



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

STATIKA ATYPICKÉHO RD

STATICS OF AN ATYPICAL FAMILY HOUSE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Bartoň

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ STRNAD, Ph.D.

BRNO 2022



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 Bartoň
Název	Statika atypického RD
Vedoucí práce	Ing. Jiří Strnad, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

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

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

EC a ČSN z oboru betonových a zděných staveb, geotechniky atd. (včetně změn a doplňků).
Skripta, podklady a opory používané ve výuce na ÚBaZK FAST VUT v Brně
Výpočetní programy pro PC

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Provedte návrh a posouzení betonové střechy nad RD, která bude přesypána zeminou a osázena vegetací. Při návrhu využijte účinků předpětí. Součástí návrhu bude i volba způsobu podepření a ověření únosnosti těchto podpor.

Požadované výstupy:

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

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

P2. Výkresy (přehledné, podrobné a detaily v rozsahu určeném vedoucím práce)

P3. Statický výpočet

P4. Stavební postup

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1x na CD.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Jiří Strnad, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením předpjatých konstrukcí rodinného domu s vegetační střechou. Vytvoření statického modelu bylo provedeno pomocí programu SCIA Engineer.

KLÍČOVÁ SLOVA

Předpjatá beton, vnitřní síly, nosná konstrukce, trámový strop, statický model, metoda konečných prvků, průvlak., statický výpočet, mezní stav použitelnosti

ABSTRACT

The diploma thesis deals with a design and assessment a prestressed ceiling structure above a family house with a vegetated roof. The creation of the static model was analyzed by the SCIA Engineer program.

KEYWORDS

Prestressed concrete, internal forces, supporting structure, beamed ceiling, static model, finite element method, static calculation, serviceability limit state

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Jakub Bartoň *Statika atypického RD*. Brno, 2022. 22 s., 204 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jiří Strnad, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Statika atypického RD* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2022

Bc. Jakub Bartoň
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Statika atypického RD* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2022

Bc. Jakub Bartoň
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mému vedoucímu práce panu Ing. Jiřímu Strnadovi, PhD. za cenné informace, trpělivost, poznatky z praxe a čas, který mi věnoval při vypracování této práce. Chtěl bych také poděkovat své rodině a přátelům za jejich podporu během celého studia.

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	POPIS OBJEKTU	10
3	ZALOŽENÍ OBJEKTU	11
4	SVISLÉ KONSTRUKCE.....	11
5	VODOROVNÉ KONSTRUKCE	12
6	MATERIÁL	13
7	ZATÍŽENÍ	16
8	KOMBINACE	17
9	PŘEDPĚTÍ.....	18
10	PODMÍNKY.....	19
11	ZTRÁTY	19
12	VYZTUŽOVÁNÍ	20
13	ZÁVĚR.....	21
14	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	22
15	PŘÍLOHY	22

1 ÚVOD

Diplomová práce se zabývá návrhem předpjaté stropní konstrukce a předpjatého průvlaku rodinného domu s vegetační střechou. Statický model konstrukcí a výpočet vnitřních sil na konstrukcích je proveden pomocí výpočtového programu SCIA Engineer 2019 na principu MKP – metoda konečných prvků. Na výsledné hodnoty získané programem, které jsou ověřeny ručním výpočtem, je následně navrženo vyztužení konstrukcí. Součástí diplomové práce je i výkresová dokumentace vyztužených konstrukcí.

2 POPIS OBJEKTU

Jedná se o jednopodlažní rodinný dům s vegetační skladbou střechy. Dům je rozdělen na dvě části, kde pravou půdorysnou stranu střešní konstrukce vynáší trémová deska a levou část pak panely SPIROLL. Panely SPIROLL jsou usazeny z jedné strany na předpjatém řešeném průvlaku P1 a z druhé strany na bodově podepřeném nosníku pomocí pilířů, které jsou provázány se stěnou podpírající trémový strop. Objekt je obdélkového půdorysného tvaru o rozměrech 14,75x12,81 m a výškou 4 metry od úrovně upraveného terénu v okolí stavby.

Jak už bylo zmíněno, střecha rodinného domu je vegetační se skladbou od firmy Stavebniny DEK a funguje na principu pochozí travnaté vrstvy s odvodněním ve spodních částech skladby, tím je umožněno střechu využít i jako pochozí plochu díky navrženému zábradlí. Nástup na střechu v diplomové práci není řešeno.

3 ZALOŽENÍ OBJEKTU

Stavba rodinného domu se nachází v části obce Karlovice – Radvánovice v Libereckém kraji na území českého masivu, konkrétně Platformní pokryv – spraš a sprašová hlína. Celá půdorysná pravá strana objektu bude založena na základových pasech z prostého betonu, které budou propojeny se dvěma patkami pod sloupy předpjatého průvlastu, levé části. Základové pasy budou propojeny roštem i vnitřkem konstrukce, kvůli stabilizaci excentrického působení svislých konstrukcí. Vnější základové pasy budou navrženy na výšku nezámrzné hloubky.

4 SVISLÉ KONSTRUKCE

Převážná část budovy je tvořena zděnými tvárnicemi firmy LIAPOR. Obvodové stěny tvoří zdící prvky Liapor SL 365 – tvárnice z lehkého keramického Liaporbetonu, materiál poskytuje potřebnou izolaci a zároveň tvárnice dobře akumulují a vyrovnávají teplotní rozdíly vnějšího a vnitřního prostředí. Střední nosná stěna, má stejné parametry jako stěna obvodová tl. 365 mm, a je řešena jako kloubová podpora trámové desky. Ze střední nosné stěny vystupují malé pilíře, které nesou ŽB průvlast vynášející polovinu levé části střešní konstrukce. V objektu jsou také betonové sloupy S1 vynášející předpjatý průvlast nesoucí druhou polovinu tíhy levé části střechy. Sloupy jsou pevně spojeny s průvlastem, kvůli zajištění tuhosti nosníku a minimalizování deformací uprostřed průvlastu. Dodatečně předepnutý průvlast P1 má idealizované rozpětí téměř 14 m (13,95m), proto je tedy řešen technologií předpjatého betonu. Předpětí je navrženo dodatečně bez soudržnosti výztuže typem lana Y1770 15,6 S7 od firmy FREYSSINET a třídou betonu C30/37 MPa.

5 VODOROVNÉ KONSTRUKCE

Statickým výpočtem byla navržena a posouzena vodorovná konstrukce objektu, a to předpjatá stropní trémová deska D1, nacházející se v pravé části objektu. Stropní konstrukce je navržena jako trémový strop, díky vyššímu průřezu lze dosáhnout lepšího trasování předpjatého lana a tím i příznivějších účinků vzdorující konstrukce. Desku tloušťky 80 mm vynáší trámy v osové vzdálenosti 1,5 m. Ve statickém výpočtu je posuzována konstrukce jako T – průřez, nosník na prostém uložení s převislým koncem.

Předpětí je navrženo jako dodatečné bez soudržnosti výztuže – lana typu Monostrand Y1770 15,7 S7 od firmy FREYSSINET. Třída betonářské výztuže byla zvolena B500B se třídou betonu C30/37.

Půdorysné rozměry desky D1 jsou 14,85 x 8,32 m a dále zidealizované ve výpočetním programu na 14,485 x 8,218 m.

Pro vnitřní prostředí je ve výpočtech uvažován vliv prostředí XC1 – suché prostředí a konstrukční třída pro návrhovou životnost 50 let S4.

6 MATERIÁL

BETON

Třída C 30/37

Pevnost v tlaku

- $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
- $f_{ck,cube} = 37 \text{ MPa}$
- $f_{cm} = 38 \text{ MPa}$
- $\gamma_c = 1,5$
- $f_{cd} = 30/1,5 = 20 \text{ MPa}$

Pevnost v tahu

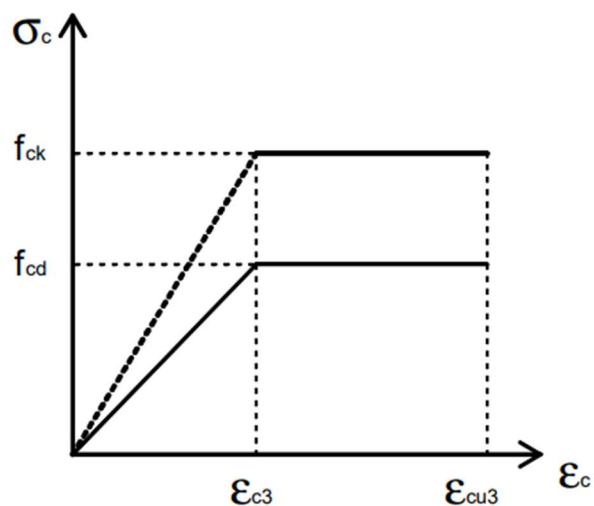
- $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
- $f_{ctk;0,05} = 2 \text{ MPa}$
- $f_{ctk;0,95} = 3,8 \text{ MPa}$

Sečnový modul pružnosti betonu

- $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Přetvoření betonu

- $\epsilon_{c1} = 2,2 \text{ ‰}$
- $\epsilon_{cu1} = 3,5 \text{ ‰}$
- $\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$



c/ návrhový bilineární pracovní diagram betonu v tlaku

PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ

FREYSSINET Y1770 S7 – 15,7

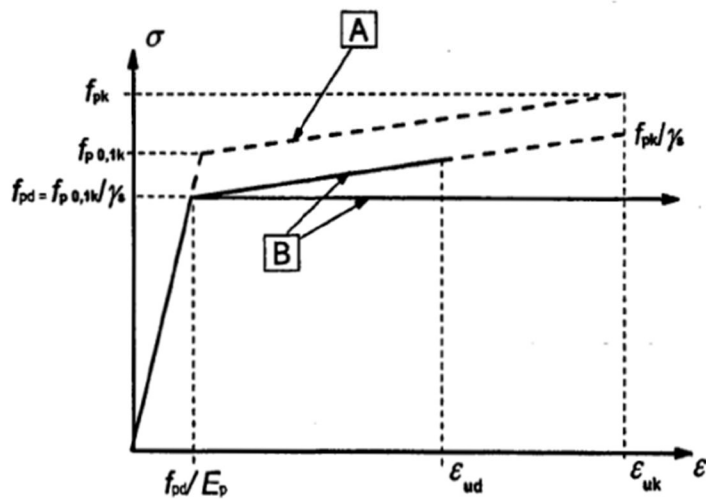
Nesoudržné lano s HDPE obalem – MONOSTRAND

Materiálové charakteristiky

- $\varnothing = 15,7 \text{ mm}$
- $A_{p1} = 150 \text{ mm}^2$
- $f_{pk} = 1770 \text{ MPa}$
- $f_{pk0,1} = 1560 \text{ MPa}$
- $E_p = 195 \text{ GPa}$
- $\gamma_c = 1,15$
- $f_{pd} = 1560 / 1,15 = 1356,5 \text{ MPa}$

A – idealizovaný

B – návrhový



BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ

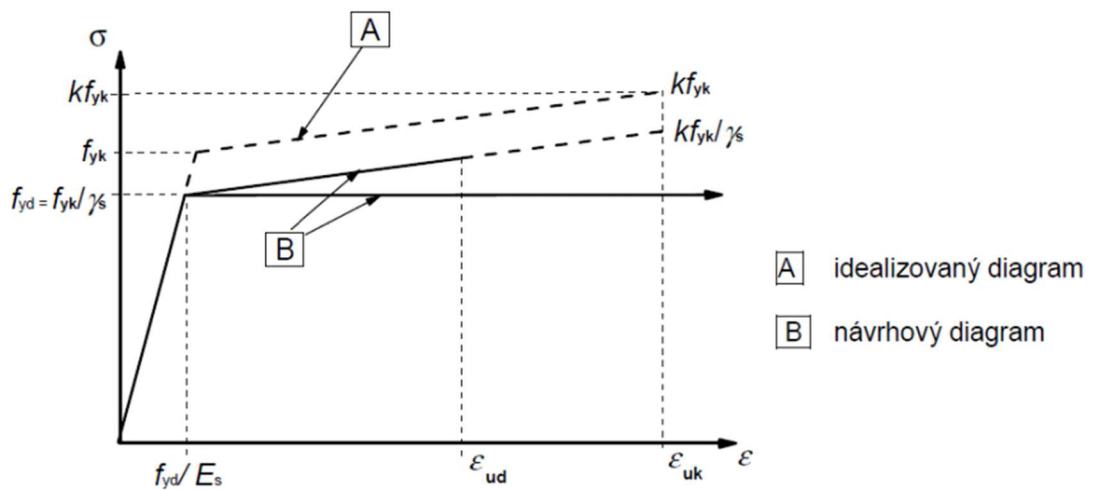
Třída B500B

Pevnost v tahu

- $f_{yk} = 500$ MPa
- $\gamma_c = 1,15$
- $f_{yd} = 500 / 1,15 = 434,78$ MPa
- $f_{ctk,0,05} = 2,0$ MPa
-

Modul pružnosti oceli

- $E = 200$ GPa



Pracovní diagram betonářské oceli (pro tah i tlak)

7 ZATÍŽENÍ

Zatížení je rozděleno na stálé a proměnné složky. Stálé složky obsahují tři zatěžovací stavy.

První zatěžovací stav, znázorňuje vždy a pouze vlastní tíhu navrhované konstrukce. Je uvažováno s tíhovým zrychlením $g = 10 \text{ m/s}$ a s objemovou hmotností betonu 2500 kg/m^3 .

Druhý mezní stav obsahuje samotnou konstrukci střechy bez navrhované konstrukce. Ve statickém výpočtu je navržena skladba vegetační střechy s odpovídajícími tloušťkami, dle kterých je vypočítáno plošné zatížení na 1 m^2 .

Třetí mezní stav zahrnuje atiku včetně zábradlí a přibližnou hmotností fasády. Vypočítaná hodnota pak působí liniově na převislou část konstrukce desky. Na samotný průvlak je zatížení atikou sníženo o samotnou ŽB atiku, která je nahrazena průvlakem samotným.

Čtvrtý zatěžovací stav tvoří užité zatížení a řadí se tím pádem do druhých složek, proměnných zatížení. Je uvažováno s typem užitého zatížení A – Obytné budovy, kvůli možnosti shromažďování na střeše.

Pátý a šestý stav obsahuje zatížení sněhem a větrem, s těmito zatíženími není ve výpočtu počítáno a je zvoleno nejnepříznivější zatížení od čtvrtého ZS.

Jelikož je střecha pochozí, a vítr působí na celou střechu záporně (sání), tak zatížení od větru nebude rozhodující, stejně tak zatížení sněhem, které se schová do užitého zatížení 3 kN/m^2 , obě zatížení nejsou ve stejnou dobu možné (v zimním období nebude střecha využívána, v letním období je zatížení sněhem nulové) => v dalších fázích je uvažováno pouze s užitným zatížením 3 kN/m^2 .

Sedmý zatěžovací stav předpětí vznikne po vyhodnocení všech ztrát. Na konstrukci modelu je následně aplikováno ekvivalentní zatížení od předpětí působící na navrhované konstrukce.

8 KOMBINACE

Pro správné navržení předpětí jsem uvažoval kombinace tří rovnic pro Mezní stav použitelnosti a to:

Charakteristická

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Častá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Se součiniteli pro kat. A

$$\psi_1 = 0,5$$

$$\psi_2 = 0,2$$

A nakonec pro Mezní stav únosnosti dvě kombinace podle rovnice 6.10, kde méně příznivá 6.10a, protože proměnné zatížení nebylo rozhodující.

Rce 6.10 a

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

Rce 6.10 b

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

9 PŘEDPĚTÍ

Vnesení předpětí do trémového stropu bylo hlavně z důvodu požadavků investora na minimální deformaci konstrukce, zejména průhybu uprostřed pole mezi podporami vlivem velkého zatížení od skladby vegetační střechy. Dalším důvodem byla možnost proniknutí vody z vegetační střechy do konstrukce vlivem špatného odvodnění a nedokonalého provedení izolace. Předpětí proto vnáší do konstrukce tlak a omezuje vznik trhlin na horním líci, kterým by mohla vniknout voda do konstrukce a oslabit ji vznikem koroze výztuže.

Průvlak vynášející levou část konstrukce střechy je navržen také pomocí dodatečně předpínaných lan typu Monostrand – nesoudržná výztuž. Je to z důvodu velkého rozpětí a přání investora zachovat výhled z objektu, jako jednoho celku bez vnitřního členění.

Byl použit Předpínací systém od firmy FREYSSINET. Pro desku to byl systém kotvení F pro tenkostěnné konstrukce s aktivní jednolanovou kotvou 1F15, a s kotvou pasivní NB 1F15. Pro průvlak bylo navrženo kotvení řady C s aktivní kotvou 3C15 a pasivní kotvou typu NB 3C15.

VÝPOČET PŘEDPĚTÍ

Předpínací sílu jsem hledal pomocí metody omezení napětí v betonu na horních a spodních vláknech, vždy pro každou podmínku určité kombinace.

10 PODMÍNKY

- | | |
|---------------------------------|------------------|
| a) $\sigma_c^- \leq 0,6f_{ck}$ | CHARAKTERISTICKÁ |
| b) $\sigma_c^- \leq 0,45f_{ck}$ | KVAZISTÁLÁ |
| c) $\sigma_c^+ \leq f_{ctm}$ | ČASTÁ |

Odhadl jsem polohu předpínací výztuže a pomocí tří nerovnic byla pouze jedna neznámá, a to hledaná síla P – dostal jsem 6 možných hodnot předpínací síly, vždy jinou pro každou kombinaci a jiný čas, které jsem si proložil do osy a získal interval možné předpínací síly.

11 ZTRÁTY

Krátkodobé ztráty

-ztráty které proběhnou do jednoho dne od napínání lana. Do krátkodobých ztrát byla zahrnuta ztráta třením, pokluzem, postupným napínáním a relaxací předpínací výztuže.

Podílem krátkodobých ztrát s maximálním napětím $\sigma_{pmax} = 1404$ MPa vyšel procentuální pokles napětí

- u desky 9%
- u průvlaku 8,1%

Dlouhodobé ztráty

-ztráty které proběhnou od jednoho dne napínání lana do konce životnosti 50 let. Do dlouhodobých ztrát byla zahrnuta ztráta předpětí smršťováním betonu, dotvarováním betonu a relaxací předpínací výztuže

Podílem dlouhodobých ztrát s napětím od krátkodobých ztrát vyšel procentuální pokles napětí

- u desky 6,9%
- u průvlaku 8,1%

MSP

Ve statickém výpočtu byl také řešený Mezní stav použitelnosti –

- a) Omezení napětí v betonu
- b) Omezení napětí ve výztuži
- c) Omezení vzniku trhlin
- d) Průhyb

V omezení napětí nebylo uvažováno s odchylkou síly $r_{sup} = 1,1$, $r_{inf} = 0,9$ => firma, která zajišťuje předpínání musí dodržet stanovenou hodnotu Předpínací síly pomocí siloměru a kontroly protažení lana.

Průhyb u T-Průřezu byl spočítán pomocí Tabulkové Deformace prostého nosníku konstantního průřezu, kdy byl nosník rozdělen na 2 – prostý nosník a převislý konec (konzola), ze které působil moment na prostý nosník, a tudíž byla možnost vypočítat průhyby od každého zatížení včetně předpětí. Výsledná hodnota průhybu od kvazistálé kombinace vyhověla na normové hodnoty. Výsledné hodnoty z výpočetního programu SCIA Engineer byly 2x nižší než průhyby vypočítané ručně, díky větší tuhosti celé konstrukce.

12 VYZTUŽOVÁNÍ

Vyztužování jsem provedl podle kombinace pro Mezní stav únosnosti rovnice 6.10a.

Výpočet dimenzí prvku nemohlo být provedeno jako u klasické železobetonové konstrukce z důvodu účinků předpětí na danou konstrukci. Proto se muselo určit základní napětí v betonu (metoda dekomprese), které vyvodilo přírůstek síly ΔF od předpětí a průřez mohl být dále navrhován jako železobeton. V konstrukcích byla dále navržena hlavní a konstrukční výztuž dle MMP – Metody mezních přetvoření. Smyková výztuž byla rozmístěna konstrukčně v obou průřezech vlivem vyvozeného tlaku od předpětí a vyšší účinnosti konstrukce odolávat vnějšímu zatížení.

13 ZÁVĚR

V mé diplomové práci jsem navrhl řešení předpjaté stropní trémové konstrukce a předpjátého průvlatu Atypického rodinného domu. Na základě ručního statického výpočtu byla vypracovaná výkresová dokumentace. Na základě všech požadavků investora konstrukce vyhověla na průhyb konstrukcí i omezení vzniku trhlin.

14 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

LITERATURA:

[1] BAŽANT, Zdeněk, Betonové konstrukce I – Betonové konstrukce plošné – část 1. Brno: VUT v Brně, 2005,

[2] NAVRÁTIL, Jaroslav. Předpjaté betonové konstrukce. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2649-7.

[3] ZICH, Miloš. Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódu. Praha: Dashöfer, 2010. ISBN 978-80-86897-38-7.

NORMY:

[5] ČSN EN 1992-1-2. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2006.

[6] ČSN EN 1990 ed. 2 (730002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

[7] ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí, Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2004.

WEBOVÉ STRÁNKY:

[8] Předpínací výztuž (online). Dostupné z: http://www.fressinet.cz/176-predpinaci_vyztuz

15 PŘÍLOHY

- P1. Použité podklady
- P2. Výkresy tvaru a výztuže
- P3. Statický výpočet