ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

JAN HARŠ

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí

Statické řešení vložkového stropu nad rohovým oknem

Bakalářská práce

Vypracoval: Jan Harš

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Bílý, Ph.D.

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Praha 2018

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Harš Jméno: Jan Osobní číslo: 424330

Zadávající katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Statické řešení vložkového stropu nad rohovým oknem

Název bakalářské práce anglicky: Structural analysis of combined slab above corner window

Pokyny pro vypracování:
Přehled možností statického řešení stropu nad rohovým oknem, jejich zhodnocení
Návrh řešení vložkového stropu nad rohovým oknem bez svislé podpory - postup statického výpočtu, aplikace na zvoleném objektu
Stanovení rozsahu použitelnosti zvoleného statického řešení
Zhodnocení splnění požadavků na jednoduchost realizace a splnění tepelnětechnických požadavků

Seznam doporučené literatury:
Košatka: Zděné konstrukce 1. ČVUT, 2010.
HELUZ Technická příručka pro projektanty a stavitele
Samostatně vyhledejte další vhodnou literaturu

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Petr Bílý, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 23.2.2018 Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2017
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce" a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací".

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Jsem si vědom toho, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., ve znění zákona č. 81/2005 Sb. (autorský zákon).

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Ústřední knihovně fakulty stavební a Fakulty architektury ČVUT.

V Praze dne ……..

……

Jan Harš

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkovat panu Ing. Petru Bílému, Ph.D. za vedení práce, konzultace, užitečné rady a pomoc při vypracování této bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Pavlu Heinrichovi za konzultace a užitečné rady při vypracování této bakalářské práce.

Souhrn

Tato bakalářská práce je zaměřena na statické řešení vložkového stropu nad rohovým oknem. Začátek tvoří shrnutí používaných variant řešení stropu nad rohovým oknem. Dále je navrženo řešení, jakým by se dal staticky řešit vložkový strop nad rohovým oknem bez svislé podpory. Pro toto řešení je sestaven výpočetní postup. Dále je zde podle tohoto postupu navrženo a posouzeno několik základních rozměrů rohových oken s cílem zjistit, do jakého vyložení je navržené řešení použitelné.

Klíčová slova

Překlad, strop, okno, zdivo.

Summary

This bachelor diploma thesis deals with structural analysis of combined slab above corner window. In the beginning, possible alternative solutions are introduced. The main part of the work is the design of a structural solution that allows to eliminate the vertical support in the corner window. Calculation procedure for this solution is proposed. With the use of this procedure, several basic dimensions of corner windows are assessed with the aim to determine the applicability limits of the proposed solution.

Key words

Lintel, slab, window, masonry.

Obsah

1 Úvod 8
2 Možnosti statického řešení stropu nad rohovým oknem 9
2.1 Řešení se sloupkem 9
2.2 Řešení bez sloupku 13
3 Řešení vložkového stropu nad rohovým oknem bez svislé podpory 14
3.1 Popis konstrukčních prvků, materiálové řešení 14
3.2 Tepelně technické řešení 16
3.3 Postup statického řešení 17
3.4 Výpočet okenního otvoru s vnitřním rozměrem 1300 x 1300 mm 18
3.4.1 Konzervativnější statický model 20
3.4.2 Přesnější statický model 32
3.5 Analýza použitelnosti zvoleného řešení 41
3.6 Výsledky řešení 45
4 Závěr 47
5 Literatura 48
6 Použitý software 49
7 Přílohy 50
7.1 Příloha 1: Protokol z programu Teplo 50
7.2 Příloha 2: Protokol z programu Area 55
7.3 Příloha 3: Schéma výkresu skladby 59
7.4 Příloha 4: Schéma vyztužení 60
7.5 Příloha 5: Výpočet průhybů od smrštění 62

1 Úvod

Téma této bakalářské práce vzniklo na popud firmy HELUZ, která se zabývá výrobou cihelných a doplňkových výrobků pro kompletní výstavbu převážně obytných budov. Od zákazníků se setkávaly s dotazy na systémové řešení rohových oken bez sloupku. Rohový sloupek je výhodný ze statického hlediska, přináší však jisté komplikace v oblasti tepelné techniky a estetiky.

Cílem této bakalářské práce je vytvoření konstrukčního řešení překladu ve spojení s vložkovým stropem nad rohovým oknem bez sloupku. Součástí práce je posouzení tepelně-technických vlastností vytvořeného řešení. Dále je v práci navržen výpočetní postup pro železobetonový rohový překlad. Podle výpočetního postupu je v práci navrženo vyztužení a posouzena únosnost a použitelnost pro 9 rozměrových variant rohových oken.

2 Možnosti statického řešení stropu nad rohovým oknem

2.1 Řešení se sloupkem

Velmi častou možností, jak řešit překlad se stropní konstrukcí nad rohovým oknem, je využití sloupku v rohu okna.

Sloupek bývá nejčastěji z uzavřeného ocelového profilu, na který jsou na oba konce navařeny ocelové kotevní desky. Kotevní desky bývají navařovány z důvodu roznesení sil a zabránění drcení materiálu pod a nad sloupkem.

Samotný překlad pak má několik materiálově-technických variant. Jednou variantou je použití ocelových otevřených profilů, nejčastěji tvaru „I“ a „U“. Tyto profily je možno svařit s horní kotevní deskou sloupku.

Obr. 1 Ocelový rohový překlad uložený na ocelovém sloupku (stavba bytového domu v Litoměřicích, foto autor)

Častou variantou je železobetonový překlad spojený s ocelovým sloupkem. Zde je možné na horní kotevní desku navařit trny z betonářské výztuže a po zabetonování dojde ke spojení železobetonového překladu a ocelového sloupku.

Obr. 2 Železobetonový rohový překlad uložený na ocelovém sloupku (stavba rodinného domu v Písku, foto autor)

Jako další varianta bývají na sloupky ukládány prefabrikované překlady různých výrobců. Protože zde nedochází k betonáži, a svaření překladu se sloupkem také není možné, vyžaduje toto řešení na horním konci sloupku složitější svařenec, aby došlo k zajištění prostorové stability.

Obr. 3 Uložení keramo-betonových překladů na ocelový sloupek [1]

Řešení se sloupkem v rohu okna je staticky velmi výhodné, na každé straně okna vznikne prostý nosník. Sloupek značně omezí průhyb překladu, což je velice důležité a žádané. Nevýhodou tohoto řešení je, že sloupek se většinou umisťuje do interiéru, kde výrazně kazí estetický dojem, který by mělo rohové okno vyvolávat.

Obr. 4 Pohled z interiéru na sloupek u rohového okna (rodinný dům, foto poskytl Ing. Heinrich)

2.2 Řešení bez sloupku

Pro řešení překladu nad rohovým oknem bez sloupku je možné využít ocelové profily. Tyto profily je možné v rohu vzájemně svařit. Je však problematické zajistit vetknutí ocelových profilů nad ostěním.

U dřevostaveb je možné řešit tento problém fošnami či trámy, které se snadno spojí v rohu překladu a nad ostěním se zakotví do ztužujícího věnce, který bývá často prováděn z fošen.

Velmi používaným řešením je železobetonový rohový překlad, který je zakotven a vetknut do železobetonového věnce.

Obr. 5 Železobetonový rohový překlad [2]

Toto řešení je dále rozpracováno ve spojení s vložkovým stropem s využitím výrobků firmy HELUZ.

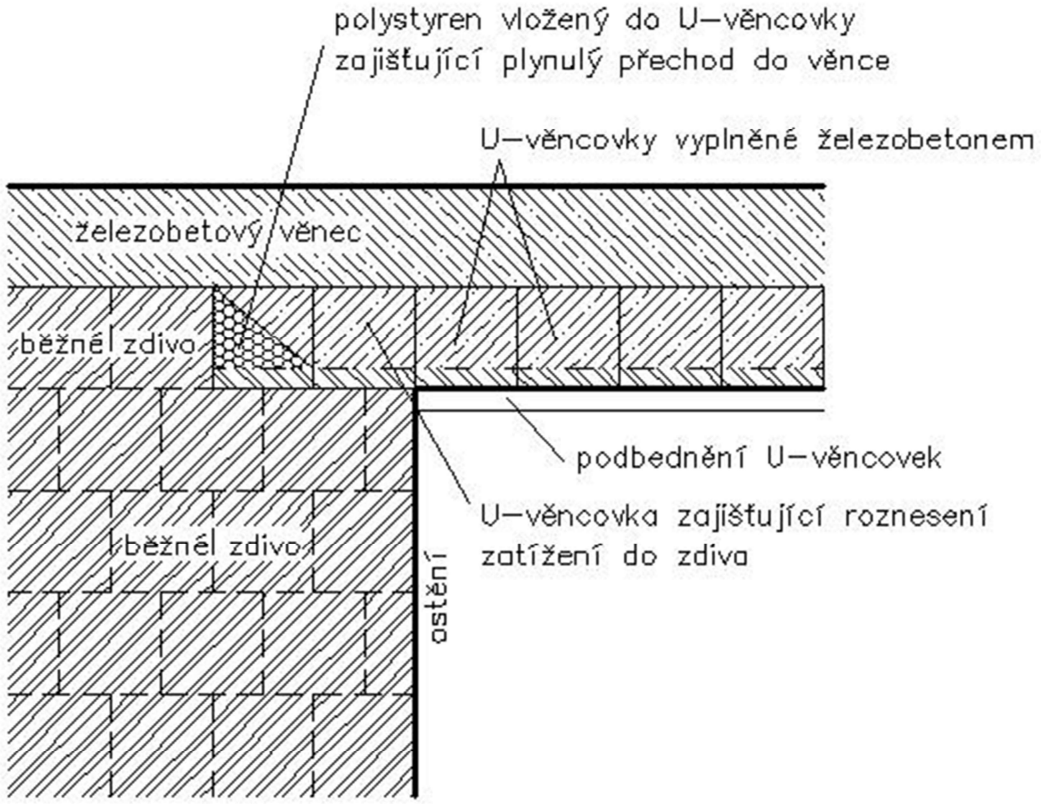
3 Řešení vložkového stropu nad rohovým oknem bez svislé podpory

3.1 Popis konstrukčních prvků, materiálové řešení

Vlastnosti výrobků byly převzaty z Technické příručky [3]. Volba prvků a materiálů využitých pro konstrukci vychází z konzultací s Ing. Pavlem Heinrichem ze společnosti HELUZ cihlářský průmysl, v.o.s.

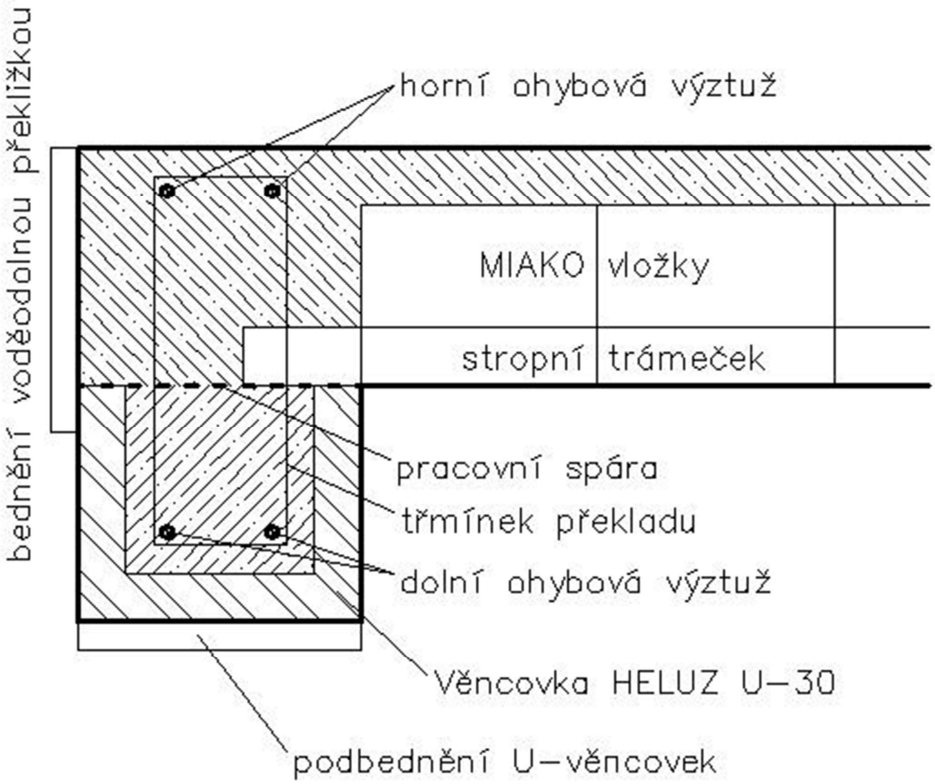
Na svislé nosné obvodové konstrukce je použito zdivo HELUZ PLUS 44. Zdivo není zatepleno, je pouze omítnuto. Vodorovná nosná konstrukce je vytvořena z keramického stropu HELUZ MIAKO. Rozteč trámečků je 625 mm. Výška MIAKO vložek je 190 mm a nadbetonávka je výšky 60 mm. Pro zmonolitnění stropu je použit beton C20/25.

Jako bednění překladu jsou použity věncovky U-30, které mají skladebné rozměry: šířka 300 mm, výška 250 mm a délka 250 mm. V rohu překladu budou věncovky zešikma seříznuté. Ve stavebním otvoru budou věncovky podbedněné a po celkovém zmonolitnění a dostatečném vyzrání betonu bude bednění odstraněno. Nad zdivem (ostěním) budou osazeny minimálně dvě věncovky. První věncovka od hrany ostění slouží k roznesení zatížení do zdiva. Únosnost zdiva je spočtena dále. Pokud únosnost zdiva nevyhoví, přidá se další věncovka, aby došlo ke zvětšení roznášecí plochy. Do nejvzdálenější věncovky od hrany ostění bude vložen zešikma seříznutý polystyren, tak aby byl vytvořen plynulý přechod překladu do věnce, který bude v úrovni stropu, a nehrozilo drcení přilehlého běžného zdiva ve vodorovném směru. Za touto věncovkou již bude poslední řada běžného zdiva.



Obr. 6 Schéma uložení U-věncovek na zdivo

Překlad, který je vybedněn věncovkami, bude vybetonován v předstihu před osazením stropních trámečků. Pracovní spára, která vznikne v úrovni horní hrany U – věncovek, musí být zdrsněna, aby došlo ke smykově účinnému propojení překladu s dodatečně betonovanou stropní deskou. Po osazení trámečků a MIAKO vložek bude vybedněna vnější hrana budoucího stropu nad překladem voděodolnou překližkou. Zabednění nad zdivem bude vytvořeno klasicky věncovkou HELUZ a polystyrenem dle montážního návodu. Poté může dojít ke zmonolitnění stropní desky.



Obr. 7 Schéma řezu překladem

Schéma výkresu skladby je přiloženo v Příloze 3.

3.2 Tepelně technické řešení

Celková šířka překladu i s věncovkou je 300 mm. Zbylých 140 mm šířky stěny bude využito na zateplení polystyrenem.

Součinitel prostupu tepla zdiva HELUZ PLUS bez omítek: U = 0,24 $\frac{W}{m^2*K}$

Součinitel prostupu tepla 300 mm železobetonu (U – věncovka má lepší tepelně technické vlastnosti než železobeton) a 140 mm EPS: U = 0,242 $\frac{W}{m^2*K}$ (tato hodnota byla vypočtena v programu Teplo).

Z pohledu součinitele prostupu tepla je zateplení překladu dostatečné.

Detail překladu byl také vymodelován v programu Area.

Minimální vnitřní povrchová teplota (při T_e = -15°C) $T_{s,min}$ = 16,2 °C

Lineární činitel prostupu tepla ψ = 0,097 $\frac{W}{m*K}$

- Pro výplň okenního otvoru se součinitelem prostupu tepla U = 1,0 $\frac{W}{m^2*K}$
- Rám okna je modelován zjednodušeně ze dvou dřevěných obdélníků

Požadovaná hodnota dle ČSN 730540-2 [4] $\psi_{K,N} = 0{,}10 \frac{W}{m*K}$

- Pro styk vnější stěny a výplně otvoru

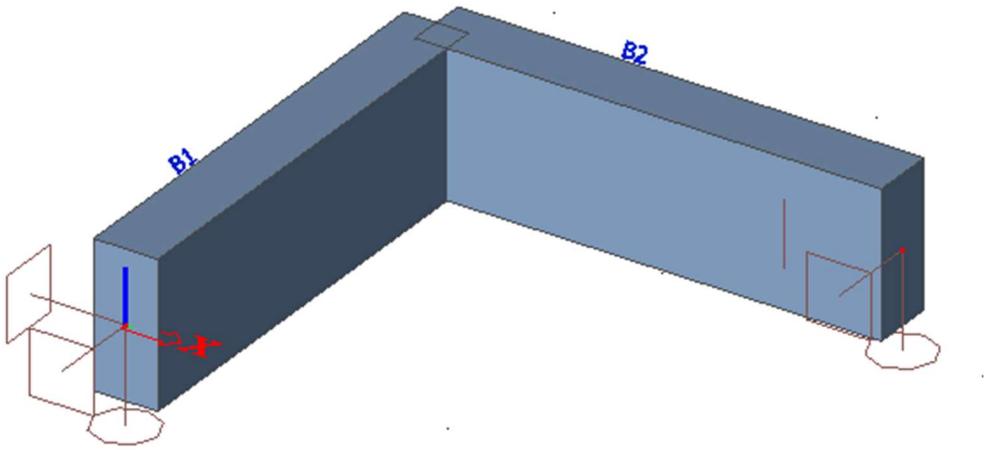
Protokol z programu Teplo je přiložen v Příloze 1.

Protokol z programu Area je přiložen v Příloze 2.

3.3 Postup statického řešení

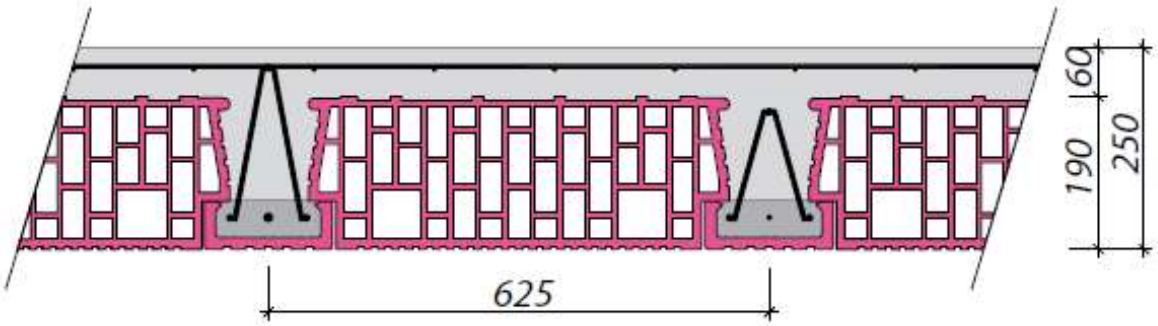
Byly navrženy dva statické modely, které byly vytvořeny ve výpočetním programu SCIA Engineer 16.0.

Základní statický model byl zvolen konzervativní, a to jako vetknutý rohový překlad. Staticky v modelu působí překlad se železobetonovým věncem, který je vytvořen v úrovni vložkového stropu. Model je tvořen prutovou konstrukcí, samotná konstrukce stropu v modelu nespolupůsobí s překladem, pouze jej zatěžuje. Překlad je zatížen příslušnými liniovými zatíženími.

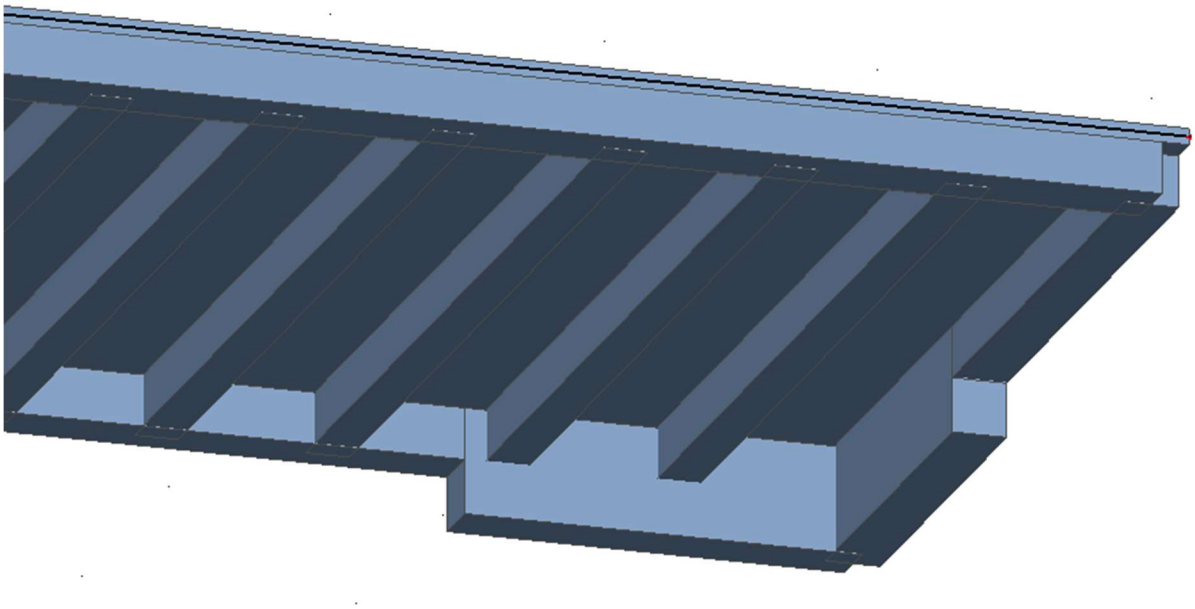


Obr. 8 Konzervativní statický model rohového překladu (prutová konstrikce)

V rámci podrobnějšího statického modelu bylo uvažováno spolupůsobení překladu s žebrovou stropní deskou. Žebra jsou v reálném stropě tvořena nosníky vložkového stropu a betonem mezi stropními vložkami. Vložky nebyly ve statickém modelu detailně modelovány, byly uvažovány pouze jako zatížení konstrukce. Program pro výpočty používá metodu konečných prvků, jako základní velikost prvků byl zvolen rozměr 0,1 m. Pro ověření správné velikosti prvků byly na stejném modelu zadány další velikosti prvků: 0,05 a 0,2 m. Vnitřní síly se po této změně lišily minimálně, a to v řádu jednotek procent. Z toho bylo vyvozeno, že velikost prvku 0,1 m bude dostačující.



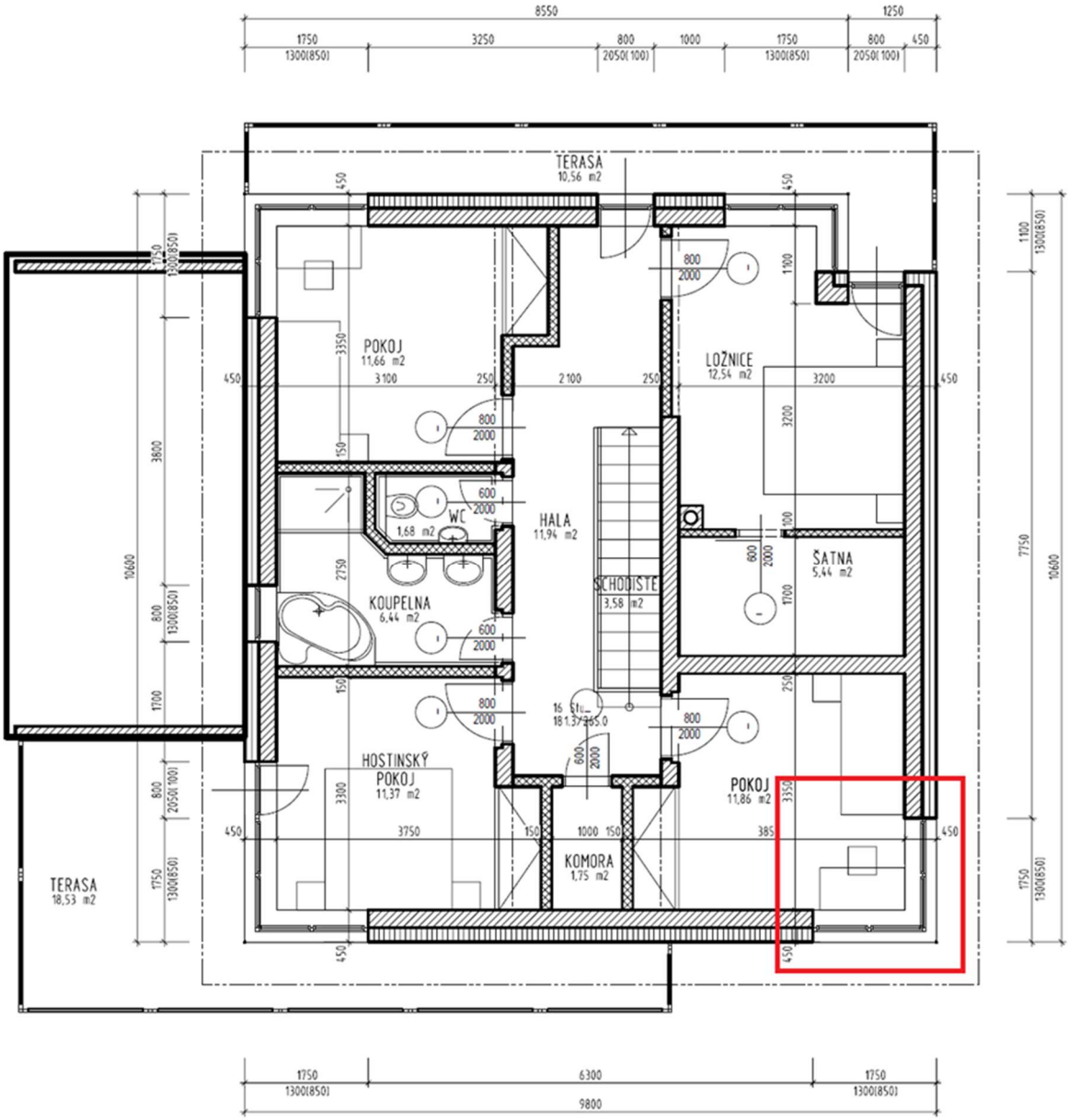
Obr. 9 Reálná konstrukce vložkového stropu [5]



Obr. 10 Podrobnější statický model konstrukce (roštová konstrukce)

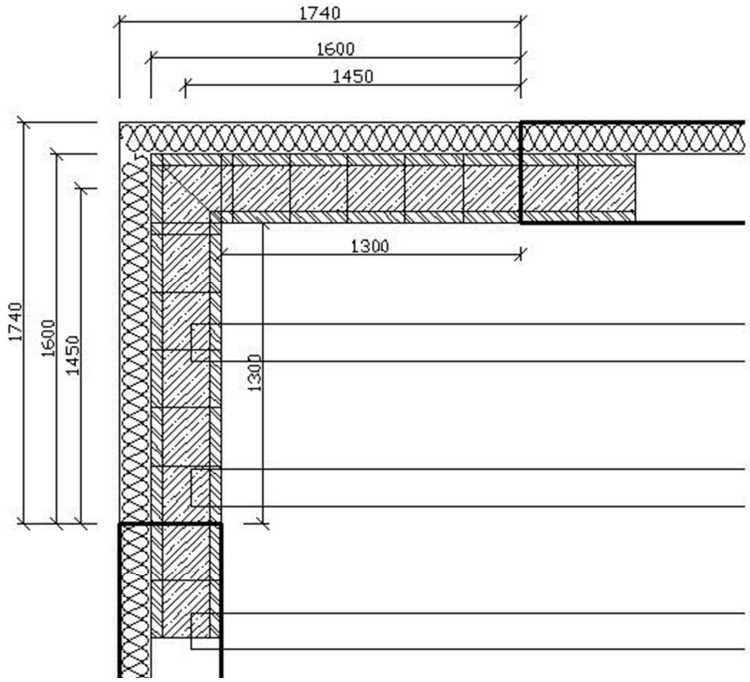
3.4 Výpočet okenního otvoru s vnitřním rozměrem 1300 x 1300 mm

Vzorový výpočet byl proveden pro vybraný detail stropní konstrukce rodinného domu (viz obrázek 11). Po konzultaci s Ing. Heinrichem ze společnosti HELUZ byla zvolena konstrukce s parametry, které se běžně vyskytují u aktuálně prováděných staveb.

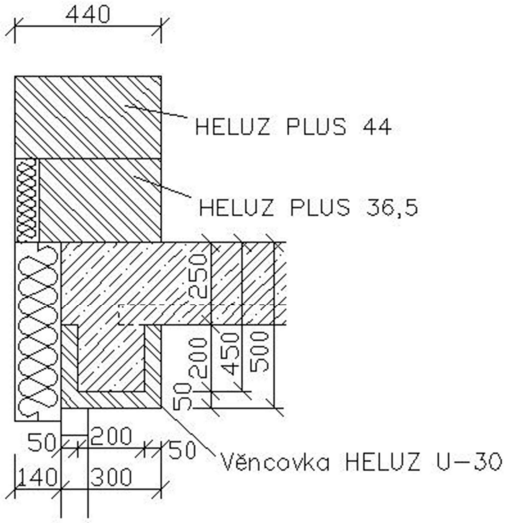


Obr. 11 Půdorys řešené konstrukce. Červený obdélník označuje analyzovaný detail

Pro nosnou obvodovou konstrukci je použito jednovrstvé zdivo HELUZ PLUS tloušťky 44 cm. Aby byl vnitřní povrch překladu také cihelný, jsou použity věncovky HELUZ U-30 jako ztracené bednění. Tím vznikne prostor pro železobetonový překlad široký 200 mm a vysoký 200 mm. Vnější hrana stropu nad věncovkou bude zabedněna voděodolnou překližkou. Strop je vysoký 250 mm, překlad bude mít tedy celkovou výšku 450 mm. Překlad a strop nad překladem bude zateplen expandovaným polystyrenem tloušťky 140 mm.



Obr. 12 Půdorys řešeného rohového okna

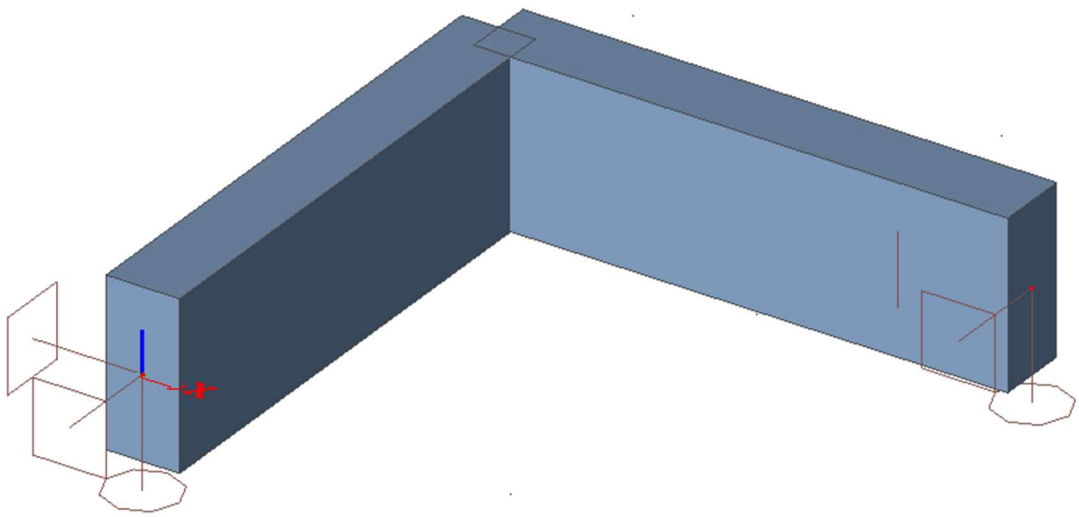


Obr. 13 Detail řešeného nadpraží

3.4.1 Konzervativnější statický model

Statický model byl vytvořen v modulu programu Scia pro rovinné modely nazývaném Deska XY, který je určen pro řešení všech typů dvojrozměrných vodorovných konstrukcí. Byl použit beton třídy C20/25 a betonářská výztuž B 500B.

Překlad byl vytvořen o šířce 200 mm a výšce 450 mm. Tyto rozměry vycházejí z konstrukčního řešení nadpraží s přiléhajícím stropem (viz Obr. 13).



Obr. 14 Statický model z programu Scia

Zatížení je počítáno dle ČSN EN 1991-1-1 [6].

Vlastní tíha překladu je automaticky počítána programem na základě geometrie jednotlivých prvků a zadané objemové tíhy betonu. Plošná tíha stropu byla převzata z Technické příručky pro projektanty a stavitele firmy Heluz.

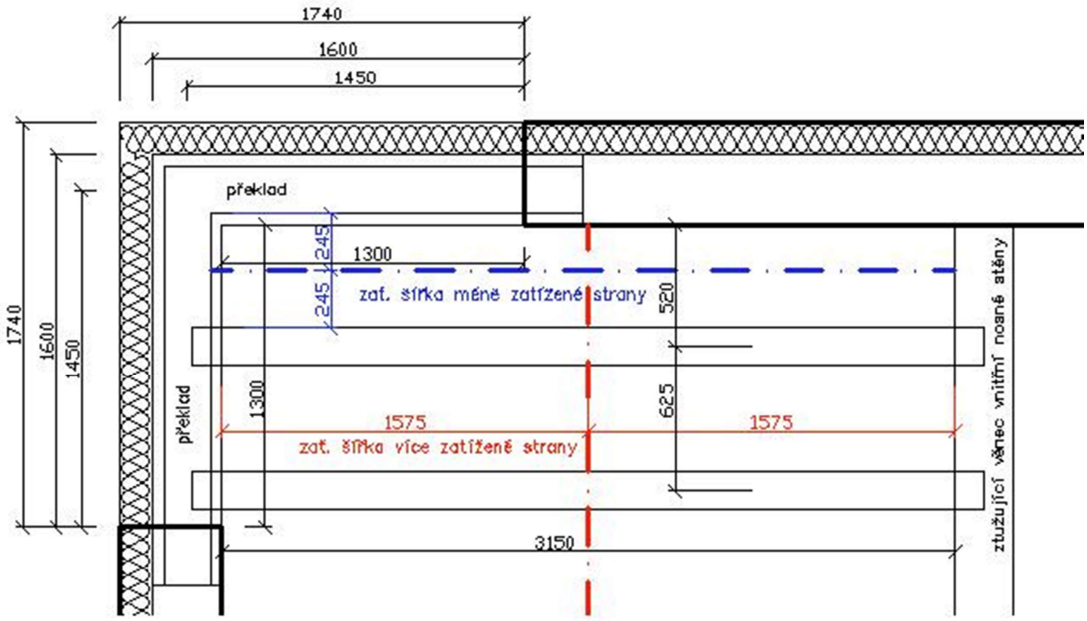
Stálé zatížení od podlahy je uvažováno jako 100 mm betonové vrstvy. Při použití těžkých plovoucích podlah se pohybuje tloušťka betonové mazaniny okolo 70 mm, zbylá pomyslná hmotnost 30 mm betonové vrstvy by měla bezpečně nahradit tíhu ostatních vrstev podlahy. Objemová hmotnost prostého betonu je 2300 kg/m^3, 100 mm tlustá betonová vrstva má plošnou hmotnost 230 kg/m^2. Tento způsob určení zatížení od podlahy, byl zvolen jako zjednodušený a zároveň bezpečný, pro běžně používané skladby podlah.

Na konstrukci příček je použito zdivo HELUZ tloušťky 8 cm, výrobce v Technické příručce uvádí plošnou hmotnost zdiva s omítkami 105 kg/m^2, tato hmotnost odpovídá tíze 1,05 kN/m^2. Vynásobíme-li tuto hodnotu uvažovanou výškou příček 2,75mm, získáme tíhu 2,9 kN/m‘. V normě ČSN EN 1991-1-1 je uvedeno, že příčky o vlastní tíze do 3 kN/m‘ je možné převést na rovnoměrné plošné zatížení 1,2 kN/m^2. Zatížení od příček je tedy 1,2 kN/m^2, příčky o větší tíze než 3 kN/m‘ by musely být zadány do statického modelu jako liniové zatížení v přesných polohách.

Proměnné zatížení je dle normy ČSN EN 1991-1-1 pro místnosti obytných budov 1,5 - 2 kN/m^2. Doporučená a uvažovaná hodnota zatížení je 2 kN/m^2.

Při výpočtu bylo uvažováno, že v následujícím podlaží je umístěno opět rohové okno stejných rozměrů. Z tohoto důvodu překlad zatěžuje parapet a samotné okno vyššího podlaží. Výška parapetu je 1 m a výška okna je 1,5m. Tíha parapetního zdiva byla převzata z Technické příručky a tíha okna byla navržena s přihlédnutím na běžně vyráběná okna, a to 60 kg/m^2.

Hmotnost jedné věncovky U-30 je 8,2 kg. Jsou dlouhé 0,25 m, na jeden m´ připadá hmotnost 32,8 kg/m´, to odpovídá zatížení 0,328 kN/m´.



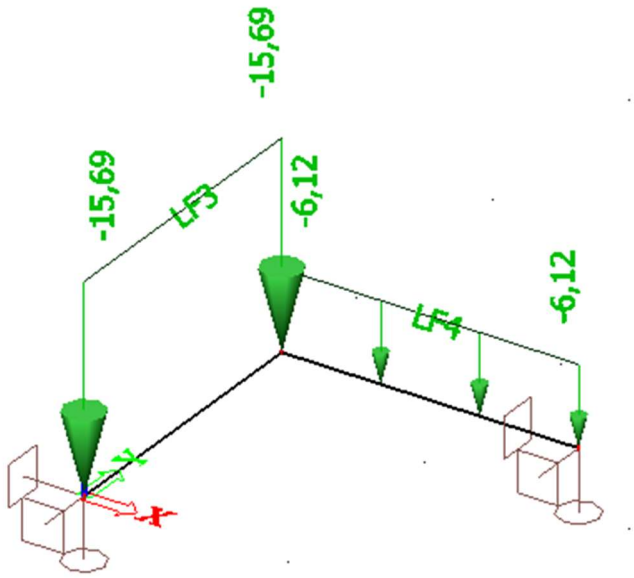
Obr. 15 Zatěžovací šířky překladu

Tab. 1 Více zatížená strana překladu – stálé zatížení (charakteristické hodnoty)

Název	Plošná hmotnost (kg/m^2)	Plošná tíha (kN/m^2)	Zatěžovací šířka(výška) (m)	Zatížení na m' (kN/m')
Strop po zmonolitnění	-	3,47	1,575	5,47
Zatížení od podlahy	230	2,3	1,575	3,62
Zatížení od příček	-	1,2	1,575	1,89
Zatížení od parapetu	348	3,48	1	3,48
Zatížení od okna	60	0,6	1,5	0,90
Zatížení od věncovek	-	-	-	0,33
Celkem				**15,69**

Tab. 2 Méně zatížená strana překladu – stálé zatížení (charakteristické hodnoty)

Název	Plošná hmotnost (kg/m^2)	Plošná tíha (kN/m^2)	Zatěžovací šířka(výška) (m)	Zatížení na m' (kN/m')
Strop po zmonolitnění	-	3,47	0,245	0,85
Zatížení od podlahy	230	2,3	0,245	0,56
Zatížení od parapetu	348	3,48	1	3,48
Zatížení od okna	60	0,6	1,5	0,90
Zatížení od věncovek	-	-	-	0,33
Celkem				**6,12**



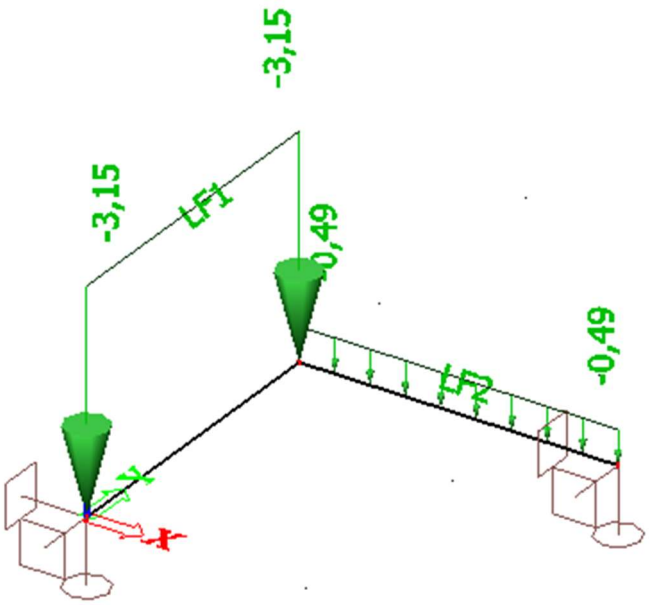
Obr. 16 Zatížení rohového překladu ostatním stálým zatížením

Tab. 3 Více zatížená strana překladu – proměnné zatížení (charakteristické hodnoty)

Název	Plošná hmotnost (kg/m^2)	Plošná tíha (kN/m^2)	Zatěžovací šířka(výška) (m)	Zatížení na m' (kN/m')
Užitné zatížení stropní konstrukce	-	2	1,575	3,15
Celkem				**3,15**

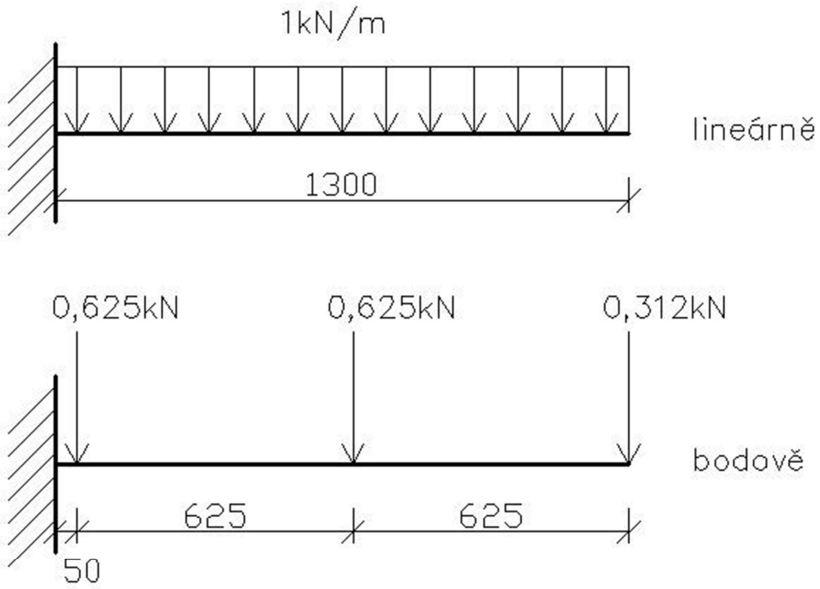
Tab. 4 Méně zatížená strana překladu – proměnné zatížení (charakteristické hodnoty)

Název	Plošná hmotnost (kg/m^2)	Plošná tíha (kN/m^2)	Zatěžovací šířka(výška) (m)	Zatížení na m' (kN/m')
Užitné zatížení stropní konstrukce	-	2	0,245	0,49
Celkem				**0,49**



Obr. 17 Zatížení rohového překladu proměnným zatížením

Zatížení od stropu a podlahy na více zatížené straně by zcela správně mělo být zadáno bodovými silami v místě uložení nosníků. Jelikož se jedná o zjednodušený model, je zatížení provedeno liniově. Výsledky by tím neměly být zásadně ovlivněny, jak ukazuje následující příklad (pro srovnání je zvoleno zatížení jednotkovým liniovým zatížením a odpovídajícími bodovými silami v místech uložení stropních nosníků):



Obr. 18 Zatížení konzoly lineárním a bodovým zatížením

$M_{lin.} = \frac{1}{2} * 1 * 1{,}3^2 = 0{,}845$ kNm

$M_{bod.} = 0{,}625*0{,}05+0{,}925*0{,}675+0{,}312*1{,}3 = 0{,}858$ kNm

$\frac{M_{bod.}}{M_{lin.}} = \frac{0,858}{0,845} = 0,015 \rightarrow \Delta = 1,5\%$ (procentuální rozdíl ohyb. momentu při zadání zatížení lineárně a bodově)

Ze zatěžovacích stavů byly následně vytvořeny kombinace zatížení.

V kombinaci MSÚ bylo stálé zatížení vynásobeno koeficientem $\gamma_f = 1,35$ a proměnné zatížení koeficientem $\gamma_f = 1,5$. V kombinaci MSP byly hodnoty zatížení ponechány v charakteristických hodnotách. Pro posuzování dlouhodobých účinků s dotvarováním betonu byla vytvořena kvazistálá kombinace, kde stálé zatížení zůstává v charakteristických hodnotách a proměnné zatížení se pro domácí a obytné plochy násobí koeficientem $\psi_1 = 0,3$.

Pro potřeby výpočtu v programu Scia byla vytvořena tzv. „kombinace pro beton“ podle instrukcí obsažených v nápovědě k programu [7]. Stálá kombinace zahrnuje pouze charakteristické hodnoty stálého zatížení. Dlouhodobá kombinace obsahuje navíc Proměnné zatížení vynásobené koeficientem 0,3. Výsledná kombinace obsahuje stálé i proměnné zatížení v charakteristických hodnotách.

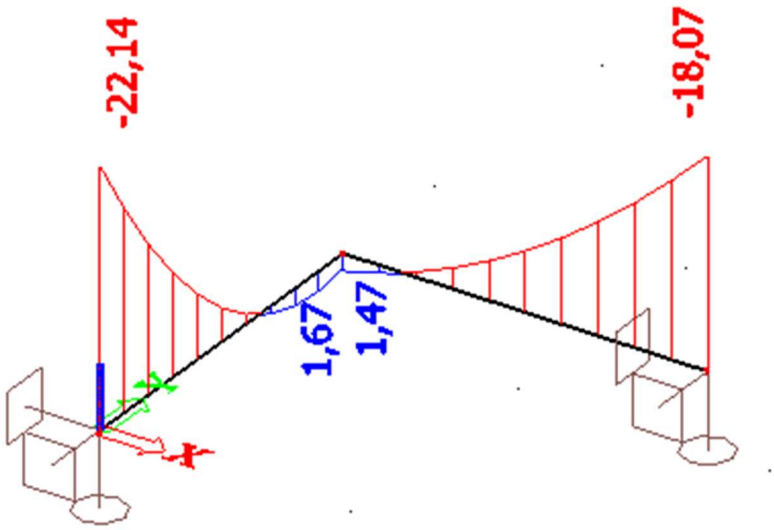
Po vytvoření kombinací byly upraveny velikosti konečných prvků. Z důvodu zjemnění sítě byl nastaven průměrný počet dílků na prutu na hodnotu 5 (hodnota doporučená autory programu pro dostatečnou přesnost výpočtu nelineárních deformací).

Po výpočtu mohou být vykresleny vnitřní síly na nosnících. Pro návrh výztuže jsou z programu používány vnitřní síly pro kombinaci MSÚ.

NÁVRH A POSOUZENÍ OHYBOVÉ VÝZTUŽE

Následující výpočetní postup je vytvořen dle ČSN EN 1992-1-1 [8]

Z programu Scia byly získány následující hodnoty ohybových momentů:



Obr. 19 Ohybové momenty [kNm]

Pro návrh výztuže byly uvažovány následující parametry:

- Šířka překladu: 200 mm
- Výška překladu: 450 mm
- Beton: C20/25, f_{ck} = 20 MPa, $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_M} = \frac{20}{1,5}$ = 13,33 MPa
- Ocel: B 500B, f_{yk} = 500 MPa, $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{500}{1,15}$ = 434,78 MPa

Stanovení krycí vrstvy výztuže:

- Na třmínky bude použit ϕ 8 mm
- Stupeň vlivu prostředí XC1 – beton bude zabudován uvnitř konstrukce, bude zateplen
- Pro životnost 50 let je uvažována konstrukční třída S4

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\text{ mm}) = \max(8;15+0+0+0;10\text{mm})$

$= 15$ mm

- $c_{min,b} \geq 8$ mm (profil třmínků)
- $c_{min,dur} = 15$ mm (pro XC1 a S4)
- $\Delta c_{dur,y}$, $\Delta c_{dur,st}$, $\Delta c_{dur,add} = 0$ (nebudou se provádět žádné speciální opatření)

$\Delta c_{dev} = 10$ mm (přídavek na návrhovou odchylku, doporučená hodnota)

$c_{nom,tř} = 15 + 10 = 25$ mm

- Na hlavní výztuž bude použit ϕ 12 mm

$c_{nom,hl.v.} = c_{nom,tř} + \phi_{tř} = 25 + 8 = 33$ mm

Účinná výška trámu:

$d = h - d_1$

- h – výška překladu

$d_1 = c_{nom,\ hl.v}$

Návrh plochy potřebné výztuže:

- $\mu = \frac{M_{Ed}}{b * d^2 * \eta * f_{cd}}$
  - M_{Ed} – ohybový moment
  - b – šířka překladu
  - η – uvažováno 1
  - f_{cd} – návrhová hodnota pevnosti v tlaku

- Pro μ najdeme v tabulkách příslušné hodnoty pro ξ a ζ
  - $\xi < \xi_{bal,1} = 0,450$

- $A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta * d * f_{yd}}$
    - f_{yd} - návrhová hodnota meze kluzu oceli
- Z hodnoty $A_{s,req}$ určíme profil výztuže, jejich počet a následně skutečnou plochu výztuže $A_{s,prov}$
    - $A_{s,prov} \geq A_{s,req}$

Posouzení:

- Výška tlačené oblasti
  $x = \frac{A_{s,prov} * f_{yd}}{b * \lambda * \eta * f_{cd}}$
    - $\lambda = 0,8$
- Kontrola poměru tlačené oblasti k účinné výšce průřezu
  $\xi = \frac{x}{d} < \xi_{bal,1} = 0,450$
- $M_{Rd} = A_s * f_{yd} * (d - 0,5 * \lambda * x)$
- $M_{Rd} > M_{Ed}$

Kontrola vyztužení:

- Minimální plocha vyztužení
  $A_{s,min} = \max \{ A_{s,min} \geq \frac{0.26 * f_{ctm} * b * d}{f_{yk}} ; A_{s,min} = 0,0013 * b * d \}$
    - f_{ctm} – pevnost v tahu betonu
    - f_{yk} – charakteristická hodnota meze kluzu oceli
- Maximální plocha vyztužení
  $A_{s,max} = 0,04 * b * h$
- Maximální osová vzdálenost prutů
  $S_{a,min} = \min (2 * h; 250 \text{ mm})$
- Minimální vzdálenost mezi pruty
  $S_{c,max} = \max(20; 1,2 * \phi; D_{max} + 5 \text{ mm})$
    - D_{max} – maximální rozměr kameniva v betonu

Tab. 5 Návrh a posouzení ohybové výztuže

Návrh výztuže																			
M_{ED}	b	h	c_{nom}	Ø	d	f_{cd}	μ	ζ	f_{yk}	f_{yd}	$A_{s,rqd}$	plocha Ø	min. počet	skut. počet	$A_{s,prov}$	x	z	M_{RD}	POSOUZENÍ
(kNm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)			(MPa)	(MPa)	(mm^2)	(mm^2)	prutů	prutů	(mm^2)	(mm)	(mm)	(kNm)	
22,14	200	450	33	12	411	20	0,03	0,985	500	435	126	113	1,11	2	226	31	399	39,21	Vyhoví
1,67	200	450	33	12	411	20	0,00	1,000	500	435	9	113	0,08	2	226	31	399	39,21	Vyhoví
18,07	200	450	33	12	411	20	0,03	0,985	500	435	103	113	0,91	2	226	31	399	39,21	Vyhoví
1,47	200	450	33	12	411	20	0,00	1,000	500	435	8	113	0,07	2	226	31	399	39,21	Vyhoví

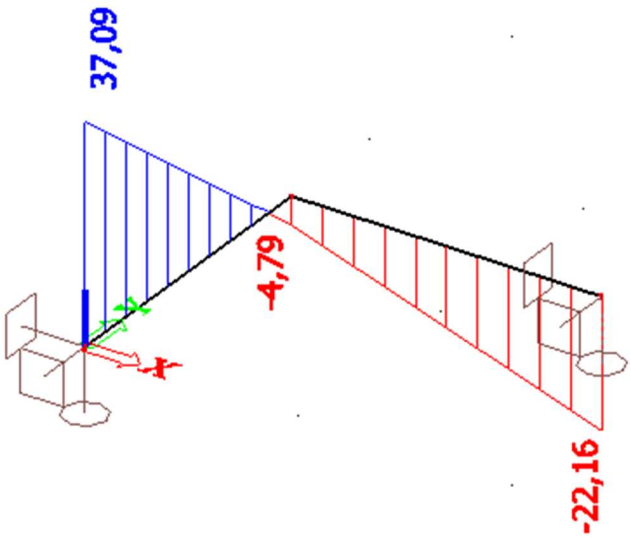
Tab. 6 Konstrukční zásady a výsledná ohybová výztuž

Konstrukční zásady																
ξ	$\xi_{bal,1}$	POSOUZENÍ	f_{ctm}	$A_{s,min}$	POSOUZENÍ	$A_{s,max}$	POSOUZENÍ	S_a	$S_{a,min}$	POSOUZENÍ	D_{max}	S_c	$S_{c,max}$	POSOUZENÍ	
			(MPa)	(mm^2)		(mm^2)		(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)		**Výztuž**
0,038	0,450	Vyhoví	2,9	124	Vyhoví	3600	Vyhoví	122	250	Vyhoví	16	110	21	Vyhoví	**2 x Ø12**
0,000	0,450	Vyhoví	2,9	124	Vyhoví	3600	Vyhoví	122	250	Vyhoví	16	110	21	Vyhoví	**2 x Ø12**
0,038	0,450	Vyhoví	2,9	124	Vyhoví	3600	Vyhoví	122	250	Vyhoví	16	110	21	Vyhoví	**2 x Ø12**
0,000	0,450	Vyhoví	2,9	124	Vyhoví	3600	Vyhoví	122	250	Vyhoví	16	110	21	Vyhoví	**2 x Ø12**

Na spodní i horní povrch je navržena hlavní ohybová výztuž **2 x ϕ 12 mm**. Na spodní povrch by mohla být navržena výztuž menšího průměru, ale z konstrukčních důvodů (pro omezení vlivu smršťování a kroucení) je navržena také z ϕ 12 mm.

Schéma vyztužení je v Příloze 4.

NÁVRH A POSOUZENÍ SMYKOVÉ VÝZTUŽE



Obr. 20 Posouvající síly[kN]

Pro návrh bude uvažována maximální posouvající síla: V_{Ed} = 37,09 kN

Únosnost tlačené diagonály:

$$V_{Rd,max} = \nu * f_{cd} * b * z * \frac{cot\theta}{1+cot^2\theta} \geq V_{Ed}$$

- Součinitel zmenšující návrhovou hodnotu pevnosti betonu v tlaku

  ν = 0,6*(1- $\frac{f_{ck}}{250}$)= 0,6*(1- $\frac{20}{250}$) = 0,552

- z – rameno vnitřních sil průřezu
- cotθ – zvoleno 1,5
  - θ – úhel sklonu tlačených diagonál

$$V_{Rd,max} = 0{,}552 * 13{,}33 * 10^3 * 0{,}2 * 0{,}399 * \frac{1{,}5}{1+1{,}5^2} \geq 37{,}09 \text{ kN}$$

271,01 kN ≥ 37,09 kN

Únosnost tlačené diagonály **vyhovuje**.

Návrh třmínků:

- Plocha jednoho třmínku (profil 8 mm)

  $A_{sw} = \frac{n*\pi*\phi_{tř}^2}{4} = \frac{2*\pi*8^2}{4}$ = 100,53 mm^2
  - n – počet střihů třmínku (v tomto případě 2)

- potřebná rozteč třmínků
  $s_1 \leq \frac{A_{sw}*f_{yd}}{V_{Ed}} * z * cot\theta = \frac{100,53*434,78}{37,09*10^3} * 399 * 1,5$ = 705 mm
- konstrukční zásada pro maximální vzdálenost třmínků
  $s_1 \leq$ min (0,75*d; 400 mm) = min (0,75*411; 400) = min (308; 400 mm) = 308 mm

  s_1 = 300 mm

Návrh třmínků Φ 8 mm á 300 mm.

Posouzení třmínků:

$V_{Rd,1} = \frac{A_{sw}*f_{yd}}{s_1} * z * cot\theta \geq V_{Ed}$

$\frac{100,53*434,78}{300} * 399 * 1,5 \geq 37090$ N

87198 N ≥ 37090 N

Kontrola stupně vyztužení:

$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b*s_1} = \frac{100,53}{200*300} = 1,68*10^{-3}$

$\rho_{sw} \leq \rho_{sw,max} = \frac{0,5*\upsilon*f_{cd}}{f_{ywd}} = \frac{0,5*0,552*13,33}{434,78} = 8,46*10^{-3}$

$1,68*10^{-3} \leq 8,46*10^{-3}$

$\rho_{sw} \geq \rho_{sw,min} = \frac{0,08*\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08*\sqrt{20}}{500} = 0,72*10^{-3}$

$1,68*10^{-3} \geq 0,72*10^{-3}$

Třmínky Φ 8 mm á 300 mm vyhovují.

POSOUZENÍ PODÉLNÉHO SMYKU VE STYČNÉ SPÁŘE

Pro návrh bude uvažována maximální posouvající síla: V_{Ed} = 37,09 kN

Podélné smykové napětí:

$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{z*b_i} = \frac{37090}{399*200} = 0,465$ MPa

- z – rameno vnitřních sil
- b_i – šířka styčné plochy (celá šířka průřezu)

Návrhová únosnost ve smyku styčné plochy

$v_{Rd} = cf_{ctd} + \mu\sigma_n + \rho f_{yd} (\mu\sin\alpha + \cos\alpha) \leq 0,5vf_{cd}$

- c – součinitel závislý na drsnosti styčné plochy
  - drsný povrch: c = 0,45
- f_{ctd} – návrhová pevnost betonu v tahu

$f_{ctd} = \frac{f_{ctk0,05}}{\gamma_M} = \frac{1,5}{1,5} = 1$ MPa

- μ – součinitel závislý na drsnosti styčné plochy
  - drsný povrch: μ = 0,7
- σ_n – normálové napětí působící kolmo na styčnou plochu, uvažujeme $\sigma_n = 0$
- ρ – stupeň vyztužení styčné plochy spřahovací výztuží
  - posuzujeme navrženou smykovou výztuž, zda přenese podélný smyk ve styčné spáře
  - navrženy třmínky Φ 8 mm á 300 mm

    $\rho = \frac{a_{s,s,prov}}{300*b_i} = \frac{100,53}{300*200} = 0,00168$
- α – úhel mezi prutem spřahovací výztuže a smykovou plochou
  - pruty jsou kolmé na povrch betonu, takže α = 90°
    - sin(90°) = 1
    - cos(90°) = 0
- ν – redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem, viz návrh smykové výztuže

Můžeme tedy vzorec upravit a provést posouzení:

$v_{Rd} = cf_{ctd} + \rho f_{yd}\mu \leq 0,5vf_{cd}$

$v_{Rd} = 0,45*1 + 0,00168*434,78*0,7 \leq 0,5*0,552*13,33$

$v_{Rd} = 0,961$ MPa ≤ 3,679 MPa

Posouzení:

$v_{ed} \leq v_{Rd}$

0,465 MPa ≤ 0,961 MPa

Třmínky Φ 8 mm á 300 mm vyhovují, pro přenesení podélného smyku ve styčné spáře.

POSOUZENÍ PRŮHYBU

- Průhyb bez účinků smrštění $\delta_{bez\ smrštění}$ = 0,4 mm – převzato z programu Scia, typ hodnoty: nelineární + dotvarování, kombinace pro beton: Výsledná (odpovídá kvazistálé kombinaci)
- Hodnota lineární deformace byla 0,2 mm, rozdíl je dán zohledněním dlouhodobých účinků zatížení na konstrukci, kdy dochází k nárůstu deformací vlivem dotvarování a poklesu tuhosti průřezu po vzniku trhlin. Průhyb od smrštění program nedokáže stanovit, proto je vypočten samostatně.
- Průhyb od smršťování $\delta_{od\ smršťění}$ = 0,3 mm (vypočteno v programu, který byl poskytnut vedoucím bakalářské práce, viz příloha 5; zjednodušeně a bezpečně uvažováno smrštění jako na konzole)
- Celkový průhyb

  $\delta_{tot} = \delta_{bez\ smršťění} + \delta_{od\ smršťění} = 0,4 + 0,3 = 0,7$ mm

- Dovolený maximální průhyb
  $\delta_{lim,tot} = \frac{l}{250} = \frac{1450}{250} = 5{,}8$ mm

$\delta_{tot} \leq \delta_{lim,tot}$

0,7 mm ≤ 5,8 mm

Průhyb vyhovuje.

- Dále je třeba posoudit průhyb po zabudování. Hodnotu tohoto průhybu získáme, když od celkového průhybu odečteme krátkodobý průhyb bez vlivu trhlin (pouze od stálého zatížení)
  $\delta_{add} = \delta_{tot} - \delta_{imna} \leq \delta_{lim,add} = \frac{l}{500}$
- Krátkodobý průhyb bez trhlin δ_{imna} = 0,1 mm – převzato z programu Scia (nastaveno zatížení pouze stálé a bez dotvarování)
- Průhyb po zabudování
  $\delta_{add} = \delta_{tot} - \delta_{imna} = 0{,}7 - 0{,}1 = 0{,}6$ mm
- Dovolený maximální průhyb
- $\delta_{lim,add} = \frac{l}{500} = \frac{1450}{500} = 2{,}9$ mm

$\delta_{add} \leq \delta_{lim,add}$

0,6 mm ≤ 2,9 mm

Průhyb po zabudování vyhovuje.

POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI ZDIVA

Následující výpočetní postup je vytvořen dle ČSN EN 1996-1-1 [9]

Z důvodu, aby nedošlo k porušení zdiva v místě uložení překladu (ostění), je potřeba posoudit únosnost zdiva (charakteristické hodnoty pevnosti převzaty z Technické příručky [3]).

- charakteristická pevnost zdiva (pojivo tenkovrstvá malta)
  f_k = 2,8 MPa
- návrhová pevnost zdiva (pojivo tenkovrstvá malta)
  $f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{2{,}8}{2{,}0} = 1{,}4$ MPa
- charakteristická pevnost zdiva (pojivo HELUZ pěna)
  f_k = 1,8 MPa
- návrhová pevnost zdiva (pojivo HELUZ pěna)
  $f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{1{,}8}{2{,}0} = 0{,}9$ MPa
- reakce od překladu:
  V_{ed} = 37,09 kN
- zatěžovaná plocha:
  A = 250*300 mm = 75000 mm^2

- Zatěžovaná plocha odpovídá jedné tvarovce U-věncovky, šířka 300 mm a délka 250 mm

- napětí:

  $\sigma_d = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{37090}{75000} = 0{,}49$ MPa

- posouzení (pojivo tenkovrstvá malta):

  $f_d \geq \sigma_d$

  1,4 MPa ≥ 0,49 MPa

  Zdivo při použití tenkovrstvé malty vyhoví.

- posouzení (HELUZ pěna):

  $f_d \geq \sigma_d$

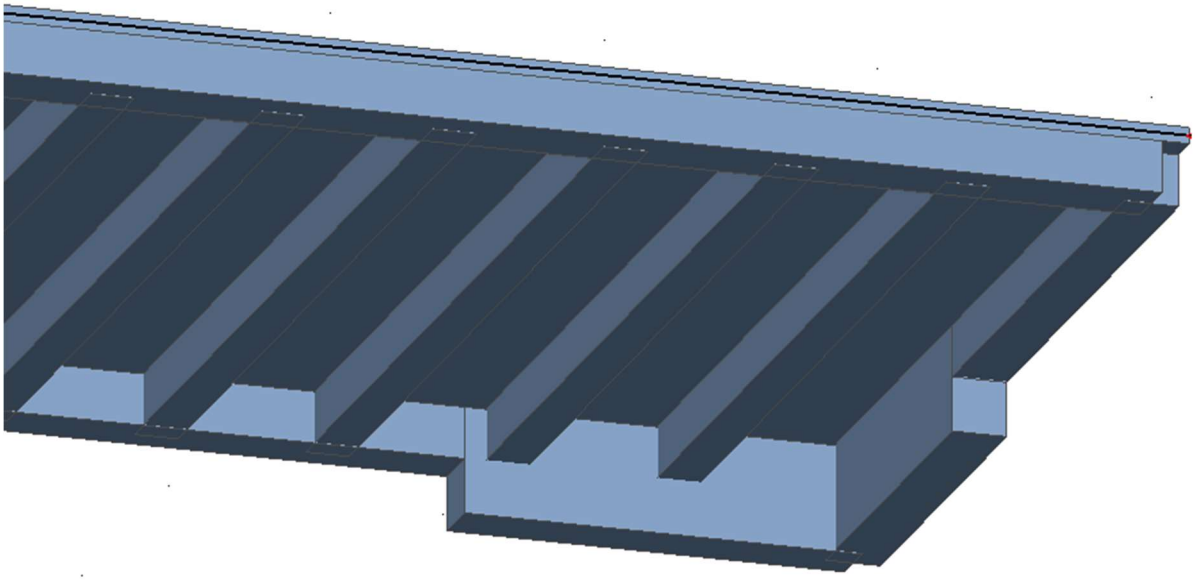
  0,9 MPa ≥ 0,49 MPa

  Zdivo při použití HELUZ pěny vyhoví.

3.4.2 Přesnější statický model

Statický model byl vytvořen v konstrukčním rozhraní programu Scia pro analýzu trojrozměrných modelů (modul Obecná XYZ). Důvodem je, že bude potřeba vložit do desky žebra vystupující z roviny desky, což by ve dvojrozměrném modelu nebylo možné. Beton byl použit C20/25 a betonářská výztuž B 500B.

Překlad byl vytvořen o šířce 200 mm a výšce 450 mm. Navazující ztužující věnec má šířku 200 mm a výšku 250 mm. Dále byla oproti konzervativnímu modelu vymodelována žebrová deska, která má simulovat betonovou část vložkového stropu. Konkrétně byl použit strop s osovou vzdáleností nosníků 625 mm, celkovou tloušťkou 250 mm, MIAKO vložkami vysokými 190 mm a nadbetonávkou tloušťky 60 mm. Z tohoto stropu vychází model desky tloušťky 60 mm se žebry po 625 mm, vysokými 190 mm a širokými 160 mm. Tyto rozměry vycházejí z konstrukčního řešení nadpraží s přiléhajícím stropem.



Obr. 21 Přesnější statický model

Plošná tíha Miako vložek byla převzata z Technické příručky pro projektanty a stavitele firmy Heluz (15,1 kg/ks * 6,4 ks/m^2 = 96,64 kg/m^2). Ostatní složky zatížení jsou popsané v zatížení konzervativního modelu.

Tab. 7 Plošné zatížení stropu (charakteristické hodnoty)

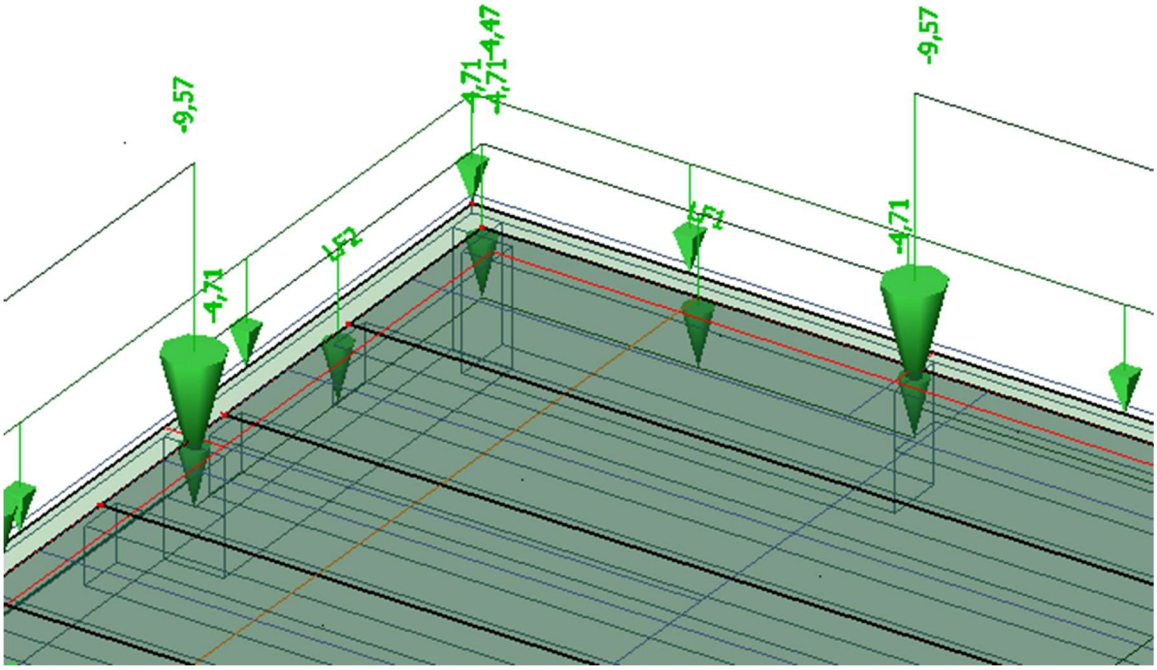
Název	Plošná hmotnost (kg/m^2)	Plošná tíha (kN/m^2)
Vložky Miako	97	0,97
Zatížení od podlahy	230	2,3
Zatížení od příček		1,2
Celkem ostatní stálé		**4,47**
Užitné zatížení stropní konstrukce	-	2,00
Celkem proměnné		**2,00**

Tab. 8 Zatížení od obvodové stěny (charakteristické hodnoty)

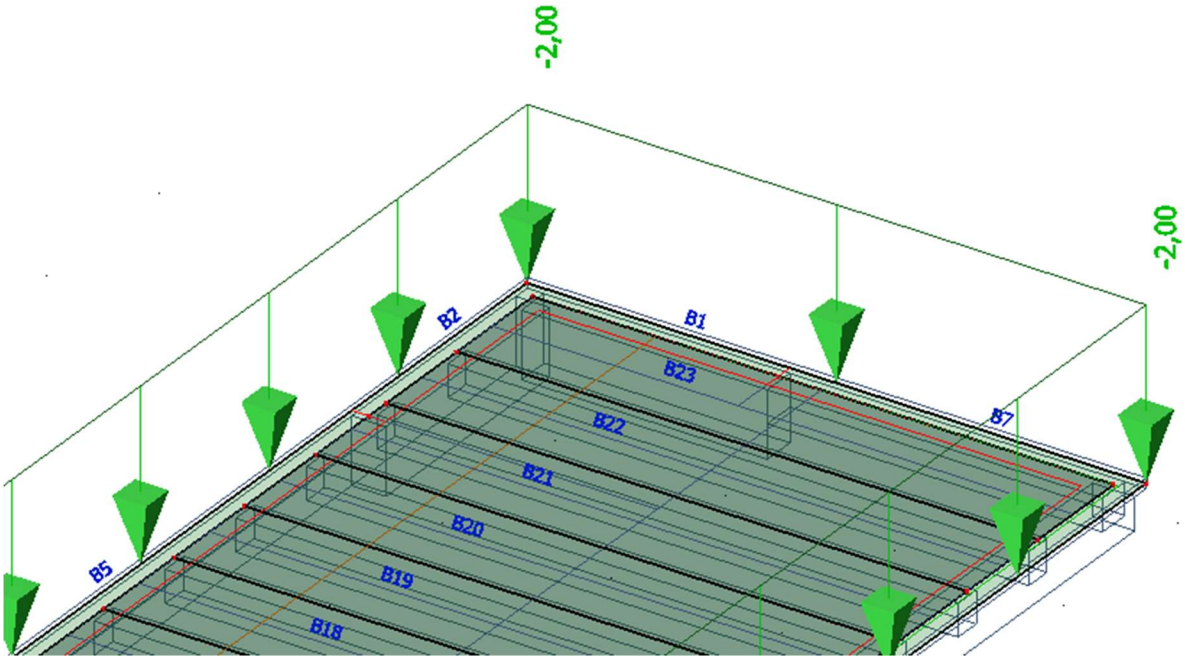
Název	Plošná hmotnost (kg/m^2)	Plošná tíha (kN/m^2)	Zatěžovací výška (m)	Zatížení na m' (kN/m')
Zatížení od stěny	348	3,48	2,75	9,57
Celkem				**9,57**

Tab. 9 Zatížení od parapetu a okna (charakteristické hodnoty)

Název	Plošná hmotnost (kg/m^2)	Plošná tíha (kN/m^2)	Zatěžovací výška (m)	Zatížení na m' (kN/m')
Zatížení od parapetu	348	3,48	1	3,48
Zatížení od okna	60	0,6	1,5	0,90
Zatížení od věncovek	-	-	-	0,33
Celkem				**4,71**



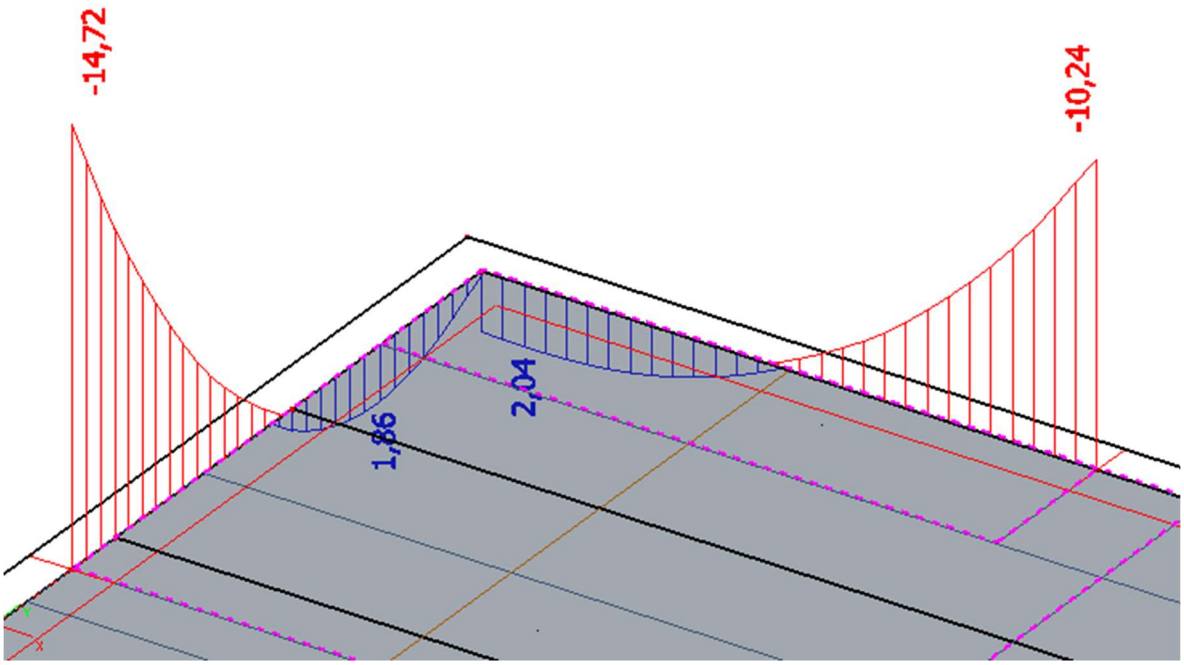
Obr. 22 Ostatní stálé zatížení liniové (hodnoty 4,71 a 9,57 kN/m´) a plošné (hodnota 4,47 kN/m^2)



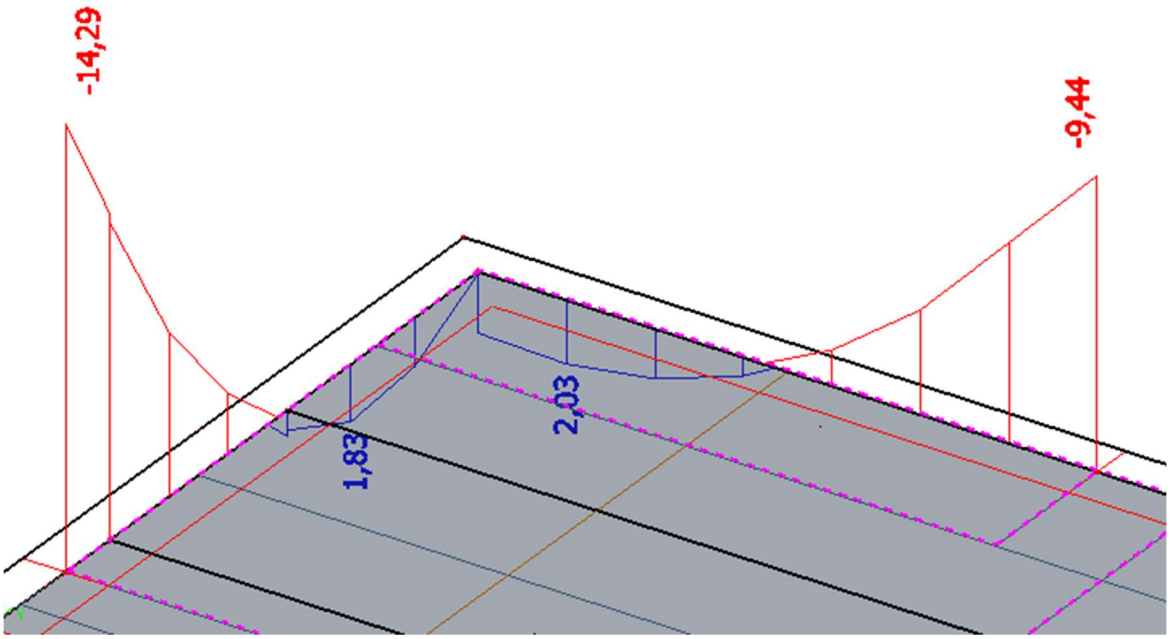
Obr. 23 Proměnné zatížení plošné [kN/m²]

Ze zatěžovacích stavů byly následně vytvořeny kombinace zatížení stejným způsobem jako u konzervativního modelu.

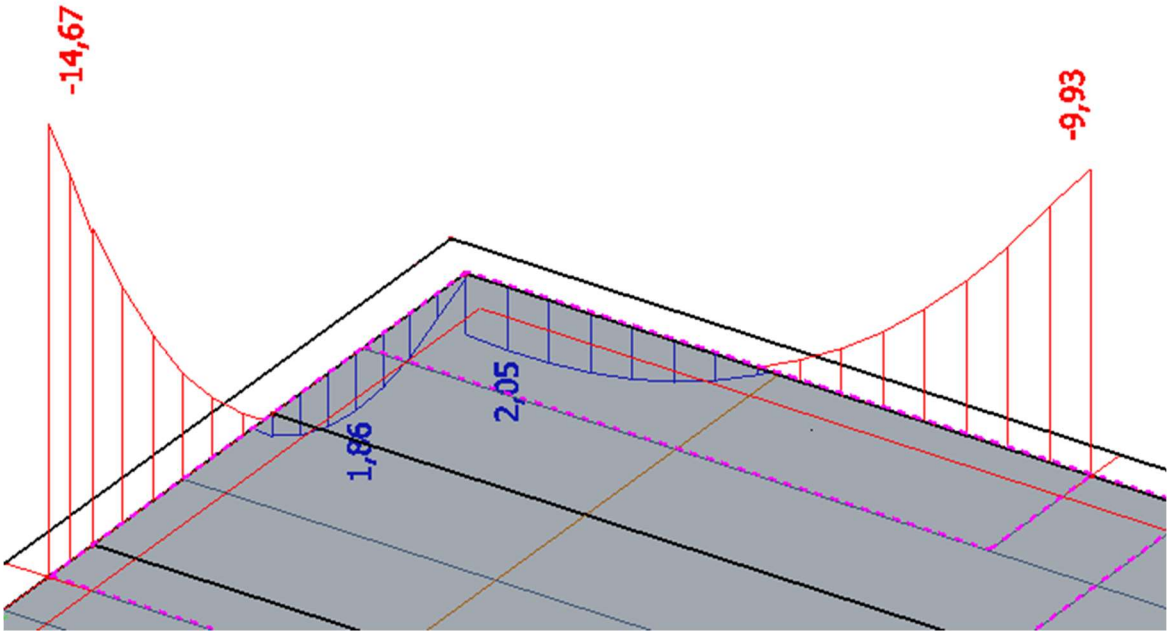
Po vytvoření kombinací byly upraveny velikosti prvků. Jako základní rozměr prvku bylo použito 100 mm. Pro kontrolu správnosti zvolení rozměru prvku byl model analyzován i ve variantě s rozměrem prvku 50 a 200 mm. Následně byly porovnány vnitřní síly z jednotlivých modelů lišících se pouze v rozměru prvků.



Obr. 24 Ohybové momenty při velikosti sítě 50 mm



Obr. 25 Ohybové momenty při velikosti sítě 200 mm

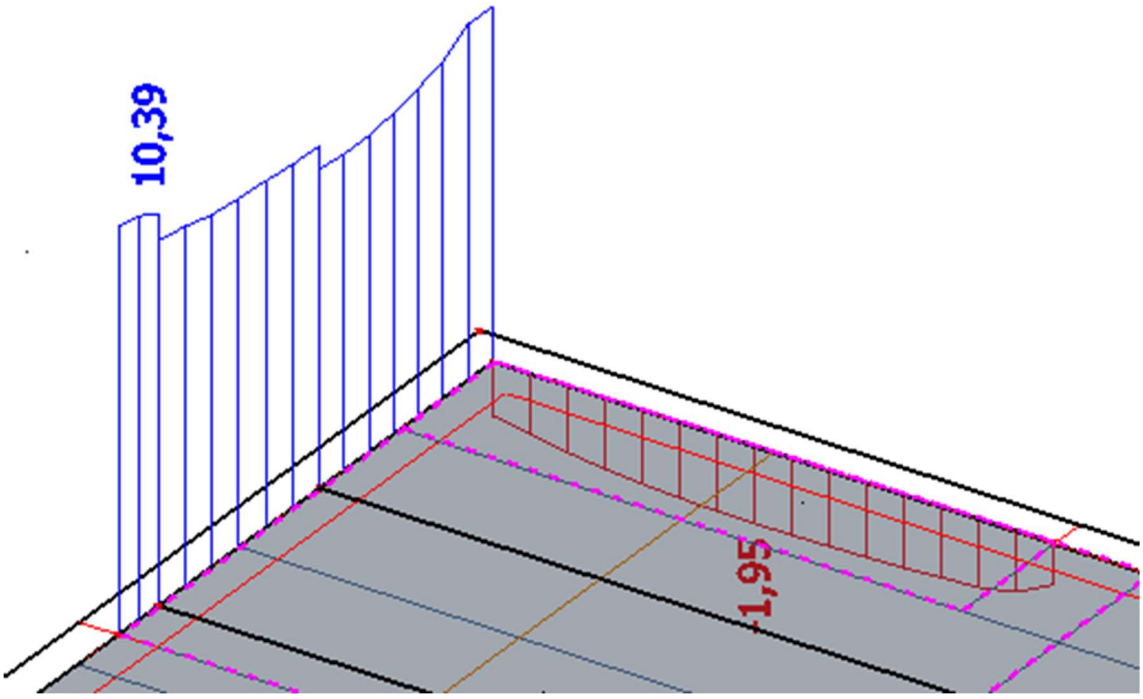


Obr. 26 Ohybové momenty při velikosti sítě 100 mm

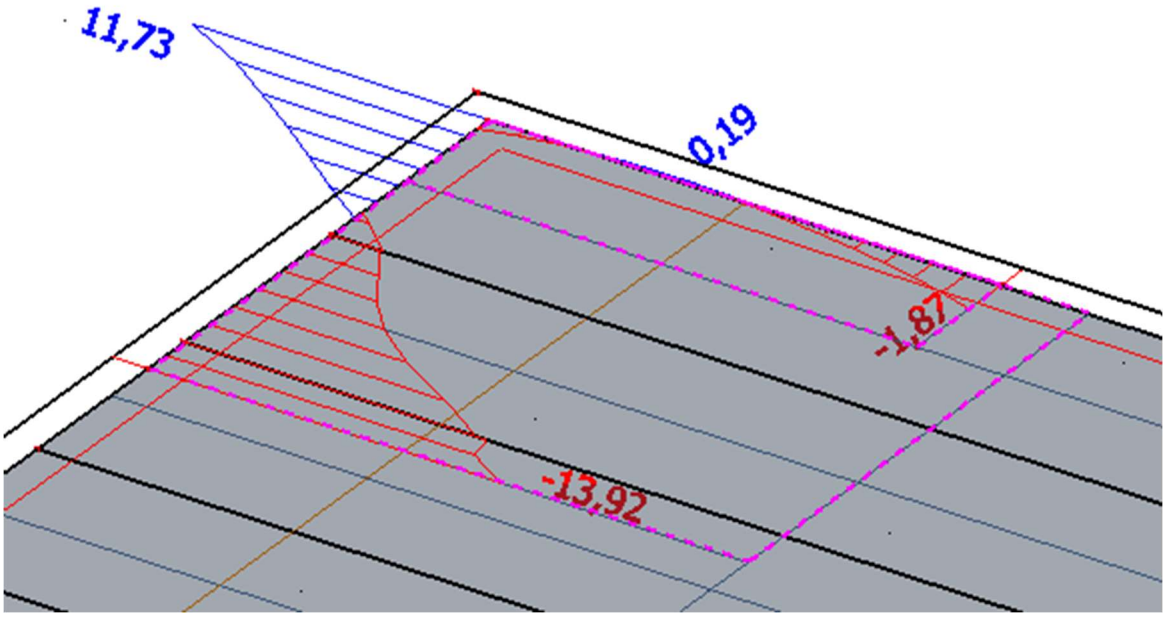
Z obrázků ukazujících ohybové momenty je zřejmé že výsledky se lišily pouze v řádech jednotek procent, proto byl rozměr konečného prvku 100 mm shledán dostačujícím.

Momentová rovnováha na rohovém styčníku vychází při započítání složek ohybového momentu, kroutícího momenty Mx a momentu Mz. Vzniku momentu Mz bude v reálné konstrukci zamezeno tuhou stropní deskou, na konstrukci budou vznikat pouze ohybové

momenty My od zatížení a kroutící momenty Mx vlivem kompatibility deformací jednotlivých konstrukčních prvků.



Obr. 27 Kroutící ohybový moment Mx [kNm]



Obr. 28 Moment Mz [kNm]

NÁVRH A POSOUZENÍ OHYBOVÉ VÝZTUŽE

Výztuž byla navržena na ohybové momenty při velikosti sítě 100 mm

Pro výpočet jsou uvažovány stejné parametry materiálů a stejný postup výpočtu jako u konzervativního modelu.

Tab. 10 Návrh a posouzení ohybové výztuže

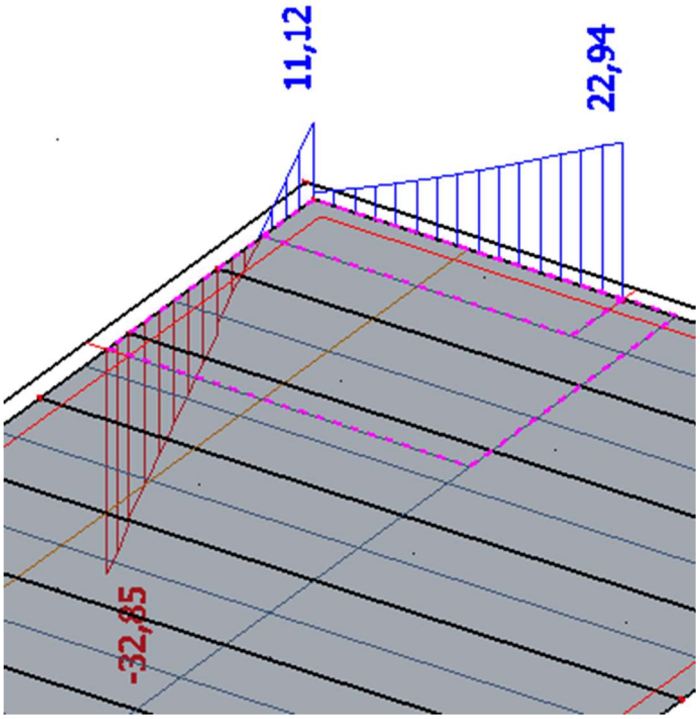
Návrh výztuže																			
M_{ED}	b	h	c_{nom}	Ø	d	f_{cd}	μ	ζ	f_{yk}	f_{yd}	$A_{s,rqd}$	plocha Ø	min. počet	skut. počet	$A_{s,prov}$	x	z	M_{RD}	POSOUZENÍ
(kNm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)			(MPa)	(MPa)	(mm^2)	(mm^2)	prutů	prutů	(mm^2)	(mm)	(mm)	(kNm)	
14,67	200	450	33	12	411	20	0,02	0,990	500	435	83	113	0,73	2	226	31	399	39,21	Vyhoví
1,86	200	450	33	12	411	20	0,00	1,000	500	435	10	113	0,09	2	226	31	399	39,21	Vyhoví
9,93	200	450	33	12	411	20	0,01	0,995	500	435	56	113	0,49	2	226	31	399	39,21	Vyhoví
2,05	200	450	33	12	411	20	0,00	1,000	500	435	11	113	0,10	2	226	31	399	39,21	Vyhoví

Tab. 11 Konstrukční zásady a výsledná ohybová výztuž

Konstrukční zásady															
ξ	$ξ_{bal,1}$	POSOUZENÍ	f_{ctm}	$A_{s,min}$	POSOUZENÍ	$A_{s,max}$	POSOUZENÍ	S_a	$S_{a,min}$	POSOUZENÍ	D_{max}	S_c	$S_{c,max}$	POSOUZENÍ	
			(MPa)	(mm^2)		(mm^2)		(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)		**Výztuž**
0,025	0,450	Vyhoví	2,9	124	Vyhoví	3600	Vyhoví	122	250	Vyhoví	16	110	21	Vyhoví	**2 x Ø12**
0,000	0,450	Vyhoví	2,9	124	Vyhoví	3600	Vyhoví	122	250	Vyhoví	16	110	21	Vyhoví	**2 x Ø12**
0,013	0,450	Vyhoví	2,9	124	Vyhoví	3600	Vyhoví	122	250	Vyhoví	16	110	21	Vyhoví	**2 x Ø12**
0,000	0,450	Vyhoví	2,9	124	Vyhoví	3600	Vyhoví	122	250	Vyhoví	16	110	21	Vyhoví	**2 x Ø12**

Na spodní i horní povrch je navržena hlavní ohybová výztuž **2 x ϕ 12 mm**. Na spodní povrch by mohla být navržena výztuž menšího průměru, ale z konstrukčních důvodů (pro omezení vlivu smršťování a kroucení) je navržena také z ϕ 12 mm.

NÁVRH A POSOUZENÍ SMYKOVÉ VÝZTUŽE



Obr. 29 Posouvající síly[kN]

Průběh posouvajících sil je vykreslen opačně než v konzervativním modelu, což je dáno směrem zadání prvků do modelu. Pro naši potřebu to ovšem není zásadní, používáme maximální posouvající sílu v absolutní hodnotě.

Pro návrh bude uvažována maximální posouvající síla: V_{Ed} = 32,85 kN

Únosnost tlačené diagonály:

$$V_{Rd,max} = \nu * f_{cd} * b * z * \frac{cot\theta}{1+co\ ^2\theta} \geq V_{Ed}$$

- Součinitel zmenšující návrhovou hodnotu pevnosti betonu v tlaku

  ν = 0,6* $\frac{1-f_{ck}}{250}$ = 0,6* $\frac{1-2}{250}$ = 0,552

- z – rameno vnitřních sil průřezu
- cotθ – zvoleno 1,5
  - θ – úhel sklonu tlačených diagonál

$$V_{Rd,max} = 0{,}552 * 13{,}33 * 10^3 * 0{,}2 * 0{,}399 * \frac{1{,}5}{1+1{,}5^2} \geq 32{,}85$$

230,25 kN ≥ 32,85 kN

Únosnost tlačené diagonály **vyhovuje**.

Návrh třmínků:

- Plocha jednoho třmínku

  $A_{sw} = \frac{n*\pi*\phi_{tř}^2}{4} = \frac{2*\pi*8^2}{4}$ = 100,53 mm^2
  - n – počet střihů třmínku (v tomto případě 2)
- potřebná rozteč třmínků

  $s_1 \leq \frac{A_{sw}*f_{yd}}{V_{Ed}} * z * cot\theta = \frac{100{,}53*434{,}78}{32{,}85*10^3} * 399 * 1{,}5$ = 796 mm
- konstrukční zásada pro maximální vzdálenost třmínků

  $s_1 \leq$ min (0,75*d; 400 mm) = min (0,75*411; 400) = min (308; 400 mm) = 308 mm

  s_1 = 300 mm

Návrh třmínků Φ 8 mm á 300 mm.

Posouzení třmínků:

$$V_{Rd,1} = \frac{A_{sw}*f_{yd}}{s_1} * z * cot\theta \geq V_{Ed}$$

$$\frac{100{,}53*434{,}78}{300} * 399 * 1{,}5 \geq 32850 \text{ N}$$

87198 N ≥ 32850 N

kontrola stupně vyztužení:

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b*s_1} = \frac{100{,}53}{200*300} = 1{,}68*10^{-3}$$

$\rho_{sw} \leq \rho_{sw,max} = \frac{0,5*\upsilon*f_{cd}}{f_{ywd}} = \frac{0,5*0,552*13,33}{434,78} = 8,46*10^{-3}$

$1,68*10^{-3} \leq 8,46*10^{-3}$

$\rho_{sw} \geq \rho_{sw,min} = \frac{0,08*\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08*\sqrt{20}}{500} = 0,72*10^{-3}$

$1,68*10^{-3} \geq 0,72*10^{-3}$

Třmínky Φ 8 mm á 300 mm vyhovují.

POSOUZENÍ PRŮHYBU

- Průhyb bez účinků smrštění $\delta_{bez\ smršťění}$ = 0,2 mm – převzato z programu Scia, typ hodnoty: nelineární + dotvarování, kombinace pro beton: Výsledná (odpovídá kvazistálé kombinaci)
- Hodnota lineární deformace byla 0,1 mm, rozdíl je dán zohledněním dlouhodobých účinků zatížení na konstrukci, kdy dochází k nárůstu deformací vlivem dotvarování a poklesu tuhosti průřezu po vzniku trhlin. Průhyb od smrštění program nedokáže stanovit, proto je vypočten samostatně.
- Průhyb od smršťování $\delta_{od\ smršťění}$ = 0,2 mm (vypočteno v programu, který byl poskytnut vedoucím bakalářské práce, zjednodušeně a bezpečně uvažováno smrštění jako na konzole)
- Celkový průhyb
  $\delta_{tot} = \delta_{bez\ smršťění} + \delta_{od\ smršťění} = 0,2 + 0,2 = 0,4$ mm
- Dovolený maximální průhyb
  $\delta_{lim,tot} = \frac{l}{250} = \frac{1450}{250} = 5,8$ mm

$\delta_{tot} \leq \delta_{lim,tot}$

0,4 mm ≤ 5,8 mm

Průhyb vyhovuje.

- Dále je třeba posoudit průhyb po zabudování. Hodnotu tohoto průhybu získáme, když od celkového průhybu odečteme krátkodobý průhyb bez vlivu trhlin (pouze od stálého zatížení)
  $\delta_{add} = \delta_{tot} - \delta_{imna} \leq \delta_{lim,add} = \frac{l}{500}$
- Krátkodobý průhyb bez trhlin δ_{imna} = 0,2 mm – převzato z programu Scia (nastaveno zatížení pouze stálé a bez dotvarování)
- Průhyb po zabudování
  $\delta_{add} = \delta_{tot} - \delta_{imna} = 0,4 – 0,2 = 0,2$ mm
- Dovolený maximální průhyb
  $\delta_{lim,add} = \frac{l}{500} = \frac{1450}{500} = 2,9$ mm

$\delta_{add} \leq \delta_{lim,add}$

0,2 mm ≤ 2,9 mm **Průhyb po zabudování vyhovuje.**

POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI ZDIVA

Z důvodu, aby nedošlo k porušení zdiva v místě uložení překladu (ostění), je potřeba posoudit únosnost zdiva (charakteristické hodnoty pevnosti převzaty z Technické příručky [3]).

- charakteristická pevnost zdiva (pojivo tenkovrstvá malta)
  f_k = 2,8 MPa
- návrhová pevnost zdiva (pojivo tenkovrstvá malta)
  $f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{2,8}{2,0}$ = 1,4 MPa
- charakteristická pevnost zdiva (pojivo HELUZ pěna)
  f_k = 1,8 MPa
- návrhová pevnost zdiva (pojivo HELUZ pěna)
  $f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{1,8}{2,0}$ = 0,9 MPa
- reakce od překladu:
  V_{ed} = 32,85 kN
- zatěžovaná plocha:
  A = 250*300 mm = 75000 mm^2
  - Zatěžovaná plocha odpovídá jedné tvarovce U-věncovky, šířka 300 mm a délky 250 mm
- napětí:
  $\sigma_d = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{32850}{75000}$ = 0,44 MPa
- posouzení (pojivo tenkovrstvá malta):

  $f_d \geq \sigma_d$

  1,4 MPa ≥ 0,44 MPa

  Zdivo při použití tenkovrstvé malty vyhoví.

- posouzení (HELUZ pěna):

  $f_d \geq \sigma_d$

  0,9 MPa ≥ 0,44 MPa

  Zdivo při použití HELUZ pěny vyhoví.

3.5 Analýza použitelnosti zvoleného řešení

V předešlé kapitole je popsáno řešení, které je použito i pro další rozměry rohových oken. V programu Scia byly vymodelovány jednotlivé rozměry po 0,25 m od 1,25 x 1,25 m až po 3,00 x 3,00 m (tyto rozměry odpovídají vnitřním rozměrům překladu). Tyto rozměry byly vymodelovány v konzervativnějším statickém modelu. V následující tabulce jsou vypsány vnitřní síly pro jednotlivé rozměry. Vyznačené hodnoty jsou použity do dalších výpočtů.

Tab. 12 Vnitřní síly pro další rozměry překladu

vnější rozměr	osový rozměr [m]	M_{1h} [kNm]	M_{1d} [kNm]	M_{2h} [kNm]	M_{2d} [kNm]	V_{Ed} [kN]	lineární průhyb [mm]
1,25x1,25 m	1,40	**20,63**	1,55	16,85	1,37	**35,81**	0,1
1,50x1,50 m	1,65	**28,71**	2,16	23,36	1,90	**42,24**	0,3
1,75x1,75 m	1,90	**38,12**	2,86	30,92	2,51	**48,66**	0,4
2,00x2,00 m	2,15	**48,85**	3,66	39,56	3,22	**55,09**	0,7
2,25x2,25 m	2,40	**60,91**	4,56	49,26	4,00	**61,51**	1,1
2,50x2,50 m	2,65	**74,29**	5,56	60,02	4,88	**67,93**	1,6
2,75x2,75 m	2,90	**89,00**	6,66	71,85	5,84	**74,35**	2,3
3,00x3,00 m	3,15	**105,03**	**7,86**	84,75	6,89	**80,77**	3,2

V dalších dvou tabulkách je zobrazen návrh a posouzení výztuže. V posledním řádku je návrh a posouzení spodní tlačené výztuže, která bude u všech rozměrů z konstrukčních důvodů ϕ 12 mm. Je zde použita maximální hodnota dolního ohybového momentu pro rozměr 3,00 x 3,00 m, a i pro tuto hodnotu je posouzení pro ohyb více než dostatečné.

Tab. 13 Návrh a posouzení ohybové výztuže

Návrh výztuže																				
vnítř. rozm.	M_{ED}	b	h	c_{nom}	Ø	d	f_{cd}	μ	ζ	f_{yk}	f_{yd}	$A_{s,rqd}$	plocha Ø	min. počet	skut. počet	$A_{s,prov}$	x	z	M_{RD}	POSOUZENÍ
(m)	(kNm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)			(MPa)	(MPa)	(mm^2)	(mm^2)	prutů	prutů	(mm^2)	(mm)	(mm)	(kNm)	
1,30x1,30	22,14	200	450	33	**12**	411	20	0,03	0,985	500	435	126	113	1,11	**2**	226	31	399	39,21	Vyhoví
1,25x1,25	20,63	200	450	33	**12**	411	20	0,03	0,985	500	435	117	113	1,04	**2**	226	31	399	39,21	Vyhoví
1,50x1,50	28,71	200	450	33	**12**	411	20	0,04	0,980	500	435	164	113	1,45	**2**	226	31	399	39,21	Vyhoví
1,75x1,75	38,12	200	450	33	**12**	411	20	0,06	0,969	500	435	220	113	1,95	**2**	226	31	399	39,21	Vyhoví
2,00x2,00	48,85	200	450	33	**14**	410	20	0,07	0,964	500	435	284	154	1,85	**2**	308	42	393	52,64	Vyhoví
2,25x2,25	60,91	200	450	33	**16**	409	20	0,09	0,953	500	435	359	201	1,79	**2**	402	55	387	67,69	Vyhoví
2,50x2,50	74,29	200	450	33	**18**	408	20	0,11	0,942	500	435	445	254	1,75	**2**	509	69	380	84,16	Vyhoví
2,75x2,75	89,00	200	450	33	**20**	407	20	0,13	0,930	500	435	541	314	1,72	**2**	628	85	373	101,86	Vyhoví
3,00x3,00	105,03	200	450	33	**22**	406	20	0,16	0,912	500	435	652	380	1,72	**2**	760	103	365	120,55	Vyhoví
Max.kl.oh.m	7,86	200	450	33	**12**	411	20	0,01	0,995	500	435	44	113	0,39	**2**	226	31	399	39,21	Vyhoví

Tab. 14 Konstrukční zásady a rekapitulace navržené výztuže

Konstrukční zásady																
vnítř. rozm.	ξ	$\xi_{bal,1}$	POSOUZENÍ	f_{ctm}	$A_{s,min}$	POSOUZENÍ	$A_{s,max}$	POSOUZENÍ	S_a	$S_{a,min}$	POSOUZENÍ	D_{max}	S_c	$S_{c,max}$	POSOUZENÍ	
(m)				(MPa)	(mm^2)		(mm^2)		(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)		**Výztuž**
1,30x1,30	0,038	0,450	Vyhoví	2,2	107	Vyhoví	3600	Vyhoví	122	250	Vyhoví	16	110	21	Vyhoví	**2 x Ø12**
1,25x1,25	0,038	0,450	Vyhoví	2,2	107	Vyhoví	3600	Vyhoví	122	250	Vyhoví	16	110	21	Vyhoví	**2 x Ø12**
1,50x1,50	0,051	0,450	Vyhoví	2,2	107	Vyhoví	3600	Vyhoví	122	250	Vyhoví	16	110	21	Vyhoví	**2 x Ø12**
1,75x1,75	0,077	0,450	Vyhoví	2,2	107	Vyhoví	3600	Vyhoví	122	250	Vyhoví	16	110	21	Vyhoví	**2 x Ø12**
2,00x2,00	0,091	0,450	Vyhoví	2,2	107	Vyhoví	3600	Vyhoví	120	250	Vyhoví	16	106	21	Vyhoví	**2 x Ø14**
2,25x2,25	0,118	0,450	Vyhoví	2,2	106	Vyhoví	3600	Vyhoví	118	250	Vyhoví	16	102	21	Vyhoví	**2 x Ø16**
2,50x2,50	0,146	0,450	Vyhoví	2,2	106	Vyhoví	3600	Vyhoví	116	250	Vyhoví	16	98	22	Vyhoví	**2 x Ø18**
2,75x2,75	0,175	0,450	Vyhoví	2,2	106	Vyhoví	3600	Vyhoví	114	250	Vyhoví	16	94	24	Vyhoví	**2 x Ø20**
3,00x3,00	0,219	0,450	Vyhoví	2,2	106	Vyhoví	3600	Vyhoví	112	250	Vyhoví	16	90	26	Vyhoví	**2 x Ø22**
Max.kl.oh.m	0,013	0,450	Vyhoví	2,2	107	Vyhoví	3600	Vyhoví	122	250	Vyhoví	16	110	21	Vyhoví	**2 x Ø12**

V následující tabulce je posouzena únosnost tlačené diagonály.

Tab. 15 Posouzení únosnosti tlačené diagonály

Únosnost tlačené diagonály												
vnitř. rozm.	V_{ed}	b	h	z	f_{ck}	f_{cd}	f_{yk}	f_{yd}	v	cotθ	$V_{Rd,max}$	Únosnost tlačené diagonály
m	kN	m	m	m	MPa	MPa	MPa	MPa			kN	
1,30x1,30	37,09	0,20	0,45	0,399	20	13,33	500	435	0,552	1,5	271,07	**Vyhoví**
1,25x1,25	35,81	0,20	0,45	0,399	20	13,33	500	435	0,552	1,5	271,07	**Vyhoví**
1,50x1,50	42,24	0,20	0,45	0,399	20	13,33	500	435	0,552	1,5	271,07	**Vyhoví**
1,75x1,75	48,66	0,20	0,45	0,399	20	13,33	500	435	0,552	1,5	271,07	**Vyhoví**
2,00x2,00	55,09	0,20	0,45	0,393	20	13,33	500	435	0,552	1,5	267,00	**Vyhoví**
2,25x2,25	61,51	0,20	0,45	0,387	20	13,33	500	435	0,552	1,5	262,92	**Vyhoví**
2,50x2,50	67,93	0,20	0,45	0,38	20	13,33	500	435	0,552	1,5	258,17	**Vyhoví**
2,75x2,75	74,35	0,20	0,45	0,373	20	13,33	500	435	0,552	1,5	253,41	**Vyhoví**
3,00x3,00	80,77	0,20	0,45	0,365	20	13,33	500	435	0,552	1,5	247,98	**Vyhoví**

V další tabulce je proveden návrh a posouzení smykové výztuže.

Tab. 16 Návrh a posouzení smykové výztuže

Návrh a posouzení třmínků														
vnitř. rozm.	$\Phi_{tř}$	n (střihy)	d	A_{sw}	s_1	kč. zás. S_1	Návrh s_1	$V_{Rd,1}$	Pos. třm.	ρ_{sw}	$\rho_{sw,max}$	$\rho_{sw} \leq \rho_{sw,max}$	$\rho_{sw,min}$	$\rho_{sw} \geq \rho_{sw,min}$
m	mm		mm	mm^2	mm	mm	mm	kN						
1,30x1,30	**8**	2	411	101	705	308	**300**	87,20	**Vyhoví**	0,00168	0,0085	**Vyhoví**	0,00072	**Vyhoví**
1,25x1,25	**8**	2	411	101	731	308	**300**	87,20	**Vyhoví**	0,00168	0,0085	**Vyhoví**	0,00072	**Vyhoví**
1,50x1,50	**8**	2	411	101	619	308	**300**	87,20	**Vyhoví**	0,00168	0,0085	**Vyhoví**	0,00072	**Vyhoví**
1,75x1,75	**8**	2	411	101	538	308	**300**	87,20	**Vyhoví**	0,00168	0,0085	**Vyhoví**	0,00072	**Vyhoví**
2,00x2,00	**8**	2	410	101	468	308	**300**	85,89	**Vyhoví**	0,00168	0,0085	**Vyhoví**	0,00072	**Vyhoví**
2,25x2,25	**8**	2	409	101	413	307	**300**	84,58	**Vyhoví**	0,00168	0,0085	**Vyhoví**	0,00072	**Vyhoví**
2,50x2,50	**8**	2	408	101	367	306	**300**	83,05	**Vyhoví**	0,00168	0,0085	**Vyhoví**	0,00072	**Vyhoví**
2,75x2,75	**8**	2	407	101	329	305	**250**	97,82	**Vyhoví**	0,00201	0,0085	**Vyhoví**	0,00072	**Vyhoví**
3,00x3,00	**8**	2	406	101	296	305	**200**	119,65	**Vyhoví**	0,00251	0,0085	**Vyhoví**	0,00072	**Vyhoví**

Další tabulka ukazuje posouzení podélného smykového napětí. Jsou zde posouzeny třmínky a jejich vzdálenosti, které jsou zobrazeny v předešlé tabulce.

Tab. 17 Posouzení podélného smykového napětí

Posouzení podélného smykového napětí									
vnitř. rozm.	v_{Ed}	c	$f_{ctk.0,05}$	f_{ctd}	μ	v_{Rd}	$0,5*v*f_{cd}$	$v_{Rd} \leq 0,5*v*f_{cd}$	$v_{Ed} \leq v_{Rd}$
m	MPa		MPa	MPa		MPa	MPa		
1,30x1,30	0,46	0,45	1,5	1	0,7	0,96	3,68	**Vyhoví**	**Vyhoví**
1,25x1,25	0,45	0,45	1,5	1	0,7	0,96	3,68	**Vyhoví**	**Vyhoví**
1,50x1,50	0,53	0,45	1,5	1	0,7	0,96	3,68	**Vyhoví**	**Vyhoví**
1,75x1,75	0,61	0,45	1,5	1	0,7	0,96	3,68	**Vyhoví**	**Vyhoví**
2,00x2,00	0,70	0,45	1,5	1	0,7	0,96	3,68	**Vyhoví**	**Vyhoví**
2,25x2,25	0,79	0,45	1,5	1	0,7	0,96	3,68	**Vyhoví**	**Vyhoví**
2,50x2,50	0,89	0,45	1,5	1	0,7	0,96	3,68	**Vyhoví**	**Vyhoví**
2,75x2,75	1,00	0,45	1,5	1	0,7	1,06	3,68	**Vyhoví**	**Vyhoví**
3,00x3,00	1,11	0,45	1,5	1	0,7	1,21	3,68	**Vyhoví**	**Vyhoví**

V další tabulce je provedeno posouzení průhybů.

Tab. 18 Posouzení průhybů

Posouzení průhybu												
vnitř. rozm.	os. rozm	horní výzt.	dolní výzt.	$\delta_{bez\ smršť.}$	$\delta_{od\ smršť}$	δ_{tot}	$\delta_{tot,lim}$	$\delta_{tot} \leq \delta_{tot,lim}$	δ_{imna}	δ_{add}	$\delta_{add,lim}$	$\delta_{add} \leq \delta_{add,lim}$
m	mm	Φ mm	Φ mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	
1,30x1,30	1450	12	12	0,4	0,3	0,7	5,8	Vyhoví	0,1	0,6	2,9	Vyhoví
1,25x1,25	1400	12	12	0,3	0,2	0,5	5,6	Vyhoví	0,1	0,4	2,8	Vyhoví
1,50x1,50	1650	12	12	0,7	0,4	1,1	6,6	Vyhoví	0,2	0,9	3,3	Vyhoví
1,75x1,75	1900	12	12	1,6	0,6	2,2	7,6	Vyhoví	1,2	1	3,8	Vyhoví
2,00x2,00	2150	14	12	2,9	1,2	4,1	8,6	Vyhoví	1,9	2,2	4,3	Vyhoví
2,25x2,25	2400	16	12	4,2	1,8	6	9,6	Vyhoví	2,8	3,2	4,8	Vyhoví
2,50x2,50	2650	18	12	5,7	2,5	8,2	10,6	Vyhoví	4,1	4,1	5,3	Vyhoví
2,75x2,75	2900	20	12	7,9	3,2	11,1	11,6	Vyhoví	5,4	5,7	5,8	Vyhoví
3,00x3,00	3150	22	12	10,2	4	14,2	12,6	NEVYHOVÍ	6,9	7,3	6,3	NEVYHOVÍ
3,00x3,00	3150	22	22	9,2	1,4	10,6	12,6	Vyhoví	6,7	3,9	6,3	Vyhoví

V následující tabulce je provedeno posouzení únosnosti zdiva, tam kde nevyhoví jedna věncovka je přidaná další. Toto posouzení je provedeno na zdivu s použitím HELUZ pěny jako pojiva, protože toto zdivo má nejmenší únosnost.

Tab. 19 Posouzení únosnosti zdiva

Posouzení únosnosti zdiva							
vnitř. rozm.	V_{ed}	f_k	f_d	věncovky	roznášecí pl.	σ_d	$f_d \geq \sigma_d$
m	kN	MPa	MPa	ks	mm^2	MPa	
1,30x1,30	37,09	1,8	0,9	**1**	75000	0,49	**Vyhoví**
1,25x1,25	35,81	1,8	0,9	**1**	75000	0,48	**Vyhoví**
1,50x1,50	42,24	1,8	0,9	**1**	75000	0,56	**Vyhoví**
1,75x1,75	48,66	1,8	0,9	**1**	75000	0,65	**Vyhoví**
2,00x2,00	55,09	1,8	0,9	**1**	75000	0,73	**Vyhoví**
2,25x2,25	61,51	1,8	0,9	**1**	75000	0,82	**Vyhoví**
2,50x2,50	67,93	1,8	0,9	**2**	150000	0,45	**Vyhoví**
2,75x2,75	74,35	1,8	0,9	**2**	150000	0,50	**Vyhoví**
3,00x3,00	80,77	1,8	0,9	**2**	150000	0,54	**Vyhoví**

3.6 Výsledky řešení

Průřez překladu se nemění, železobetonová část je široká 200 mm a vysoká 450 mm. Mění se pouze šířka okenního otvoru a tudíž i délka překladu. Obě ramena překladu jsou vždy stejně dlouhá. Jako nejmenší vnitřní rozměr překladu bylo zvoleno 1,25 x 1,25 m. Poté se přidávalo vždy 0,25 m až do vnitřního rozměru překladu 3,00 x 3,00 m. Na prvním řádku tabulek je přidán překlad o vnitřním rozměru 1,30 x 1,30 m, který je podrobně vypočten v předchozí části bakalářské práce.

Jako minimální profil ohybové výztuže, byl zvolen profil 12 mm. Na spodní i horní povrch překladu jsou umístěny dva profily. Podle potřeby jsou případně použity větší profily.

Překlady o rozměru 1,75 x 1,75 m a menší jsou při horním povrchu, který je taženým povrchem, vyztuženy 2 x Φ 12 mm. Překlad o rozměru 2,00 x 2,00 m je při horním povrchu vyztužen 2 x Φ 14 mm. Překlad o rozměru 2,25 x 2,25 m je při horním povrchu vyztužen 2 x Φ 16 mm. Překlad o rozměru 2,50 x 2,50 m je při horním povrchu vyztužen 2 x Φ 18 mm. Překlad o rozměru 2,75 x 2,75 m je při horním povrchu vyztužen 2 x Φ 20 mm. Překlad o rozměru 3,00 x 3,00 m je při horním povrchu vyztužen 2 x Φ 22 mm.

Překlady o rozměrech 1,25 x 1,25 m až 2,75 x 2,75 m jsou při spodním povrchu vyztuženy 2 x Φ 12 mm. Pouze překlad o rozměru 3,00 x 3,00 m je při spodním povrchu vyztužen 2 x Φ 22 mm, a to z důvodu, že při vyztužení 2 x Φ 12 mm nevyhovělo posouzení celkového průhybu, ani průhybu po zabudování. Pokud by bylo žádoucí, aby průhyby byly menší, než jaké jsou při stávajícím navržení výztuže, je průhyby možné snížit zvětšením profilů spodní výztuže na stejné profily jako jsou u horní výztuže. U překladu o vnitřním rozměru 3,00 x 3,00 mm klesl celkový průhyb touto úpravou ze 14,2 mm na 10,6 mm, což je pokles o přibližně 25 %.

Smyková výztuž je dostačující v podobě dvoustřižných třmínků z Φ 8 mm. Překlady o rozměrech 1,25 x 1,25 m až 2,50 x 2,50 m budou vyztuženy třmínky o rozteči 300 mm. Překlad o rozměru 2,75 x 2,75 m bude vyztužen třmínky o rozteči 250 mm a překlad o rozměru 3,00 x 3,00 m bude vyztužen třmínky o rozteči 200 mm. Vzdálenosti třmínků u těchto dvou rozměrů překladu byly sníženy z důvodu zvětšení únosnosti vůči podélnému smykovému napětí.

Celkový průhyb i průhyb po zabudování u všech rozměrů vyhoví normovým hodnotám. Překlad o rozměru 3,00 x 3,00 m musí být vyztužen symetricky, jak už bylo popsáno dříve. Všechny ostatní překlady mohou mít dolní výztuž 2 x Φ 12 mm.

Z důvodu potřeby roznesení zatížení z překladu na větší plochu zdiva u ostění musí být u překladů o rozměrech 2,50 x 2,50 m až 3,00 x 3,00 m nad zdivem dvě věncovky plně vyplněny betonem, u překladů o menších rozměrech bude stačit jedna věncovka.

4 Závěr

Tato práce ukázala, že rohová okna mohou být realizována bez sloupků a zastropena stropem s vykonzolovaným železobetonovým rohovým překladem. Je možné využít vložkové prefa-monolitické stropy i další keramické výrobky, jako jsou například U-věncovky, ke sjednocení omítaných povrchů. Je zde výpočetně ověřeno, že vyztužení těchto překladů je možné i u vnitřního rozměru překladu 3,00 x 3,00 m.

Konstrukce překladů s větším vyložením není vyloučena, v této práci však nebyla řešena. Je potřeba vzít na zřetel, že světlá šířka místnosti a zároveň vzdálenost svislých nosných stěn řešeného vzorového objektu je 3,15 m, větší rozměry rohového okna tedy nepřipadaly v úvahu. Při větším rozponu stropu by se zvětšilo zatížení na překlad, bylo by tedy nutné navrhnout větší množství výztuže nebo překlad zvýšit. V principu by však bylo možné použít stejný postup řešení. Alternativně by šlo použít podrobnější statický model popsaný v kapitole 3.4.2, který dává menší hodnoty vnitřních sil na překladu z důvodu uvažování jeho spolupůsobení se stropní deskou. Použití tohoto modelu v řešených případech nebylo nutné, jelikož konzervativní model vedl k návrhu překladů s vyhovujícími rozměry i vyztužením.

Z práce dále vyplynulo několik námětů pro další analýzy, kterým se autor plánuje věnovat.

V této práci je řešení ukázáno na jednovrstvém zdivu, které splňuje minimální tepelně-technické požadavky. U jednovrstvého zdiva s přísnějšími tepelně-technickými požadavky, bude potřeba překlad zateplit větší vrstvou izolantu nebo izolantem s lepšími tepelně-technickými vlastnostmi. U zdiva, které je celoplošně zatepleno, by mělo být řešení tepelně-technických problémů překladu jednodušší než u jednovrstvého zdiva, tyto případy tedy není nutné speciálně řešit.

Další věcí k řešení je zakomponování do konstrukce žaluziových a roletových překladů, které dále omezí šířku překladu. Je možné, že z prostorových důvodů, bude v takovém případě nutné vynechání U – věncovky.

V neposlední řadě by bylo vhodné výsledky práce rozšířit pro různé tloušťky zdiva a tedy i překladů.

5 Literatura

[1] Dostupný z WWW (cit. 21.5.2018):

https://stavbaweb.dumabyt.cz/podzimni-novinky-2016-v-sortimentu-porotherm-15220/clanek.html

[2] Dostupný z WWW (cit. 21.5.2018):

https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/informace-vyrobcu/z-cihel-porotherm-t-profi-predstavenych-v-dubnu-uz-stoji-prvni-rodinne-domy_103040.html

[3] HELUZ Technická příručka, 11. vydání – únor 2018, vydal: HELUZ cihlářský průmysl v.o.s. U Cihelny 295, 373 65 Dolní Bukovsko, CZ

[4] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky.* ČNI, Praha 2011.

[5] Dostupný z WWW (cit. 21.5.2018):

http://docplayer.cz/6177023-Bh-52-pozemni-stavitelstvi-i.html

[6] ČSN EN 1991-1-1 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.* ČNI, Praha 2004.

[7] Advanced Concept Training, Reinforced concrete (EN 1992) – Adv. Modules.

Dostupný z WWW (cit. 21.5.2018):

http://masesoft.com/uploads/3/4/8/9/3489364/_engadvanced_concept_training_-_adv._concrete_modules__en1992.pdf

[8] ČSN EN 1992-1-1 *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.* ČNI, Praha 2006.

[9] ČSN EN 1996-1-1 *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce.* ČNI, Praha 2006.

6 Použitý software

MS Word, verze 2016

MS Excel, verze 2016

Teplo, verze 2017

Area, verze 2017

SCIA Engineer, verze 16.0

AutoCAD, verze 2014

7 Přílohy

7.1 Příloha 1: Protokol z programu Teplo

SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

Teplo 2017 EDU tepelná ochrana budov (ČSN 730540, EN ISO 6946, EN ISO 13788)

Název kce	Typ	R [m2K/W]	U [W/m2K]	Ma,max[kg/m2]	Odpaření	DeltaT10 [C]
BP věnec...	stěna	3.956	0.242	nedochází ke kondenzaci v.p.		---

Vysvětlivky:

R	tepelný odpor konstrukce
U	součinitel prostupu tepla konstrukce
Ma,max	maximální množství zkond. vodní páry v konstrukci za rok
DeltaT10	pokles dotykové teploty podlahové konstrukce.

KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2017 EDU

Název úlohy : **BP věnec**
Zpracovatel : TT 2017
Zakázka :
Datum : 19.02.2018

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější jednoplášťová
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m2K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m3]	Mi [-]	Ma [kg/m2]
1	Železobeton 3	0,3000	1,7400	1020,0	2500,0	32,0	0.0000
2	Isover EPS 100	0,1400	0,0370	1270,0	21,0	50,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Železobeton 3	---
2	Isover EPS 100	---

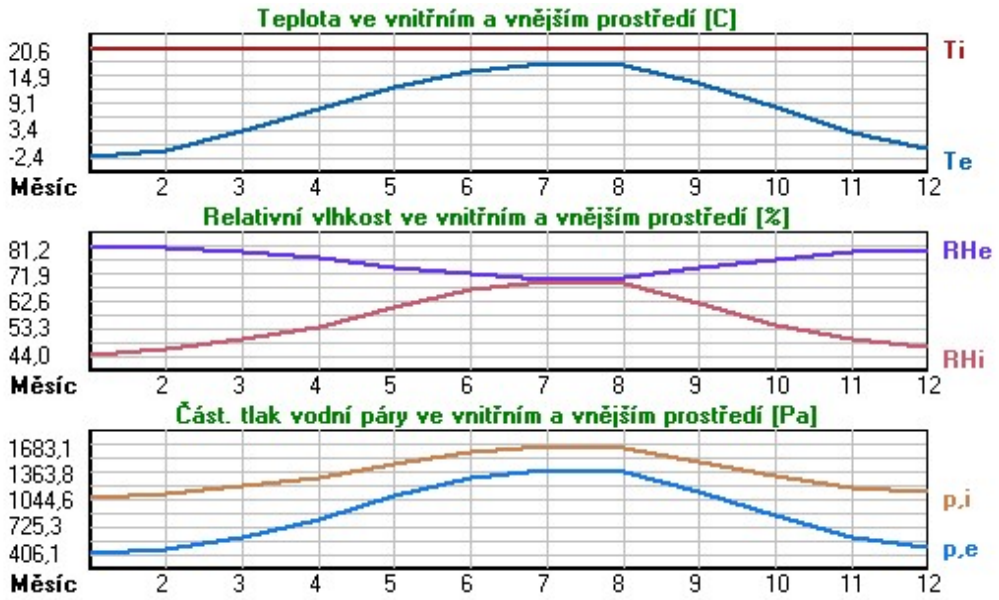
Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m2K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi : 0.25 m2K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m2K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse : 0.04 m2K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -13.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 20.6 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 55.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]		Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]
1	31	744	20.6	44.0	1067.1	-2.4	81.2	406.1
2	28	672	20.6	46.1	1118.0	-0.9	80.8	457.9
3	31	744	20.6	49.4	1198.0	3.0	79.5	602.1
4	30	720	20.6	53.9	1307.2	7.7	77.5	814.1
5	31	744	20.6	60.8	1474.5	12.7	74.5	1093.5
6	30	720	20.6	66.5	1612.7	15.9	72.0	1300.1
7	31	744	20.6	69.4	1683.1	17.5	70.4	1407.2
8	31	744	20.6	68.5	1661.2	17.0	70.9	1373.1
9	30	720	20.6	61.8	1498.8	13.3	74.1	1131.2
10	31	744	20.6	54.5	1321.7	8.3	77.1	843.7
11	30	720	20.6	49.3	1195.6	2.9	79.5	597.9
12	31	744	20.6	46.6	1130.1	-0.6	80.7	468.9

Poznámka: Tai, RHi a Pi jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a Te, RHe a Pe jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).



Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přirážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.
Počet hodnocených let : 1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 3.956 m2K/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.242 W/m2K**

Součinitel prostupu zabudované kce U,kc : 0.26 / 0.29 / 0.34 / 0.44 W/m2K
Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přirážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor a tepelně akumulační vlastnosti:

Difuzní odpor konstrukce ZpT : 8.8E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny* podle EN ISO 13786 : 421.5
Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 11.1 h

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách Tsi,p : 18.62 C
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f,Rsi,p : **0.941**

Obě hodnoty platí pro odpor při přestupu tepla na vnitřní straně Rsi=0,25 m2K/W.

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	--------- 80% ---------		-------- 100% ---------				
	Tsi,m[C]	**f,Rsi,m**	**Tsi,m[C]**	**f,Rsi,m**	**Tsi[C]**	**f,Rsi**	**RHsi[%]**
1	11.2	0.593	7.9	0.449	19.2	0.941	47.8
2	12.0	0.598	8.6	0.443	19.3	0.941	49.9
3	13.0	0.569	9.6	0.377	19.6	0.941	52.7
4	14.3	0.515	10.9	0.251	19.8	0.941	56.5
5	16.2	0.446	12.8	0.009	20.1	0.941	62.6
6	17.6	0.369	14.1	------	20.3	0.941	67.6
7	18.3	0.262	14.8	------	20.4	0.941	70.2
8	18.1	0.307	14.6	------	20.4	0.941	69.4
9	16.5	0.435	13.0	------	20.2	0.941	63.5

10	14.5	0.505	11.1	0.229	19.9	0.941	57.0
11	13.0	0.569	9.6	0.379	19.6	0.941	52.6
12	12.1	0.600	8.8	0.442	19.4	0.941	50.3

Poznámka: RHsi je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, Tsi je vnitřní povrchová teplota a f,Rsi je teplotní faktor.

Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540:

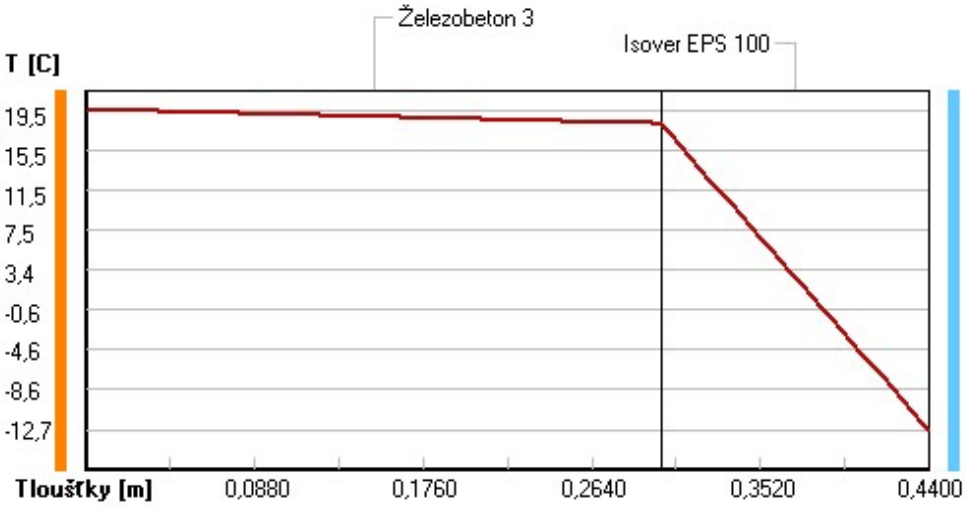
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

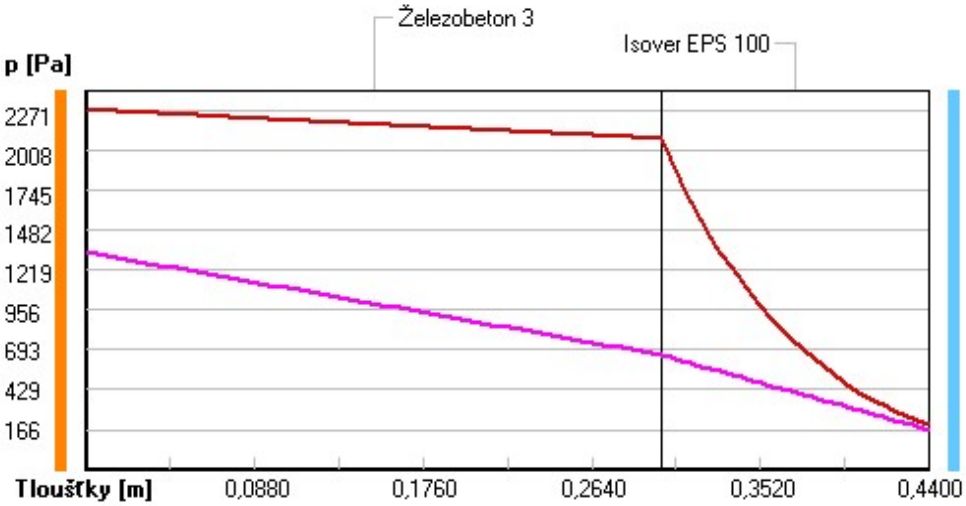
rozhraní:	i	1-2	e
theta [C]:	19.5	18.1	-12.7
p [Pa]:	1334	659	166
p,sat [Pa]:	2271	2081	204

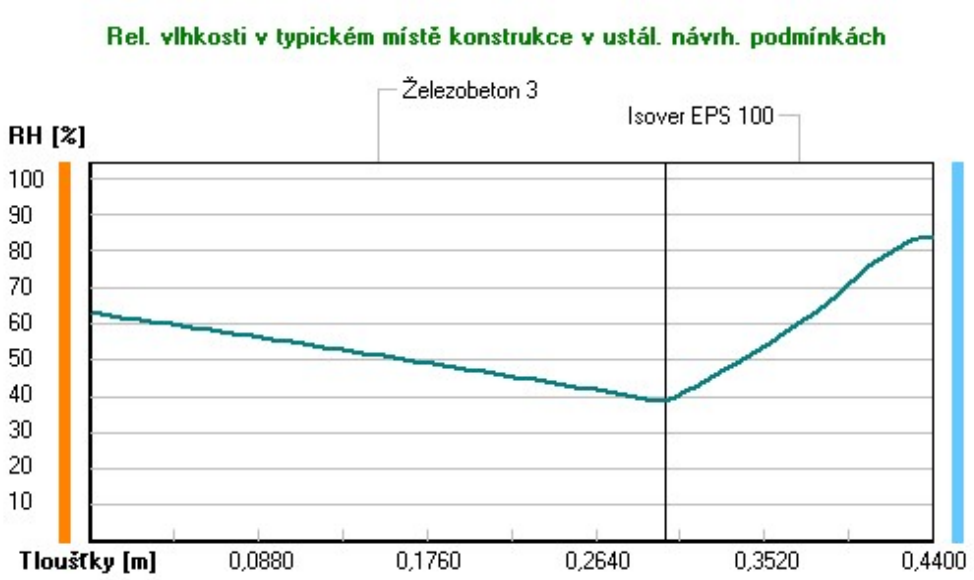
Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Část. tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách





Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry Gd : 1.406E-0008 kg/(m2.s)

Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

Rozmezí relativních vlhkostí v jednotlivých materiálech (pro poslední roční cyklus):

		Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok				
Číslo	**Název**	**pod 60%**	**60-70%**	**70-80%**	**80-90%**	**nad 90%**
1	Železobeton 3	212	153	---	---	---
2	Isover EPS 100	---	---	365	---	---

Poznámka: S pomocí této tabulky lze zjednodušeně odhadnout, jaké je riziko dosažení nepřípustné hmotnostní vlhkosti materiálu či riziko jeho koroze.

Konkrétně pro dřevo předepisuje ČSN 730540-2/Z1 maximální přípustnou hmotnostní vlhkost 18 %. Ze sorpční křivky pro daný typ dřeva lze odvodit, při jaké relativní vlhkosti vzduchu dosahuje dřevo této kritické hmotnostní vlhkosti. Obvykle jde o cca 80 %.
Pokud je v tabulce výše pro dřevo uveden dlouhodobější výskyt relativní vlhkosti nad 80 %, lze předpokládat, že požadavek ČSN 730540-2 na maximální hmotnostní vlhkost dřeva nebude splněn.

Teplo 2017 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

7.2 Příloha 2: Protokol z programu Area

DVOUROZMĚRNÉ STACIONÁRNÍ POLE TEPLOT A ČÁSTEČNÝCH TLAKŮ VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 10211 a ČSN 730540 - MKP/FEM model

Area 2017 EDU

Název úlohy : **BP věvec**
Varianta
Zpracovatel : TT 2017
Zakázka :
Datum : 23.02.2018

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

Parametry pro výpočet teplotního faktoru:

Teplota vzduchu v exteriéru: -15.0 C
Teplota vzduchu v interiéru: 21.0 C

Parametry charakterizující rozsah úlohy:

Počet svislých os: 37
Počet vodorovných os: 38
Počet prvků: 2664
Počet uzlových bodů: 1406

Souřadnice os sítě - osa x [m] :

0.00000 0.03750 0.05625 0.06563 0.07031 0.07500 0.07700 0.08363 0.09025 0.10350
0.13000 0.13800 0.14000 0.14800 0.16800 0.18800 0.20800 0.21800 0.25400 0.29000
0.44000 0.56500 0.69000 0.81500 0.94000 1.06500 1.19000 1.31500 1.44000 1.56500
1.69000 1.81500 1.94000 2.06500 2.19000 2.31500 2.44000

Souřadnice os sítě - osa y [m] :

0.00000 0.12500 0.25000 0.31500 0.34750 0.36375 0.38000 0.39000 0.40500 0.42000
0.43000 0.44500 0.46000 0.48000 0.50000 0.53125 0.56250 0.62500 0.75000 0.87500
0.93750 0.96875 0.98438 1.00000 1.01000 1.02563 1.04125 1.07250 1.13500 1.26000
1.38500 1.51000 1.63500 1.76000 1.88500 2.01000 2.13500 2.26000

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Železobeton 3	1.740	1.740	32	32	13	21	15	24
2	Železobeton 3	1.740	1.740	32	32	21	37	19	24
3	Malta vápenocem	0.970	0.970	14	14	13	21	24	25
4	HELUZ PLUS 36.5	0.113	0.113	10	10	6	21	25	30
5	HELUZ PLUS 44	0.111	0.111	10	10	1	21	30	38
6	Cemix 115 - Lep	0.634	0.634	20	20	12	13	13	25
7	Cemix 115 - Lep	0.634	0.634	20	20	6	7	25	30
8	Isover EPS 100	0.037	0.037	50	50	1	6	25	30
9	Isover EPS 100	0.037	0.037	50	50	1	13	13	25
10	Dřevo tvrdé (to	0.075	0.075	157	157	13	18	10	15
11	Dřevo tvrdé (to	0.075	0.075	157	157	11	17	7	11
12	Sklo stavební	0.039	0.039	1000000	1000000	14	16	1	8

Poznámka: LambdaX a LambdaY jsou návrhové hodnoty tepelné vodivosti materiálu ve směru osy X a Y ve W/(m.K); Mix a MiY jsou návrhové faktory difúzního odporu materiálu ve směru osy X a Y; X1 a X2 jsou čísla os ve směru osy X a Y1 a Y2 jsou čísla os ve směru osy Y vymezující zadanou oblast.

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	RH [%]	P [kPa]	h,p [s/m]
1	784	1392	21.00	0.13	50.0	1.24	10.00

2	784	785	21.00	0.13	50.0	1.24	10.00
3	785	790	21.00	0.13	50.0	1.24	10.00
4	790	798	21.00	0.13	50.0	1.24	10.00
5	779	1387	21.00	0.13	50.0	1.24	10.00
6	775	779	21.00	0.13	50.0	1.24	10.00
7	661	775	21.00	0.13	50.0	1.24	10.00
8	656	661	21.00	0.13	50.0	1.24	10.00
9	618	656	21.00	0.13	50.0	1.24	10.00
10	615	618	21.00	0.13	50.0	1.24	10.00
11	577	615	21.00	0.13	50.0	1.24	10.00
12	571	577	21.00	0.13	50.0	1.24	10.00
13	30	38	-15.00	0.04	84.0	0.14	20.00
14	25	30	-15.00	0.04	84.0	0.14	20.00
15	13	25	-15.00	0.04	84.0	0.14	20.00
16	13	431	-15.00	0.04	84.0	0.14	20.00
17	431	469	-15.00	0.04	84.0	0.14	20.00
18	467	469	-15.00	0.04	84.0	0.14	20.00
19	391	467	-15.00	0.04	84.0	0.14	20.00
20	387	391	-15.00	0.04	84.0	0.14	20.00
21	387	501	-15.00	0.04	84.0	0.14	20.00
22	495	501	-15.00	0.04	84.0	0.14	20.00

Poznámka: Rs je odpor při přestupu tepla na příslušném povrchu, RH je relativní vlhkost v prostředí působícím na příslušný povrch, P je částečný tlak vodní páry v prostředí působícím na daný povrch a h,p je součinitel přestupu vodní páry na příslušném povrchu.

Zadané průměrné měsíční teploty a vlhkosti (pro roční bilanci vodní páry):

Měsíc	Délka[dny]	Tai[C]	RHi[%]	Pi[Pa]	Te[C]	RHe[%]	Pe[Pa]
1	31	20.6	48.1	1166.4	-2.4	81.2	406.3
2	28	20.6	50.3	1219.7	-0.9	80.8	458.2
3	31	20.6	52.9	1282.8	3.0	79.5	602.4
4	30	20.6	56.4	1367.6	7.7	77.5	814.4
5	31	20.6	62.3	1510.7	12.7	74.5	1093.8
6	30	20.6	67.3	1631.9	15.9	72.0	1300.2
7	31	20.6	69.9	1695.0	17.5	70.4	1407.2
8	31	20.6	69.1	1675.6	17.0	70.9	1373.1
9	30	20.6	63.2	1532.5	13.3	74.1	1131.4
10	31	20.6	56.9	1379.8	8.3	77.1	844.0
11	30	20.6	52.8	1280.3	2.9	79.5	598.1
12	31	20.6	50.7	1229.4	-0.6	80.7	469.1

Pro výpočet roční bilance vodní páry byla uplatněna přirážka k vnitřní průměrné vlhkosti: 5.0 %
Výchozí měsíc výpočtu bilance byl stanoven výpočtem podle EN ISO 13788.

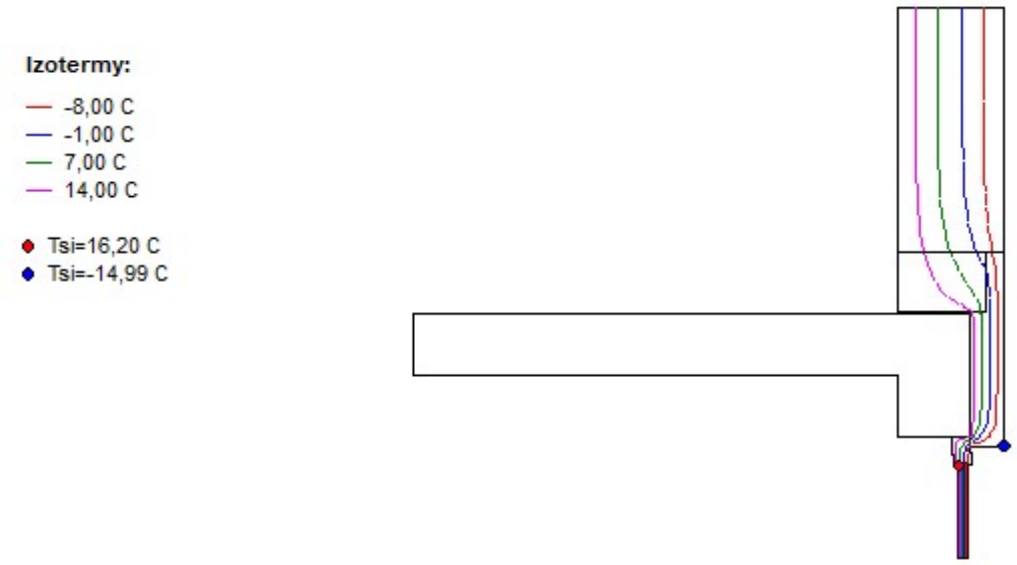
Poznámka: Tai je prům. měsíční návrhová teplota vnitřního vzduchu, RHi je prům. měsíční relativní vlhkost vnitřního vzduchu, Pi je prům. měsíční částečný tlak vodní páry ve vnitřním vzduchu, Te je prům. měsíční teplota na vnější straně, RHe je prům. měsíční relativní vlhkost na vnější straně a Pe je prům. měsíční částečný tlak vodní páry na vnější straně.

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉHO DETAILU :

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	21.0	0.13	50	16.20	32.34425	0.89845
2	-15.0	0.04	84	-14.99	-32.34412	0.89845

Vysvětlivky:
T zadaná teplota v daném prostředí [C]
Rs zadaný odpor při přestupu tepla v daném prostředí [m2K/W]
R.H. zadaná relativní vlhkost v daném prostředí [%]
Ts,min minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
Tep.tok Q hustota tepelného toku z daného prostředí [W/m]
(hodnota je vztažena na 1m délky tepelného mostu, přičemž ztráta je kladná a zisk je záporný)
Propust. L tepelná propustnost mezi daným prostředím a okolím [W/mK]
(lze určit jen pro maximálně 2 prostředí; pro určité charakteristické výseky lze získat průměrný součinitel prostupu tepla vydělením hodnoty L šířkou hodnoceného výseku konstrukce)



NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	Tw [C]	Ts,min [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T,min [C]
1	10.18	16.20	0.867	ne	---	---
2	-16.87	-14.99	1.000	ne	---	---

Vysvětlivky:

Tw teplota rosného bodu v daném prostředí [C] - lze určit jen pro teploty do 100 C

Ts,min minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]

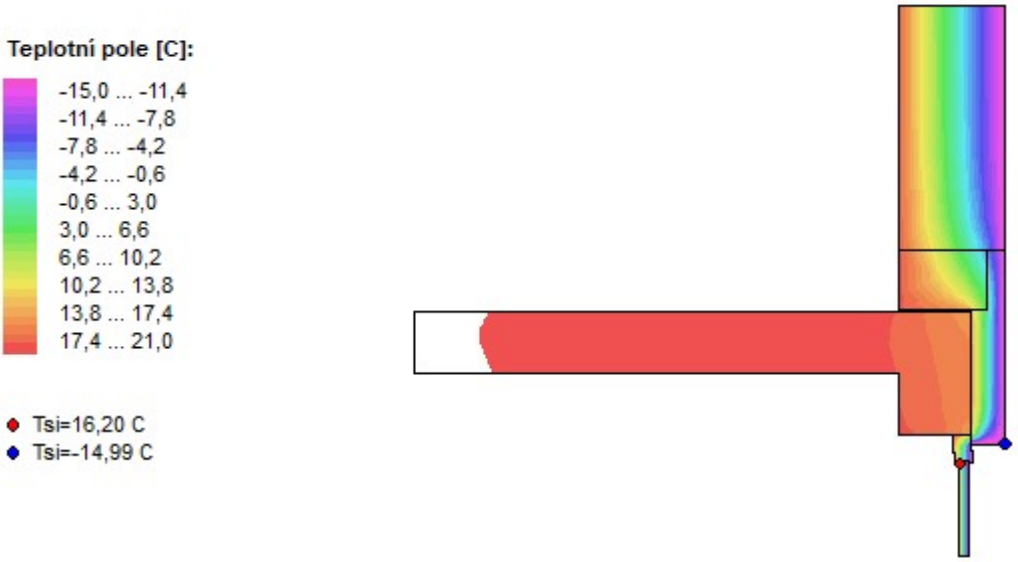
f,Rsi teplotní faktor dle ČSN 730540, EN ISO 10211 a EN ISO 13788 [-]
[rozdíl minimální povrchové teploty a vnější teploty podělený rozdílem vnitřní (21.0 C) a vnější (-15.0 C) teploty - přesně lze určit jen pro max. 2 prostředí a pro rozdílnou vnitřní a vnější teplotu, program nicméně určuje orientační hodnoty i pro více prostředí, přičemž se uvažuje vnitřní teplota podle daného prostředí a konstantní vnější teplota Te = -15.0 C]

KOND. označuje vznik povrchové kondenzace

RH,max maximální možná relativní vlhkost při dané teplotě v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [%]

T,min minimální potřebná teplota při dané absolutní vlhkosti v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [C] - platí jen pro případ dvou prostředí

Poznámka: Zde uvedené vyhodnocení rizika povrchové kondenzace neodpovídá hodnocení podle ČSN 730540-2. Program pouze porovnává teplotu povrchu s teplotou rosného bodu v okolním prostředí.



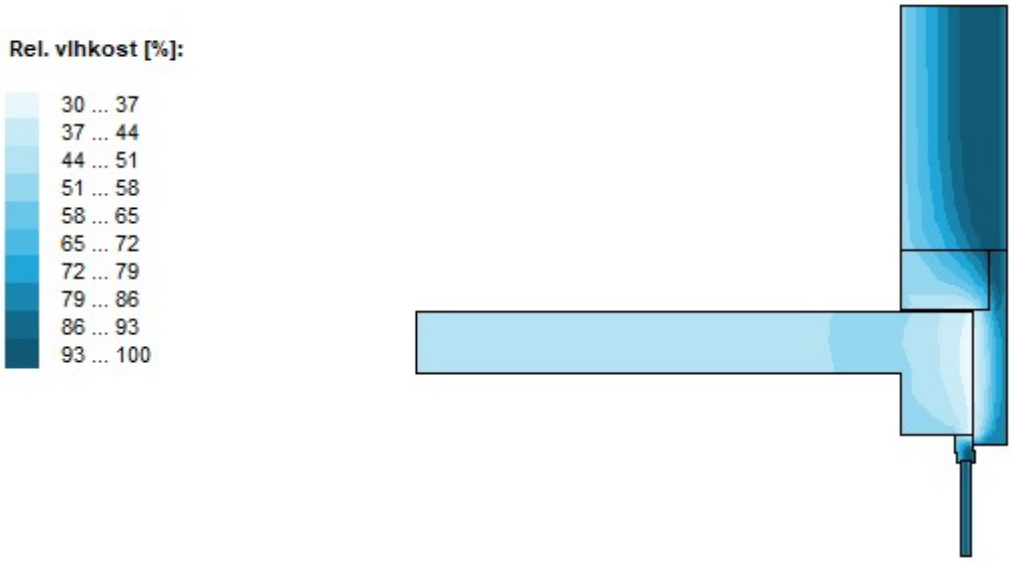
ODHAD CHYBY VÝPOČTU:

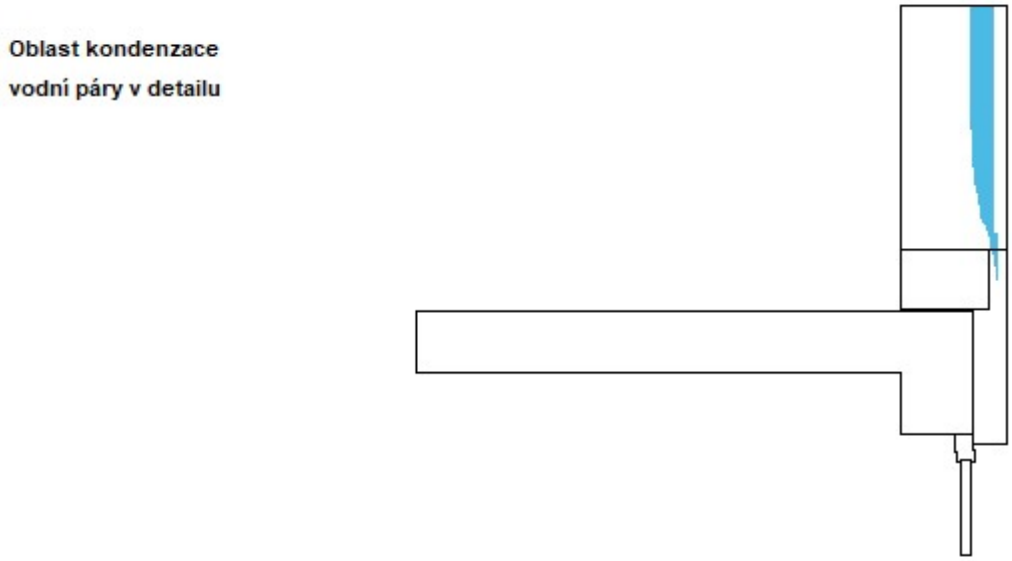
Součet tepelných toků: 0.0001 W/m
Součet abs.hodnot tep.toků: 64.6884 W/m
Podíl: 0.0000
Podíl je menší než 0.001 - požadavek EN ISO 10211 je splněn.

TOKY DIFUNDUJÍCÍ VODNÍ PÁRY PŘI ZADANÝCH PODMÍNKÁCH:

Množství vstupující do konstrukce: 6.8E-0008 kg/m,s.
Množství vystupující z konstrukce: 5.6E-0008 kg/m,s.
Množství kondenzující vodní páry: 1.1E-0008 kg/m,s.

Poznámka: Uvedená množství jsou vztažena k 1 m výšky detailu a platí pro zadané okrajové podmínky. Množství vodní páry vstupující do konstrukce bylo stanoveno pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 10.e-9 s/m. Množství vystupující z konstrukce pak pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 20.e-9 s/m. Ostatní povrchy se ve výpočtu neuplatnily.



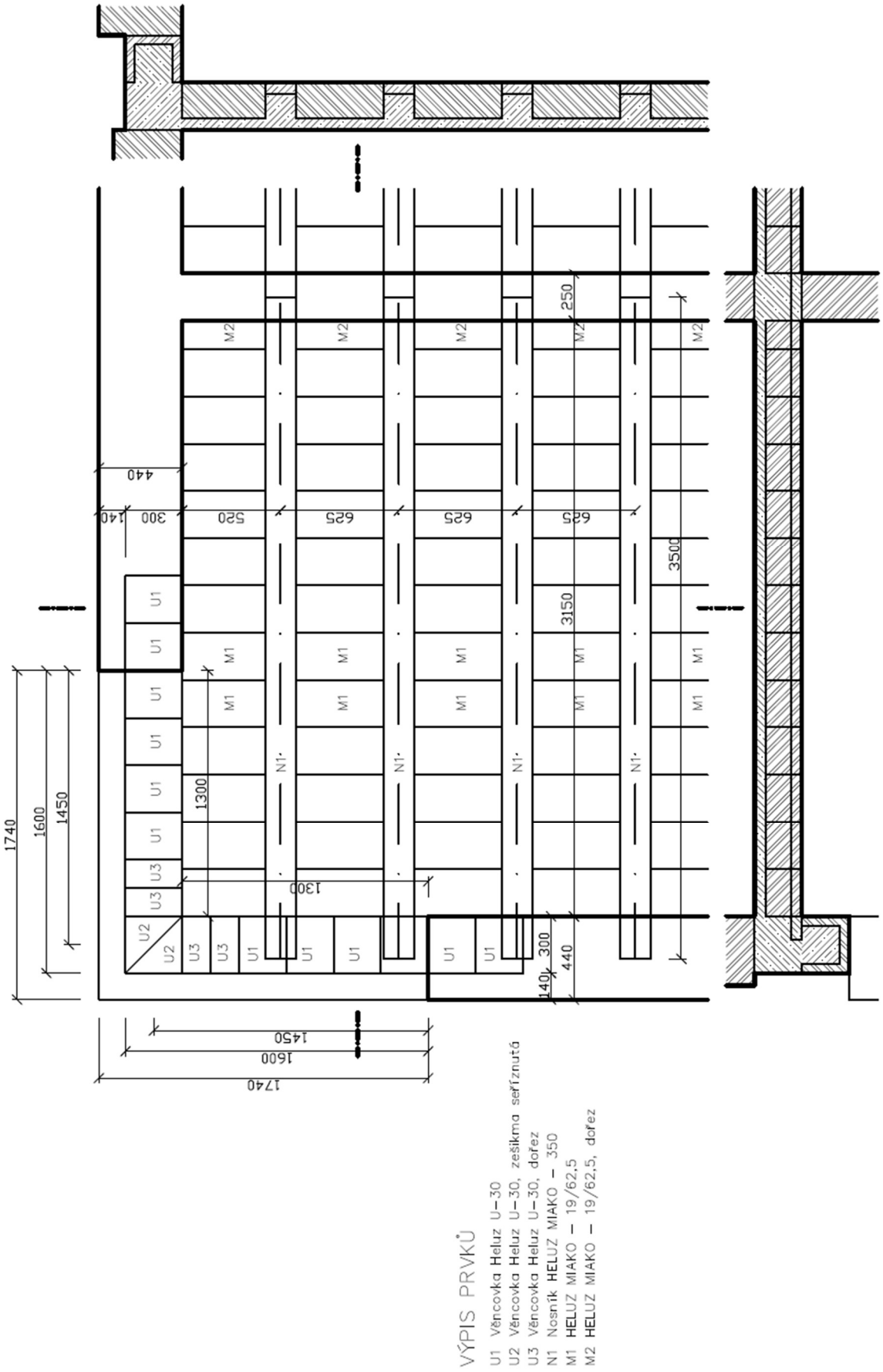


ROČNÍ BILANCE ZKONDENZOVANÉ A VYPAŘENÉ VODNÍ PÁRY:

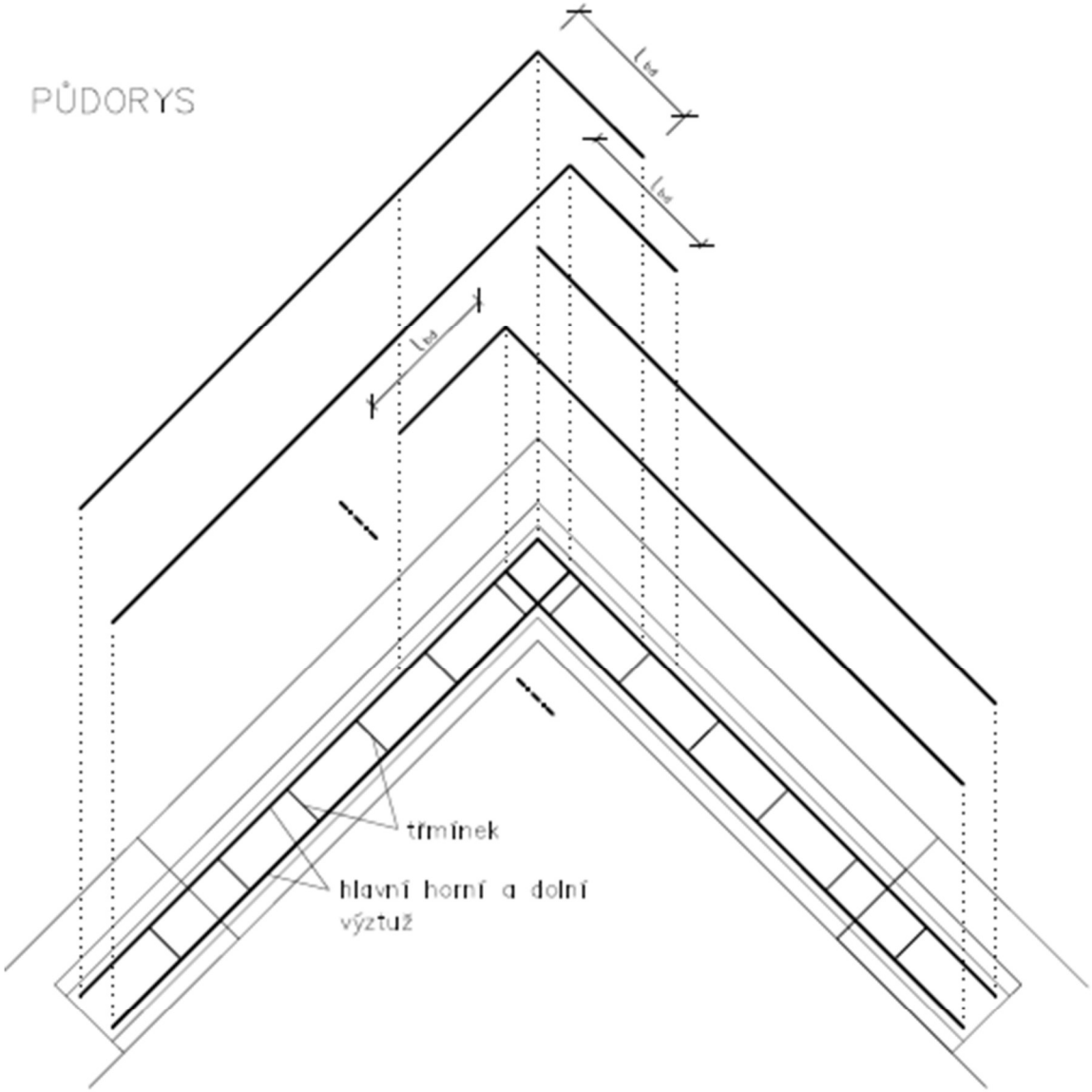
Během modelového roku nedochází v detailu ke kondenzaci vodní páry.

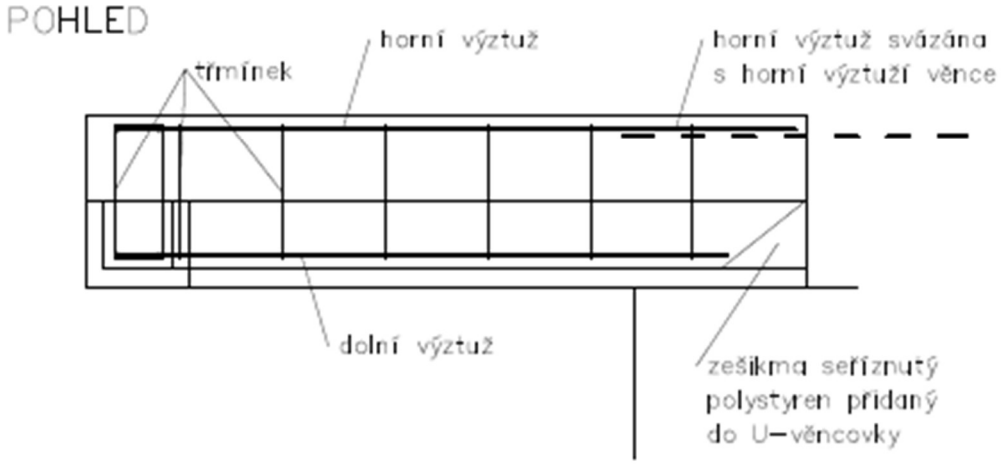
Area 2017 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

7.3 Příloha 3: Schéma výkresu skladby

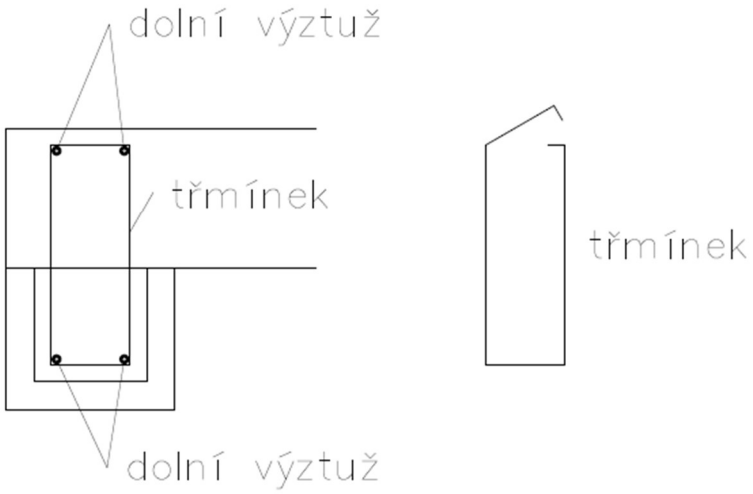


7.4 Příloha 4: Schéma vyztužení





ŘEZ



Výpočet průhybu od smršťování (příloha B ČSN EN 1992-1-1)

Materiály

f_{ck}	20	MPa
f_{cm}	28	MPa
f_{ctm}	2,2	MPa
f_{yk}	500	MPa
E_{cm}	29	GPa
E_s	200	GPa

Konstrukce

l	1450	mm	
h	450	mm	
b	200	mm	
c	33	mm	
$Ø_{s1}$	12	mm	*tež.v.*
$Ø_{s2}$	12	mm	*tlač.v.*
d	411	mm	
d_2	39	mm	
A_{s1}	226	mm^2	
A_{s2}	226	mm^2	

Vnitřní síly

$M_{E,qp}$	22,47	kNm

Poměrné smršťování vysycháním

rh	50	%	
rh_0	100	%	
β_{rh}	1,356	-	$\beta_{rh} = 1{,}55\left[1-\left(\frac{rh}{rh_0}\right)^3\right]$
f_{cm0}	10	MPa	
α_{ds1}	4	-	
α_{ds2}	0,12	-	
$\varepsilon_{cd,0}$	0,000544	-	$\varepsilon_{cd,0} = 0{,}85\left[(220+110\alpha_{ds1})\exp\left(-\alpha_{ds2}\frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right)\right]\cdot 10^{-6}\cdot\beta_{rh}$
h_0	450	mm	
k_h	0,71	-	*norma tab. 3.3*
$\varepsilon_{cd,\infty}$	0,000386	-	$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h\varepsilon_{cd,0}$
t	36500	dní	
t_s	7	dní	$\beta_{ds}(t,t_s) = \frac{t-t_s}{(t-t_s)+0{,}04\sqrt{h_0^3}}$
$\beta_{ds}(t,t_s)$	0,989645	-	
$\varepsilon_{cd}(t)$	0,000382	-	$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t,t_s)\varepsilon_{cd,\infty}$

Poměrné autogenní smršťování

$\beta_{as}(t)$	1,000	-	$\beta_{as}(t) = 1-\exp\left(-0.2\sqrt{t}\right)$
$\varepsilon_{ca}(\infty)$	0,000025	-	$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2{,}5(f_{ck}-10)\cdot 10^{-6}$
$\varepsilon_{ca}(t)$	0,000025	-	$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t)\cdot\varepsilon_{ca}(\infty)$

Celkové poměrné smršťování

ε_{sh}	0,000407	-

Parametry pro výpočet průhybu

t_0	7	-	
$\varphi_{c,sh}(\infty,t_0)$	3,25	-	*CaS či graf*
$E_{c,ef,sh}$	6,8	GPa	
$\alpha_{e,ef,sh}$	29,31	-	

Charakteristiky průřezu bez trhlin

$A_{I,ef,sh}$	103248	mm^2
$a_{I,ef,sh}$	225	mm
$I_{I,ef,sh}$	1977087352	mm^4
$S_{I,ef,sh}$	0	mm^3
$M_{cr,ef,sh}$	19,33	kNm

$$A_{I,ef,sh} = A_c + \alpha_{e,ef,sh}\left(A_{s1}+A_{s2}\right)$$

$$a_{I,ef,sh} = \frac{1}{A_{I,ef,sh}}\left[A_c\cdot\frac{h}{2}+\alpha_{e,ef,sh}\left(A_{s1}d+A_{s2}d_2\right)\right]$$

$$I_{I,ef,sh} = I_c + A_c\left(a_{I,ef,sh}-\frac{h}{2}\right)^2 + \alpha_{e,ef,sh}\left[A_{s1}\left(d-a_{I,ef,sh}\right)^2 + A_{s2}\left(a_{I,ef,sh}-d_2\right)^2\right]$$

$$S_{I,ef,sh} = A_{s1}\left(d-a_{I,ef,sh}\right)+A_{s2}\left(d_2-a_{I,ef,sh}\right)$$

$$M_{cr,ef,sh} = f_{ctm}\frac{I_{I,ef,sh}}{h-a_{I,ef,sh}}$$

Trhliny vzniknou

Charakteristiky průřezu s trhlinami

$x_{cr,ef}$	118,68	mm
$I_{II,ef}$	719535163	mm^4
$S_{II,ef,sh}$	24028	mm^3

$$x_{cr,ef,sh} = \frac{\alpha_{e,ef,sh}}{b}\left(A_{s1}+A_{s2}\right)\left[-1+\sqrt{1+\frac{2b}{\alpha_{e,ef,sh}}\frac{A_{s1}d+A_{s2}d_2}{\left(A_{s1}+A_{s2}\right)^2}}\right]$$

$$I_{II,ef,sh} = \frac{1}{3}bx_{cr,ef,sh}^3 + \alpha_{e,ef,sh}\left[A_{s1}\left(d-x_{cr,ef,sh}\right)^2 + A_{s2}\left(x_{cr,ef,sh}-d_2\right)^2\right]$$

$$S_{II,ef,sh} = A_{s1}\left(d-x_{cr,ef,sh}\right)+A_{s2}\left(d_2-x_{cr,ef,sh}\right)$$

Výpočet průhybu

β	0,5	-
ζ_{sh}	0,630	-
$(1/r)_{sh}$	2,5097E-07	-
k_{sh}	0,500	-
f_{sh}	**0,3**	**mm**

$$\zeta_{sh} = 1-\beta\left(\frac{M_{cr,ef,sh}}{M_{E,qp}}\right)^2 \geq 0{,}5$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{sh} = \varepsilon_{sh}\alpha_{e,ef,sh}\left[\left(1-\zeta_{sh}\right)\frac{S_{I,ef,sh}}{I_{I,ef,sh}}+\zeta_{sh}\frac{S_{II,ef,sh}}{I_{II,ef,sh}}\right]$$

$$f_{sh} = k_{sh}\cdot l^2\cdot\left(\frac{1}{r}\right)_{sh}$$