

NOVOSTAVBY CHLADICÍCH VĚŽÍ S PŘIROZENÝM TAHEM V ELEKTRÁRNĚ LEDVICE A ELEKTRÁRNĚ POČERADY

Lubomír Šípek

1 Úvod

Železobetonové chladicí věže tvaru rotačního hyperboloidu se na území bývalého Československa staví od poloviny 50. let minulého století. V současnosti je na území Česka podle dostupných zdrojů postaveno 68 věží tohoto typu. Největší množství věží bylo postaveno v 70. a 80. letech. V letech 1989 až 2008 největší investor v této oblasti - firma ČEZ - výstavbu nových věží, kromě dostavby věží v Temelíně v r. 1993, zastavil a soustředil se na rekonstrukci a prodloužení životnosti stávajících věží. Od roku 2009 ČEZ zahájil výstavbu dvou nových věží, v Elektrárně Ledvice a v Elektrárně Počeradý. Tyto věže se odlišují po konstrukční stránce od dříve prováděných věží minimálně ve dvou aspektech:

- předpokládanou větší trvanlivostí a delší životností, protože byly navrženy podle požadavků soustavy norem Eurokódů na dobu životnosti 50 let
- stojky podporující plášť věže, jsou v pohledu na věž svislé na rozdíl od dříve prováděných šikmých stojek.

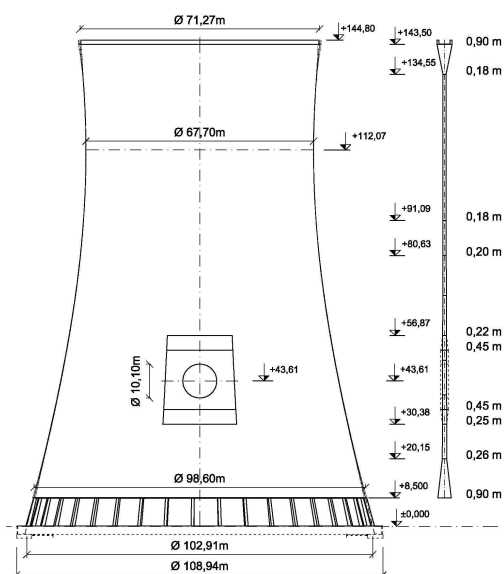
2 Chladicí věž v Elektrárně Ledvice

2.1 Popis konstrukce

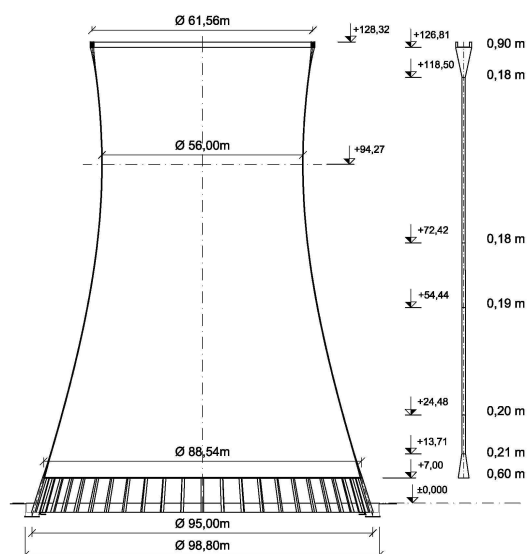
Plášť věže tvoří monolitická železobetonová skořepina z betonu C30/37-XC2XF3 se střednicovou plochou ve tvaru rotačního hyperboloidu. Výška věže celkem od $\pm 0,00$ je 144,8m. (Jde o druhou nejvyšší věž v Česku po temelínských věžích výšky 154,5m. Nejvyšší věží na světě je 200m vysoká věž v Niederaussem v Německu – viz lit. [4].) Další podrobnosti viz obr.1.

Ve výšce 43,61m je v plášti střed kruhového otvoru průměru 10,1m pro průchod sklolaminátového potrubí vyčištěných spalin odsíření. Plášť kolem kruhového otvoru je zesílený na tl. 0,45m. Pod spodní částí kruhového otvoru jsou do pláště kotveny dvě velké ocelové konzoly, které nesou ložiska vícepatrové konstrukce revizních lávek kouřovodu.

Skořepina tahového komína je podporována 40 monolitickými železobetonovými sloupy z betonu C40/50-XC2XF3, které jsou v patě vetknuté do základového prstence a v hlavě do spodního líce pláště věže. Sloupy jsou v pohledu kolmo na plášť věže svislé a v příčném svislém řezu pláštěm mají sklon navazující na sklon prvního záběru skořepiny. Průřez sloupů se lineárně zvětšuje z 1000x900mm pod spodním lícem skořepiny tl. 900 mm na 1000x1300 mm ve vetknutí do základového pasu. Varianta svislých monolitických



Obr. 1 CHV v Elektrárně Ledvice



Obr. 2 CHV v Elektrárně Počerady

sloupů byla zvolena proto, že méně zastiňuje proudění vzduchu do věže, je možné ji dostatečně vyztužit bez vzniku trhlin na stycích prefa-monolit, i když v porovnání s dříve navrhovanými šikmými dvojicemi sloupů je konstrukce méně tuhá ve vodorovném směru, což se projevuje i snížením nejnižších vlastních frekvencí o cca 20%.



Obr. 3 CHV v Elektrárně Ledvice v době před dokončením tažení pláště

Základový pas tvaru prstence má příčný průřez 4,5x1,2m. Na staveništi byla zjištěna přítomnost poměrně mocného a pestrého kvartérního horizontu. V úrovni základové spáry

se nacházejí především sprašové hlíny a zjílovělé tufy. Pro omezení a zrovnoměnění sedání bylo navrženo založení základového pasu na čtveřici pilot průměru 0,9m pod každým sloupem, proměnné délky 10 až 17m proto, aby pata piloty byla ukončená ve vrstvě tuhých až pevných jíílů.

2.2 Analýza a návrh konstrukce

V programu SCIA Engineer byl vytvořen model definitivní konstrukce zahrnující všechny konstrukční prvky věže - plášť věže včetně prostupu pro kouřovod, ochoz, stojky, stěny bazénu, základový pas na pružném podloží, piloty se svojí svislou tuhostí i vodorovnou tuhostí proměnnou po výšce, i množství dalších modelů pro analyzování stavů při postupu výstavby.

Pro potřeby dalšího text označíme dominantní působící zatížení: G - vlastní tíha, W_e - vítr na vnější povrch věže, W_i - sání na vnitřní povrch věže daný komínovým efektem, T - zatížení teplotními rozdíly v zimním provozu a při oslunění v létě, E - seizmické zatížení. Konstrukce byla analyzována a navržena na tyto mezní stavy:

1) Mezní stav ztráty stability lineárně pružné konstrukce (boulení skořepiny) pro kombinaci zatížení $G + W_e + W_i$. Podle lit. [3] a DIN 1045 je požadován minimální stupeň stability $\lambda \geq 5,0$. Aby toho bylo dosaženo, odlaďovali jsme průběh tlouštěk po výšce věže podle kritérií uvedených v lit. [3]. Hodnota nejnižšího součinitele kritického zatížení vyšla 6,17. Záměrně jsme navrhli konstrukci na vyšší stupeň stability proto, aby byla v konstrukci rezerva pro případné odbourávání povrchových vrstev při sanaci pláště v budoucnosti.

2) Mezní stav použitelnosti pro omezení šířky trhliny v plášti na $w_{\max} = 0,3\text{mm}$ od charakteristické kombinace zatížení G, W_e, T podle kombinačních pravidel Eurokódů. Vyhodnocovali jsme charakteristické kombinace a ne kvazistálé dle doporučení EC2, protože nejde o otázku vzhledu, ale o otázku trvanlivosti konstrukce.

3) Mezní stav únosnosti v trvalých a dočasných návrhových situacích kombinací zatížení G, W_e, T a ostatních stálých a nahodilých zatížení podle kombinačních pravidel Eurokódů.

4) Mezní stav únosnosti v seizmické návrhové situaci pro kombinace zatížení G, E .

Z provedených analýz uvádíme zajímavější výsledky:

a) Pro zadání zatížení větrem na chladicí věže není v u nás platných normách dost vhodných podkladů. Průběh maximálního dynamického tlaku větru $q_p(z_e)$ po výšce věže jsme stanovili podle ČSN EN 1991-1-4 pro výchozí základní rychlost větru $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$ a pro kategorii terénu III. Součinitel vnějšího tlaku c_{pe} není v ČSN EN 1991-1-4 pro hyperboloidní chladicí věže uveden. Nejbližší srovnatelné hodnoty je možné nalézt v článku 7.9 Kruhové válce. Podle článku 7.9.1 (1) závisí součinitele tlaku na Reynoldsových číslech Re , které vychází pro věž v Ledvicích $Re = 2,46 \cdot 10^8$. Pro kruhový válec s největším Reynoldsovým číslem uvedeným v EC1 $Re = 10^7$ můžeme odečíst průběh funkce distribuce tlaku v závislosti na úhlu od návětrného meridiánu s největší hodnotou sání $c_{p,0} = c_{p,0\min} = -1,5$ pro $\alpha = \alpha_{\min} = 75^\circ$

Průběh tvarového součinitele pro válcové konstrukce dává příliš velké hodnoty sání a nevyjadřuje tak reálně působící zatížení na chladicí věž. Proto použijeme průběh tvarového součinitele podle německého předpisu [3], kde v našem případě nabývá sání svého maximálního součinitele $-1,3$ v úhlu 73° od návětrného meridiánu, a k odtržení proudu vzduchu od vnějšího povrchu dochází v úhlu 97° .

b) Pro návrh výztuže pláště je podle očekávání rozhodující mezní stav šířky trhliny od kombinací zatížení G , W_e , T dle bodu 2. Dříve prováděné věže byly navrhovány pouze na mezní stavy únosnosti. Proto pro zajímavost uvedeme srovnání vyztužení posledních dvou věží se srovnatelnou věží z r.1986, u které bylo nutné v tomto roce provést sanaci pláště.

Místo	Rok	Výška věže [m]	Objem pláště [m ³]	Tloušťka min.[mm]	Krytí výztuže [mm]	Jakost oceli	Množství výztuže [kg/m ³]
Elektrárna Ledvice	2011	144,8	8431	180	30	10505	134
Elektrárna Počerady	2011-2013	128,3	5430	180	30	10505	148
Jaderná elektrárna Mochovce	1986	125,07	4878	150	25	10335, 10338	85

Tab. 1 Porovnání stupně vyztužení pláště věže

c) Vlastní kmitání: Pro stanovení seizmických účinků bylo nutné spočítat 200 vlastních tvarů kmitání s vlastními frekvencemi 0,72Hz až 6,36 Hz proto, aby bylo dosaženo součinitele participace kmitajících hmot 93% pro směr X a Y a 86% pro směr Z. Součinitel participace větší než 1% však má pouze 9 tvarů ve směru X, 8 tvarů ve směru Y a 2 tvary ve směru Z. Nejnižší vlastní tvar s charakterem kmitání rotace pláště kolem svíslé osy má nulové součinitele participace kmitajících hmot. Tvary s největším součinitelem participace ve směru X 57% pro 5. tvar a ve směru Y 64% pro 4. tvar při frekvenci 0,8Hz mají charakter posunutí pláště jako tuhého celku ve vodorovném směru.

d) Seismicita: Lokalitě Ledvice lze přiřadit ve smyslu Národní přílohy NA k ČSN EN 1998-1 následující vstupní data pro seizmické analýzy konstrukcí: Zrychlení základové půdy včetně navýšení dle významu stavby ($\gamma_1 = 1,4$): $\mathbf{a}_g = \mathbf{0,06g}$. Typ základové půdy je „B“. Lokalita Ledvice leží v zóně s malou seismicitou, kde hodnota $\mathbf{a}_g \cdot \mathbf{S} < \mathbf{0,1 g}$. Typem spektra pružné odezvy je typ 2. Modální analýzou spektra odezvy byly stanoveny 3 kvazistatické zatěžovací stavy (pro směry X, Y a Z) obsahující maxima seizmických účinků, které byly kombinovány s účinky vlastní tíhy. Maxima vnitřních sil ve sloupech při seizmické návrhové situaci jsou na úrovni 46 až 62% maxim vnitřních sil při trvalé návrhové situaci při kombinacích pro mezní stav únosnosti.

2.3 Provádění a měření

Generálním projektantem a generálním dodavatelem chladicí věže je firma REKO Praha a.s. Výstavba probíhala v období 06/2009-10/2011. Plášť je po výšce tvořen 91 prstenci výšky 1,5m. První 3 pásy byly provedeny z lešení ze země. Poté byla na plášť osazena tažná souprava DOKA s 50 vnitřními a 50 vnějšími stožáry. Po nasazení soupravy trvalo tažení pláště pouze 5 měsíců, což dle sdělení DOKA je nejkratší čas, který kdy byl při mezinárodním půjčování bednění dosažen. Aby byl umožněn přejezd soupravy i přes prostup pro kouřovod, byla v místě budoucího prostupu zeslabena stěna na 170 mm a po vyjetí soupravy nad prostup byl kruhový prostup z lešení postupně vyříznut.

Tvar bednění byl v průběhu výstavby geodeticky kontrolován na 50 místech obvodu horní hrany každého pásu před betonáží a po betonáži. Maximální naměřená odchylka pláště od projektovaných poloměrů je -39 mm a +38 mm. Sedání věže bylo kontrolováno na 11 bodech rozmístěných po obvodu stěn bazénu nad základovým pasem po dostavění 1/4, 1/2, 3/4 a celé věže. Po dostavbě bylo maximální naměřené sedání 4,43 mm, nejmenší 2,76 mm, průměrné 4,04mm.

3 Chladicí věž v Elektrárně Počerady

Generálním projektantem a generálním dodavatelem chladicí věže je firma Chladicí Věže Praha a.s. Výstavba probíhá v období 03/2011-2013. Detaily věže viz obr.2.

4 Závěr

Při navrhování štíhlých a vysokých skořepinových konstrukcí jako jsou chladicí věže s přirozeným tahem, poskytuje soustava norem Eurokódu velké množství užitečných postupů a pravidel umožňujících provést spolehlivý návrh z hlediska únosnosti a trvanlivosti konstrukce. V některých otázkách, zejména ve stanovení funkce zatížení větrem a v otázkách stability konstrukce, si projektant nevystačí jen s Eurokódy a je nutné hledat oporu pro projektování v předpisech ze zahraničí, zejména německé projektové praxe (viz [3]). Tyto konstrukce, i přes značnou prozkoumanost a publikovanost, představují stále výzvu pro projektanty a pracovníky ve výzkumu konstrukcí, zejména v oblasti fyzikálně a geometricky nelineární analýzy jak celé konstrukce, tak nejvíce namáhaných detailů a případného zobecnění těchto výzkumů pro projektovou praxi.

Pro prokázání oprávněnosti návrhu chladicí věže byla využita "Technologie stanovení dynamických vlastností inovované chladicí věže" vzniklá v rámci řešení výzkumného záměru MSM 6840770003 "Rozvoj algoritmů počítačových simulací a jejich aplikace v inženýrství" pod vedením Prof.Ing. Zdeňka Bittnara, DrSc, FEng.

Literatura

- [1] Šípek,L.; HIBIS s.r.o.: Detail Design: Nový zdroj 660MWe v Elektrárně Ledvice, OB41- Chladicí věž, statická část projektu, 2009
- [2] Šípek,L.; HIBIS s.r.o.: Detail Design: Paroplynový zdroj 880MWe v areálu Elektrárny Počerady, OB12- Chladicí věž, stavební a statická část projektu, 2010
- [3] Technical Guideline for the Structural Design, Computation and Execution of Cooling Towers, VGB Essen, 1990, 1997, 2005
- [4] Montag,U.; Busch,D.; Harte,R.; W.B.Krätzig: The 200m Niederaussem tower - design and static approach, in: Proceedings of the 5th International Symposium on Natural Draught Cooling Towers, 2004, Istanbul, Turkey

Ing. Lubomír Šípek

✉ HIBIS, s. r.o.
Ohradní 57, 140 00 Praha 4
☎ 241 482 377
📄 241 482 377
😊 sipek@hibis.cz
URL www.hibis.cz