

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Diplomová práce



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Machač Jméno: Marek Osobní číslo: 424413

Zadávací katedra: K124 - Katedra konstrukcí pozemních staveb

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Využití technologie TRC v obvodovém plášti a jeho aplikace na experimentálním objektu

Název diplomové práce anglicky: The possibility of using TRC technology in peripheral cladding and its application on an experimental object

Pokyny pro vypracování:

Diplomová práce bude obsahovat: Průzkum dostupné literatury. Vyhledání materiálových vlastností jak různých druhů betonů tak i výztuží, a také přehled různých možností využití desek z textilního betonu v obálce budovy. Dále návrh obvodového pláště s aplikací TRC desek na experimentální objekt, jako alternativu k reálně navrženému obvodovému plášti. A porovnání obou těchto variant.

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Ing. Petr Hájek, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 11.10.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2019

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 diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.

11.10.2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Marek Machač

Název diplomové práce: Využití technologie TRC v obvodovém plášti a jeho aplikace na experimentálním objektu

Základní část: KTS podíl: 60 %

Formulace úkolů: Vyhledat materiálové vlastnosti železa a jeho využití pro aplikaci v obvodu budovy. Uvádět obvodové pláště z TRC pro experimentální objekt, provozní alternativy.

Podpis vedoucího DP: [Signature] Datum: 15.10.2018

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: podíl: 40 %

Konzultant (jméno, katedra): ing. Jánub Pěpca

Formulace úkolů: Experimentální ověření vlastností kotlových panelů z TRC + experimentální ověření vlastností panelů z TRC

Podpis konzultanta: [Signature] Datum: 15.10.2018

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: _____ Datum: _____

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: _____ Datum: _____

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1.stranou zadání již ve 2.týdnu semestru)



Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Využití technologie TRC v obvodovém plášti a jeho aplikace na experimentálním objektu“ vypracoval samostatně pouze pod vedením vedoucího diplomové práce, a že jsem uvedl veškeré použité podklady a zdroje.

.....

podpis



Poděkování:

Rád bych poděkoval zejména vedoucímu mé diplomové práce panu prof. Ing. Petru Hájkovi, CSc., FEng. za poskytnuté rady a ochotu během konzultací při zpracovávání této práce. Dále bych chtěl velmi poděkovat panu Ing. Jakubu Řepkovi za jeho pomoc při betonáži vzorků a podporu i motivaci při mé práci. Děkuji také Univerzitnímu centru energeticky efektivních budov (UCEEB) za poskytnutí prostor a prostředků k realizaci výzkumné části této práce. V neposlední řadě děkuji také své rodině a za velkou podporu při zpracovávání této práce a po celou dobu studia.



Využití technologie TRC v obvodovém plášti a jeho aplikace na experimentálním objektu

The possibility of using TRC technology in
peripheral cladding and its application on an
experimental object



Anotace:

Diplomová práce se zabývá možností využití textilem vyztuženého betonu pro fasádní panely v konstrukci provětrávané fasády. V úvodní teoretické části je představen vývoj textilního betonu, jeho jednotlivé složky a také je zde představen koncept provětrávaných fasád. Součástí práce je experimentální část, v rámci které bylo testováno kotvení textilem vyztužených desek na obvodový plášť. Poslední část práce obsahuje návrh provětrávané fasády s fasádními deskami z TRC a její aplikace na experimentální objekt, který bude realizován v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Buštěhradu.

Klíčová slova: Textilem vyztužený beton (TRC), vysokopevnostní beton (HSC), provětrávaná fasáda, obvodový plášť, kotvení

Abstract: This diploma thesis deals with the possibility of using textile reinforced concrete for facade panels in the construction of a ventilated facade. The development of textile reinforced concrete and its individual components are presented in the theoretical part. The concept of ventilated facades is also introduced in this part. Part of the thesis was also an experimental part where the anchoring of textile-reinforced boards to the perimeter shell was tested. The last part of the thesis contains the design of a ventilated facade with TRC facade boards and its application to an experimental object that will be realized in the University Center of Energy Efficient Buildings of the CTU in Buštěhrad

Keywords: Textile reinforced Concrete (TRC), high strength concrete (HSC), ventilated facade, perimeter cladding, anchoring



Obsah

| | |
|---|-----------|
| Úvod..... | 3 |
| Cíl práce | 4 |
| 1 Teoretická část..... | 5 |
| 1.1 Textilní beton | 5 |
| 1.1.1 Obecně o betonu..... | 5 |
| 1.1.1.1 Složení běžného betonu..... | 5 |
| 1.1.1.2 Technologie a příprava betonu..... | 8 |
| 1.1.1.3 Druhy betonu dle způsobu vyztužení | 10 |
| 1.1.2 Vznik a vývoj textilního betonu | 11 |
| 1.1.3 Chování textilního betonu | 12 |
| 1.1.4 Mikrostruktura TRC | 14 |
| 1.1.5 Vysokohodnotný beton používaný pro TRC..... | 15 |
| 1.1.5.1 Složení betonové směsi HPC | 15 |
| 1.1.5.2 Druh a význam příměsí pro HSC | 17 |
| 1.1.5.3 Příprava, Zpracování a ošetřování HPC | 18 |
| 1.1.6 Textilní výztuže používané pro TRC | 18 |
| 1.1.6.1 Uhlíková | 19 |
| 1.1.6.2 Skleněná | 20 |
| 1.1.6.3 Čedičová..... | 20 |
| 1.1.6.4 Porovnání některých textilních vláken..... | 20 |
| 1.1.7 Aplikace textilního betonu | 21 |
| 1.2 Aplikace TRC jako vnější opláštění provětrávané fasády | 23 |
| 1.2.1 Systém provětrávání fasády | 23 |
| 1.2.2 Porovnání s jednoplášťovou konstrukcí | 24 |
| 1.2.3 Skladba provětrávané fasády..... | 25 |
| 1.2.4 Způsoby kotvení vnějšího opláštění k nosnému systému | 26 |
| 1.2.5 Příklady aplikací fasádních desek z TRC..... | 28 |
| 2 Experimentální ověření kotvení..... | 30 |
| 2.1 Návrh variant kotevního systému..... | 30 |
| 2.1.1 Kotevní systém – varianta A | 30 |
| 2.1.2 Kotevní systém – varianta B | 33 |
| 2.2 Výroba výseků fasádních desek a prvků kotevního systému | 35 |
| 2.2.1 Bednění..... | 35 |
| 2.2.2 Příprava výztuže | 36 |
| 2.2.3 Výroba kotevních prvků zabetonovaných do desek a příprava výztuže | 36 |
| 2.2.4 Příprava betonové směsi a betonování | 42 |
| 2.2.5 Příprava kotev a háků | 46 |
| 2.3 Destruktivní zkouška kotevního systému..... | 49 |
| 2.3.1 mechanické vlastnosti použitého betonu..... | 49 |
| 2.3.2 únosnost kotevního systému při svislém zatížení | 51 |
| 2.3.3 Únosnost systému při vodorovném zatížení..... | 58 |



| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.3.4 | Vyhodnocení | 64 |
| 3 | Návrh provětrávané fasády experimentálního objektu | 67 |
| 4 | Závěr..... | 68 |
| | Literatura | 70 |
| | Seznam obrázků..... | 74 |
| | Seznam tabulek..... | 78 |



Úvod

Beton, jako „umělý kámen“ je v současné době nejpoužívanějším stavebním materiálem. Počátky jeho používání sahají daleko do historie, a to až do období starověkého Říma. Od té doby tento stavební materiál prošel obrovským vývojem, který pokračuje i v současné době.

Tento technologický pokrok vedl až k vytvoření takzvaných vysokohodnotných a vysokopevnostních betonů, které otevírají nové možnosti pro využití tohoto materiálu, a to nejen pro různé aplikace ve stavebnictví, ale i mimo něj.

Textilní beton je kompozitní materiál sestávající se právě z těchto již zmíněných betonů vyztužených různými druhy textilních vláken. Tyto textilní výztuže mohou být používány v mnoha formách. Nejčastěji jsou používány ve formě sítí. V současné době se nejběžněji vyskytují uhlíkové nebo skelné textilní výztuže. Tento nový kompozitní materiál umožňuje vytvářet velmi subtilní betonové konstrukce, a to zejména z toho důvodu, že použité textilní výztuže nevyžadují tak silnou krycí vrstvu betonu, jako tomu je u běžné ocelové výztuže. Díky této výhodě se začal textilní beton využívat pro různé designové prvky, kde subtilnost hraje velmi důležitou estetickou roli. Další aplikace, která využívá právě možnost vytvořit velmi tenké konstrukce jsou fasádní desky. V posledních letech se objevilo hned několik různých aplikací TRC v obvodových pláštích, a to ve formě například sendvičových panelů nebo právě jako fasádních desek v konstrukci provětrávané fasády.

Provětrávaná fasáda je systém obvodové konstrukce, který ve své skladbě obsahuje i větranou mezeru, která má příznivý vliv na tepelně technické a vlhkostní chování celé konstrukce. Tato mezera je vytvořena mezi samotnou obvodovou stěnou a vnějším opláštěním, které může být tvořeno z nejrůznějších materiálů. Mezi tyto materiály patří například dřevo, plast, kov, kámen a v poslední době se mezi ně zařadil i textilem vyztužený beton. I přesto, že tento koncept je znám již několik let, objektů, které by využívaly textilem vyztužené fasádní desky je pouze několik a vyskytují se především v zahraničí, zejména pak v Německu.



Cíl práce

Cílem práce je vyhledat co možná nejvíce informací o textilem vyztuženém betonu a prozkoumat možnosti použití tohoto materiálu pro výrobu fasádních desek. Následně je cílem práce navrhnout a posoudit kotevní systém pro fasádní panely v systému provětrávané fasády a po vyhodnocení zkoušených variant navrhnout aplikaci těchto desek na experimentální objekt.

V teoretické části práce jsou popsány různé druhy betonů od těch běžných, až po vysokohodnotné a vysokopevnostní, které se používají jako matrice u textilem vyztužených prvků. V této části jsou také popsány různé druhy textilních výztuží a následně různé druhy aplikací textilem vyztuženého betonu, zejména pak aplikace tohoto materiálu jako fasádních desek. V úvodní části je také popsána konstrukce provětrávané fasády.

V následující experimentální části jsou navrženy varianty kotevních systémů, které budou vyrobeny a následně testovány na mechanickou odolnost.

V poslední části práce dojde k návrhu aplikace textilem vyztužených fasádních desek s použitím vybrané varianty kotvení, která vzejde z předchozí experimentální části.



1 Teoretická část

1.1 Textilní beton

1.1.1 Obecně o betonu

1.1.1.1 Složení běžného betonu

Beton je umělý kámen složený z plniva (kamenivo) a pojiva (cementová malta). [1] Složky betonu se dělí na stálé a nestálé.

Stálé složky: [1]

- plnivo (kamenivo)
- pojivo (cement)
- tekutá složka (voda)
- plynná složka (vzduch)
- výrobní energie (míšení, zhutňování)

Nestálé složky: [1]

- přísady
- příměsi
- termodynamická energie (teplo upravující chemickou reakci)

Kamenivo

Je zrnitý materiál anorganického, přírodního nebo umělého původu, určený pro stavební účely. Hlavní funkcí kameniva je vytvoření pevné kostry betonu s co nejmenší mezerovitostí.

Kamenivo rozlišujeme podle původu, objemové hmotnosti, vzniku zrn a velikosti. [2]

Podle původu: [3]

- přírodní (těžené, těžené předrcené, těžené drcené)
- umělé
- regenerované prané
- regenerované drcené
- recyklované



Podle objemové hmotnosti: [2]

- hutné ($> 1800 \text{ kg/m}^3$)
- pórovité ($< 1800 \text{ kg/m}^3$)

Podle velikosti zrn: [2]

- drobné
- hrubé
- šterkopísek
- šterkodrt'
- vysívka
- kamenná moučka

Cement

Je *hydraulické práškové pojivo, které po smíchání s vodou tuhne a tvrdne*. [4] Cement vzniká vypalováním vápence a jílu v pecích při teplotách dosahujících až $1450 \text{ }^\circ\text{C}$, kdy vzniká tzn. slínek, který se následně mele a mohou do něj být přidány další doplňující složky za účelem úpravy vlastností cementu. Těmito doplňujícími složkami mohou být vysokopecní struska, popílek nebo tras. [5]

Cementy dělíme do pěti hlavních tříd: [6]

- CEM I Portlandský cement – obsahuje portlandský slínek a max. 5 % minoritních přísad,
- CEM II Portlandský cement směsný – obsahuje portlandský slínek a max. 35 % dalších složek,
- CEM III Vysokopecní cement – tvořen portlandským cementem a vyšším procentuálním zastoupením vysokopecní strusky,
- CEM IV Pucolánový cement – obsahuje portlandský cement a max. 55 % pucolánových příměsí,
- CEM V Směsný cement – tvořen portlandským cementem, vysokopecní struskou, elektrárenským popílkem a příměsemi.

U cementů je nutné sledovat celou řadu vlastností, které výrazně ovlivňují vlastnosti finálního produktu. Mezi nejdůležitější charakteristiky cementu patří:

- Jemnost mletí
- Hydratační teplo cementu
- Měrná hmotnost cementu



Voda

Voda v betonové směsi má dva hlavní úkoly. Hydrataci cementu, dále ve směsi funguje jako mazivo, které vyplňuje mezery mezi kamenivem a umožňuje tak plynulý pohyb směsi. [7]

Podle významu rozlišujeme: [8]

- vodu záměsovou – dodává se při mísení betonové směsi
- vodu ošetřovací – dodává se krátce po zatuhnutí a má za úkol udržet beton vlhký a zamezit tak jeho smršťování
- Vodu náporovou – tato voda působí jako vnější vliv na betonovou konstrukci po dobu její životnosti

Přísady

Přísadami se rozumí látky, kterých se do betonové směsi přidávají velmi malá množství. (řádově pouze dekagramy na každý kilogram dávky cementu), které však významně ovlivňují některé důležité vlastnosti betonové směsi a betonu. [9]

Při používání přísad je nutné dodržet několik zásadních podmínek. Je nutné jejich přesné dávkování, je také nutné zajistit jejich dostatečně rovnoměrné rozmíchání ve směsi, při používání většího množství přísad je nutné zajistit, aby se vzájemně negativně neovlivňovaly. [9]

Některé přísady používané při výrobě betonu: [9]

- Regulující tuhnutí a tvrdnutí
- Plastifikační
- Provzdušňovací
- Vylehčovací
- Protikorozi

Příměsi

Příměsi jsou látky, kterých se, na rozdíl od přísad, přidává do betonu řádově takové množství, jakým je např. dávka cementu. Rozdělují se na dvě skupiny, které se vzájemně odlišují podílem na procesu hydratace. [9]

- Inertní:

Tyto látky se nijak neúčastní procesu hydratace, avšak mají vliv na hutnost a zpracovatelnost betonu. Nejčastěji mají charakter tzv. kamenné moučky, kdy velikost největšího zrna nepřesahuje 1 mm.

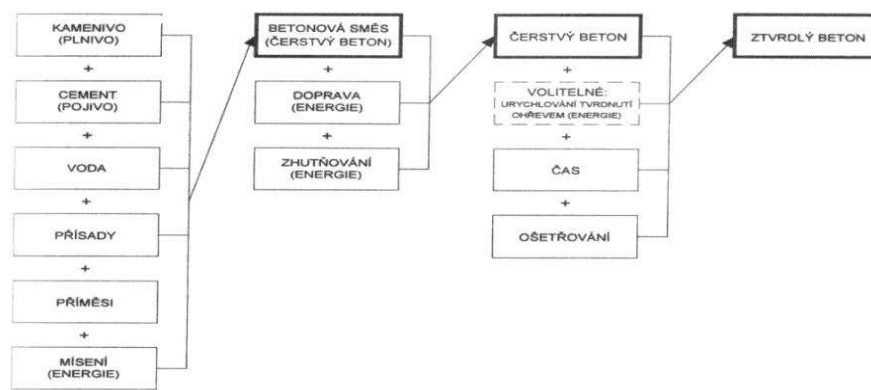


- Latentně hydraulické:

Tyto látky, se na rozdíl od inertních látek podílejí na prosecu hydratace. Mezi nejčastěji používané příměsi patří popílek, vysokopeční struska a silikový prach (mikrosilika). Například použití mikrosiliky nám umožňuje dosahovat výrazně vyšších pevností betonu. [9]

1.1.1.2 Technologie a příprava betonu

Smícháním cementu s vodou se nastartuje chemická reakce - hydratace. Cement působí v betonu jako pojivo. Beton pak postupně tuhne a tvrdne. [10]

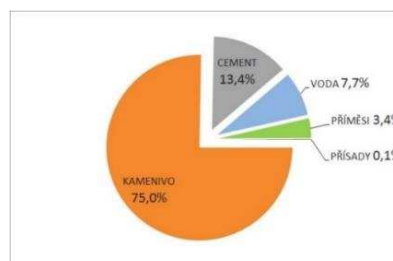


Obr. 1: Postup přípravy betonové směsi [11]

Dávkování složek

Dávkování složek může být prováděno jako objemové nebo hmotnostní. Objemové se používá pouze při přípravě betonů nižších tříd. Pro správnou přípravu betonové směsi je vždy doporučováno použít hmotnostní dávkování, objemové dávkování je přípustné u vody nebo u jiných přísad, které mají charakter kapaliny.

Dávkování složek musí být aplikováno s určitou přesností. Norma uvádí maximálně 3 % odchylku od receptury. Při dávkování je nutné se vyvarovat různým chybám jako je například nepřihlídnutí k vlhkosti přidávaného kameniva. [12]



Obr. 2: Složení betonu [13]



Míchání složek

Míchání betonu má za úkol dokonalé promísení všech složek přidaných do betonové směsi. Při míchání směsi je důležité pořadí vkládání jednotlivých složek do mícháčky a zároveň doba míchání. Při míchání je obvykle používáno toto pořadí přidávání složek:

- Hrubé kamenivo
- Jemné kamenivo
- Cement
- Voda

Nejběžnější způsoby zpracování

Technologie zpracování betonu by měla být adekvátní ke způsobu využití konstrukce.

Cílem všech způsobů zpracování je odstranit ze směsi vzduchové kaverny a póry a zejména docílit co možná nejvyšší stejnorodosti vlastností v celém objemu betonové konstrukce.

- Vibrování:

Jedná se o nejčastější způsob zpracování betonové směsi. K vibrování jsou používány ponorné nebo příložné vibrátory. Spolehlivějším způsobem je vibrování pomocí příložného vibrátoru. Tento způsob není vhodný pro směsi s vysokou tekutostí.

- Vybrolisování:

Jedná se o kombinaci vibrování a zároveň vyvíjení enormního tlaku na povrch zhutňované směsi. Tento způsob je možný použít pouze ve speciálních výrobnách a pouze pro betonové prvky malých rozměrů.

- Válcování:

Tento způsob hutnění je používán zejména u konstrukcí velkých rozměrů. Používány jsou směsi s nízkým obsahem vody a s velkou frakcí kameniva.

- Propichování směsi nebo poklep na bednění:

Primitivní, avšak účinný způsob hutnění betonové směsi. Jedná se v podstatě o jedinný způsob, jak je možné hutnit směsi s vysokou tekutostí. [12]



1.1.1.3 Druhy betonu dle způsobu vyztužení

Prostý beton:

jde o beton, který není žádným způsobem vyztužen. Má tedy výrazně nižší pevnost v tahu než v tlaku (cca 1/10). je používán především pro zakládání staveb a v konstrukcích, které jsou namáhány pouze tlakovým zatížením. [9]

Železobeton:

tímto termínem jsou označovány betonové konstrukce, které jsou vyztuženy různými ocelovými prvky, a to zejména z důvodu zlepšení pevnosti v tahu celé konstrukce. [14]

Předpjatý beton:

jedná o speciálně vyztužený beton, kdy je do použité výztuže vloženo předpětí. Toto předpětí může být zajištěno ve výrobně nebo až dodatečně na stavbě. Toto předpětí má zajistit, aby byl celý betonový prvek pouze tlačенý a nikoli tažený. [15]

Drátkobeton:

Jedná se o směs betonu, do které jsou přidány vyprofilované drátky. Takto rozptýlená výztuž výrazně zlepšuje finální vlastnosti betonové konstrukce. Drátkobeton je používán zejména pro konstrukci podlah. Množství použitých drátků se udává v kg/m^3 . [16]

Vláknobeton:

Tímto pojmem je označován beton, do něhož jsou přidávána např. polypropylenová vlákna, která mají za úkol zachytávat tahová napětí v betonu a omezit nebo úplně zabránit vzniku trhlin v betonu způsobené objemovými změnami. [16]

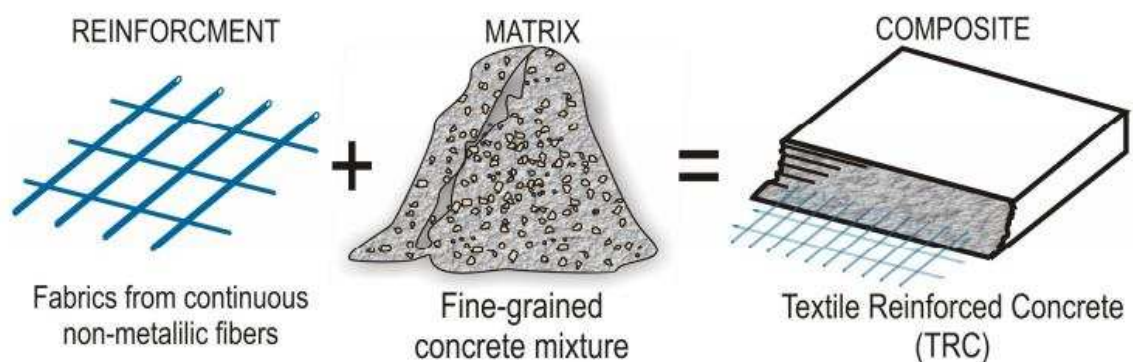


1.1.2 Vznik a vývoj textilního betonu

Textilní beton (TRC-textile reinforced concrete) je inovativní stavební materiál, který je vhodný zvláště pro lehké stavební prvky, jako jsou například betonové skořepiny nebo právě lehké fasádní prvky. V takovýchto stavebních prvcích je velmi často důležitější odolnost vůči vnějšímu prostředí než jejich samotná únosnost. Díky odolnosti vůči korozi, je možné vytvářet velmi tenké prvky v rozmezí od 10 do 40 mm, čehož u prvků vyztužených běžnou ocelářskou výztuží, kvůli minimální krycí vrstvě, není možné dosáhnout. Navíc díky výjimečně nízkému poměru hmotnosti a únosnosti jsou konstrukce environmentálně udržitelná a ekonomicky atraktivní zároveň. [17]

Koncept textilem vyztuženého betonu byl poprvé představen v 90. letech minulého století v Německu. Po předběžných testech byly v roce 1999 sloučeny dvě spolupracující výzkumná centra „Textile Reinforced concrete – development of a new technology“ z Cách a poté „Textile Reinforcements for Structural Strengthening and Repair“ z Drážďan. Na počátku byl základní přístup k textilem vyztuženým betonovým konstrukcím vypracován pod záštitou výboru RILEM ve spolupráci s výborem „thin Reinforced Comenititious Products and Ferrocement“ v období mezi lety 2002 a 2006. Poté se objevilo mnoho různých publikací o textilním betonu po celém světě. Výzkumné aktivity pokračují i nadále, a to zejména v německém centru pro textilní beton. [17]

Textilní beton (TRC) je kompozitní stavební materiál, který je tvořen speciální jemnozrnnou vysokohodnotnou betonovou maticí a nekovovou textilní výztuží.

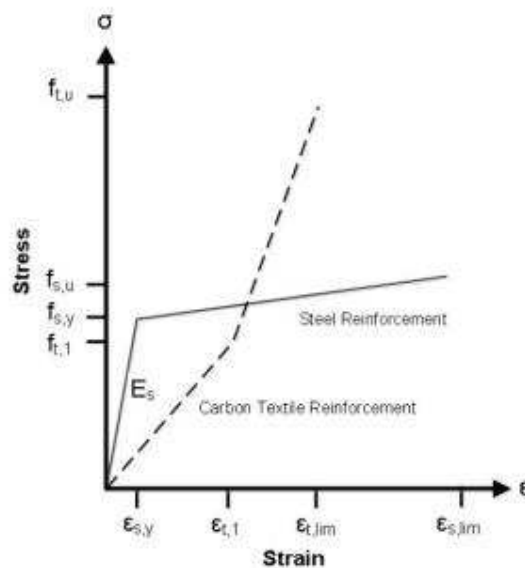


Obr. 3: Složky textilního betonu [17]



1.1.3 Chování textilního betonu

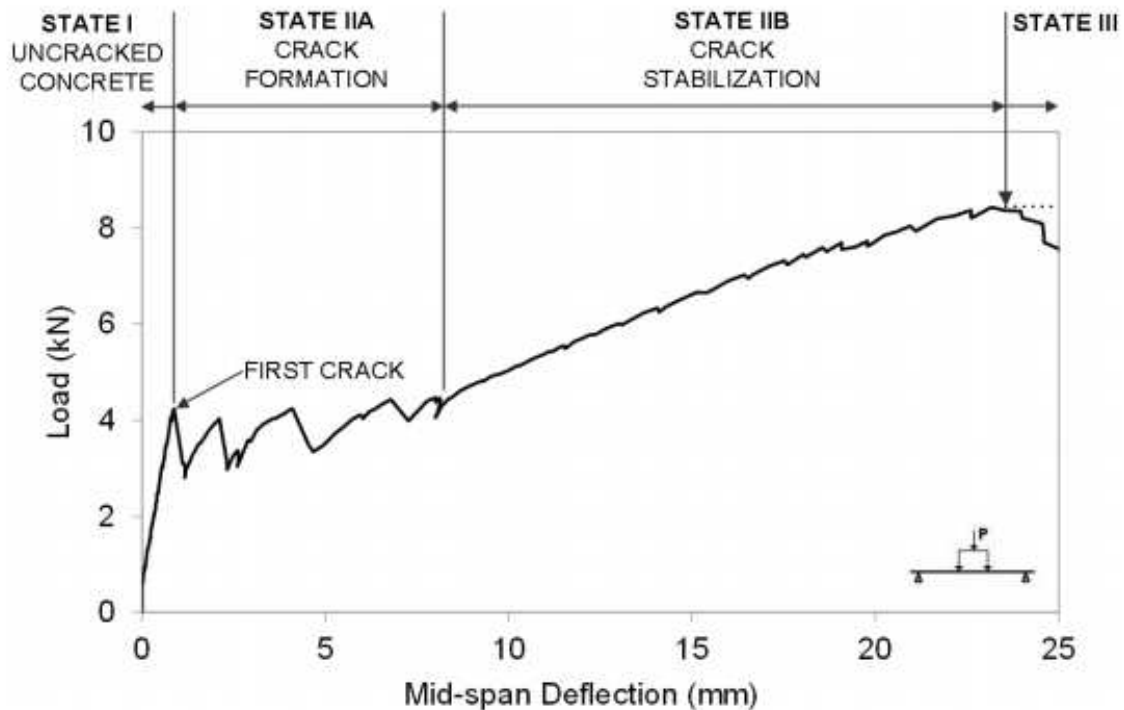
Pro vysvětlení mechanického chování textilní výztuže je vhodné porovnání tohoto materiálu s klasickou ocelovou výztuží na pracovním diagramu. Tedy na vztahu napětí k celkovému přetvoření. Tyto rozdíly v chování při zatížení je nutné zohlednit při návrhu prvků z textilem vyztuženého betonu. [18]



Obr. 4: Zjednodušený pracovní diagram oceli a uhlíkových vláken při tahovém namáhání [18]

Ocelová výztuž typická svou mezí kluzu $f_{s,y}$, která odpovídá zhruba $\varepsilon_{s,y} \sim 3\%$, kdy její tuhost výrazně klesá a dochází k plastickému přetvoření až do konečného selhání $f_{s,u}$. Naproti tomu uhlíková textilní výztuž má z počátku nízkou tuhost, což může být vysvětleno počátečním zvlněním existujícím v rámci síťové struktury výztuže. Jakmile však dojde k vyrovnání příze, dojde poté ke zvýšení tahové síly přebírané vlákny a následně ke zvýšení celkové tuhosti. K porušení uhlíkové textilní výztuže dochází při mezním přetvoření $\varepsilon_{t,lim} \sim 11-12,0\%$

Pro dostatečné popsání chování textilního betonu při mechanickém namáhání je nutné popsat také chování nejen textilní výztuže jako takové, ale chování textilního betonu jako kompozitu. Po zatížení jednosměrně vyztužené desky karbonovými vlákny čtyřbodovým ohybem můžeme výsledný pracovní diagram rozdělit na 4 části. [18]



Obr. 5: Pracovní diagram jednosměrně vyztužené TRC desky při čtyřbodovém ohybu [18]

oblast I - Odpovídá elastickému chování neporušeného vzorku, kde tuhost je zcela závislá na použité betonové směsi. K tomuto vývoji dochází až do vyčerpání tahové pevnosti betonu. V této chvíli dochází k zapojení textilní výztuže.

oblast IIa - V oblasti IIa dochází k rozvoji trhlin v betonu jen při mírném nárůstu zatížení.

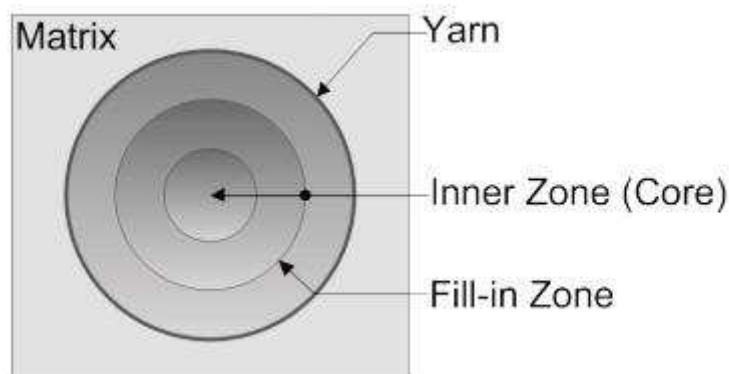
oblast IIb - V oblasti IIb je již rozvoj trhlin stabilizován a dochází k lineárnímu nárůstu zatížení až k dosažení mezního zatížení.

oblast III - V poslední oblasti dojde k selhání konstrukce, kdy dochází k přetržení vláken výztuže. [18]



1.1.4 Mikrostruktura TRC

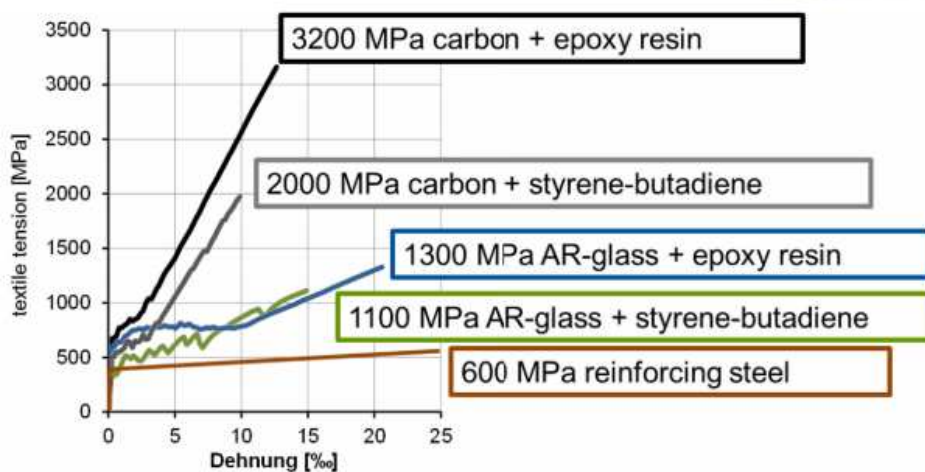
Textilem vyztužený beton se od běžného ocelí vyztuženého betonu liší zejména komplexní heterogenní strukturou. Příze textilní výztuže se skládá z mnoha vláken, což má za následek zhoršení rovnoměrnému pronikání betonové matrice mezi jednotlivá vlákna. Vnitřní vlákna pak mají nižší kontakt s jemnozrnnou betonovou matricí. [18]



Obr. 6: *Struktura textilní příze* [18]

Heterogenita TRC je vysoce variabilní a může být ovlivněna mnoha faktory, jako jsou materiálové vlastnosti, průřez a geometrie příze nebo také materiálové vlastnosti betonové matrice a další.

Impregnací textilní výztuže, pomocí povlaků na bázi polymerů, můžeme dosáhnout výrazného snížení heterogenity celé struktury příze. [18]



Obr. 7: *Vliv impregnace na textilní výztuž při tahovém zatížení* [19]



1.1.5 Vysokohodnotný beton používaný pro TRC

Hlavním požadavkem na betonovou směs použitou pro prvky TRC je správné a dostatečné proniknutí a spojení s výztužnou textilní sítí, která je často tvořena velmi malými oky. Toto je nutné z důvodu správného spolupůsobení matrice s výztuží a také k rozložení působícího zatížení. Z tohoto důvodu byla na Technické univerzitě v Drážďanech vyvinuta speciální betonová směs tzv. jemnozrný beton (fine-grained concrete). Díky vysoké pevnosti v tlaku může být tento beton klasifikován jako vysokopevnostní beton (high-strength concrete - HSC). [17]

| Mixture | Mean densities [kg/m ³] | | | | | | | w/c ratio | Mean compressive strength $f_{cm, cyl}$ [MPa] |
|---------|-------------------------------------|---------|-------------|------------|--------------|-------|----------|-----------|---|
| | Cement | Fly ash | Microsilica | Sand 0÷1mm | Gravel 2÷4mm | Water | SP/VS(*) | | |
| M1 | 942 (a) | 628.0 | 50.2 | 263.8 | - | 313.7 | 12.2/- | 0.33 | 77.3 |
| M2 | 628 (a) | 265.6 | 100.5 | 942.0 | - | 214.6 | 10.5/- | 0.34 | 76.3 |

Tab. 1: příklady složení a pevností jemnozrných betonů používaných v TRC [17]

Kromě výše uvedeného by betonová směs měla být chemicky kompatibilní s vybranou textilní výztuží a zároveň splňovat dostatečnou pevnost. S tímto vědomím, bylo zlepšení ochrany proti korozi textilních výztuží, zejména pak AR–sklených vláken v TRC, předmětem mnoha výzkumů. Například nanokompozitní polymerní povlaky byly vyvinuty primárně pro AR-skelná vlákna k vytvoření bariéry proti alkalickým iontům a také ke zlepšení odolnosti a mechanickému chování TRC. Je předpoklad, že betonové směsi by mohly být vyvíjeny tak, že by koncentrace jejich alkalických iontů byla snížena, a to zejména v okolí textilních výztuží. [18]

1.1.5.1 Složení betonové směsi HPC

Při výrobě vysokohodnotného betonu musíme věnovat velkou pozornost druhu, kvalitě a poměru jednotlivých složek. Možnost výběru těchto složek je značně omezena, a to z toho důvodu, že musí splňovat velmi přísná kritéria a pro dosažení požadovaných vlastností, musejí být doplněny o různé druhy přísad a příměsí.

Mezi v současnosti používané složky patří cement, voda, kamenivo, mikrokamenivo, superplastifikační a modifikující přísady, jemnozrné minerální a latentně hydraulické příměsí a v případě ultravysokopevnostních betonů i vláknitá výztuž. [20]



Cement

Při výrobě vysokohodnotného betonu je nejčastěji používán portlandský cement (CEM I) nebo portlandský struskový cement (CEM II). Běžné pevnostní třídy jsou používány 42,5 R, 52,5 R. Při volbě pevnostní třídy musíme brát v úvahu zpracovatelnost směsi, protože při použití vyšší pevnostní třídy cementu je směs méně tekutá, a tedy hůře zpracovatelná. Množství cementu u HPC představuje zhruba 20 % hmotnosti betonové směsi. Kromě pevnostní třídy musíme sledovat také měrný povrch cementu a také množství vody potřebné pro hydrataci. [20]

Voda

Voda má ve směsi dvojí funkci. V betonové směsi plní funkci iniciátoru hydratačního procesu, ale zároveň má také významný vliv na konzistenci, a tedy i na zpracovatelnost výsledné betonové směsi. U vysokohodnotných betonů se vodní součinitel pohybuje zhruba v hodnotách 0,25/0,4. Pro ultrapevnostní betony, které mají tlakovou pevnost přes 150 MPa se hodnota vodního součinitele může pohybovat až na hodnotě 0,2. Důležitým faktorem je také kvalita použité vody. [20]

Kamenivo, mikrokamenivo

Kamenivo do HPC a UHPC je nutné volit o vysoké pevnosti. Vhodnými druhy kameniva jsou vápence, žula, syenit, gabro, diabas, čedič a podobné. Pevnost použitého kameniva by měla být minimálně 1,5 x vyšší než požadovaná pevnost betonu. Kvůli používání jemnozrnných složek plniva je vhodné používat kamenivo o frakci zhruba 0-4 mm. Na rozdíl od standardních betonů je křivka zrnitosti použitého kameniva doplněna o mikrokamenivo. Jedná se o velmi jemné kamenivo velmi malé frakce (až do 0,125 mm), které ve směsi plní funkci filleru v prostorech mezi většími zrny kameniva. Jako mikroplnivo je používána kamenná moučka nebo mikromletý vápenec. [20]

Prísady – zejména plastifikátory

Z důvodu velmi nízkého vodního součinitele dochází ke zhoršení zpracovatelnosti betonové směsi. Aby bylo možné se směsí manipulovat, je nutné do takovéto betonové směsi přidat plastifikační přísady. Plastifikátory operují s principem disperze částic cementu, případně různých příměsí a umožňují takto zachovat dobrou zpracovatelnost betonové směsi i při velmi nízkých hodnotách vodního součinitele. V dnešní době již existují přísady, které dokážou



zajistit dobrou zpracovatelnost betonové směsi i při vodním součiniteli 0,2 a to po dobu až 90 minut. Takovými přísadami se říká superplastifikátory. [20]

1.1.5.2 Druh a význam příměsí pro HSC

Připravit vysokopevnostní beton, tedy beton, jehož pevnost přesahuje 100 MPa, je bez použití jemnozrnných minerálních příměsí velmi obtížné. Jako příměsí jsou používány v drtivé většině odpadní produkty z výroby jiných surovin. Díky své jemné zrnitosti plní v betonové směsi funkci mikroplniva. Doplnují tak zrnitostní křivku použitého kameniva a vyplňují tak prostory mezi zrny, čímž se beton stává odolnější vůči chemické korozi, zvyšují vodonepropustnost a mají také příznivý vliv na pevnostní charakteristiky betonu. Současně mohou být minerální příměsí použité jako náhrada určité části cementu. [20]

Křemičitý úlet

Jedná se o vedlejší produkt výroby křemíku v elektrické peci. Jde o velmi malé částice SiO_2 s velmi vysokou hodnotou měrného povrchu, kdy měrný povrch křemičitého úletu je 30 – 50x větší než u cementu. Kvalita křemičitého úletu je určena množstvím nečistot, měrným povrchem částic a případně pucolanitou. Množství úletu v betonové směsi se reálně pohybuje od 3 do 10 % hmotnosti cementu a jeho přítomnost má podstatný vliv na nárůst pevnosti. [20]

Vysokopevní struska

Jedná se o produkt výroby surového železa ve vysoké peci. Struska je složená převážně z nečistot železné rudy, převážně pak SiO_2 , CaO , Al_2O_3 . Dle způsobu jejího chlazení se struska vyskytuje ve třech různých formách. Při chlazení na vzduchu vzniká krystalická forma bez hydraulických schopností používaná jako kamenivo. Při chlazení vodou se struska formuje do drobných granulí, které mají latentně hydraulické a pucolánové vlastnosti. A při kombinaci obojího chlazení vzniká tzv. peletizovaná struska, která je vhodná pro výrobu hydraulického prášku. Dávka strusky se pohybuje od 15 do 30 % hmotnosti cementu a je používána zejména v kombinaci s křemičitým úletem v betonech s pevností do 125 MPa. [20]

Popílek

V tomto případě jde o drobné částice vznikající v uhelných elektrárnách. Popílek lze rozdělit do dvou skupin: s nízkým obsahem vápníku a s vysokým obsahem vápníku. Většina popílků obsahuje velké množství skelné fáze a řadí se tím mezi tzv. pucolánové materiály. Kvalita je



závislá na chemickém složení, měrném povrchu a také na obsahu skelné fáze. Do betonu se používá zhruba v dávce od 10 do 30 % hmotnosti cementu. [20]

1.1.5.3 Příprava, Zpracování a ošetřování HPC

Zpracování a příprava, hrají při přípravě vysokohodnotného betonu velmi důležitou roli. Dávkování a míchání složek jsou velmi úzce spjaté procesy a je nutné dodržet přesné pořadí dávkování a dodržovat správné časové intervaly v rámci míchání směsi. Ideálním postupem je zvláštní smísení cementu, vody, aktivních příměsí, mikrokameniva a přísad, čímž dojde k vytvoření pasty, která je až následně přidána k zbylému kamenivu, kde je domíchána. V praxi se však uplatňuje jednodušší postup. A to přidávání složek v tomto pořadí:

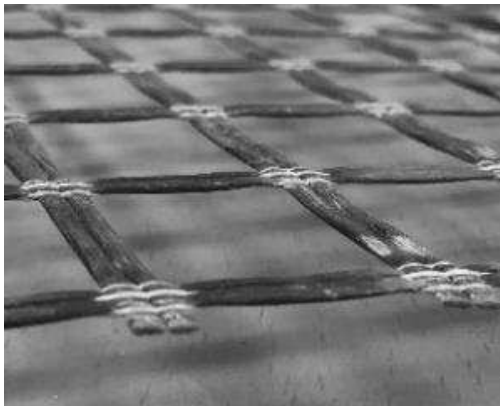
1. Kamenivo
2. Cement
3. Míchání
4. Jemnozrné příměsi + 2/3 vody
5. Míchání
6. Plastifikátor + zbylé množství vody
7. Míchání
8. Případně přidání vláken (při přípravě ultra vysokopevnostního betonu)

Při ošetřování vysokohodnotných betonů je nutné zejména potlačit smršťování samovysycháním následkem teplotních gradientů. Ke smršťování vlivem odpařování vody vzhledem k nízkému vodnímu součiniteli nedochází v takové míře jako u standartních betonů. [20]

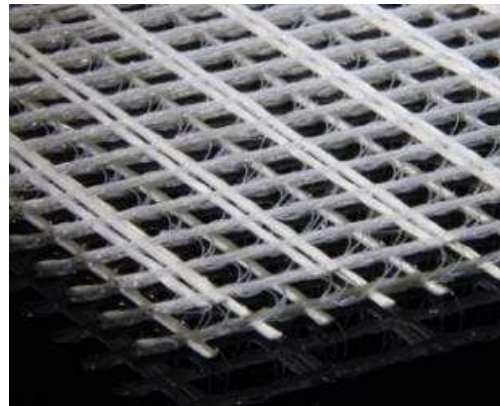
1.1.6 Textilní výztuže používané pro TRC

V TRC aplikacích se používají 2D nebo 3D textilní výztužné sítě. 2D síť se skládají ze dvou vzájemně kolmých textilních přízí. Tyto příze, jsou tvořeny mnoha jednotlivými vlákny, které mají kontinuální délku. Jemnost příze se měří v tex. (g / 1000 m) a je funkcí počtu vláken v přízi, středního průměru vlákna a hustotě materiálu. [17]

Na rozdíl od výztuže z oceli, mohou být vlákna v textilní výztuži umístěná téměř v jakémkoliv směru a následně tak mohou být svou orientací přizpůsobena aplikovanému zatížení. Proto je možné vytvořit extrémně efektivní výztuž. [17]



Obr. 8: 2D síť [21]



Obr. 9: 3D síť [21]

Obsáhlý přehled všech různých druhů vláken, které jsou v současnosti na trhu byl sestaven Bobethem v roce 1993 [17]

| Type of fibre (filament) | Density [g/cm ³] | Tensile strength [MPa] | Modulus of elasticity [GPa] | Strain at rupture [%] | Thermal coefficient [10 ⁻⁶ /°C] | Poisson's ratio | Max. temperature /melting [°C] |
|----------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|-----------------|--------------------------------|
| E-glass | 2.54± 2.82 | 1750-3800 | 72.4 | 2.4-5.0 | 5.0 | 0.22 | 380 /1725/ |
| S-glass | | 2550-4500 | 85.5 | 2.9-5.5 | 2.9 | | 450 /1725/ |
| AR-glass | | 1800-3500 | 70-76 | 2.0-3.0 | 7.5 | | 400 /1725/ |
| High modulus Carbon | 1.70±1.90 | 2800 | 370 | 0.5-0.9 | (-1.2)÷(-0.1) | 0.20 | 750 /3700/ |
| Ultra-high modulus Carbon | | 1000-1300 | 530-650 | 0.2-0.4 | | | |
| High strength Carbon | | 2450-4800 | 215-240 | 1.1-20 | (-0.6)÷(-0.2) | | |
| Ultra-high strength Carbon | | 3500-6000 | 215-235 | 1.5-2.3 | | | |
| Low modulus Aramid | 1.20± 1.44 | 3500-4100 | 70-80 | 4.3-5.0 | -2.0 (axial) 60 (radial) | 0.35 | 250 /500/ |
| High modulus Aramid | | 3500-4000 | 115-200 | 1.8-3.5 | | | |
| PVA | 1.26 | 1620-1900 | 31.0-43.0 | 6.0-15.0 | - | - | 230 /500/ |
| PAN | 1.2±2.0 | 850-1000 | 17.0-18.0 | 10.0-20.0 | 163-270 | - | 200 |
| Basalt | 2.67 | 2800-3200 | 85-90 | 3.1 | 3.5-8.0 | - | 650 |

Tab. 2: Přehled na trhu dostupných vláken a popis jejich vlastností [17]

Volba vláknitého materiálu pro použití v TRC je založena na mnoha faktorech, jako jsou mechanické vlastnosti, odolnost vůči korozi a teplotnímu namáhání, vliv na životní prostředí a také samozřejmě výrobní náklady. Vláknité materiály, které byly doposud využívány pro aplikace v TRC, jsou zejména AR – skla (alkali–resistence glass), uhlík, čedič a aramid.

1.1.6.1 Uhlíková

Uhlík je syntetický polymer. V minulosti byla hlavním materiálem v uhlíkových vláknech celulóza. Změna přišla v 60. letech, kdy celulózu nahradil polyakrylonitril (PAN). Uhlíková vlákna se vyznačují svou vysokou pevností v tahu. Uhlíková vlákna mají také nízkou teplotní roztažnost. Nevýhody uhlíkových vláken jsou vysoké náklady na jejich výrobu a také špatné



adhezní vlastnosti, zejména v porovnání se skelnými nebo čedičovými vlákny. Adhezní vlastnosti uhlíkových vláken mohou být zlepšeny pomocí speciálních povlaků. [21]

1.1.6.2 Skleněná

Skleněná vlákna používaná v TRC jsou také označována jako (AR - alkali resistant). Tyto vlákna obsahují hlavně roztavenou směs křemičitého písku, jílu a vápence. Mezi jejich hlavní výhody patří dobré adhezní vlastnosti a zároveň poměrně nízké výrobní náklady. [21]

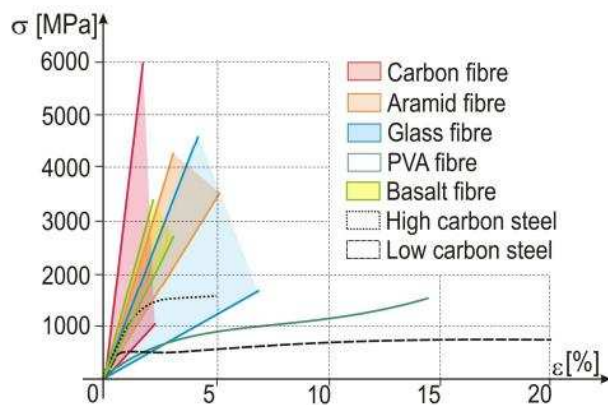
I přesto, že název alkali resistant napovídá, že by vlákna měla být odolná vůči zásaditému prostředí, je dokázáno, že dochází ke ztrátě pevnosti vláken uložených v betonu v průběhu času. Děje se tak zejména v důsledku přítomnosti různých defektů nebo slabých oblastí v povrchu skleněných vláken. [18]

1.1.6.3 Čedičová

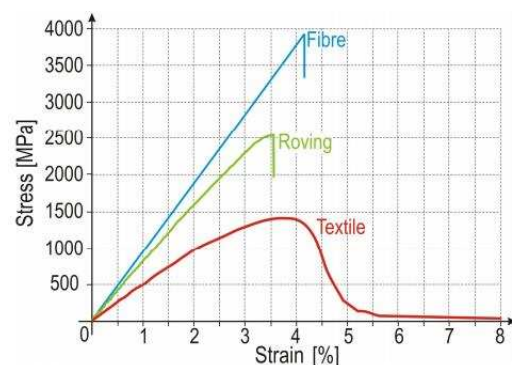
Jsou to minerální vlákna extrahovaná z vulkanické horniny. Vzhledem k jejich původu, se může jejich surový obsah a morfologie výrazně lišit podle oblasti zdroje horniny. Tato variabilita může mít významný vliv na chemické a mechanické vlastnosti čedičových vláken.

1.1.6.4 Porovnání některých textilních vláken

Jako textilní vyztuž pro TRC aplikace jsou v současnosti, používána zejména uhlíková a skelná vlákna. V poslední době se také čedičová vlákna stávají velmi populárními na trhu, avšak u těchto vláken je stále nutný další výzkum.



Obr. 10: Pracovní diagramy pro různá textilní vlákna a také pro ocel [17]



Obr. 11: Porovnání pracovních diagramů vláken, rovingu a textílii. [17]



1.1.7 Aplikace textilního betonu

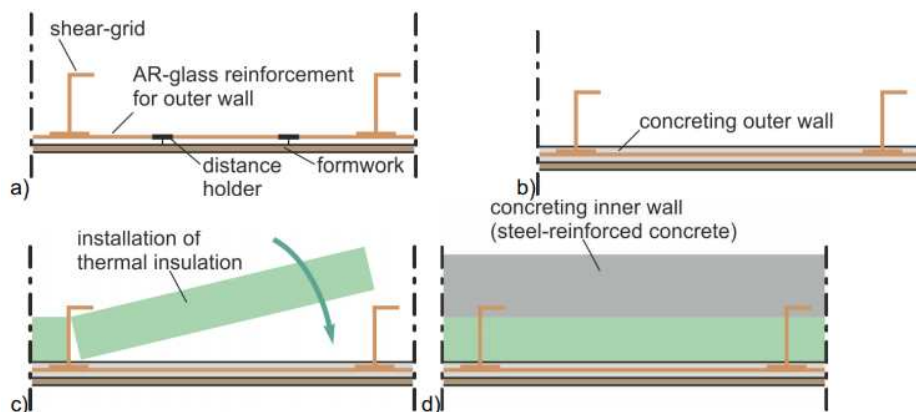
Výztuž s textilními výrobky z uhlíkových vláken se v posledních letech používala ve stovkách projektů po celém světě. Některé z nich by jistě nebyly možné bez textilní výztuže. [22]

Díky jedinečným vlastnostem textilních výztuží jsou prvky TRC využívány v mnoha oblastech využití. Hlavními možnými oblastmi využití jsou: [19]

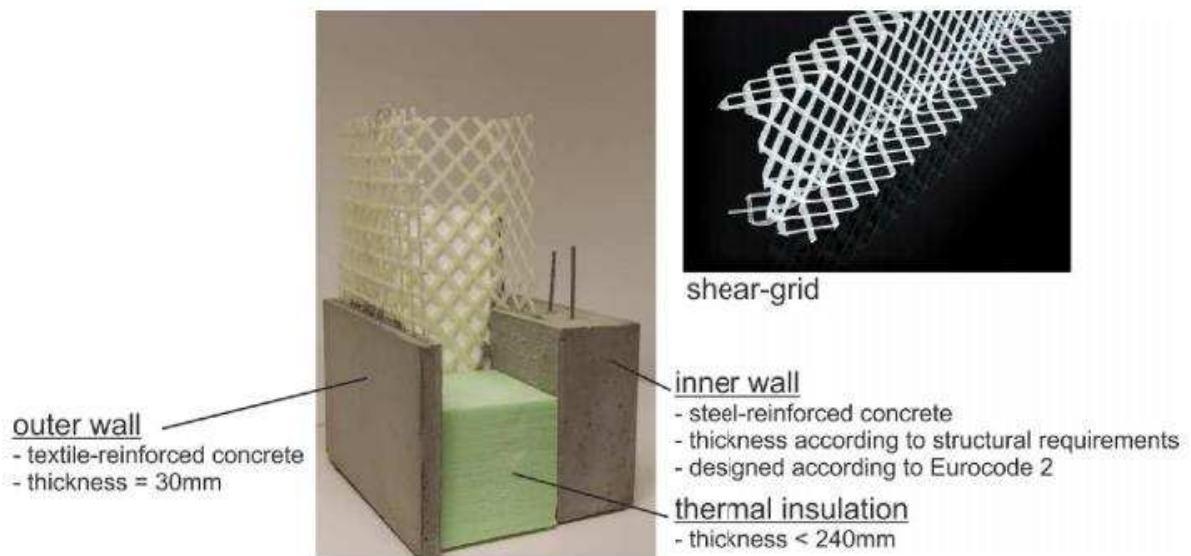
- Sendvičové stěny
- Mostní konstrukce
- Skořepinové konstrukce
- Speciální designové prvky
- Balkonové desky
- Vyztužení stávajících konstrukcí
- Tenké fasádní desky u větraných fasád

Sendvičové stěny

Výhodou sendvičových prvků je možnost vysokého stupně prefabrikace, protože se jedná o kompletní stěnu (nosná konstrukce, tepelná izolace, vnější obložení). Výhodou je také samozřejmě, že výroba probíhá v továrně, je tedy možné dosáhnout mnohem vyšší kvality provádění jednotlivých prvků. Použitím technologie TRC je možné prvky vnějšího obložení zhotovit ve velmi malých tloušťkách, a to má za následek výrazné snížení hmotnosti celé konstrukce. Vnitřní část stěny je zhotovena z běžného železobetonu. Vnější obložení je zatíženo zejména vodorovným zatížením a prvky jsou tedy namáhány ohybem. [19]



Obr. 12: Postup výroby sendvičové stěny [19]



Obr. 13: Schéma sendvičové stěny [19]

Mosty:

Použití textílem vyztužených betonových prvků má především tu výhodu, že díky jejich velmi malým dimenzím je snížena celková hmotnost mostní konstrukce v porovnání s běžným železobetonem, a to až od 40 %. Příkladem takového mostu je most v Německém Albstadtu. Tento most je dlouhý 97 metrů. [19]



Obr. 14: Most pro pěší v Albstadtu [19]



Speciální designové prvky:

Použití textilem vyztuženého betonu otevírá zcela nové možnosti využití v oblastech takových designových prvků jako je například městský mobiliář. Pro architekty a designéry má tento materiál velký potenciál, a to zejména z toho důvodu, že z něj mohou být vytvářeny velmi subtilní konstrukce velice rozmanitých tvarů a velikostí. V dnešní době se objevují již takové aplikace jako jsou betonové šperky či nádoby.



Obr. 15: Příklad mobiliáře s TRC [23]

1.2 Aplikace TRC jako vnější opláštění provětrávané fasády

1.2.1 Systém provětrávání fasády

Díky vzduchové mezeře mezi fasádním pláštěm a obvodovou stěnou (nebo vloženou tepelnou izolací) je zajištěno proudění vzduchu a eliminace vlhkosti. Takto fasádní systém zaručuje optimální vlhkostní režim obvodové stěny. V létě tato mezera zabraňuje přílišnému přehřívání budovy a napomáhá účinnosti tepelné izolace. Proudění vzduchu v mezeře ochlazuje fasádní plášť. Tepelná izolace v součinnosti s provětrávací vzduchovou mezerou v zimě zajišťuje nižší spotřebu tepelné energie pro vytápění. [24]

Proudění vzduchu v mezeře může být přirozené, ale i nucené. V drtivé většině případů se jedná o přirozené proudění, které je zajištěno konvekcí vzduchu. Vzduch v mezeře je ohříván prostupem z interiéru v zimním období, nebo je ohříván insolací vnějším fasádním prvkem.



Následně teplý vzduch proudí mezerou k otvorům u atiky případně v parapetech a zároveň je do mezery přiváděn z exteriéru přiváděcími otvory u terénu. U systému s přiznanými mezerami ve vnějším opláštění dochází k této výměně také přes otvory mezi jednotlivými prvky. [25]

Letní období

Díky proudu vzduchu dochází k omezení přehřívání objektu. Slunečním zářením ohřívánější plášť je ochlazován proudícím vzduchem a tím je snižován celkový tepelný tok skrz stěnu do interiéru. [25]

Zimní období

V tomto období, kdy je tepelný tok skrz stěnu ve směru z interiéru do exteriéru, je značnou částí tohoto tepelného toku únik tepla vlivem větru. Tento jev je u dvouplášťové konstrukce eliminován. Na druhou stranu proudění vzduchu v provětrávané mezeře může negativně ovlivňovat povrchovou teplotu tepelné izolace. Tento jev může být zmírněn použitím difuzní fólie. Ke snížení tepelného toku z interiéru dochází také díky omezení sálavé složky k jasné zimní obloze. [25]

1.2.2 Porovnání s jednoplášťovou konstrukcí

Hlavní výhody provětrávané fasády

- Montáž je časově flexibilní a není závislá na povětrnostních podmínkách
- Při použití vhodného obkadu se prodlužuje živostnost celého fasádního systému.
- Při správném fungování fyzikálních jevů v provětrávané fasádě nastává optimální vlhkostní režim v celé obvodové konstrukci.
- Ve většině případech je fasáda snadno opravitelná, kdy je možné vyměnit pouze jednotlivé segmenty vnějšího opláštění
- Nespornou výhodou je rozhodně vzhled konstrukce, kdy jednotlivé prvky mohou být různě tvarovány, může být zvolena barevnost vnějšího pláště a samozřejmě také materiálové řešení
- Díky kotevnímu systému není kladen tak velký důraz na rovinnost podkladní plochy



Hlavní nevýhody provětrávané fasády

- Vyšší náročnost návrhu a provedení
- Možnost vlivu tepelných mostů prvky kotevního systému procházejícího vrstvou tepelné izolace
- Vyšší pořizovací cena v porovnání s běžným systémem ETICS
- Riziko vniknutí škůdců do větrané mezery

1.2.3 Skladba provětrávané fasády

Konstrukční systém provětrávané fasády se skládá z několika složek. [24]

Obvodová stěna

Jedná se o hlavní vrstvu celého souvrství. Tato vrstva může být řešena velmi rozličnými způsoby a také může splňovat celou řadu funkcí. Tato vrstva má ve většině případech tepelně izolační funkci, akustickou a také v systému dvouvrstvé fasádní konstrukce zastává funkci nosnou pro vnější obklad kotvení přes kotevní systém.

Tato vrstva může být tvořena širokou škálou materiálů jako je beton, keramické zdivo nebo lehká dřevěná konstrukce.

Tepelná izolace

K nosné konstrukci lze připevnit tepelnou izolaci, která odpuzuje vodu, například hydrofobizované desky z minerálních vláken. Podmínkou je, aby mezi fasádním obkladem a tepelnou izolací zůstala vzduchová mezera min. 5-8 cm. [24] použitý tepelný izolant musí také být z nehořlavého materiálu. [24]

Nosný systém vnějšího opláštění

Tento systém má za úkol přenést veškerá zatížení působící na vnější fasádní obklad do obvodové stěny. Tento systém je tvořen ve většině případech roštem, který může být kovový, dřevěný nebo různě kombinovaný. [23] Při použití ocelových prvků kotvení se používají polypropylenové podložky k přerušení tepelných mostů. [25]



Vnější obklad

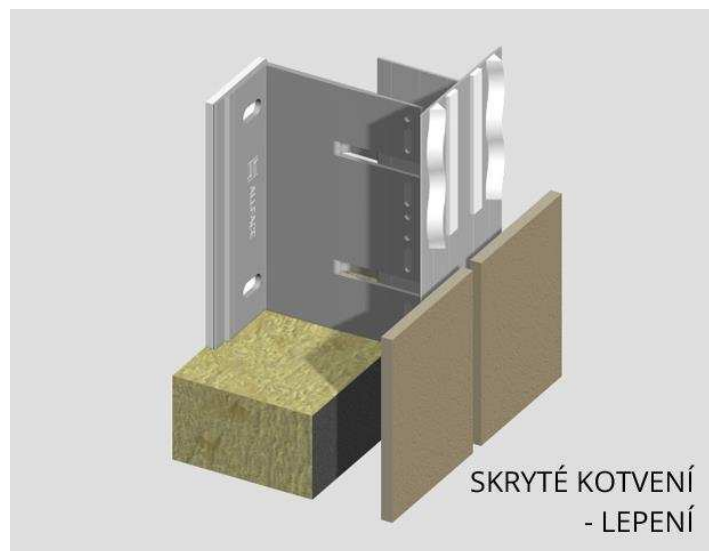
Povrchovou vrstvu tvoří obkladové desky nebo panely. Výrobci dnes nabízejí velkou škálu typů, rozměrů, povrchů a barevných odstínů obkladových prvků. Každý fasádní závěsný systém má zvládnuté konstrukční detaily, např. rohy, ostění a podobně. Výhodou těchto technicky propracovaných fasádních systémů je, že je možné je použít na nerovné podklady a také na oblé plochy fasád. Montáž zavěšené provětrávané fasády se provádí suchým způsobem, je rychlá a velkou výhodou je možnost provádět ji po celý rok. [24]

Celkový vzhled objektu utváří vnější plášť, který lze vytvořit rozmanitými způsoby skladby. Desky se používají v nejrůznějších tvarech, velikostech, barvách a strukturách. [26]

1.2.4 Způsoby kotvení vnějšího opláštění k nosnému systému

Lepení

Způsob kotvení, který klade nejnižší požadavky na přesnost provedení a možnost rektifikace nosného systému. Je nutná pouze dostatečná rovinnost. Nevýhodou toho systému je však velmi obtížná demontáž jednotlivých prvků, pro možnost případné výměny jednotlivých desek.

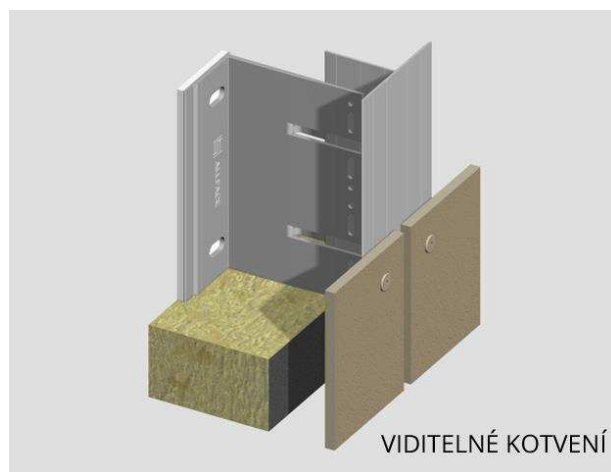


Obr. 16: *Lepení vnějšího obkladu provětrávané fasády [27]*



Nýtování nebo šroubování

Tato varianta patří k velmi rozšířeným způsobům kotvení vnějšího opláštění v systému provětrávané fasády, a to zejména z důvodu jednoduchosti a rychlosti provádění. Jedná se o bodový způsob kotvení, kdy jsou viditelné hlavy šroubů či nýtů, což může mít velmi negativní vliv na celkový estetický ráz fasády. Tento způsob je používán spíše u vnějších obkladů na bázi dřeva či kovu.



Obr. 17: Šroubování vnějšího obkladu provětrávané fasády [27]

Osazování na háky a trny

Způsob kotvení fasádních desek osazením na trny, či na háky je systém používaný zejména pro kamenné či keramické desky. Jedná se o systém, kdy je spodní strana desky osazena na trny, které přenášejí vlastní tíhu fasádní desky do nosného systému a horní strana desky je pouze zachycena proti vyklopení.



Obr. 18: Trny pro kotvení kamených fasádních desek [28]



1.2.5 Příklady aplikací fasádních desek z TRC

V posledním desetiletí byly fasádní prvky z textilem vyztuženého betonu použity na mnoha objektech. Použití TRC se jeví jako velmi výhodné z hlediska udržitelnosti, a to díky nekorozivní textilní výztuži, která umožňuje zhotovení velice tenkých, a tedy poměrně lehkých prvků. Mezi další výhody těchto panelů patří mrazuvzdornost, požární odolnost a dlouhá živostnost. Většina aplikací fasádních desek využívající technologii TRC byla provedena v Německu. Vnější fasádní panely díky použití textilní výztuže jsou vyráběny v tloušťkách od 20 do 35 mm.

Centrum vzdělání a zdraví v Albstadtu

Fasáda je tvořena deskami o rozměru 600 x 1200 mm, které mají tloušťku pouhých 20 mm. Jako výztuž byla použita síť z AR sklených vláken impregnovaných epoxidovou pryskyřicí. Desky jsou na zadní straně zavěšeny hliníkový kotevní systém.



Obr. 19: *Centrum vzdělání a péče v Albstadtu* [29]



Baletní síň v Düsseldorfu

Jedná se o novou baletní síň postavenou v roce 2015 v obci Bilk v Düsseldorfu. Projektanti zde navrhli fasádu s použitím textilního betonu. Použité fasádní desky mají rozměr 750 x 2250 mm a tloušťku 40 mm. Návrh byl vytvořen týmem architektů: Architekten von Gerkan, Marg und Partner z Berlína. [30]



Obr. 20: Baletní síň v Düsseldorfu [30]

Restaurace v Dormettingenu

Příklad aplikace velkorozměrových fasádních desek na Restauraci v Dormettingenu o celkové ploše fasády 400 m². Desky jsou o rozměrech 1500 x 4100 mm a mají tloušťku 50 mm. Vyztuženy jsou uhlíkovými vlákny impregnovanými epoxidovou pryskyřicí. [31]



Obr. 21: Restaurace v dormettingenu [31]



2 Experimentální ověření kotvení

Hlavním požadavkem na fasádní panely je odolat působícímu zatížení, jak svislému, tak horizontálnímu a to tak, že nesmí dojít k žádnému viditelnému poškození, či deformování prvků fasády.

V současné době neexistuje, žádný standardní postup pro návrh fasádních panelů z TRC, a tak je nutné, pro každý jednotlivý projekt experimentálně prokázat dostatečnou odolnost vůči působícímu zatížení, a to jak samotných fasádních desek, tak i kotevního systému, který musí dostatečně odolávat vlastní tíze panelů a zároveň bezpečně přenést vodorovné zatížení větrem. [18]

2.1 Návrh variant kotevního systému

Pro možnost aplikace fasádních, textilem vyztužených desek byly navrženy 2 varianty nosného kotevního systému. Obě varianty uvažují se závěsným kotevním systémem, který je tvořen bodovými nosnými kotvami. Všechny použité kotevní prvky jsou vyrobené z nerezového plechu o tloušťce 1 mm. Současně jsou obě varianty navrhovány na fasádní betonové desky o tloušťce 20 mm, které jsou vyztuženy uhlíkovými vlákny impregnovanými epoxidovou pryskyřicí.

V rámci každé varianty bylo vytvořeno 6 kusů desek.

2.1.1 Kotevní systém – varianta A

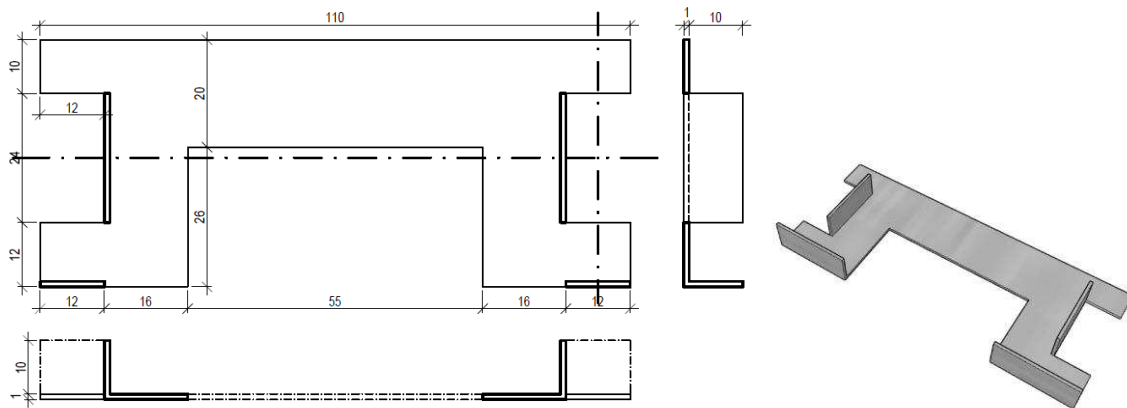
První navržený systém pracuje s bodovým kotvením desek ke stěně na jednotlivé kotvy. Systém je tvořený tak, že každá deska je kotvená v horní a spodní části a to tak, že každá kotva podpírá horní část jedné desky a zároveň podpírá spodní část desky umístěné na ní. Systém uvažuje s přiznanými otevřenými spárami mezi deskami o tloušťce 10 mm.

Celý systém je tvořený čtyřmi různými prvky.



Horní zabetonovaný plech

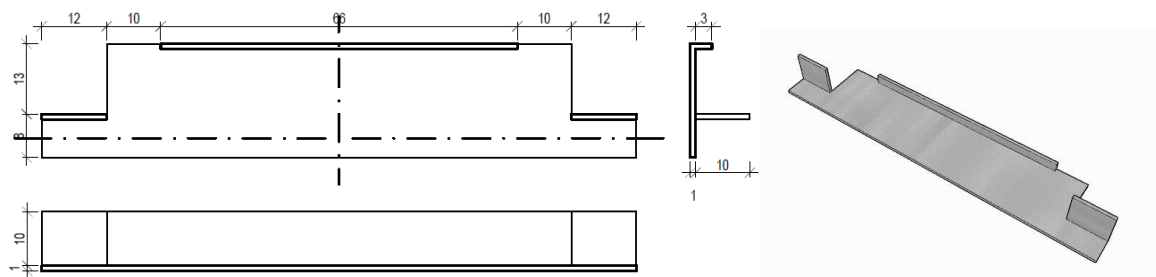
Tento prvek je navržen tak, že na horní straně desky bude zabetonován tak, aby vytvořil v desce břevno o výšce 20 mm a zároveň byl dostatečně zakotven k výztuži.



Obr. 22: Schéma horního plechu – Varianta A

Spodní zabetonovaný plech

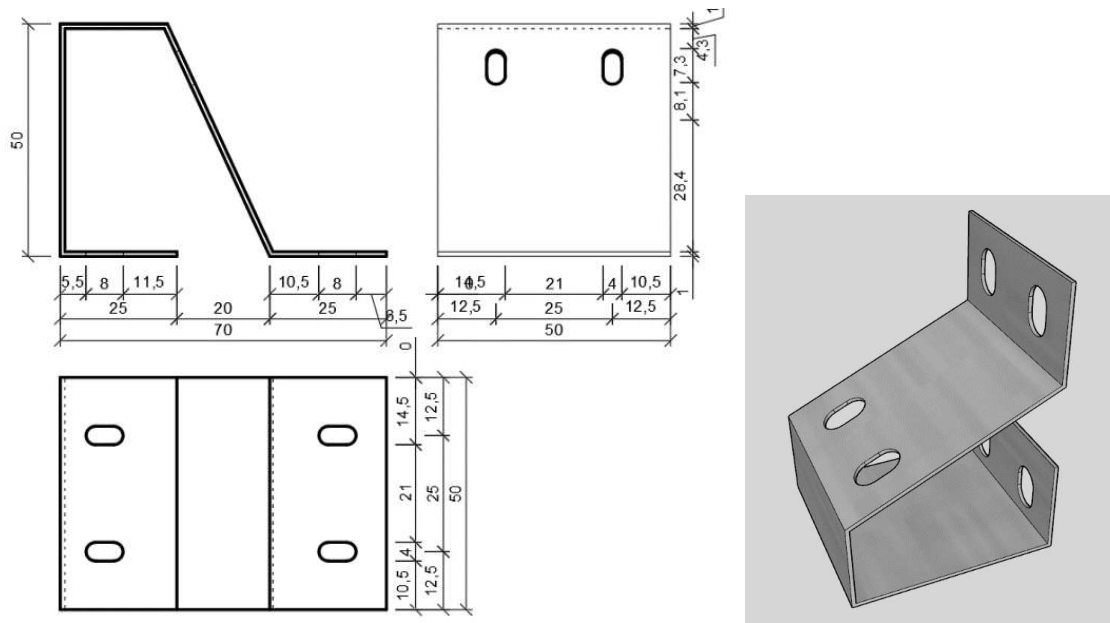
Spodní prvek byl do desky zabetonován tak, aby ve spodní části vytvořil 20 mm hlubokou kapsu pro dosednutí háku. Zároveň je také kotven k výztuži.



Obr. 23: Schéma spodního plechu – Varianta A

Kotva

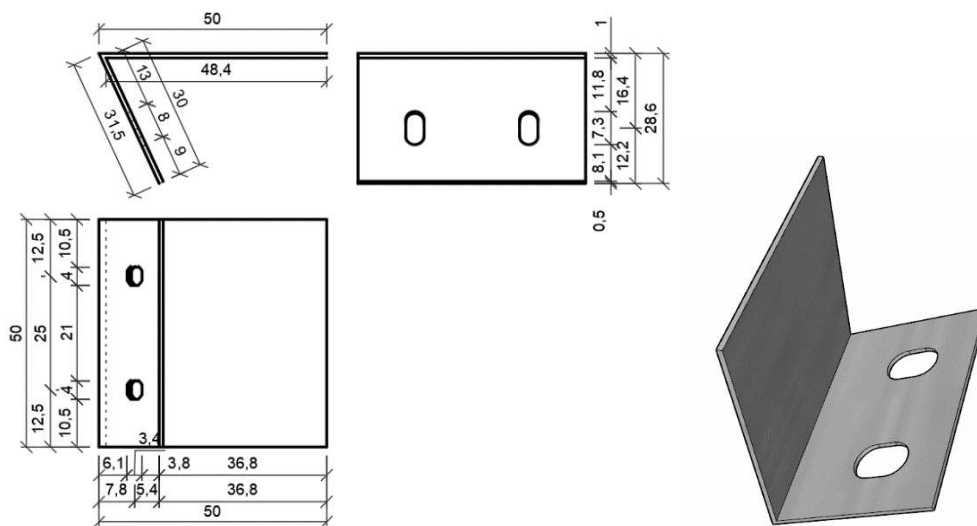
Kotva umožňuje to, aby mezi zavěšenou betonovou deskou a stěnou vznikla taková provětrávaná mezera, aby bylo zajištěno správné proudění vzduchu v této mezeře. Délka kotvy může být různá, podle požadavků na sílu provětrávané mezery. Kotva uvažovaná pro experimentální zkoušni měla tvar a rozměry, jež jsou patrné z obrázku 24. Tento prvek je do stěny kotven ve 4 bodech. V těchto bodech je umožněna svislá rektifikace. Dále je kotva opatřena otvory pro připevnění háku.



Obr. 24: Schéma kotvy – Varianta A.

Hák

Kotevní hák byl navržen tak, aby po zasunutí spodní i horní desky mezi nimi vznikla mezera 10 mm. Další rozměry jsou patrné z obrázku 25.



Obr. 25: Schéma háku – Varianta A.



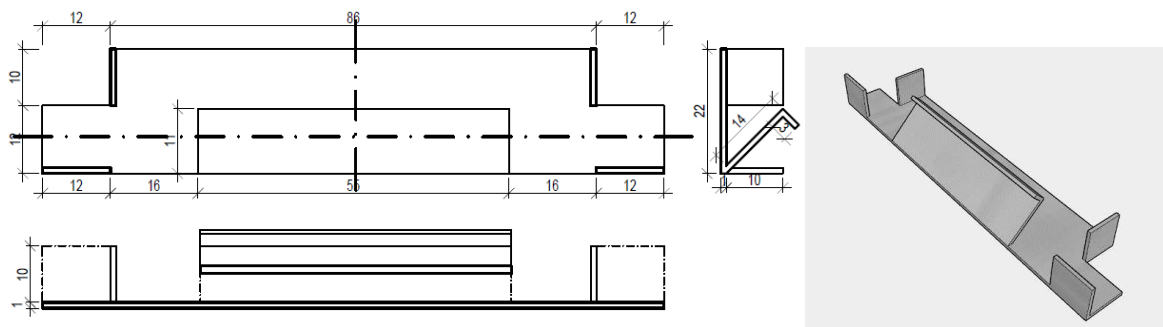
2.1.2 Kotevní systém – varianta B

Druhá varianta opět uvažuje s bodovým kotvením fasádních desek. Nyní však není uvažováno s kotvami, které probíhají přes dvě desky. Tento systém je navržen tak, že každá deska má po výšce 2 samostatné kotvy. Na každou kotvu je umístěný hák, na který je deska nasazena.

Tento systém je tvořen třemi prvky.

Zabetonovaný plech

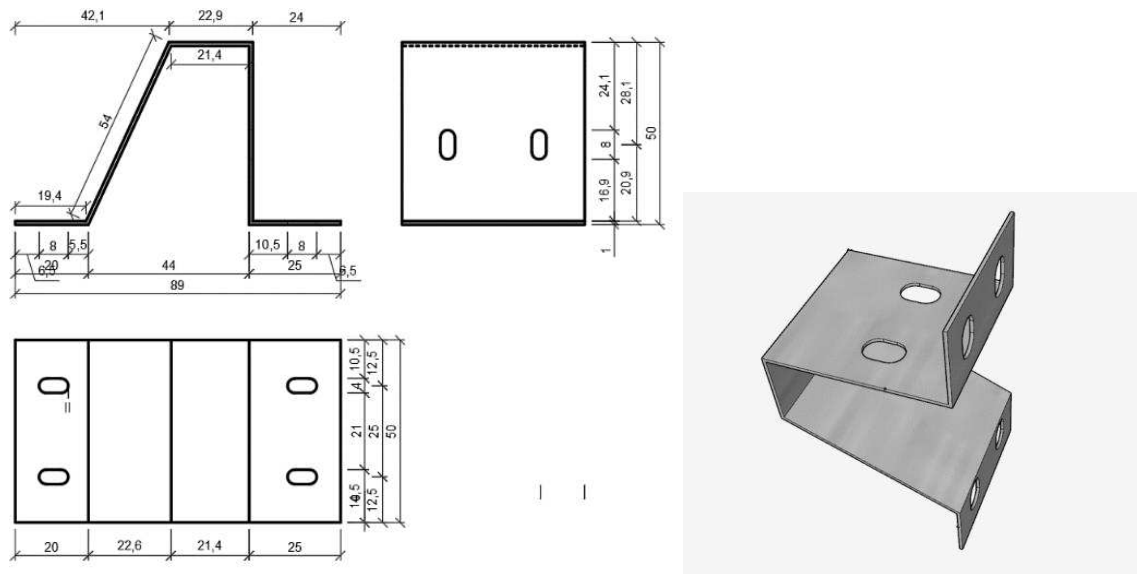
Tento prvek má rozměry a tvar patrné z obrázku 26 a je navržen tak, aby mohl být dostatečně kotven za výztužnou síť, a také aby v desce vytvořil otvor pro dosednutí háku kotvícího systému. Tento prvek je umístěn v horní a ve spodní části desky.



Obr. 26: Schéma zabetonovaného plechu – Varianta B

Kotva

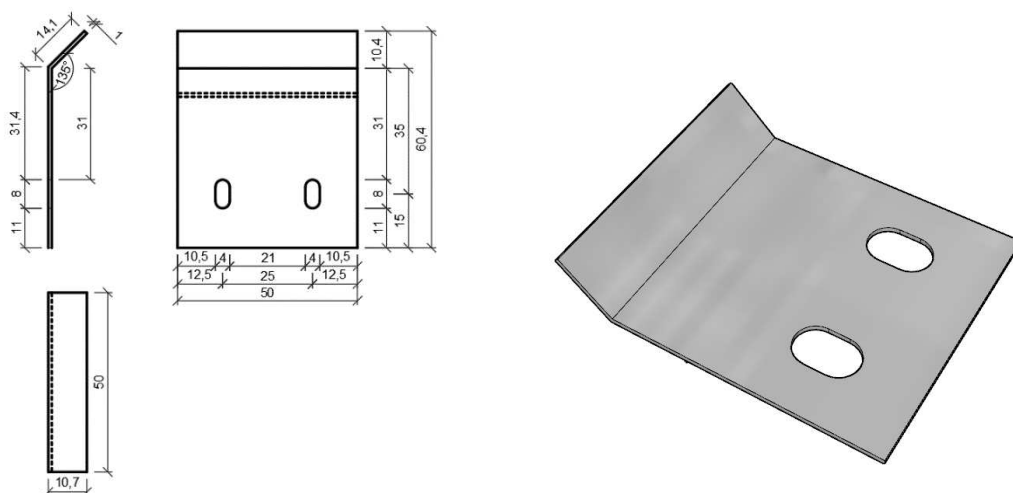
Kotva v této variantě je rozměrově podobná kotvě navržené v předchozí variantě. Nyní je ale její tvar obrácený, kdy šimá část kotvy je ve spodní části. Kotva je připevněna znovu ve 4 bodech a také je opatřena otvory pro připevnění háku. Rozměry a tvar kotvy jsou patrné z obrázku 27.



Obr. 27: Schéma kotvy – Varianta B

Hák

Hák v této variantě má tvar patrný z obrázku 28. Nyní je část háku, která bude zapuštěna do otvorů vzniklých v desce poměrně krátká, a to tak aby bylo možné jednotlivé desky ze stěny odebrat nezávisle na okolních deskách.



Obr. 28: Schéma hák – Varianta B

Při návrhu všech zkušebních vzorků bylo nutné uvažovat s rozměrovým omezením z důvodu velikosti používaného lisu, a to tak, že největší rozměr celého zkoušeného systému mohl být maximálně 400 mm. Šířka desek byla přizpůsobena hlavně modulovým rozměrům výžučné sítě, tak aby bylo umožněno dostatečné zakotvení zabetonovaných prvků kotevního systému.



2.2 Výroba výseků fasádních desek a prvků kotevního systému

2.2.1 Bednění

Bednění pro tvorbu výseků fasádních desek bylo tvořeno prvky lamina o tloušťce 18 mm. Nařezáno bylo na jednotlivé prvky.



Obr. 29: Nařezané kusy lamina pro přípravu bednění

Nejprve byla připravena velkorozměrová deska, na kterou byly přikotveny další prvky lamina tak, aby vytvořily bednění pro desky o rozměrech 162 x 315 mm. Tento rozměr byl zvolen s ohledem na rozměry použité uhlíkové výztuže a s ohledem na rozměry používaného lisu při destruktivních zkouškách.



Obr. 30: Bednění jednoho výseku desky s vyznačením rozměrů



2.2.2 Příprava výztuže

Pro vyztužení desek byla zvolena výztuž z uhlíkových vláken impregnovaných epoxidovou pryskyřicí. Výztužná síť má rozměr jednotlivých ok 38 mm a vlákna v obou směrech jsou zdvojnásobena. Stejná výztuž byla použita v obou variantách kotvení.



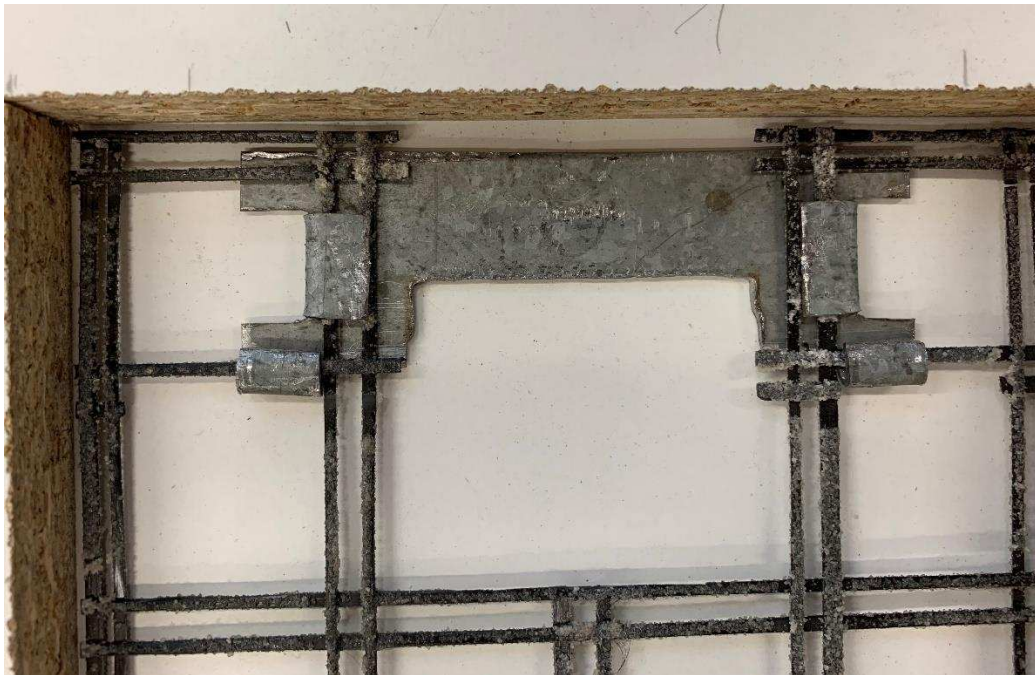
Obr. 31: Výsek použité výztužné sítě

2.2.3 Výroba kotevních prvků zabetonovaných do desek a příprava výztuže

Varianta A

V této variantě jsou prvky kotvení, které byly zabetonovány do desek, různé v horní a dolní části desky.

V horní části je plech o tloušťce 1 mm ve tvaru písmene „U“. Šířka plechu je 110 mm a celková výška 55 mm. Výška horního břevna, za které bude deska zavěšena na kotvu je 20 mm. Prvek byl nejprve vložen do bednění, a poté jsou jeho části zahnuty za spodní výztužnou síť v obou směrech, tak aby dobře spolupůsobil s výztuží. Zároveň byly ve výztužné síti vyřezány otvory tak, aby bylo umožněno zasunutí háku o výšce 50 mm.



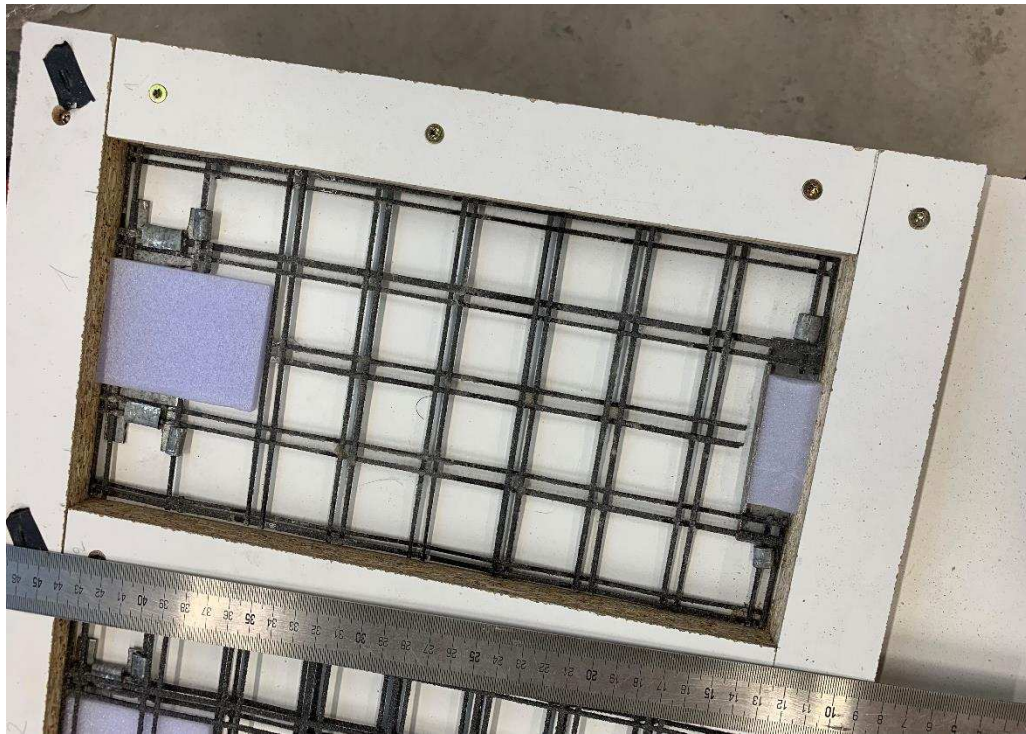
Obr. 32: Zabetonovaný kotevní prvek v horní části desky

Ve spodní části je do bedně vložena plech o tloušťce 1 mm obdélníhového tvaru a následně opět zahnut za výztuž tak, jak je patrné z obrázku 33. V horní části byl plech ohnut, aby vytvořil čelo pro dosednutí háku kotevního systému varianty A.



Obr. 33: Zabetonovaný kotevní prvek ve spodní části desky

Na obrázku 34 je pohled do bedně s upevněným horním i dolním plechem ke spodní výztužné síti. Dalším krokem bylo přilepení nařezaných kusů extrudovaného polystyrenu tak, aby po vybetonování vytvořily 3 mm široký prostor pro zasunutí kotevního háku.



Obr. 34: Připravená spodní výztuž – Varianta A

Varianta B

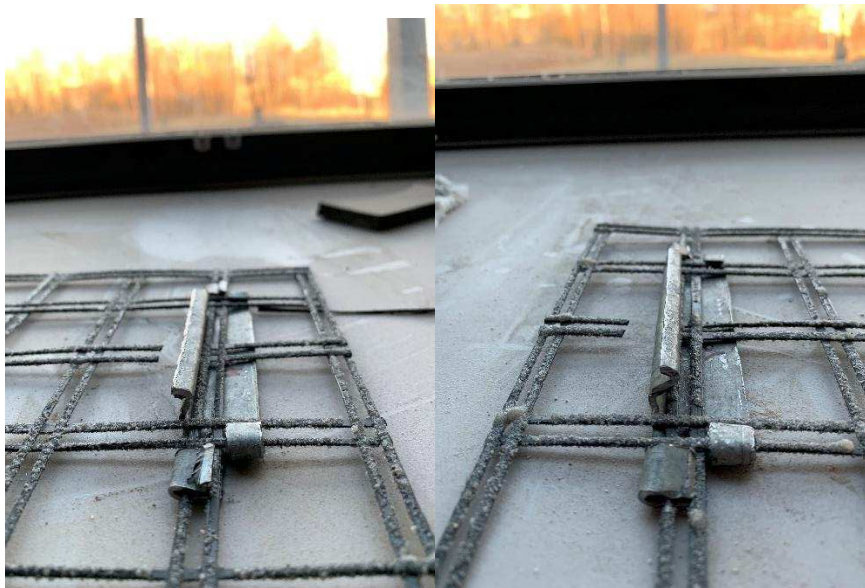
V této variantě jsou prvky kotvení, které byly zabetonovány do desek, opět v horní a dolní části desky, avšak nyní jsou již oba prvky stejné.

Oba prvky jsou tvořeny plechem o tloušťce 1 mm. Šířka celého plechu je znovu 110 mm a výška 30 mm. Ve střední části je plech ohnutý pro vytvoření šikmé kapsy k umístění kotevního háku Varianty B. Na špičce obyhu je znovu vytvořeno čelo pro dosednutí špičky háku.



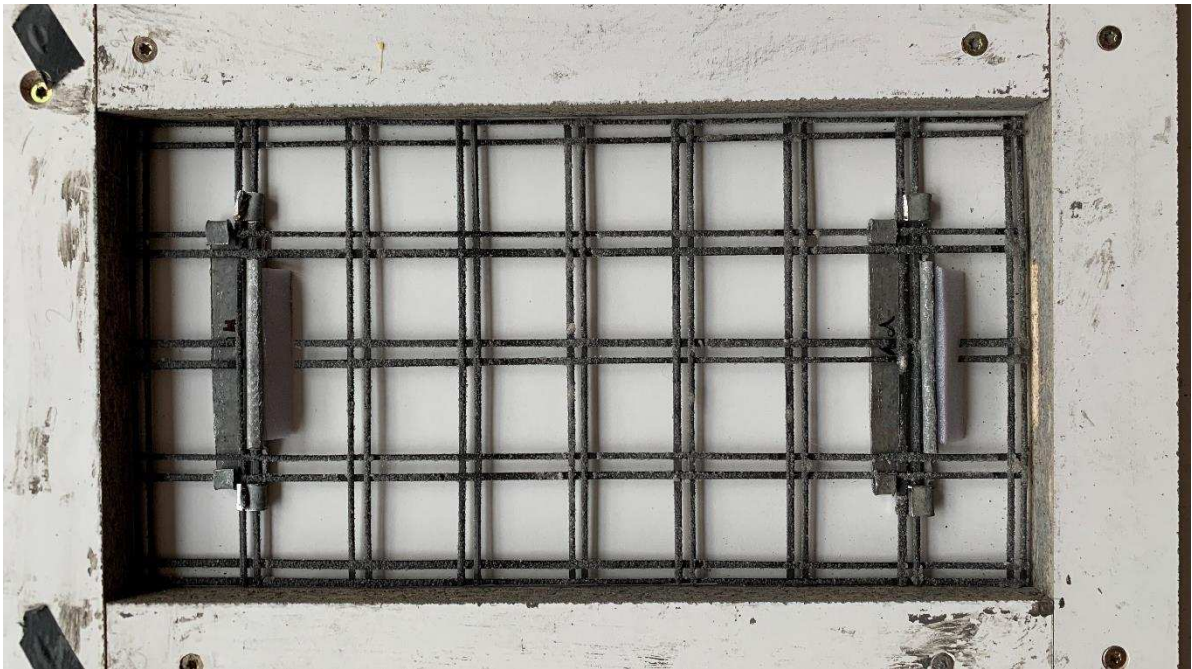
Obr. 35: Zabetonovaný prvek ve fázi výroby

Plechky byly v horní i dolní části desky umístěny v místě předposledních vláken ve výztužné síti. A poté byly krajní části plechů znovu ohnuty za výztuž, jak je patrné z obrázku 36.



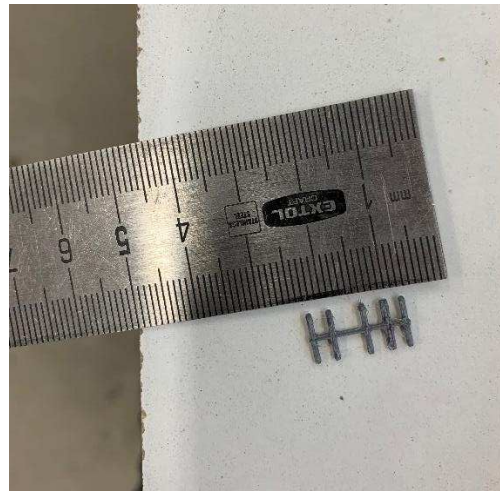
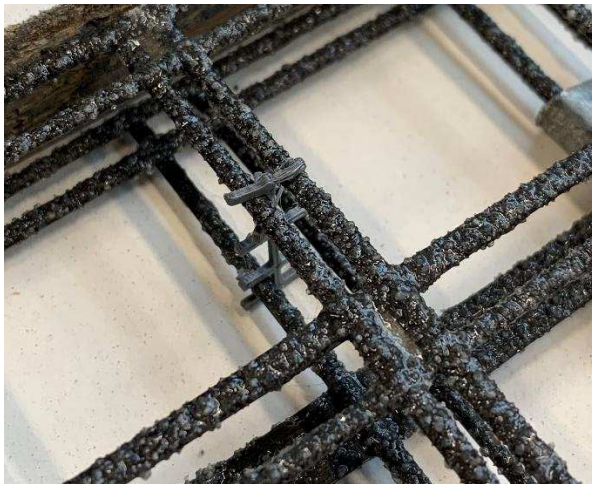
Obr. 36: Zabetonované kotevní prvky ve Variantě B

Následně se výztuž vložila do bednění a poté byl k plechům znovu přilepen nařezaný extrudovaný polystyren tak, aby v deskách vznikly kapsy pro umístění háku kotevního systému tak, jak je vidět na obrázku 37.



Obr. 37: Připravená spodní výztuž – Varianta B

Po dokončení přípravy, spodních výztuží s umístěnými plechy a nalepenými polystyreny, bylo nutné umístit do bednění horní výztuž, a to do správné výškové polohy. K tomu sloužily plastové distančníky vtištěné na 3D tiskárně, které zajišťovaly dostatečnou krycí vrstvu i správný rozstup mezi oběma výztužnými sítěmi.

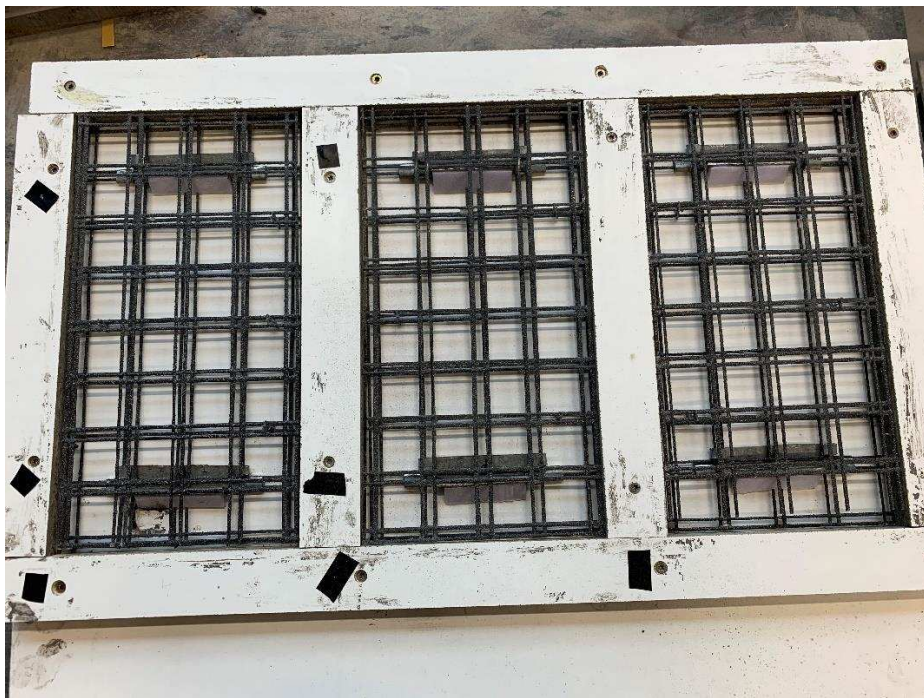


Obr. 38: Použité distančníky

Po umístění všech distančníků a horních výztuží jsou desky připravené pro zalití betonovou směsí.



Obr. 39: *Desky připravené k betonáži – Varianta A*



Obr. 40: *Desky připravené k betonáži – Varianta B*



2.2.4 Příprava betonové směsi a betonování

Příprava betonové směsi a samotné betonování probíhalo v laboratoři na Univerzitním centru energeticky efektivních budov. Betonování bylo rozděleno do dvou dnů. Během prvního dne došlo k vybetonování šesti zkušebních desek Varianty A a zároveň byly vybetonovány zkušební trávce a krychle pro ověření mechanických vlastností použitého betonu. Během druhého dne došlo k vybetonování zbylých šesti zkušebních desek z Varianty B.

Pro vybetonování desek bylo použito následující složení betonové směsi. Každá várka byla připravena o objemu 5l.

Složení betonové směsi

- Cement
- Kamenivo 01/06
- Kamenivo 06/12
- Mikrosilika
- Kamenná moučka
- Superplastifikátor
- Voda

Postup betonáže probíhal tak, že nejdříve došlo k přesnému odvážení všech složek betonové směsi. Následně proběhlo promísení obou použitých frakcí kameniva s cementem a poté byly do směsi přidány ostatní přísady, tedy mikrosilika a kamenná moučka. Po dokonalém promísení suché směsi bylo do míchačky přidáno zhruba 80 procent záměsové vody. Po určité době míchání byl do směsi přidán superplastifikátor smísený se zbytkem záměsové vody.

Takto připravená směs byla nalita do bednění a pomocí modelovací lžice dokonale rozprostřena. Poté ještě došlo k zavibrování desek pomocí vibračního stolu, aby byly ze směsi vytlačeny vzduchové póry.



Obr. 41: *Aplikace betonové směsi do bedně*

Po zavibrování byl na desky položen hladký kus lamina a následně byly desky znovu zavibrovány a zatíženy ve snaze o dosažení hladkého povrchu zkušebních desek.



Obr. 42: *Zatížené desky a vybetonované trámce a krychle*

Po 24 hodinách došlo k odbednění vzorků a následnému uložení do kádě s vodou pro zajištění správných podmínek pro zrání betonu. Po odbednění některých desek se ukázalo, že při vibrování desek přikrytých laminem došlo ke vzniku nedokonalostí povrchu. Tyto nedokonalosti však neměly žádný negativní vliv na správný průběh experimentu.



Obr. 43: Přední strana desky –
Varianta A



Obr. 44: Zadní strana desky –
Varianta A



Obr. 45: Přední strana desky –
Varianta B



Obr. 46: Zadní strana desky –
Varianta B



Obr. 47: Odbedněné krychle a trámce

Po zhruba třech týdnech zrání betonu byly odstraněny polystyrenové výplně, čímž došlo k vytvoření kapes pro zasunutí kotevních háků.



Obr. 48: Před odstraněním polystyrenu

– Varianta B



Obr. 49: Po odstranění polystyrenu

– Varianta B



Obr. 50: Před odstraněním polystyrenu

– Varianta A



Obr. 51: Po odstranění polystyrenu

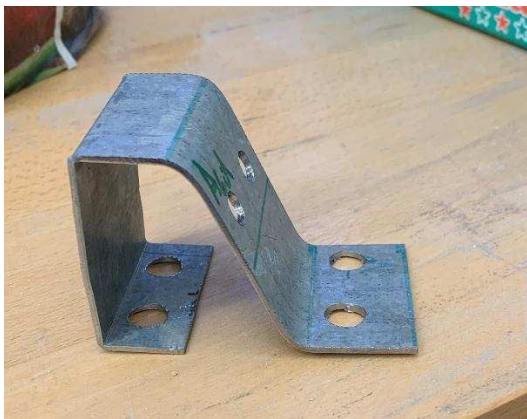
– Varianta A



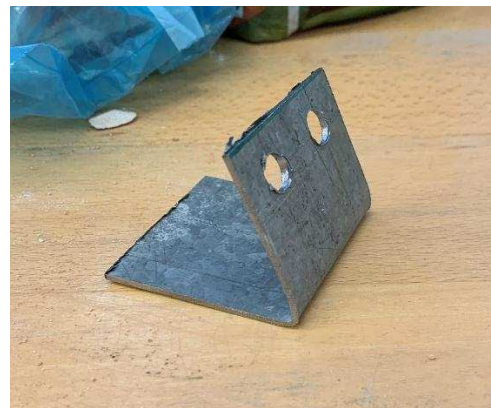
2.2.5 Příprava kotev a háků

Kotvy a háky byly vyrobeny podle předchozího návrhu z nerezové plechu o tloušťce 1 mm. Výroba probíhala na Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT. Háky byly ke kotvám připevněny pomocí šroubů o průměru 8 mm. Stejně šrouby byly použity i pro přišroubování kotev k podpěrnému prvku.

Varianta A



Obr. 52: Kotva



Obr. 53: Háček



Obr. 54: Kotva s připevněným háčkem



Obr. 55: Dosednutí desky na horní háček



Obr. 56: Dosednutí desky na spodní hák



Obr. 57: Test zavěšení desky na kotvení

Varianta B



Obr. 58: Kotva



Obr. 59: Hák



Obr. 60: Kotva s přípevněným hákem



Obr. 61: Dosednutí desky na spodní hák



Obr. 62: Dosednutí desky na horní hák



Obr. 63: Test zavěšení desky na kotvení



2.3 Destruktivní zkouška kotevního systému

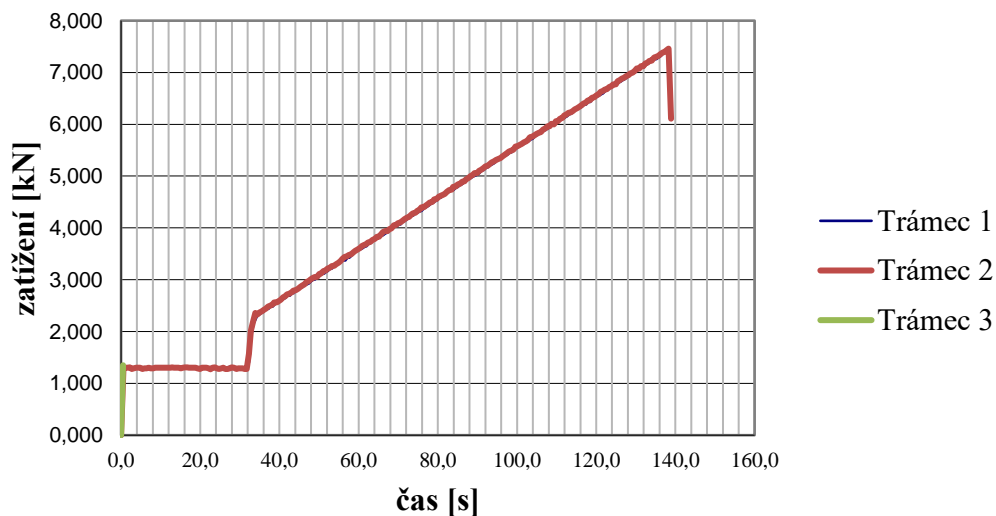
2.3.1 Mechanické vlastnosti použitého betonu

Jako první byly zkoušeny nevyztužené betonové trávce. Každý trámec byl o rozměrech 40x40x160 mm. Trávce byly zkoušeny čtyřbodovým ohybem. Rychlost nárůstu zatížení byla zvolena 50 N/min. Zkušební zařízení přístroj MCC8 se vzdáleností mezi podporami 100 mm.

| | Měření | výška h | hmotnost | zatížení při porušení F | Pevnost | Průměrná pevnost |
|----|--------|-------------|----------|-------------------------|---------|------------------|
| | | mm | kg | kN | Mpa | Mpa |
| T1 | 1 | 41,9 | 0,599 | 7,37 | 16,4 | 16,8 |
| | 2 | 42,4 | | | | |
| | 3 | 42,2 | | | | |
| | průměr | 42,2 | | | | |
| T2 | 1 | 40,1 | 0,603 | 7,47 | 17,3 | |
| | 2 | 40,2 | | | | |
| | 3 | 40,8 | | | | |
| | průměr | 40,4 | | | | |
| T3 | 1 | 41,9 | 0,596 | 7,37 | 16,6 | |
| | 2 | 41,6 | | | | |
| | 3 | 42 | | | | |
| | průměr | 41,8 | | | | |

Tab. 3: Výsledky zkoušky pevnosti v tahu za ohybu

čtyřbodový ohyb trámců



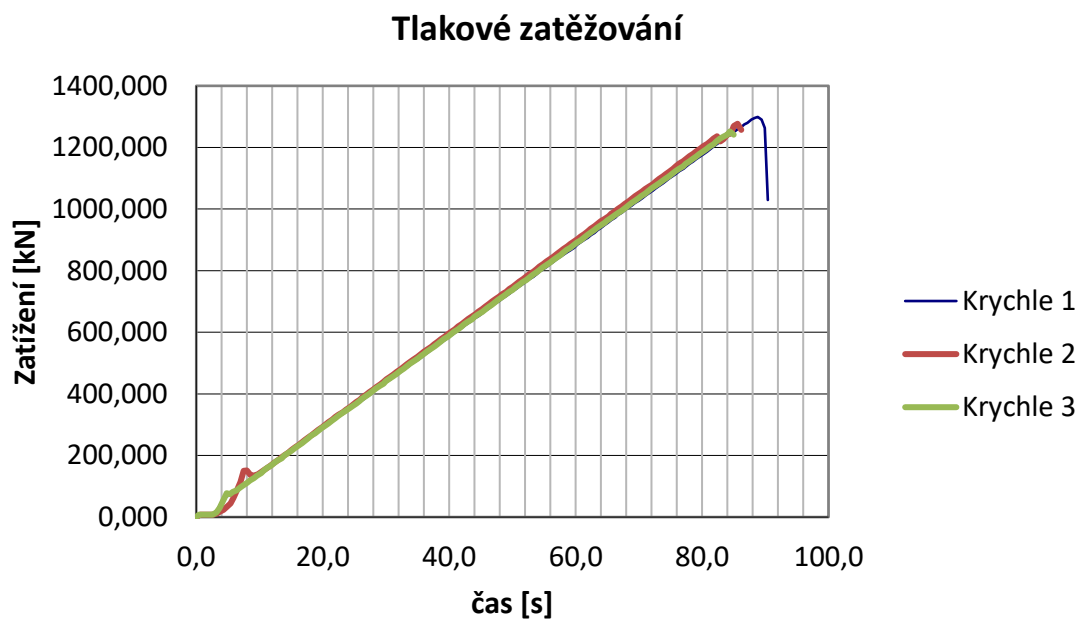
Obr. 64: Průběh zatěžování jednotlivých trámců



Pevnost v tlaku byla zkoušena na nevyztužených betonových krychlích o rozměrech 100 x 100 x 100 mm. Nárůst zatížení byl zvolen 1,5 MPa/min.

| | měření | výška h | hmotnost | zatížení při porušení F | pevnost | průměrná pevnost | | |
|----|--------|--------------|----------|-------------------------|---------|------------------|--------------|--------------|
| | | mm | kg | kN | Mpa | Mpa | | |
| K1 | 1 | 99,8 | 2,353 | 1300 | 130,3 | 127,0 | | |
| | 2 | 100,5 | | | | | | |
| | 3 | 99,4 | | | | | | |
| | průměr | 99,9 | | | | | | |
| K2 | 1 | 102,9 | 2,346 | 1277,9 | 125,8 | | 127,0 | |
| | 2 | 102,1 | | | | | | |
| | 3 | 101,1 | | | | | | |
| | průměr | 102,0 | | | | | | |
| K3 | 1 | 100,1 | 2,249 | 1254,4 | 124,82 | | | 127,0 |
| | 2 | 100,9 | | | | | | |
| | 3 | 100,6 | | | | | | |
| | průměr | 100,5 | | | | | | |

Tab. 4: Výsledky zkoušky pevnosti v tlaku



Obr. 65: Průběh zatěžování jednotlivých krychlí

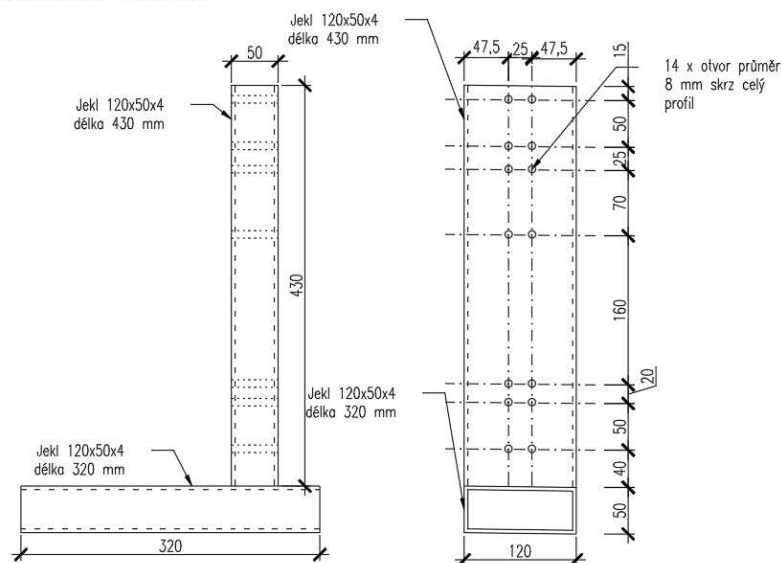
Z Výsledků zkoušek tedy vychází, že průměrná pevnost použitého betonu je 16,8 MPa v tahu a pevnost v tlaku 127,0 MPa.



2.3.2 Únosnost kotevního systému při svislém zatížení

Únosnost obou navržených systému při svislém zatížení, simuluje zatížení od vlastní tíhy fasádních desek. Pro zkoušení byl použit lis LabTest 4.100 SP1. Pro účely testování vzorků bylo nutné navrhnout systém, který by simuloval nosnou stěnu, do které budou fasádní desky kotveny. Pro tento účel byl navržen svařenec z ocelových jeklů o rozměrech 120x40x4 mm, do kterého byli následně zkoušené výseky desek kotveny.

svařenec z Jeklů 120x50x4



Obr. 66: Schéma pro výrobu ocelového svařence

Pro svislé zatěžování bylo také nutné na horní čela fasádních desek nalepit ocelový pásek z důvodu správného roznesení zatížení od hlavy lisu. V rámci zkoušení muselo také dojít ke zkrácení horních háků ve Variantě A a to z toho důvodu, že hlava lisu tlačila přímo na čela desek a v této variantě háky přesahovaly čelo desky o 30 mm.



Obr. 67: Dosednutí hlavy lisu na roznášecí ocelový pásek



Všechny desky byly před zkoušením změřeny a zváženy. Na únosnost při svislém zatížení bylo nejprve zkoušeno kotvení Varianty A a následně kotvení Varianty B. Rychlost zatěžování desek byla zvolena 3 mm/min.

Varianta A

| Deska | Rozměry [mm] | | | hmotnost [kg] | tíha desek [N] |
|-------|--------------|-----|----|---------------|----------------|
| | v | š | h | | |
| A4 | 314 | 164 | 19 | 2100,8 | 20,6 |
| A5 | 315 | 164 | 20 | 2174,2 | 21,3 |
| A6 | 315 | 164 | 20 | 2122,2 | 20,8 |

Tab. 5: Rozměry a hmotnost desek Varianta A – svile zatížení



Obr. 68: Deska před počátkem zatěžování – Varianta A



V první fázi byla závislost mezi zatížením a svislou deformací přibližně lineární, a to až do hodnot okolo 2000 N a to při svislém posunu 10 – 15 mm. Docházelo pouze k ohybání nosných kotev. Jak je patrné z obrázků 69 a 70.



Obr. 69: *Deformace horní kotvy*



Obr. 70: *Deformace spodní kotvy*

Po dosažení zatížení zhruba 3000 N a svislého posunu 20 mm došlo ke vzniku první trhliny a to páčením horního zabetonovaného plechu kotevním hákem. Poté již docházelo k rozevírání trhlin a nárůstu svislého posunu při klesajícím zatížení.



Obr. 71: *Vznik první trhliny*



Obr. 72: *Následný rozvoj trhlin*



Po dokončení zatěžování byla svislá deformace 35 mm. V této chvíli byli trhliny v horní části desky velmi rozevřené a spodní hák ohnutý, ašak nedošlo k úplnému kolapsu konstrukce což je z hlediska bezpečnosti zásadní zjištění.

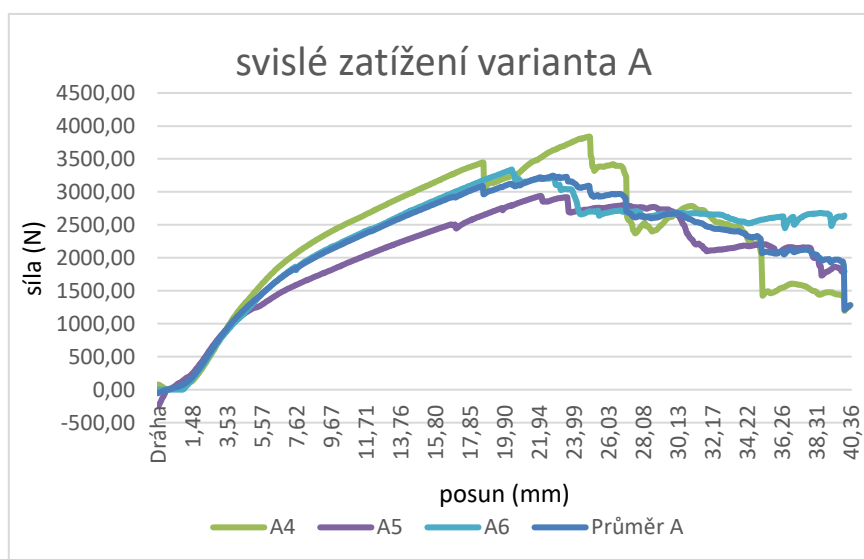


Obr. 73: Kotvení po ukončení zatěžování



Obr. 74: Kotvení po ukončení zatěžování

Po zkoušení byly naměřené hodnoty pro tři desky zprůměrovány. Nejvyšší průměrné zatížení , kterého dosáhly desky z Varianty A při svislém zatěžování, bylo 3246 N.



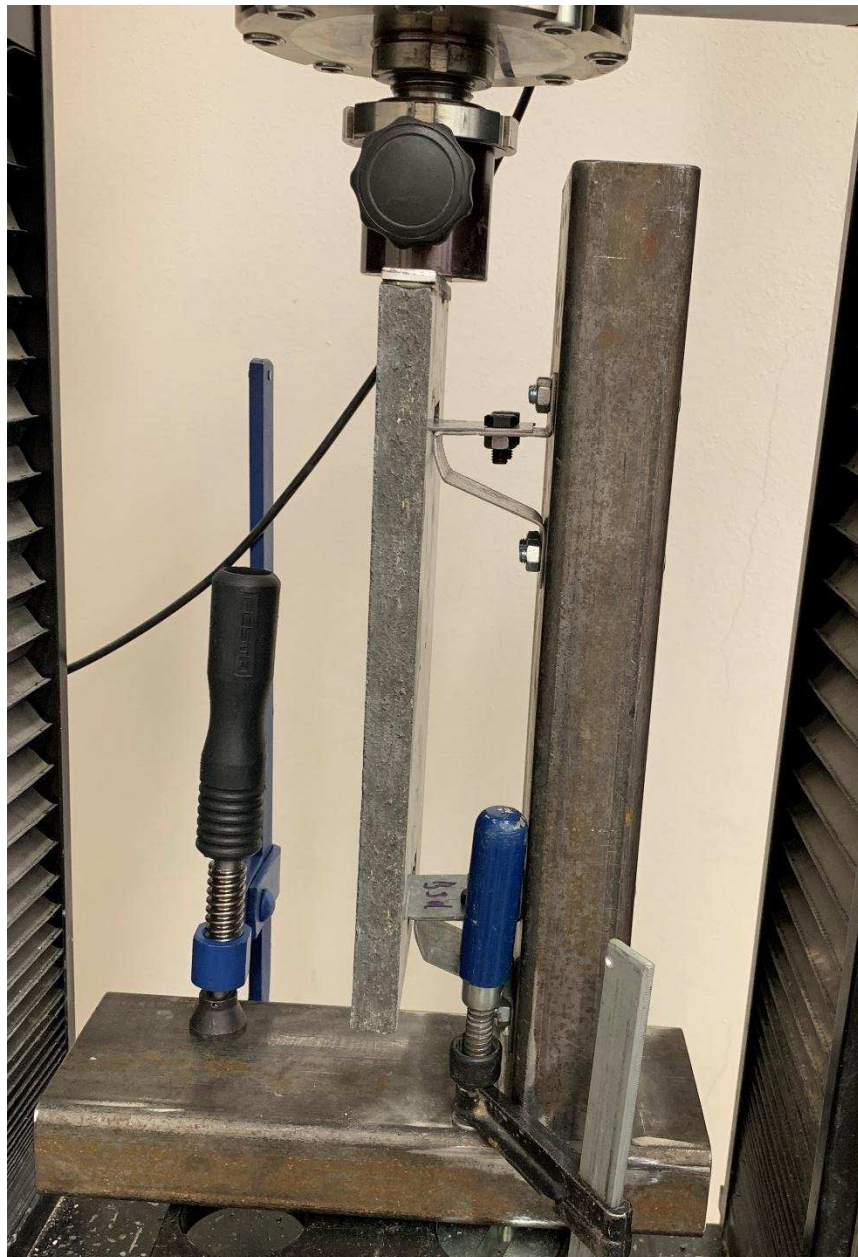
Obr. 75: Průběh svislého zatěžování – Varianta A



Varianta B

| Deska | Rozměry [mm] | | | hmotnost [kg] | tíha desek [N] |
|-------|--------------|-----|----|---------------|----------------|
| | v | š | h | | |
| B3 | 314 | 164 | 20 | 2376,2 | 23,3 |
| B4 | 315 | 164 | 20 | 2384,2 | 23,4 |
| B6 | 315 | 165 | 20 | 2342,6 | 23,0 |

Tab. 6: Rozměry a hmotnost desek Varianta B – svislé zatížení



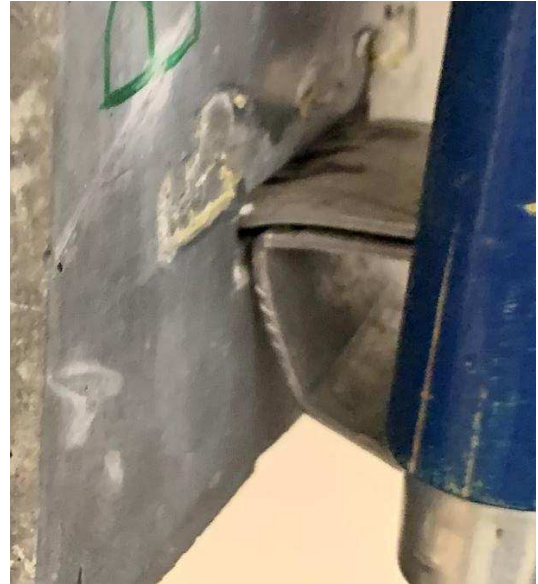
Obr. 76: Deska před počátkem zatěžování – Varianta B



V první fázi byla závislost mezi zatížením a svislou deformací znovu přibližně lineární. V porovnání s Variantou A však kotvení vykazovalo v počátku zatěžování vyšší tuhost. To je pravděpodobně způsobeno rozdílným tvarem kotev. Poté došlo k mírné deformaci kotevních háků, což mělo za následek mírné snížení tuhosti.



Obr. 77: *Deformace háku u horní kotvy*

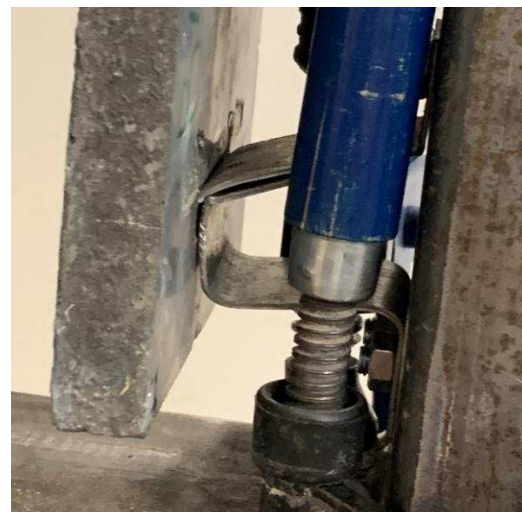


Obr. 78: *Deformace háku u spodní kotvy*

Poté již docházelo ke stále větší deformaci kotev při roztoucím zatížení a to do hodnoty zhruba 2500 N. Toto zatížení způsobilo svislou deformaci zhruba 12 mm.



Obr. 79: *Rozvinutá deformace horní kotvy*



Obr. 80: *Rozvinutá deformace spodní kotvy*



Po dokončení zatěžování bylo dosaženo svislé deformace zhruba 30 mm. Při této deformaci došlo k ohnutí kotev, ale zejména kotevních háčků. V této variantě nedošlo k téměř žádnému poškození fasádních desek. K úplnému kolapsu také nedošlo, ale kdyby došlo k ještě většímu ohnutí kotevních háků hrozilo by “sjetí” fasádních desek právě z těchto háků.



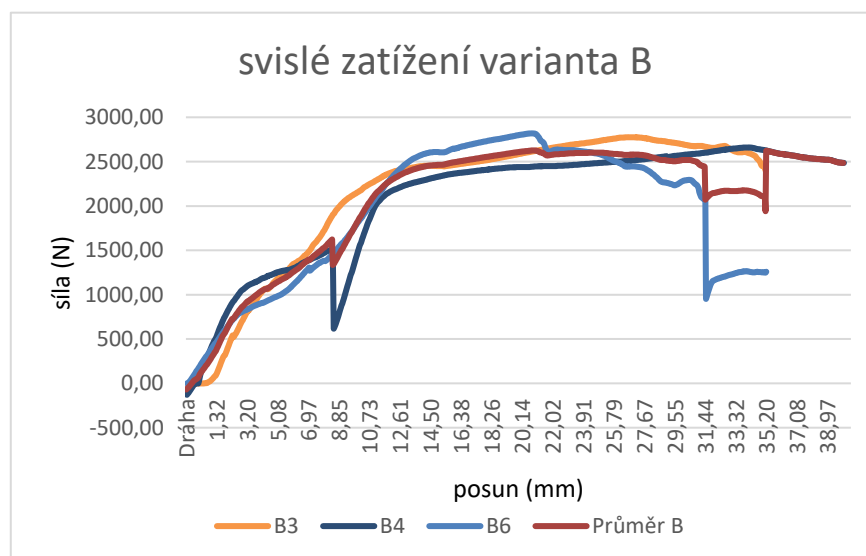
Obr. 81: Kotvení po odlehčení



Obr. 82: Kotvení bez desky

Po zkoušení byly naměřené hodnoty pro tři desky zprůměrovány. Nejvyšší průměrné zatížení, kterého dosáhly desky z Varianty B při svislém zatěžování bylo 2626 N.

Z důvodu nedokonalého nalepení roznášecího pásku u desky B4, došlo při zatížení zhruba 1500 N k odlepení pásku od čela desky na krajích, což mělo za následek skokový pokles tuhosti. Ke znehodnocení výsledků však nedošlo po dosednutí pásku pokračoval znovu nárůst tuhosti.



Obr. 83: Průběh svislého zatěžování – Varianta B

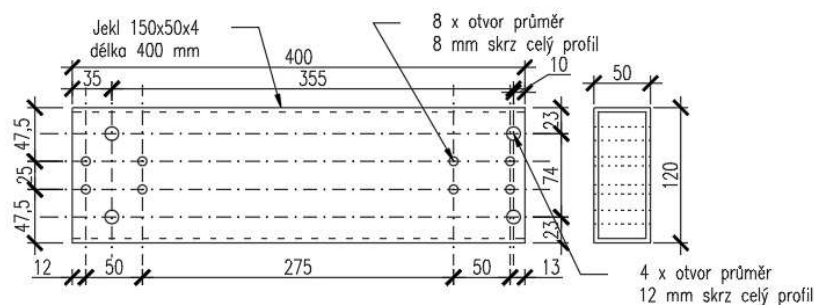


2.3.3 Únosnost systému při vodorovném zatížení

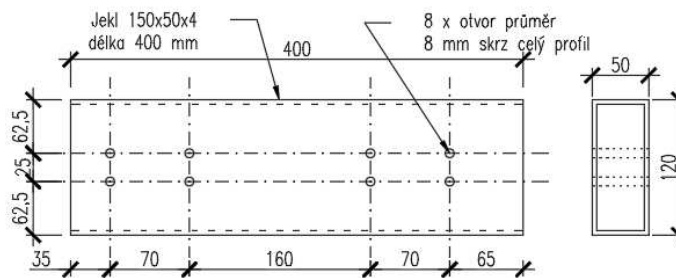
Únosnost obou navržených systému při vodorovném zatížení simuluje zatížení od tlaku větru. Zkoušení probíhalo na stejném přístroji jako svislé zatěžování. Opět bylo nutné navrhnout ocelový profil, který simuloval nosnou stěnu, do které budou kotvy připevněny.

JEKLY 120x50x4

Varianta A



Varianta B



Všechny desky opět byly zváženy a změřeny. Na únosnost při vodorovném zatížení bylo nejprve zkoušeno kotvení Varianty A a následně kotvení Varianty B. Rychlost zatěžování desek byla zvolena 4 mm/min.

Varianta A

| Deska | Rozměry [mm] | | | hmotnost [kg] | tíha desek [N] |
|-------|--------------|-----|----|---------------|----------------|
| | v | š | h | | |
| A1 | 315 | 164 | 20 | 2218,8 | 21,8 |
| A2 | 315 | 162 | 20 | 2169,6 | 21,3 |
| A3 | 315 | 163 | 20 | 2173,6 | 21,3 |

Kotevní systém ve Variantě A je navržen tak, že jedna kotva nese zároveň dvě desky. Při zkoušení byla však zatěžována pouze jedna deska, a to by mohlo mít negativní vliv na vypovídající hodnotu výsledků. Bylo tedy nutné navrhnout systém, který by simuloval napojení na další desky. Tento systém je patrný z obrázků 84 a 85.



Obr. 84: *Systém simulující napojení
spodní desky*



Obr. 85: *Systém simulující napojení
horní desky*

Reálné zatížení větrem je uvažováno jako rovnoměrné plošné zatížení. Zvolený způsob zkoušení nesimuluje zatížení jako plošné, ale jako dvě liniové zatížení působící na střed desky. I tak si myslím, že jde z provedeného zkoušení velice dobře odhadnout chování desek a kotvení při vodorovném zatížení větrem.



Obr. 86: *Deska před počátkem zatěžování – Varianta A*



Při zkoušení Varianty A se ukázalo jako zásadní chování spodní kotvy. Po začátku zatížení zprvu došlo k ohnutí spodního háku za působení poměrně malého zatížení. Poté však došlo k opření háku o systém simulující desku umístěnou pod tou zkoušenou a v tu chvíli nastal nárůst tuhosti, který se vyvíjel lineárně, až do chvíle vytvoření první trhliny v desce. To nastalo při zatížení okolo 2 000 N.



Obr. 87: Počáteční ohnutí háku spodní kotvy



Obr. 88: Vznik první trhliny v desce

Po vzniku prvních trhlin poté docházelo k jejich rozvoji při pokračující deformaci, až ke kolapsu systému, kdy došlo k uvolnění desky ze spodního kotevního háku.



Obr. 89: Rozvoj trhlin vytlačováním betonu



Obr. 90: Rozvoj trhlin v pokročilém stádiu

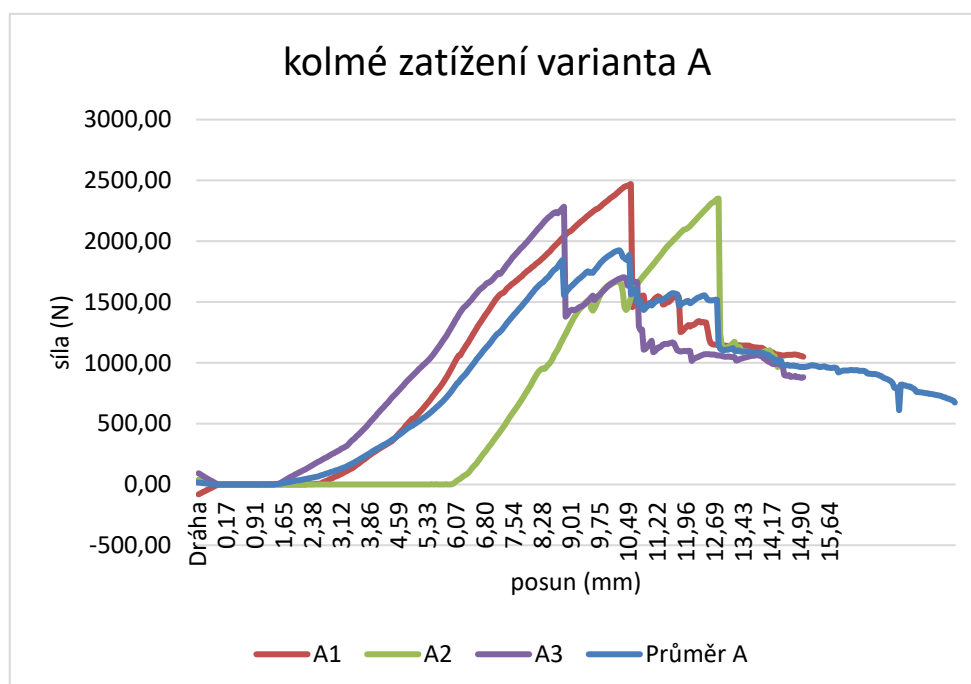


Zatěžování bylo ukončeno po uvolnění desky ze spodního kotevního háku. To bylo způsobeno částečně ohnutím háku a také vytlačáním betonu desky, kdy došlo i k porušení výztuže.



Obr. 91: Deska po ukončení zatěžování – Varianta A

Z průběhu zkoušení a z naměřených hodnot lze konstatovat, že systém vykazuje pod malým zatížením poměrně značné deformace, což může být u fasádních desek problém. Po kolapsu konstrukce dojde k uvolnění desky ze spodního háku, avšak deska dál visí na horní kotvě, což je důležité z hlediska bezpečnosti.



Obr. 92: Průběh kolmého zatěžování – Varianta A



Varianta B

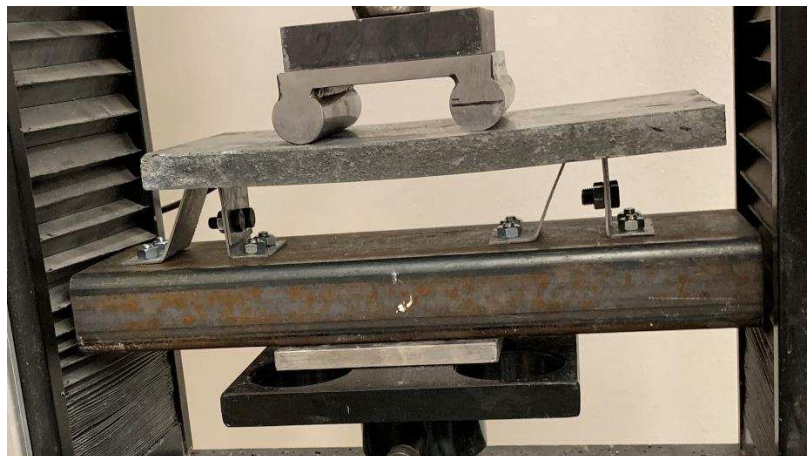
| Deska | Rozměry [mm] | | | hmotnost [kg] | tíha desek [N] |
|-------|--------------|-----|----|---------------|----------------|
| | v | š | h | | |
| B1 | 315 | 164 | 20 | 2335,2 | 22,9 |
| B2 | 314 | 164 | 20 | 2337,6 | 22,9 |
| B5 | 315 | 165 | 20 | 2385,8 | 23,4 |

Zatěžování kotevního systému Varianty B probíhalo stejným způsobem jako v předchozím případě u Varianty A. Na obrázku 93 je připravena deska uložená na kotevním systému.



Obr. 93: Deska před počátkem zatěžování – Varianta B

Již od počátku zatěžování bylo zřejmé, že kotevní systém bude zvolenému zatížení odolávat mnohem lépe než systém Varianty A v předchozím případě. V úplném počátku došlo k zhruba milimetrovému posunu desky, a to z důvodu úplného dosednutí desky na kotevní háky. Poté již nastal strmý nárůst tuhosti.



Obr. 94: Průhyb desky v počátku zatěžování



S narůstajícím zatížením narůstal průhyb desky a také se na spodní části desky začaly objevovat trhliny v betonu. Kotevní systém nejevil žádné známky deformace, či poškození.



Obr. 95: Rozvoj trhlin ve spodní části desky

Rozvoj trhlin pokračoval až do kolapsu, který nastal, při smykovém porušení zkoušeného výseku fasádní desky. Selhání nastalo průměrně při hodnotě zatížení 8000 N. Ani po kolapsu desky nejevil kotevní systém žádné známky poškození.

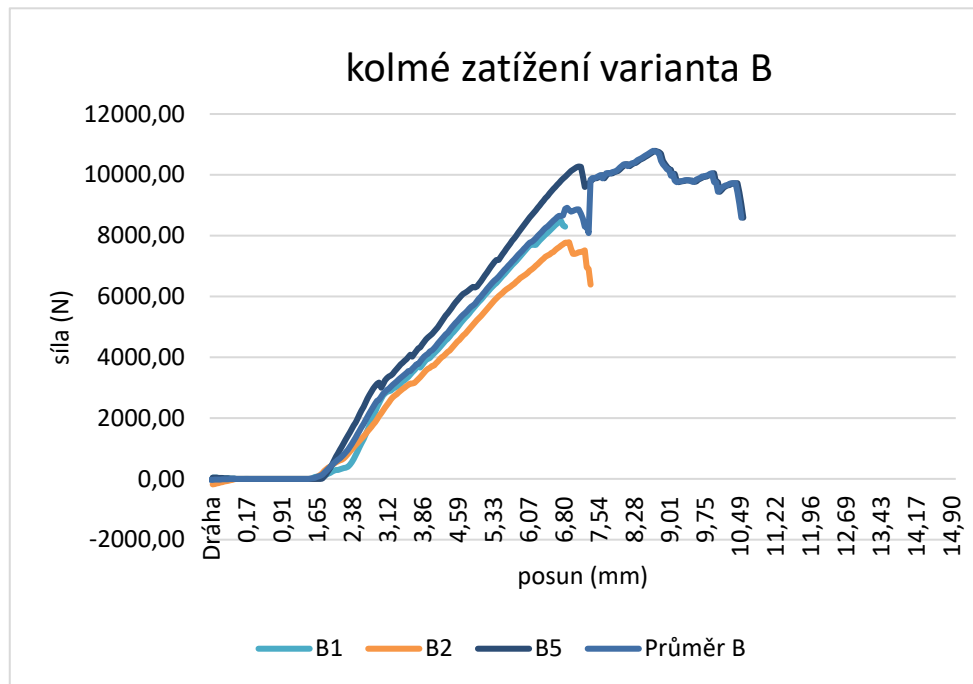


Obr. 96: Fasádní deska po kolapsu a odlehčení.

Z chování desek v průběhu zkoušení, lze konstatovat, že tento systém odolává zvolenému zatížení velmi dobře. Kotevní systém nebyl během celé zkoušky nijak poškozen. Rozhodujícím faktorem byla tedy pevnost použité fasádní desky. Ke kolapsu desky došlo v průměru při



zatížení v hodnotách dosahujících téměř 10 kN, což je zatížení, které by v reálné situaci nemohlo nikdy nastat.



Obr. 97: Průběh kolmého zatěžování – Varianta A

2.3.4 Vyhodnocení

Únosnost desek při svislém zatížení

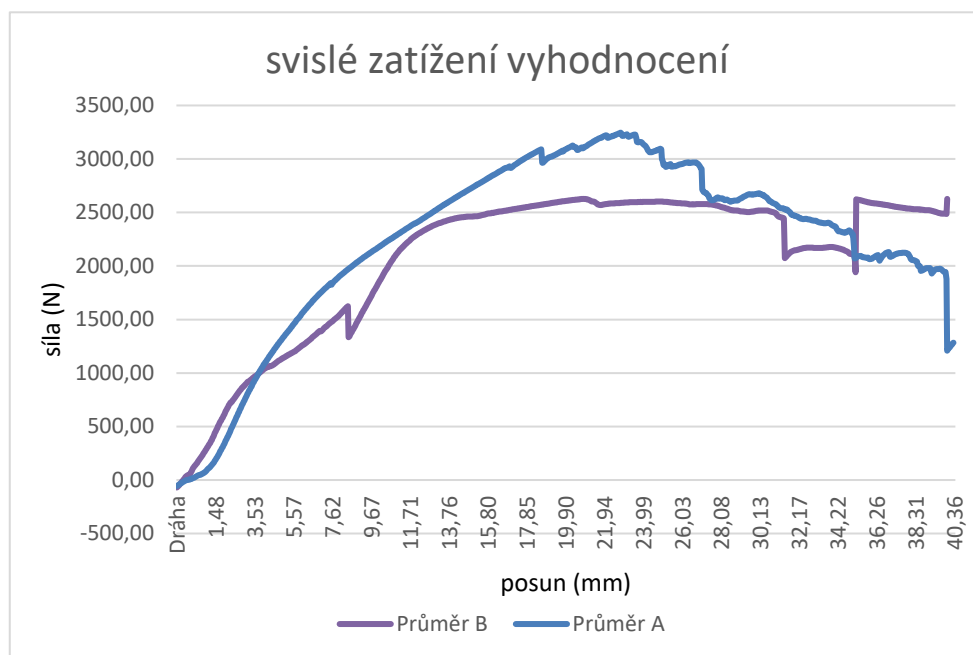
Zkoušení únosnosti při svislém zatížení kotevních systémů mělo prokázat dostatečnou odolnost systému vůči tíži zavěšených fasádních desek. Budeme-li porovnávat maximální dosaženou hodnotu zatížení, tak v tomto ohledu vychází lépe kotevní systém Varianty A. Maximální dosažená hodnota byla 3 246 N, avšak takovýchto hodnot bylo dosaženo při takové svislé deformaci kotev, která by v reálné situaci nikdy nemohla nastat. Z tohoto důvodu je mnohem více vypovídajícím kritériem únosnost obou systémů při hodnotách svislého posunu v jednotkách milimetrů. Z následujícího grafu je patrné, že až do svislého zatížení pohybujícího se okolo 1 kN, je svislá deformace nižší u systému Varianty B.

V následující tabulce je ukázáno, jak rozměrnou část desky by mohly nést dvě kotvy obou kotevních systémů při dané svislé deformaci, kterou by tíha této části desky vyvolala. Průměrná objemová hmotnost desky byla stanovena na 2282 kg/m³. Tabulka uvažuje s konstantí tloušťkou desky 20 mm.



| posun (mm) | 1 | | 1,5 | | 2 | | 2,5 | | 3 | |
|------------|----------|--------------------------------|----------|--------------------------------|----------|--------------------------------|----------|--------------------------------|----------|--------------------------------|
| | tíha [N] | plocha desky [m ²] | tíha [N] | plocha desky [m ²] | tíha [N] | plocha desky [m ²] | tíha [N] | plocha desky [m ²] | tíha [N] | plocha desky [m ²] |
| Var A | 72,75 | 0,16 | 179,92 | 0,40 | 337,74 | 0,75 | 525,66 | 1,17 | 715,72 | 1,60 |
| Var B | 266,47 | 0,60 | 438,29 | 0,98 | 614,11 | 1,37 | 750,68 | 1,68 | 868,55 | 1,94 |

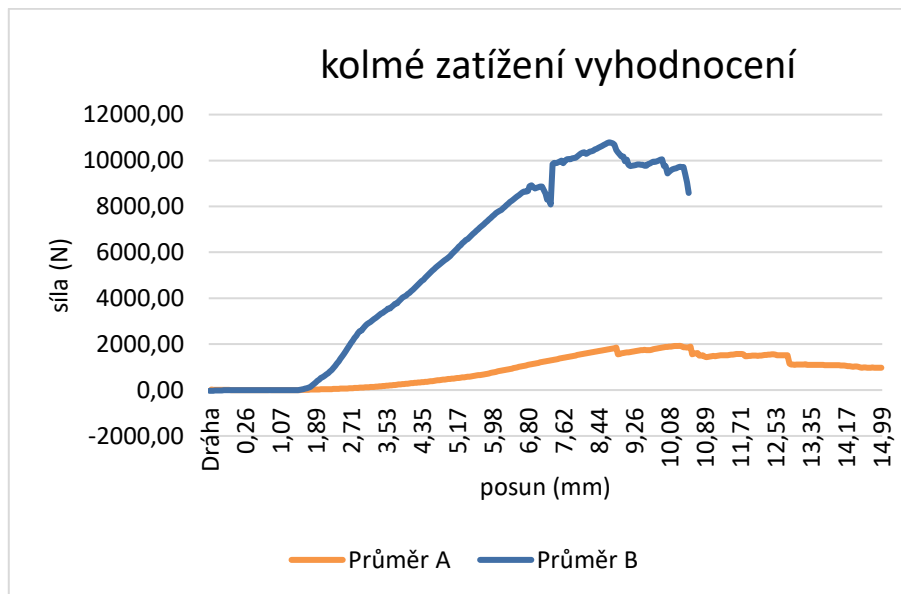
Tab. 7: Porovnání variant kotvení při svislém zatížení



Obr. 98: Průběh kolmého zatěžování – Varianta A

Únosnost desek při zatížení kolmém na plochu desek

Ze zatěžování obou variant kotevních systému zatížením kolmým na plochu desek, vyšla jednoznačně vítězně Varianta B, což je zřejmé z následujícího grafu. U této varianty během celého průběhu zkoušky nedošlo k žádnému poškození kotevních prvků. Ke kolapsu došlo až při dosažení smykové únosnosti použitých betonových desek.



Obr. 99: Průběh kolmého zatěžování – Varianta A



3 Návrh provětrávané fasády experimentálního objektu

Jako objekt pro návrh provětrávané fasády s použitím vnějšího obkladu z TRC a s použitím vybraného kotevního systému byl vybrán experimentální objekt, jehož realizace je plánována na Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Buštěhradu. Objekt je nyní v projekční fázi.

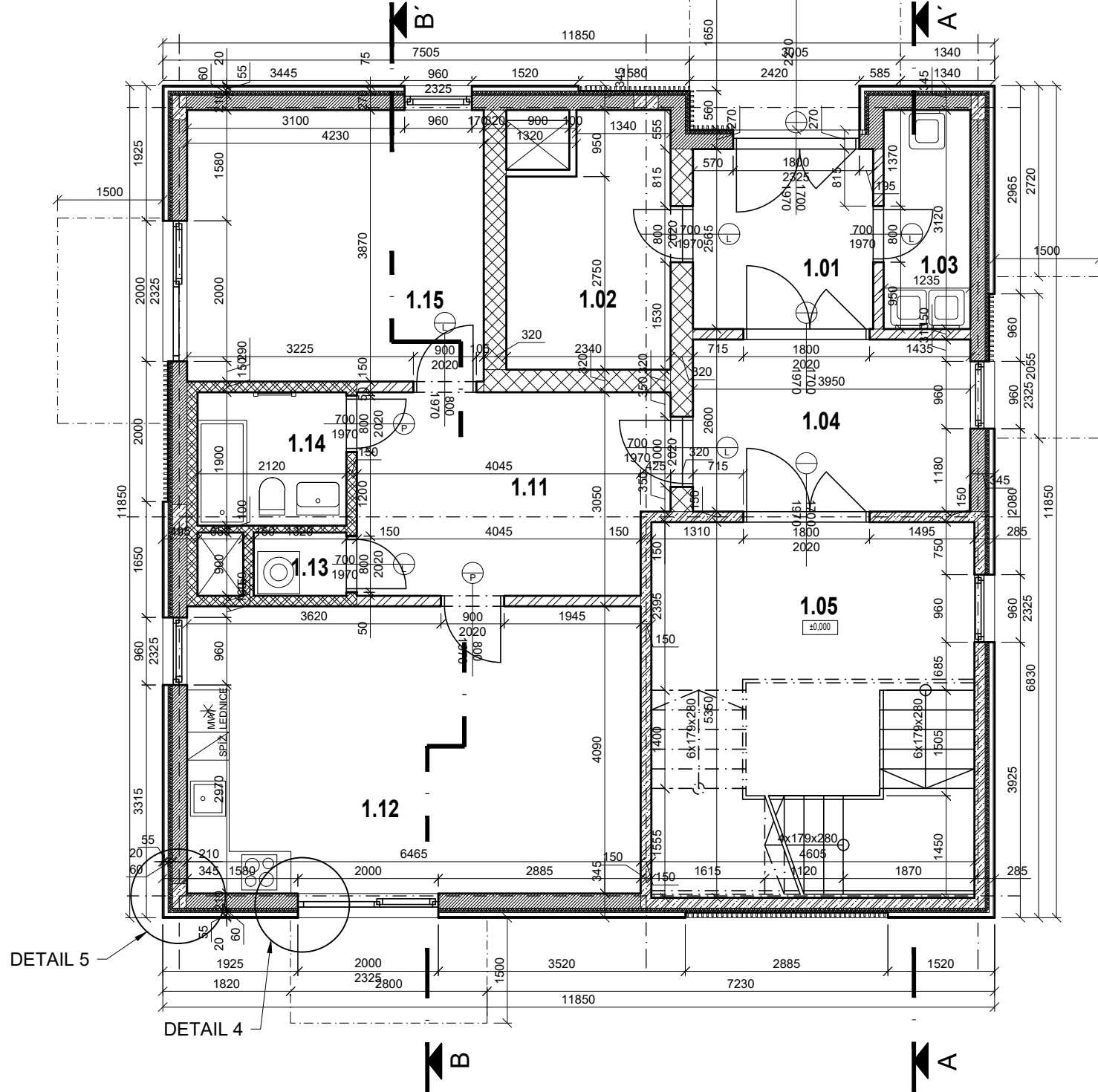
Objekt je konstrukčně řešen jako dvoupodlažní železobetonový skelet. V původním návrhu je obvodový plášť objektu řešen prefabrikovanými dřevěnými panely s kontaktním zateplovacím systémem.

Jako podklad pro zpracování prováděcí dokumentace provětrávané fasády, sloužila studie objektu a skladba systémového řešení dřevěných obvodových panelů s kontaktním zateplovacím systémem.

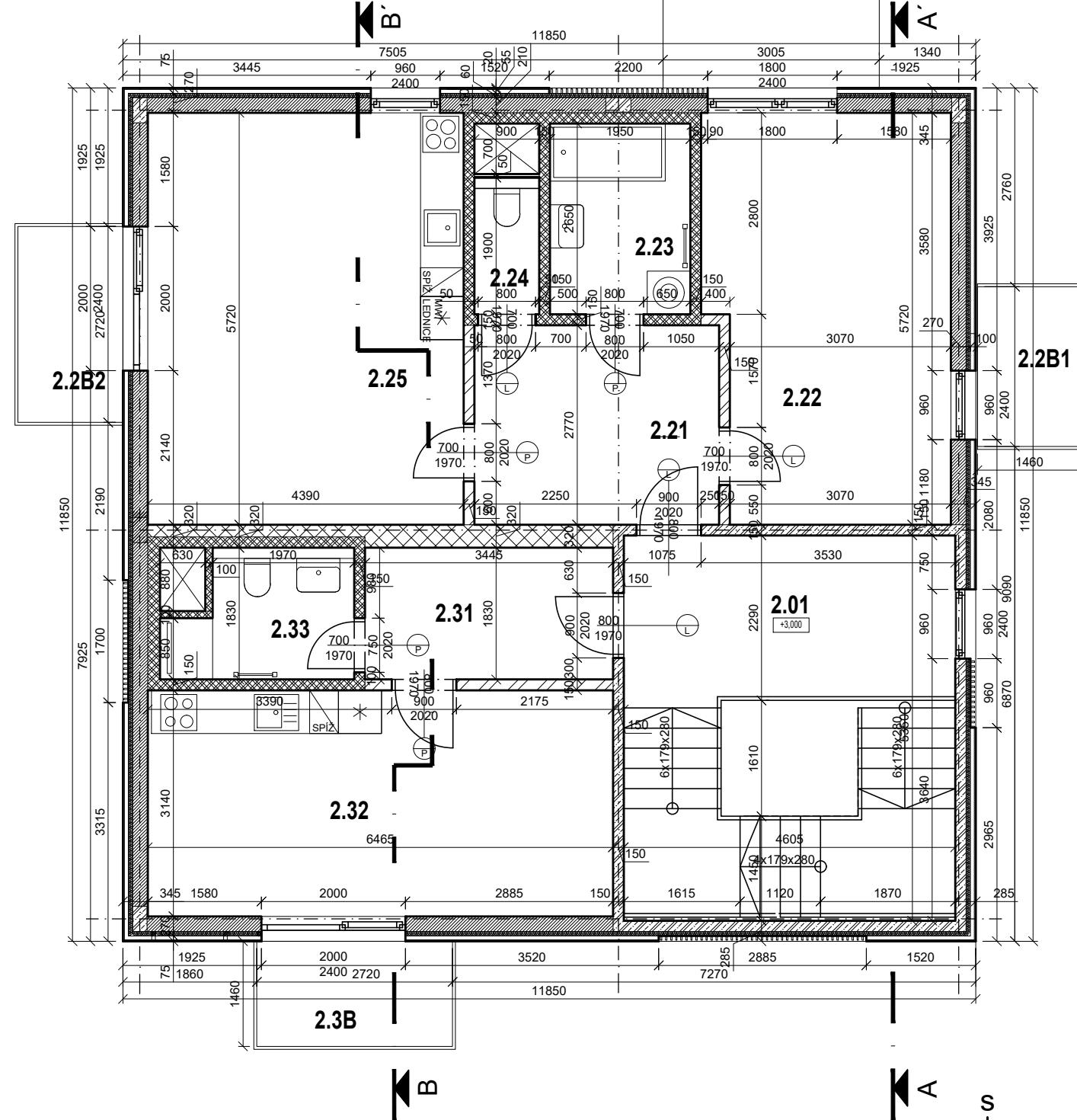
Jako kotevní systém byl zvolen systém Varianty B, a to z toho důvodu, že vykazuje větší tuhost při zatížení od vlastní tíhy panelů než systém Varianty A a to až do tíhy desky o hmotnosti 100 kg uložené na dvou kotvách. Taková tíha odpovídá ploše desky 2 m² při tloušťce 20 mm. Maximální rozměr fasádní desky byl zvolen 2000 x 390 mm. všechny fasádní desky budou uloženy na 4 bodových kotvách systému Varianty B. Tato deska bude mít při objemové hmotnosti fasádní desky 2282 kg/m³ a tloušťce 20 mm celkovou hmotnost 35,6 kg. Což by podle naměřených hodnot mělo způsobit svislou deformaci kotev zhruba 0,6 mm.

V rámci návrhu provětrávané fasády byly zpracovány schématické půdorysi a řezi objektu, kladečské plány rozmístění desek a kotev na jednotlivé fasády a také byli zpracovány detaily atiky, soklu, nadpraží, ostění a nároží. Dále byla také zpracována vizualizace objektu pro dobrou představu o finálním vzhledu s opláštěním betonovými deskami.

PŮDORYS 1NP



PŮDORYS 2NP



LEGENDA MÍSTNOSTÍ:

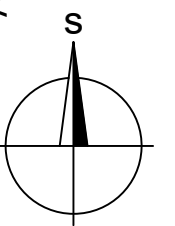
| ČÍSLO | ÚČEL | PLOCHA m ² |
|-------|--------------------|-----------------------|
| 1.01 | ZÁDVEŘÍ | 6,6 |
| 1.02 | TECHNICKÁ MÍSTNOST | 7,7 |
| 1.03 | POPELNICE, ODPAD | 3,9 |
| 1.04 | CHODBA | 9,6 |
| 1.05 | SCHODIŠTĚ | 16,4 |
| 1.11 | CHODBA | 12,5 |
| 1.12 | POKOJ | 26,5 |
| 1.13 | PRANÍ, ÚKLID | 1,2 |
| 1.14 | KOUPELNA | 4 |
| 1.15 | POKOJ | 16,3 |
| 2.21 | CHODBA | 9,4 |
| 2.22 | POKOJ | 18,7 |
| 2.23 | KOUPELNA | 5,2 |
| 2.24 | WC | 1,7 |
| 2.25 | POKOJ | 25,1 |
| 2.2B1 | BALKON | 3,2 |
| 2.2B2 | BALKON | 4,0 |
| 2.31 | CHODBA | 6,3 |
| 2.32 | POKOJ | 20,3 |
| 2.33 | KOUPELNA | 4,2 |
| 2.3B | BALKON | 4,0 |

LEGENDA MATERIÁLŮ:

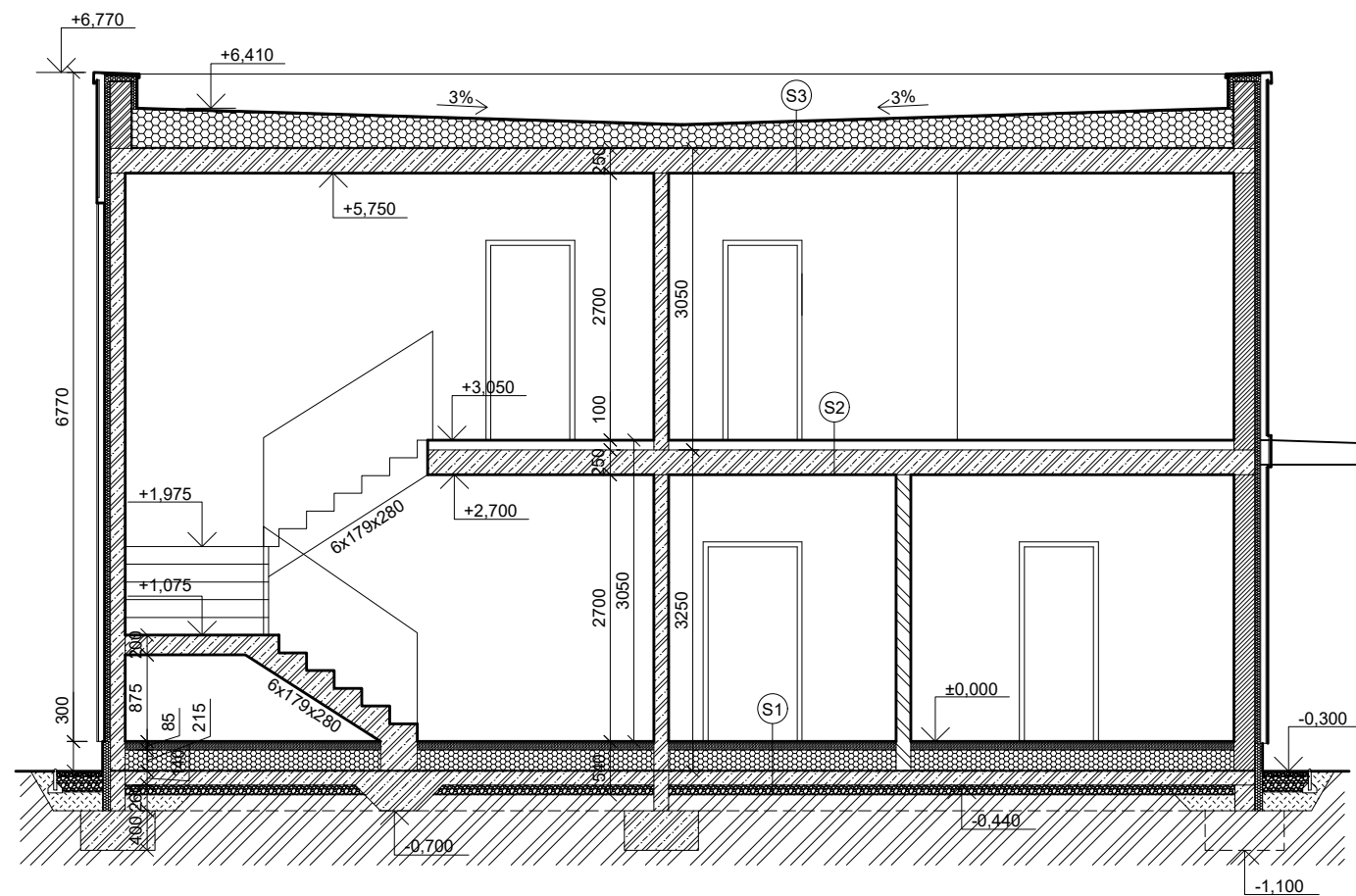
| | |
|--|--------------------------|
| | DŘEVĚNÝ FASÁDNÍ PANEL |
| | TEPELNÁ IZOLACE |
| | ŽELEZOBETON |
| | DŘEVĚNÝ MEZIBYTOVÝ PANEL |
| | DŘEVĚNÁ PŘÍČKA |
| | STĚNA PREF. KOUPELNY |

Podlaha přízemí ± 0,000 = 355,000 m.n.m

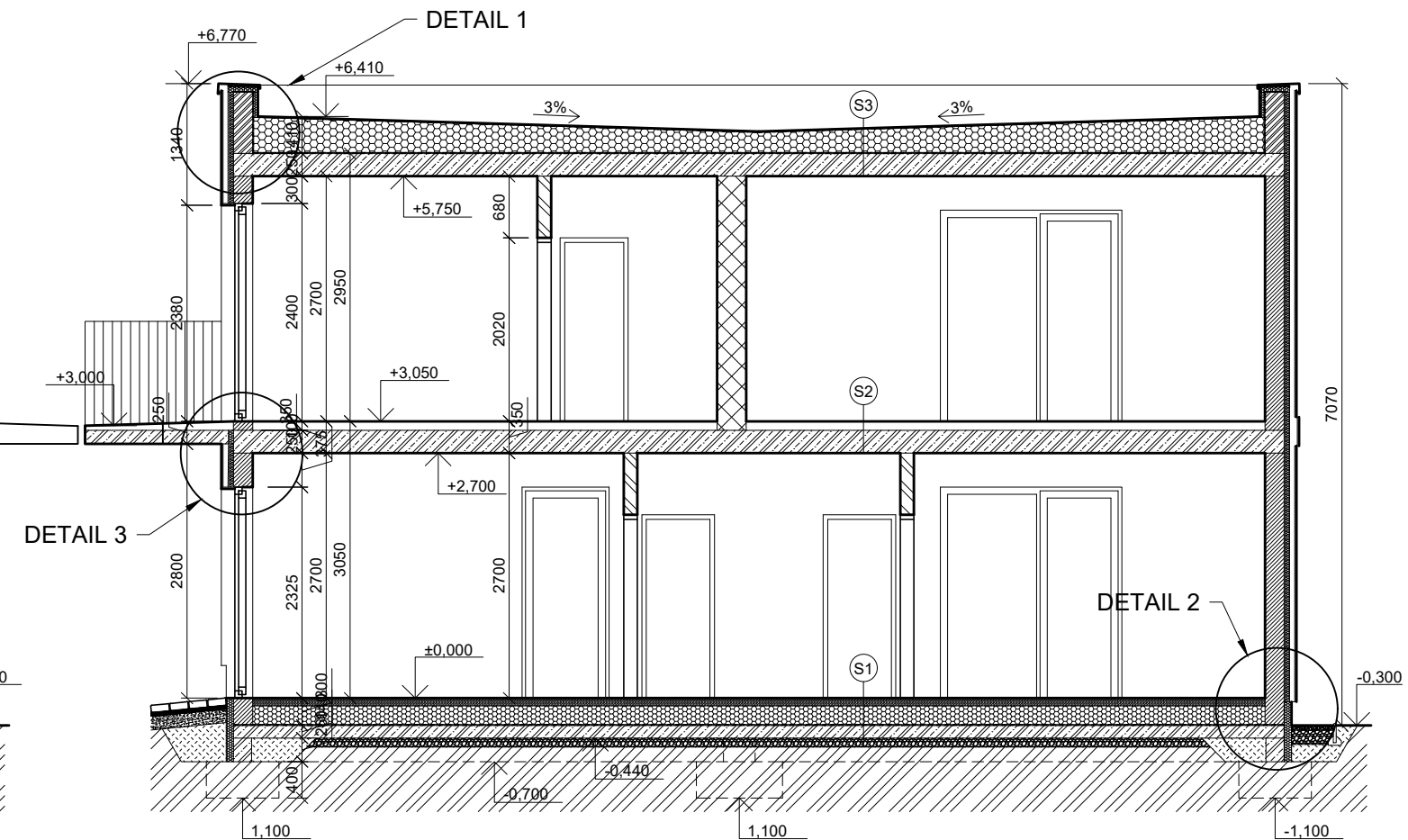
| | | |
|---|------------------------------|----------------------------------|
| VYPRACOVAL: | VEDOUCÍ PRÁCE: | ČVUT v Praze Fakulta Stavební |
| Bc. Marek Machač | prof. Ing. Petr Hájek, CSc. | |
| PŘEDMĚT: | Thákurova 7, 166 29, Praha 6 | |
| DIPLOMOVÁ PRÁCE | | FORMÁT: |
| | | A3 |
| NÁZEV VÝKRESU: SCHÉMATICKÉ PŮDORYSY OBOU PODLAŽÍ | | DATUM: |
| | | 7.1.2019 |
| | | MĚŘITKO: |
| | | 1:75 |
| | | Č. PŘÍLOHY: |
| | | |



ŘEZ A-A'



ŘEZ B-B'



SKLADBY :

S1 :

NÁŠLAPNÁ VRSTVA tl. 10 mm
 LEPIDLO tl. 5 mm
 ROZNÁŠECÍ VRSTVA (CEMENTOVÝ POTĚR) tl. 70 mm
 SEPARAČNÍ PE FOLIE
 TEPELNÁ IZOLACE tl. 200 mm
 HYDROIZOLACE ASFALTOVÝ PÁS tl. 4 mm
 PODKLADNÍ BETON tl. 150 mm
 HUTNĚNÝ PODSYP - ŠTĚRK 32/16 tl. 100 mm
 ROSTLÁ ZEMINA tl. 40 mm

S3 :

HYDROIZOLAČNÍ PVC FOLIE
 NETKANÁ GEOTEXTÍLIE
 SPÁDOVÉ KLÍNY EPS 100 tl. 200 - 20 mm
 EPS 100 tl. 200 mm
 SAMOLEPÍSÍ SBS ASFALTOVÝ PÁS tl. 4 mm
 PENETRACE
 ŽB STROPNÍ KONSTRUKCE tl. 250 mm
 VNITŘNÍ OMÍTKA tl. 10 mm

S2 :

NÁŠLAPNÁ VRSTVA tl. 10 mm
 LEPIDLO tl. 5 mm
 ROZNÁŠECÍ VRSTVA (CEMENTOVÝ POTĚR) tl. 40 mm
 SEPARAČNÍ PE FOLIE
 KROČEJOVÁ IZOLACE tl. 40 mm
 ŽB STROPNÍ DESKA tl. 250 mm
 VNITŘNÍ OMÍTKA tl. 10 mm

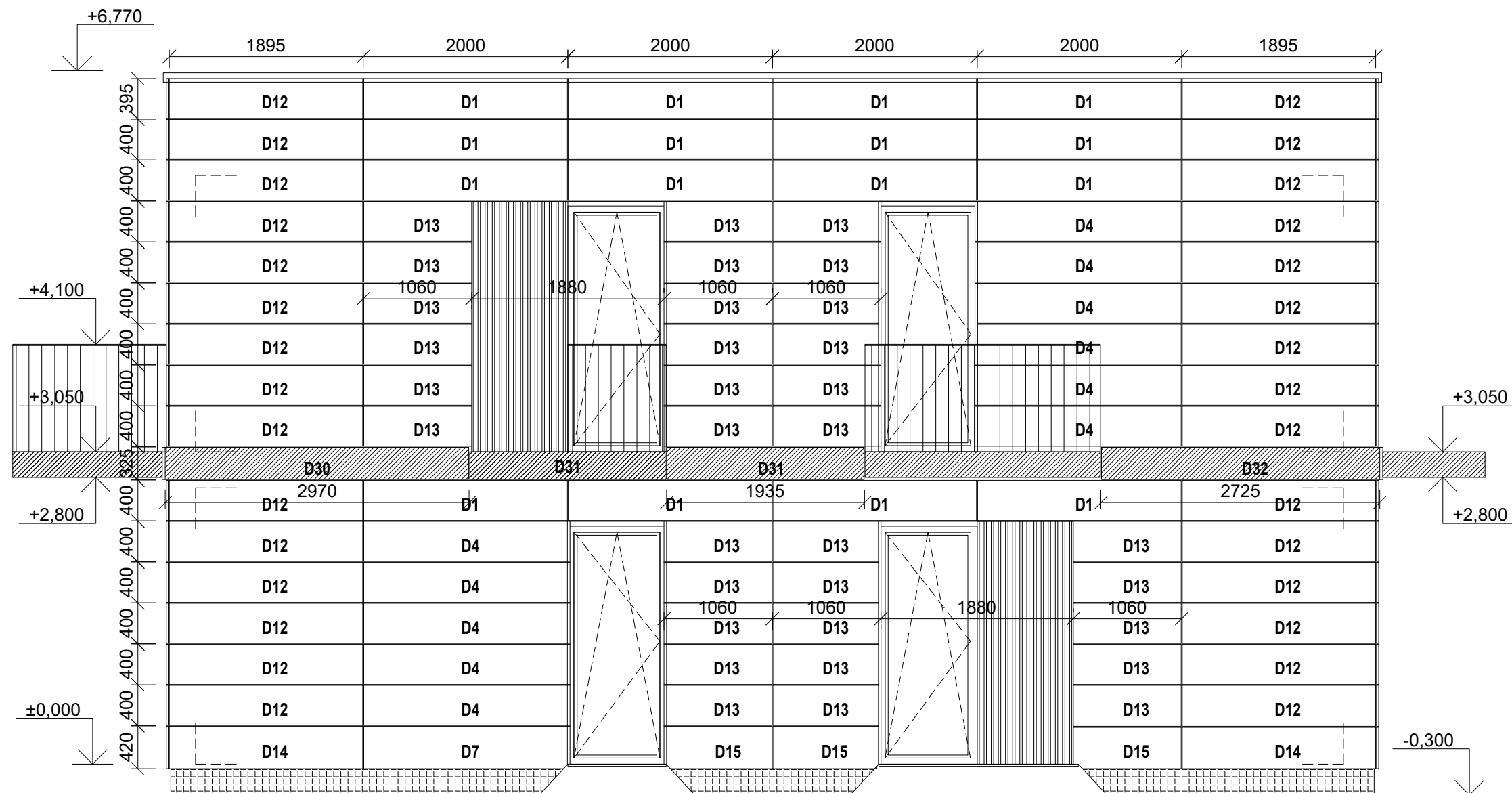
LEGENDA MATERIÁLŮ :

| | | | |
|--|-----------------------|--|--------------------------|
| | PŮVODNÍ ZEMINA | | VYZDÍVKA |
| | DŘEVĚNÝ FASÁDNÍ PANEĽ | | DŘEVĚNÝ MEZIBYTOVÝ PANEĽ |
| | MINERÁLNÍ VLNA | | ŽELEZOBETON |
| | EPS | | ŠTĚRK 16/32 |
| | DŘEVĚNÁ PŘÍČKA | | NÁSYP Z PŮVODNÍ ZEMINY |

Podlaha přízemí ± 0,000 = 355,000 m.n.m

| | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------|
| VYPRACOVAL: | VEDOUCÍ PRÁCE: | ČVUT v Praze | |
| Bc. Marek Machač | prof. Ing. Petr Hájek, CSc. | Fakulta Stavební | |
| PŘEDMĚT: | | Thákurova 7, 166 29, Praha 6 | |
| DIPLOMOVÁ PRÁCE | | FORMÁT: | A3 |
| | | DATUM: | 7.1.2019 |
| NÁZEV VÝKRESU: | | MĚŘITKO: | Č. PŘÍLOHY: |
| SCHÉMATICKÉ ŘEZY OBOU PODLAŽÍ | | 1:75 | |

POHLED VÝCHODNÍ







POZNÁMKA:

POZICE JEDNOTLIVÝCH PANELŮ JE KÓTOVÁNA NA OSU SPÁRY MEZI PANELY, U OTVORŮ A NA HRANÁCH FASÁDY PAK KE VNĚJŠÍ HRANĚ PANELU.

HORIZONTÁLNÍ MEZERA MEZI DESKAMI JE 10 mm

VERTIKÁLNÍ MEZERA MEZI DESKAMI JE 10 mm


LEGENDA POVRCHŮ:

| | | | |
|---|------------------------|---|----------------------|
|  | BETON - SVĚTLÝ ODSTÍN |  | BETON - TMAVÝ ODSTÍN |
|  | ROŠT Z LATÍ 70 x 20 mm |  | SOKLOVÁ OMÍTKA |

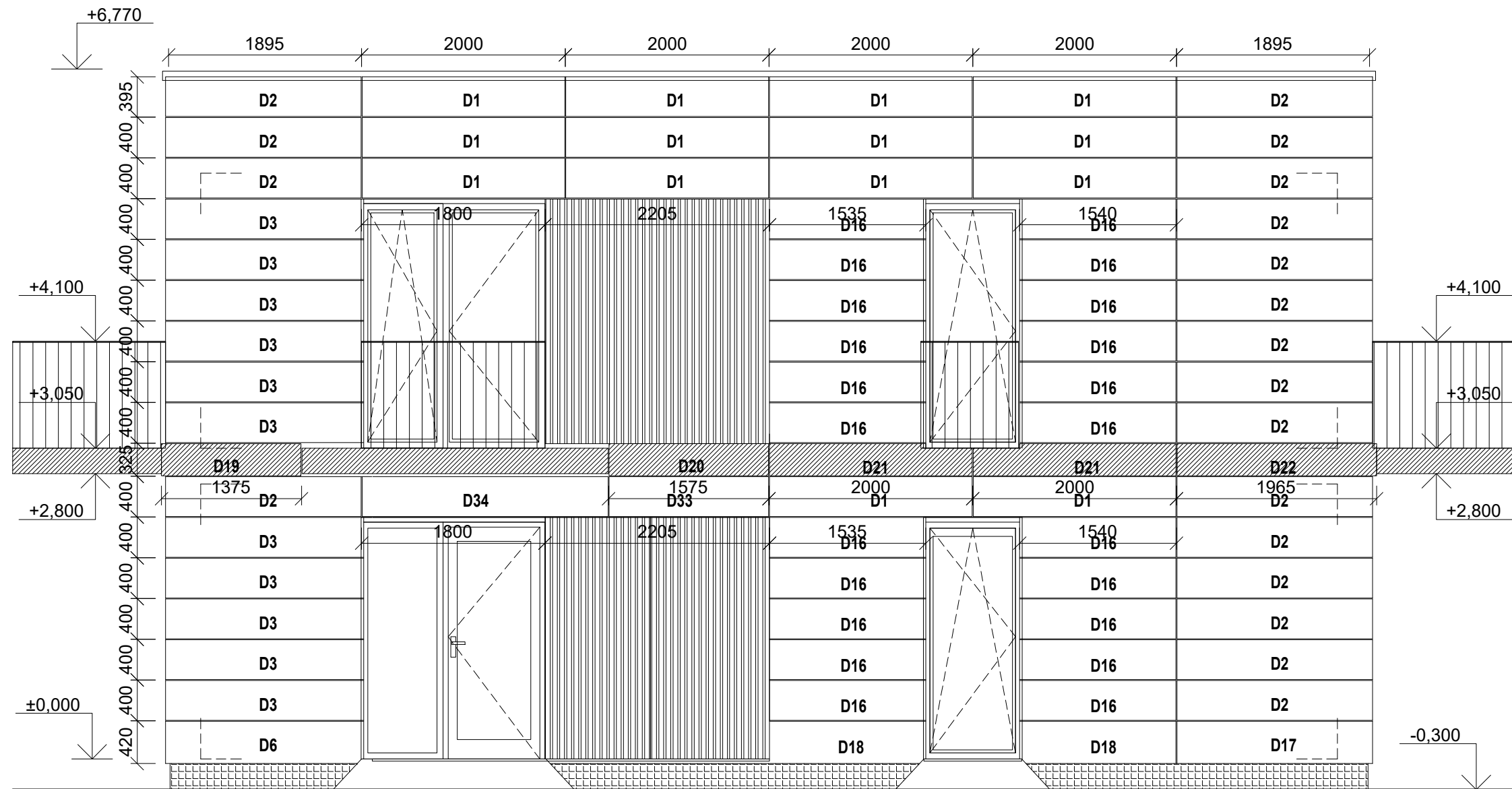
LEGENDA DESEK:

| BETONOVÉ FASÁDNÍ DESKY tl. 20 mm | | | |
|----------------------------------|-------------|--------|-------|
| OZNAČENÍ | ROZMĚR (mm) | PLOCHA | POČET |
| D1 | 1990 x 390 | 0,78 | 16 |
| D4 | 2015 x 390 | 0,79 | 11 |
| D7 | 2015 x 415 | 0,84 | 1 |
| D12 | 1890 x 390 | 0,74 | 30 |
| D13 | 1055 x 390 | 0,41 | 33 |
| D14 | 1890 x 415 | 0,78 | 2 |
| D15 | 1055 x 415 | 0,44 | 3 |
| D30 | 2965 x 315 | 0,93 | 1 |
| D31 | 1925 x 315 | 0,61 | 1 |
| D32 | 2720 x 315 | 0,86 | 1 |
| D35 | 1920 x 270 | 0,52 | 1 |

Podlaha přízemí ± 0,000 = 355,000 m.n.m

| | | |
|--|-----------------------------|---|
| VYPRACOVAL: | VEDOUCÍ PRÁCE: | ČVUT v Praze Fakulta Stavební Thákurova 7, 166 29, Praha 6  |
| Bc. Marek Machač | prof. Ing. Petr Hájek, CSc. | |
| PŘEDMĚT: | | FORMÁT: A3 |
| DIPLOMOVÁ PRÁCE KLADEČSKÝ PLÁN DESEK - VÝCHOD | | DATUM: 7.1.2019 |
| | | MĚŘITKO: 1:50 |
| NÁZEV VÝKRESU: | | Č. PŘÍLOHY: |

POHLED SEVERNÍ







POZNÁMKA:

POZICE JEDNOTLIVÝCH PANELŮ JE KÓTOVÁNA NA OSU SPÁRY MEZI PANELY, U OTVORŮ A NA HRANÁCH FASÁDY PAK KE VNĚJŠÍ HRANĚ PANELU.

HORIZONTÁLNÍ MEZERA MEZI DESKAMI JE 10 mm

VERTIKÁLNÍ MEZERA MEZI DESKAMI JE 10 mm


LEGENDA POVRCHŮ:

| | | | |
|---|------------------------|---|----------------------|
|  | BETON - SVĚTLÝ ODSTÍN |  | BETON - TMAVÝ ODSTÍN |
|  | ROŠT Z LATÍ 70 x 20 mm |  | SOKLOVÁ OMÍTKA |

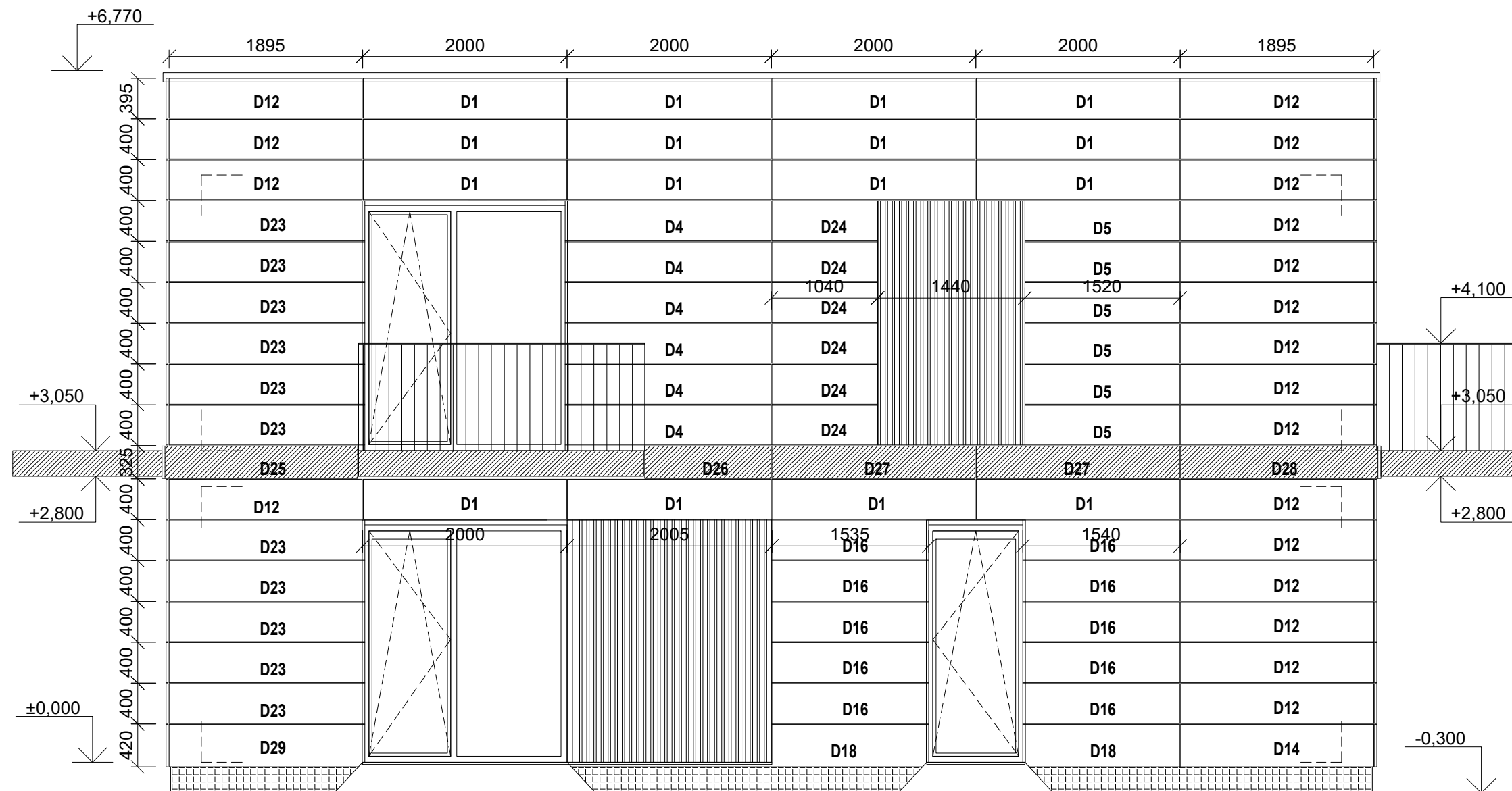
LEGENDA DESEK:

| BETONOVÉ FASÁDNÍ DESKY tl. 20 mm | | | |
|----------------------------------|-------------|--------|-------|
| OZNAČENÍ | ROZMĚR (mm) | PLOCHA | POČET |
| D1 | 1990 x 390 | 0,77 | 14 |
| D2 | 1920 x 390 | 0,75 | 19 |
| D3 | 1945 x 390 | 0,76 | 11 |
| D6 | 1945 x 415 | 0,81 | 1 |
| D16 | 1535 x 390 | 0,60 | 22 |
| D17 | 1920 x 415 | 0,80 | 1 |
| D18 | 1535 x 415 | 0,64 | 2 |
| D19 | 1370 x 315 | 0,43 | 1 |
| D20 | 1565 x 315 | 0,49 | 1 |
| D21 | 1990 x 315 | 0,63 | 2 |
| D22 | 1960 x 315 | 0,62 | 1 |
| D33 | 1565 x 390 | 0,61 | 1 |
| D34 | 2415 x 390 | 0,94 | 1 |

Podlaha přízemí ± 0,000 = 355,000 m.n.m

| | | |
|--|-----------------------------|---|
| VYPRACOVAL: | VEDOUCÍ PRÁCE: | ČVUT v Praze Fakulta Stavební Thákurova 7, 166 29, Praha 6  |
| Bc. Marek Machač | prof. Ing. Petr Hájek, CSc. | |
| PŘEDMĚT: | | FORMÁT: A3 |
| NÁZEV VÝKRESU: KLADEČSKÝ PLÁN DESEK - SEVER | | DATUM: 7.1.2019 |
| | | MĚŘITKO: 1:50 |

POHLED ZÁPADNÍ






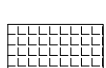
POZNÁMKA:

POZICE JEDNOTLIVÝCH PANELŮ JE KÓTOVÁNA NA OSU SPÁRY MEZI PANELY, U OTVORŮ A NA HRANÁCH FASÁDY PAK KE VNĚJŠÍ HRANĚ PANELU.

HORIZONTÁLNÍ MEZERA MEZI DESKAMI JE 10 mm

VERTIKÁLNÍ MEZERA MEZI DESKAMI JE 10 mm

LEGENDA POVRCHŮ:

| | | | |
|---|------------------------|---|----------------------|
|  | BETON - SVĚTLÝ ODSTÍN |  | BETON - TMAVÝ ODSTÍN |
|  | ROŠT Z LATÍ 70 x 20 mm |  | SOKLOVÁ OMÍTKA |

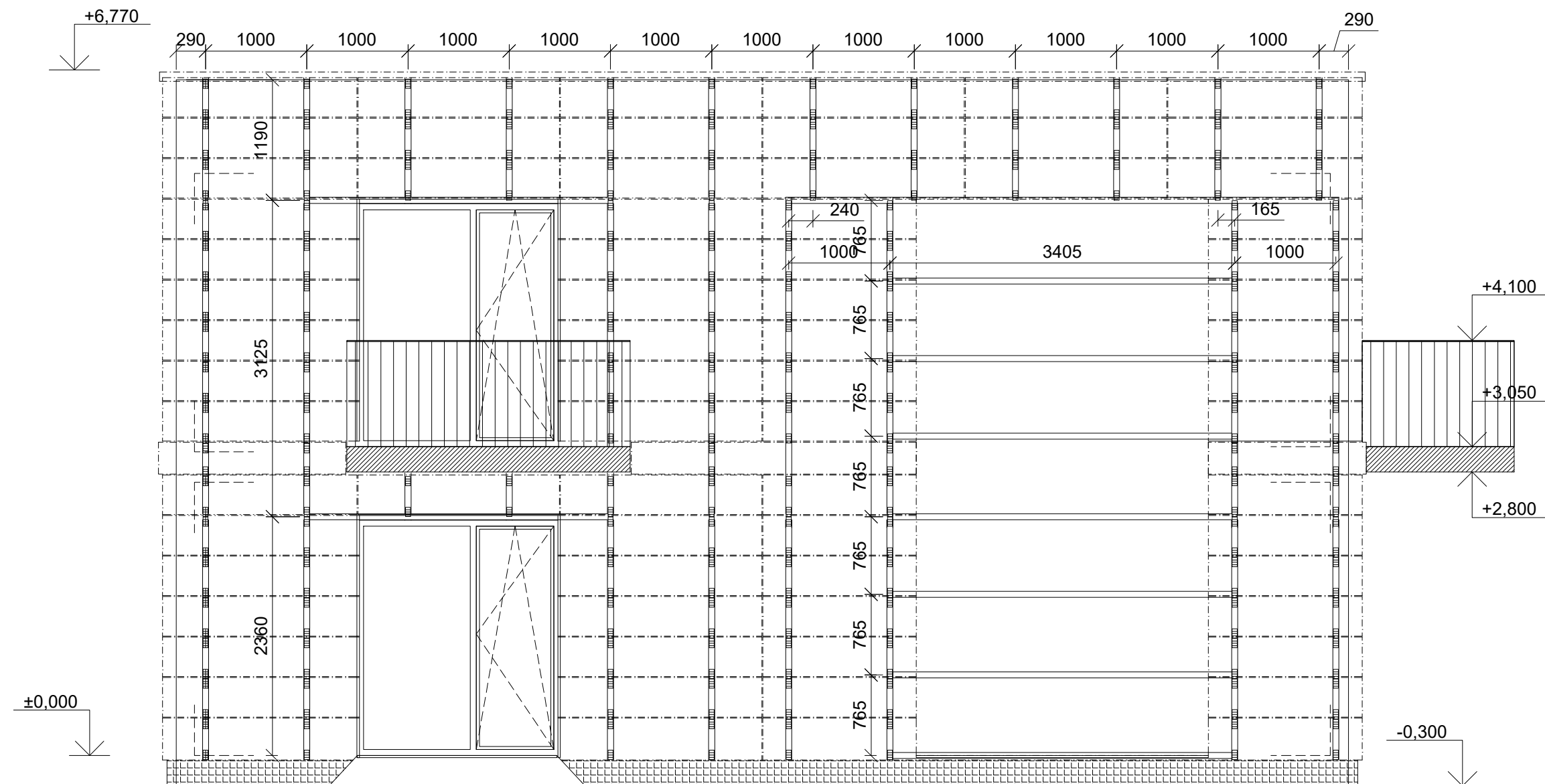
LEGENDA DESEK:

| BETONOVÉ FASÁDNÍ DESKY tl. 20 mm | | | |
|----------------------------------|-------------|--------|-------|
| OZNAČENÍ | ROZMĚR (mm) | PLOCHA | POČET |
| D1 | 1990 x 390 | 0,77 | 16 |
| D4 | 2015 x 390 | 0,79 | 6 |
| D5 | 1515 x 390 | 0,59 | 6 |
| D12 | 1890 X 390 | 0,74 | 19 |
| D14 | 1890 x 415 | 0,78 | 24 |
| D16 | 1535 x 390 | 0,60 | 10 |
| D18 | 1535 x 415 | 0,64 | 2 |
| D23 | 1915 x 390 | 0,75 | 11 |
| D24 | 1035 x 390 | 0,40 | 6 |
| D25 | 1885 x 315 | 0,59 | 1 |
| D26 | 1235 x 315 | 0,39 | 1 |
| D27 | 1990 X 315 | 0,63 | 2 |
| D28 | 1930 X 315 | 0,61 | 1 |
| D29 | 1890 X 415 | 0,78 | 1 |

Podlaha přízemí ± 0,000 = 355,000 m.n.m

| | | |
|--|-----------------------------|--|
| VYPRACOVAL: | VEDOUCÍ PRÁCE: | ČVUT v Praze Fakulta Stavební Thákurova 7, 166 29, Praha 6 |
| Bc. Marek Machač | prof. Ing. Petr Hájek, CSc. | |
| PŘEDMĚT: | | FORMÁT: A3 |
| NÁZEV VÝKRESU: KLADEČSKÝ PLÁN DESEK - ZÁPAD | | DATUM: 7.1.2019 |
| | | MĚŘITKO: 1:50 |

POHLED JIŽNÍ



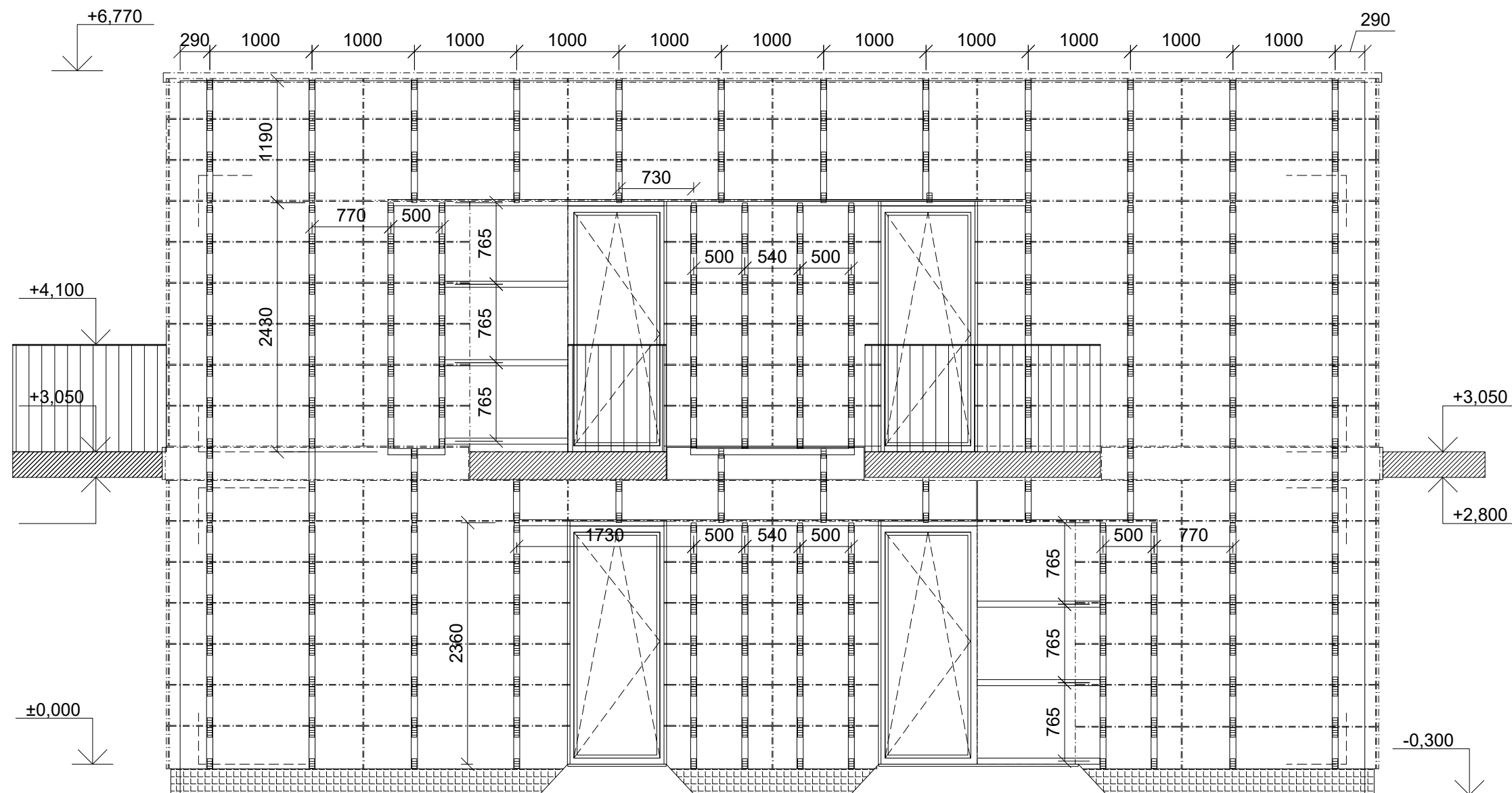
POZNÁMKA:

TRÁMOVÝ ROŠT TVOŘEN TRÁMKY O ROZMĚRECH 60x60 mm
 KÓTOVÁNO NA OSU JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ
 PRVNÍ ŘADA KOTEV ZALOŽENA, TAK ABY SPODNÍ HRANA
 KOTVY BYLA V ÚROVNÍ -0,040
 OSOVÁ VZDÁLENOST KOTEV PRO 1 DESKU - 305 mm
 OSOVÁ VZDÁLENOST KOTEV SOUSEDNÍCH DESEK - 95 mm
 OSOVÁ VZDÁLENOST KOTEV U STŘEDNÍ DESKY - 230 mm

Podlaha přízemí ± 0,000 = 355,000 m.n.m

| | | | |
|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------|
| VYPRACOVAL: | VEDOUCÍ PRÁCE: | ČVUT v Praze Fakulta Stavební | |
| Bc. Marek Machač | prof. Ing. Petr Hájek, CSc. | Thákurova 7, 166 29, Praha 6 | |
| PŘEDMĚT: | | FORMÁT: | A3 |
| DIPLOMOVÁ PRÁCE | | DATUM: | 7.1.2019 |
| | | NÁZEV VÝKRESU: | MĚŘITKO: |
| ROZMÍSTĚNÍ KOTEV A ROŠTU - JIH | | 1:50 | Č. PŘÍLOHY: |

POHLED VÝCHODNÍ



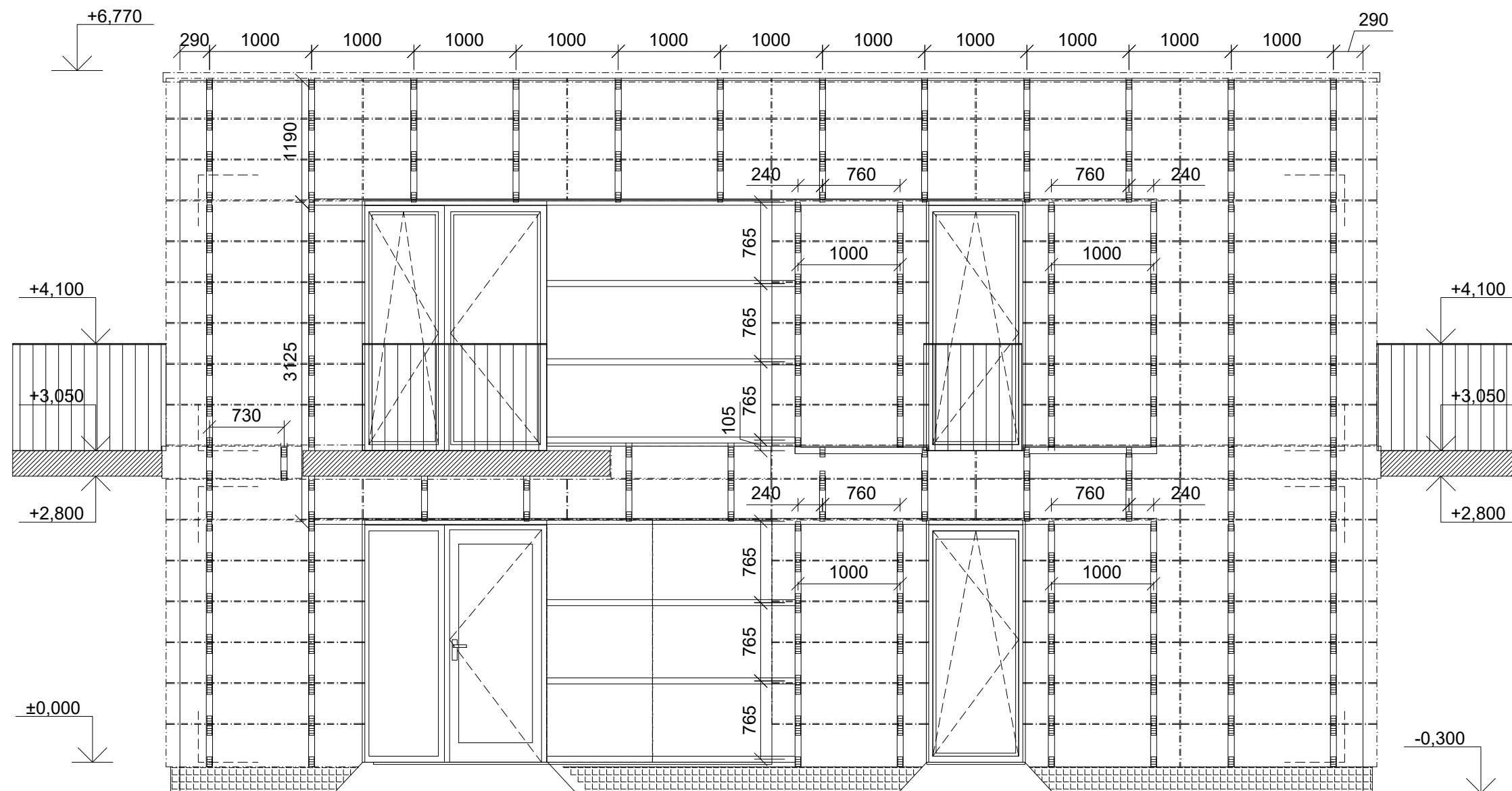
POZNÁMKA:

TRÁMOVÝ ROŠT TVOŘEN TRÁMKY O ROZMĚRECH 60x60 mm
 KÓTOVÁNO NA OSU JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ
 PRVNÍ ŘADA KOTEV ZALOŽENA, TAK ABY SPODNÍ HRANA
 KOTVY BYLA V ÚROVNÍ -0,040
 OSOVÁ VZDÁLENOST KOTEV PRO 1 DESKU - 305 mm
 OSOVÁ VZDÁLENOST KOTEV SOUSEDNÍCH DESEK - 95 mm
 OSOVÁ VZDÁLENOST KOTEV U STŘEDNÍ DESKY - 230 mm

Podlaha přízemí ± 0,000 = 355,000 m.n.m

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------|
| VYPRACOVAL: | VEDOUCÍ PRÁCE: | ČVUT v Praze Fakulta Stavební | |
| Bc. Marek Machač | prof. Ing. Petr Hájek, CSc. | Thákurova 7, 166 29, Praha 6 | |
| PŘEDMĚT: | | FORMÁT: | A3 |
| DIPLOMOVÁ PRÁCE | | DATUM: | 7.1.2019 |
| | | NÁZEV VÝKRESU: | MĚŘITKO: |
| ROZMÍSTĚNÍ KOTEV A ROŠTU - VÝCHOD | | 1:50 | Č. PŘÍLOHY: |

POHLED SEVERNÍ



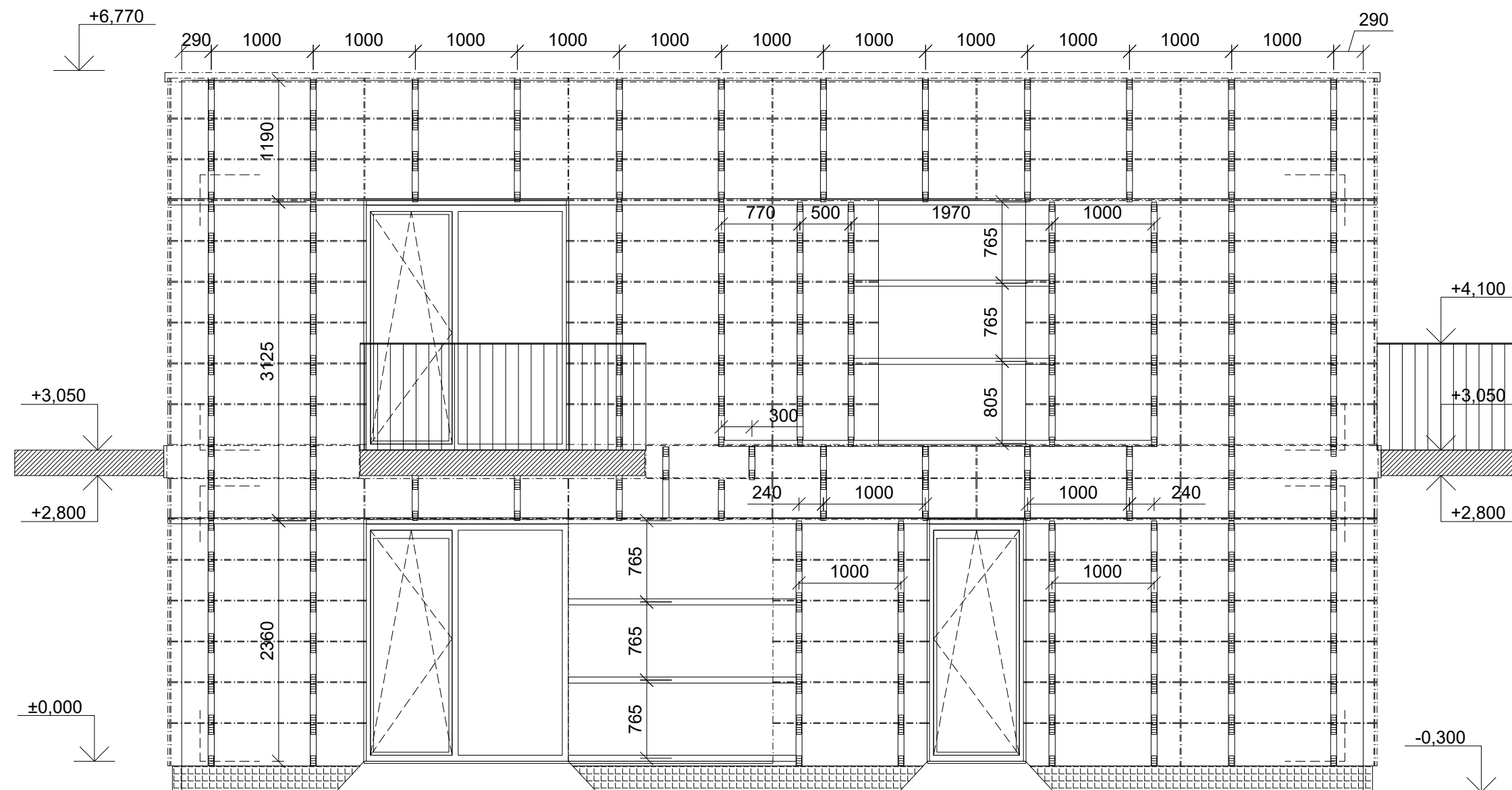
POZNÁMKA:

TRÁMOVÝ ROŠT TVOŘEN TRÁMKY O ROZMĚRECH 60x60 mm
 KÓTOVÁNO NA OSU JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ
 PRVNÍ ŘADA KOTEV ZALOŽENA, TAK ABY SPODNÍ HRANA
 KOTVY BYLA V ÚROVNÍ -0,040
 OSOVÁ VZDÁLENOST KOTEV PRO 1 DESKU - 305 mm
 OSOVÁ VZDÁLENOST KOTEV SOUSEDNÍCH DESEK - 95 mm
 OSOVÁ VZDÁLENOST KOTEV U STŘEDNÍ DESKY - 230 mm

Podlaha přízemí ± 0,000 = 355,000 m.n.m

| | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------|
| VYPRACOVAL: | VEDOUCÍ PRÁCE: | ČVUT v Praze Fakulta Stavební | |
| Bc. Marek Machač | prof. Ing. Petr Hájek, CSc. | Thákurova 7, 166 29, Praha 6 | |
| PŘEDMĚT: | | FORMÁT: | A3 |
| DIPLOMOVÁ PRÁCE | | DATUM: | 7.1.2019 |
| | | NÁZEV VÝKRESU: | MĚŘITKO: |
| ROZMÍSTĚNÍ KOTEV A ROŠTU - SEVER | | 1:50 | Č. PŘÍLOHY: |

POHLED ZÁPADNÍ



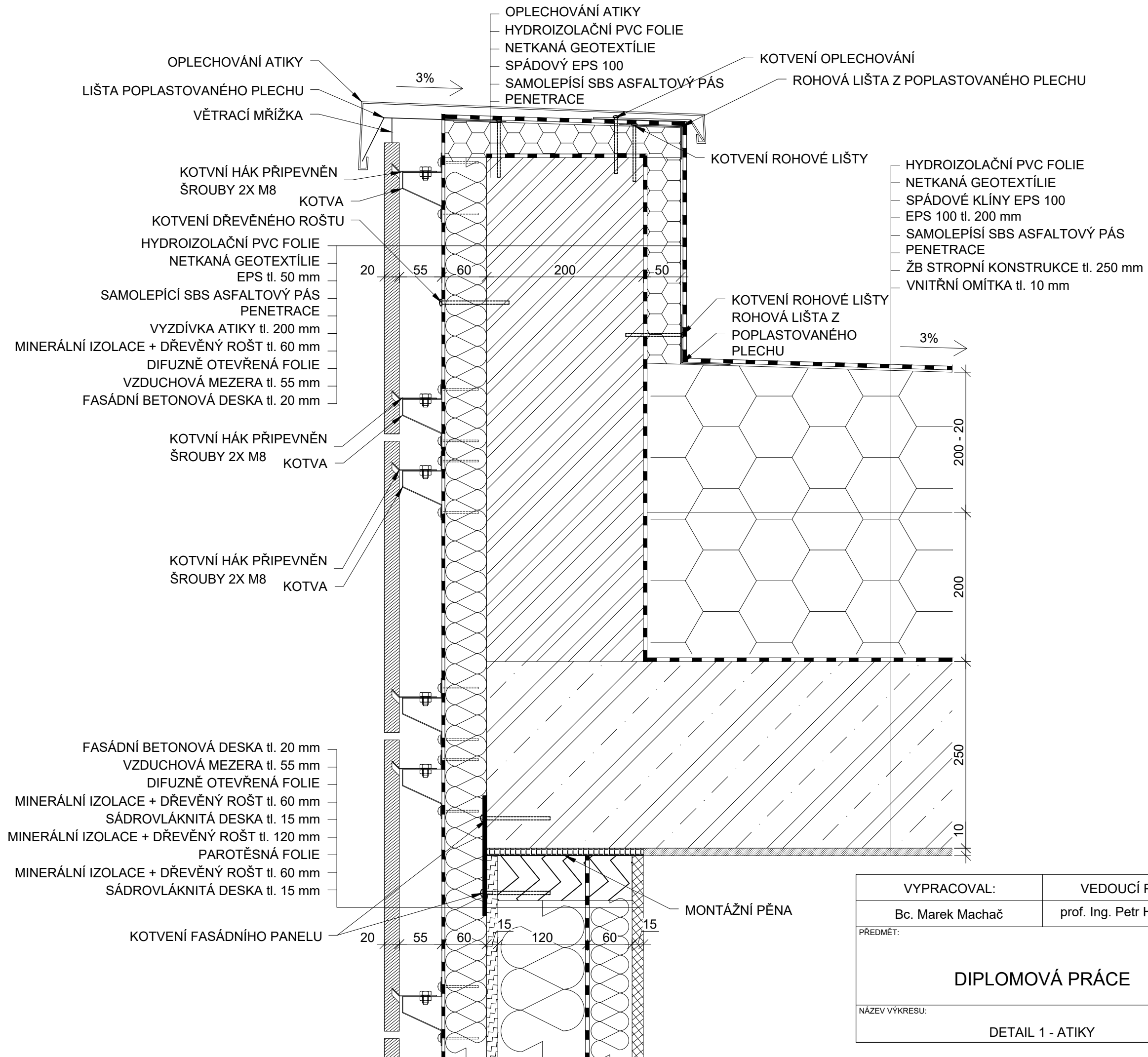
POZNÁMKA:


TRÁMOVÝ ROŠT TVOŘEN TRÁMKY O ROZMĚRECH 60x60 mm
 KÓTOVÁNO NA OSU JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ
 PRVNÍ ŘADA KOTEV ZALOŽENA, TAK ABY SPODNÍ HRANA
 KOTVY BYLA V ÚROVNÍ -0,040
 OSOVÁ VZDÁLENOST KOTEV PRO 1 DESKU - 305 mm
 OSOVÁ VZDÁLENOST KOTEV SOUSEDNÍCH DESEK - 95 mm
 OSOVÁ VZDÁLENOST KOTEV U STŘEDNÍ DESKY - 230 mm

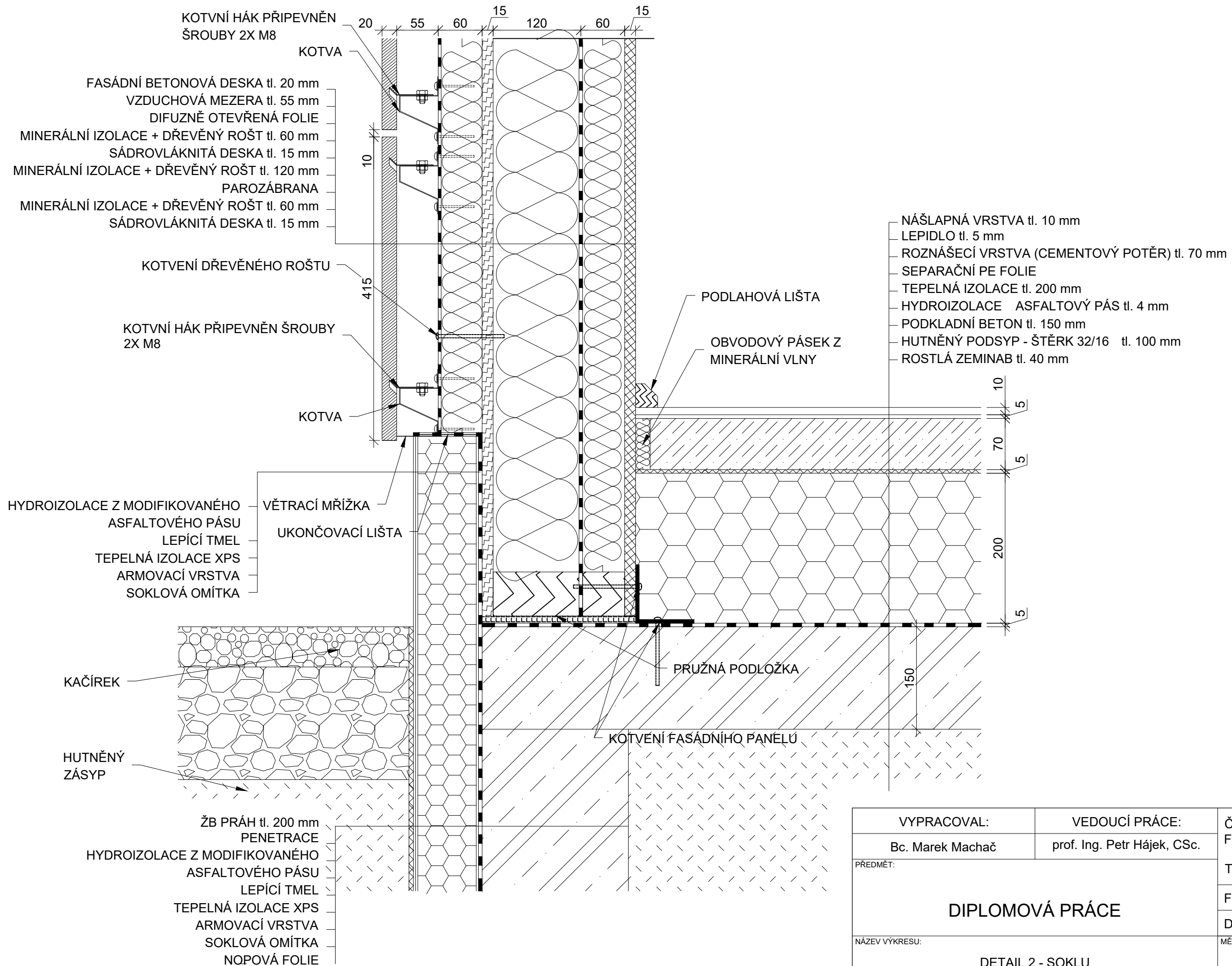
Podlaha přízemí ± 0,000 = 355,000 m.n.m

| | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------|
| VYPRACOVAL: | VEDOUCÍ PRÁCE: | ČVUT v Praze Fakulta Stavební | |
| Bc. Marek Machač | prof. Ing. Petr Hájek, CSc. | Thákurova 7, 166 29, Praha 6 | |
| PŘEDMĚT: | | FORMÁT: | A3 |
| DIPLOMOVÁ PRÁCE | | DATUM: | 7.1.2019 |
| | | NÁZEV VÝKRESU: | MĚŘITKO: |
| ROZMÍSTĚNÍ KOTEV A ROŠTU - ZÁPAD | | 1:50 | Č. PŘÍLOHY: |





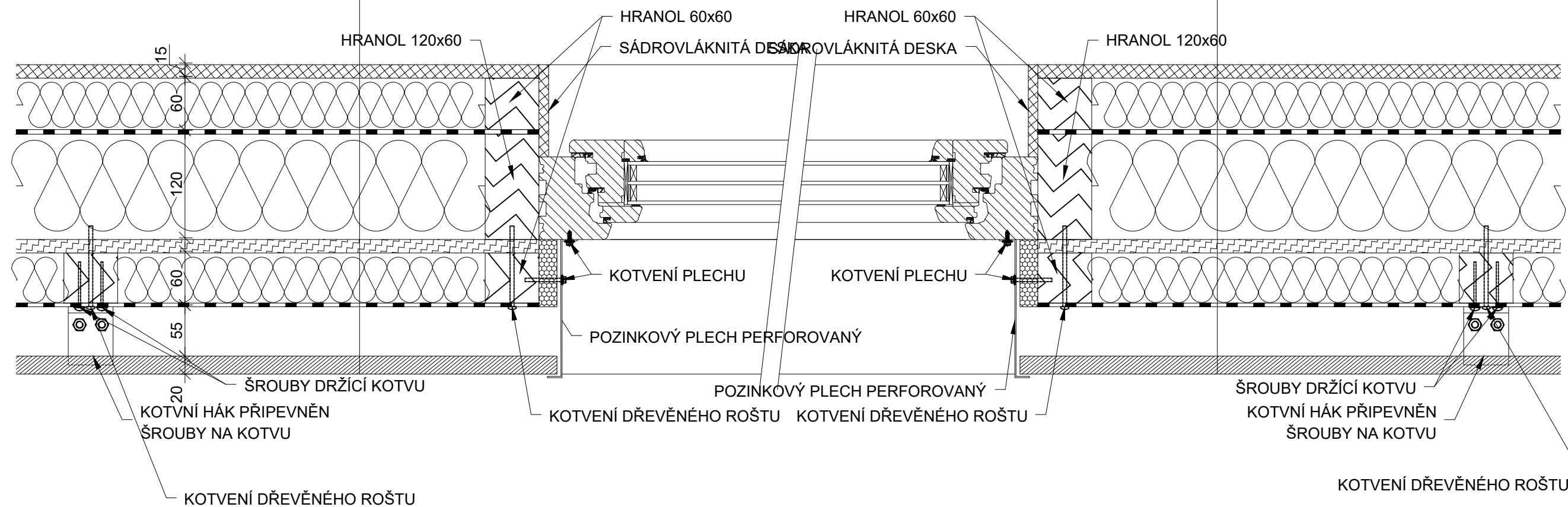
| | | |
|------------------------|-----------------------------|---|
| VYPRACOVAL: | VEDOUCÍ PRÁCE: | ČVUT v Praze Fakulta Stavební  Thákurova 7, 166 29, Praha 6 |
| Bc. Marek Machač | prof. Ing. Petr Hájek, CSc. | |
| PŘEDMĚT: | | Thákurova 7, 166 29, Praha 6 |
| DIPLOMOVÁ PRÁCE | | FORMÁT: A3 |
| | | DATUM: 7.1.2019 |
| NÁZEV VÝKRESU: | DETAIL 1 - ATIKY | MĚŘITKO: 1:5 |
| | | Č. PŘÍLOHY: |



| | | | |
|------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------|
| VYPRACOVAL: | VEDOUCÍ PRÁCE: | ČVUT v Praze Fakulta Stavební | |
| Bc. Marek Machač | prof. Ing. Petr Hájek, CSc. | Thákurova 7, 166 29, Praha 6 | |
| PŘEDMĚT: | | FORMÁT: | A3 |
| NÁZEV VÝKRESU: | | DATUM: | 7.1.2019 |
| | | MĚŘITKO: | 1:5 |
| DETAIL 2 - SOKLU | | Č. PŘÍLOHY: | |

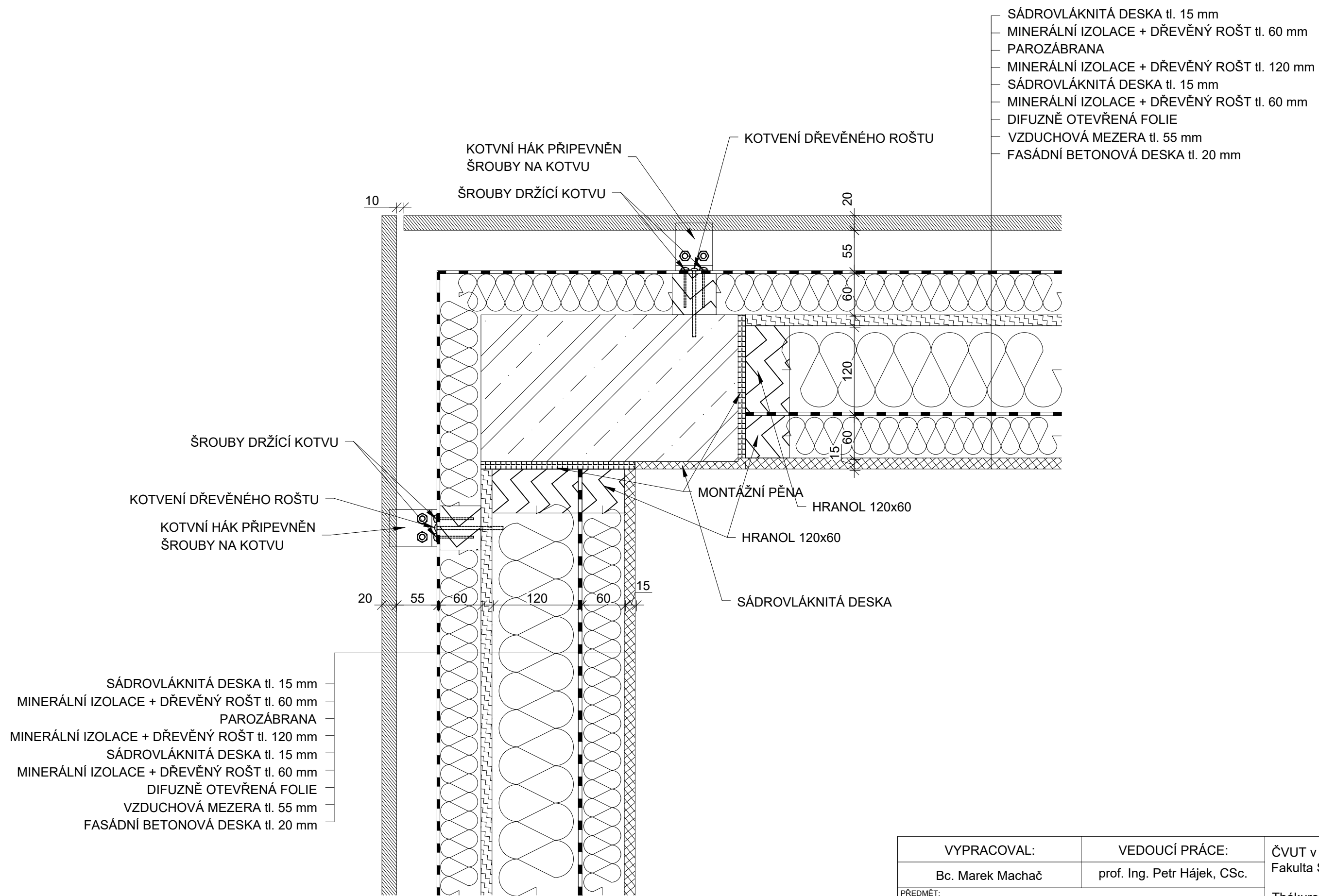
SÁDROVLÁKNITÁ DESKA tl. 15 mm
 MINERÁLNÍ IZOLACE + DŘEVĚNÝ ROŠT tl. 60 mm
 PAROZÁBRANA
 MINERÁLNÍ IZOLACE + DŘEVĚNÝ ROŠT tl. 120 mm
 SÁDROVLÁKNITÁ DESKA tl. 15 mm
 MINERÁLNÍ IZOLACE + DŘEVĚNÝ ROŠT tl. 60 mm
 DIFUZNĚ OTEVŘENÁ FOLIE
 VZDUCHOVÁ MEZERA tl. 55 mm
 FASÁDNÍ BETONOVÁ DESKA tl. 20 mm

SÁDROVLÁKNITÁ DESKA tl. 15 mm
 MINERÁLNÍ IZOLACE + DŘEVĚNÝ ROŠT tl. 60 mm
 PAROZÁBRANA
 MINERÁLNÍ IZOLACE + DŘEVĚNÝ ROŠT tl. 120 mm
 SÁDROVLÁKNITÁ DESKA tl. 15 mm
 MINERÁLNÍ IZOLACE + DŘEVĚNÝ ROŠT tl. 60 mm
 DIFUZNĚ OTEVŘENÁ FOLIE
 VZDUCHOVÁ MEZERA tl. 55 mm
 FASÁDNÍ BETONOVÁ DESKA tl. 20 mm



| | | | |
|-------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------|
| VYPRACOVAL: | VEDOUCÍ PRÁCE: | ČVUT v Praze Fakulta Stavební | |
| Bc. Marek Machač | prof. Ing. Petr Hájek, CSc. | Thákurova 7, 166 29, Praha 6 | |
| PŘEDMĚT: | | FORMÁT: | A3 |
| DIPLOMOVÁ PRÁCE | | DATUM: | 7.1.2019 |
| | | NÁZEV VÝKRESU: | MĚŘITKO: |
| DETAIL 4 - OSTĚNÍ | | 1:5 | Č. PŘÍLOHY: |





- SÁDROVLÁKNITÁ DESKA tl. 15 mm
- MINERÁLNÍ IZOLACE + DŘEVĚNÝ ROŠT tl. 60 mm
- PAROZÁBRANA
- MINERÁLNÍ IZOLACE + DŘEVĚNÝ ROŠT tl. 120 mm
- SÁDROVLÁKNITÁ DESKA tl. 15 mm
- MINERÁLNÍ IZOLACE + DŘEVĚNÝ ROŠT tl. 60 mm
- DIFUZNĚ OTEVŘENÁ FOLIE
- VZDUCHOVÁ MEZERA tl. 55 mm
- FASÁDNÍ BETONOVÁ DESKA tl. 20 mm

- SÁDROVLÁKNITÁ DESKA tl. 15 mm
- MINERÁLNÍ IZOLACE + DŘEVĚNÝ ROŠT tl. 60 mm
- PAROZÁBRANA
- MINERÁLNÍ IZOLACE + DŘEVĚNÝ ROŠT tl. 120 mm
- SÁDROVLÁKNITÁ DESKA tl. 15 mm
- MINERÁLNÍ IZOLACE + DŘEVĚNÝ ROŠT tl. 60 mm
- DIFUZNĚ OTEVŘENÁ FOLIE
- VZDUCHOVÁ MEZERA tl. 55 mm
- FASÁDNÍ BETONOVÁ DESKA tl. 20 mm

| | | | |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------|
| VYPRACOVAL: | VEDOUCÍ PRÁCE: | ČVUT v Praze Fakulta Stavební | |
| Bc. Marek Machač | prof. Ing. Petr Hájek, CSc. | Thákurova 7, 166 29, Praha 6 | |
| PŘEDMĚT: | | FORMÁT: | A3 |
| DIPLOMOVÁ PRÁCE | | DATUM: | 7.1.2019 |
| | | NÁZEV VÝKRESU: | MĚŘITKO: |
| DETAIL 5 - NÁROŽÍ | | 1:5 | Č. PŘÍLOHY: |





4 Závěr

V první části této práce byl podrobně prozkoumán inovativní stavební materiál, kterým je textilní beton. Tento průzkum byl proveden ke zjištění, zda je tento materiál možné použít pro výrobu fasádních desek v konstrukci provětrávané fasády. Nejprve byl popsán beton jako takový a následně samotný textilní beton, jako materiál, který stojí na konci vývoje tohoto nejběžnějšího stavebního materiálu. Bylo zjištěno, jaká betonová matrice je používána pro textilem vyztužené prvky a její specifika, jako jsou různé druhy příměsí a přísad, které jsou nezbytnou součástí složení této směsi. Dále bylo zjištěno, jaké druhy textilních výztuží jsou nejběžněji používány pro textilem vyztužené prvky, a to jak materiálové varianty, tak i různé druhy sítí či textilií. Následně bylo zjištěno, pro jaké aplikace je tento materiál vhodný, a to zejména díky možnosti vytvářet z něho velmi subtilní prvky. Tato výhoda je velmi využívána pro výrobu různých designových prvků, ale také nabízí možnost výroby velmi tenkých, a tedy i lehkých fasádních panelů, které jsou použity jako vnější opláštění v konstrukci provětrávané fasády. V této diplomové práci je také popsán systém provětrávané fasády, a to zejména různé způsoby kotevních systémů vnějšího opláštění, zejména pro materiály podobného charakteru jako je například kámen. V úvodní části práce byly také prozkoumány již použité aplikace betonových fasádních desek na různých objektech.

V následující experimentální části byly navrženy dvě varianty kotevních systémů pro fasádní desky, zhotovené z textilem vyztuženého betonu. Obě navržené varianty byly testovány na mechanickou odolnost, zejména z toho důvodu, aby dokázaly bezpečně přenést svislé a vodorovné zatížení působící na fasádní desky. Pro prováděný experiment bylo vyrobeno šest výseků fasádních desek pro každou navrženou variantu kotvení. Tři desky z každé varianty byly testovány na odolnost proti svislému zatížení a další tři na odolnost proti zatížení kolmému na plochu fasádních desek. Sestrojené desky byly o rozměrech 315 x 162 x 20 mm. Jako výztuž byla použita uhlíková síť impregnovaná epoxidovou pryskyřicí. Jednotlivé kotevní prvky byly vyrobeny z plechu o tloušťce 1 mm. Po provedeném experimentu bylo zjištěno, že větší absolutní únosnost má varianta A s průběžnými kotvami, ale jako vhodnější varianta kotvení byla zvolena varianta B, která vykazovala vyšší tuhost při nižším zatížení, které by odpovídalo tíze fasádních desek o rozměrech až téměř 2 m² zavěšených na jednom páru kotev.

V poslední části práce byl proveden návrh provětrávané fasády na experimentální objekt s využitím textilem vyztužených desek kotvených pomocí vybraného kotevního systému.



Maximální rozměr navržených fasádních desek je necelý 1 m², což podle naměřených hodnot z experimentu odpovídá svislé deformaci zhruba 0,5 mm.

Z práce vyplývá, že textilní beton je možné použít jako vnější opláštění provětrávané fasády. I přesto, že textilem vyztužené fasádní prvky mohou být velmi tenké, stále se jedná o betonové dílce, které mají poměrně velkou hmotnost. Je tedy otázkou, zda by nemohlo dojít k případnému vylehčení těchto desek použitím například lehčeného kameniva, případně vyprofilováním povrchu desek, což může mít zejména u fasádních desek estetickou funkci.



Literatura

- [1] KLEČKA, Tomáš. *Průručka technologa, BETON, suroviny – výroba – vlastnosti*. Vyd. Českomoravský beton, a.s., Českomoravský cement, a.s., Českomoravské štěrkoviny, a.s., [online]. Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/TST/usatv-ax/cw15-lad-TP-beton.pdf> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [2] VÁCLAVÍK, Vojtěch. *Vodohospodářská zařízení I | Beton*. [online]. Copyright © 2012, VŠB. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ1/vyuka/hmoty/kamenivo.html> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [3] SVAZ VÝROBCŮ BETONU., *Kamenivo | eBeton - Specialista na beton*. eBeton [online]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/kamenivo> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [4] VÁCLAVÍK, Vojtěch. *Vodohospodářská zařízení I | Beton*. [online]. Copyright © 2012, VŠB. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ1/vyuka/hmoty/cement.html> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [5] SVAZ VÝROBCŮ BETONU. *Výroba cementu | eBeton - Specialista na beton*. eBeton [online]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/vyroba-cementu> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [6] JIŘIČKOVÁ, Milena., PAVLÍK, Zbyšek., HOŠEK, Jiří. *Materiálové inženýrství I. 2., přeprac.* vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04932-7.
- [7] VÁCLAVÍK, Vojtěch. *Vodohospodářská zařízení I | Beton*. [online]. Copyright © 2012, VŠB. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ1/vyuka/hmoty/voda.html> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [8] ŠTĚPÁNEK, Petr. *Betonové konstrukce: prvky betonových konstrukcí, navrhování podle mezních stavů*. Brno: CERM, 1998. ISBN 9788021411432.
- [9] KOHOUTKOVÁ, Alena., TRTÍK, Karel., VAŠKOVÁ, Jitka., VODIČKA, Jan., *Betonové konstrukce I*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03197-7
- [10] SVAZ VÝROBCŮ BETONU., *Složení betonu - složky betonu | eBeton - Specialista na beton*. eBeton [online]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/slozeni-betonu-slozky-betonu> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [11] VÁCLAVÍK, Vojtěch, *Vodohospodářská zařízení I | Beton*. [online]. Copyright © 2012, VŠB. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ1/vyuka/hmoty/beton.html> [Přístup získán Prosinec 2018].



- [12] TRTÍK, Karel. Technologie betonu. Vyd. 2., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04408-7.
- [13] SVAZ VÝROBCŮ BETONU., *Složení betonu – složky betonu* | eBeton - Specialista na beton. eBeton [online]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/slozeni-betonu-slozky-betonu> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [14] SVAZ VÝROBCŮ BETONU., *Železobeton – železový beton* | eBeton - Specialista na beton. eBeton [online]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/zelezobeton-zelezovy-beton> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [15] SVAZ VÝROBCŮ BETONU., *Předpjatý beton* | eBeton - Specialista na beton. eBeton [online]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/predpjaty-beton-beton> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [16] Drátkobeton a vláknobeton | CEMEX CZ. *Výrobce a dodavatel stavebních materiálů* CEMEX CZ [online]. Copyright © 2018 CEMEX CZ. Dostupné z: <https://www.cemex.cz/beton-dratkobeton-a-vlknobeton> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [17] AJDUKIEWICZ, Andrzej., KOTALA, Bernard., WEGŁORZ, Marek., Concept and practical applications of textile reinforced concrete. Structural Analysis of Historical Constructions. 2012, ISSN 0860-2395, ISBN 978-83-7125 [online]. Dostupné z: http://www.hms.civil.uminho.pt/sahc/2012/760.pdf?fbclid=IwAR3MeDcImvnuoDPps6-myxos_b1Z6sB8qz5Ce144uhv7qaZT2f_vIR_AkIA [Přístup získán Prosinec 2018].
- [18] WILLIAMS PORTAL, Natalie. Sustainability and Flexural Behaviour of Textile Reinforced Concrete. 2013, ISSN 1652-9146 [online]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.854.1128&rep=rep1&type=pdf> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [19] KULAS, Christian. Actual applications and potential of textile-reinforced concrete. 2015 [online]. Dostupné z: <https://grca.org.uk/pdf/congress-2015/02%20Actual%20applications%20and%20potential%20of%20textile-reinforced%20concrete.pdf> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [20] TIPKA, Martin. *Složení, návrh a příprava vysokopevnostního a ultravysokopevnostního betonu*. 2011. [online]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/~tipkamar/granty_soubory/SGS_2011/Slozeni_navrh_prip_rava_HSC_a_UHSC.pdf [Přístup získán Prosinec 2018]



- [21] SIMONSSON, Ellen. Complex shapes with textile reinforced concrete. 2017 [online]. Dostupné z: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/253226/253226.pdf> [Přístup získán Prosinec 2018]
- [22] Textile-reinforced concrete with high-performance carbon fibre grids | JEC Group. JEC Group | Knowledge & Networking - Developing the composites industry worldwide [online]. Copyright © 1996 Dostupné z: <http://www.jecomposites.com/knowledge/international-composites-news/textile-reinforced-concrete-high-performance-carbon-fibre> [Přístup získán Prosinec 2018]
- [23] ZEPHYR - Graveli . Graveli [online]. Dostupné z: <https://www.graveli.com/product/zephyr?v=2278> [Přístup získán Prosinec 2018]
- [24] Kdy jsou vhodné odvětrané fasády? | Bydlení | NašeInfo.cz - návody, rady.... NašeInfo.cz - návody, rady... [online]. Dostupné z: <https://www.naseinfo.cz/stavby-a-stavebnictvi/uprava-povrchu/jine-upravy/kdy-jsou-vhodne-odvetrane-fasady>
- [25] ŠAGÁT, Erik., Dizertační práce: *Větrání obvodových pláštů budov* Brno. 2016,
- [26] HANZLÍK, Pavel., *Provětrávané fasády – chyby při realizaci*. [online]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/provetravane-fasady-chyby-pri-realizaci/> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [27] Provětrávané fasády ze sklovláknobetonu Dakobet - DAKOBrno.cz. [online]. Copyright © 2015. Dostupné z: <http://www.dakobrno.cz/cs/sklovlaknobeton/fasady.html> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [28] Navrhování a provádění kamenných obkladů – kotvené obklady | ASB Portal. ASB-portal.cz | odborný portál | architektura, stavebnictví, byznys [online]. Copyright © JAGA GROUP, s. r. o. Všechna práva vyhrazena. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/fasada/navrhovani-a-provadeni-kamennych-obkladu-kotvene-obklady> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [29] betoShell® - featherlight GFRC for a wide field of applications. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © [cit. 29.12.2018]. Dostupné z: <https://www.heringinternational.com/en/products-services/architectural-concrete/material-concepts/textile-reinforced-concrete/classic/> [Přístup získán Prosinec 2018].



- [30] Ballett am Rhein, Düsseldorf. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © [cit. 29.12.2018]. Dostupné z: <https://www.heringinternational.com/en/products-services/architectural-concrete/reference-projects/ballett-am-rhein-duesseldorf/> [Přístup získán Prosinec 2018].
- [31] Details | solidian. solidian - *führend in Textiler Bewehrung* | solidian [online]. Copyright © solidian [cit. 29.12.2018]. Dostupné z: <https://www.solidian.com/en/references/details/schiefererlebnis-dormettingen/> [Přístup získán Prosinec 2018].



Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obr. 1: Postup přípravy betonové směsi [11] | 8 |
| Obr. 2: Složení betonu [13] | 8 |
| Obr. 3: Složky textilního betonu [17] | 11 |
| Obr. 4: Zjednodušený pracovní diagram oceli a uhlíkových vláken při tahovém namáhání [18] | 12 |
| Obr. 5: Pracovní diagram jednosměrně vyztužené TRC desky při čtyřbodovém ohybu [18] | 13 |
| Obr. 6: Struktura textilní příze [18] | 14 |
| Obr. 7: Vliv impregnace na textilní výztuž při tahovém zatížení [19] | 14 |
| Obr. 8: 2D síť [21] | 19 |
| Obr. 9: 3D síť [21] | 19 |
| Obr. 10: Pracovní diagramy pro různá textilní vlákna a také pro ocel [17] | 20 |
| Obr. 11: Porovnání pracovních diagramů vláken, rovingu a textílii. [17] | 20 |
| Obr. 12: Postup výroby sendvičové stěny [19] | 21 |
| Obr. 13: Schéma sendvičové stěny [19] | 22 |
| Obr. 14: Most pro pěší v Albstadtu [19] | 22 |
| Obr. 15: Příklad mobiliáře s TRC [23] | 23 |
| Obr. 16: Lepení vnějšího obkladu provětrávané fasády [27] | 26 |
| Obr. 17: Šroubování vnějšího obkladu provětrávané fasády [27] | 27 |
| Obr. 18: Trny pro kotvení kamených fasádních desek [28] | 27 |
| Obr. 19: Centrum vzdělání a péče v Albstadtu [29] | 28 |
| Obr. 20: Baletní síň v Düsseldorfu [30] | 29 |
| Obr. 21: Restaurace v dormettingenu [31] | 29 |
| Obr. 22: Schéma horního plechu – Varianta A | 31 |
| Obr. 23: Schéma spodního plechu – Varianta A | 31 |
| Obr. 24: Schéma kotvy – Varianta A. | 32 |
| Obr. 25: Schéma háku – Varianta A. | 32 |
| Obr. 26: Schéma zabetonovaného plechu – Varianta B | 33 |
| Obr. 27: Schéma kotvy – Varianta B | 34 |
| Obr. 28: Schéma hák – Varianta B | 34 |
| Obr. 29: Nařezané kusy lamina pro přípravu bednění | 35 |



| | |
|---|----|
| Obr. 30: Bednění jednoho výseku desky s vyznačením rozměrů..... | 35 |
| Obr. 31: Výsek použité výztužné sítě..... | 36 |
| Obr. 32: Zabetonovaný kotevní prvek v horní části desky..... | 37 |
| Obr. 33: Zabetonovaný kotevní prvek ve spodní části desky..... | 37 |
| Obr. 34: Připravená spodní výztuž – Varianta A..... | 38 |
| Obr. 35: Zabetonovaný prvek ve fázi výroby..... | 39 |
| Obr. 36: Zabetonované kotevní prvky ve Variantě B..... | 39 |
| Obr. 37: Připravená spodní výztuž – Varianta B..... | 40 |
| Obr. 38: Použité distančníky | 40 |
| Obr. 39: Desky připravené k betonáži – Varianta A | 41 |
| Obr. 40: Desky připravené k betonáži – Varianta B..... | 41 |
| Obr. 41: Aplikace betonové směsi do bednění | 43 |
| Obr. 42: Zatížené desky a vybetonované trámce a krychle..... | 43 |
| Obr. 43: Přední strana desky – Varianta A..... | 44 |
| Obr. 44: Zadní strana desky – Varianta A..... | 44 |
| Obr. 45: Přední strana desky – Varianta B | 44 |
| Obr. 46: Zadní strana desky – Varianta B | 44 |
| Obr. 47: Odbedněné krychle a trámce | 45 |
| Obr. 48: Před odstraněním polystyrenu – Varianta B | 45 |
| Obr. 49: Po odstranění polystyrenu – Varianta B..... | 45 |
| Obr. 50: Před odstraněním polystyrenu – Varianta A | 45 |
| Obr. 51: Po odstranění polystyrenu – Varianta A | 45 |
| Obr. 52: Kotva | 46 |
| Obr. 53: Hák | 46 |
| Obr. 54: Kotva s připevněným hákem..... | 46 |
| Obr. 55: Dosednutí desky na horní hák | 46 |
| Obr. 56: Dosednutí desky na spodní hák..... | 47 |
| Obr. 57: Test zavěšení desky na kotvení | 47 |
| Obr. 58: Kotva | 47 |
| Obr. 59: Hák | 47 |
| Obr. 60: Kotva s připevněným hákem..... | 48 |
| Obr. 61: Dosednutí desky na spodní hák..... | 48 |
| Obr. 62: Dosednutí desky na horní hák | 48 |



| | |
|--|----|
| Obr. 63: Test zavěšení desky na kotvení | 48 |
| Obr. 64: Průběh zatěžování jednotlivých trámce | 49 |
| Obr. 65: Průběh zatěžování jednotlivých krychlí | 50 |
| Obr. 66: Schéma pro výrobu ocelového svařence | 51 |
| Obr. 67: Dosednutí hlavy lisu na roznášecí ocelový pásek | 51 |
| Obr. 68: Deska před počátkem zatěžování – Varianta A | 52 |
| Obr. 69: Deformace horní kotvy..... | 53 |
| Obr. 70: Deformace spodní kotvy | 53 |
| Obr. 71: Vznik první trhliny | 53 |
| Obr. 72: Následný rozvoj trhlin..... | 53 |
| Obr. 73: Kotvení po ukončení zatěžování | 54 |
| Obr. 74: Kotvení po ukončení zatěžování | 54 |
| Obr. 75: Průběh svislého zatěžování – Varianta A..... | 54 |
| Obr. 76: Deska před počátkem zatěžování – Varianta B..... | 55 |
| Obr. 77: Deformace háku u horní kotvy..... | 56 |
| Obr. 78: Deformace háku u spodní kotvy..... | 56 |
| Obr. 79: Rozvinutá deformace horní kotvy | 56 |
| Obr. 80: Rozvinutá deformace spodní kotvy | 56 |
| Obr. 81: Kotvení po odlehčení | 57 |
| Obr. 82: Kotvení bez desky | 57 |
| Obr. 83: Průběh svislého zatěžování – Varianta B | 57 |
| Obr. 84: Systém simulující napojení spodní desky | 59 |
| Obr. 85: Systém simulující napojení horní desky..... | 59 |
| Obr. 86: Deska před počátkem zatěžování – Varianta A | 59 |
| Obr. 87: Počáteční ohnutí háku spodní kotvy..... | 60 |
| Obr. 88: Vznik první trhliny v desce | 60 |
| Obr. 89: Rozvoj trhlin vytlačováním betonu | 60 |
| Obr. 90: Rozvoj trhlin v pokročilém stádiu..... | 60 |
| Obr. 91: Deska po ukončení zatěžování – Varianta A | 61 |
| Obr. 92: Průběh kolmého zatěžování – Varianta A..... | 61 |
| Obr. 93: Deska před počátkem zatěžování – Varianta B..... | 62 |
| Obr. 94: Průhyb desky v počátku zatěžování | 62 |
| Obr. 95: Rozvoj trhlin ve spodní části desky..... | 63 |



| | |
|--|----|
| Obr. 96: Fasádní deska po kolapsu a odlehčení..... | 63 |
| Obr. 97: Průběh kolmého zatěžování – Varianta A..... | 64 |
| Obr. 98: Průběh kolmého zatěžování – Varianta A..... | 65 |
| Obr. 99: Průběh kolmého zatěžování – Varianta A..... | 66 |



Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tab. 1: příklady složení a pevností jemnozrných betonů používaných v TRC [17] | 15 |
| Tab. 2: Přehled na trhu dostupných vláken a popis jejich vlastností [17] | 19 |
| Tab. 3: Výsledky zkoušky pevnosti v tahu za ohybu | 49 |
| Tab. 4: Výsledky zkoušky pevnosti v tlaku..... | 50 |
| Tab. 5: Rozměry a hmotnost desek Varianta A – svile zatížení..... | 52 |
| Tab. 6: Rozměry a hmotnost desek Varianta B – svislé zatížení | 55 |
| Tab. 7: Porovnání variant kotvení při svislém zatížení | 65 |