

Výstavba zařízení pro snížení emisí NOx v Teplárně Trmice

Autor: Ing. René Karásek, Ph.D., Provyko s.r.o.

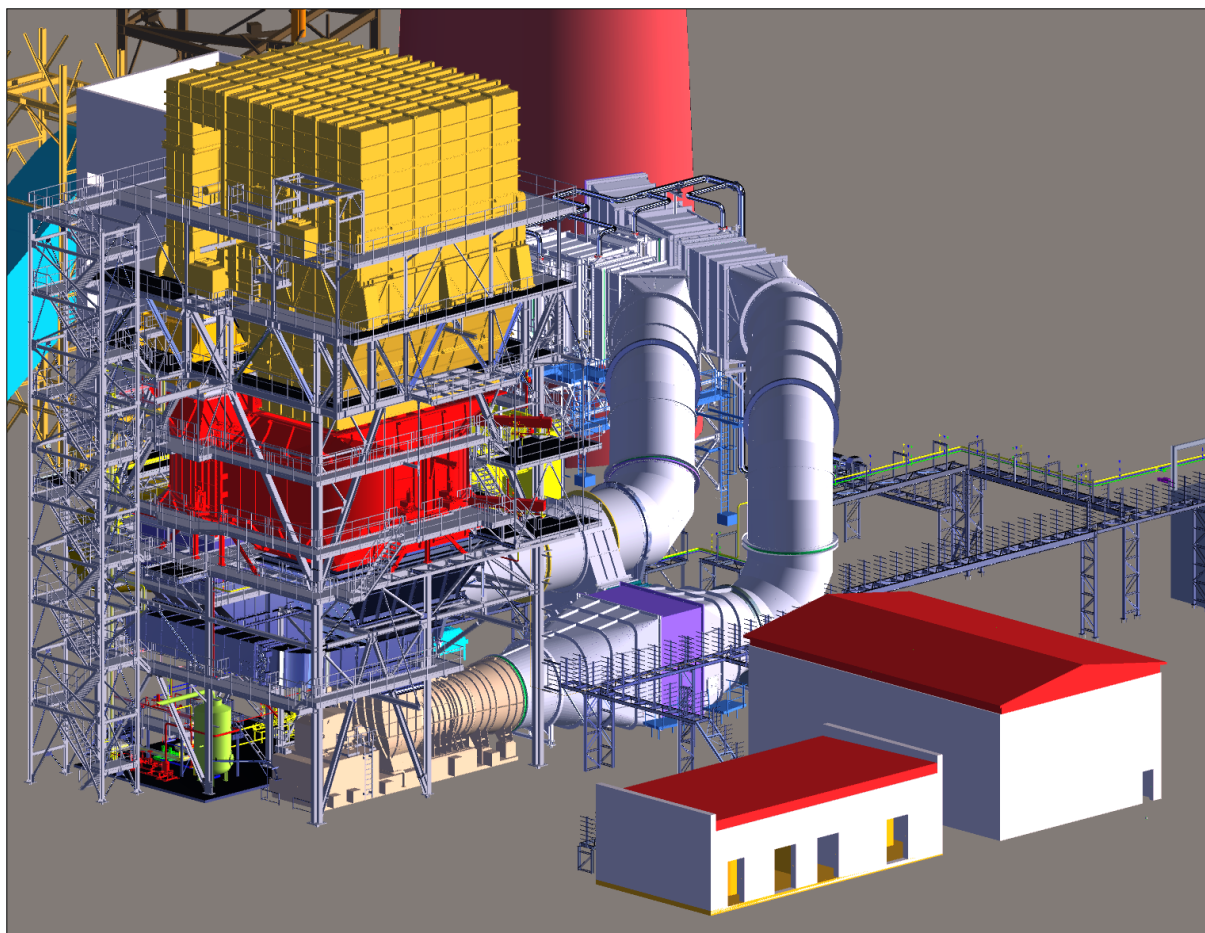
Anotace: Příspěvek pojednává o projektu výstavby technologie pro snížení koncentrace NOx ve spalínách v Teplárně Trmice.

Generálním zhotovitelem projektu byla firma Metrostav, a.s. Společnost Provyko s.r.o. byla zhotovitelem dokumentace jednotky DeNOx, dodavatelem vybraných zařízení a rovněž se podílela na uvádění zařízení do provozu.

Klíčová slova: Energetika, Provyko, snížení NOx, DeNOx, SCR, Tail End, Teplárna Trmice

1. Úvod

Předmětem díla byla realizace nové technologie pro snížení koncentrace emisí NOx ve spalínách. Součástí díla bylo zpracování projektové dokumentace, zajištění hmotných dodávek, montáže, uvedení do provozu, provedení zkoušek, revizí, garančních měření, dále provedení nutných souvisejících úprav na stávajícím zařízení, včetně částí elektro, SKŘ a stavební, zajištění nezbytných přeložek stávajících kabelů a potrubí, provizorií a zajištění demontáží stávajícího zařízení, které nebude po dokončení díla určeno k provozu.



Obr. 1 Zařízení pro snížení emisí NOx – 3D model

2. Požadavky na systémové řešení díla

Hlavní technologie je navržena k denitrifikaci přiváděných spalín z DeSOx linky o množství 240 000–800 000 Nm³/h a vstupní koncentraci emisí NO_x max. 550 mg/Rm³. Jednotka denitrifikace je z pohledu technologie umístěná za stávajícím zařízením pro odsíření spalín. Zhotovitel v rámci realizace díla respektoval, že výstavba zařízení probíhala za trvalého provozu všech stávajících technologií v TTR, včetně zachování provozu minimálně jedné odsiřovací linky během realizace. Základní milníky realizace jsou uvedeny níže:

11/2019	Podpis SoD
11/2019	Předání odsouhlasené dokumentace – Basic Design
03/2020	Předání odsouhlasené dokumentace – Detail Design, Montážní dokumentace
01-02/2021	Tlakové a jiné zkoušky potrubí a nádob
03/2021	Profuk parovodu
02/2022	Komplexní vyzkoušení
02/2022	Garanční měření
03/2022	PAC

Technologie katalytické denitrifikace odsířených spalín, tj. regenerativní ohřívák spalín, parní výměník a vlastní reaktor tvoří kompaktní celek ve společné ocelové konstrukci, který je navržen ve venkovním provedení. Nádrže a čerpadla reagentu, elektrické rozváděče a frekvenční měniče jsou instalovány do stavebních objektů, které jsou situovány v blízkosti jednotky DeNO_x (viz obr. 1 a 9).

Životnost předmětu díla je požadována 15 let. Hlavní garantované parametry jsou uvedeny v tab. č. 1.

Tab. č. 1 Hlavní garantované parametry

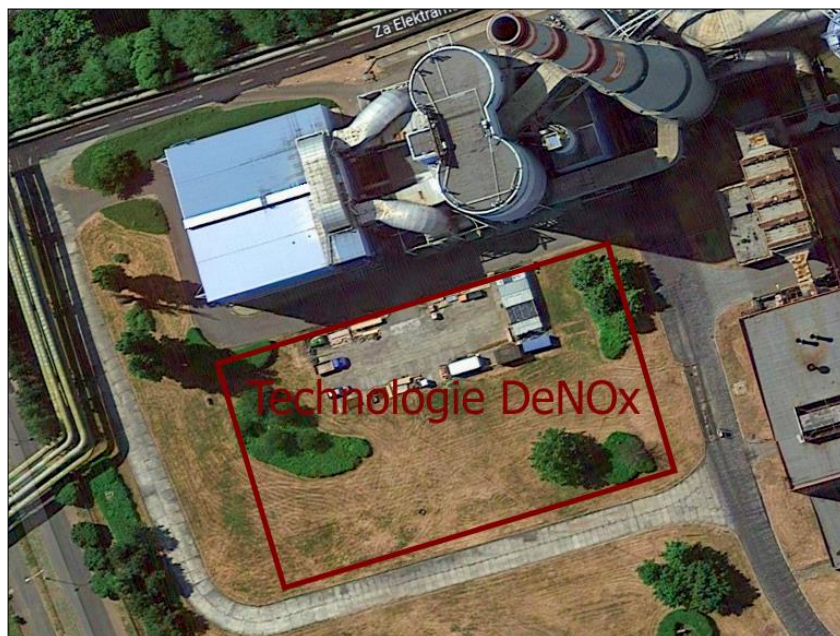
Parametr	Jednotka	Hodnota garantovaná zhotovitelem
Koncentrace NO _x	mg/Rm ³	max. 175
Koncentrace NH ₃	mg/Rm ³	max. 3
Teplota výstupních spalín	°C	min. 82

Mimo hlavní garantované parametry byly dále garantovány spotřeby hmot, energií a disponibilita. Maximální teplota kondenzátu, který bude vrácen do stávající technologie, je 45 °C.

3. Návrh technického řešení technologie DeNOx

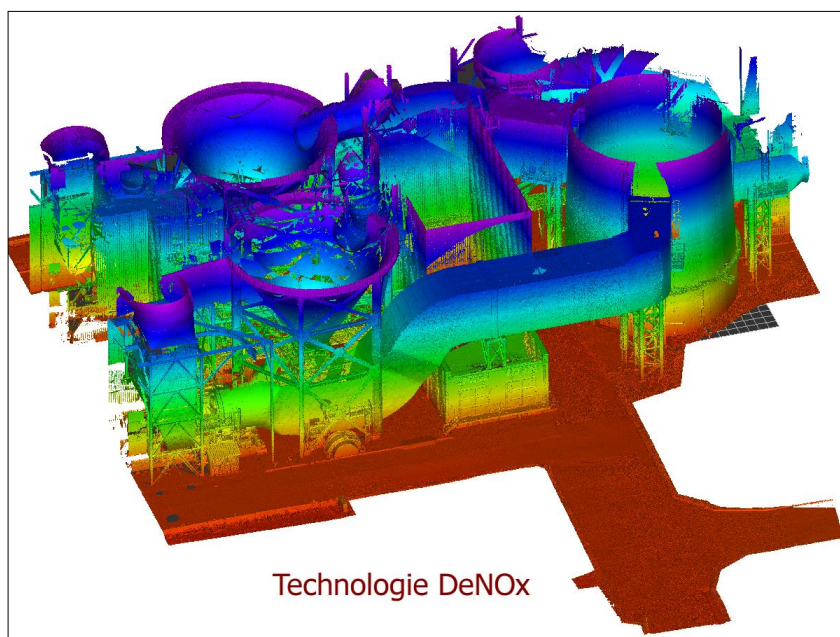
3.1 Úvod

Pro jednotku SCR byl určen prostor mezi stávajícím odsířením a komunikací poblíž kotelny K7, K8 – viz obr. č. 2.



Obr. 2 Prostor pro technologii DeNOx

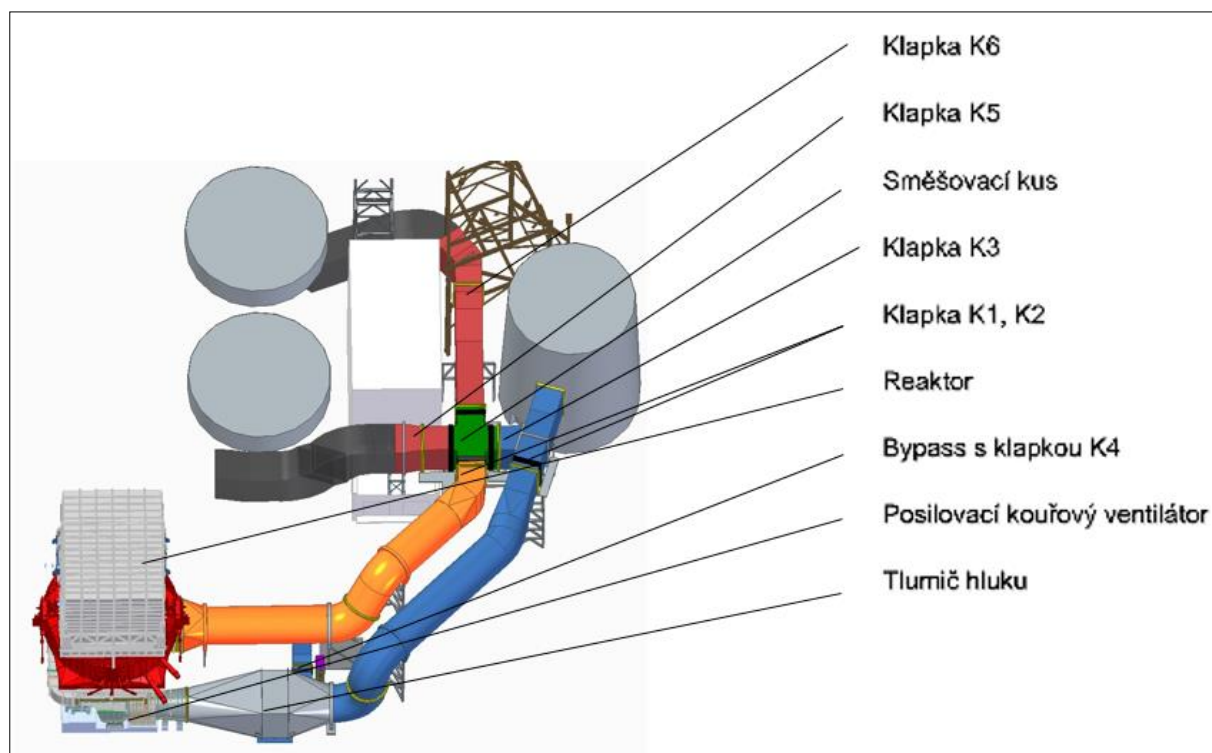
Pro rychlé zaměření skutečného stavu stávající technologie bylo využito laserového 3D skenování. Při rozměrech spalínových kanálů 4 x 5 m, které jsou vedeny ve výšce cca 14 m, by byla jakákoliv jiná alternativa složitější cestou. Mezikrok mezi naskenovaným skutečným stavem a 3D modelem je vidět na obr č. 3.



Obr. 3 Digitalizace stávající technologie

V rozsahu díla bylo i zaslepení vstupu odsířených spalin do komína z DeSOx linky 1 (realizace mimo rozsah Provyko). Bylo tedy nutné se zabývat vhodným návrhem trasy tak, aby umožňovala všechny provozní stavy definované objednatelem, včetně přímého vstupu nedenitrifikovaných spalin do komína. K optimálnímu návrhu bylo využito i CFD modelování.

Nový návrh spalínových kanálů s využitím pouze jednoho vstupu do komína a napojení na jednotku SCR je zobrazen na obr. č. 4.



Obr. 4 Návrh spalínových kanálů

3.2 Rozdělení technologie do hlavních provozních souborů

PS 201 – Jednotka SCR

DPS 201.1 – Reaktor

DPS 201.2 – Rotační ohřívák spalin (detail design a dodávka mimo Provyko)

DPS 201.3 – Příprava reagentu

PS 202 – Čpavkové hospodářství

DPS 202.1 – Stáčení reagentu

DPS 202.2 – Skladování a dávkování reagentu

PS 203 – Spalinový trakt

DPS 203.1 – Spalinovody

DPS 203.2 – Posilovací ventilátor

PS 204 – Ohřev spalin VT parou

DPS 204.1 – Přívod páry

DPS 204.2 – Odvod kondenzátu

DPS 204.3 – Přívod zástřikové vody

DPS 204.4 – Redukční stanice

DPS 204.5 – Výměníky

3.3 Jednotka SCR

Jednotka DeNOx je navržena jako typ „Tail End“. Je vybudována mezi stávajícím odsířením a komínem. Technologie je navržena jako podtlaková. SCR jednotka je vybavena reaktorem, do kterého jsou instalovány katalytické moduly. Reaktor je navržen pro použití jedné vrstvy katalyzátoru a má přípravu pro budoucí instalaci dodatečné vrstvy. Jednotka je venkovního provedení, vybavená izolací s oplechováním.

Přístup obsluhy pro jednotlivé technologické části je zajištěn schodišťovou věží s výstupy na dané úrovni.

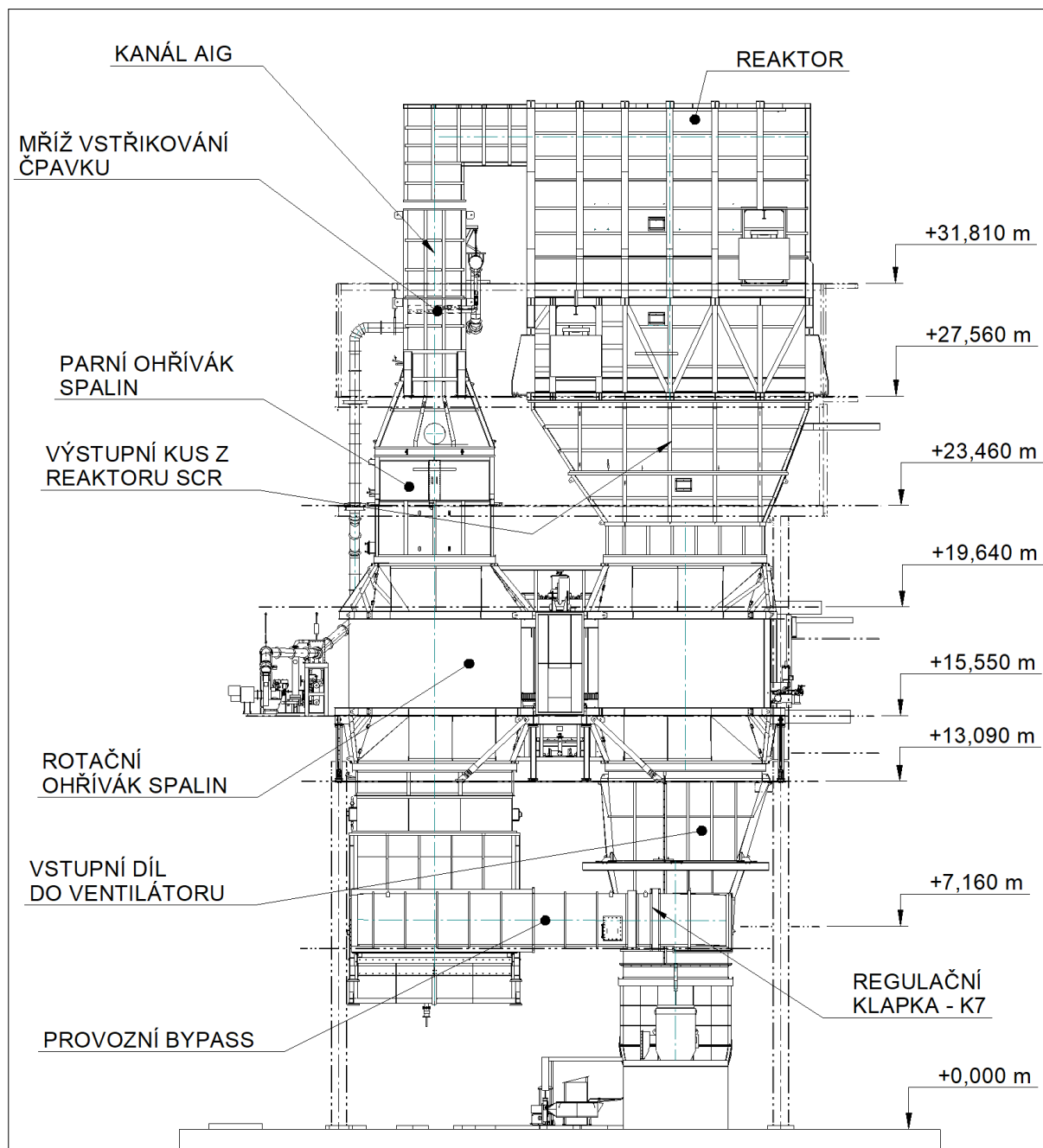
Do jednotky DeNOx přichází odsířené spaliny přes spalinový chladič kondenzátu a následně vstupují do rotačního spalinového ohříváku. Pro dosažení provozní teploty spalin je použit ohřev parním ohřívákem spalin (dále jen POS, PS 204). Takto ohřáté spaliny jsou vedeny do SCR reaktoru, kde jsou denitrifikovány, vrací se zpět do rotačního regeneračního ohříváku, dále jsou vedeny do posilovacího spalinového ventilátoru (DPS 203.2) a do stávajícího komína.

SCR systém byl navržen pro vstřikování čpavkové vody. Čpavková voda je přiváděna ze zásobních nádrží k jednotce SCR. Zde dochází k přípravě reagentu, který je následně zaveden do rozprašovací mříže umístěné ve vlastním reaktoru. Rozprašovací mříž zajišťuje dokonalou distribuci reagentu do spalin.

Pro denitrifikační proces je použita čpavková voda o koncentraci 24,9 % hmotnostních, odebíraná z čpavkového hospodářství (PS202) pomocí dávkovacího čerpadla (1+1). Reagent je veden k jednotce SCR, na které se nachází stojan pro dákování reagentu (na plošině +15,5 m).

Vlastní odpaření čpavkové vody probíhá v systému přípravy a odparu reagentu za pomoci ředícího vzduchu. Zdroj tepla pro odpar reagentu je kondenzát z parního ohřevu spalin. Současně je kondenzát taktéž použit jako zdroj tepla pro ohřev ředícího vzduchu. Následně je reagent přiveden k rozprašovací mříži (+31,81 m).

Projekční návrh jednotky SCR je vidět na obr. č. 5.



Obr. 5 Jednotka SCR

3.4 Čpavkové hospodářství

DPS 202.1 Stáčení reagentu

Stáčení reagentu dodávané čpavkové vody do nádrží je realizováno pomocí stáčecích čerpadel, která jsou umístěna na společném rámu. Při procesu stáčení je plynná směs z nádrží přečerpávána (recirkulována) zpět do cisterny. Stáčecí čerpadlo může být použito taktéž pro přečerpání čpavkové vody z jedné nádrže do druhé, případně zpět do autocisterny.

DPS 202.2 Skladování a dávkování reagentu

V rámci systému skladování reagentu jsou instalovány dvě jednoplášťové nádrže o objemu 100 m³ a průměru 3 400 mm zajišťující 14denní nepřetržitý provoz technologie při maximálním průtoku spalin. Pod nádržemi, stejně jako pod rámem stáčecích a dávkovacích čerpadel, jsou zhotoveny vodní sifony pro případ netěsností a zavedeny do havarijní jímky. Havarijní jímka je taktéž vybavena čerpadlem.

Pro dávkování čpavku z nádrží do systému SCR je systém vybaven dávkovacími čerpadly (1+1) umístěnými na společném rámu vedle skidu stáčecích čerpadel. Pomocí těchto čerpadel je možno také v případě potřeby přečerpat čpavkovou vodu z jedné nádrže do druhé.

Systém skladování je vybaven potřebnými bezpečnostními prvky včetně výstražné signalizace pro případ detekce úniku čpavku a dálkovými měřeními pro řádný provoz.



Obr. 6 Čpavkové hospodářství

3.5 Spalinový trakt

DPS 203.1 Spalinovody

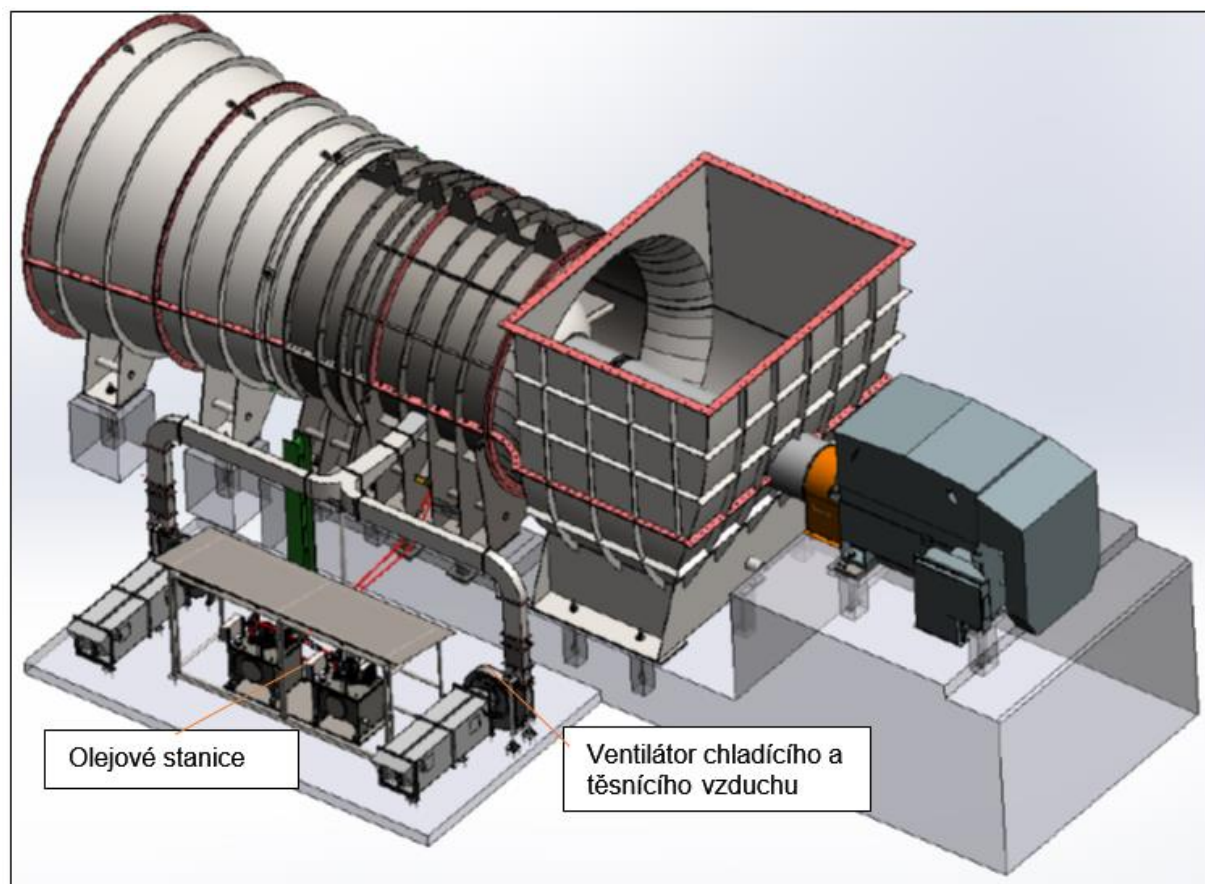
Spalinovody jsou ocelové, plynotěsně svařené, vyrobeny jsou po stěnách, resp. kruhových segmentech (montáž probíhala na staveništi). Stěny jsou vyztuženy profilovým materiálem v závislosti na návrhových parametrech jednotlivých částí spalinovodů. Některé části spalinových kanálů jsou vybaveny usměrňovacími lopatkovými mřížemi, zrovnoměrnovacími mřížemi, případně vnitřním zábradlím pro zamezení pádu do svažujících se částí potrubí.

Spalinové potrubí DeNOx se skládá z těchto částí:

- Spalinové kanály v rámci jednotky DeNOx,
- přívod spalin z linky DeSOx 1 a linky DeSOx 2 do distribučního kusu,
- vstupní potrubí do jednotky DeNOx,
- výstupní potrubí z jednotky DeNOx osazené tlumičem hluku,
- najížděcí bypass,
- bypass do komína,
- a provozní bypass.

DPS 203.2 Posilovací ventilátor

Axiální ventilátor je navržen v jednostupňovém provedení v horizontální poloze – viz obr. č. 7. Poháněcí elektromotor je umístěn před sací skříní a spojen s rotorem ventilátoru prostřednictvím spojovací hřídele a pružných spojek. Výkon ventilátoru je řízen změnou otáček elektromotoru pomocí frekvenčního měniče. Ventilátor i motor jsou umístěny na železobetonovém základu, který je uložen pružně. Součástí posilovacího ventilátoru jsou dvě čerpací olejové stanice chlazené vzduchem pro dodávku mazacího oleje do ložisek rotorové sestavy a senzorové vybavení pro monitorování provozu.



Obr. 7 Posilovací kouřový ventilátor

Montáž ventilátoru je zachycena na následující fotografii (obr. č. 8).



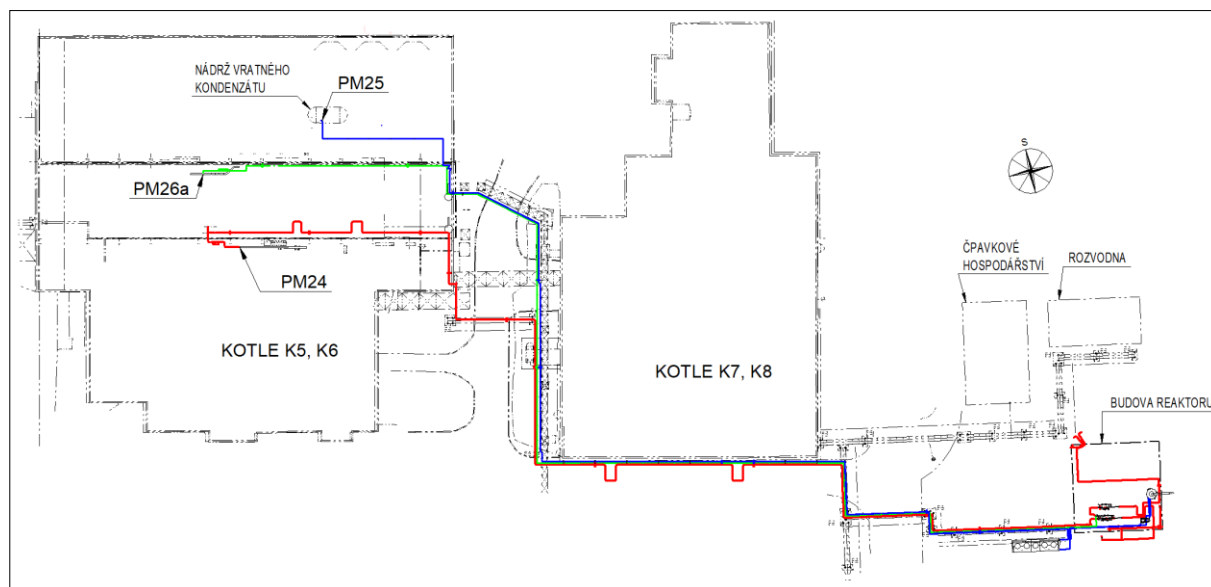
Obr. 8 Axiální ventilátor – montáž

3.6 Ohřev spalin VT parou

Tento provozní soubor týkající se ohřívání spalin na teplotu nutnou ke katalytické redukci NOx se dále člení na:

- DPS 204.1 Potrubí přívodu ostré páry od kotlů K5, K6 k redukčním a chladícím stanicím (RCHS).
- DPS 204.2 Potrubí kondenzátu od výstupu z POS po vstup do nádrže vratného kondenzátu.
- DPS 204.3 Potrubí zástřikové (napájecí) vody od kotlů K5, K6 k redukční a chladicí stanici.
- DPS 204.4 Redukční a chladicí stanice – zajišťují dva parametrické druhy páry. RCHS1 upravuje parametry páry pro kontinuální přívod páry do POS, RCHS2 upravuje parametry páry pro parní ofukovače rotačního ohříváku spalin (ofukování probíhá v pravidelných intervalech).
- DPS 204.5 Tepelné výměníky: Parní ohřívák spalin, chladič kondenzátu a vzduchový chladič kondenzátu.

Rozvod potrubí páry, vody a odvodu kondenzátu je vidět na obr. č. 9.



Obr. 9 Ohřev spalin VT parou

Potrubí parovodu DN 80 v délce cca 250 m je vedeno z kotleny K5, K6 až k redukčním a chladícím stanicím páry RCHS1 a RCHS2 u technologie DeNOx. Pro uložení potrubí byly vystavěny nové potrubní mosty, případně bylo potrubí vedeno podél stávajících budov. Součástí parních potrubí jsou odvaděče kondenzátu s příslušnými armaturami u potrubí topné a ofukovací páry včetně expandéru provozních kondenzátů.

Kondenzát za vzduchovým chladičem o teplotě max. 45 °C odchází potrubím DN 50 do budovy strojovny a v suterénu je potrubí připojeno do stávající nádrže vratného kondenzátu.

Část potrubí zástřikové vody a kondenzátu, která je vedena ve venkovním prostoru mimo vytápěné budovy, je opatřena topnými elektrickými kabely.

Parní ohřívák spalin

Parní ohřívák spalin je umístěn nad rotačním ohřívákem spalin ve vertikálním spalinovém kanálu. Rozměr příčného průřezu kanálu v místě výměníku je cca 12,2 m x 4,1 m. Výměník je tvořen svazkem žebrovaných trubek.

Primární účel výměníku je ohřátí spalin z teploty za rotačním ohřívákem vzduchu na teplotu vhodnou pro katalytickou reakci. V mezitrubkovém prostoru proudí spaliny (směrem nahoru). Topným médiem je mírně přehřátá pára. V trubkách svazku dochází postupně k její kondenzaci. Uvolněné latentní teplo je hlavním zdrojem ohřevu spalin. Z výstupu výměníku odchází vodní kondenzát. Hmotnost prázdného parního ohříváku spalin je cca 53 400 kg.

Na následující fotografii je zachyceno dokončování výroby POS (obr. č. 10).



Obr. 10 Výroba parního ohříváku spalin

Spalinový chladič kondenzátu

Spalinový chladič kondenzátu je umístěn na vstupu do jednotky DeNOx za ohybem spalinového kanálu ve vertikální části kanálu. Výměník je tvořen svazkem žebrovaných trubek.

Primární účel výměníku je vychlazení kondenzátu na co možná nejnižší teplotu. Hmotnost prázdného spalinového chladiče kondenzátu je cca 29 000 kg.

Spalinový chladič kondenzátu se skládá z 5 modulů. Moduly byly sestaveny v jeden celek na stavbě.

Vzduchový chladič kondenzátu

Vzduchový chladič (výrobce Cabero Wärmetauscher GmbH & Co. KG) je umístěn samostatně nad terénem +0 m, poblíž RCHS. Výměník je osazen pěti ventilátory poháněnými elektromotory. Primárním účelem výměníku je dochlazení kondenzátu z teploty v expandéru na teplotu požadovanou zákazníkem, tedy pod 45 °C.

4. Provozní režimy jednotky Tail End

Najetí jednotky

Pro správnou funkci systému Tail End je potřebné postupné nahřátí jednotky vzduchem v uzavřeném okruhu. Předpokladem jsou nahřáté potrubní trasy páry, připravena RCHS1, provoz regenerativního ohříváku spalin a posilovacího kouřového ventilátoru. Nahřívání uzavřenou cirkulací vzduchem prostřednictvím POS je ukončeno po dosažení žádané teploty vzduchu uvnitř jednotky. V tomto stavu je zařízení připraveno v tzv. režimu „záloha“.

Při splnění vstupních podmínek (koncentrace SO₂, TZL apod.) je možné dokončit nahřívání spalinami pomocí POS (otevření příslušných spalinových klapek) a připravit tak jednotku pro řádný provoz.

Po dosažení teploty vhodné pro denitrifikaci spalín a splnění všech podmínek je možné zahájení vstřikování reagentu.

Odstavení jednotky

V případě potřeby odstavení jednotky je možné aktivovat sekvenci chlazení spalínami a následně chlazení vzduchem až do teploty vhodné pro daný úkon (údržba zařízení apod.).

Změny provozních režimů jsou v plně automatické sekvenci.

5. Závěr

Při návrhu trasy spalínovodů bylo využito 3D laserové skenování, které poskytuje dobrou podporu v začátcích projektování a minimalizuje nutný čas strávený zaměřováním stávajícího zařízení na stavbě. Pro stěžejní technologické části jako jsou distribuční kus spalín a samotný reaktor SCR bylo využito CFD modelování. To umožnilo u reaktoru dosáhnout rovnoměrnějšího rozdělení proudového pole před vstupem do katalyzátoru (správným návrhem naváděcích lopatek, kanálů apod.). Pro snazší koordinaci a eliminování kolizních míst bylo v rámci celého projektu využito (dnes již standardně aplikované) navrhování jednotlivých technologických částí za pomoci 3D softwaru.

Celá technologie Tail End je venkovního provedení, což s přihlédnutím ke značným průřezům kanálů a požadavcích na dodržení teploty spalín pro denitrifikaci přineslo jistá specifika, např. mnohem vyšší nároky na izolaci celé jednotky.

Z pohledu montáže, omezený čas a prostor kolem DeNOx jednotky znamenal precizní načasování expedice subdodávek, předmontáž jednotlivých částí na staveništi a zdvihy až 90 t. Filozofii montáže Tail Endu bylo nezbytné pravidelně konzultovat a harmonizovat s montážní organizací již při tvorbě výkresové dokumentace a POM.

Zajímavostí bylo použití materiálu X10CrMoVNb91 (P91) pro parovodní potrubí.

I přes drobné problémy, které provázely realizaci projektu, bylo zařízení zdárně uvedeno do provozu a předáno v souladu s HMG, včetně úspěšně vykonaných garančních zkoušek.

Společnost Provyko s.r.o. byla v rámci České a Slovenské republiky prvním dodavatelem komplexního systému Tail End. Celkově se jedná již o čtvrtou úspěšně realizovanou instalaci systému SCR společnosti Provyko s.r.o.