



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

STATICKÉ POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍHO ŽELEZOBETONOVÉHO KOMÍNU

STRUCTURAL ASSESSMENT OF THE REINFORCED CONCRETE CHIMNEY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAKUB TEPLÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK GIRGLE, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|--------------------------------|---|
| Studijní program | N3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3608T001 Pozemní stavby |
| Pracoviště | Ústav betonových a zděných konstrukcí |

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | |
|------------------------|--|
| Student | Bc. Jakub Teplý |
| Název | Statické posouzení stávajícího železobetonového komínu |
| Vedoucí práce | Ing. František Girgle, Ph.D. |
| Datum zadání | 31. 3. 2016 |
| Datum odevzdání | 13. 1. 2017 |

V Brně dne 31. 3. 2016

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Stavební výkresy řešeného objektu: půdorysy, řezy, geotechnické poměry, apod. a provedené stavebně technické průzkumy.

Platné návrhové normy a technické předpisy:

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí;

ČSN EN 1991-1-1 až 7: Zatížení stavebních konstrukcí;

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby;

ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb;

ČSN EN 206: Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda;

ČSN EN 13084-1 Volně stojící komíny - Část 1: Všeobecné požadavky;

ČSN EN 13084-2 Volně stojící komíny - Část 2: Betonové komíny.

Další literatura dle doporučení vedoucího diplomové práce.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na základě zadaných podkladů proveďte statické posouzení železobetonového dříku stávajícího komínu. Řešení proveďte pomocí vhodného MKP programu. Kde to bude možné, proveďte kontrolu výsledků pomocí výstižně zjednodušené ruční metody. Práce bude obsahovat statické posouzení a návrh vhodných úprav pro zajištění statické spolehlivosti konstrukce dle platných norem. Ostatní činnosti a případná zjednodušení zadané konstrukce provádějte v souladu s pokyny vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti dle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

P2. Výkresy navrženého zesílení (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic a 1x na CD.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. František Girgale, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je posoudit stávající stav železobetonového továrního komínu, u kterého byl proveden stavebně technický průzkum, na základě kterého byly pozorovány četné poruchy způsobené příčným namáháním – výrazné svislé trhliny ve dříku.

Předmětem této práce bude rovněž návrh vhodné sanace betonového dříku, a sice návrh předepnutých lan monostrand v příčném směru, injektáž otevřených trhlin a reprofilace povrchu dříku vysprávkovými hmotami.

KLÍČOVÁ SLOVA

komín, rekonstrukce, sanace, železobeton, trhliny, předpětí, předpjatý beton, monostrand, předpínací lana

ABSTRACT

The aim of this thesis is assessment of existing condition reinforced concrete factory chimney, who has undergone structural and technical survey, under which was found many failures caused of horizontally tension - significant vertical cracks in the chimney stack.

The object of this work will also make appropriate proposals rehabilitation of concrete stack by design prestressed cables monostrand in horizontal direction, grouting open cracks and reprofiling surface of chimney stack.

KEYWORDS

chimney, renovation, rehabilitation, reinforced concrete, cracks, prestress, prestressed concrete, monostrand, transversal tendon

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Jakub Teplý *Statické posouzení stávajícího železobetonového komínu*. Brno, 2017. 84 s., 5 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. František Girgler, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2017

Bc. Jakub Teplý
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13. 1. 2017

Bc. Jakub Teplý
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval především vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Františkovi Girglemu, Ph.D. za odborné vedení, čas, který mi věnoval při konzultacích, cenné rady i za poskytnutí podkladů. Dále bych rád vyjádřil díky své přítelkyni, která mě podporovala nejen po dobu psaní diplomové práce, ale byla mi zároveň i vnitřní motivací uspět.

Děkuji



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

TECHNICKÁ ZPRÁVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAKUB TEPLÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. FRANTIŠEK GIRGLE, PH.D

BRNO 2017

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| 1. ÚVOD | 3 |
| 1.1. POPIS OBJEKTU | 3 |
| 1.2. PŘEDMĚT ŘEŠENÍ | 3 |
| 1.3. VÝPOČETNÍ METODA | 3 |
| 1.4. SCHÉMA KONSTRUKCE | 4 |
| 2. ROZSAH ŘEŠENÍ DANÉ KONSTRUKCE | 5 |
| 3. ZVLÁŠTNÍ POŽADAVKY NA KONSTRUKCI | 5 |
| 4. MATERIÁLY | 5 |
| 4.1. Stávající materiály | 5 |
| 4.2. Navrhované materiály | 6 |
| 5. ZATÍŽENÍ | 7 |
| 5.1. Rozbor zatížení | 7 |
| 5.1.1. Stálé zatížení | 7 |
| 5.1.2. Užité zatížení | 8 |
| 5.1.3. Zatížení sněhem | 8 |
| 5.1.4. Zatížení teplotou | 8 |
| 5.1.5. Zatížení větrem | 8 |
| 5.2. Kombinace zatížení | 8 |
| 6. POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE | 9 |
| 6.1. Analýza vad a poruch | 9 |
| 6.1.1. Degradace krycí vrstvy betonu | 9 |
| 6.1.2. Karbonatace betonu | 9 |
| 6.1.3. Porušení vnitřní vyzdívky komína | 9 |
| 6.1.4. Porušení v podélném směru konstrukce | 10 |
| 6.1.5. Porušení v příčném směru konstrukce | 10 |
| 6.2. Porušení dřívku trhlinami (zjištění stavu konstrukce) | 12 |
| 6.3. Statický výpočet konstrukce | 12 |
| 6.4. Odhad ztrát předpětí | 13 |
| 6.4.1. Ztráty okamžité (výrobní) | 13 |
| 6.4.2. Ztráty dlouhodobé (provozní) | 13 |
| 7. POSOUZENÍ UPRAVENÉ KONSTRUKCE | 14 |
| 7.1. Návrh řešení | 14 |
| 7.2. Posouzení MS vzniku trhlin | 14 |

| | |
|--|-----------|
| 8. TECHNOLOGIE REALIZACE..... | 14 |
| 8.1. Příprava povrchu | 14 |
| 8.2. Injektáž otevřených trhlin | 14 |
| 8.3. Ochrana výztuže migrujícími inhibitory..... | 15 |
| 8.4. Reprofilace pláště..... | 15 |
| 8.4.1. Vytvoření adhezního můstku..... | 15 |
| 8.4.2. Reprofilace betonového povrchu..... | 15 |
| 8.4.3. Ošetřování povrchu | 16 |
| 8.4.4. Nátěry betonu (sekundární ochrana) | 16 |
| 8.5. Předpínací lana „monostrand“ | 17 |
| 9. ZÁVĚR..... | 18 |
| 9.1. Bezpečnost práce | 18 |
| 9.1.1. Všeobecně | 18 |
| 9.1.2. Příslušné předpisy..... | 18 |
| 9.2. Požární ochrana..... | 19 |

1. ÚVOD

1.1. POPIS OBJEKTU

Jedná se o stávající, monolitický železobetonový komín v areálu ŠKODA Auto a.s. v Mladé Boleslavi. Komín byl postaven v roce 1974 a slouží jako odvod spalin z kotlů v teplárně areálu závodu. Komín je vysoký 200 m nad úrovní terénu a má tvar komolého kužele. V patě má komín vnější průměr 15,18 m a tloušťku dříku 600 mm, v hlavě má průměr 7,11 m a tloušťku dříku 180 mm. Komín má po výšce 6 železobetonových ochozů š. 1,0 m a tl. 100 – 120 mm. Vnitřní pouzdro komínu tvoří vyzdívka z pálených křemelinových cihel a keramické, kyselinovzdorné tvarovky. Pouzdro je uloženo na krátkých konzolách po cca 17 m. Komín má vespod spalinovou výsypku ve tvaru obráceného, komolého kužele, která je vetknutá do dříku komínu.

1.2. PŘEDMĚT ŘEŠENÍ

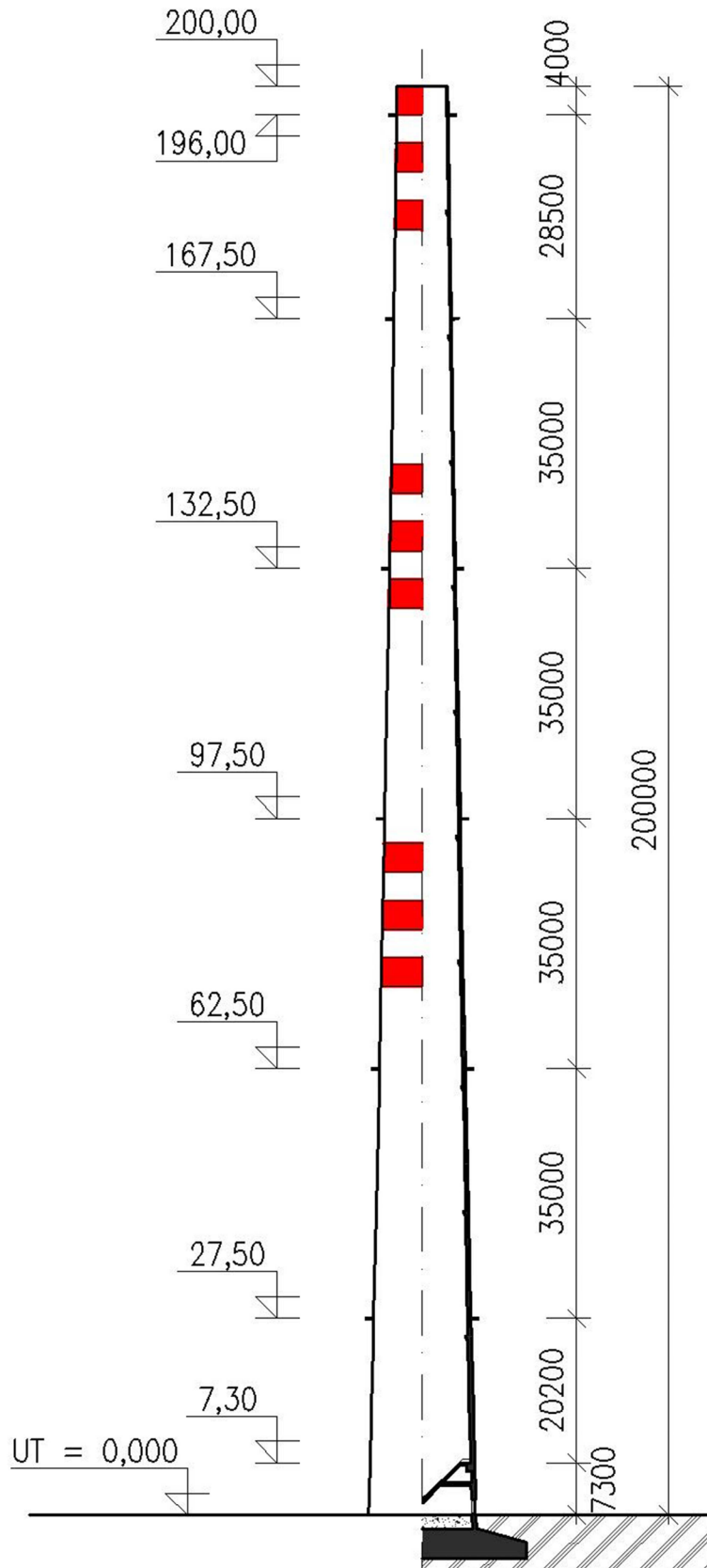
Cílem této diplomové práce je posoudit stávající stav komína, u kterého byl proveden stavebně-technický průzkum, na základě kterého byly pozorovány četné poruchy způsobené příčným namáháním tělesa – výrazné svislé trhliny ve dříku.

Předmětem této práce bude rovněž návrh vhodné sanace betonového dříku, a sice návrh předepnutých lan monostrand v příčném směru, injektáž otevřených trhlin a reprofilace povrchu dříku vysprávkovými hmotami.

1.3. VÝPOČETNÍ METODA

Pro vyšetření vnitřních sil a napětí v modelové konstrukci byla použita metoda MKP – metoda konečných prvků. Výpočty byly prováděny v softwaru *Scia Engineer v15.1*. Model byl uvažován jako rotační skořepina s proměnnou tloušťkou stěny a výsledky orientačně porovnány s jednoduchým prutovým modelem. Výpočet zatížení byl proveden dle platných předpisů ČSN EN (ČSN EN 1991-1-1, ČSN EN 1991-1-4).

1.4. SCHÉMA KONSTRUKCE



Obrázek 1 - Schéma konstrukce

2. ROZSAH ŘEŠENÍ DANÉ KONSTRUKCE

Předmětem této diplomové práce je posouzení a případný návrh vhodného opatření dříku komínového tělesa.

K posouzení dříku komína je třeba analyzovat veškeré zatížení a konstrukce přímo ovlivňující vnitřní síly a samotné chování horní stavby tělesa. Do výpočtového modelu je proto třeba uvážit i ochozy po výšce komína, otvory pro sopouchy v plášti komína, konstrukci výsypky popela a krátké konzoly uvnitř komínového tělesa, které slouží jako nosný systém pro vnitřní vyzdívku komína.

Tato práce neřeší samotné konstrukční a statické řešení vedlejších konstrukcí (ochozů, výsypky,...), ani spodní stavbu a založení komínového tělesa.

3. ZVLÁŠTNÍ POŽADAVKY NA KONSTRUKCI

Podkladem pro analýzu veškerých požadavků na konstrukci bylo Technické zadání pro realizaci díla, vypracované zadavatelem (ŠKO-ENERGO Mladá Boleslav) z roku 2008.

Hlavními faktory, které je nutné vzít v úvahu jsou vysoká provozní teplota spalin v komínu, které výrazně zatěžuje dřík v horizontálním směru, a dále dynamické namáhání konstrukce vlivem větru a odtrháváním vírů. Z Technického zadání byla provozní teplota stanovena na 139°C. Větrná oblast pro lokalitu, kde je konstrukce umístěna – Mladá Boleslav – byla určena jako kategorie II.

Na konstrukci nebyly kladeny požadavky na odolnost proti seismicitě.

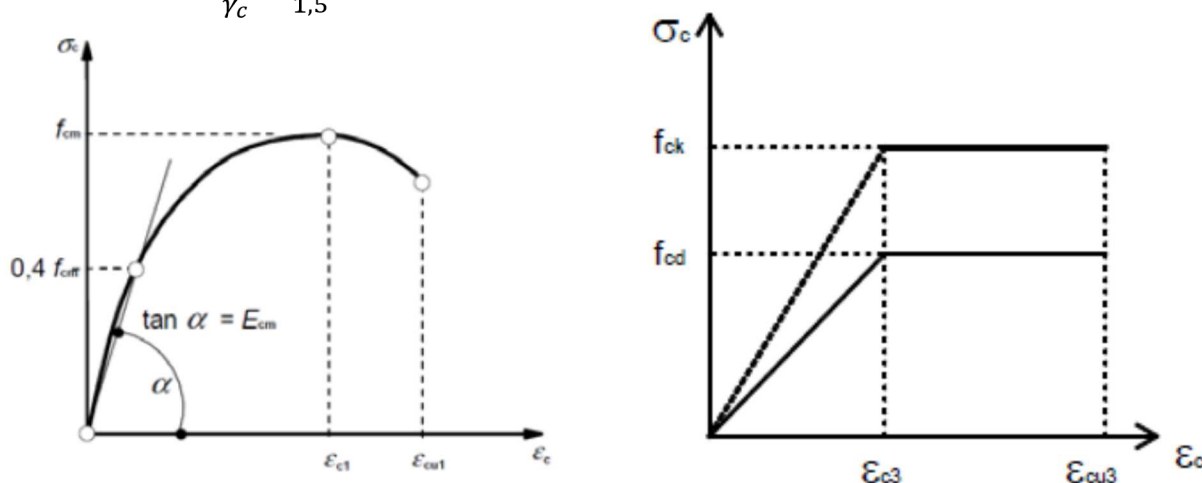
4. MATERIÁLY

4.1. Stávající materiály

Podle dostupné původní technické dokumentace bylo pro dřík komína použit beton **B250** (B25), což dle současně platných EC norem odpovídá třídě betonu **C20/25**.

Beton: $f_{ck} = 20,0 \text{ MPa}$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,3 \text{ MPa}$$

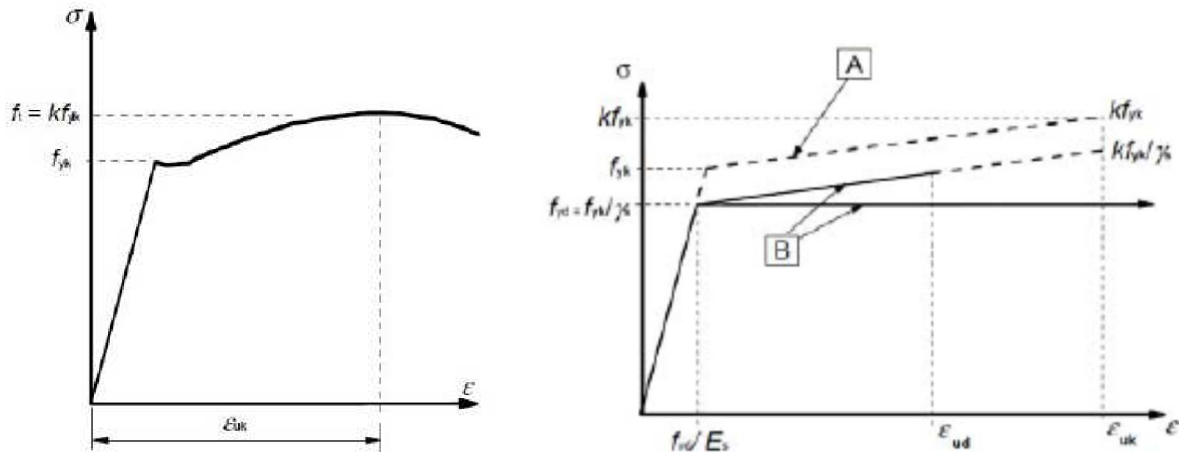


Obr. 2 – Pracovní diagramy betonu (skutečný, bilineární)

Pro výztuž dříku byla použita betonářská ocel **10 335 (J)**. Takováto ocel se dnes už standardně nevyrábí, proto pro ni není dle EC standardní označení. Ze stávajícího označení lze ovšem vyčíst, že charakteristická mez kluzu pro tuto třídu oceli bude 330 MPa.

Ocel: $f_{yk} = 330,0 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{330}{1,15} = 287,0 \text{ MPa}$$



Obr. 3 – Pracovní diagramy oceli (skutečný, bilineární)

4.2. Navrhované materiály

Jako zesílení v horizontálním směru jsou použity nesoudržná předpínací lana „monostrand“. Předpínací výztuž byla použita **Y1860 S7 – 15,7 A**. Počet lan v každém úseku dříku různý, dle vypočteného vodorovného namáhání.

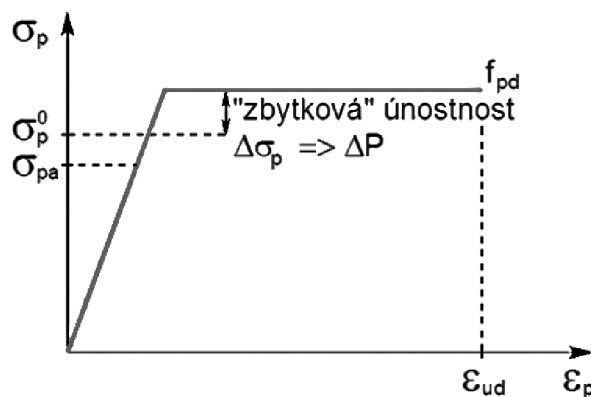
$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$

$f_{p0,1} = 1640 \text{ MPa}$

$$f_{pd} = \frac{f_{p0,1}}{\gamma_s} = \frac{1640}{1,15} = 1426,1 \text{ MPa}$$

$\sigma_{p,max} = \min(0,8 f_{pk}; 0,9 f_{p0,1}) = \min(1488; 1476) = 1476,0 \text{ MPa}$

$\sigma_{pm0,max} = \min(0,75 f_{pk}; 0,85 f_{p0,1}) = \min(1395; 1394) = 1394,0 \text{ MPa}$



Obr. 4 – Pracovní diagramy předpínací výztuže

Pro obetonávku kotevních oblastí byl použit beton **C25/30**.

$$f_{ck} = \mathbf{25,0 \text{ MPa}}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = \mathbf{16,7 \text{ MPa}}$$

K injektáži otevřených trhlin bude použita speciální **injektážní malta** na bázi cementové suspenze.

Odhalená betonářská výztuž bude po důkladném očištění ošetřena suspenzí dvousložkového antikoroziního nátěru s přísadou polymerů a **inhibitorů koroze**.

K vyplnění větších výtluků a děr v plášti dříku bude použita **vyprávková malta** na beton.

Plášť dříku bude po otryskání a očištění reprofilován tixotropní **sanační maltou** s obsahem rozptýlených vláken. Minimální hodnota **adheze 1,5 MPa**. Při reprofilaci větších výtluků a nerovností ($\geq 5 \text{ mm}$) je nutné podklad penetrovat použitím **adhezních můstků**.

Po reprofilaci se celý dřík komínu opatří speciálním **akrylátovým nátěrem na beton** se schopností přemostění vlasových trhlin, vysokým difuzním odporem pro CO_2 a SO_2 . Nátěr bude sloužit jako finální ochrana proti karbonataci betonu, povětrnostním vlivům a UV záření.

5. ZATÍŽENÍ

5.1. Rozbor zatížení

5.1.1. Stálé zatížení

Vlastní tíha - zatížení vlastní tíhou železobetonového dříku včetně všech jeho monolitických částí, jako jsou krátké konzoly dříku a ochozy, bylo automaticky generováno softwarem Scia Engineer.

Stálé zatížení ochranným pouzdrům - Ochranné pouzdro železobetonového dříku tvoří vyzdívka z křemelinových cihel tl. 140 mm a keramických, kyselinovzdorných tvarovek tl. 80 mm. Zatížení je do žlb. dříku přenášeno přes krátké konzoly, které jsou na dříku umístěné vždy po výšce 17,50 m.

Stálé zatížení výsypky - Na výsypku působí stálé zatížení ochranného pouzdra, které je tvořenou pouze vrstvou z keramické vyzdívky tl. 550 mm. Samotná výsypka je chráněna vrstvou z keramických, kyselinovzdorných tvarovek, tl. 180 mm. Nášlapná vrstva na dolním prstenci výsypky je uvažovaná stejná jako na samotné výsypce, tedy keramické, kyselinovzdorné tvarovky tl. 180 mm.

Zatížení výsypky popelem - Spodní část výsypky je opatřena segmentovým uzávěrem, je tedy možné uvažovat určité zaplnění výsypky popelem a to teoreticky až po úroveň ústí sopouchů. Z důvodů technologických i z hlediska správného fungování komínového tělesa je předepsaná údržba a čištění výsypky od popela. Uvažuje se tak s maximálním nánosem popela do 0,5 m.

5.1.2. Užité zatížení

Ve výpočtu se uvažuje se zatížením vyvozeným údržbou komína.

5.1.3. Zatížení sněhem

Konstrukce se nachází v lokalitě Mladá Boleslav. Podle Mapy sněhových oblastí vydané ČHMÚ spadá tato lokalita do II. sněhové oblasti.

5.1.4. Zatížení teplotou

Na základě rozdílů teplot na vnitřním a vnějším povrchu komínového pláště byl vyvozen gradient teplotního rozdílu. Zatížení teplotou se ve výpočtu uvažuje jako provozní zatížení, je tedy kategorizováno jako užité zatížení sk. H, jelikož už ze stavebně-technického průzkumu bylo patrné, že konstrukce bude nejvíce náchylná právě na toto zatížení. (Velké podélné trhliny, často dlouhé i cca 5 m).

5.1.5. Zatížení větrem

Lokalita Mladá Boleslav byla podle Mapy větrných oblastí zařazena do II. kategorie s výchozí rychlostí větru 25 m/s. Při výpočtu bylo uvažováno i s dynamickým působením větru, pro který bylo třeba provést modální analýzu konstrukce. Rovněž bylo uvažováno se zatížením vyvozeným odtrháváním vírů. Účinná korelační délka bylo stanovena iteračním výpočtem na 66 m.

5.2. Kombinace zatížení

Kombinace zatížení byla prováděna dle normy ČSN-EN 1990 a národního dodatku pro ČR dle kombinačních rovnic 6.10 a) a 6.10 b):

$$6.10 \text{ a) } \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$6.10 \text{ b) } \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

6. POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE

6.1. Analýza vad a poruch

6.1.1. Degradace krycí vrstvy betonu

Degradace – zhoršení kvality, znehodnocení – betonu nastává především vlivem přirozené pórovité struktury betonu, tím je umožněna pozvolná propustnost kapalin a plynů. Pórovitá struktura je ovlivňována celou řadou faktorů. Nejvýznamnější roli ovšem hrají ošetřování betonu, technologie výstavby, vodní součinitel betonové směsi a eventuálně přísady a příměsi v použitém betonu. K samotnému rozrušování betonové krycí vrstvy pak dochází vlivem mechanických a chemických vlivů, působících na konstrukci.

Mechanické vlivy, které reálně působí na betonovou konstrukci komína jsou především klimatické – vlivem působení mrazu dochází ke změně skupenství kapalin obsažené v pórovité struktuře betonu, vzniká tahové napětí a tím dochází k rozrušení struktury betonu. Ze stavebně technického průzkumu je evidentní silné narušení krycí vrstvy betonu vlivem účinků mrazu.

Chemické vlivy, působící negativně na betonovou vrstvu může v daném případě být koroze betonu vyluhováním pojiva. Prosakující voda (důsledek pórovitosti betonu) vynáší rozpustné složky pojiva -Ca(OH)_2 . Tato koroze se projevuje nejčastěji tvorbou bílého karbonátu na povrchu betonu, což vede ke snižování pevnosti a kvality betonu.

6.1.2. Karbonatace betonu

Karbonatace betonu je zvláštní případ degradace betonu, kdy dochází ke korozi výztuže. Karbonatace betonu je důsledkem reakce složek pojiva betonu s vzdušným CO_2 .

Nový - nekarbonatovaný beton je v přirozeném stavu silně zásaditý ($\text{pH} = 12,5$) a ocelová výztuž je v zásaditém prostředí chráněna proti korozi. Vlivem působení oxidu uhličitého CO_2 a pronikající vlhkostí pH betonu pozvolná klesá. Klesne-li pH pod určitou mez ($\text{pH} \approx 9,0$ až $9,5$), naruší se ochranná vrstva výztuže, kterou tvoří hutné oxidy železa, výztuž začíná korodovat. Vlivem rozpínající se koroze dochází k tlakovým napětím v betonové vrstvě, která se může odtrhávat a odpadávat.

Stavebně technický průzkum ukazuje, že betonová krycí vrstva je na mnoha místech silně porušená a oprýskaná vlivem Karbonatace a odhalená výztuž je silně zkorodována.

Proces karbonatace je popsán rovnicí: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$.

6.1.3. Porušení vnitřní vyzdívky komína

Vnitřní ochranné pouzdro komína z křemelinových tvarovek a keramických cihel bylo zděno na cementovou maltu. Tato vyzdívka je silně narušena mimo další negativní vlivy například i síranovou korozi, kdy dochází k rozpínání cementové malty. K síranové korozi dochází u betonů (popř. cementových malt) vystavených vyšším teplotám ($> 70^\circ\text{C}$) vlivem tzv. zpožděné tvorby ettringitu, který vzniká za přítomnosti vody reakcí se solemi. Ettringit opět významně zvětšuje svůj objem a tím dochází k narušování cementové malty a tím i celé vyzdívky.

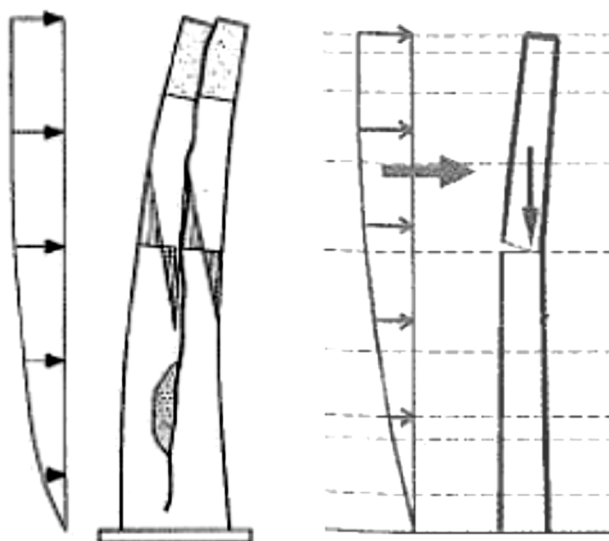
6.1.4. Porušení v podélném směru konstrukce

Na konstrukci komínu lze zjednodušeně nahlížet jako na svislou konzolu vetknutou do základové konstrukce. Jakékoliv namáhání v podélném směru je tedy důsledkem vodorovného zatížení (zatížení větrem) a svislého zatížení. Zatímco centrické svislé zatížení vyvolává v podélném směru pouze tlakové zatížení, kterému daná konstrukce odolává dostatečně, naopak nesymetrické zatížení, které působí na excentricitě (např. nesymetrický sníh na ochozech komínu), ale především účinky zatížení větru, vyvolávají na konstrukci typické ohybové namáhání a tím i tahové namáhání, které může způsobovat vodorovné trhliny na dříku a následně může dojít až ke ztrátě stability konstrukce. Takovéto trhliny by zůstaly v kvazistálé kombinaci otevřené vlivem přetrvávajících, kvazistatických účinků zatížení.

6.1.5. Porušení v příčném směru konstrukce

Konstrukce je rovněž namáhána teplotním gradientem v příčném směru, což vyvoluje přidavné namáhání ve vodorovném směru komína. Tendence smršťování a rozpínání hmoty vyvolané teplotními účinky vyvolávají v konstrukci vodorovné tlaky a tahy, napětí je dále zvyšováno geometrií konstrukce – skruže zakřivená proti směru rozpínání. Ve vodorovném směru těmito účinkům vzdoruje pouze velice nízká pevnost betonu v tahu a stávající vodorovná výztuž, která je definovaná stavebně technickým průzkumem v příslušných vodorovných řezech po výšce dříku.

Je-li mezní únosnost v příčném směru překročena, budou od kvazistatických účinků přetrvávat otevřené svislé trhliny. Tyto trhliny snižují celkovou tuhost konstrukce a ve větším množství podporují chování konstrukce jako oddělené, samostatně působící svislé lamely s velkou délkou. Výrazným přetížením vodorovné výztuže vznikají na tažení okraji dříku i velké vodorovné trhliny v řádu jednotek cm. V takovém případě lze již hovořit o plastickém kloubu, čímž může být způsobeno chování konstrukce jako volný převislý konec během vodorovného namáhání větrem, což může vést až ke ztrátě stability z důvodu překlopení.



Obr. 5 – Mechanizmy chování porušeného dříku komína

Stavebně technický průzkum odhalil řadu výše uváděných trhlin (viz foto), z čehož se dá usoudit, že právě vodorovnou únosnost bude nutné zesílit některým z aktivních způsobů sanace. Průzkum také odhalil některé kratší, svislé trhliny s šířkou $w_k < 0,2$ mm. Z charakteru těchto trhlin lze usoudit, že se nejedná o projev porušení vlivem podélného namáhání od zatížení větrem, nýbrž se jedná o trhliny vzniklé zvolenou technologií při výstavbě (posuvné bednění).



Obr. 6 – Fotografie příčného rozrušení betonového dříku



Obr. 7 – Fotografie podélné trhliny betonového dříku

6.2. Porušení dříku trhlinami (zjištění stavu konstrukce)

Při posudku podélného směru (vznik vodorovných trhlin) bylo uvažováno, pro zjednodušení a možnosti ručního ověření výsledků, s účinky pouze silně dominantního zatížení větrem. V charakteristické kombinaci zatížení dochází sice k vývinu poměrně silného tahového namáhání, ovšem v kvazistálé kombinaci přetrvávají tahy již minimální, a to takové, které nepřekročí tahovou pevnost betonu f_{ctm} , anebo působí v opačném smyslu – tlaky. Z tohoto posudku lze uvážit, že ve vodorovném směru nejenže nevznikají trvale otevřené trhliny, průřez je po celé výšce tlačěn.

Posudek namáhání v příčném směru naopak prokázal, že i od kvazistatických účinků zatížení přetrvávají v konstrukci výrazné tahové napětí vyvozené normálovými silami ohybovým momentem.

Výsledky prvotního posudku potvrzují reálný stav konstrukce, kdy je z fotodokumentace patrné značné porušení svislými trhlinami a trhlinami v místech vodorovné výztuže vlivem značného přetížení vodorovné výztuže, která je ve stávajícím stavu výrazně nedostatečná.

6.3. Statický výpočet konstrukce

Ze statického posudku mezní šířky trhlin lze odvodit limitní napětí pro maximální šířku trhliny $w_k = 0,2$ mm a potřebný rozdíl napětí, respektive normálové síly $\Delta\sigma$ a ΔN . V dalších výpočtech budou tedy navržena vnější předpínací lana bez soudržnosti „monostrand“, které vnesou do konstrukce přídavné napětí, které bude působit proti vodorovným účinkům zatížení.

Jelikož se jedná o stávající konstrukci, již porušenou trhlinami, nelze tak předpokládat lineární chování průřezu. Návrh předpětí bude tedy vycházet ze stavu dekomprese v průřezu. Odhad celkových ztrát byl v rámci zjednodušení odhadnut na 23% a je více rozebrán v následující kapitole.

Při posudku napětí, kdy v dolních (vnější povrch dříku) vláknech je požadováno ideálně nulové napětí, bylo určeno, že odspodu až po kótu 43,6 m bude docházet v horních vláknech (vnitřní povrch dříku) k drcení betonu. Dále bylo pro požadavky napětí nutné navrhnout v extrému až 29 předpínacích lan. Z hlediska realizace je možná počet lan max 10 na metr výšky při vzdálenosti 100 mm. Při přepočtení návrhu předpětí zůstávají, po kótu 28 m, poměrně velká tahová i tlaková napětí a z hlediska mezních stavů použitelnosti konstrukce nevyhovuje.

Mezní stav únosnosti byl uvažován jako interakční diagram, kdy mezní návrhová únosnost normálové síly byla přirovnána k vnějším účinkům normálových sil (síla od předpětí nesoudržných lan se uvažuje jako vnější zatížení) $\Rightarrow N_{Rd} = N_{Ed}^{TOT} = n_{Ed,x} + P_d$. Z podmínky silové rovnováhy, byla vyjádřena síla v tlačené oblasti F_{cc} a následně i velikost x_c a plocha tlačené oblasti A_{cc} . Na straně únosnosti se dále uvažuje s příspěvkem pouze tahové výztuže ΔF_s a s příspěvkem rezervy předpínací výztuže ΔP_t (dle normy ČSN EN 1992-1-1). V posudku nevyhověly průřezy po kótu 3,0 m.

6.4. Odhad ztrát předpětí

V rámci zjednodušení byly ztráty odhadnuty na základě rozboru ztrát, které se v řešeném případě projevují.

6.4.1. Ztráty okamžité (výrobní)

- **Ztráta třením:**

U nesoudržných lan monostrand dochází k absolutně minimálnímu třetí – HDPE chránička s předpínacími dráty je vyplněna mazivem, čímž je dosaženo velmi dobré lubrikace. Nicméně je třeba uvažovat se ztrátou vlivem zakřivení do oblouku. Pokud se nepřekročí délka lana 30 m, může se zjednodušeně uvažovat se **ztrátou 5 %**.

- **Ztráta pokluzem v kotvě:**

Maximální dovolené zkrácení při zakotvení lana $\Delta L = 6 \text{ mm}$.

$$\sigma_{p,sl} = \frac{\Delta L_p}{L} E_p = \frac{6}{30\,000} 195\,000 = 39 \text{ MPa} \Rightarrow \text{ztráta } 1 \%$$

- **Ztráta okamžitým pružným přetvořením:**

Při uvážení průměrné plochy průřezu a zainjektovaných trhlin se musí přesto uvažovat s mírně zvýšeným okamžitým přetvořením průřezu vlivem zavření trhlin \Rightarrow **ztráta 3 %**

- **Ztráta postupným předpínáním:**

Předpínání je předepsáno postupné a symetrické \Rightarrow **ztráta 1 %**

- **Ztráta relaxací předpínací výztuže:**

Obvyklé ztráty u předp. výztuže běžných tříd jsou v řádu desetin procent \Rightarrow **ztráta 0,1%** (ztráta lze zanedbat)

CELKOVÝ ODHAD OKAMŽITÝCH ZTRÁT JE cca 10 %

6.4.2. Ztráty dlouhodobé (provozní)

- **Ztráta relaxací předpínací výztuže:**

Obvyklé dlouhodobé ztráty u předpínací výztuže běžných tříd jsou v řádu jednotek procent \Rightarrow **ztráta 3 %**

- **Ztráta kombinací smršťování a dotvarování:**

Vzhledem k relativně nízké třídě betonu bude vyšší odhad ztráty \Rightarrow **ztráta 10 %**

CELKOVÝ ODHAD DLOUHODOBÝCH ZTRÁT JE cca 13 %

7. POSOUZENÍ UPRAVENÉ KONSTRUKCE

7.1. Návrh řešení

Jelikož způsobem aktivního zesílení konstrukce není možné z hlediska proveditelnosti vyrovnat relativně vysoká napětí ve dříku komínu, které jsou vyvolané především zatížením teplotním gradientem je nutné přistoupit k pasivnímu opatření. Ve statickém výpočtu je uvedeno minimální požadované snížení teplotního gradientu ΔT na vnitřní straně komínového tělesa.

Tepelně technickým výpočtem lze stanovit povrchovou teplotu θ_T vnitřního povrchu betonového dříku, aby bylo dosaženo požadovaného teplotního gradientu, při kterém daná konstrukce vyhoví.

Snížení povrchové teploty je možné realizovat výměnou spalovací technologie, při které by se snížila teplota spalin a nebo nové vyždění ochranného pouzdra dříku s lepšími tepelně izolačními vlastnostmi.

7.2. Posouzení MS vzniku trhlin

Při snížení požadovaného teplotního gradientu budou splněny požadavky na napětí v dolních vláknech 0 (vyrovnání tahů) a v horních vláknech max 0,4 f_{ck} . V takovém případě je možné prohlásit, že napětí ve dříku komínu vyhovují meznímu stavu vzniku trhlin.

8. TECHNOLOGIE REALIZACE

8.1. Příprava povrchu

Primární odstranění nesoudržného betonu, nátěrů nebo cementového mléka bude odstraněno otlučením ručními nebo pneumatickými kladivý. Povrchy méně soudržných materiálů mohou být rozrušeny jehlovými pistolemi.

Povrch zbavený velkých nesoudržných částí bude následně *tryskán vysokotlakým vodním paprskem*. Vodním paprskem budou odstraňovány méně soudržné vrstvy (do 35 MPa), které jsou odstranitelné při tlaku vodního paprsku 70 až 140 MPa za použití ručních nebo poloautomatických zařízení s rotačními nebo kmitajícími paprsky. Vrstvy odstraňovaného materiálu budou v tloušťkách 0,1 až 10 mm.

8.2. Injektáž otevřených trhlin

Otevřené trhliny se v povrchu dříku musí zainjektovat z důvodu opětovné stabilizace strukturální integrity. Jako injektážní hmota bude použita speciální **injektážní malta** na bázi cementové suspenze. Samotnou injektáž je nutno provádět vhodným nízkotlakým zařízením s plynulou regulací tlaku a zajištěním plynulé dodávky injektážního materiálu. Při nízkotlaké injektáži by tlaky neměly přesáhnout 50 bar. Injektují se trhliny o šířce > 2 mm. Postup prací musí být vždy od nejnižšího místa trhliny.

Trhliny (praskliny) musí být řádně vyčištěny a to tlakovou vodou, aby uvnitř trhliny nebyly žádné nesoudržné části betonu, ani prachové částice. Injektáž se nesmí provádět za teplot nižších +5 °C, čerstvá zainjektovaná trhlina musí být chráněná proti přímému slunci a dešti.

Po injektáži trhlin šířky > 0,2 mm se povrchové „vlasové“ trhliny zainjektují ručně přípravkem na bázi epoxidové pryskyřice – tzv. „šití trhlin“.

8.3. Ochrana výztuže migrujícími inhibitory

Povrchová úprava antikorozními nátěry s přísadou polymerů a migrujícími inhibitory koroze jsou výhodnou alternativou k elektrochemickým metodám na zvýšení životnosti ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích. Při ošetřování odhalených výztuží v plášti dříku komína budou použité sypké (práškové) látky na bázi cementu s „multifunkčními“ inhibitory, tyto inhibitory koroze mají synergický účinek a spojují výhody anodických i katodických inhibitorů.

Antikorozní nátěr musí být prováděn na řádně očištěný povrch výztuží. Tyto výztuže musí být zbaveny veškerého nesoudržného betonu, prachových částic, mastnoty a povrchové rzi. Nátěr není možné aplikovat za nízkých teplot (≤ 5 °C), nesmí se rovněž provádět na přímém slunci, při silné větru a za deště. Nanášení nátěru se provádí štětcem ve dvou vrstvách v rozestupu 2 až 24 hodin v závislosti na klimatických podmínkách. Celková tloušťka obou nátěrů by měla být nejméně 2 mm.

8.4. Reprofilace pláště

8.4.1. Vytvoření adhezního můstku

V případě nerovností, výtluků a jiných vysprávek o hloubce > 5 mm je nutné před samotnou reprofilací vytvořit mezi stávající, očištěnou konstrukcí a nově reprofilačním materiálem adhezní můstek. K vytvoření adhezního můstku bude použit dvousložkový tekutý epoxidový tmel

8.4.2. Reprofilace betonového povrchu

Systémová reprofilace vnějšího povrchu betonového dříku se navrhuje primárně za účelem vyplnění výtluků a děr v povrchu pláště konstrukce, obnovení a případné zesílení krycí betonové vrstvy výztuže a tím zvýšení celkové životnosti konstrukce.

V prvním kroku bude prováděna tzv. hrubá reprofilace, kdy se vyplňují nerovnosti v tloušťkách od 6 do 50 mm v jednom pracovním kroku. Je možné nanášet reprofilační maltu ve dvou vrstvách a tím dosáhnout tloušťky až 100 mm. Je nutné dodržovat minimální časové odstupy mezi pracovními kroky předepsané výrobcem reprofilační hmoty.

Je-li třeba, může se provádět další pracovní krok reprofilace střednězrnnou reprofilační maltou v tloušťce od 3 do 35 mm, pro vyrovnání případných setrvávajících nerovností.

V posledním pracovním kroku bude aplikována tzv. jemná reprofilace. Jemnozrnná reprofilační malta se nanáší v tloušťce od 2 do 5 mm a tvoří finální povrchovou vrstvu. Tato vrstva musí být co nejméně porézní, aby bylo maximálně bráněno další degradaci dříku a následné karbonataci výztuže.

Je nutné dosáhnout na minimální hodnotu adheze 1,5 MPa celkové reprofilované vrstvy.

8.4.3. Ošetřování povrchu

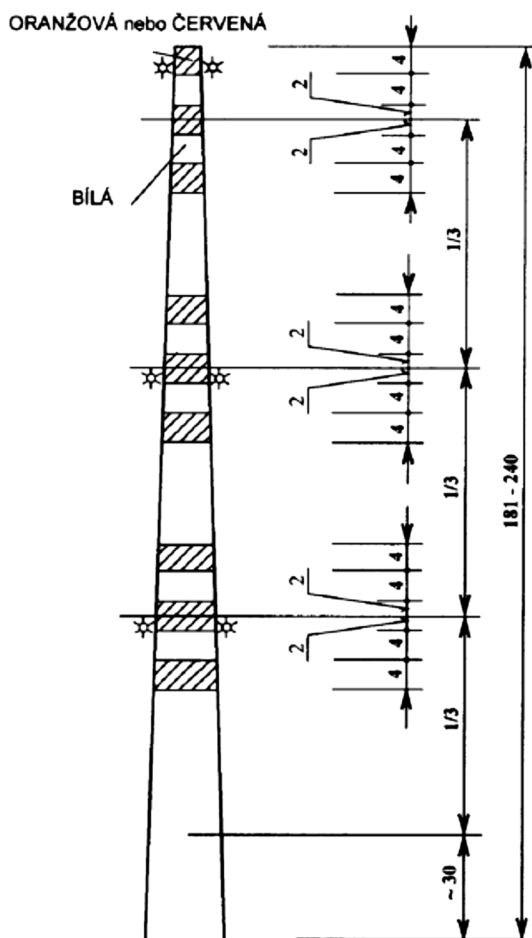
Čerstvo reprofilovaná vrstva je třeba v prvních dnech jejího zrání chránit před příliš rychlým vyschnutím a před mrazem. Reprofilované plochy je nutné takto chránit minimálně 5 dní. Je nutné zabránit silným vysušujícím účinkům tepla a proudícího vzduchu.

8.4.4. Nátěry betonu (sekundární ochrana)

Po reprofilaci se celý dřík komínu opatří speciálním **akrylátovým nátěrem na beton** se schopností přemostění vlasových trhlin, vysokým difuzním odporem pro CO₂ a SO₂. Nátěr bude sloužit jako finální ochrana proti karbonataci betonu, povětrnostním vlivům a UV záření a celkově zatáhne pórovitou strukturu povrchu reprofilovaného dříku.

Nátěr se bude provádět ve dvou až třech vrstvách s minimální vydatností 0,10 až 0,20 kg/m² v prvním kroku a s minimální vydatností 0,40 až 0,50 kg/m².

Finální barevné řešení nátěru bude v odstínu šedé (betonově šedá). Nátěr musí rovněž respektovat požadavky na denní letecké značení komínu ve specifických úrovních vždy v pěti pružích šířky 4 m: 3 pruhy v odstínech RAL3020 - červený a dva pruhy RAL 9016 bílý (dle požadavků MDČR, úřad pro civilní letectví – Letecký předpis L14).



Obr. 8 – Denní letecké značení komínu

8.5. Předpínací lana „monostrand“

Zesílení ve vodorovném směru bude prováděno jednolanovým systémem předpínacích lan bez soudržnosti „monostrand“. Vodorovné skruže jsou složeny z předpínacích lan v průměru 15,7 mm (0,6“S) uložených v HDPE chrániče s mazivem. Tím je zajištěna vynikající dvoustupňová protikorozní ochrana a minimální ztráty předpínací síly vlivem tření. Vnější průměr jednolanových kabelů monostrand je 19 mm.

Uspořádání a vzdálenosti jednotlivých obručí (předpínacích lan) je proměnné vzhledem k proměnnému vodorovnému namáhání. Výška dřívku je tak rozdělena do 5 oblastí, kde se vzdálenosti obručí mění. Po výškovou kótu 80,7 m jsou navrženy obruče po 100 mm (10 lan do metru), po kótu 112,5 m jsou lana navržena po vzdálenosti 143 mm (7 lan do metru), po kótu 134,1 m jsou lana navržena po vzdálenosti 166 mm (6 lan do metru), po kótu 166,5 m jsou lana navržena po vzdálenosti 200 mm (5 lan do metru) a nakonec až po kótu 200 m jsou lana navržena po vzdálenosti 250 mm (4 lana do metru).

Délky jednotlivých lan jsou proměnné vzhledem ke konicitě dřívku komína. Maximální délka lana však nesmí být větší než 30,0 metrů, takové délce lana odpovídá vnější průměr komína $D = 9,5$ m, což odpovídá výškové kótě 123,5 m. V nižších částech komína bude obruč tvořena ze dvou lan – napínání ze dvou kotev po 180°, aby byly omezeny ztráty vlivem tření. V dalších oblastech komína už nebude dosaženo délky jednoho lana 30,0 m, proto mohou být obruče složeny ze dvou lan navrženy ve zbytku výškové úrovně k dřívku.

Kotvení obručí je navrženo systémem pro spínání kruhových konstrukcí Freyssinet typ 1X. V oblastech, kde je obruč složena z jediného předpínacího lana bude navržena pouze jediná kotva. V místech složené obruče budou kotvy 2 umístěné po 180°. Kotvení v oblasti otvoru sopouchu bude provedeno pomocí třílanových systémových kotev typu A 3F. Tyto kotvy se budou opírat o olemování otvoru z ocelových profilů L 120/120/12 mm, které budou vyztuženy ocelovými plechy a účinně kotveny do stávajícího betonového dřívku. Po výšce otvoru bude umístěno celkem 28 těchto tří lanových kotev po osové vzdálenosti 300 mm, aby bylo v celkové výšce otvoru 8,5 metru zaručeno vždy minimálně 10 lan do metru.



Obr. 9 – Kotvení průběžných obručí, typ kotvy 1X



Obr. 10 – Jednolanová kotva, typ 1F13

9. ZÁVĚR

9.1. Bezpečnost práce

9.1.1. Všeobecně

Všeobecně jsou požadavky na zajištění bezpečnosti a hygieny práce dány ZP č.262/2006 Sb., v platném znění Nařízením vlády č.591/2006 Sb. o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích a Zákonem č.309/2006 Sb. zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, v platném znění. Práce musí vést a provádět pracovníci, kteří jsou v dané technologii vyškoleni, zdravotně způsobilí a s předepsanou kvalifikací (průkaz strojní obsluhy a prokazatelné pověření a seznámení s průvodní a provozní dokumentací k obsluze strojního zařízení s osvědčením).

Před zahájením prací seznámí stavbyvedoucí prokazatelně všechny zúčastněné pracovníky se specifickými riziky konkrétní stavební akce.

Zvýšenou pozornost bude třeba věnovat práci se stavebními stroji a v její bezprostřední blízkosti. Při všech těchto stavebních činnostech je třeba dbát opatrnosti.

9.1.2. Příslušné předpisy

Bezpečnost a ochrany zdraví zaměstnanců i veřejný zájem vyžadují, aby při provádění prací byly dodržovány příslušné předpisy:

| | |
|--------------------------------|--|
| Vyhláška č. 48/1982 Sb. | kteřou se stanoví základní požadavky k zajištění bezpečnosti práce a technických zařízení. |
| Zákon 262/2006 Sb. | zákoník práce, v platném znění. |
| Zákon č. 309/2006 Sb. | kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci), v platném znění. |
| Nařízení vlády č.591/2006 Sb. | o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích. |
| Nařízení vlády č. 362/2005 Sb. | o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky. |
| Nařízení vlády č. 101/2005 Sb. | o podrobnějších požadavcích na pracoviště a pracovní prostředí. |
| Nařízení vlády č. 11/2002 Sb. | kterým se stanoví vzhled a umístění bezpečnostních značek a zavedení signálů, v platném znění. |
| Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. | kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, v platném znění. |
| Nařízení vlády č. 378/2001 Sb. | kterým se stanoví bližší požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a náradí, v platném znění. |
| Nařízení vlády č. 201/2010 Sb. | o způsobu evidence úrazů, hlášení a zasílání záznamu o úrazu. |
| Nařízení vlády č. 495/2001 Sb. | kterým se stanoví rozsah a bližší podmínky poskytování osobních ochranných pracovních prostředků, mycích, čistících a dezinfekčních prostředků. |

| | |
|-------------------------------|--|
| Zákon č. 251/2005 Sb. | o inspekci práce, v platném znění. |
| Zákon č. 258/2000 Sb. | o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, v platném znění. |
| Směrnice GŘ ŘSD ČR č. 4/2007 | Pravidla bezpečnosti práce na dálnicích a silnicích. |
| Směrnice GŘ ŘSD ČR č. 7/2008 | aplikace zákona č. 309/2006 Sb., o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. |
| Směrnice GŘ ŘSD ČR č. 16/2009 | Organizace, řízení a kontrola bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, požární ochrany a odpadového hospodářství. |

9.2. Požární ochrana

Pro oblast požární ochrany budou při vykonávání pracovních postupů dodržována ustanovení zákona č. 133/1985 Sb. O požární ochraně.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ZICH Miloš a kolektiv, Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů, Brno: Verlag dashofer, 2010.
- [2] ZICH Miloš; BAŽANT Zdenek. Plošné betonové konstrukce, nádrže a zásobníky. První vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, 2010. ISBN 978-80-7204-693-5
- [3] PROCHÁZKA Jaroslav a kol. Navrhování betonových konstrukcí I. Třetí vydání. Praha: ČBS Servis, s. r. o, 2010. ISBN 978-80-903807-5-2
- [4] PROCHÁZKA Jaroslav, ŠMEJKAL Jiří, VÍTEK Jan L., VAŠKOVÁ Jitka, Navrhování betonových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2. První vydání. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knihovna (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-03-9.
- [5] KRÁL Jaromír, Navrhování konstrukcí na zatížení větrem. Příručka k ČSN EN 1991-1-4. První vydání. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knihovna (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-05-3.
- [6] HOLICKÝ, Milan, Jana MARKOVÁ a Miroslav SÝKORA. Zatížení stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1991. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knihovna (ČKAIT). ISBN 978-80-87093-89-4.
- [7] DROCHYTKA Rostislav a kol. Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí. TP SSBK III, Brno: Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, 2012. ISBN 978-80-260-2210-7
- [8] HARVAN Ivan. PREDPÄTÝ BETÓN. Navrhovanie podľa spoločných európskych noriem, Druhé vydanie, Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2013. ISBN 978-80-227-4057-9.
- [9] NAVRÁTIL, Jaroslav. Předpjaté betonové konstrukce. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-561-7
- [10] KAŠPARŮ, Jakub. Statické řešení betonového komínu. Brno, 2012. XX s., YY s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.
- [11] ČSN EN 1990. Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [12] ČSN EN 1991 - 1 – 1, Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha

- [13] ČSN EN 1991 - 1 - 3. Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení - Zatížení sněhem. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [14] ČSN EN 1991 - 1 - 4. Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení - Zatížení větrem. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [15] ČSN EN 1991 - 1 - 5. Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení - Zatížení teplotou. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [16] ČSN EN 1992 - 1 – 1, Navrhování betonových konstrukcí: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [17] ČSN 73 4110 – Vysoké komíny. Praha: Český normalizační institut, 2013
- [18] ČSN EN 13084 – 1. Volně stojící komíny – část 1: Všeobecné požadavky. Praha: Český normalizační institut, 2007
- [19] ČSN EN 13084 – 2. Volně stojící komíny – část 2: Betonové komíny. Praha: Český normalizační institut, 2008
- [20] Mapei [online], Sanace betonových konstrukcí, Výběr materiálů a systémů, Dostupný z: http://www.mapei.com/public/CZ/download/sanace_betonovych_konstruci_web.pdf
- [21] eBeton [online], Pojmy, dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy>
- [22] JEŘÁBEK Zdeněk, Tovární komín Mladá Boleslav – Objekt ŠKO-ENERGO. Permanentní monitorování metodou BRIMOS®_PAVM, Praha: Infram, a. s. 2007.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2 - Schéma konstrukce

Obr. 2 – Pracovní diagramy betonu (skutečný, bilineární)

Obr. 3 – Pracovní diagramy oceli (skutečný, bilineární)

Obr. 4 – Pracovní diagramy předpínací výztuže

Obr. 5 – Mechanizmy chování porušeného dříku komína

Obr. 6 – Fotografie příčného rozrušení betonového dříku

Obr. 7 – Fotografie podélné trhliny betonového dříku

Obr. 8 – Denní letecké značení komínu

Obr. 9 – Kotvení průběžných obručí, typ kotvy 1X

Obr. 10 – Jednolanová kotva typ 1F13

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | |
|----------------|---|
| A_c | plocha betonu |
| $A_{c,eff}$ | efektivní plocha betonu |
| A_{cc} | tlačená plocha průřezu |
| A_p | plocha předpínací výztuže |
| $A_{p,1}$ | plocha jednoho předpínacího lana |
| A_s | plocha výztuže |
| B_2 | součinitel odezvy pozadí |
| C_x | tvarový součinitel konstrukce |
| E_c | modul pružnosti betonu |
| E_s | modul pružnosti betonářské výztuže |
| I_v | intenzita turbulence větru |
| K_w | součinitel korelační délky |
| L_t | měřítko délky turbulence |
| L_1 | účinná korelační délka |
| L_p | zkrácení účinné délky piloty |
| N | počet cyklů |
| N | počet předpínacích lan |
| N_{ed} | normálová síla způsobená vnějším zatížením |
| N_{rd} | normálová síla na mezi únosnosti |
| $M_{x,y}$ | ohybový moment |
| M_{ed} | moment způsobená vnějším zatížením |
| M_{rd} | moment na mezi únosnosti |
| R^2 | rezonanční část odezvy |
| R, R_e | Reynoldsovo číslo |
| R_h, R_b | aerodynamická admitance |
| R_{in} | odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce |
| R_{out} | odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce |
| $R_{x,y,z}$ | reakce |
| T_{in} | vstupní teplota spalin |
| T_{ex} | teplota exteriéru |
| S_L | výkonová spektrální hustota v bezrozměrném tvaru |
| S_t | Struhalovo číslo |
| $P_{0,k}$ | předpínací síla v čase 0 |
| $P_{\infty,k}$ | předpínací síla v čase nekonečno |
| $P_{m0,k}$ | střední hodnota předpínací síly v čase 0 |
| $P_{skut,k}$ | skutečná předpínací síla |
| c | krycí vrstva betonu |
| C_{dir} | součinitel směru |
| $C_{e(z)}$ | součinitel expozice |
| C_f | součinitel síly pro válce |
| $C_{f,0}$ | součinitel síly bez vlivu koncového efektu |
| C_{fl} | součinitel flukтуаční složky větru |
| C_{prob} | součinitel pravděpodobnosti |
| C_{pe} | součinitel vnějšího tlaku |

| | |
|---------------------------------|---|
| C_r | součinitel drsnosti co součinitel orografie |
| C_{season} | součinitel ročního období |
| d | vnější průměr komínového tělesa |
| $e_{,f}$ | regresivní součinitelé |
| f_1 | první vlastní frekvence ohybového kmitání |
| f_{cd} | návrhová pevnost betonu v tlaku |
| f_{ctm} | střední pevnost betonu v tahu |
| f_{ck} | charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku |
| f_L | frekvence v bezrozměrném tvaru |
| f_{yd} | návrhová pevnost výztuže v tahu |
| f_{yk} | charakteristická hodnota pevnosti oceli- mez kluzu |
| k_p | součinitel maximální hodnoty |
| k_r | součinitel terénu |
| k_w | součinitel výšky komínu |
| $n_{1,x}$ | základní frekvence kmitání ve směru větru |
| q_b | referenční (základní) dynamický tlak (pro střední rychlost) |
| q_p | maximální hodnota dynamického tlaku (dynamický tlak při nárazu větru) |
| q_o | velikost napětí na patě |
| q_s | průměrné plášťové tření t tloušťka stěny komínu u kontrolní obvod |
| v_b | základní rychlost |
| $v_{b,0}$ | výchozí hodnota základní rychlosti větru |
| v_{crit} | kritická rychlost větru |
| v_m | střední rychlost větru |
| w_0 | základní tlak větru |
| w_{dyn} | dynamická složka zatížení |
| w_m | střední zatížení větru |
| w_n | normálová složka zatížení větrem |
| Z_0 | parametr drsnosti terénu |
| Z_{min} | minimální výška |
| Z_c | rameno vnitřních sil |
| x | výška tlačené oblasti |
| x_{lim} | limitní poloha neutrální osy |
| α | exponent |
| γ_c | součinitel spolehlivosti betonu |
| γ_f | součinitel zatížení |
| γ_s | součinitel spolehlivosti výztuže |
| ν | kinematická viskozita vzduchu |
| δ | logaritmický dekrement útlumu |
| $\delta(i)$ | dynamický součinitel konstrukce |
| δ | celkový logaritmický dekrement útlumu konstrukce |
| δ_w | součinitel pulzací rychlosti větru |
| $\epsilon_{c3}, \epsilon_{cu3}$ | poměrné přetvoření betonu |
| $\epsilon_{yd}, \epsilon_s$ | poměrné přetvoření oceli |



| | |
|------------------|---|
| λ | součinitel štíhlosti |
| λ | součinitel výšky tlačené oblasti |
| ϕ | součinitel plnosti |
| κ | vliv tvarů vlastních kmitů |
| K_w, K_{wm} | součinitel výšky |
| ρ | objemová hmotnost |
| ψ_f | součinitel koncového efektu |
| ϑ | logaritmický dekrement útlumu |
| \emptyset | průměr výztuže |
| σ | napětí |
| σ_s | napětí ve výztuži |
| $\sigma_{s,lim}$ | limitní napětí ve výztuži |
| σ_c | tlakové napětí |
| σ_t | tahové napětí |
| σ_{pmo} | napětí v době předpínání |
| $\sigma_{p,max}$ | maximální přípustné napětí předpínací výztuži |

SEZNAM PŘÍLOH

A) PODKLADY

- A.1) Technické zadání pro realizaci, Vypracované Ing. J. Dvořáčkem, ŠKO-ENERGO
- A.2) Kopie části původní projektová dokumentace stávajícího stavu, Vypracované TEPLOTECHNA, n. p., Praha 1974 – 1975
- A.3) Tovární komín Mladá Boleslav. Objekt ŠKO-ENERGO, Vypracované INFRAM, a. s. (zkrácený výtah ze zprávy)

B) STATICKÝ VÝPOČET

C) VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

- | | | |
|-----|--------------------------------------|------------------|
| C.1 | VÝKRES TVARU DŘÍKU KOMÍNA | M 1:400 |
| C.2 | VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE, MODUL 1-2 | M 1:100 (M 1:50) |
| C.3 | VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE, MODUL 2-3 | M 1:100 (M 1:50) |
| C.4 | VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE, MODUL 3-4 | M 1:100 (M 1:50) |
| C.5 | DETAIL KOTVENÍ D1 | M 1:5 |
| C.6 | DETAIL KOTVENÍ D2 | M 1:5 |