Moderní řešení Doosan Škoda Power pro elektrárnu Prunéřov

Doosan Škoda Power

Elektrárna Prunéřov II provozovala pět bloků o jednotkovém výkonu 210 MW s turbínami polského výrobce ABB Zamech (vyrobenými v licenci ruského výrobce turbín LMZ z dnešního Petrohradu), uvedené do provozu v letech 1981 až 1982. Během jejich provozu proběhla modernizace výměnou konstrukčně zastaralých nízkotlakých (NT) dílů (s tzv. Baumanovým stupněm) a úpravou hydraulické regulace. Obě tyto modernizace prováděla Škoda. Majitel elektrárny, společnost ČEZ, se rozhodla ke kompletní výměně tří bloků. Výměna se týká jak kotlů – nové kotle dodávají páru o vyšších parametrech – před turbínou 17,7 MPa, 573 °C s přihřátím na 578,5 °C - se zvýšeným elektrickým výkonem bloku z původních 210 MW na 250 MW. Škoda pro tento projekt nabídla dvoutělesové uspořádání turbíny s kombinovaným VT/ST dílem v jednom tělese a s klasickým dvouproudým NT dílem. Toto moderní řešení vyžadovalo nový základ turbíny, protože původní turbína ABB Zamech byla třítělesová.

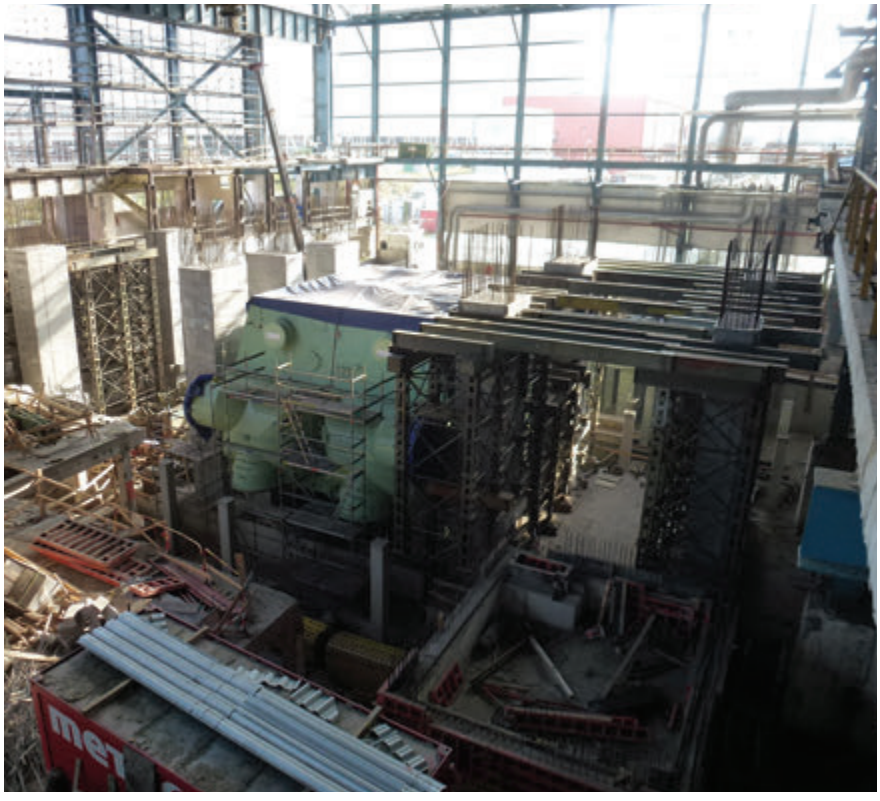
Úvodem bych si dovolil zmínku o historii projektu. Krátce po podpisu kontraktu na rekonstrukci čtyř bloků Elektrárny Tušimice byl podepsán kontrakt na rekonstrukci třech bloků v elektrárně Prunéřov. To se stalo v únoru roku 2007 s tím, že dodávky zařízení na stavbu a začátek montáže začne koncem roku 2011 respektive začátkem roku 2012. Krátce po podpisu kontraktu však nastaly potíže při schvalování stavebního povolení. Podmínkou pro vystavení tohoto stavebního povolení bylo schválení studie dopadu na životní prostředí (EIA). Ta sice byla v prvním kole vypracována a schválena, aby vzápětí začala být zpochybňována a vyžadována její revize. Úsměvná je i epizodka, kdy proti stavbě Prunéřova dokonce protestovalo jedno tichomořské souostroví. Současná situace rekonstrukce je taková, že v těchto dnech odchází komponenty turbín na stavbu, což znamená, že došlo k cca dvouletému zpoždění výstavby způsobenému právě především obstrukcím v začátcích projektu. Tolik k historii projektu z pohledu Škoda Power, dodavatele strojovny 3× 250 MW (v průběhu této dlouhé akce se změnil obchodní název společnosti na Doosan Škoda Power).

Dodávka celého parního cyklu každé ze strojoven obsahuje pět nízkotlakých ohříváků, napájecí nádrž, napájecí stanici a dva vysokotlaké ohříváky s dodatečným srážečem teploty páry. Teplota napájecí vody při jmenovitém provozu dosahuje 249 °C. Navíc je použita teplofikace se třemi ohříváky topné vody. Turbína je konstruována se sedmi neregulovanými odběry páry pro regeneraci a jedním regulovaným odběrem páry pro regulaci teploty v OTV3.

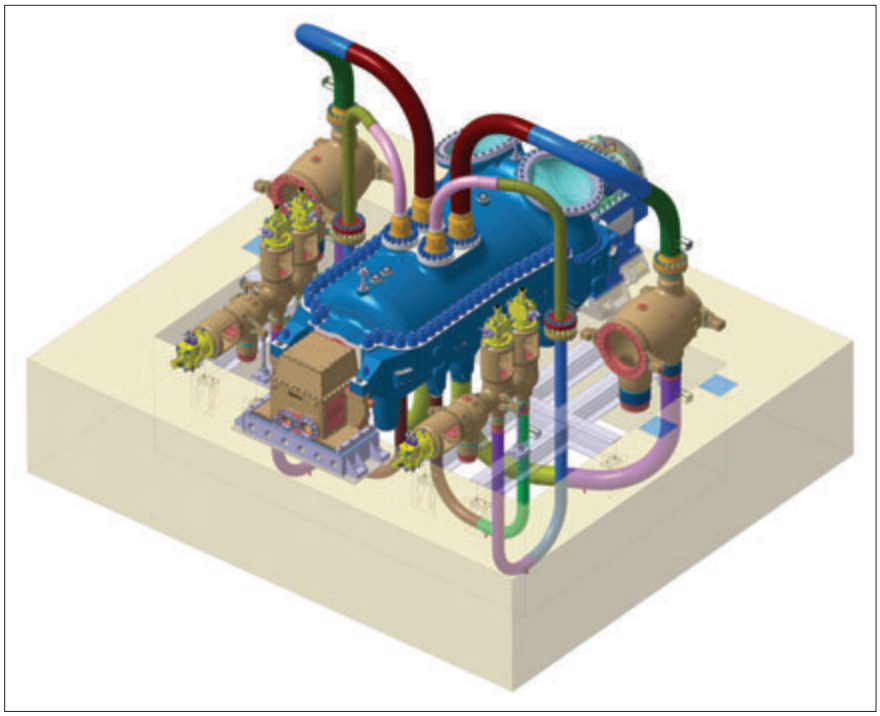
Základní parametry turbíny:

- Jmenovitý výkon měřený na svorkách generátoru 250 MW
- Maximální výkon TG 257 MW
- Jmenovitý tlak přehřáté páry před VT RZV 17,66 MPa
- Jmenovitá teplota přehřáté páry před VT RZV 572,7 °C
- Jmenovitý tlak přihřáté páry před ST RZV 3,54 MPa
- Jmenovitá teplota přihřáté páry před ST RZV 578,5 °C
- Jmenovité množství páry do turbíny 660 t/h
- Maximální množství páry do turbíny 670 t/h
- Tlak v kondenzátoru (v závislosti na teplotě chladící vody) 3 ÷ 11 kPa
- Jmenovitá teplota chladící vody 18,5 °C
- Maximální teplota chladící vody 24,5 °C

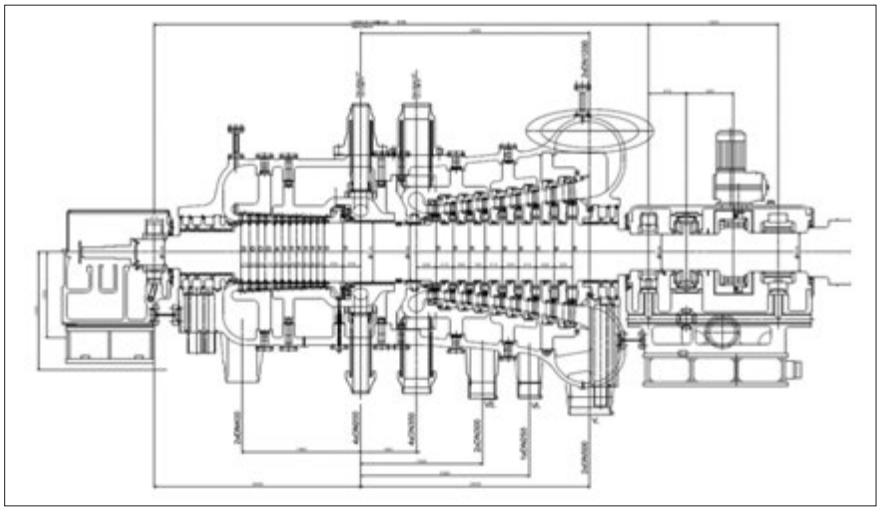
Původní turbína ABB Zamech



Výstavba nového základu



Kombinovaný VT/ST díl – 3D model



Kombinovaný VT/ST díl

Parní turbína 250 MW typu Škoda KT – 250 – 17,66 (typová řada MTD60CR), je rovnotlaká kondenzační turbína s přihříváním páry za vysokotlakým (VT) dílem, s jedním kombinovaným VT/ST dílem a jedním dvouproudovým NT dílem. Obě turbínová tělesa jsou dvouplášťové konstrukce. Výstup z NT dílu je vyveden do kondenzátoru. Chlazení je provedeno za pomoci mokré chladicí věži s přirozeným tahem. Je použita regulace klouzavým tlakem, v nízkých zatíženích pak škrtící regulace.

Vzájemné spojení těles minimalizuje relativní posuv mezi rotory a statory. Pevný bod statorových částí je na kozlících nízkotlakého tělesa. Při růstu teploty tělesa dilatují směrem od pevného bodu. Ložiskové stojany (přední VT/ST, mezi VT/ST a NT dílem) jsou posouvány po kozlících. Statorové části VT/ST dílu se posouvají vlivem tepelných roztažností od pevného bodu směrem dopředu, posouvá se i axiálního ložisko umístěné v ložiskovém stojanu mezi VT/ST a NT dílem. To znamená, že rotory sledují posuv statorů. Tato konstrukce minimalizuje relativní posuvy mezi rotorovými a statorovými částmi a odstraňuje problémy s axiálními vůlemi mezi rotorem a statorem, které se během jednotlivých režimů provozu mění. Rotory turbosoustrojí jsou spojeny pevnými spojkami.

NT díl je pevně spojen s nástavbou kondenzátoru, který je z důvodu dilatace uložen na pružinových podporách. Admisní pára je do turbíny vedena přes čtyři ventilové bloky (dva vysokotlaké a dva středotlaké záchytné ventilové bloky), které jsou umístěny po stranách kombinovaného VT/ST dílu turbíny. Každý blok obsahuje jeden vlastní rychlozávěrný ventil. Ovládání všech parních ventilu zajišťuje vysokotlaká hydraulika.

VT a ST díl mají společné vnější turbínové těleso a rotor (proto kombinovaný VT/ST díl). Průtočná část je však rozdělena na VT a ST část a také do každé této části vstupuje pára samostatně. Přehřátá (VT) pára vstupuje z ventilových komor čtyřmi potrubími do dýzových komor VT části. Rozváděcími lopatkami bubnové části vnitřního tělesa proudí směrem k přednímu ložiskovému stojanu a vstupuje do posledních rozváděcích lopatek uložených ve VT nosiči. Průtočnou část VT dílu tvoří 13 rovnotlakých stupňů. Rozváděcí lopatky VT dílu jsou vkládány přímo do vnitřního VT tělesa a u stupňů č. 10 až 13 do nosiče rozváděcích lopatek. Přihřátá (ST) pára vstupuje do okružního kanálu vnitřního ST tělesa dvěma potrubími.

Dvě výstupní hrdla jsou situována na výstupu z VT části ve spodní polovině vnějšího tělesa. Na druhé straně z výstupu svršku ST části jsou dvě přírubová hrdla DN1200 pro převáděcí potrubí spojující ST díl s NT dílem.

Průtočnou část ST dílu tvoří 9 rovnotlakých stupňů. Použitá rozváděcí kola jsou tzv. skládané konstrukce, tzn., že rozváděcí lopatky jsou upevněny v disku a věnci uchyceny pomocí kolíků. VT/ST rotor je celokovaný, nevrtaný, včetně nakovaných kotoučů spojek. Na kotouči NT spojky je nalisován ozubený věnec pro mechanické natáčecí zařízení.

Lopatkování rotoru je rovnotlakého typu s oběžnými lopatkami s 3D tvarováním. Lopatky jsou v rotoru uchyceny pomocí "T" závěsů a vidličkových závěsů.

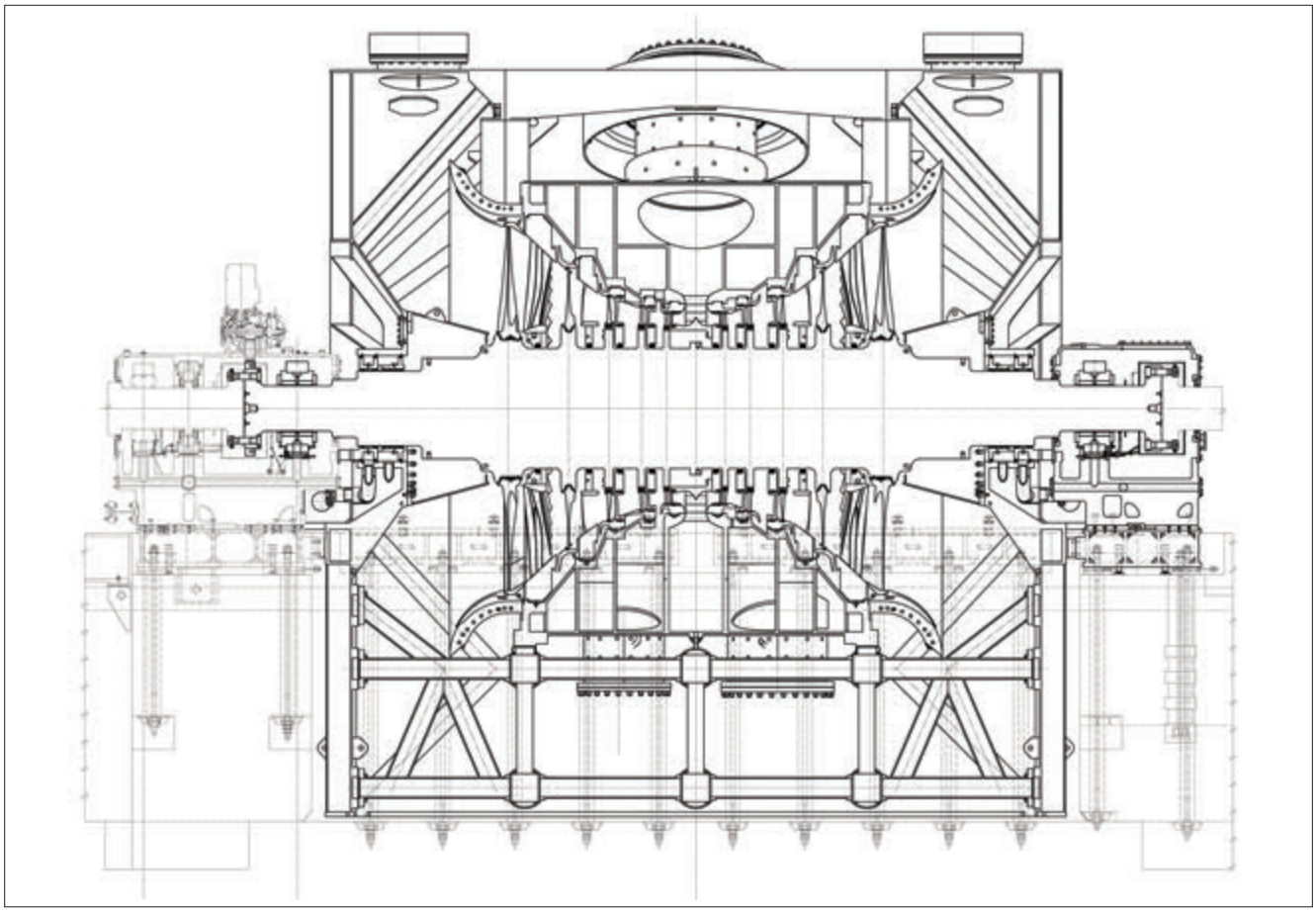
K utěsnění prostorů mezi rotorem a statorovými částmi slouží ucpávky tvořené odskakovacími labyrintovými kroužky se zatemovanými břity proti temovaným břitům v rotoru. Všude jsou použity tzv. pravé labyrinty. Vnější rotorové ucpávky jsou děleny na tlakové sekce, z nichž se odvádí ucpávková pára do příslušných partií průtočné části turbíny či hlavního kondenzátoru. Pro zmírnění účinků axiální síly je v bubnové části VT/ST dílu použit tzv. vyrovnávací píst, který minimalizuje síly přenášené od průtočné části na axiální ložisko.

Nízkotlaký díl

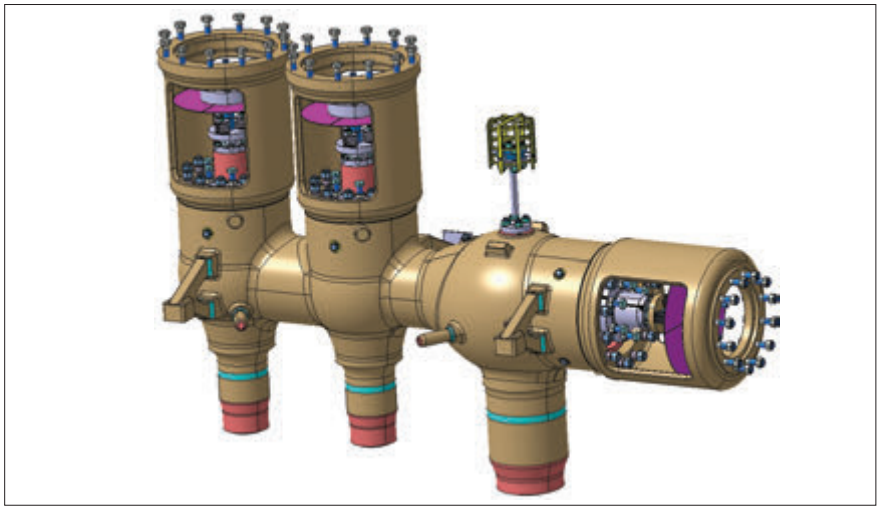
Nízkotlaký díl je dvouproudový, dvouplášťový, v každém proudu s výstupem do kondenzátoru směrem dolů. NT těleso svařované konstrukce se sestává ze dvou hlavních částí – vnitřního a vnějšího tělesa. Pára ze středotlakového dílu se přivádí dvěma převáděcími potrubími DN1200 do okružního kanálu vnitřního NT tělesa. Výstupní hrdlo je pevně spojeno s nástavbou kondenzátoru, který je uložen na pružinách.

Nízkotlaký rotor je celokovaný s nakovanými spojkami a opatřený lopatkováním rovnotlakého typu. Průtočnou část tvoří 5 rovnotlakých stupňů v každém proudu. Oběžné lopatky jsou upevněny na rotor vidličkovými nožkami, u předposledního a posledního stupně stromečkovou nožkou. Délka poslední lopatky činí 1 085 mm. U rozváděcích i oběžných lopatek předposledního a posledního stupně jsou aplikovány transsonické profily nové generace.

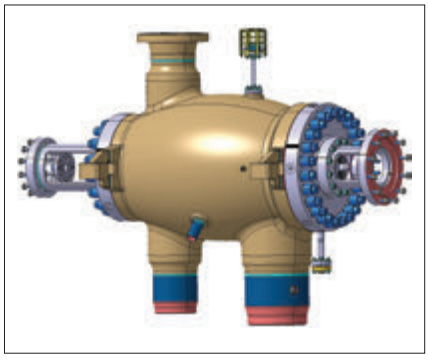
Každý rotor (VT/ST i NT) je uložen ve dvou radiálních ložiskách horizontálně dělené konstrukce. Ložiska jsou segmentového typu s naklápěcími segmenty. Axiální ložisko je umístěno v ložiskovém stojanu mezi VT/ST a NT dílem. Je oboustranné, což umožňuje zachycování axiálních sil v obou



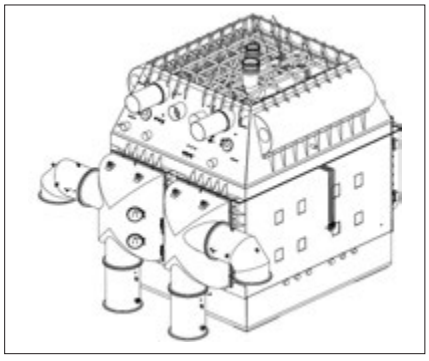
Dvouproudý NT díl



Vysokotlaké ventily



Středotlaký ventil



Kondenzátor

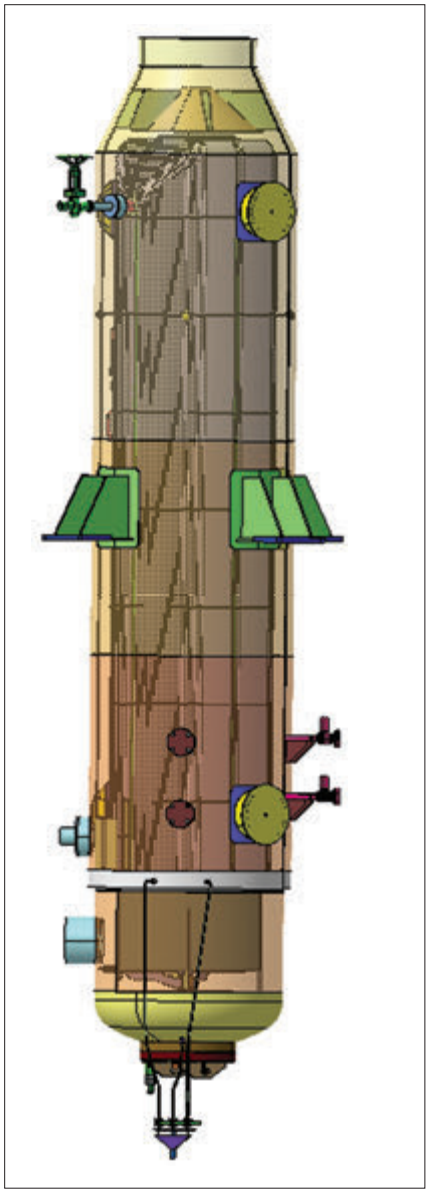
směrech, segmentové konstrukce s naklápěcími segmenty.

Po obou stranách VT tělesa kombinovaného VT/ST dílu turbíny jsou umístěny dvě komory VT ventilů, každá z těchto komor obsahuje jeden rychlozávěrný a dva regulační ventily. VT RZV slouží k rychlému uzavření vstupu páry do VT dílu turbíny v případě nutnosti odstavení TG a VT RV regulují množství admisní páry vstupující do VT dílu turbíny.

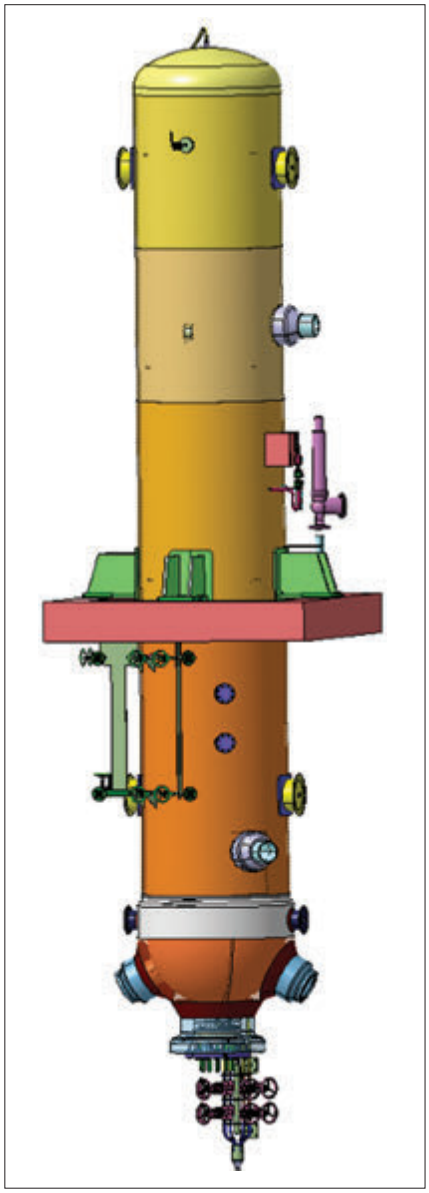
Na vstupu přihřáté páry do ST tělesa turbíny jsou instalovány ST rychlozávěrné ventily a regulační (záchytné) ventily. Každý rychlozávěrný ventil je zabudován ve společné komoře se záchytným ventilem. Tyto komory jsou umístěny po levé a pravé straně ST dílu turbíny. Ve ventilové komoře je tedy jeden RZ ventil a jeden záchytný ventil.

Protáčení rotorů je zajištěno natáčecím zařízením, poháněným elektromotorem s rozběhem pomocí frekvenčního měniče. Soustrojí je vybavené jedním hlavním kondenzátorem pod NT dílem turbíny. Kondenzátor je tvořen pláštěm z ocelového plechu, který vymezuje parní prostor a je spojen s vodními komorami. Kondenzátor je spojen s turbínou pevně a z důvodu dilatace je uložen na pružných podporách.

Teplosměnná plocha 11 690 m^2 je vytvořena nerezovými trubkami oboustranně zaválcovanými a zavařenými do trubkovnic, přes které proudí chladící voda. Na straně vstupu i výstupu vody je trubkovnice pevně spojena s pláštěm, dilatace trubkovnic je umožněna na straně vratné komory. Kondenzátor je dvoutahový, dělený na vodní straně, což umožňuje v případě nutnosti činnost jedné



NT regenerační ohřívák



VT regenerační ohřívák

poloviny kondenzátoru při sníženém výkonu turbíny. Proti nadměrnému stoupnutí tlaku je kondenzátor chráněn pojistnými membránami umístěnými na NT dílu turbíny. Ve spodní části hlavního kondenzátoru je umístěn sběrač, ve kterém se shromažďuje kondenzát. Odtud je kondenzát přečerpáván kondenzátními čerpadly 1° přes BÚK a následně kondenzátními čerpadly prvního stupně přes blokovou úpravnu kondenzátu (BÚK) a následně kondenzátními čerpadly druhého stupně do NT regenerace a dále do napájecí nádrže.

Účinnost kondenzátoru silně závisí na čistotě povrchu teplosměnných ploch. Tyto jsou znečišťovány především usazováním kalů na vnitřním povrchu kondenzátorových trubek na straně chladící vody. Bezpečným řešením jak zabránit znečistění chladících trubek na straně chladící vody a s tím spojených problémů, je instalace čistícího zařízení chladících trubek do okruhu chladící vody.

Ohřívání hlavního kondenzátu, který je kondenzátními čerpadly přečerpáván ze sběrače hlavního kondenzátoru turbíny, je prováděno v pěti nízkotlakých ohřívácích párou odebíranou z neregulovaných odběrů turbíny, dále přímo v odplyňovači napájecí nádrže a ve dvou stupních VT regeneračních ohřívák, doplněných o srážeč přehřátí topné páry.

Pro ostře sledovaný projekt Prunéřov byla zvolena moderní dvoutělesová konstrukce turbín Škoda 3× 250 MW, která je úspěšně používána u zahraničních projektů s turbínami obdobného výkonu. Rovněž byly aplikovány všechny moderní konstrukční prvky – např. 3D lopatkování, nová konstrukce rotorových ucpávek, která umožňuje při malých radiálních vůlích vysokou spolehlivost a bezpečnost provozu. Konstrukce turbíny i ostatních zařízení Škoda byla zvolena tak, aby splnila náročné požadavky zákazníka na strojovnu parní turbíny respektive každý jednotlivý rekonstruovaný blok elektrárny.

Ing. Jiří Fiala,
ředitel Technického úseku,
Doosan Škoda Power

Modern design of Doosan Škoda Power for Prunéřov Power Plant

Prunéřov II Power Plant operated five units at a unit output of 210 MW with turbines manufactured by the Polish producer ABB Zamech (manufactured under the licence of Russian turbine producer of LMZ of today's St. Petersburg), commissioned in 1981 to 1982. Modernisation work took place during their operation with the replacement of the structurally obsolete low-pressurised (LP) parts (with the so-called Bauman stage) and modification of hydraulic regulation. ŠKODA carried out both these modernisation projects. The power plant owner, ČEZ, decided to completely replace three units. The replacement applies to the boilers – the new boilers supply steam at higher parameters – in front of the 17.7 MPa turbine, 573 °C reheated to 578.5 °C – with increased unit output from the original 210 MW to 250 MW. For this project Škoda offered a two-cylinder turbine structure with a combined HP/IP part in one cylinder and a classic two-current LP part. This modern design required a new turbine base because the original ABB Zamech turbine was three-cylinder.

Современные технические решения компании Doosan Škoda Power для электростанции Прунержов

Электростанция Прунержов II эксплуатировала пять блоков, каждый мощностью 210 MW с турбинами польского производителя ABB Zamech (сделанными по лицензии российского производителя турбин LMZ из сегодняшнего Санкт-Петербурга), которые были введены в эксплуатацию в 1981 - 1982 годах. Во время их эксплуатации была проведена модернизация при помощи замены конструкционно устаревших частей низкого давления (с т.н. Баумановым градусом) и корректировки гидравлической регуляции. Обе эти модернизации проводила Škoda. Владелец эдектростанции - компания ČEZ, решила провести комплексную замену трёх блоков. Замена касается как котлов - новые котлы поставляют пар более высоких параметров - перед турбиной 17,7 MPa, 573 °C с перегревом на 578,5 °C - с повышенной электрической мощностью блока с первоначальных 210 MW на 250 MW. Škoda для этого проекта предложила двухкорпусное устройство турбины с комбинированным VT/ST сооружением в одном корпусе и классическим с двумя потоками NT сооружением. Это современное решение требовало новую основу турбины - первоначальная турбина ABB Zamech была трёхкорпусной.