

HLAVNÍ VÝROBNÍ BLOK V TEPELNÉ ELEKTRÁRNĚ LEDVICE – BETONOVÉ KONSTRUKCE KOTELNY ■ MAIN PRODUCTION BLOCK IN THERMAL POWER STATION LEDVICE – CONCRETE STRUCTURES OF BOILER HOUSE



Miloslav Smutek

Tepelná elektrárna Ledvice byla uvedena do provozu v letech 1966 až 1969. Má čtyři výrobní bloky. První je již odstaven a zdemolován. Bloky 2 a 3 budou odstaveny se spuštěním nového zdroje. Blok 4 byl před deseti lety vybaven kotlem s fluidním spalováním a zůstane v provozu společně s novým blokem o výkonu 660 MWe. ■ The thermal power station Ledvice was put into operation in the years 1966-1969. There are four production blocks. The first one was yet detached and demolished. Blocks 2 and 3 will be detached at the moment of start of a new source. Block 4 was refurbished ten years ago with a fluidized bed boiler and it remains in service together with a new block with capacity 660 MWe.

Dominantní součástí nové kotelny jsou pochopitelně dodávky technologie. V tomto případě se jedná o 147 m vysoký průtlačný práškový kotel věžového typu, jehož součástí je i osm ventilátorových mlýnů na uhelný mou s kapacitou 72 t/h. Tlak napájecí vody je 280 barů, výkon 460 kg páry/sec. Teplota ostré páry je 600 °C. Celková hrubá účinnost systému je 47 %. Životnost zařízení je čtyřicet let a mj. má přinést snížení provozních nákladů na výrobu elektrické energie a snížení produkce CO₂ a NO_x.

Kotel je nesen vlastní ocelovou konstrukcí, na které je z důvodu tepelné dilatace zavěšen. Ocelová konstrukce je tvořena prostorovým rámem se čtyřmi stojkami v rozích.

Veškeré ocelové konstrukce kotelny a veškeré technologické vybavení je dodávkou firmy Alstom (SRN), projekční práce zajišťovala pobočka Stuttgart.

KONCEPCE BETONOVÝCH NOSNÝCH KONSTRUKCÍ

Kotelna

Kotelna má půdorysné rozměry cca 80 x 80 m. Betonové konstrukce, byť poměrně masivní, tvoří jen malou část celé kotelny. Jedná se o suterén pod vlastním kotlem včetně základové desky a dvě obslužné věže půdorysných rozměrů 13 x 13,5 m. Jejich výška je 143 m a dělá z nich nejvyšší stavbu v ČR.

Monolitický suterén pod kotlem má základovou desku

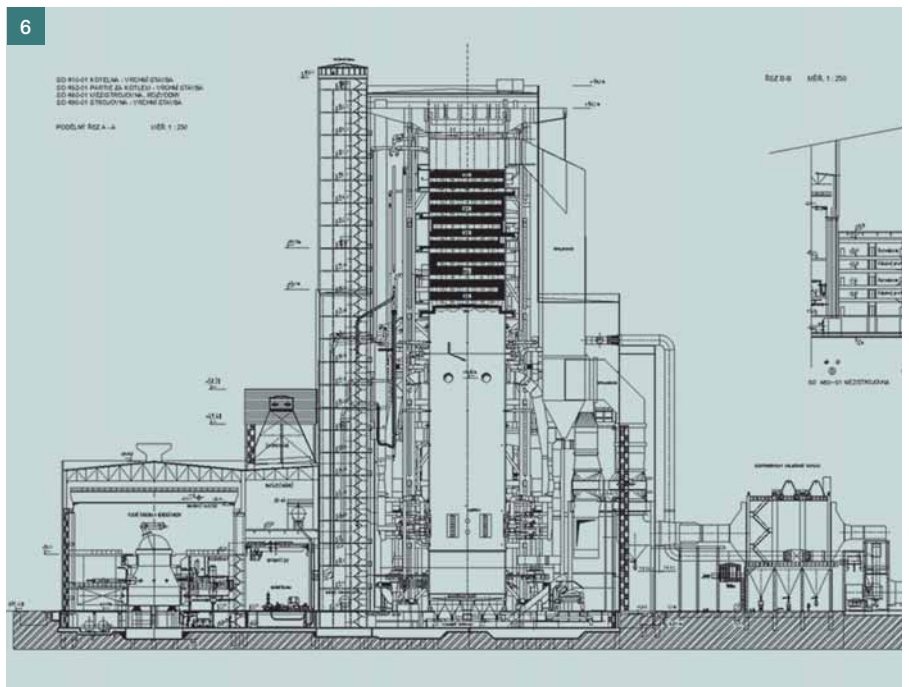
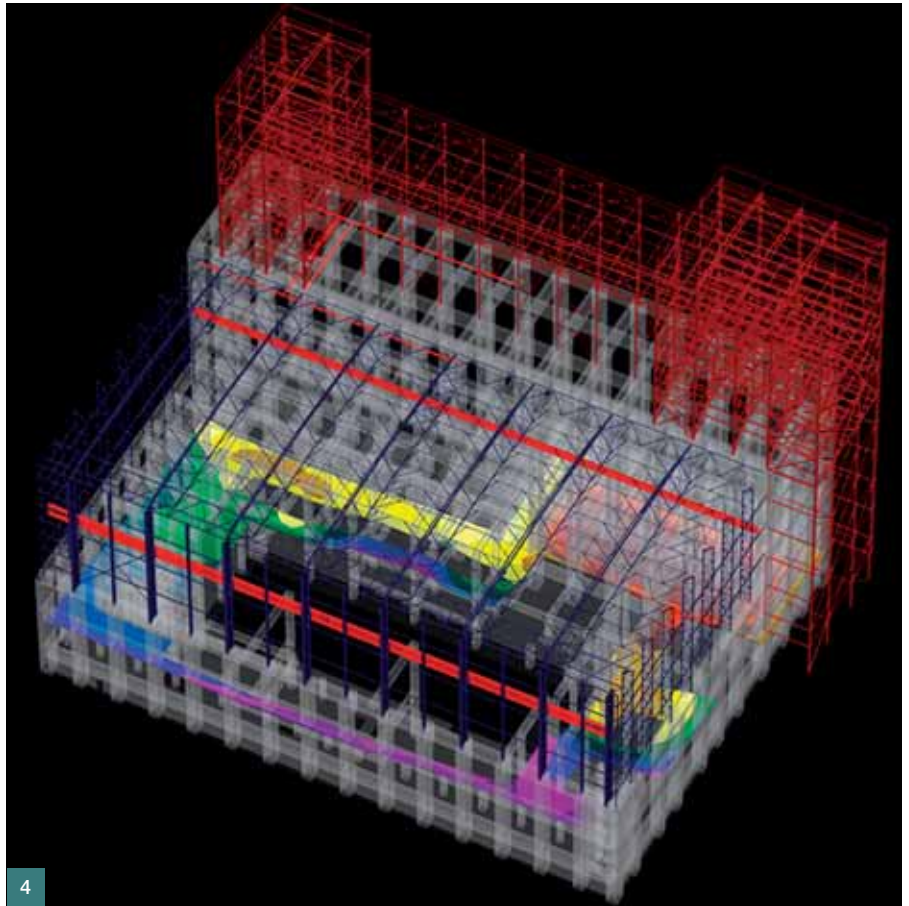
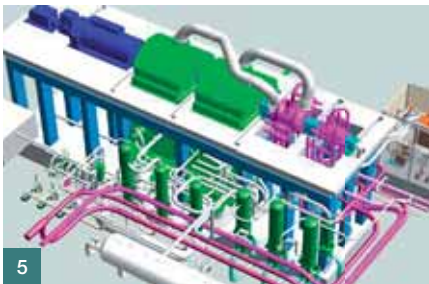
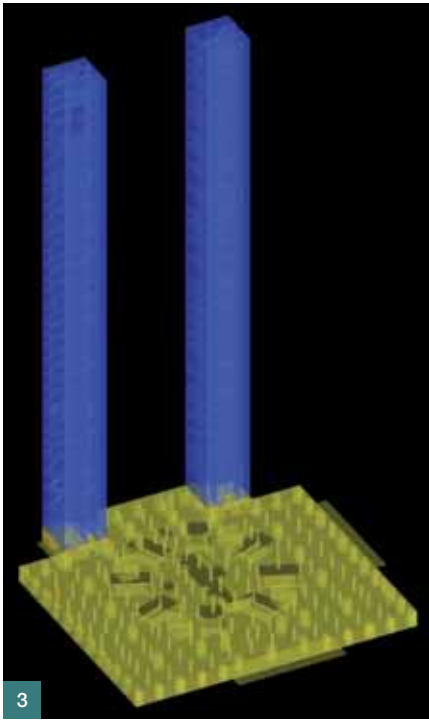
tloušťky 1,5 m, která je pod hlavními sloupy kotle zesílena na 2,5 m. Deska je podpírána velkopřůměrovými vrtanými pilotami celkové délky několik kilometrů. Horní líc desky je na kótě -4,5 m. Obvod tvoří monolitické stěny tloušťky 0,4 m. Stropní deska tloušťky 0,8 m je podpírána obvodovými stěnami a hustým rastrem sloupů. Nejmasivnější z nich, pod rámem kotle, mají průřez 5 x 5 m, „běžné“ sloupy 2 x 2 m. Na základové desce spočívá celá řada technologických základů. Nejdůležitějšími jsou základy osmi válcových mlýnů uhlí osazených prostřednictvím pružinových izolátorů.

Celková kubatura uložených betonů je cca 10 500 m³ v základové desce, 2 000 m³ ve vertikálních konstrukcích suterénu a přes 4 100 m³ ve stropní desce. Betony byly vesměs třídy C25/30-XA2 ve styku se zemí, C30/37 a C35/45 ve sloupech a C35/45-XC1 ve stropní desce. Výztuž BSt 500 byla válcována v Turecku, certifikována a ohýbána v SRN. Dodavatelem byla společnost Metrostav, divize 8.

Obslužné věže, zajišťující vertikální pohyb obsluhy, přístupy na technologické plošiny kotle, rozvody médií, požární vody atd., mají půdorysný rozměr 13,5 x 13 m, obvodové stěny mají tloušťku 0,4 a 0,5 m, vnitřní 0,25 m a schodišťové stěny 0,3 m. Tloušťky stropů jsou 0,25 m, schodiště jsou betonová prefabrikovaná, ramena byla ukládána na ozuby.

Celková kubatura uložených betonů většinou třídy C30/37-XC2 byla cca 10 000 m³ a bylo zabudováno přes 2 000 t výztuže BSt 500.

Betonáž i železářské práce probíhaly kontinuálně. Bednění bylo posuvné, šplhající. Betonovaly se najednou všechny stěny obou věží. Rychlost posunu plošin byla 1,9 až 3,1 m za den, celkový čas potřebný k vybetonování obou věží byl padesát sedm dnů. Obě plošiny byly spojeny spojovacím mostem, stavební výtah pro dopravu osob a drobného materiálu byl přikotven k jedné věži. Práce prováděla společnost Omega Teplotchna ve spolupráci s rakouskou firmou Gleitbau Salzburg v nepřetržitém provozu. Při výstavbě byly používány dva jeřáby Liebherr – šplhající, průběžně kotvené do stěn věží. Betonová směs byla čerpána dvěma potrubími, která byla na plošině ukončena rozdělovačem distribuujícím směs podle potřeby do dvou betonářských výložníků.



Obr. 1 Elektrárna Ledvice před zahájením výstavby NVB ■ Fig. 1 Ledvice power plant before commencement construction of the NPB

Obr. 2 Vizualizace elektrárny s novým výrobním blokem ■ Fig. 2 Visual representation of the power plant with a New Production Block

Obr. 3 3D „skleněný“ model betonových konstrukcí kotelny ■ Fig. 3 3D “glass” model of concrete structures of the Boiler house

Obr. 4 3D „skleněný“ model betonových a ocelových konstrukcí strojovny ■ Fig. 4 3D “glass” model of concrete structures of the Gallery and Generator room

Obr. 5 Vizualizace turbostolice s osazenou technologií ■ Fig. 5 Visual representation of the Bench for turbine generator with assembled technology

Obr. 6 Příčný řez strojovnou, mezistrojovnou a kotelnou s technologiemi ■ Fig. 6 Cross section of the Generator room, Gallery and Boiler house

Strojovna a mezistrojovna

Na kotelnu dispozičně i technologicky navazují objekty strojovny a mezistrojovny. Jedná se o masivní monolitické skelety nad půdorysem 65 x 90 m výšky místy až 40 m s jedním suterénem.

Založení je obdobné jako u kotelny, vrtanými pilotami podpíraná prolamovaná základová deska tloušťky 1,5 až 3 m. Prakticky všechny betonové konstrukce jsou monolitické s výjimkou filigránových stropů v nejvyšších úrovních. Strojovna i mezistrojovna jsou zakryty ocelovou konstrukcí –

prostorovými příhradovými polorámy, které byly v tomto případě stavební dodávkou. Hrubou stavbu zajišťovaly firmy Metrostav a Hochtief.

Třídy betonu a betonařské výztuže byly prakticky stejné jako v kotelně a celkem bylo uloženo přes 20 000 m³ betonu a přes 3 000 t výztuže.

Technologicky je strojovna osazena čtyřtělesovou kondenzační parní turbínou MDT 70, vodíkem chlazeným generátorem a rotačním budičem o celkovém výkonu 660 MWe. Stroje jsou uloženy na od ostatní konstrukce oddílatova-



7



8



9

Obr. 7 Část pilotových základů kotelny ■ Fig. 7 Part of piles foundations of the boiler house

Obr. 8 Rozestavěné objekty hlavního výrobního bloku ■ Fig. 8 Main production block objects in construction

Obr. 9 Suterén kotelny ■ Fig. 9 Basement of the boiler house

Obr. 10 Strojovna ■ Fig. 10 Generator room

Obr. 11 Šplhací bednění, obslužné jeřáby a výložníky čerpadel betonu ■ Fig. 11 Vertical-slip form, utility cranes, outriggers of concrete pumps

Obr. 12 Armokoš budoucího betonového sloupu jako provizorní podpora ocelového zastřešení strojovny ■ Fig. 12 Reinforcement of future column as temporary support of steel roofing of generator room



10



11

né turbostolici a jsou odpruženy pružinovými ložisky Gerb s viskózními tlumiči. Pro zajímavost – jednotlivá ložiska jsou vysoká přes 2 m.

Konstrukce strojovny jsou osazeny i dvěma mostovými jeřáby o nosnosti 50 a 120 t.

Potrubí chladicí vody

Součástí Hlavního výrobního bloku je i obetonávka potrubí chladicí vody. Jedná se o dvě potrubí průměru 3 m, kterými je vedena chladicí voda ze strojovny do chladicích věží a zpět. Obetonávka chrání potrubí před mechanickým poškozením a během výstavby umožňuje pojezd těžkých montážních jeřábů nad potrubím.

STATICKÉ A DYNAMICKÉ VÝPOČTY

Vstupní údaje

Věškeré výpočty byly prováděny podle norem ČSN EN.

Převážnou část zatížení tvořily technologie. Zatížení klimatická byla trojí: větrem, teplotou včetně nerovnoměrného oslunění a seismická.

Vítr byl uvažován podle ČSN EN 1991-1-4 se základní rychlostí větru 25 m/s. V předstihu byla zpracována podrobná větrná studie, jejíž výsledky byly příznivější než normové, do výpočtu byly na přání investora uvažovány hodnoty konzervativnější, tedy normové.

Oblast staveniště se nachází v seismicky činné oblasti. Při stanovení výchozích parametrů pro seismické zatížení se postupovalo podle metodiky EN ČSN 1998 – 1, výchozí parametry byly převzaty z expertního posudku:

- návrhové zrychlení podloží $a_g = 0,06$ g (včetně součinitele významu $\gamma = 1,4$)
- typ základové půdy B
- typ spektra pružné odezvy 1

Konstrukce byla uvažována jako stěnový systém se střední duktilitou a v analýze konstrukce prováděné modální analýzou pomocí spektra odezvy bylo uvažováno návrhové spektrum se součinitelem duktility $q = 3$ pro vodorovný směr a $q = 1,5$ pro svislý směr. Tomuto přístupu ke konstrukci odpovídají i konstrukční opatření vyztužení prvků.

Zatížení teplotou bylo stanoveno dle ČSN EN 1991-1-5 – Zatížení konstrukcí – část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou – s uvážením těchto základních vstupních a výstupních údajů:

- výchozí teplota je uvažována $T_0 = 10$ °C
- minimální teplota vzduchu ve stínu $T_{\min} = -34$ °C



12

- maximální teplota vzduchu ve stínu $T_{\max} = 40$ °C
- maximální teplota vzduchu na S a V straně $T_{\max} = 42$ °C
- maximální teplota vzduchu na J a Z straně $T_{\max} = 70$ °C
- pro montážní stav je uvažována teplota vnitřního prostředí $T_{\text{in}} = -34$ °C (v zimě) a $T_{\text{in}} = 40$ °C (v létě)
- při výpočtu teplotních spádů jsou uvažovány tyto hodnoty tepelných odporů $R_{\text{in}} = 0,135$ m²K/W, $R_{\text{out}} = 0,04$ m²K/W a součinitel tepelné vodivosti betonu $\lambda_1 = 1,71$ W/(mK). Dimenzování betonových konstrukcí bylo prováděno podle ČSN EN 1992-1-1.

Výpočty

Nejprve byly provedeny standardní statické výpočty metodou konečných prvků programem RENEX3D (stejně řešiče jako IDA-NEXIS, ESA a Software Dlubal v prostředí AutoCAD). Byly řešeny jak celkové modely, tak dílčí. Běžné konstrukce byly modelovány skořepinami, masivní sloupy v suterénech pomocí „bricků“.

Pro zatížení seismicitou a teplotou se osvědčily optimalizační prutové modely, kdy je celý půdorysný průřez věže modelován pruty s odpovídajícími průřezovými i materiálově – fyzikálními charakteristikami. Prutových modelů bylo dále využito při výpočtech dotvarování, účinků II. řádu, postupu výstavby i při stabilitním výpočtu.

Kromě těchto „standardních“ výpočtů byly provedeny výpočty dynamické na základě výstupů optimalizačních výpočtů, které se podrobně zabývaly vlivem seismické odezvy konstrukce, výpočty uvažující vlivy imperfekcí věží a řada výpočtů modelujících postup výstavby jak vlastních věží, tak i montáže ocelové konstrukce kotle, protože celý objekt kotelny je jednotně založen.



13



14



15



16

Seismické výpočty strojovny a mezistrojovny probíhaly ve třech fázích. V první byla modelována pouze železobetonová konstrukce a ocelová konstrukce a technologie byly uvažovány svými reakcemi. Ve druhém kroku byly domodelovány i ocelové konstrukce podle výrobní dokumentace a ve třetím, připravovaném, kroku budou domodelovány i technologické celky, plošiny, potrubí atd.

ZÁVĚR

Betonářské práce byly ukončeny prakticky před rokem. V současné době probíhá montáž technologie. Nový výrobní blok by měl být uveden do provozu v roce 2012.

Fotografie: Jiří Junek, Metrostav, a. s., a Recoc, s. r. o.

Ing. Miloslav Smutek, Ph.D.
 Recoc, s. r. o.
 Seydlerova 2451/8, 158 00 Praha 518
 tel.: 251 624 661
 e-mail: miloslav.smutek@recoc.cz
 www.recoc.cz



Obr. 13 Věže ze strojovny ■ Fig. 15 Towers view from generator room

Obr. 14 Dokončený betonový skelet strojovny ■ Fig. 17 Finished concrete structure in generator room

Obr. 15 Technologické plošiny ve strojovně ■ Fig. 19 Technological platforms in generator room

Obr. 16 Chladící věž ■ Fig. 20 Cooling towers