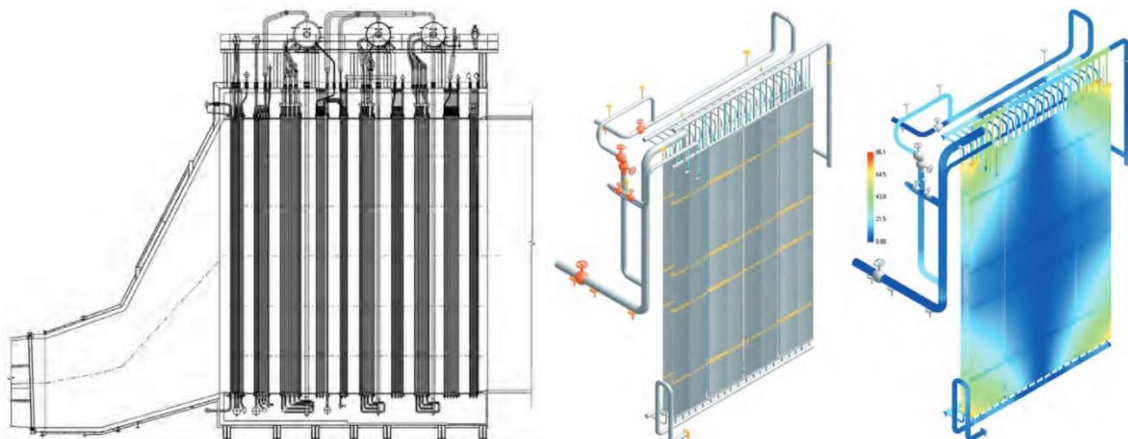


Spalinový výměník

Na difuzory obou plynových turbín je pomocí tkaninového kompenzátoru připojen vždy jeden spalinový výměník – parní generátor. Tyto spalinové kotle jsou řešeny s horizontálním prouděním spalin, zahrnují parní bubny s přirozenou cirkulací ve výparnících a jsou schopné pracovat v rozsahu výkonů spalovacích turbín 54 – 100 % s klouzavým tlakem. Každý kotel má svůj 110 m vysoký komín z monolitické železobetonové konstrukce s ocelovým tepelně izolovaným průduchem o průměru 7 m. Uvnitř komína se nachází spalinová klapka a tlumič hluku. Spalinovody jsou navrženy a vyztuženy tak, aby byla zajištěna minimální tlakovou ztrátu a zároveň dostatečná tuhost a těsnost. Přístupové a manipulační plošiny spolu se žebříkem umožňují přístup až na vrchol komína. Každý kotel je rozdělen do 3 hlavních částí s ohledem na parametry páry: vysokotlaká VT pára 130,6 bar a 552 °C, středotlaká ST přehřátá pára 28,2 bar a 550 °C, nízkotlaká NT pára 4,3 bar, 290°C. Spalinový kanál kotle je opatřen vnitřní tepelnou izolací, která kromě snižování ztrát únikem tepla do okolí přispěje k odhlučnění spalovacích turbín.

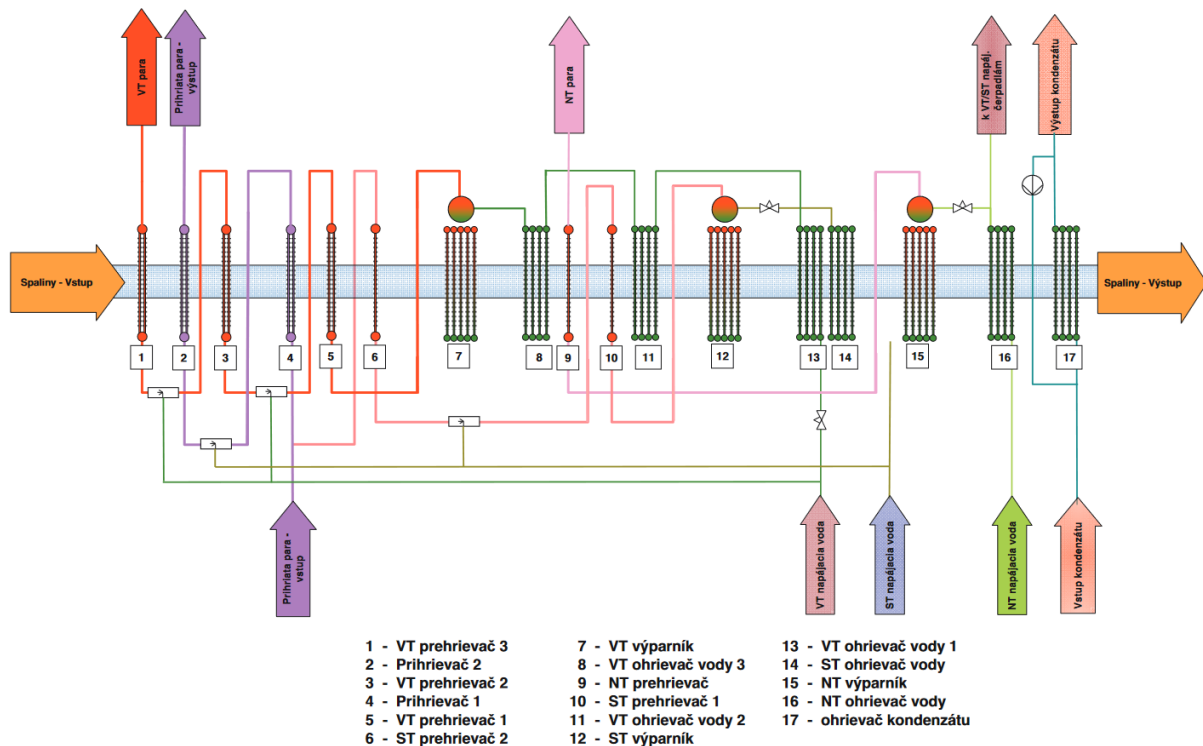


Samonosná konstrukce vymezuje polohu kotle a umožňuje jeho uložení na patkách s teflonovými ložisky. Pomocná ocelová konstrukce slouží pro zajištění schodiště a přístupových a manipulačních plošin a pro zavěšení potrubí. Na stropních nosnících jsou ve směru proudění spalin postupně zavěšené teplosměnné plochy VT, ST a NT systému a poslední plochou je přehřev kondenzátu. Výhřevné plochy jsou tvořeny žebrovanými trubkami, které pro každou tlakovou část kotle tvoří samostatný modul pro snadnější montáž a manipulaci. Výhřevné plochy zahrnují dělicí příčky a trubky jsou svázané pro omezení vibrací buzenými odtrháváním vírů za výhřevnými plochami.





Vysokotlaký systém kotle je tvořen třemi stupni ohřevů napájecí vody, systémem výparníku a třemi stupni přehříváčů. Středotlaká část zahrnuje ohřev vody, výparník, 2 stupně přehříváčů a 2 stupně přehříváčů. Přehřátá pára na výstupu z koncového ST přehříváče smísená s vratnou parou z turbíny ještě před vstupem do prvního stupni přehříváče. Do nízkotlaké části patří ohřev vody, výparník a přehříváč. Poslední tlakovou částí kotle je ohřev kondenzátu před vstupem do napájecí nádrže. Především v režimu mimo provoz je spalínové výměníky potřeba vysoušet pomocí adsorpčních odvlhčovacích systémů, aby nedocházelo ke korozi. V zimním období je současně nutné zajistit, aby teplota vzduchu v hale neklesla pod 5° C.

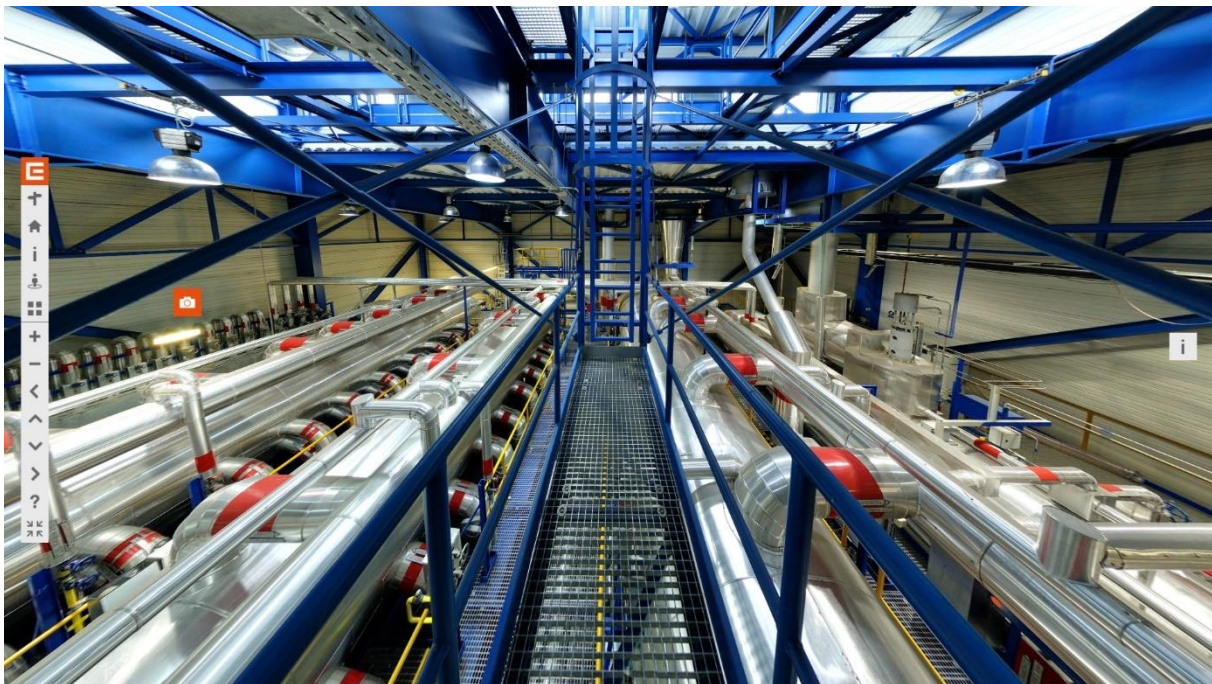
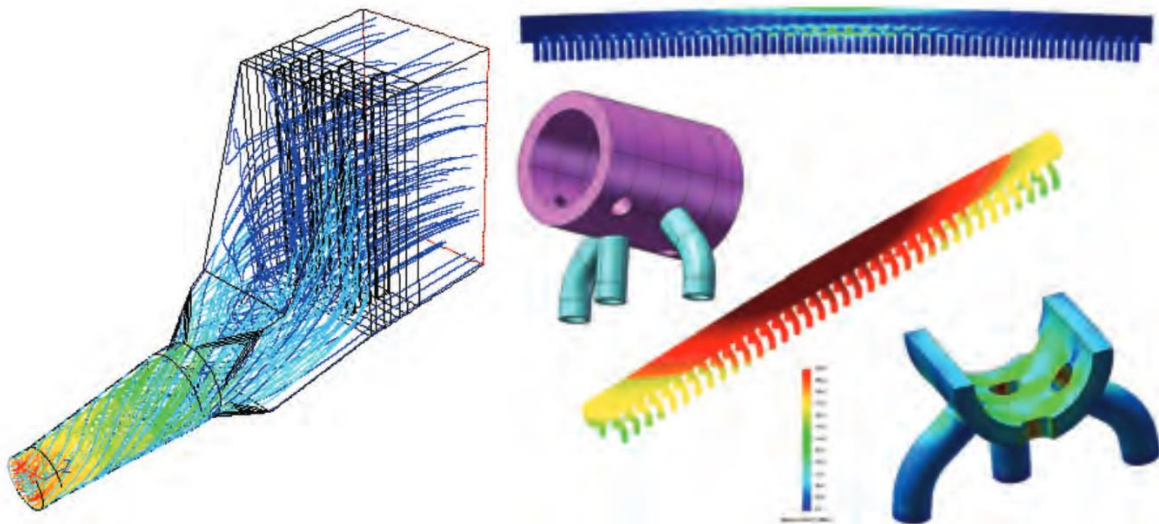


Při návrhu kotle a jeho dílčích konstrukčních uzlů včetně materiálu je třeba zohlednit cyklické nabíhání a odstavování provozu s ohledem na co nejméně omezený náběh spalovacích turbín. Specifika spalínového kotle z hlediska přestupu tepla a hmoty a z hlediska poškozování a degradace materiálu, včetně korozních jevů, jsou vyšetřované metodou CFD a FEA.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Mezistrojovna

Prostor mezi turbínami a spalinovými kotli tvoří mezistrojovna. Pro každý kotel se zde nachází 2x1 VT napájecí čerpadlo odplyněné vody a dále jsou zde pro každý kotel 3 NT napájecí čerpadla. Všechna čerpadla jsou řízená frekvenčním měničem. Během odstávky jsou čerpadla napuštěna konzervačním roztokem. Součástí mezistrojovny jsou také výstupy spalovacích turbín a jejich difuzory, které uvádějí spaliny do rotace pro rovnoměrné rozmístění na vstupu do spalínovodů kotlů.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



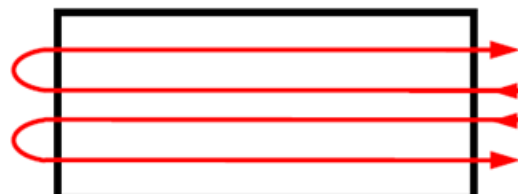
Strojovna parní turbíny

Společně s parní turbínou je v hlavní strojovně umístěn kondenzátor a olejové hospodářství. Parní turbína o výkonu 270 MW od Škoda Power přes spojku roztáčí generátor od firmy Siemens. Soustrojí se otáčí rychlostí 3000 ot/min. Parní turbína je kondenzační dvoutělesová rovnotlaká s jedním kombinovaným VT-ST dílem a jedním dvouproudovým NT dílem, bez regenerace, s přehříváním. Má tři vstupy páry: VT (přehřátá pára – teplota 550 °C, tlak 12,8 MPa), ST (přehřátá pára – teplota 548 °C, tlak 2,772 MPa) a NT pára (teplota 288 °C, tlak 0,3995 MPa). Výstup z NT dílu je vyveden do povrchového kondenzátoru. Na straně vysokého tlaku je umístěn systém olejového hospodářství turbosoustrojí pro mazání a chlazení ložisek turbíny a generátoru a pro ovládání hydraulicky poháněných zařízení. Olej je filtrován pro kontinuální odplavování nečistot ze systému. Chladiče oleje jsou umístěné vedle kondenzátoru.



Pod NT dílem parní turbíny je umístěný povrchový kondenzátor, který je řešen jako dvoutahový, dělený na vodní straně, což umožňuje činnost jedné poloviny kondenzátoru při sníženém výkonu turbíny. Proti nadměrnému stoupení tlaku je kondenzátor chráněn pojistnými membránami, které jsou umístěny na NT části turbíny. Do kondenzátoru je vyústěna jednak emisní pára z posledního stupně turbíny, ale také ST a NT

Dvoutahový dělený





EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



bypassové stanice. Vodními komorami spojený parní prostor je vymezen ocelovým plechem, který je na některých místech vyztužen proti zborcení v důsledku silného podtlaku. Z důvodu udržení nízkého kondenzačního tlaku (3–7 kPa) a správnou funkci je z parního prostoru kondenzátoru vodokružnými vývěvami trvale odsáván vzduch a nezkondenzovatelné plyny. Kondenzátor je uložen na pružných podporách umožňujících určitou dilataci. Podpory jsou opatřeny rozpínacími šrouby pro odlehčení pružin při tlakové zkoušce parního prostoru demivodou.

Teplosměnná plocha kondenzátoru je tvořena trubkami oboustranně zaválcovanými do trubkovnic, uvnitř kterých proudí chladicí voda. Na straně vstupu i výstupu vody je trubkovnice pevně spojena s pláštěm, dilatace trubkovnic je umožněna na straně vratné komory. Teplosměnné trubky jsou vyztuženy podpěrami, které jsou rozmístěny tak, aby nedocházelo k vibracím a deformacím.



Zkondenzovaná pára je shromažďována ve sběrači, odkud kondenzátní čerpadla prvního stupně dopravují kondenzát přes blokovou úpravnu kondenzátu na sání kondenzátních čerpadel druhého stupně, které kondenzát ženou přes kondenzátor komínkové páry do napájecí nádrže.

Chladicí okruh a věž

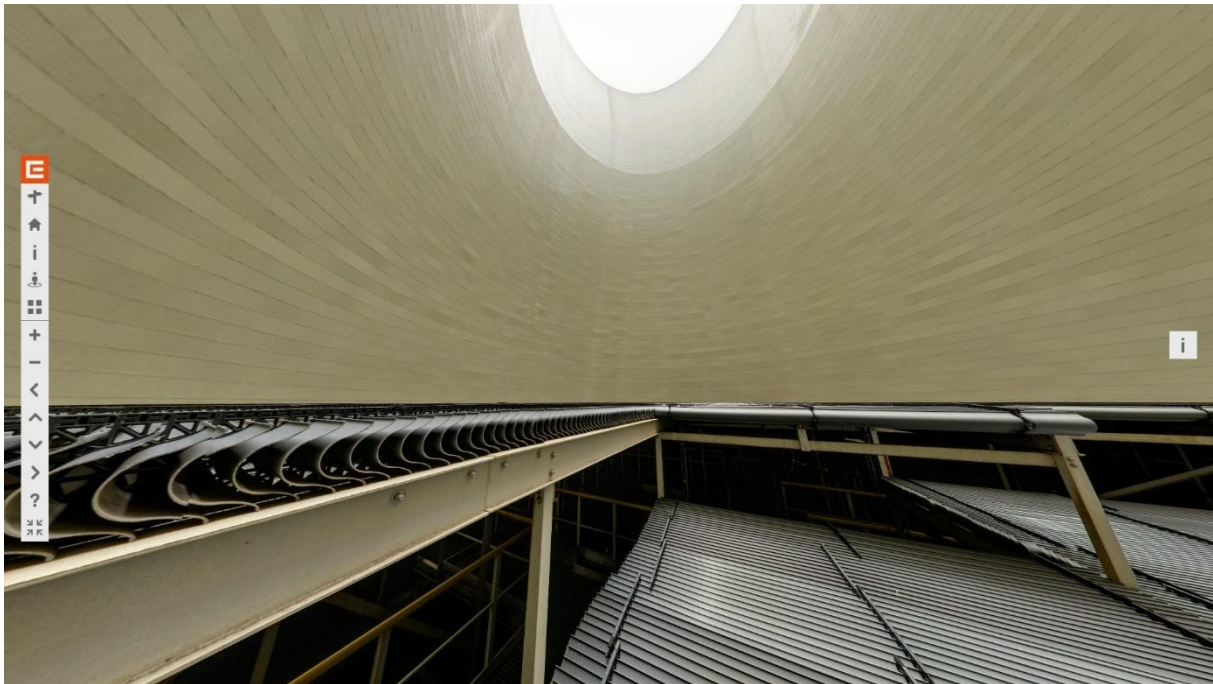
K odvádění kondenzačního tepla slouží mokrá chladicí věž typu Iterson s přirozeným tahem. Chladicí věž je vysoká 128,3 m s průměrem u paty 88,5 m, v hrdle 56 m a koruně 60,6 m. Oteplenou vodu z kondenzátoru přivádí do armaturní komory chladicí věže sklolaminátové potrubí DN 2400 umístěné v zemi. Z armaturní komory je voda dále vedená betonovým kanálem pod základovou deskou bazénu chladicí věže do dvou stoupacích kanálů. Ze stoupacích kanálů je voda distribuována po ploše chladicí věže pomocí rozvodových žlabů a na ně navazujícího pracovního PVC potrubí s rozstřikovacími tryskami. Voda z rozstřikovacích trysek skrání v celé půdorysné ploše chladicí věže bloky chladicí výplně, na které dochází k ochlazení vody. Z chladicí výplně voda dále padá do bazénu chladicí věže a je dále svedena do odtokového kanálu chladicí věže.

Součástí chladicího okruhu je samostatná čerpací stanice s dvěma čerpadly chladicí vody pro potřeby kondenzátoru. Čerpadla zajišťují průtok chladicí vody 10 500 kg/s. Pomocí natáčení lopatek oběžného kola čerpadel je možné regulovat průtok od 70 do 140 % jmenovité hodnoty.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Otázky k procvičení látky:

- Jaký je základní princip činnosti paroplynového cyklu?
- Jaké jsou hlavní části plynového oběhu spalovacích turbín?
- V jakém zařízení je předáváno teplo ze spalín do vody/vodní páry?



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Reference

1. Skupina ČEZ: Svět energie, Vzdělávací portál ČEZ [online]. ČEZ: 2020 [cit. 18. 05. 2021]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/plynove-a-paroplynove-elektrarny/paroplynova-elektrarna>
2. Skupina ČEZ: Svět energie, Vzdělávací portál ČEZ [online]. ČEZ: 2020 [cit. 18. 05. 2021]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/plynove-a-paroplynove-elektrarny/paroplynove-elektrarny-cez/paroplynovy-cyklus-pocerady>
3. Technický týdeník: POČERADY: ČEZ buduje svůj první domácí paroplyn [online]. Praha: Business Media CZ s.r.o, [cit. 18. 05. 2021]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/pocerady-cez-buduje-svuj-prvni-domaci-paroplyn_17442.html
4. oEnergetice.cz: Paroplynová elektrárna v Počeradech meziročně zdvojnásobí výrobu elektřiny, plyn začíná konkurovat černému uhlí [online]. oEnergetice, ČTK: 2019 [cit. 18. 05. 2021]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/paroplynova-elektrarna-poceradech-mezirocne-zdvojnaso-bi-vyrobu-elekt-riny-plyn-zacina-konkurovat-cernemu-uhli>
5. oEnergetice.cz: Paroplynové elektrárny v ČR [online]. oEnergetice, ČTK: 2015 [cit. 18. 05. 2021]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/paroplynove-elektrarny-v-cr>
6. oEnergetice.cz: EU ETS: Reforma obchodování s povolenkami bude v roce 2021 [online]. oEnergetice, ČTK: 2015 [cit. 18. 05. 2021]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/evropska-unie/eu-ets-reforma-obchodovani-s-povolenkami-bude-v-roce-2021>
7. Siemens: Paroplynový zdroj Počerady – elektrárna budoucnosti je připravena [online]. Česká republika: Siemens, s.r.o. 1996 – 2021 [cit. 18. 05. 2021]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/energo/paroplynovy-zdroj-pocerady-elektrarna-budoucnosti-je-pripravena>
8. Siemens: Energo. Magazín pro zákazníky a partnery společnosti Siemens z oblasti energetiky [online]. ENTRE s.r.o. v Praze 2014. [cit. 18. 05. 2021]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/energo/upload/energo-2-2014.pdf>
9. Tretiruka.cz: Paroplynový cyklus je hotov, nyní čeká na svou příležitost [online]. České ekologické manažerské centrum, z.s. Praha 2014. [cit. 18. 05. 2021]. Dostupné z: <https://www.tretiruka.cz/news/paroplynovy-cyklus-je-hotov-nyni-ceka-na-svou-prilezitost/>



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

10. ALL FOR POWER: Plynová turbína, generátor a ASŘTP pro PPC v Elektrárně Počerady [online].
Praha: AF POWER agency a.s., ISSN 1802-8535, 2009 – 2021. Dostupné z:
http://old.allforpower.cz/UserFiles/files/2011/Siemens_Pocerady.pdf
11. ALL FOR POWER: Spalinové kotly pre paroplynový zdroj 840 MWe v elektrárni Počerady [online].
Praha: AF POWER agency a.s., ISSN 1802-8535, 2009 – 2021. Dostupné z:
http://old.allforpower.cz/UserFiles/files/2011/SES_Pocerady.pdf
12. Skupina ČEZ: Virtuální prohlídka ČEZ [online]. ČEZ: 2020 [cit. 18. 05. 2021]. Dostupné z:
<http://virtualniprohlidky.cez.cz/cez-pocerady/>
13. Informační systém EIA – Portál životního prostředí – CENIA: Dokumentace záměru Paroplynový zdroj 880 MWe v Elektrárně Počerady dle zákona č. 100/2001 Sb., v platném znění [online]. Praha 2008: ČEZ, a.s. & SCES – Group, spol. s r. o. [cit. 18. 05. 2021]. Dostupné z:
https://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX01aUDI0N19kb2t1bWVudGFjZURPQ18xLnBkZg/MZP247_dokumentace.pdf