

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2019

Bc. Otto Jarolímek

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technologie staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zakládání na XPS

Bc. Otto Jarolímeck

2019

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Procházka, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze 6. 1. 2019

.....
Otto Jarolímek

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Michalu Procházkovi, Ph.D. za profesionální přístup a užitečné rady, které mi poskytl. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Kosovi, CSc. za konzultace ohledně dimenzování základových konstrukcí a instrukce k práci v programu GEO5 2018.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Jarolímek	Jméno: Otto	Osobní číslo: 396441
Zadávající katedra: Katedra technologie staveb		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zakládání na XPS	
Název diplomové práce anglicky: Foundation on XPS	
Pokyny pro vypracování: Zpracování rešerše Stanovení technologických podmínek pro aplikaci řešeného základového systému Návrh založení konkrétní stavby: Statický návrh nebo model Technologický postup pro danou stavbu Ekonomické posouzení - porovnání s konvenčními technologiemi zakládání	
Seznam doporučené literatury: Zakládání staveb - Maceková Věra, Vlček Milan - ERA 2006 Zakládání staveb 1 - Masopust Jan - České vysoké učení technické v Praze 2015 ČSN EN 1997-1, ČSN EN 1992-1-1, ČSN 73 0540-2	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michal Procházka, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 5. 10. 2018	Termín odevzdání diplomové práce: 7. 1. 2019 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
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“.

5. 10. 2018	Podpis studenta(ky)
Datum převzetí zadání	

Anotace

Zakládání na XPS

Autor se v práci zabývá problematikou zakládání staveb na deskách z extrudovaného polystyrenu (XPS). Popisuje jednotlivé možnosti založení stavby a jejich výhody i nevýhody. Snaží se nadimenzovat základovou desku pro konkrétní stavbu rodinného domu a navrhnout vhodné technologické řešení a postupy pro tento způsob zakládání včetně konstrukčních detailů. V neposlední řadě se zabývá také ekonomickým srovnáním této technologie s těmi konvenčními.

Klíčová slova

Tepelná izolace

Zakládání staveb

Extrudovaný polystyren (XPS)

Pasivní domy

Annotation

Foundation on XPS

The author deals with issue of foundation of buildings on slabs from extruded polystyrene (XPS) in this thesis. He describes various possibilities of setting up a buildings and theirs advantages and disadvantages. He tries dimension the foundation plate for specific family house and he wants to propose a suitable technological solutions and processes for this way of setting up, including construction details. Last but not least he deals with economic comparison of this technology with those conventional ones.

Keywords

Thermal insulation

Foundation of buildings

Extruded polystyrene (XPS)

Passive houses

Obsah

1 ÚVOD	9
2 TEORETICKÁ ČÁST.....	10
2.1 Dělení základových konstrukcí.....	10
2.1.1 Základy hlubinné	10
2.1.2 Základy plošné.....	10
2.2 Zakládání na extrudovaném polystyrenu.....	17
2.2.1 Základní popis technologie	18
2.2.2 Systémová řešení pro zakládání na XPS	20
2.2.3 Materiály vhodné pro zakládání dostupné v ČR	26
2.2.4 Stavby založené na XPS	29
2.2.5 Omezující podmínky pro zakládání na XPS.....	31
2.3 Dimenzování základové desky	32
2.3.1 Zjednodušený statický výpočet.....	33
2.3.2 Výpočetní model pro netuhé základy	33
2.3.3 Winkler-Pasternakův model pružné vrstvy	34
3 CÍLE PRÁCE	35
4 METODY	36
4.1 Metoda statická	36
4.2 Metoda pružnostní.....	39
5 PRAKTICKÁ ČÁST	43
5.1 Dimenzování základové desky	43
5.1.1 Popis řešené stavby.....	43
5.1.2 Okrajové podmínky návrhu	44
5.1.3 Zatížení	45
5.1.4 Návrh desky konstantního průřezu	50
5.1.5 Návrh žebrové desky	55
5.2 Technologický návrh	63
5.2.1 Technologický návrh desky konstantního průřezu	63
5.2.2 Technologický návrh žebrové desky	72
5.3 Ekonomické posouzení.....	81
5.3.1 Popis způsobu stanovení celkových nákladů.....	81
5.3.2 Výpočet celkových nákladů na desku konstantního průřezu	82
5.3.3 Výpočet celkových nákladů na žebrovou desku	84
5.3.4 Výpočet celkových nákladů pro založení na drti z pěnového skla.....	87
5.3.5 Výpočet celkových nákladů pro založení na pasech	90
5.3.6 Porovnání nákladů na jednotlivé způsoby založení stavby	93
6 PŘÍNOSY	95

7 DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ POSTUP.....	96
8 ZÁVĚR	97
POUŽITÁ LITERATURA	98
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	104
SEZNAM TABULEK	105
SEZNAM GRAFŮ	106
SEZNAM PŘÍLOH.....	106

1 Úvod

Kvalitně navržené a provedené základy jsou hlavním předpokladem pro dlouhou životnost a funkčnost objektu. Zároveň platí, že pokud se v době užívání stavby objeví porucha související se základovými konstrukcemi, bývá její sanace velice obtížná a nákladná, v některých případech i takřka nemožná.

Těžko soudit, zda je to dáno právě velkými nároky na spolehlivost návrhu základů s téměř nulovou tolerancí chybovosti, či jen neochotou (či spíše pohodlností) českých firem přijímat nové trendy nebo vyvíjet vlastní inovativní řešení, ale za poslední tři desetiletí se zakládání u méně náročných staveb (jako jsou například rodinné domy, menší bytové domy apod.), kde není třeba specifického řešení založení, takřka nezměnilo. Obvyklým postupem se stalo založit dům na základových pasech (u menších staveb většinou z betonu prostého, u větších pak ze železobetonu) a roznášecí železobetonové základové desce. Jistě je to řešení funkční a při dodržování technologických zásad i poměrně spolehlivé, ale má také své nedostatky, například v oblasti tepelné izolace stavby potažmo prostupu tepla konstrukcí.

A právě v dnešní době, kdy se ekologická náročnost stavby stává jedním z rozhodujících kritérií při rozhodování o realizaci projektu, nabývají nedostatky v tepelné izolaci vnější obálky objektu, a tedy také základových konstrukcí, na významu. Pokud chceme stavět pasivní či dokonce nulové domy, musíme tato slabá místa eliminovat. V současnosti používaná řešení sice výrazně snižují prostup tepla konstrukcí v ploše, ale nejsou už schopna vyřešit tepelné mosty v oblasti styku základové desky s pasy nebo nadzemními nosnými konstrukcemi.

Založení stavby na extrudovaném polystyrenu tento problém zcela vyřeší, neboť dojde, při správně technologicky provedeném napojení na tepelnou izolaci obvodových zdí, k vytvoření nepřerušené tepelněizolační vrstvy po obvodu celé stavby. A právě této technologii je věnována tato diplomová práce, jejímž cílem je navrhnout založení rodinného domu na deskách z XPS a posoudit jej z hlediska statického, technologického i ekonomického.

2 Teoretická část

2.1 Dělení základových konstrukcí

Základové konstrukce lze třídit dle různých kritérií. Tím základním je způsob, jakým je přenášeno zatížení od stavby na základovou půdu. Podle hloubky založení poté rozlišujeme^[1]:

- Základy hlubinné
- Základy plošné

2.1.1 Základy hlubinné

Také někdy nazývané vertikální pro dominantní rozměr těchto konstrukcí. Jedná se o „zakládání, při kterém se zatížení stavby přenáší do hlubších únosnějších vrstev podzákladí pomocí vertikálních prvků, na kterých spočívají plošné základy.“^[1] Těchto základů se využívá především v oblastech, kde je svrchní vrstva terénu velmi málo únosná (například různé sedimenty organického původu^[35], spraše apod.), nebo pro zakládání staveb náchylných k rozdílnému sedání (výškově členité stavby), či vyvolávajících velké zatížení základové půdy (např. mrakodrapy), které nejsou schopny přenést ani únosnější zeminy.

K hlubinným základovým konstrukcím řadíme^[1]:

- Piloty
- Velkopřůměrové piloty (šachtové pilíře)
- Studny
- Skříně neboli kesony

Vzhledem ke svému zaměření se tomuto druhu zakládání již dále tato diplomová práce nevěnuje.

2.1.2 Základy plošné

V pozemním stavitelství nejrozšířenější způsob zakládání, vhodný zejména pro jednodušší typizované stavby, jako jsou rodinné a bytové domy, skladovací haly apod. „*Horizontální základy vybíráme tehdy, je-li půda požadované únosnosti v dosažitelné hloubce.*“^[1]

Podle tvaru konstrukce dělíme plošné základové konstrukce na^[1]:

- Základové patky

- Základové pasy
- Základové rošty
- Základové desky
- Prostorové základové konstrukce

Základové patky

Nejjednodušší a při dostatečné únosnosti základové půdy i nejefektivnější způsob založení staveb se skeletovou konstrukcí. Každá patka přenáší bodové zatížení od příslušného sloupu přímo do podloží. *„Půdorysný tvar patek se navrhuje převážně čtvercový nebo obdélníkový v poměru stran maximálně 1:3 (kruhová patka se navrhuje minimálně pro její těžkou proveditelnost na stavbě).“^[1]*

Převažujícím materiálem pro výrobu patek je v dnešní době beton, ten může být při malých zatíženích prostý, ale mnohem častěji se setkáme s vyztuženým (tedy železobetonem). Stejně jako většina ostatních konstrukcí z betonu se i patky vyrábějí prefabrikovaně, čehož lze využít pro zkrácení doby výstavby (převážně u montovaných konstrukcí), ale častěji se patky dělají monolitické přímo na místě stavby. U ocelových skeletů se můžeme výjimečně setkat i s patkami vyrobenými z oceli.

„Pro potřeby posuzování plošných základů se stanovuje tuhost patek, která souvisí nejen s jejich tvarem, ale i s deformačními vlastnostmi základové půdy.“^[3]

Výhodou základových patek je menší spotřeba materiálu oproti ostatním způsobům plošného zakládání a tím snížení nákladů, dále pak možnost prefabrikace umožňující zrychlení stavby a v neposlední řadě poměrně jednoduchá výroba. Velkou nevýhodou však představuje problematika rozdílného sedání jednotlivých patek – aby bylo zajištěno rovnoměrné sedání celé stavby, musí být každá patka navržena na dané zatížení a vzhledem k únosnosti zeminy pod ní, což znamená jednak komplikovanější statický výpočet, a pak také větší množství rozdílně velkých patek pro jednu stavbu.

Základové pasy

„Za základové pasy se považují obdélníkové základy s poměrem $L/B \geq 6$, přičemž vždy platí, že jejich šířka $B \leq L$ (délka). Základové pasy bývají ve směru šířky vždy tuhé, poddajné jsou naopak ve směru své délky.“^[3]

Pasy jsou vhodným způsobem založení pro budovy se stěnovou konstrukcí, nebo i pro skeletové konstrukce, v případě, že nelze využít patek (nižší únosnost zeminy nebo větší zatížení). *„Pasy navrhujeme tehdy, když je pevnost zemin (hornin) v podzákladí menší než pevnost zdiva konstrukce, aby se zvětšením plochy základu dosáhlo zmenšení kontaktního napětí v základové spáře a tím i zlepšení podmínek založení.“^[1]*

Dominujícím materiálem pro výrobu základových pasů je beton, při větších zatíženích nebo horších základových podmínkách pak železobeton. Dříve se využíval také lomový kámen, ale dnes se s tímto materiálem setkáme pouze u rekonstrukcí historických staveb nebo u specifických ekologických projektů využívajících převážně místních zdrojů, neboť u pasů z lomového kamene nelze zajistit homogenitu materiálu a na rozdíl od těch železobetonových nejsou schopny přenést tahová napětí. Stejně jako patky, i pasy lze vyrábět prefabrikované v továrně nebo monolitické in situ.

Hlavní výhodou základových pasů oproti patkám je výrazné omezení rozdílnosti sedání různých částí budovy (v závislosti na jejich tuhosti a styčné ploše s podkladem). Za nevýhodu pak může být považována vyšší spotřeba materiálu a větší objem výkopových prací ve srovnání s patkami, což obojí zvyšuje cenu tohoto způsobu zakládání.

Základové rošty

V podstatě se jedná o základové pasy, které jsou propojeny (většinou v kolmém směru) a vytvářejí tak tuhou síť (rošt). Jejich využití je především v oblastech s málo únosným podložím, neboť roznášejí zatížení od budovy do velké plochy a minimalizují tím sedání.

„Rošty se provádějí monoliticky ze železobetonu. Jejich tvar a dimenzování je obdobné jako u základových pasů. Výhodou je tuhost celé konstrukce, kterou lze ještě zvýšit vhodným uspořádáním a spojením

s konstrukcí suterénu. Tím se snadněji vyrovnávají nerovnosti sedání celého objektu.^[1]

Základové desky

„Základová deska je souvislý plošný základ přenášející zatížení celého stavebního objektu nebo jeho souvislé části. Základové desky umožňují účinné vodorovné ztužení objektu v úrovni základové spáry, snížení kontaktního napětí při zakládání na málo únosné půdě, snížení nerovnoměrného sedání a vzájemného pootáčení svislých prvků konstrukce na málo únosném podloží.“^[3]

V současnosti se jedná asi o nejoblíbenější způsob zakládání objektů od rodinných domů až po mrakodrapy. Je to dáno nejen příznivými vlastnostmi vzhledem k sedání staveb, ale také poměrně malou technologickou náročností na provedení a možností kombinace s jinými typy plošných i hlubinných základů. Pokud desku spojíme se suterénními stěnami a stropem, vznikne velice tuhé jádro, navíc u této konstrukce lze použít speciální betony s krystalizačními přísadami a vytvořit tak tzv. bílou vanu – základovou konstrukci, která již nepotřebuje další hydroizolaci.

Základové desky se vždy provádějí jako monolitické a lze je dle tvarového uspořádání dělit na^[1]:

- Rovné – konstantní obdélníkový průřez
- Žebrové – s žebry na horní či spodní straně desky
- Roštové (kazetové) – žebra ve 2 kolmých směrech
- Hřibové – obrácené hlavice v patách sloupů

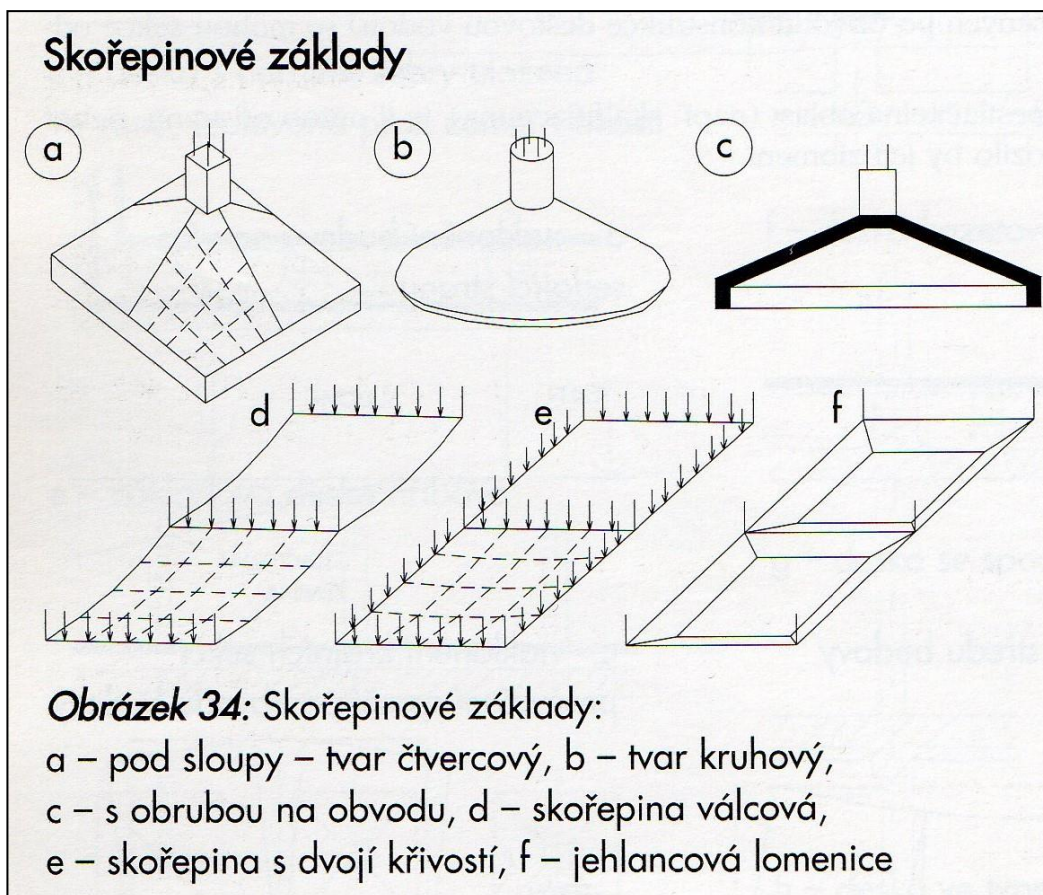
Rovné a žebrové základové desce se bude tato diplomová práce ještě věnovat v kapitole dimenzování základů na XPS, neboť se jedná o vhodný typ založení stavby v kombinaci s touto technologií.

Prostorové základové konstrukce

Do této kategorie lze zařadit různé další sporadicky využívané základové konstrukce, kterými lze v odůvodněných případech nahradit klasické plošné základy.

Podle tvaru lze prostorové základové konstrukce rozdělit na^[1]:

- Prstence
- Skořepiny
- Lomenice



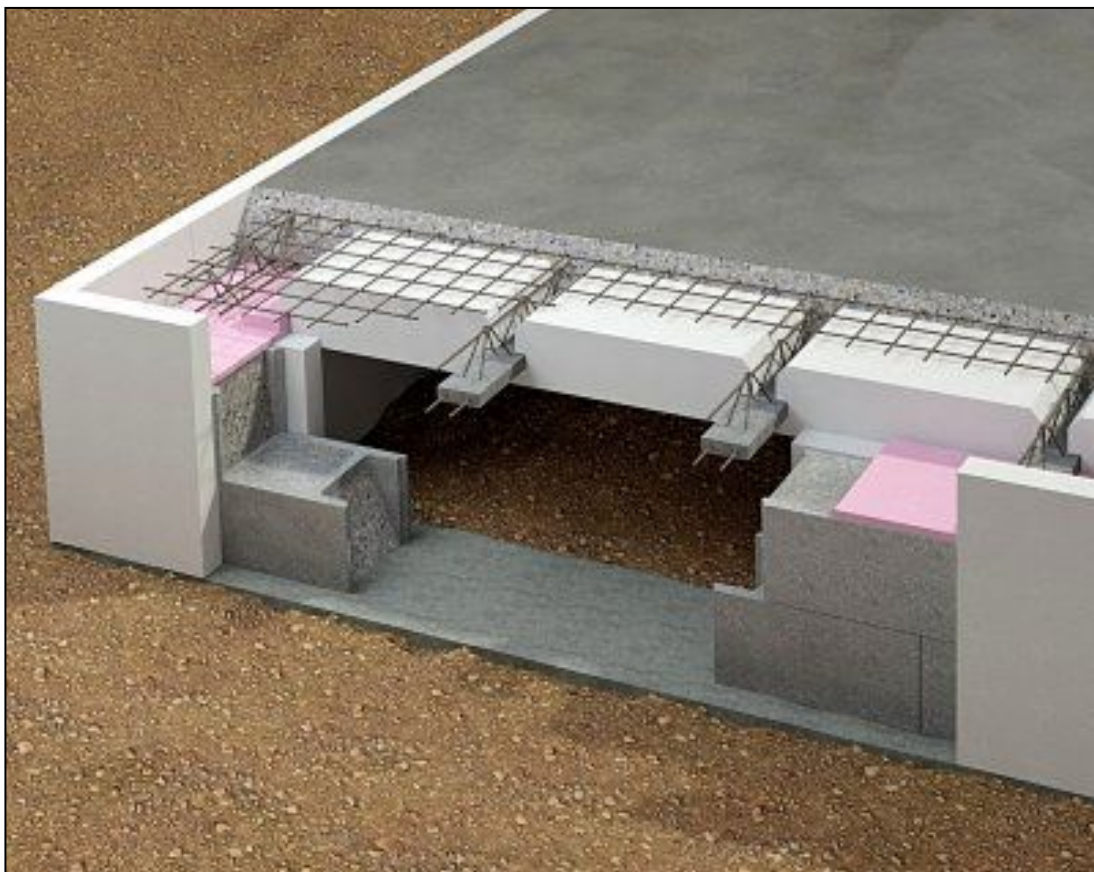
Obr. 1: Prostorové základové konstrukce (převzato z [1])

Moderní způsoby založení stavby

Následující technologické varianty založení staveb vycházejí z tradičních plošných základů, především využívají monolitickou železobetonovou základovou desku, ale díky inovativním řešením eliminují nedostatky těchto konstrukcí zejména v oblasti tepelných mostů a absorpce vlhkosti.

Samonosná betonová deska

Toto systémové řešení využívá klasických železobetonových základových pasů, na kterých jsou položeny filigránové nosníky, tepelný most je přerušen pomocí desek z XPS umístěných na pasy v místě uložení nosníků. Mezi nosníky se kladou masivní polystyrenové vložky, které vytvoří podklad pro železobetonovou základovou desku. Po zmonolitnění se celá konstrukce chová podobně jako stropní deska. V České republice lze tento systém najít pod komerčním označením ELEGOHOUSE.



Obr. 2: Založení domu na samonosné betonové desce (převzato z [49])

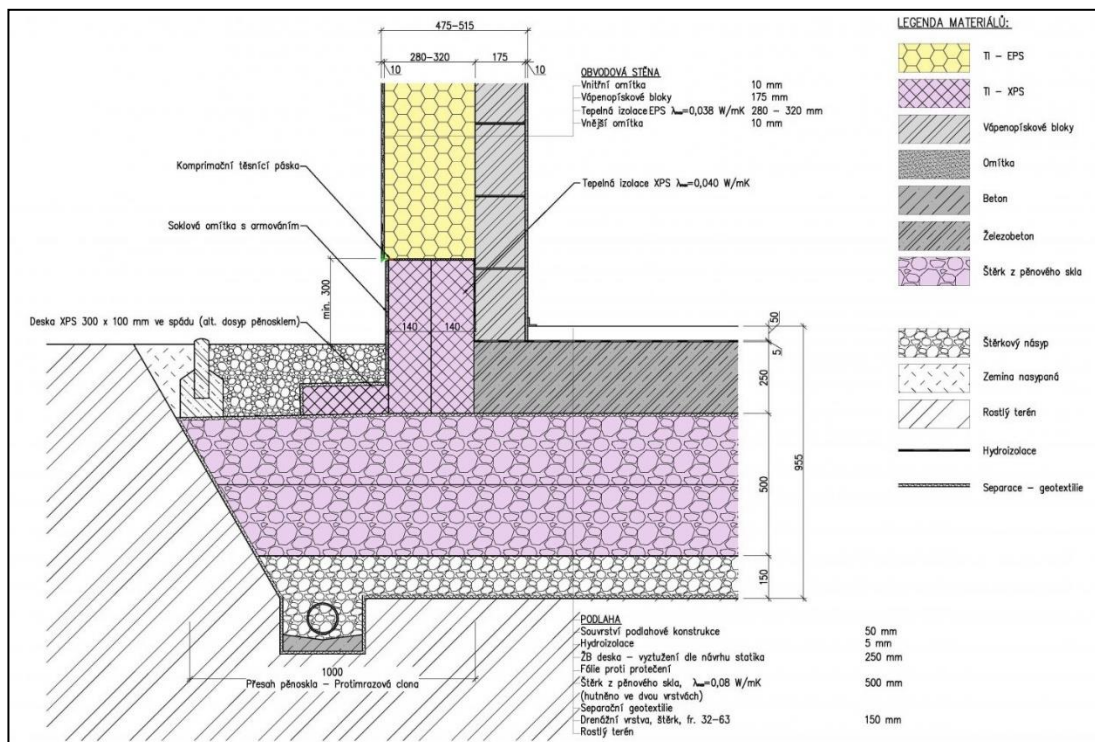
Mezi hlavní výhody systému ELEGOHOUSE patří^[44]:

- Zbytnost podpůrných podsypů a jejich hutnění díky samonosné desce nezávislé na podkladu.
- Nadstandartní tepelná izolace integrovaná již v konstrukci – úspora na tepelné izolaci v podlaze a na vytápění.

- Systém bez tepelných mostů – 4 cm silná vrstva XPS 700 pod uložením filigránových nosníků.
- Vzduchová mezera mezi terénem a deskou je spolehlivým opatřením proti vztlínající vlhkosti a promrzání.

Založení na sypaném materiálu

Tento způsob založení využívá železobetonovou základovou desku, která je provedena na silné zhutněné vrstvě sypkého izolačního materiálu. Tím může být buď drť z pěnového skla nebo kamenivo Liapor. Výhodou tohoto řešení je vytvoření souvislé izolační vrstvy pod celou deskou, která zároveň nahrazuje hutněný štěrkový podsyp, jenž se provádí pro srovnání podkladu u klasické základové desky.



Obr. 3: Založení stavby ne štěrku z pěnového skla (převzato z [15])

„U sypaných izolací se používají dva způsoby provedení základové desky – s ohraničením v místě soklu nebo s vodorovným přesahem sypaného materiálu. Varianta s izolačním bedněním si vyžaduje precizní vnější opěrný zhutněný zásyp v průběhu výstavby, který nesmí být následně uvolněn.“ [15]

Založení na XPS

Další způsob založení stavby využívající železobetonovou monolitickou desku. V tomto případě deska „plave“ na silné vrstvě vytvořené z dostatečně únosného, nenasákavého a málo stlačitelného extrudovaného polystyrenu. Nespornou výhodou tohoto řešení je vytvoření celistvé tepelněizolační obálky bez tepelných mostů včetně řešení zateplení soklů budovy.

Výhody zakládání na extrudovaném polystyrenu^[34]:

- Stabilita a vysoká únosnost základů
- Výborné tepelně-izolační a hydroizolační vlastnosti
- Integrovaná tepelná izolace přímo v základové desce
- Řešení bez tepelných mostů
- Vhodné i pro nesourodé zeminy

Výše uvedené jsou základní informace o tomto technologickém řešení založení stavby, soustavněji se mu tato práce věnuje v dalších kapitolách, kde bude podrobně popsán technologický postup, navrženy rozměry a vyztužení železobetonové základové desky, posouzen prostup tepla v kritických detailech apod.

2.2 Zakládání na extrudovaném polystyrenu

Zakládání na mělkých základech chráněných proti promrzání není žádnou novinkou, již ve 30. letech 20. století použil tuto metodu Frank Lloyd Wright (jeden z nejvýznamnějších amerických architektů^[27]) v Chicagu.^[14] Avšak většího rozmachu se tato technologie dočkala až v tomto tisíciletí, a to především v severní a západní Evropě. V České republice se zatím tento způsob zakládání příliš nerozšířil a bylo realizováno pouze několik projektů^[34], většinou svépomocí různými přívrženci ekologického bydlení.^[13] Žádný výrobce ani distributor u nás nenabízí systémové řešení pro tuto technologii.

Na obrázku 4 je vyobrazena tepelně-izolační vana z extrudovaného polystyrenu před provedením armování a betonáže. Za povšimnutí stojí využití odřezků desek na vytvoření bednění pro betonáž základů.



Obr. 4: Zakládání staveb na XPS (převzato z [13])

2.2.1 Základní popis technologie

Zakládání budov na extrudovaném polystyrenu je technologií určenou především pro pasivní a nulové domy, neboť zajišťuje dokonalou tepelnou izolaci základových konstrukcí a eliminuje veškeré tepelné mosty.

Tato technologie umožňuje, aby základy nezasahovaly až do tzv. nezámrazné hloubky (v ČR od 800 mm do cca 1600 mm dle druhu základové půdy a geografického umístění stavby), je však nutné chránit půdu na okraji stavby před promrzáním za pomoci přesahů tepelné izolace. Dle normy ČSN 73 1001 platné do roku 2010 by toto řešení nebylo přípustné, neboť striktně vyžadovala založení nosných konstrukcí trvalých staveb do hloubky minimálně 800 mm, ale současná norma ČSN EN 1997-1 žádnou konkrétní hranici nestanovuje, pouze je zde uvedeno, že poškození mrazem se nemá vyskytnout, pokud^[12]:

- Zemina je mrazuvzdorná
- Úroveň základové spáry je pod hloubkou promrzání
- Promrzání je vyloučeno izolací

Založení budovy na extrudovaném polystyrenu vyžaduje rovný povrch, kde nebude docházet k většímu sedání (stlačení) podkladu. Zároveň je nutné zajistit odvedení vody, která by se mohla zadržovat pod základy. Z těchto důvodů je nezbytné před vlastním zakládáním provést výkopové práce. „*Výkop dna stavební jámy musí být ve spádu a provedena zhutněná drenážní vrstva s příslušným drenážním systémem, aby se zabránilo zaplavení vrstvy izolace*“^[15]. Maximální tloušťka zhutněné vrstvy štěrku je dána půdorysnou velikostí stavby a umístěním drenáží, minimální tloušťka této vrstvy by neměla klesnout pod 200 mm. „*Frakce štěrku by se měla postupně zmenšovat a poslední vrstva štěrkopísku do 8 mm by měla být oddělena od předchozích vrstvou geotextílie kvůli přepadávání.*“^[15].

Na takto upraveném podkladu se vybuduje vana z nenasákavých desek z extrudovaného polystyrenu odpovídající třídy únosnosti (používá se třída od 300 kPa do 700 kPa^[15]), které se kladou minimálně ve dvou vrstvách s dostatečnými přesahy, aby nevznikaly mezery, kterými by mohlo proudit teplo (tepelné mosty). Desky je nutné buď spojovat plastovými hřeby, nebo lepit k sobě nenasákavým lepidlem (např. PU lepidlem určeným pro lepení perimetrických izolací^[15]), aby nedošlo k jejich posunutí při betonování desky.

Na povrch této vany se rozprostře separační fólie, následně se provede armování roznášecí základové desky a její betonáž. Zejména při práci s výztuží je nutné dbát, aby nedošlo k poškození polystyrenových desek, nebo k protržení separační vrstvy. Hydroizolační souvrství lze vytvořit buď klasicky na vybetonovanou desku, nebo pod deskou – deska bude v suchu, ale je třeba vyřešit detail soklu.

Pro izolování soklů budovy existují v zásadě dvě možnosti. Buď zvolíme klasický způsob betonáže desky s vytvořením dřevěného bednění po jejím obvodu, které se po ztuhnutí betonu odstraní a sokl bude tepelně izolován až dodatečně nalepením XPS desek. Nebo vyrobíme ztracené bednění z XPS desek už při vytváření izolační vany, které bude zároveň sloužit jako tepelná izolace soklů.

2.2.2 Systémová řešení pro zakládání na XPS

Jak již bylo uvedeno výše, v České republice zatím žádné systémové řešení na trhu nenajdeme, avšak v zahraničí existuje několik výrobců, kteří již mají systémy pro zakládání na XPS (v některých případech i EPS) ve své nabídce. Níže je uvedeno několik systémů včetně jejich základních parametrů.

Austrotherm Fundamentplatten-Dämmsystem

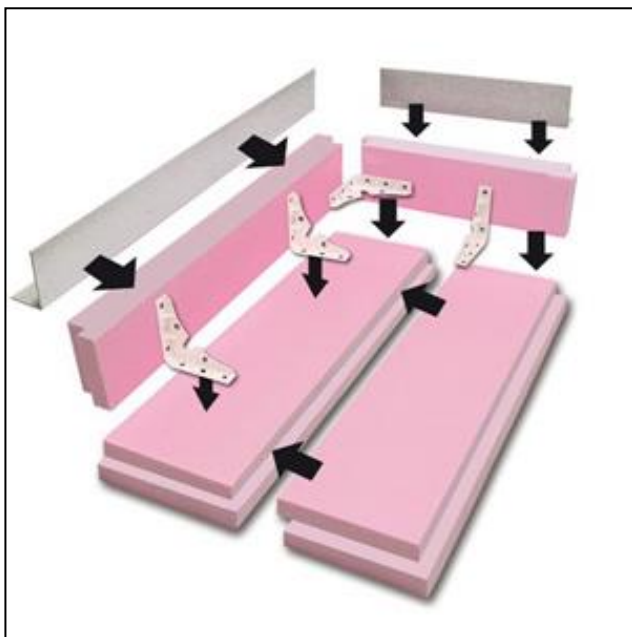
První je systém rakouské firmy Austrotherm, který by vzhledem ke geografické poloze i podobnému podnebí měl odpovídat i nárokům českého stavebníka. Navíc některé výrobky této firmy jsou k dostání i na našem trhu (zmiňovaný systém bohužel zatím nikoli).

Základ tohoto systému tvoří desky z XPS s polodrážkou SF o rozměrech 1265 x 615 mm, konkrétně typy XPS TOP 50 SF (deklarovaná pevnost v tlaku minimálně 500 kPa) a XPS TOP 70 SF (deklarovaná pevnost v tlaku minimálně 700 kPa), tyto desky se vyrábějí v tloušťkách od 50 do 160 mm (u speciálního tepelně lepeného provedení označeného TB dokonce až do 400 mm), což umožňuje vytvoření téměř libovolné tloušťky izolace dle potřeby. Desky se kladou na ztuhnutou podkladní vrstvu a případně se mohou k sobě lepit PU lepidlem (toto však výrobce striktně nepředepisuje). Na okrajích se nechávají přesahy přes půdorys stavby, aby se zabránilo promrzání základové půdy (délka přesahů vyplývá z tepelně-technického řešení detailů založení).

Dalším prvkem systému jsou přířezy z výše zmíněných desek, které poslouží jako tepelná izolace bočních stěn železobetonové desky a v průběhu její realizace také jako bednění. Výška přířezů je dána tloušťkou žb desky a jejich tloušťka tepelně-technickým výpočtem (dle výrobce standardně 100 mm). Tyto přířezy se k podkladní desce kotví pomocí speciálních plastových úhelníků a plastových „rychlošroubů“, pro snadnější fixaci polohy je lze před kotvením nejdříve přilepit PU lepidlem. Dalším úhelníkem je nutné spojit tyto „šalovací“ desky také v každém vnitřním rohu.

Posledním komponentem systému je plastový nástavec, který lze přišroubovat (výše zmíněnými šrouby) na vrchní hranu bednicích desek a tím

zvětšit tloušťku betonované desky. Celý izolační systém je znázorněn na obrázku 5 a v tabulce 1 jsou uvedeny základní údaje o prvcích tohoto systému.



Obr. 5: Prvky systému od firmy Austrotherm (převzato z [25])

Tab. 1: Základní technické údaje systému od firmy Austrotherm

Vlastnost	Hodnota	Jednotky
Rozměr desek (výrobní)	1265 x 615	mm
Tloušťka desek	50 až 160	mm
Pevnost v tlaku při 10% stlačení	500 resp. 700	kPa
Tvar hrany desek	Polodrážka	-
Spojovací prvky	Plastové turbošrouby a úhelníky, PUR lepidlo	-
Součinitel tepelné vodivosti (λ)	0,033 až 0,036	W/(m*K)

Data uvedená v tabulce převzata z [19], [20] a [21]

Po vybudování tepelně-izolační vany následují standardní kroky pro vytvoření železobetonové základové desky, tedy provedení výztuže, betonáž a aplikace hydroizolace.

KORE Passive Foundation

Dalším systémem pro založení stavby na tepelněizolačních deskách je KORE Passive Foundation od irské společnosti KORE. Tento systém je vhodný pro jedno až dvoupodlažní budovy a používá pro zakládání desky z expandovaného polystyrenu (EPS), na rozdíl od výše zmíněného systému firmy Austrotherm, který využívá jako materiál extrudovaný polystyren (XPS).

Irský systém je založen na kombinaci L profilů z EPS 300 (pevnost v tlaku minimálně 300 kPa) a desek z EPS (pevnost v tlaku minimálně 100 kPa) umístěných v partiích s nižším zatížením.

Před aplikací tohoto systému je nutné vytvořit dostatečně únosný a rovný podklad, toho docílíme zhutněním minimálně 150 mm silné vrstvy štěrku frakce 18-35 mm na 50 mm, na níž poté rozprostřeme suchou betonovou směs v tloušťce 10 až 22 mm. Tolerance pro celkovou rovinnost podkladní vrstvy je ± 2 až 3 mm^[28].

Na takto připravený podklad klademe nejprve okrajové L dílce z EPS 300, přičemž začínáme vždy na vnějším rohu budovy. Firma KORE nabízí několik možností založení pod obvodovými nosnými stěnami, příklad je znázorněn na obrázku 6. Následně vyplňujeme vzniklý prostor deskami z EPS 100 od okraje stavby do středu, ale pod všemi vnitřními nosnými stěnami musí být opět použit EPS 300. Na tuto první vrstvu aplikujeme protiradonovou izolaci a poté můžeme položit ještě další jednu nebo dvě vrstvy desek z EPS 100. Další kroky jsou již standardní pro železobetonovou desku, tedy armování a betonáž.

Díky tomu, že v ploše mimo nosné stěny působí menší zatížení, je možné zde provést železobetonovou desku o něco tenčí, a tím ušetřit beton. Polystyrenové desky v tomto případě poslouží nejen jako tepelná izolace, ale také jako ztracené bednění (vylehčení desky). Do vrchní vrstvy izolace lze také umístit podlahové vytápění. V tabulce č. 2 jsou uvedeny základní charakteristiky tohoto systému.

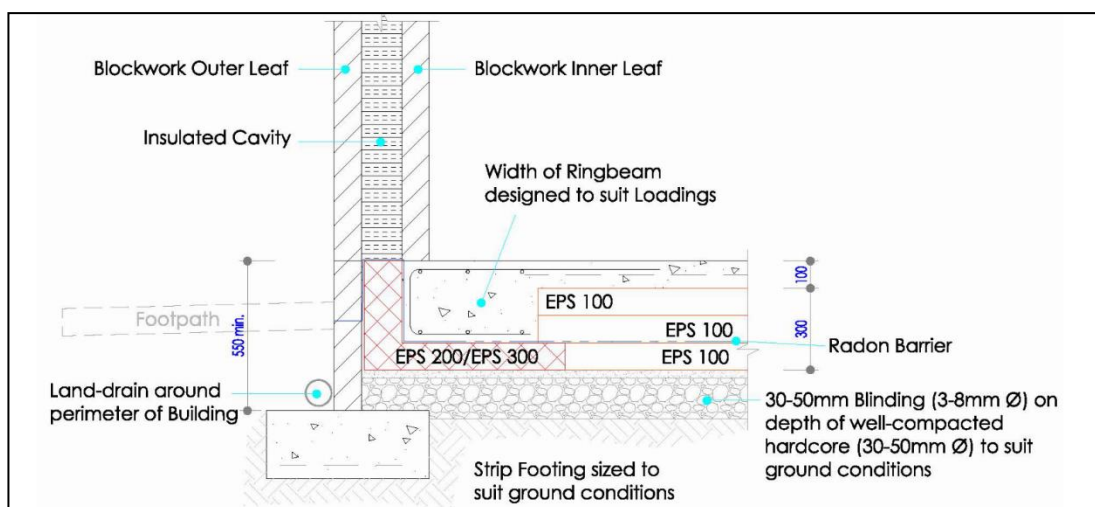
Tab. 2: Základní technické údaje systému od firmy KORE

Vlastnost	Hodnota	Jednotky
Rozměr desek (výrobní)	Dle projektu	mm
Tloušťka desek	100	mm
Pevnost v tlaku při 10% stlačení	100 resp. 300	kPa
Tvar hrany desek	Rovná	-
Spojovací prvky	Výrobce nespecifikuje	-
Součinitel tepelné vodivosti (λ)	0,032 až 0,036	W/(m*K)

Data uvedená v tabulce převzata z [28]

Výrobce mimo jiné uvádí tyto výhody svého systému^[28]:

- Redukuje ztráty z podlahového vytápění skrz obvodové zdi z 65 % na 12 %.
- Snižuje spotřebu betonu na základové konstrukce až o 50 %.
- Eliminuje riziko kondenzace a vzniku plísní a hub v oblasti soklu budovy.
- Systém je vhodný pro použití podlahového vytápění.



Obr. 6: Detail soklu při zakládání pomocí systému KORE (převzato z [28])

WarmFörm

Třetím a posledním systémem, který tato diplomová práce zmiňuje, je WarmFörm od firmy ByggHouse sídlící v New Jersey v USA. Jedná se o systém vycházející ze zkušeností skandinávských (především švédských) inženýrů s mělkým zakládáním staveb na tepelné izolaci.

WarmFörm kombinuje klasický expandovaný polystyren, který používá na horizontální izolace, s neoporem (polystyren s grafitovým práškem) používaným na vertikální izolace^[14]. Způsob výstavby pomocí tohoto systému je velice podobný jako u KORE Passive Foundation, neboť i zde jsou z výroby lepené okrajové dílce (v tomto případě i rohové) a vnitřní prostor se vyplňuje klasickými deskami.

Základ pro aplikaci WarmFörm tvoří zhutněná štěrková vrstva, která je odvodněna obvodovou drenáží. Tloušťka této vrstvy je dána požadovanou hloubkou založení – výrobce odkazuje na americké normy, které stanovují i minimální hloubku založení pro „*Frost-Protected Footings In Heated Buildings*“^[26], tedy volně přeloženo základy vytápěných budov chráněné před promrzáním.

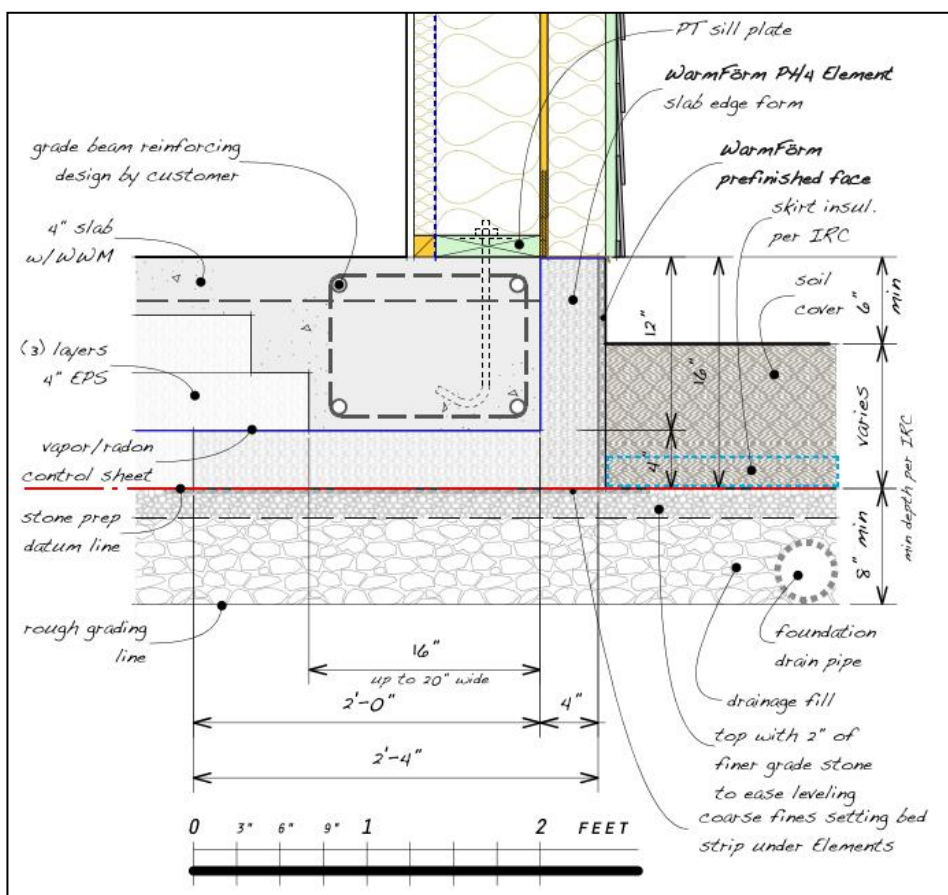
Na připravený podklad klademe nejprve rohové a okrajové dílce (tvar L), které následně spojujeme pomocí ocelových sponek a spojovacích desek (obdobu styčnickových desek Gangnail). Poté pokládáme vnitřní izolaci v ploše, a to ve třech vrstvách, které se k sobě spojují plastovými hřeby. Nakonec provedeme obvodovou izolaci proti promrzání (nejlépe z XPS desek), kterou zasypeme zeminou (nutno zhutnit), čímž zajistíme stabilitu soklových desek při betonáži.

Řešení detailu soklu je znázorněno na obrázku 7 a základní údaje o systému jsou uvedeny v tabulce č. 3. Tento systém je vhodný i pro umístění podlahového vytápění a výrobce také nabízí speciální řešení základů pod garáží.

Tab. 3: Základní technické údaje systému WarmFörm

Vlastnost	Hodnota	Jednotky
Rozměr desek (výrobní)	Roh 711 x 711 (2'4" x 2'4") Kraj 1219 x 711 (4' x 2'4") Deska 2438 x 1219 (8' x 4')	mm
Tloušťka desek	Cca 102 (4")	mm
Pevnost v tlaku při 10% stlačení	104 resp. 173	kPa
Tvar hrany desek	Rovná	-
Spojovací prvky	Ocelové spony a desky a plastové hřeby	-
Součinitel tepelné vodivosti (λ)	0,033	W/(m*K)

Data uvedená v tabulce převzata z [26], převedeno do jednotek soustavy SI.



Obr. 7: Detail soklu při použití systému WarmFörm (převzato z [26])

2.2.3 Materiály vhodné pro zakládání dostupné v ČR

Jak již bylo uvedeno výše, žádné ze systémových řešení se v České republice nenabízí, ale pokud by se někdo rozhodl založit svůj dům na tepelné izolaci, lze nalézt v portfoliu českých výrobců a distributorů několik materiálů pro tento účel vhodných. Rozhodujícím kritériem je především pevnost v tlaku, minimální stlačitelnost a také nasákavost materiálu. Níže je zmíněno několik materiálů vhodných pro založení stavby včetně jejich základních parametrů.

Austrotherm XPS

Výrobky Austrotherm XPS TOP 50 SF a Austrotherm XPS TOP 70 SF, zmíněné v kapitole Austrotherm Fundamentplatten-Dämmsystem jsou dostupné také na českém trhu (ostatní části systému již nikoli). Skutečnost, že jsou v zahraničí využívány jako součást systému pro zakládání staveb, je předurčuje k tomu, aby se staly vhodným řešením i v našich končinách.

Jedná se o velice únosný a nenasákavý extrudovaný polystyren s vynikajícími tepelněizolačními vlastnostmi. Desky jsou opatřeny polodrážkou, což usnadňuje eliminaci průběžných spár a také zjednodušuje polohovou fixaci. Základní parametry výrobku včetně jeho ceny jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tab. 4: Základní parametry výrobků Austrotherm XPS TOP 50 SF a XPS TOP 70 SF

Vlastnost	Hodnota	Jednotky
Rozměr desek (výrobní)	1265 x 615	mm
Tloušťka desek	50 až 160	mm
Pevnost v tlaku při 10% stlačení	500 resp. 700	kPa
Pevnost v tlaku při 2% stlačení	180 resp. 250	kPa
Tvar hrany desek	Polodrážka	-
Objemová hmotnost	≥ 35	kg/m ³
Součinitel tepelné vodivosti (λ)	0,035 až 0,039	W/(m*K)
Ceníková cena (bez DPH)	10000 resp. 13250	Kč/m ³

Data uvedená v tabulce převzata z [20], [21], [22], [23], a [24]

Styrodur

Výrobky Styrodur 3000 CS, Styrodur 4000 CS a Styrodur 5000 CS distribuované na náš trh firmou Isover jsou dalším vhodným adeptem pro zakládání staveb. Mají srovnatelnou pevnost v tlaku jako výrobky společnosti Austrotherm, velice malou nasákavost a jsou opatřeny polodrážkou. Navíc jsou dostupné i ve vícevrstvé variantě (Styrodur 3000 CS), což znamená maximální tloušťku jedné vrstvy až 240 mm. Základní parametry výrobku včetně jeho ceny jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tab. 5: Základní parametry výrobků Styrodur 3000 CS, 4000 CS a 5000 CS

Vlastnost	Hodnota	Jednotky
Rozměr desek (výrobní)	1265 x 615	mm
Tloušťka desek	30 až 240 (dle typu)	mm
Pevnost v tlaku při 10% stlačení	300 resp. 500 resp. 700	kPa
Pevnost v tlaku při 2% stlačení	110 resp. 180 resp. 250	kPa
Tvar hrany desek	Polodrážka	-
Objemová hmotnost	33 resp. 35 resp. 45	kg/m ³
Součinitel tepelné vodivosti (λ)	0,033 až 0,035	W/(m*K)
Ceníková cena (bez DPH)	5000 resp. 6000 resp. 9500	Kč/m ³

Data uvedená v tabulce převzata z [36], [41], [42], [43], a [48]

X-FOAM HBT 300

Produkt německé společnosti EDILTEC Bayern vyniká velice malou nasákavostí, což je pro použití v základech pod hydroizolací velice důležitá vlastnost. Pevnost v tlaku při 10% deformaci 300 kPa je sice nižší než u výše zmíněných výrobků (pouze Styrodur 3000 CS má stejnou), ale stále dostatečná. Desky jsou opatřeny polodrážkou a k dostání jsou v tloušťkách od 30 mm do 200 mm. Základní parametry výrobku včetně jeho ceny jsou uvedeny v tabulce č. 6.

Tab. 6: Základní parametry výrobku X-FOAM HBT 300

Vlastnost	Hodnota	Jednotky
Rozměr desek (výrobní)	1250 x 600	mm
Tloušťka desek	30 až 200	mm
Pevnost v tlaku při 10% stlačení	300	kPa
Pevnost v tlaku při 2% stlačení	120	kPa
Tvar hrany desek	Polodrážka	-
Objemová hmotnost	31	kg/m ³
Součinitel tepelné vodivosti (λ)	0,033 až 0,038	W/(m*K)
Ceníková cena (bez DPH)	4600	Kč/m ³

Data uvedená v tabulce převzata z [30], [31], a [32]

Isover EPS Perimetr

Jediný produkt vhodný pro zakládání staveb vyráběný na území České republiky. V tomto případě se jedná o expandovaný polystyren (všechny výše zmíněné výrobky jsou z extrudovaného polystyrenu), avšak v zahraničí existují i systémy založené právě na EPS. Tento materiál je vhodný spíše pro zakládání jednopodlažních budov, neboť jeho pevnost v tlaku činí pouze 200 kPa, využití pro větší stavbu by muselo být posouzeno individuálně a pravděpodobně by bylo možné jen u lehčích konstrukcí typu dřevostaveb apod. Nasákavost je srovnatelná s ostatními řešenými výrobky a také Isover opatřil svůj produkt polodrážkou. Rozsah tloušťky jednotlivých desek je od 40 mm do 200 mm. Základní parametry výrobku včetně jeho ceny jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Tab. 7: Základní parametry výrobku Isover EPS Perimetr

Vlastnost	Hodnota	Jednotky
Rozměr desek (výrobní)	1250 x 600	mm
Tloušťka desek	40 až 200	mm
Pevnost v tlaku při 10% stlačení	200	kPa
Pevnost v tlaku při 2% stlačení	36	kPa
Tvar hrany desek	Polodrážka	-
Objemová hmotnost	28 až 30	kg/m ³
Součinitel tepelné vodivosti (λ)	0,034	W/(m*K)
Ceníková cena (bez DPH)	3850	Kč/m ³

Data uvedená v tabulce převzata z [38], a [40]

2.2.4 Stavby založené na XPS

V České republice zatím najdeme jen několik rodinných domů založených na tepelněizolační vrstvě z extrudovaného polystyrenu, které si (většinou svépomocí) postavili příznivci nových technologií a ekologického bydlení. Ale pokud se zaměříme na západní či severní Evropu a USA, nalezneme zde mnoho zajímavých staveb rozličného využití, pro jejichž založení byla využita právě tato technologie. Níže je uvedena nejzajímavější z nich včetně stručných informací o její konstrukci.

Kolej Molkereistrasse ve Vídni

Abychom si tuto zajímavou stavbu prohlédli, nemusíme se příliš vzdálit od českých hranic, nachází se totiž v hlavním městě Rakouska. *Jedná se o osmipodlažní dostavbu tradičního městského bloku z roku 2005 o kapacitě 278 lůžek.*^[3] Pro zajištění většího komfortu byly realizovány pouze jednolůžkové pokoje s průměrnou plochou přes 14 m² a zvláště bylo dbáno na dostatečné denní osvětlení místností. V době otevření se jednalo o první stavbu tohoto druhu v pasivním standardu a zároveň největší pasivní dům na světě.^[45]

Základ budovy tvoří železobetonová základová deska, která je položena na „vaně“ vytvořené z extrudovaného polystyrénu. Konstrukční systém vrchní stavby vychází z betonových prefabrikátů se zateplovacím systémem. Okna lze úplně zastínit měděnými okenicemi, což zabraňuje přehřívání interiéru během slunečných letních dnů. Fasáda je oživena barevnými meziokenními vložkami se šikmým ostěním.^[3]

„V jednotně organizovaném průzkumu spokojenosti studentů ubytovaných na kolejích ve Vídni obsadila kolej v Molkereistrasse druhou nejvyšší pozici. 84 % dotazovaných se cítí v pasivním domě velmi dobře nebo alespoň částečně dobře. Převážná většina zvláště vítá a pozitivně hodnotí přínos pasivního domu pro životní prostředí. 83 % dotazovaných považuje automatické vypínání topení, jakmile se otevrou okna, za dobré řešení. Většina je spokojena s možností regulovat teplotu v místnosti (v rozsahu 17 – 25 °C) a hodnotí klima jako příjemné (55 %). Spokojenost s nuceným větráním není tak výrazná. 78 % zastává názor, že se do místnosti dostane dostatek čerstvého vzduchu jenom při větrání okny.“^[4]



Obr. 8: Kolej Molkereistrasse ve Vídni (převzato z [15])

2.2.5 Omezující podmínky pro zakládání na XPS

Založení stavby na extrudovaném polystyrenu nelze provést úplně všude a není vhodné pro některé typy staveb, jinak řečeno má i své limity. Ty lze rozdělit do dvou kategorií, první jsou základové podmínky, tedy druh zeminy, profil terénu a hladina podzemní vody, druhou pak parametry budovaného objektu, především jeho výška a využití (ze kterého vychází užité zatížení).

Základním omezením z první kategorie je únosnost základové půdy. Pokud má zemina tak malou únosnost, že na ní nelze navrhnout základovou desku bez podpůrných konstrukcí (piloty, hluboké pasy), není vhodná pro zakládání na XPS. Naopak, pokud jde o skalní podloží, založení možné je, jen je třeba vzít v úvahu, že extrudovaný polystyren zhorší celkovou únosnost. Zjednodušeně lze říci, že u zemin s menším modulem pružnosti a nižší pevností než má XPS dochází při použití tohoto způsobu založení k mírnému zlepšení základových poměrů (vytvoření roznášecí vrstvy), u zemin s podobnými vlastnostmi nehraje polystyren velkou roli a u velmi pevných podloží dochází ke snížení jejich únosnosti (deformace XPS).

Dalším limitem je profil terénu. Zakládat na extrudovaném polystyrenu lze na rovinných, případně mírně svažitéch pozemcích. Ve svahu by mohlo dojít k usmyknutí základové desky a v zimě k promrzání zeminy pod základy. Pokud jde o podzemní vodu, měla by její maximální hladina být v dostatečné vzdálenosti od základové spáry, aby nedocházelo k nasáknutí tepelné izolace. Výrobci většinou tvrdí, že jejich materiálu voda nevádí, ale dlouhodobé nasáknutí by mohlo způsobit zhoršení izolačních vlastností.

Velikost objektu a jeho využití mají přímý vliv na zatížení základů. Polštář z tepelné izolace lze použít pro menší stavby s předpokládaným rovnoměrným zatížením, jako jsou rodinné domy či malé bytové domy. Výška budovy se může pohybovat od dvou do čtyř podlaží podle použitého materiálu tepelné izolace a konstrukčního systému stavby. Větší stavby jsou výjimečné a vyžadují pečlivý návrh a použití nejúnosnějších materiálů na trhu. Pro výškové či výrazně nerovnoměrně zatížené budovy (různý počet pater či využití v jednotlivých traktech) je založení na XPS nevhodné.

2.3 Dimenzování základové desky

Základovou desku je možné dimenzovat několika způsoby od empirických návrhů založených na zkušenostech, přes zjednodušené výpočetní modely, až po propracované modely zohledňující pružné chování základových vrstev i tuhost základových konstrukcí. O tom, který způsob je nejvhodnější použít pro navrhovanou stavbu, rozhoduje její zařazení do geotechnické kategorie.

Norma ČSN EN 1997-1 rozlišuje podle složitosti konstrukce, základových poměrů a třídy následků následující geotechnické kategorie ^[12]:

- 1. geotechnická kategorie
- 2. geotechnická kategorie
- 3. geotechnická kategorie

1. geotechnická kategorie

„Tato kategorie zahrnuje pouze malé a jednoduché konstrukce se zanedbatelným rizikem, pro které platí, že základní požadavky na posouzení návrhu založení budou splněny na základě zkušeností a kvalitativního geotechnického průzkumu.“^[2] Nelze sem zařadit základy pod hladinou podzemní vody ani piloty či kotvy.

2. geotechnická kategorie

„Tato kategorie zahrnuje obvyklé typy konstrukcí a základů s běžným rizikem a jednoduchými základovými poměry či podmínkami zatížení; posouzení návrhu vyžaduje obvykle kvantitativní geotechnické údaje a příslušné výpočty k ujištění, že základní požadavky mezních stavů jsou splněny.“^[2] Lze sem zařadit většinu plošných základů, a to i pod hladinou podzemní vody (pokud se nejedná o extrémně složité stavby či základové poměry), ale také piloty, dočasné kotvy nebo tunely v tvrdých horninách.

3. geotechnická kategorie

„Tato kategorie zahrnuje pak konstrukce, jež nespádají do 1. a 2. GK, tj. konstrukce s neobvyklým rizikem, kdy návrh a posouzení základů vyžaduje specializovaný průzkum a obvykle i polní zkoušky.“^[2] Za typické představitele této kategorie lze označit trvalé kotvy, většinu tunelů nebo hráze nad 15 metrů výšky.

2.3.1 Zjednodušený statický výpočet

Pokud budeme předpokládat, že je základová deska tuhá, bude průběh napětí v základové spáře přibližně konstantní. Toto zjednodušení umožňuje posoudit jak mezní stav únosnosti, tak mezní stav použitelnosti konstrukce pouze ručním výpočtem bez použití výpočetních programů. Jelikož však většina základových desek je spíše poddajná, bude především výpočet MSP pouze orientační, a proto je možné jej využít pouze u 1. GK nebo pro předběžné dimenzování základových konstrukcí.

Zda je konstrukce tuhá či poddajná lze určit ze vztahu:^[2]

$$k = \left(\frac{E_b}{E_{def,pr}} \right) \times \left(\frac{t}{B} \right)^3, \text{ resp. } k = \left(\frac{E_b}{E_{def,pr}} \right) \times \left(\frac{t}{L} \right)^3$$

kde: E_b = modul pružnosti betonu základu

$E_{def,pr}$ = průměrná velikost modulu deformace základové půdy do hloubky $2B$ pod základovou spáru

t = tloušťka základu

B a L = půdorysné rozměry základu ve směru, pro který se tuhost počítá

Pokud $k < 1$ je základ poddajný, jestliže $k > 1$ je základ tuhý.

Podrobnější popis výpočtu MSÚ je uveden v kapitole „Metoda statická“.

2.3.2 Výpočetní model pro netuhé základy

Jestliže základová konstrukce není tuhá, je třeba stanovit průběh napětí v základové spáře matematickým modelováním. K tomuto účelu bylo vyvinuto mnoho komerčních programů, za všechny jmenujme program GEO5 od české společnosti Fine, který byl využit pro návrh desky u objektu řešeného v této práci.

Tyto modely využívají metody konečných prvků (celá konstrukce se rozdělí na dílky definované velikosti a požadované hodnoty jsou určovány v uzlových bodech) pro dimenzování základových konstrukcí. K určení chování základové půdy se poté využívají různé pružnostní modely, např. tzv. Winkler-Pasternakův model pružné vrstvy. Podrobnější popis

výpočetního modelu použitého pro návrh základových desek objektů řešených v této práci je uveden v kapitole „Metoda pružnosti“.

2.3.3 Winkler-Pasternakův model pružné vrstvy

Modelů zabývajících se pružnou vrstvou podloží existuje několik (např. Boussinesqův model nebo Westegaardův model ^[18]). Winkler-Pasternakův model je zde zmíněn, neboť na jeho principu funguje modelování podloží v programu GEO5, který, jak již bylo výše zmíněno, byl použit pro dimenzování základových desek v praktické části této diplomové práce.

„Původní Winklerův model podloží předpokládá, že reakce podloží je přímo úměrná zatlačení nosníku (desky, základu, konstrukce) do podloží.“^[17]

Platí, že:^[17]

$$p(x, y) = Cw(x, y)$$

kde: $p(x, y)$ = reakce podloží [kNm^{-2}]

C = součinitel stlačitelnosti podloží [kNm^{-3}]

$w(x, y)$ = průhyb nosníku (konstrukce) [m]

„Winklerův model je jednoparametrický model. Lze jej znázornit jako soubor pružin samostatně působících na kontaktu základu a podloží. Tam, kde kontakt není, tj. mimo základ, se pružiny nedeformují, což neodpovídá realitě. Winklerův model se pro svou jednoduchost přes zjednodušení a nedostatky v praxi často používá.“^[17]

Model, který odstraňuje výše zmíněné nedostatky a přibližuje se reálnému chování podloží, se nazývá Winkler-Pasternakův (někdy též jen Pasternakův). *„Kromě normálových sil uvažuje v podloží i se smykovými silami. Nespojitě zaboření objektu dle Winklera je u Pasternaka nahrazeno průhybovou kotlinou. Pasternakův model je dvojparametrický“^[17]*

Platí, že:^[17]

$$p(x, y) = C_1w(x, y) - C_2 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

Reakce podloží je zde funkcí:

- parametru C_1 [kNm^{-3}] – součinitel poddajnosti podkladu
- parametru C_2 [kNm^{-1}] – součinitel přenášení smykových sil

3 Cíle práce

Cíl první

Prvním cílem této práce je nadimenzovat železobetonovou základovou desku založenou na tepelné izolaci z extrudovaného polystyrenu. Především její potřebnou tloušťku a vyztužení s ohledem na napětí vzniklé deformací XPS a základové zeminy. Deska bude posuzována ve dvou provedeních – s konstantní tloušťkou a jako žebrová se ztenčením v oblasti mimo nosné stěny.

Cíl druhý

Druhým cílem této práce je vytvoření technologického postupu pro realizaci základů touto technologií včetně návržení konstrukčních detailů a tepelně-technického posouzení.

Cíl třetí

Posledním cílem této práce je ekonomické porovnání této moderní technologie s konvenčním řešením zakládání na betonových pasech a se založením na drti z pěnového skla.

4 Metody

4.1 Metoda statická

Pro návrh základových prvků touto metodou je nutné zjednodušení průběhu kontaktního napětí v základové spáře na konstantní. Jelikož základové desky nejsou zpravidla dle vztahu uvedeného v kapitole „Zjednodušený statický výpočet“ tuhé (na rozdíl třeba od patek), je níže uveden pouze návrh dle mezního stavu únosnosti, neboť návrh dle mezního stavu použitelnosti by byl zatížen značnou chybou.

Následující výpočet vychází z ČSN EN 1997-1^[12] a příkladů uvedených ve skriptech Zakládání staveb 1.^[2]

Pro navrhování základových prvků na mezní stav únosnosti je třeba používat návrhové hodnoty zatížení (F_d , M_d). Nejprve je nutné určit excentricitu zatížení (e) vzhledem k těžišti základové spáry. Protože moment kolem svislé osy z je u desky obvykle roven nule, stanovujeme pouze excentricitu e_x a e_y ze vztahů:

$$e_x = M_{yd}/F_{zd} \text{ a } e_y = M_{xd}/F_{zd}$$

kde: M_{yd} = moment okolo osy y

M_{xd} = moment okolo osy x

F_{zd} = vertikální složka zatížení

Tyto složky musí splnit podmínku stability:

$$(e_x/B)^2 + (e_y/L)^2 \leq (1/3)^2$$

kde: B a L = půdorysné rozměry základové desky

Pro MSÚ se uvažuje konstantní průběh napětí v základové spáře (σ_d), tudíž se počítá s tzv. efektivní plochou základové spáry (A_{ef}):

$$A_{ef} = B_{ef} \cdot L_{ef}; B_{ef} = B - 2e_x \text{ a } L_{ef} = L - 2e_y$$

Pro napětí v základové spáře platí vztah:

$$\sigma_d = F_{zd}/A_{ef} \leq R_d/\gamma_{RV}$$

kde: R_d = návrhová únosnost základové spáry

γ_{RV} = dílčí součinitel únosnosti pro plošné základy

Pokud zakládáme na jemnozrnných zeminách třídy F, stanovuje se návrhová únosnost jednak pro neodvodněné podmínky, a také pro odvodněné podmínky. Zakládání staveb na extrudovaném polystyrenu předpokládá dostatečnou vzdálenost základové spáry od hladiny podzemní vody, proto je dále uveden postup pouze pro odvodněné podmínky.

Návrhová únosnost (R_d) pro odvodněné podmínky se stanoví ze vztahu:

$$R_d = c_{ef} N_c b_c s_c i_c + \gamma_1 D N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma_2 B_{ef} N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

kde: c_{ef} = efektivní soudržnost zeminy

γ_1 = objemová tíha zeminy nad základovou spárou

D = hloubka založení

γ_2 = objemová tíha zeminy pod základovou spárou do hloubky $2,5 B_{ef}$

N_c, N_q, N_γ = koeficienty únosnosti zeminy

b_c, b_q, b_γ = vliv sklonu základové spáry

s_c, s_q, s_γ = vliv tvaru základu

i_c, i_q, i_γ = vliv sklonu normálové síly

$$N_q = e^{\pi tg\varphi} tg^2(45 + \frac{\varphi}{2}); N_c = (N_q - 1) \cdot \cotg\varphi; N_\gamma = 2(N_q - 1) \cdot tg\varphi$$

kde: φ = efektivní úhel vnitřního tření zeminy

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot tg\varphi)^2; b_c = b_q - \frac{(1-b_q)}{(N_c \cdot tg\varphi)}$$

kde: α = úhel sklonu základové spáry (od horizontální roviny)

$$s_q = 1 + \left(\frac{B_{ef}}{L_{ef}}\right) \cdot \sin\varphi; s_c = \frac{(s_q N_q - 1)}{(N_q - 1)}; s_\gamma = 1 - 0,3 \left(\frac{B_{ef}}{L_{ef}}\right)$$

$$i_q = \left(\frac{1-H_d}{F_{zd} + A_{ef} \cdot c_{ef} \cdot \cotg\varphi}\right)^m; i_c = i_q - \frac{1-i_q}{N_c \cdot tg\varphi}; i_\gamma = \left(\frac{1-H_d}{F_{zd} + A_{ef} \cdot c_{ef} \cdot \cotg\varphi}\right)^{m+1}$$

kde: H_d = horizontální složka zatížení

$$m = m_x = \frac{2 + (B_{ef}/L_{ef})}{1 + (B_{ef}/L_{ef})}, \text{ pokud } H_d \text{ je ve směru } B$$

$$m = m_y = \frac{2+(L_{ef}/B_{ef})}{1+(L_{ef}/B_{ef})}, \text{ pokud } H_d \text{ je ve směru } L$$

$$m = m_\varepsilon = m_y \cdot \cos^2 \varepsilon + m_x \cdot \sin^2 \varepsilon, \text{ pokud } H_d \text{ svírá s osou } y \text{ úhel } \varepsilon$$

Napětí v základové spáře (σ_d) je nutno porovnat nejen s návrhovou únosností základové spáry (R_d/γ_{RV}), ale také s pevností v tlaku při 2% stlačení vybraného extrudovaného polystyrenu. Pokud návrh vyhoví, nemělo by dojít k porušení stavby ohrožujícímu její stabilitu.

V případě základových desek u menších staveb typu rodinného domu by nemělo dojít k usmyknutí základu, ale pro jistotu to lze posoudit dle vztahu:

$$\frac{A_{ef} \cdot R_{dh}}{\gamma_{Rh}} = \frac{F_{zd} \cdot \tan \varphi_d + c_d \cdot A_{ef} + S_{pd}}{\gamma_{Rh}} \geq H_d$$

kde: R_{dh} = návrhová únosnost základové spáry ve vodorovném směru

S_{pd} = vodorovná návrhová složka zemního odporu uvažovaná na výšku základu

γ_{Rh} = dílčí součinitel únosnosti pro plošné základy

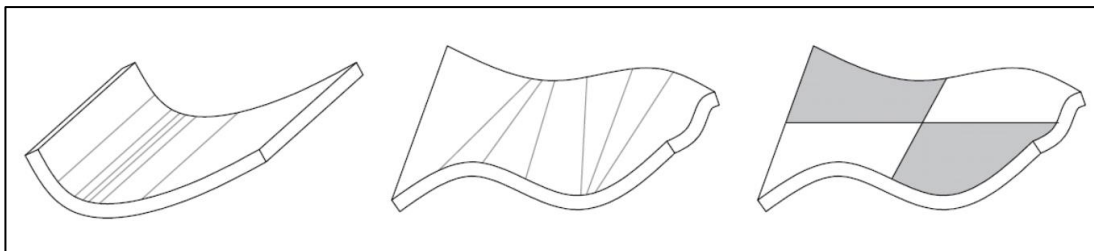
φ_d = výpočtový úhel vnitřního tření zeminy

c_d = výpočtová hodnota soudržnosti

Vyztužení základové desky je možné navrhnout obdobně jako u stropní desky. Je třeba zvolit vhodný model zatížení dle geometrie konstrukcí, nejčastěji půjde o spojitý kloubově uložený nosník. Pro větší přesnost i bezpečnost návrhu je výhodné vytvořit více zatěžovacích kombinací s uvážením proměnného užitého zatížení působícího ve směru zemské tíhy, ale také tlaku od zeminy působícím ve směru opačném. Vyztužení desky se poté navrhne na obálku vnitřních sil a momentů od jednotlivých zatěžovacích stavů.

Problémem tohoto zjednodušeného návrhu může být zanedbání kroutícího momentu, neboť základové desky, pokud nejsou tuze spojeny s železobetonovou stěnou, nemají dostatečnou tuhost, aby bylo zabráněno jejich kroucení. Minimálním opatřením je vyztužení rohů desky jak při

spodním, tak při horním okraji, neboť v závislosti na zatížení mohou být obě strany tažené i tlačené. Ilustrace vlivu kroutících momentů je na obrázku 9.



Obr. 9: Namáhání desky ohybem (vlevo) a kroucením (uprostřed); tažené/tlačené kvadranty krouceného prvku (vpravo); (převzato z [16])

4.2 Metoda pružnostní

Pro přesnější návrh základové desky, který bude více odpovídat realitě, je nutné zahrnout do výpočtu pružné chování zeminou a tuhost základové konstrukce. Navíc je třeba uvažovat interakci mezi zeminou a základem. Vzhledem k tomu, že takovýto výpočet vyžaduje použití metody konečných prvků, je výhodné použít výpočetní software, kterých je na trhu k dispozici hned několik. Níže popsany postup je použit v programu GEO5.

Nejprve musíme vytvořit geometrický model konstrukce, to znamená definovat uzlové body, které jsou spojeny hraničními liniemi, jež definují okraje makroprvků. Následně necháme automaticky vygenerovat síť pro metodu konečných prvků – zvolíme typ sítě a velikost prvku. Pokud má základová deska nějaké pevné podpory, tak je umístíme k příslušné linii či bodu.

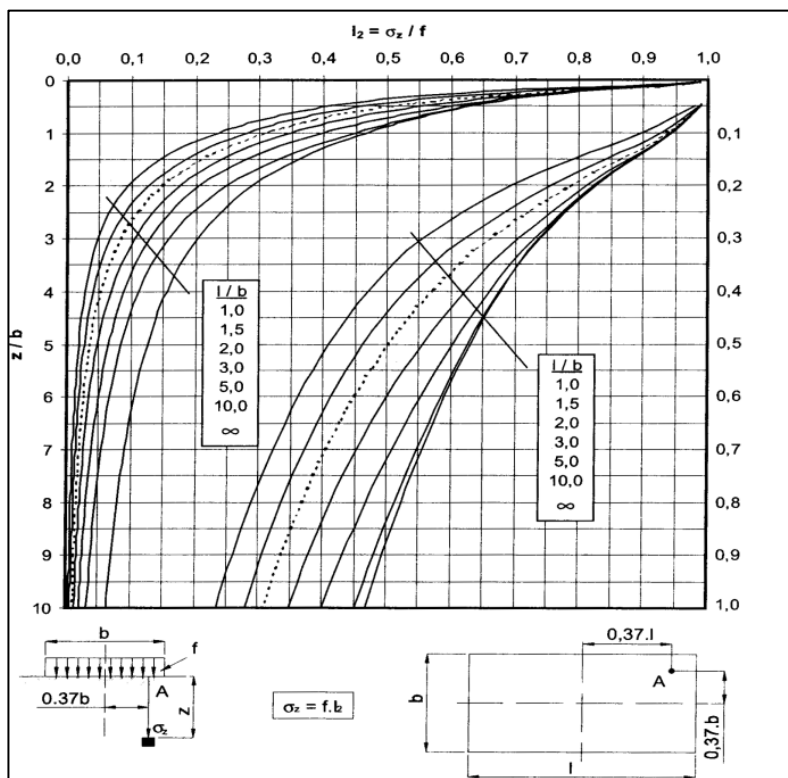
Poté přiřadíme k jednotlivým makroprvkům, liniím i bodům jejich zatížení (plošné, lineární, osamělou sílu), které má danou velikost a směr. Lze vytvářet různé zatěžovací stavy (stálé, proměnné apod.) i kombinace zatížení (jak pro MSÚ, tak pro MSP) s rozdílnými hodnotami bezpečnostních součinitelů.

U makroprvků předepisujeme jejich tloušťku a materiál, ze kterého jsou vyrobeny (nejčastěji typ betonu). Aby vypočtené hodnoty odpovídaly realitě, je třeba správně nadefinovat podloží makroprvků, což je nejsložitější část vytváření modelu. Program GEO5 pracuje s Winkler-Pasternakovým modelem pružné vrstvy, tudíž je třeba zadat parametry C_1 a C_2 . GEO5 umí

tyto parametry dopočítat z přetvárných charakteristik zemin. „V programu se Winkler-Pasternakovy konstanty C_1 a C_2 počítají z podmínky rovnosti matic poddajnosti nekonečně tuhého nekonečného základového pásu spočívajícího na Winkler-Pasternakově podloží a na pružné vrstvě.“^[29] K tomuto výpočtu je nutné zadat modul deformace zeminy (E_{def}), Poissonovo číslo (ν) a hloubku deformační zóny (z , v programu označeno H).

Protože program GEO5 počítá pouze s jednou vrstvou zeminy, je nutné zadat průměrný modul deformace zeminy (E_{def}) vypočtený z váženého průměru modulů jednotlivých vrstev (váhou je tloušťka vrstvy) a stejným způsobem určit i průměrné Poissonovo číslo.

Nejsložitější je stanovení hloubky deformační vrstvy, která závisí na zatížení, rozměrech a geometrii základu, a také na typu základové zeminy. Pro účely této práce byla hloubka deformační zóny stanovena pomocí průběhu příčinkového součinitele I_2 pro charakteristický bod obdélníka (viz obr. 10).



Obr. 10: Průběh příčinkového součinitele sedání I_2 pro charakteristický bod obdélníka (převzato z [2])

Předpokládáme-li, že deformační zóna končí v hloubce, kde již nedojde k žádnému sedání (stlačení další vrstvy), můžeme vyjít ze vztahu pro výpočet celkového sedání stavby:^[2]

$$s = \sum_{i=1}^n (\sigma_{z,i} - m \cdot \sigma_{or,i}) \cdot h_i / E_{oed,i}$$

kde: $\sigma_{z,i}$ = svislá složka napětí od přitížení v základové spáře ve středu i-té vrstvy

$\sigma_{or,i}$ = původní geostatické napětí ve středu i-té vrstvy

m = opravný součinitel přitížení vlivem strukturní pevnosti zeminy

h_i = mocnost i-té vrstvy

$E_{oed,i}$ = charakteristická velikost oedometrického modulu přetvárnosti i-té vrstvy

Z výše uvedené rovnice vyplývá, že sedání bude nulové v případě, že se $\sigma_{z,i} = m \cdot \sigma_{or,i}$. Součinitel m odečteme z tabulek (pro většinu zemín $m = 0,2$) a pro napětí platí tyto vztahy:^[2]

$$\sigma_{or,i} = \gamma \cdot (D + z_i) \text{ a } \sigma_{z,i} = (\sigma_0 - \gamma \cdot D) \cdot I_2$$

kde: γ = objemová tíha zeminy

D = hloubka založení

z_i = vzdálenost od základové spáry do středu počítané vrstvy

σ_0 = napětí vyvolané zatížením od stavby

I_2 = příčinníkový součinitel pro charakteristický bod obdélníka

Hloubka založení stavby a objemová tíha zeminy jsou známé veličiny, ale napětí vyvolané zatížením stavby můžeme pouze odhadnout (pokud budeme uvažovat konstantní průběh) a I_2 závisí na z , které je pro nás neznámou. Jediným způsobem, jak tuto problematiku vyřešit, je odhadnout velikost z (pro běžné zeminy a zatížení je optimální u základové desky volit $z = 0,5B$, kde B je menší půdorysný rozměr desky). Poté lze vypočítat $\sigma_{or,i}$ a předběžně nechat vykreslit napětí v základové spáře, jehož průměrnou

hodnotu můžeme označit jako σ_0 . Úpravou výše uvedených vztahů získáme vzorec pro výpočet l_2 :

$$l_2 = \frac{m \cdot \sigma_{or}}{\sigma_z} = \frac{m \cdot \gamma \cdot (D + z)}{\sigma_0 - \gamma \cdot D}$$

Pro hodnotu l_2 odečteme z grafu na obrázku 10 příslušný poměr z/b (jednotlivé křivky odpovídají různým poměrům L/B základové desky) a ten vynásobíme šířkou B , čímž získáme hloubku deformační zóny (z), pokud se neshoduje s předpokládanou hodnotou, opakujeme celý postup, přičemž zvolíme buď větší nebo menší z (podle toho, zda byla vypočtená hodnota větší nebo menší, než předpokládaná). Touto postupnou iterací určíme výslednou hloubku deformační zóny.

Posledním krokem k dimenzování desky je nastavení druhu armování (typ a materiál) a jeho umístění vzhledem k líci desky pro horní i spodní výztuž (vzdálenost těžiště horní i spodní výztuže od povrchu desky).

Ze zadaných parametrů vypočítá program GEO5 vnitřní síly (momenty, posouvající případně normálové síly), napětí v základové spáře, celkové sedání objektu, podle dimenzačních momentů (zahrnují ohybové i kroutící momenty) určí potřebnou plochu výztuže v průřezu (resp. stupeň vyztužení) a z posouvajících sil stanoví potřebnou plochu smykové výztuže na m^2 plochy, pokud je třeba.

5 Praktická část

Tato část diplomové práce je věnována dimenzování základové desky a technologickému návrhu pro její provedení u konkrétní stavby rodinného domku. Výsledný návrh je poté posouzen na prostup tepla konstrukcí, a to jak v ploše, tak v napojení desky na obvodové konstrukce, a ekonomicky porovnán s jinými možnými způsoby založení.

5.1 Dimenzování základové desky

Zásadním předpokladem použití založení na XPS je splnění podmínek pro mezní stav únosnosti (MSÚ) i mezní stav použitelnosti (MSP). Proto je nezbytné navrhnout geometrii a vyztužení základové desky tak, aby nedošlo k jejímu poškození vlivem zatížení a jím způsobené deformace podloží včetně stlačení vrstvy XPS. Zároveň je nezbytné posoudit, zda v základové spáře nevznikne větší zatížení, než je únosnost použitého materiálu při 2% stlačení.

5.1.1 Popis řešené stavby

Návrh základových konstrukcí bude řešen pro dvoupodlažní stavbu rodinného domku budovaného v pasivním standardu na rovinatém pozemku na okraji města Turnov.

Vertikální nosné konstrukce stavby jsou tvořeny pórobetonovými tvárnicemi YTONG o tloušťce 200 mm u obvodových nosných zdí a 300 mm u středové nosné zdi. Horizontální nosné konstrukce (strop nad 1. NP a nosná konstrukce zastřešení) jsou navrženy jako spřažené dřevo-betonové stropy (dřevěný KVH trám a tenká ŽB deska) uložené na obvodovém železobetonovém ztužujícím věnci.

Zastřešení objektu je řešeno jako tzv. zelená střecha sestávající z těchto vrstev (řazeno od exteriéru k interiéru): pěstební substrát (cca 70 mm), filtrační geotextílie, nopová fólie, ochranná geotextílie, spádové klíny z EPS (20 až 100 mm), tepelná izolace z EPS (200 mm), parozábrana. Celá skladba spočívá na již zmíněném spřaženém dřevo-betonovém stropě.

K zateplení obvodových stěn jsou navrženy desky z EPS tloušťky 160 mm. Jako výplně otvorů slouží plastová okna s trojsklem (sedmikomorové

profily) a plastové dveře (pětikomorové profily). Vnější omítka je silikátová, vnitřní omítky jsou pak sádrové.

Vertikální nenosné konstrukce (příčky) jsou navrženy jednak z pórobetonových tvárnic YTONG (tloušťky do 150 mm) a také ze sádkokartonů s ocelovou pozinkovanou nosnou konstrukcí. Skladba podlahového souvrství v 2. NP je vytvořena tak, aby byly vyloučeny mokré procesy a sestává z: vinylové podlahy položené na mirelonové podkladní vrstvě (ekvivalentně keramické dlažby lepené cementovým lepidlem), dvou vrstev prolepených OSB desek (2 x 20 mm) a kročejové izolace (40 mm). Podlahové souvrství v 1. NP se skládá z: keramické dlažby lepené cementovým lepidlem, cementového potěru (50 mm), separační fólie, kročejové izolace (40 mm) a hydroizolace (u desky s konstantním průřezem může být hydroizolace pod ŽB deskou).

Řez objektem a výkresy půdorysu prvního a druhého podlaží jsou zobrazeny v příloze 1 této diplomové práce. Základové konstrukce jsou předmětem návrhu a budou dále popsány v příslušných kapitolách.

5.1.2 Okrajové podmínky návrhu

Rodinný dům je založen na vrstvě zeminy (mocnost vrstvy min. 4 m) třídy F4 (písčité jíly) pevné konzistence, jejíž základní parametry jsou uvedeny v tabulce 8. Maximální hladina podzemní vody v místě stavby je více jak 5 m pod úrovní terénu.

Tab. 8: Základní parametry zeminy F4

Třída	Symbol	Charakteristika	Konzistence						
			měkká	tuhá	pevná		tvrdá		
			-	-	Sr > 0,8	Sr < 0,8	Sr > 0,8	Sr < 0,8	
F4	CS	v, β, γ	kN/m ³ v = 0,35; β = 0,62; γ = 18,0						
		E _{def}	MPa	2,5 až 4	4 až 6	5 až 8	8 až 12	vyšetří se zkouškami	
		c _u	kPa	30	50	70	70 až 80		
		φ _u	°	0	0	5	8 až 14		
		c _{ef}	kPa	10 až 18		14 až 22	22 až 44	22 až 30	zkouška
		φ _{ef}	°	22 až 27					

Data uvedená v tabulce převzata z [33]

Okolí města Turnova se nachází ve sněhové oblasti 3^[47], což znamená charakteristickou hodnotu zatížení sněhem s_k = 1,5 kPa.

Jako materiál pro tepelnou izolaci pod základovou deskou byl zvolen Styrodur 4000 CS (parametry viz tabulka 5) a Isover EPS SOKL 3000 (parametry viz tabulka 9). Základové desky jsou navrženy z betonu C25/30 s vyztužením z ocelových prutů či KARI sítí z betonářské výztuže B500B (parametry viz přílohy 3 a 4).

Tab. 9: Základní parametry výrobku Isover EPS SOKL 3000

Vlastnost	Hodnota	Jednotky
Rozměr desek (výrobní)	1250 x 600	mm
Tloušťka desek	30 až 300	mm
Pevnost v tlaku při 10% stlačení	150	kPa
Pevnost v tlaku při 2% stlačení	30	kPa
Tvar hrany desek	Rovná hrana	-
Objemová hmotnost	25	kg/m ³
Součinitel tepelné vodivosti (λ)	0,035	W/(m*K)
Ceníková cena (bez DPH)	3800	Kč/m ³

Data uvedená v tabulce převzata z [37], a [39]

5.1.3 Zatížení

Na navrhovanou desku působí několik různých zatížení. Ze stálých zatížení (G) je to vlastní tíha všech konstrukcí nad deskou i desky samotné. Z proměnných (Q) pak užité zatížení a zatížení sněhem. Zatížení větrem bylo pro poměrně malou výšku budovy v návrhu zanedbáno.

Zatížení sněhem

Dle normy ČSN EN 1991-1-3^[10] se celkové zatížení sněhem stanoví ze vztahu:

$$S = c_e \cdot c_t \cdot s_k \cdot \mu_k$$

kde: c_e = součinitel expozice

c_t = součinitel teploty

s_k = charakteristická hodnota zatížení sněhem pro danou oblast

μ_k = tvarový součinitel zatížení sněhem

Pro navrhovanou stavbu se $c_e = 1$ i $c_t = 1$. Charakteristická hodnota zatížení sněhem pro Turnov a okolí je 1,5 kPa a tvarový součinitel pro střechy se sklonem do 30° je 0,8. Dosazením do výše uvedeného vztahu získáme hodnotu zatížení sněhem:

$$s = 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \rightarrow s = 1,2 \text{ kPa (kN/m}^2\text{)}$$

Jelikož se jedná o tvarově jednoduchou plochou střechu, byl při návrhu uvažován pouze jeden zatěžovací stav, a to rovnoměrné zatížení celé střechy.

Užitné zatížení

Dle normy ČSN EN 1991-1-1^[9] spadá rodinný dům do kategorie A (plochy pro domácí a obytné činnosti), kde je stanoveno charakteristické užitné zatížení $q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$. Při návrhu je toto zatížení uvažováno i na střeše – zohlednění zatížení při odklizení sněhu či montážních pracích.

Zatížení vlastní tíhou konstrukcí

Veškerá tíha konstrukcí vrchní stavby se přes nosné zdi přenáší do základové desky, v následujících tabulkách je uvedeno zatížení od střešní konstrukce, konstrukce stropu nad 1. NP (včetně skladby podlahy), zatížení od skladby podlahy 1. NP a zatížení od obvodových stěn a vnitřní nosné stěny.

Tab. 10: Zatížení od skladby střešní konstrukce

Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Objemová tíha	Plošné zatížení
	[mm]	[kN/m ³]	[kN/m ²]
Pěstební substrát	70	5,0	0,350
Filtrační geotextílie	< 1	-	0,002
Nopová fólie	20	-	0,010
Ochranná geotextílie	1	-	0,003
EPS - spádové klíny	Ø 60	0,3	0,018
EPS - tepelná izolace	200	0,3	0,060
Parozábrana	< 1	-	0,001
Železobetonová deska	50	25,0	1,250
Celkem			1,694

Tab. 11: Zatížení od trámů stropu (střecha a strop nad 1. NP)

Název vrstvy	Rozměry vrstvy	Objemová tíha	Liniové zatížení
	[mm]	[kN/m ³]	[kN/m]
KVH hranol	200 x 140	3,5	0,098

Tab. 12: Zatížení od skladby stropu nad 1. NP

Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Objemová tíha	Plošné zatížení
	[mm]	[kN/m ³]	[kN/m ²]
Dlažba keramická	10	22,0	0,220
Lepidlo na dlažbu	5	13,0	0,065
OSB - 2 vrstvy (2 x 20 mm)	40	6,0	0,240
Kročejová izolace	40	1,4	0,056
Železobetonová deska	50	25,0	1,250
Celkem			1,831

Tab. 13: Zatížení od skladby podlahy 1. NP

Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Objemová tíha	Plošné zatížení
	[mm]	[kN/m ³]	[kN/m ²]
Dlažba keramická	10	22,0	0,220
Lepidlo na dlažbu	5	13,0	0,065
Cementový potěr	50	25,0	1,250
Separáční fólie	< 1	-	0,002
Kročejová izolace	40	1,4	0,056
Hydroizolace	5	11,0	0,055
Celkem			1,648

Tab. 14: Zatížení od vnitřní nosné stěny

Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Objemová tíha	Plošné zatížení
	[mm]	[kN/m ³]	[kN/m ²]
Sádrová omítka	3	12,0	0,036
Porobetonové tvárnice	300	5,5	1,650
Sádrová omítka	3	12,0	0,036
Celkem			1,722

Tab. 15: Zatížení od obvodových nosných stěn

Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Objemová tíha	Plošné zatížení
	[mm]	[kN/m ³]	[kN/m ²]
Silikátová omítka	3	17,0	0,051
Stěrka s perlínkou	5	15,0	0,075
EPS 100	160	0,2	0,024
Lepidlo	10	15,0	0,150
Porobetonové tvárnice	200	5,5	1,100
Sádrová omítka	7	12,0	0,084
Celkem			1,484

Zatížení vlastní tíhou desky vypočítává program GEO5 sám dle návrhu geometrie desky. Snížení zatížení od stěn vlivem otvorů v nich bylo zanedbáno stejně jako zatížení od nenosných příček v objektu. Pro zjednodušení návrhu je zatížení od schodiště nahrazeno zanedbáním otvoru ve stropní desce nad 1. NP.

Výpočet liniového zatížení desky

Kromě skladby podlahy a užitého zatížení v 1. NP působí všechna zatížení na základovou desku přes nosné stěny, ve zjednodušeném modelu tak vzniká liniové zatížení desky v oblasti pod těmito stěnami. Velikost tohoto zatížení určíme ze zatěžovacích ploch jednotlivých stropních desek (tyto plochy jsou zobrazeny v příloze 2 této práce) a tíhy příslušných nosných zdí. Vzorec pro výpočet proměnného zatížení pak vypadá následovně:

$$q_{k,x} = \left\{ \left(\sum_{i=1}^n Q_{i,c} \right) \cdot A_{c,x} + \left(\sum_{i=1}^n Q_{i,r} \right) \cdot A_{r,x} \right\} / L_x$$

- kde: $q_{k,x}$ = liniové charakteristické proměnné zatížení pod stěnou x
 $Q_{i,c}$ = plošné charakteristické proměnné zatížení stropu (ceiling)
 $Q_{i,r}$ = plošné charakteristické proměnné zatížení střechy (roof)
 $A_{c,x}$ = zatěžovací plocha stropu (ceiling) příslušná stěně x
 $A_{r,x}$ = zatěžovací plocha střechy (roof) příslušná stěně x
 L_x = délka stěny x

A stálé zatížení se vypočte dle vzorce:

$$g_{k,x} = \frac{\{(\sum_{i=1}^n G_{i,c}) \cdot A_{c,x} + (\sum_{i=1}^n G_{i,r}) \cdot A_{r,x}\} + \{l_{b,x} \cdot g_b\}}{L_x} + h_{w,x} \cdot G_w$$

kde: $g_{k,x}$ = liniové charakteristické stálé zatížení pod stěnou x

$G_{i,c}$ = plošné charakteristické stálé zatížení stropu (ceiling)

$G_{i,r}$ = plošné charakteristické stálé zatížení střechy (roof)

g_b = tíha 1 bm stropního trámu (beam)

G_w = tíha 1 m² zdi (wall)

$l_{b,x}$ = součet délek trámů v příslušné zatěžovací ploše

$h_{w,x}$ = výška příslušné zdi

Pro výše uvedené výpočty platí předpoklad, že síly od stropních konstrukcí se ve stěnách rovnoměrně rozloží a vznikne tak konstantní liniové zatížení po celé délce stěny. V následujících tabulkách je zobrazeno zatížení pro jednotlivé stěny.

Tab. 16: Proměnné liniové zatížení působící pod jednotlivými stěnami

		A	Qi		L	qk,i
		[m ²]	[kN/m ²]		[m]	[kN/m]
			Sníh	Užitné		
Stěna A	Strop	14,425	-	1,5	8	2,70
	Střecha	16,488	1,2	1,5	8	5,56
	Celkem					8,27
Stěna B	Strop	3,500	-	1,5	8	0,66
	Střecha	5,250	1,2	1,5	8	1,77
	Celkem					2,43
Stěna C	Strop	28,150	-	1,5	8	5,28
	Střecha	28,775	1,2	1,5	8	9,71
	Celkem					14,99

Tab. 17: Stálé liniové zatížení působící pod jednotlivými stěnami

		A	Gi	γ	h, l	L	qk,i
		[m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ³]	[m]	[m]	[kN/m]
Stěna A	Strop	14,425	1,831	-	-	8	3,30
	Střecha	16,488	1,694	-	-	8	3,49
	Trám	0,028	-	3,5	29,2	8	0,36
	Stěna	-	1,484	-	5,7	-	8,46
	Celkem						
Stěna B	Strop	3,500	1,831	-	-	8	0,80
	Střecha	5,250	1,694	-	-	8	1,11
	Stěna	-	1,484	-	5,7	-	8,46
	Celkem						
Stěna C	Strop	28,150	1,831	-	-	8	6,44
	Střecha	28,775	1,694	-	-	8	6,09
	Trám	0,028	-	3,5	58,4	8	0,72
	Stěna	-	1,752	-	5,7	-	9,99
	Celkem						

Označení A přísluší obvodové nosné stěně, na níž spočívají stropní trámy, označení B patří obvodové nosné stěně, do které se nepřenáší zatížení od stropů přes trámy, písmenem C je pak označena vnitřní nosná stěna (viz příloha 2 této práce).

Kromě těchto liniových zatížení působí na základovou desku ještě plošná zatížení v 1. NP (užitné zatížení a zatížení od skladby podlahy) a její vlastní tíha.

5.1.4 Návrh desky konstantního průřezu

Návrh základové desky byl vytvořen dle pružnostní metody popsané výše. Základní rozměry desky vycházejí z architektonického řešení stavby, které předpokládá čtvercový půdorys o délce strany 8 m. Tloušťka desky byla stanovena na 0,3 m v celé ploše, jako základní materiál byl určen beton C25/30 a pro vyztužení byly vybrány KARI síť z betonářské oceli B500B.

Jelikož má deska konstantní průřez, bylo možné počítat s ní jako s jedním makroprvkem. K okrajům desky a ke středové linii v místě vnitřní nosné stěny byla přiřazena příslušná liniová zatížení (viz předchozí kapitola) a na celou plochu makroprvku bylo umístěno užité zatížení a zatížení od skladby podlahy 1. NP. Následně byly definovány kombinace pro MSÚ a MSP, pro každý mezní stav byla uvažována pouze jedna kombinace obsahující veškerá zatížení v plné výši. Pro MSÚ byly součinitele zatížení stanoveny $\gamma_G = 1,35$ a $\gamma_Q = 1,5$, pro MSP se $\gamma_G = \gamma_Q = 1,0$ (dle ČSN EN 1990^[8]).

Základovou půdu pod stavbou tvoří tuhý písčité jíly třídy F4, který má velice podobné vlastnosti jako Styrodur 4000 CS (modul pružnosti, pevnost v tlaku), tudíž nebylo nutné stanovovat průměrný modul deformace zeminy (E_{def}) a do výpočtu byl zadán $E_{def} = 6,2$ MPa, který odpovídá oedometrickému modulu 10 MPa (jestliže $\beta = 0,62$). Postupnou iterací byla poté určena hloubka deformační zóny $H = 3,5$ m.

$$I_2 = \frac{m \cdot \gamma \cdot (D + z)}{\sigma_0 - \gamma \cdot D} = \frac{0,2 \cdot 18,5 \cdot (0,2 + 3,5)}{35 - 18,5 \cdot 0,2} = 0,44$$

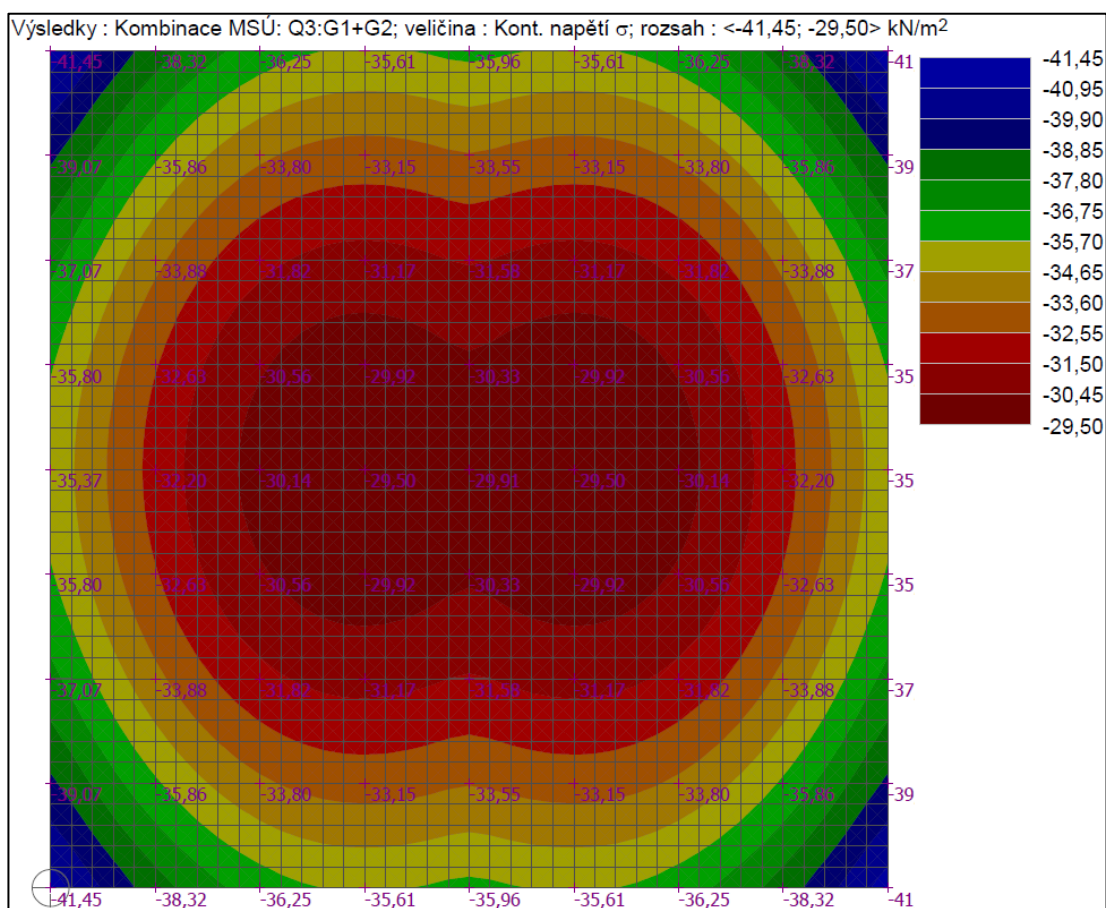
Odečtením hodnoty I_2 pro příslušnou křivku z grafu na obr. 10 byl stanoven poměr $z/b = 0,45$, a jestliže $b = 8$ m, potom $z = 0,45 \cdot 8 = 3,6$ m. Hodnoty se liší o 0,1 m, což je vzhledem k přesnosti výpočtu a odečítání z grafu zanedbatelný rozdíl.

Nakonec bylo nezbytné zadat polohu těžiště ohybové výztuže vůči povrchu desky. Pro účely výpočtu byla určena hodnota 30 mm pro obě strany desky i oba směry výztuže, což je reálně nemožné (křížení výztuže), ale pro orientační výpočet potřebné plochy výztuže při neznámém průměru to postačí a ve skutečnosti pak může být jedna z výztuží blíže k povrchu (cca 25 až 20 mm), což bude znamenat ještě vyšší únosnost desky (jsme tedy na straně bezpečné) a krytí by nemělo klesnout pod 15 mm.

Ze zadaných hodnot vypočítal program GEO5 napětí v základové spáře, celkové sedání konstrukce a veškeré vnitřní síly a momenty působící v desce. Na základě těchto výsledků pak stanovil potřebnou plochu výztuže v jednotlivých částech desky.

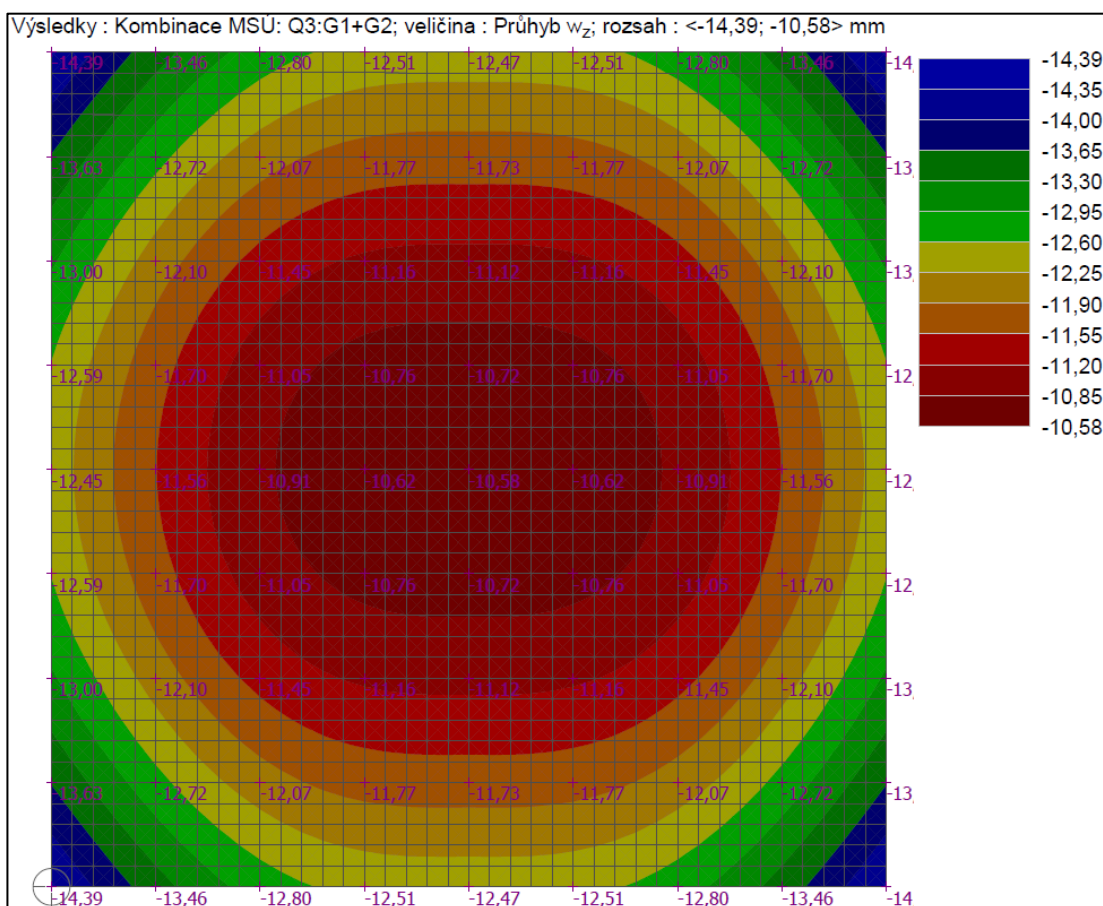
Vypočtené hodnoty

Nejdůležitější požadovanou hodnotou pro posouzení použitelnosti vybraného extrudovaného polystyrenu pod základovou deskou je napětí v základové spáře, pokud by toto napětí přesáhlo únosnost podkladního materiálu při 2% stlačení, bylo by nutné zvolit jiný materiál, nebo upravit geometrii desky. Na obrázku č. 11 je znázorněno kontaktní napětí v základové spáře pro navrhovanou základovou desku, jehož maximální hodnota dosahuje 41,45 kPa. Pevnost desky Styrodur 4000 CS při 2% stlačení je 180 kPa (viz tab. 5). Jelikož $41,45 < 180,00$, navrhovaný materiál i geometrie desky vyhovují.



Obr. 11: Kontaktní napětí v základové spáře (vytvořeno v programu GEO5)

Dalším zajímavým údajem je celkové sedání (průhyb) konstrukce. Z obrázku č. 12 lze vyčíst, že deska v rozích sedne o 14,39 mm a ve středu o 10,58 mm, celkový rozdíl v sedání tedy činí 3,81 mm. Sedání je dáno stlačením celé 3,3 m mocné vrstvy zeminy a 0,2 m silné vrstvy XPS.



Obr. 12: Celkové sedání konstrukce (vytvořeno v programu GEO5)

Ostatní vypočtené hodnoty, tedy velikosti vnitřních sil a momentů jsou uvedeny v protokolu z programu GEO5, který je přílohou č. 3 této diplomové práce.

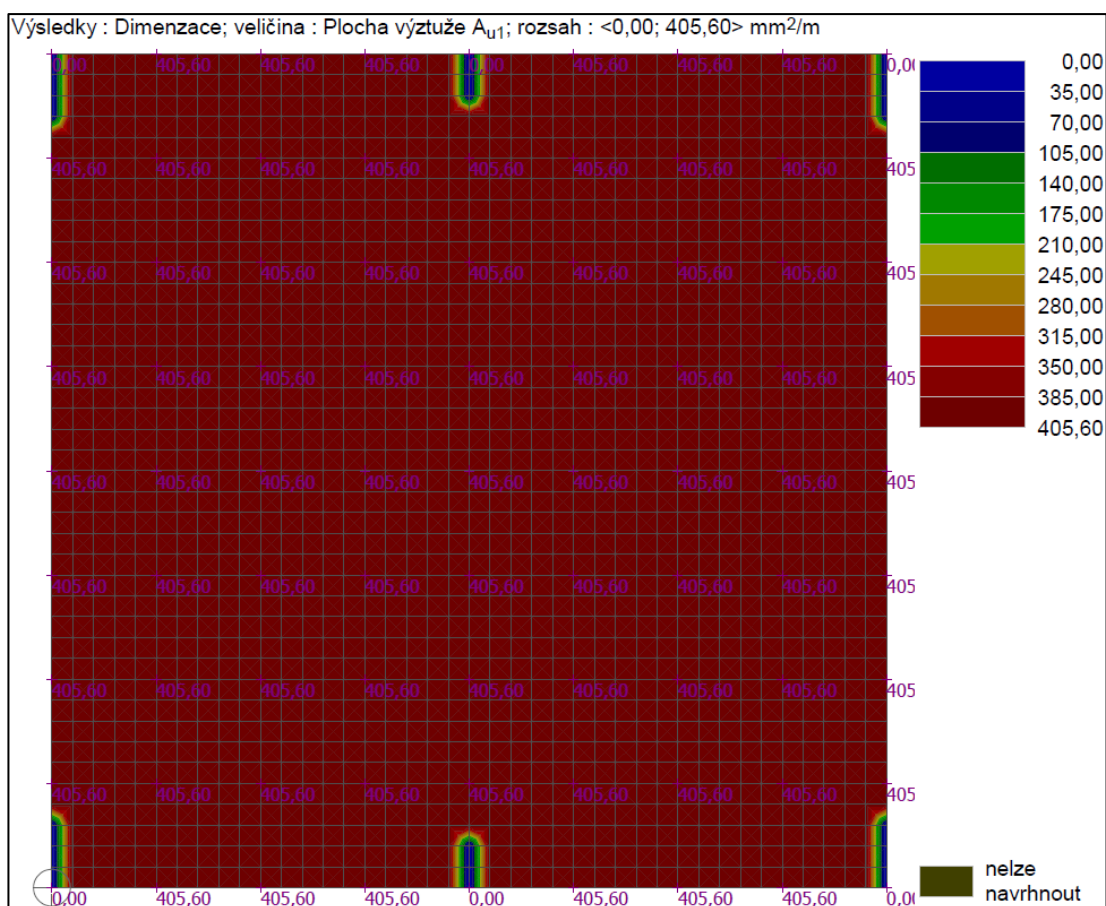
Návrh výztuže

Program GEO5 stanovuje z vnitřních sil a momentů potřebnou plochu výztuže, a to jak ohybové, tak i smykové. V případě desky s konstantním průřezem není smyková výztuž třeba, tudíž níže bude navržena pouze výztuž ohybová.

Z hlediska montáže je výhodnější navrhovat vyztužení desky pomocí KARI sítí, neboť se vyztužují oba směry zároveň a také se sníží potřeba vázání a ohýbání výztuže.

Na obrázku 13 je zobrazeno potřebné vyztužení při horním okraji desky ve směru 1, ve směru 2 jsou požadované hodnoty obdobné. Při dolním okraji desky je vyztužení třeba pouze po obvodu desky, především v rozích.

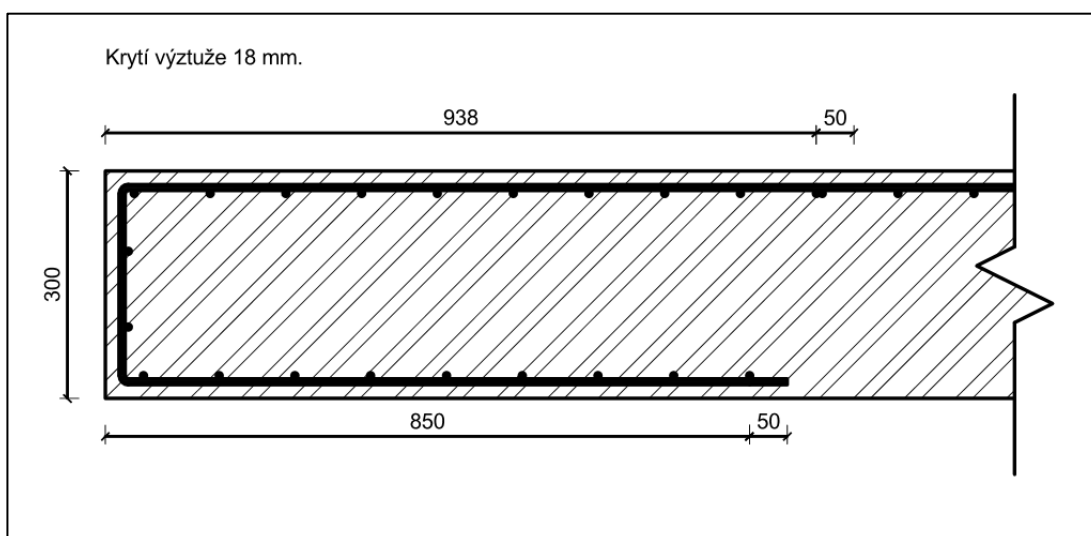
Vykreslení potřebné plochy armatury pro oba směry v dolní i horní výztuži je uvedeno v příloze 3 této diplomové práce.



Obr. 13: Potřebná plocha horní výztuže ve směru 1 (vytvořeno v programu GEO5)

Maximální plocha horní výztuže v jednom směru je 405,6 mm²/m (platí pro oba směry). Jelikož je potřebná plocha výztuže téměř konstantní, navrhuji použít KARI síť s průměrem drátu 8 mm a velikostí ok 100 x 100 mm (503 mm²/m), které budou kladeny v celé ploše na sraz a spojovány vázacím drátem, díky přesahům sítí 50 mm na každém okraji vznikne dostatečné zakotvení ohybové výztuže.

Maximální plocha dolní výztuže v jednom směru je také 405,6 mm²/m (platí pro oba směry), ovšem tato výztuž je třeba maximálně do vzdálenosti 0,6 m od okraje desky, proto navrhuji použít stejné KARI síť jako u horní výztuže, které budou zasahovat do vzdálenosti 0,85 m od okraje (kotvení ohybové výztuže proti vytržení) a ohýbány pro vyztužení okraje (viz obr. 14).



Obr. 14: Vyztužení okraje desky s konstantním průřezem

Kromě ohybové výztuže je v desce ještě konstrukční výztuž z distančních lišt UTH (jedná se o esovitě nahýbané pásy, aby vznikla stabilní prostorová podpora). Spotřeba této výztuže je cca 2 m distanční lišty na 1 m² desky.

5.1.5 Návrh žebrové desky

Deska konstantního průřezu je funkční, ale poněkud konzervativní řešení, jehož nevýhodou je především zbytečně velká spotřeba betonu. Pro hospodárnější návrh je výhodné jej v místech, kde je minimální silové namáhání, nahradit jiným materiálem, který může mít odlišnou funkci (např. tepelnou izolaci).

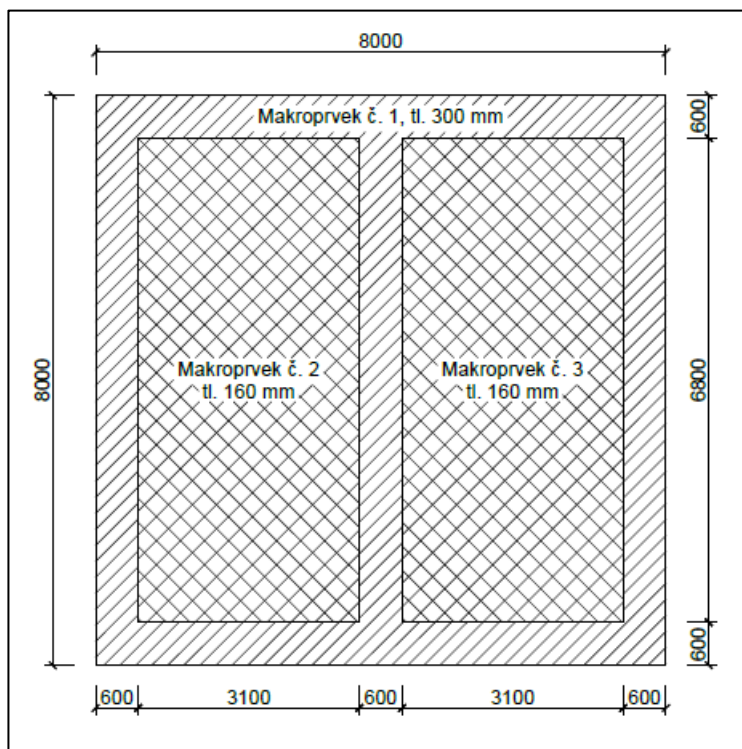
Základní rozměry (délka a šířka) zůstávají pro návrh žebrové desky stejné jako u varianty s konstantním průřezem, ale mění se tloušťka desky. Pod nosnými stěnami je pruh (trám) o tloušťce 300 mm široký 600 mm, v ploše je poté tloušťka desky pouze 160 mm (viz obr. 15). Toto řešení si vyžaduje definování 3 makroprvků, které mají různé podloží.

Makroprvek č. 1 má stejné parametry podloží jaké byly nastaveny pro desku s konstantním průřezem, neboť pod žebry musí zůstat únosnější Styrodur 4000 CS. U makroprvků 2 a 3 je třeba stanovit průměrný modul deformace (E_{def}) pro kombinaci vrstvy základové zeminy silné 3,36 m (z toho je 3,26 m zeminy F4 a 0,1 m Styroduru 4000 CS, který má stejný modul pružnosti) a vrstvy tepelné izolace z Isover EPS SOKL 3000 tloušťky 0,14 m.

Hodnota průměrného E_{def} se stanoví z váženého průměru modulů deformace jednotlivých vrstev podle jejich tloušťky.

$$E_{def,pr} = \frac{E_{def,z} \cdot h_z + E_{def,i} \cdot h_i}{h_z + h_i} = \frac{6,2 \cdot 3,36 + 1,86 \cdot 0,14}{3,5} \cong 6,0 \text{ MPa}$$

Hloubka deformační zóny je stejná jako u desky s konstantním průřezem, neboť vrstva EPS je příliš tenká na to, aby ji mohla zásadněji ovlivnit. Zatížení se také nemění (vrchní stavba je stále stejná), pouze nepatrně klesne vlastní tíha desky. I použité materiály zůstávají, pouze pro výztuž jsou KARI sítě nahrazeny vázanou tyčovou výztuží a je upravena poloha výztuže vzhledem k povrchu desky. Těžiště horní i spodní výztuže ve směru 1 je 25 mm od povrchu a ve směru 2 poté 35 mm.

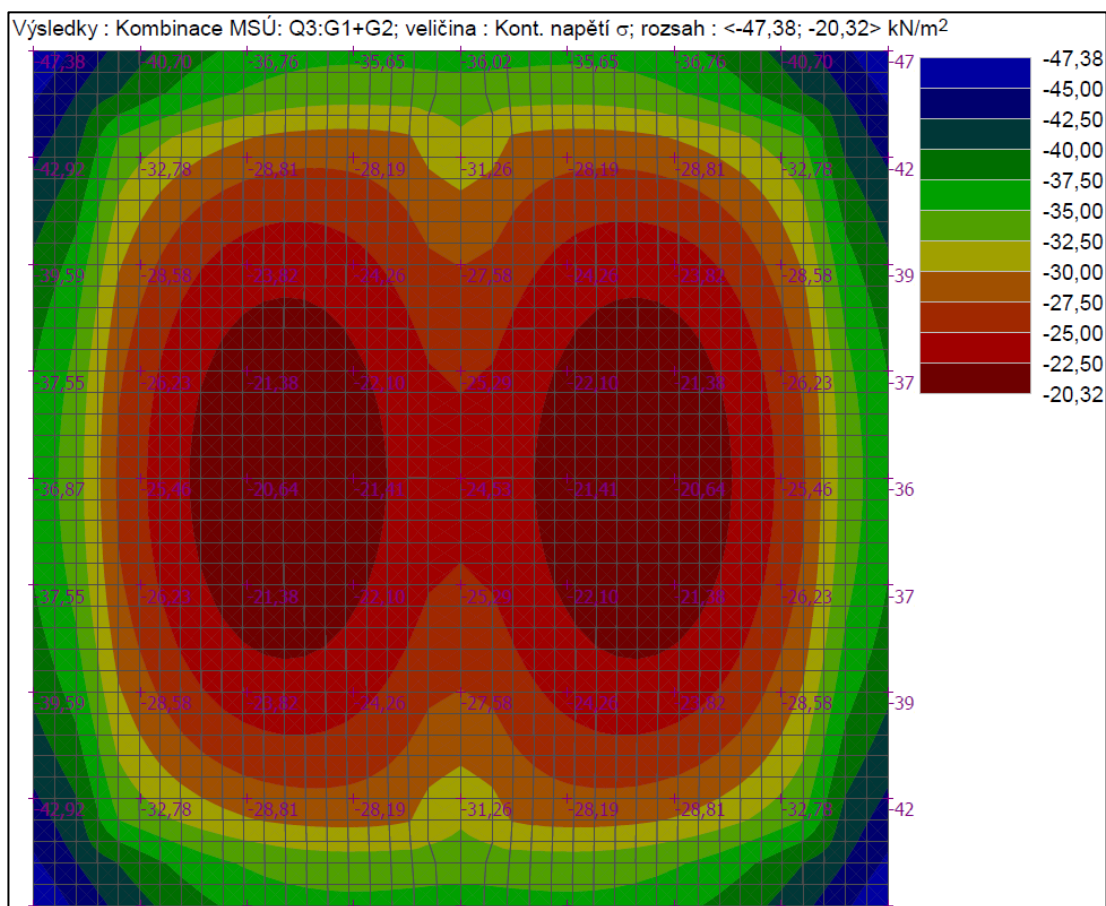


Obr. 15: Umístění makroprvků v modelu žebrové základové desky

Vypočtené hodnoty

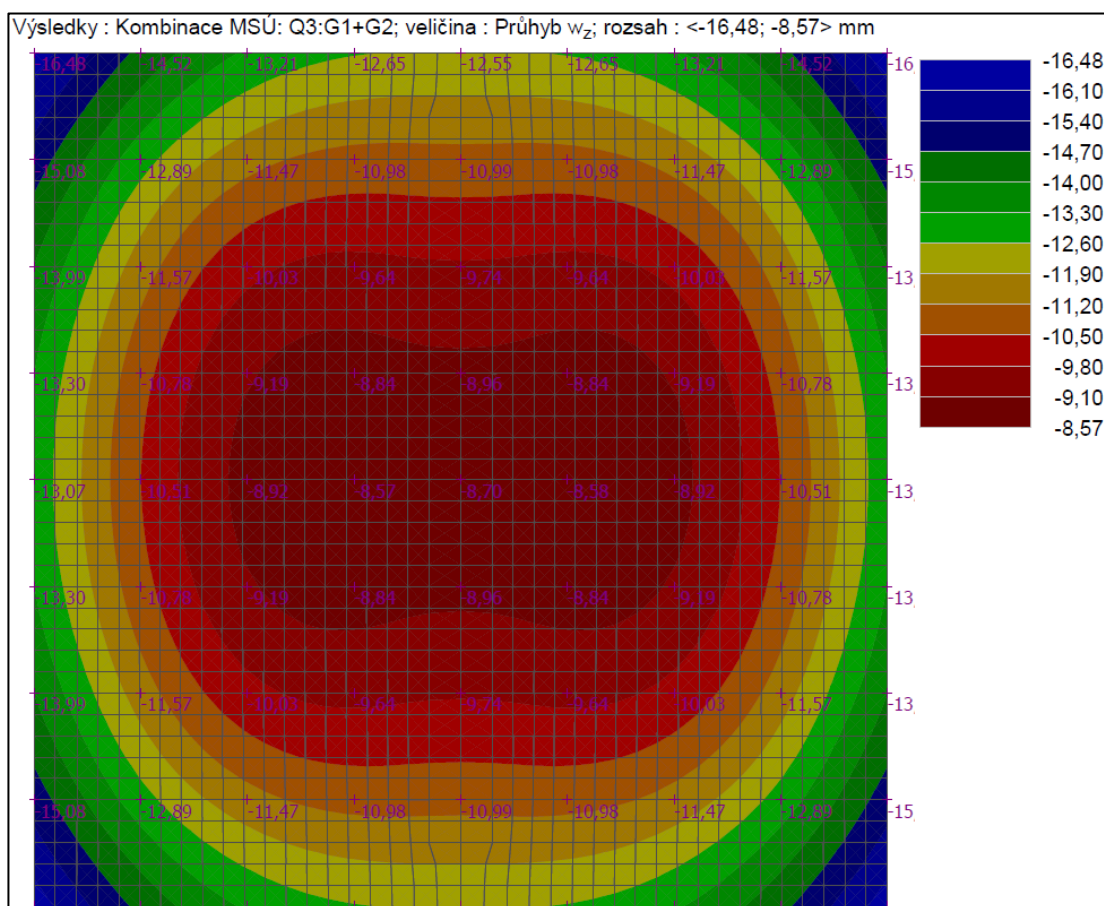
Jak si můžeme všimnout na obrázku 16, došlo v případě žebrové desky ke snížení kontaktního napětí v základové spáře v oblasti okolo středu desky, a naopak k navýšení tohoto napětí v jejích rozích. Tento jev je dán především menší tuhostí konstrukce, což snižuje její schopnost roznášet zatížení od obvodových stěn.

Jelikož je na okraji desky do vzdálenosti 0,6 m pouze únosnější extrudovaný polystyren, neznamená navýšení napětí v této oblasti větší problém (47,38 kPa je stále výrazně méně než 180 kPa, které snese XPS). Ovšem v místě přechodu žebra v desku, kde už začíná oblast izolovaná pouze EPS, je stále napětí okolo 38 kPa (především v rozích desky), což je cca o 27 % větší hodnota, než je pevnost výrobku Isover EPS SOKL 3000 v tlaku při 2% stlačení (30 kPa), což znamená, že zde pravděpodobně dojde k větší kompresi izolace. Pokud však budeme předpokládat, že EPS zde plní především tepelně-izolační funkci, nejedná se o problém. Zatížení se přes dostatečně vyztužený spoj desky a žebra přenesou na výrazně únosnější XPS a stlačení o 1 až 2 mm navíc nemá na prostup tepla konstrukcí zásadní vliv (při 10% stlačení, které by už znamenalo znatelnější rozdíl, je pevnost EPS v tlaku výrazně vyšší – 150 kPa).



Obr. 16: Kontaktní napětí v základové spáře (vytvoreno v programu GEO5)

Celkové sedání konstrukce se také ve středu desky zmenšilo, konkrétně na 8,57 mm, a v rozích zvětšilo na 16,48 mm. Tento jev má stejnou příčinu jako změna napětí, tedy snížení tuhosti konstrukce. Průhyb základové desky je znázorněn na obrázku 17.



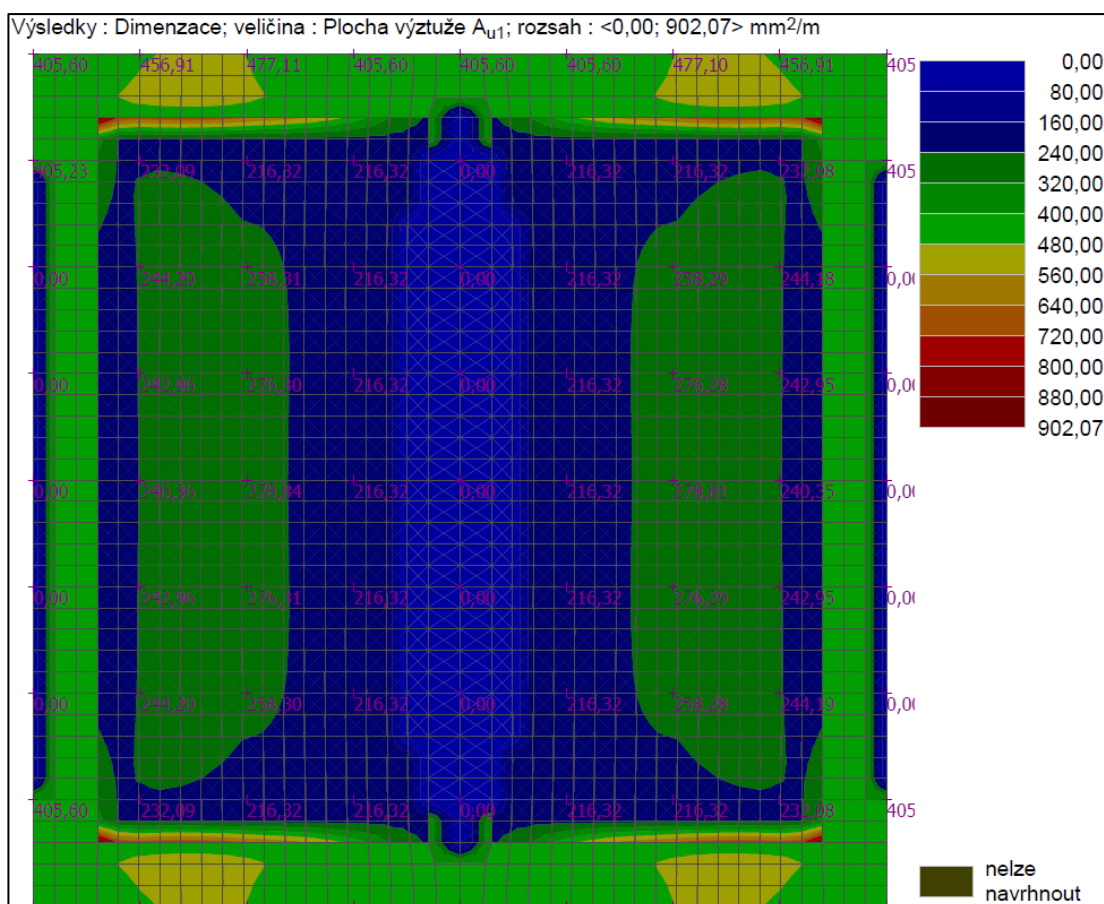
Obr. 17: Celkové sedání konstrukce (vytvořeno v programu GEO5)

Návrh výztuže

Pro žebrovou desku je nutné navrhnout nejen ohybovou, ale také smykovou výztuž. Jelikož je nezbytné použít třmínků na zachycení účinků smykového namáhání a profil desky je také složitější než v předchozím případě, je vhodnější využít na ohybovou výztuž tyčových prvků, které jsou variabilnější než KARI síť.

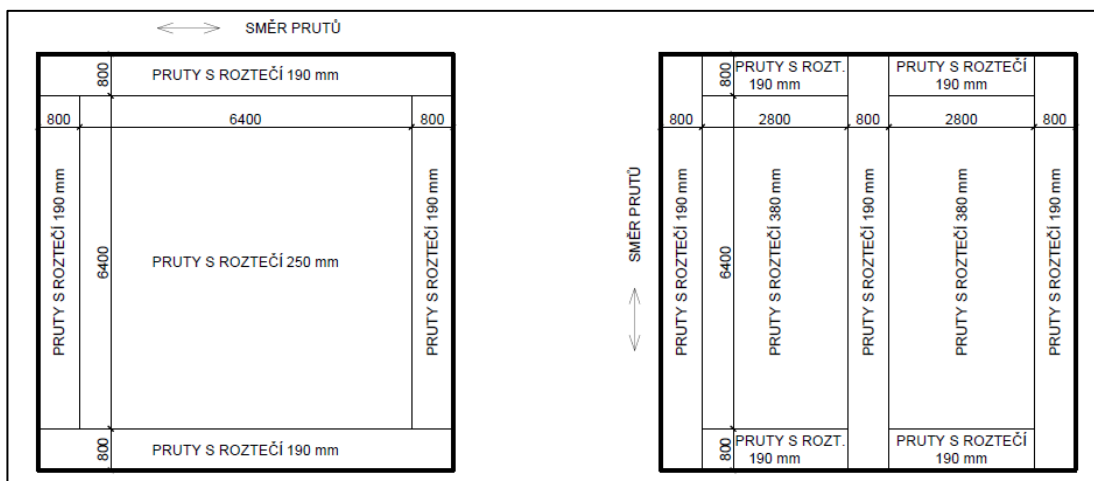
Vzhledem k menší tuhosti desky a rozdílnému zatížení v různých směrech se potřebné vyztužení ve směru 1 (směr osy x) a ve směru 2 (směr osy y) liší. Na obrázku 18 je znázorněna potřebná plocha horní výztuže na 1

m desky ve směru 1, ostatní výsledky jsou uvedeny v příloze 4 této diplomové práce.



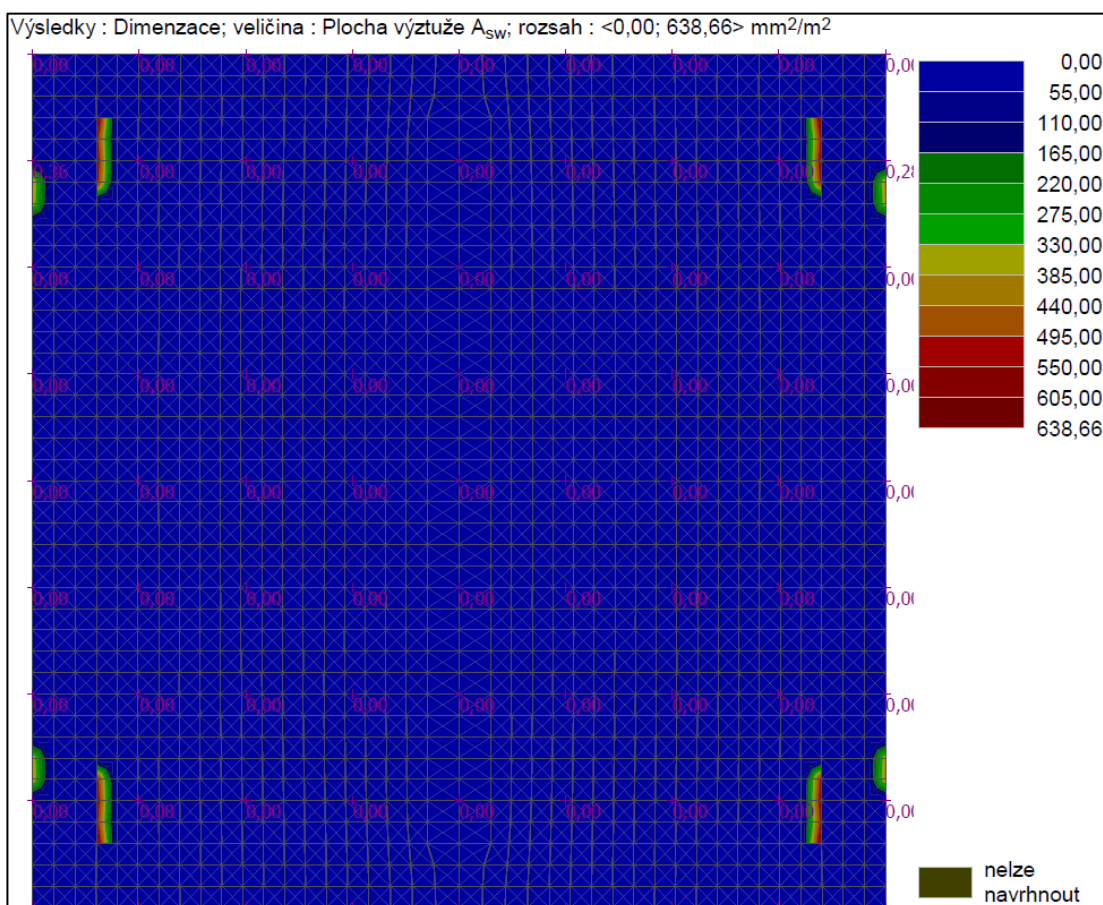
Obr. 18: Potřebná plocha horní výztuže ve směru 1 (vytvořeno v programu GEO5)

Potřebná plocha horní výztuže se pohybuje v rozmezí od 0 do 900 mm²/m. Protože zatížení se může v průběhu životního cyklu stavby měnit, je horní výztuž navržena v celé ploše desky s odstupňovanou roztečí podle požadované plochy. Průměr tyčových prvků je jednotný, a to 10 mm. U okraje je výztuž zakotvena ohnutím dolů v délce cca 200 mm. Plocha s požadovanou výztuží nad 500 mm²/m je velice malá, proto je nutné zajistit, aby tudy skutečně procházela výztuž v odpovídajícím množství (např. 600 mm²/m = 120 mm²/0,2m). Na obrázku 19 jsou znázorněny jednotlivé plochy desky s příslušnými roztečemi betonářské výztuže pro směr 1 a pro směr 2.



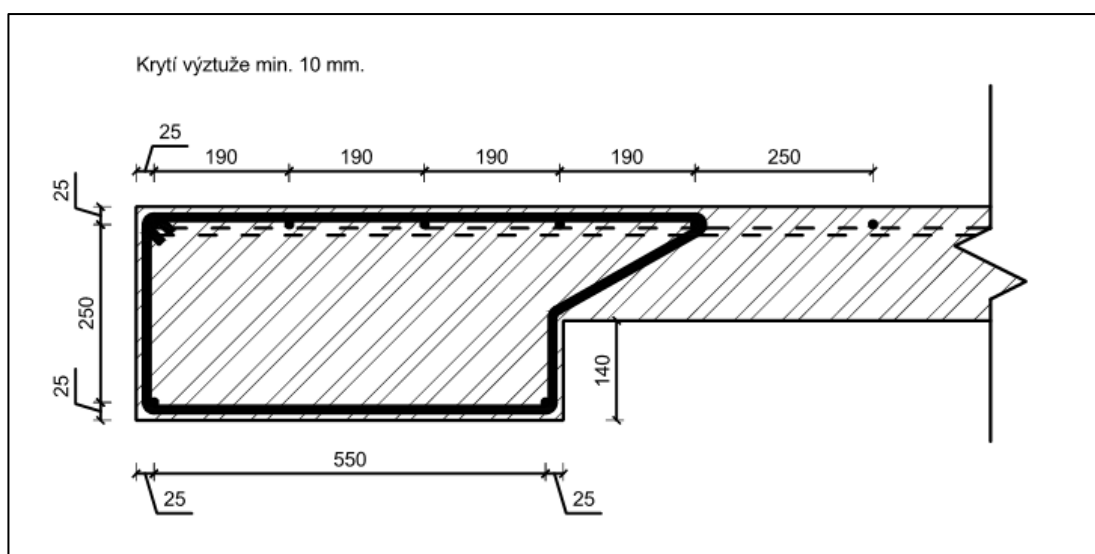
Obr. 19: Horní výztuž desky ve směru 1 (vlevo) a ve směru 2 (vpravo)

Spodní výztuž je v navrhované desce potřeba pouze v oblasti obvodových žebér (oba směry) a v okolí středového žebra (pouze směr 1). Obvodová žebra jsou vyztužena třímínky $\varnothing 10$ mm, které slouží zároveň jako smyková výztuž potřebná v rozích desky (viz obr. 20), a dvěma podélnými pruty taktéž $\varnothing 10$ mm umístěnými v rozích žebér (konstrukční výztuž).



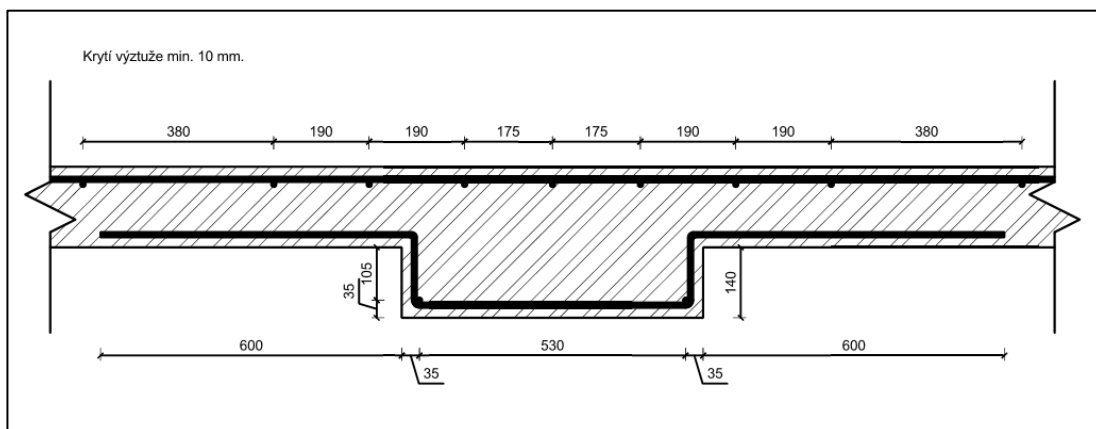
Obr. 20: Potřebná plocha smykové výztuže (vytvoreno v programu GEO5)

Maximální potřebné ohybové vyztužení je $405,6 \text{ mm}^2/\text{m}$, čemuž vyhoví použití dvoustřížných třmínků po 190 mm (ohybově namáhanou oblastí prochází pouze 1 rameno třmínku $\rightarrow 471 \text{ mm}^2/\text{m}$). Maximální potřebné smykové vyztužení v rozích desky je $638,66 \text{ mm}^2/\text{m}^2$, přičemž oblast, které se to týká má velikost $0,16 \text{ m}^2$, je tedy třeba ji vyztužit cca 102 mm^2 ocele (2 profily $\varnothing 10 \text{ mm}$). Jelikož délka vyztužované oblasti je $0,8 \text{ m}$, jsou zde minimálně 4 třmínky navržené na ohybové vyztužení, a proto není třeba dalšího vyztužení (ohybové namáhání v této oblasti klesá, tudíž jsou navržené třmínky schopny přenést obě namáhání). Detail vyztužení obvodových žeber je zobrazen na obrázku 21.



Obr. 21: Vyztužení obvodových žeber

Středové žebro není namáháno smykovými silami, působí zde pouze ohybové namáhání. Potřebná plocha výztuže činí $405,60 \text{ mm}^2/\text{m}$ ve směru 1, ve směru 2 není výztuž třeba. Požadované hodnotě odpovídá použití prutů $\varnothing 10 \text{ mm}$ po 190 mm, tyto pruty je nutné naohýbat podle tvaru desky, jak je znázorněno na obrázku 22. Ve směru 2 je navržena konstrukční výztuž v podobě 2 prutů $\varnothing 10 \text{ mm}$.



Obr. 22: Vyztužení středového žebra

Kromě ohybové a smykové výztuže je v ploše desky navržena také konstrukční výztuž z distančních lišt UTH (jedná se o esovitě nahýbané pásy, aby vznikla stabilní prostorová podpora). Spotřeba této výztuže je cca 2 m distanční lišty na 1 m² desky. Minimální krytí výztuže by nemělo klesnout pod 10 mm.

5.2 Technologický návrh

Předchozí kapitola se zabývala tím, jak navrhnout a vyztužit základovou desku, aby stavba byla bezpečná a aby se na ní neprojevovaly vady, které by komplikovaly její užívání. Ovšem „papír snese vše“ a důležité je také to, zda je možné návrh zrealizovat bez zbytečně komplikovaných postupů. A právě tím se zabývá tato kapitola. Nejprve je řešeno provedení zásadních detailů konstrukce (provedení soklu, spojování desek apod.), následně je stanoven vhodný technologický postup a nakonec je celá konstrukce posouzena na prostup tepla.

5.2.1 Technologický návrh desky konstantního průřezu

Deska konstantního průřezu je z technologického hlediska jednodušší na provedení, ale v souvislosti s použitím tepelné izolace z XPS jako únosné podkladní vrstvy je potřeba vyřešit několik komplikací, především v oblasti soklu stavby a napojování jednotlivých konstrukčních vrstev.

Řešení detailů konstrukce

U navrhované desky jsou v zásadě 3 důležité detaily, které je třeba vyřešit – napojování jednotlivých desek XPS, provedení soklu budovy (napojení tepelné izolace, hydroizolace a nosných konstrukcí) a prostupy pro přípojky inženýrských sítí (voda, kanalizace, elektro, plyn).

Spojování desek XPS

Desky je možné spojovat dvěma způsoby – lepením PUR lepidlem nebo mechanicky plastovými hřebíky. Pokud je kladen velký důraz na únosnost konstrukce, je vhodnější použít lepení, neboť lépe zabrání případným posunům desek a tím vzniklým nežádoucím deformacím.

U navrhované stavby jsou použity desky ve dvou vrstvách (2 x 100 mm). První vrstva se pokládá na vyrovnaný a zhutněný podklad z jemného štěrkopísku a lepí se pouze hrany desek (lepidlo se nanáší na polodrážku). Druhá vrstva se lepí celoplošně k té první, čímž je zamezeno vzájemnému posunu desek. Při kladení desek nesmí vznikat X spoje a spáry procházející přes obě vrstvy. Ideální je první vrstvu klást s posunem o půl desky (pokud je to možné navrhujeme bez zbytečných dořezů) a druhou otočit o 90 °, nebo posunout alespoň o 100 mm oproti první. Kladečský plán pro desku s konstantním průřezem je v příloze 5 této práce.

Provedení soklu budovy

Správné napojení jednotlivých konstrukcí v místě styku základové desky s obvodovými nosnými zdmi je velice důležité pro eliminaci průniku zemní vlhkosti do konstrukcí vrchní stavby a zároveň zabránění vzniku tepelných mostů, které by mohly zapříčinit růst plísní v interiéru stavby a zvýšit náklady na její vytápění.

Následující řešení vychází ze snahy účinně tepelně izolovat sokl budovy a zároveň zjednodušit výstavbu tím, že již nebude třeba budovat bednění pro základovou desku, neboť tuto funkci převezmou právě izolační desky z extrudovaného polystyrenu.

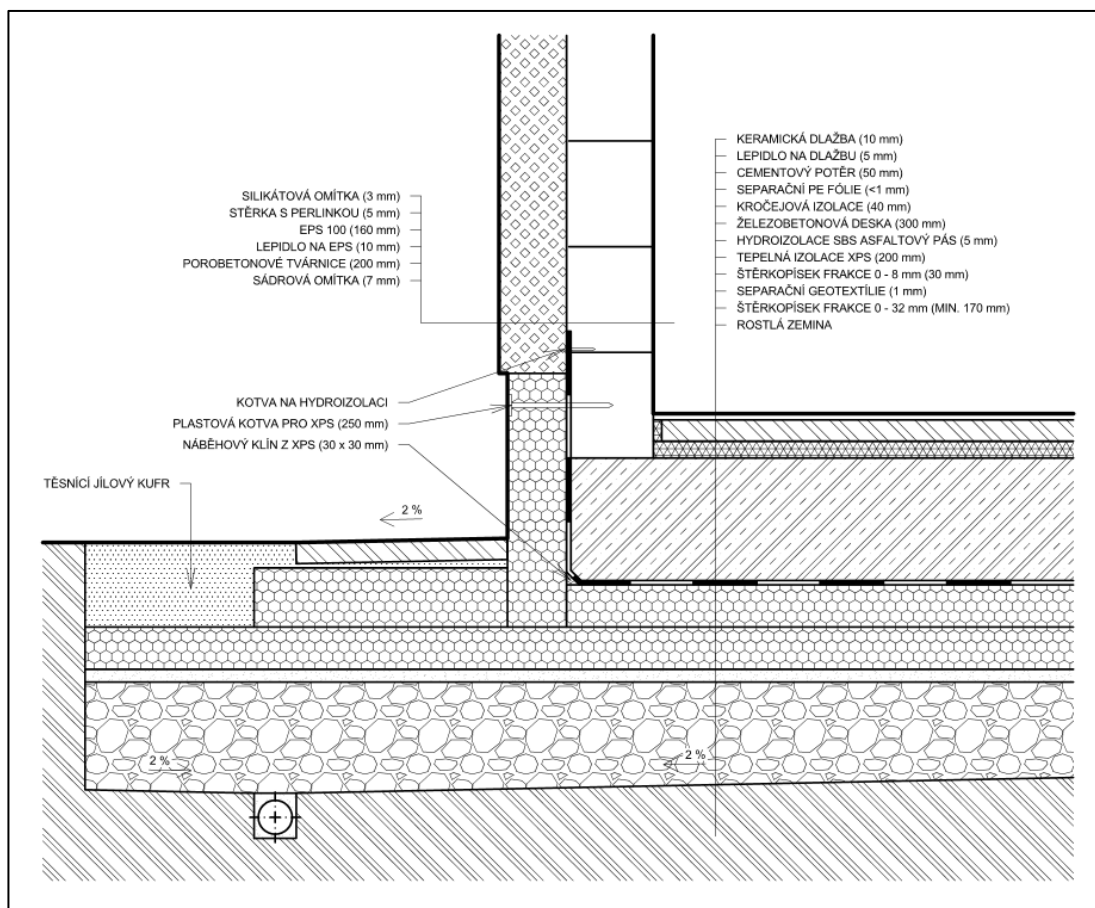
Po provedení první horizontální vrstvy tepelné izolace s potřebnými přesahy přes okraje budovy jsou nalepeny nejprve desky z XPS (tl. 140 mm) po obvodu objektu s odstupem na tloušťku izolace soklu od budoucí základové desky (140 mm), poté jsou osazeny soklové desky (lepí se nastojato na delší hranu), jejichž spoje je nezbytné řádně prolepit, aby nedocházelo k jejich vzájemnému vychýlení při betonáži. Nakonec je od jednoho vnitřního rohu k diagonálně protilehlému kladena druhá vrstva extrudovaného polystyrenu. Takto vznikne vana z tepelné izolace, do které je možné vybetonovat základovou desku. Soklové desky jsou proti tlaku čerstvého betonu zajištěny jednak vetknutím do druhé vrstvy horizontální izolace, a pak také plastovými úhelníky, které se připevňují polyftalamidovými vruty k horizontální i soklové desce. Stejným způsobem jsou soklové desky spojeny v rozích.

O řešení detailu soklu budovy také významně rozhoduje umístění hydroizolační vrstvy. Pro desku s konstantním průřezem je výhodnější umístit hydroizolaci pod betonové konstrukce. Jednak se zmenší riziko koroze výztuže při nedodržení dostatečné krycí vrstvy (do desky neproniká zemní vlhkost), a také se může zrychlit postup výstavby, neboť odpadne technologická přestávka z důvodu dostatečného vyschnutí konstrukce. Navíc se sníží pravděpodobnost poškození hydroizolace při dalších etapách výstavby, pouze je třeba ohlídat armování desky.

Jelikož jsou PVC-P fólie náchylnější k propíchnutí nebo prodření výztuží a nesnáší se moc dobře s polystyrenem (může docházet

k uvolňování změkčovadel z fólie a tím k poškození obou vrstev), je lepší použít SBS asfaltovou hydroizolaci. Pásky se kladou volně (případně lze použít samolepící pro fixaci polohy při montáži) na podklad z XPS a spoje se opatrně svařují. Na okraji desky se přes náběhový klín ohnou vzhůru a dostatečně dlouhý konec se volně položí přes bednění z XPS (po vyzdění prvních dvou šárů cihel se k nim mechanicky přikotví). Pásky je vhodné při ohýbání nahřát, jsou pak poddajnější a lépe se vytvarují podle bednění, a zlehka přitlačit k bednění z XPS (přilepí se a nebudou sklouzávat).

Na obrázku 23 je vyobrazeno řešení detailu soklu pro desku s konstantním průřezem včetně navazujících konstrukcí a jednotlivých vrstev stěny i podlahového souvrství.



Obr. 23: Detail soklu u desky s konstantním průřezem

Prostupy pro přípojky inženýrských sítí

Přípojky inženýrských sítí musí být oddílatovány od základové desky, aby nedošlo k jejich poškození při sedání budovy. Zároveň však nesmí být narušena celistvost hydroizolační vrstvy, aby se do konstrukce nedostala zemní vlhkost.

Pro přípojku vody, plynu a elektřiny lze využít těsnících prostupů pro černé vany (např. Quadro-Sicura E 1 od firmy Doyma), které mají implementované límce, na něž se navaří hydroizolace, a jejich pružná výplň dovolí vertikální posun konstrukcí.

Na svod kanalizace je vhodná tvarovka s límcem (např. Typ KG od společnosti Kraso). Límeček je opět upraven k navaření hydroizolace. Na ležatou kanalizaci je třeba svod připojit přes pružnou manžetu, která eliminuje tvarové deformace při sedání budovy (např. přechodová spojka AC od firmy Rexcom).



Obr. 24: Těsnící systém Quadro-Sicura E 1 (převzato z [46])

Technologický postup

Na následujících řádcích je popsán technologický postup výstavby základové desky s konstantním průřezem ležící na polštáři z extrudovaného polystyrenu. Zajištění staveniště, bezpečnosti práce a opatření proti poškození životního prostředí nejsou v této práci řešeny. Předpokládaná doba trvání prací je orientačně určena v kapitole „Ekonomické posouzení“.

Charakteristika konstrukce

Železobetonová základová deska tloušťky 300 mm o rozměrech 8 x 8 m ve „vaně“ z extrudovaného polystyrenu vybudované na zhutněném

loži ze štěrkopísku o minimální tloušťce 200 mm (dno stavební jámy musí být spádované od středu směrem k obvodovým drenážím).

Použité materiály

- Beton C 25/30 – XF2 ($E_{cm} = 31$ GPa)
- KARI síť 8/100/100 mm (ocel B500B)
- Vázací pásy na výztuž
- Distanční lišty TRICK a UTH
- Styrodur 4000 CS (tl. 100 mm) a Styrodur 3000 CS (tl. 140 mm)
- Náběhový klín EPS 50 x 50 mm
- PUR lepidlo a PUR pěna
- Plastové úhelníky DOMAX
- Polyftalamidové vruty
- SBS asfaltový pás ELASTEK 50 SPECIAL MINERAL
- Separální geotextilie FILTEK 500
- Štěrkopísek frakce 0 – 32 mm
- Štěrkopísek frakce 0 – 8 mm
- Jíl (z místních zdrojů)

Stavební připravenost

Před započítím budování základové desky je nezbytné, aby byly dokončeny veškeré výkopové práce a položeny všechny přípojky inženýrských sítí. Také musí být položen zemní pásek a provedeny drenáže po obvodu stavby.

Pracovní postup

Na dno stavební jámy vyspádované ve sklonu minimálně 2 % ve směru k obvodovým drenážím se naveze vrstva štěrkopísku frakce 0 – 32 mm, která se zhutní vibrační deskou, přičemž nejmenší tloušťka této vrstvy by neměla klesnout pod 170 mm. Následně se na celou plochu položí separální geotextilie a na ní se rozprostře cca 30 mm silná vrstva štěrkopísku, která se urovná s maximální odchylkou ± 3 mm na 2 m (geotextilie brání vymílání jemných částic z této vrstvy). Dalšími kroky jsou osazení průchodek pro inženýrské sítě a položení první vrstvy extrudovaného polystyrenu s prolepováním spojů. Poté se klade obvodový

pruh druhé vrstvy XPS, ke kterému se nalepí soklové desky a následně se od jednoho rohu k diagonálně protilehlému pokládá zbylá část druhé vrstvy (tato vrstva se celoplošně lepí k té první). Soklové desky se přikotví pomocí plastových úhelníků a do vzniklého rohu mezi horizontální a soklovou deskou se vlepí náběhový klín (50 x 50 mm). Netěsnosti okolo průchodek pro inženýrské sítě se vyplní PUR pěnou. Když je vše utěsněno, může se přistoupit k provedení hydroizolační vrstvy. Asfaltové pásy se pokládají volně (případně lze použít samolepicí pro snadnější montáž) a všechny spoje se opatrně svařují plynovým hořákem. Na okrajích se pásy ohnou přes náběhový klín a dostatečně dlouhý konec se nechá viset přes okraj bednění z XPS (později se přikotví ke zdivu nosné stěny). Následuje armování a betonáž základové desky. Po obvodu stavby je tepelná izolace zakryta vrstvou jílu z místních zdrojů, která vytvoří těsnění bránící vsakování dešťové vody pod základy objektu. Postupový diagram je zobrazen v příloze 6 této práce.

Požadavky na kontrolu jakosti

Před započítím prací je třeba zkontrolovat rozměry stavební jámy a zda je dno stavební jámy správně vyspádováno (min. 2 % směrem k drenáži). V průběhu prací se kontroluje rovinnost povrchu z jemného štěrkopísku ($\pm 3 \text{ mm} / 2 \text{ m}$) před pokládáním desek XPS, utěsnění mezer v tepelné izolaci u prostupů pro inženýrské sítě, správné lepení a kotvení desek, těsnost spojů hydroizolačních pásů (vizuálně, jehlou), umístění a vázání výztuže, její kotevní délky a krycí vrstva, hutnění betonu. Po celou dobu stavby je nutné dohlížet, zda se používají navržené materiály (typy, frakce, třídy pevnosti apod.). Nakonec se zkontroluje místní rovinnost povrchu základové desky, jejíž hodnota by neměla přesáhnout $\pm 5 \text{ mm} / 2 \text{ m}$.

Skladba pracovního kolektivu

Po celou dobu výstavby základové desky se pracovní kolektiv skládá z jednoho mistra (stavbyvedoucího) a dvou pomocných dělníků, přičemž ti se střídají podle profesí (armovači, betonáři, izolatéři).

Stroje a zařízení

Pro vybudování této základové desky je třeba následujících strojů a zařízení: vibrační desky, vibrační latě, ponorného vibrátoru, nákladního

automobilu, autodomíhávače, aku šroubováku, plynového svařovacího hořáku.

Mezi další potřebné pomůcky patří: lopata, ocelové hrábě, nůž na izolaci, nůžky, vazačka výztuže, 2m lať, svinovací metr, štětka, kyblík, jehla na kontrolu svarů, štípací kleště.

Opatření při pracích za mimořádných podmínek

Betonářské práce a pokládání hydroizolační vrstvy by neměly probíhat při teplotách pod + 5 °C ani za deště. Při vysokých teplotách je nutné chránit základovou desku před příliš rychlým vysycháním např. zakrytím, nebo kropením vodou. S ohledem na bezpečnost pracovníků i kvalitu výrobku je nevhodná práce za bouří či jiných vysoce nepříznivých povětrnostních podmínek.

Tepelně-technické posouzení

Základním požadavkem na konstrukci základů a navazujícího podlahového souvrství z hlediska tepelně-technického je splnění požadavku na maximální návrhovou hodnotu součinitele prostupu tepla konstrukcí (U_N) podle normy ČSN 73 0540-2. Ovšem pro zajištění správného a bezporuchového fungování objektu je také důležité posoudit průběh izoterm v detailu soklu budovy a identifikovat zde místa, kde by mohlo docházet ke kondenzaci vody.

Posouzení prostupu tepla konstrukcí

Řešíme-li prostup tepla konstrukcí, tak si při určitém zjednodušení vystačíme pouze s jednou dimenzí. Dle normy ČSN 73 0540-4 se součinitel prostupu tepla vícevrstvou konstrukcí stanoví následovně:^[7]

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

kde: R_{si} = odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce

R_{se} = odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce

R = součet odporů všech vrstev konstrukce

Tepelný odpor pro jednotlivé vrstvy se stanoví ze vzorce:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i}$$

kde: d_i = tloušťka dané vrstvy

λ_i = součinitel tepelné vodivosti dané vrstvy

V tabulce 18 je uveden výpočet tepelného odporu pro jednotlivé vrstvy konstrukce základů a podlahového souvrství. Vrstvy s velmi malou tloušťkou (separační fólie) a povrchová úprava podlahy (keramická dlažba + lepidlo) byly zanedbány.

Tab. 18: Tepelný odpor jednotlivých vrstev základů a podlahy (deska s konst. průřezem)

Název vrstvy	d	λ	R
	[m]	[W/(m·K)]	[(m ² ·K)/W]
Cementový potěr	0,050	1,380	0,036
Kročejeová izolace Isover EPS RigiFloor 4000	0,040	0,044	0,909
Železobetonová deska	0,300	1,740	0,172
Hydroizolace ELASTEK 50 SPECIAL MINERAL	0,005	0,210	0,024
Tepelná izolace Styrodur 4000 CS	0,200	0,035	5,714
		Celkem	6,856

Dle tabulky J.1 v příloze J normy ČSN 73 0540-3^[6] se při prostupu tepla vodorovným povrchem s tepelným tokem shora dolů $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ a $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ pro výpočty šíření tepla v zimním období. Hodnoty dosadíme do vzorce pro výpočet součinitele prostupu tepla:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{0,17 + 6,856 + 0,04} = 0,142 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Výsledek výpočtu porovnáme s doporučenou hodnotou pro pasivní budovy ($U_{pas,20}$), která je uvedena v tabulce 3 v normě ČSN 73 0540-2^[5].

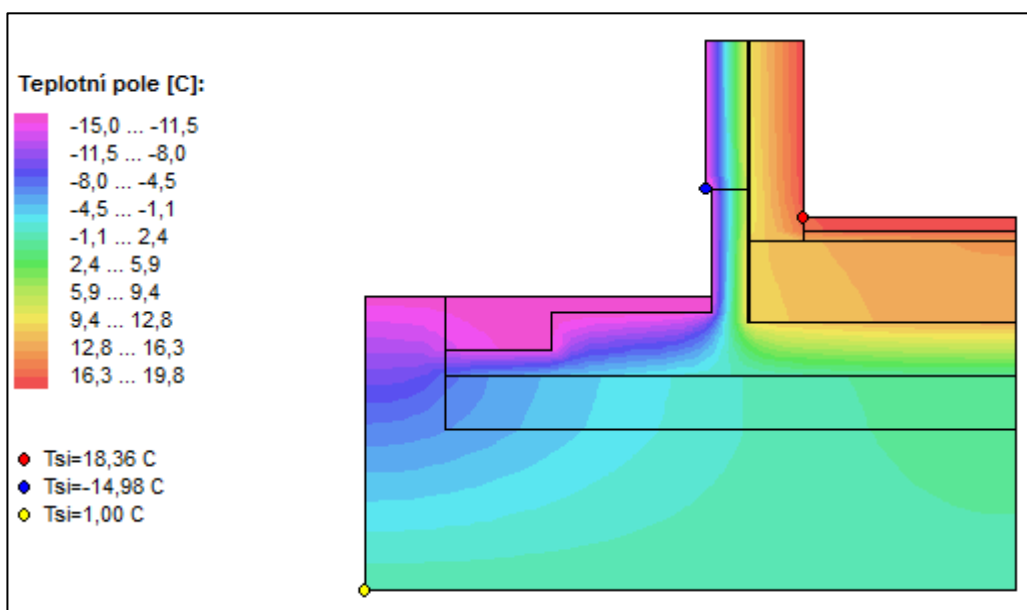
$$U \leq U_{pas,20} \rightarrow 0,14 < 0,22 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Doporučená hodnota pro pasivní domy je zde uvedena v rozmezí 0,15 až 0,22 W/(m²·K), navržená tepelná izolace ji tedy splňuje s velkou rezervou.

Teplně-technické posouzení detailu soklu

Při řešení soklu budovy je velice důležité dbát na to, aby roh mezi podlahou a stěnou příliš neprochladl a nevytvářel se v něm rosný bod, což by mohlo zapříčinit růst plísní, a tím ohrozit lidské zdraví. Pro posouzení správnosti návrhu je třeba vypracovat dvourozměrný model konstrukce a pomocí metody konečných prvků vypočítat teplotní a vlhkostní pole. K tomuto účelu lze využít například volně dostupný program Area 2017 EDU.

Na obrázku 25 je vykresleno teplotní pole detailu soklu pro desku s konstantním průřezem při teplotě v exteriéru $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v interiéru $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$. V hloubce 1,1 m pod úrovní povrchu je uvažována teplota $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 25: Teplotní pole okolo soklu u desky s konstantním průřezem

Jak je z obrázku patrné, teplota nosných konstrukcí neklesá při daných klimatických podmínkách pod $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplota povrchu v interiéru se pohybuje v rozmezí 18 až $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jelikož při 50% vlhkosti vzduchu a teplotě $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ má rosný bod hodnotu cca $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, nemělo by na stěnách docházet ke kondenzaci vlhkosti. Na obrázku si také můžeme všimnout, že díky protizámrzové cloně z desek XPS nedochází k promrzání zeminy pod základovou deskou a není tak nutné budovat základy do tzv. nezámrzné hloubky.

Dalším důležitým aspektem je kondenzace vody uvnitř konstrukce, ke které nesmí docházet ve vrstvách, které by tím mohly být poškozeny. Na

obrázku 26 jsou znázorněna místa, kde může docházet ke kondenzaci vodní páry při relativní vlhkosti vzduchu v exteriéru 84 % a v interiéru 50 % (teploty jsou stejné jako u teplotního pole).



Obr. 26: Oblasti kondenzace vodní páry u desky s konstantním průřezem

Jak vidno, ke kondenzaci vodní páry dochází pouze v oblasti tepelné izolace, což je běžný jev a deskám z XPS či EPS to neuškodí. Kompletní protokol z programu Area je přílohou číslo 7 této práce.

5.2.2 Technologický návrh žebrové desky

Žebrová deska je z technologického hlediska o něco složitější na provedení, ale umožňuje ušetřit beton, jehož místo může zaujmout materiál s jinou funkcí (např. tepelná izolace), čímž se sníží potřebná tloušťka konstrukce a v závislosti na použitých materiálech může dojít i k poklesu nákladů na tuto konstrukci.

Řešení detailů konstrukce

U žebrové desky je třeba řešit stejné detaily jako u desky s konstantním průřezem, tedy vzájemné spojení tepelněizolačních desek, napojení jednotlivých konstrukcí v oblasti soklu budovy a prostupy pro inženýrské sítě. Prostupy se u žebrové desky řeší úplně stejně jako u té s konstantním průřezem, ale u zbylých detailů se objevují drobné odlišnosti.

Spojování desek tepelné izolace

První vrstva tepelné izolace o tloušťce 100 mm je provedena ze Styroduru 4000 CS a přenáší zatížení od nosných zdí, tudíž je vhodné spojovat její jednotlivé desky polyuretanovým lepidlem (lepí se čela desek s polodrážkou), aby byla zajištěna jejich dostatečná soudržnost.

Druhá vrstva izolace se dělí na 2 části, obě jsou zhotoveny z desek EPS (Isover EPS SOKL 3000) tloušťky 140 mm, ale mají rozdílné funkce. Část mezi žebry desky slouží především jako tepelná izolace, ale také jako ztracené bednění pro betonáž desky. Ani jedna z těchto funkcí nevyžaduje pevné spojení s první vrstvou izolace, ale je nezbytné zafixovat desky proti posunu při betonáži. K tomu poslouží plastové hřeby (lze použít hřeby na upevňování mulčovacích textilií délky 200 mm), jejichž použití je rychlejší a snadnější než lepení. Jedna deska se kotví minimálně 4 ks hřebů. Obvodové a soklové desky slouží nejen jako tepelná izolace, ale zároveň jako bednění pro základovou desku, které musí přenést vodorovné síly od tekuté betonové směsi, proto je nezbytné jejich pevné spojení s první vrstvou izolace, které lze zajistit jen celoplošným slepením těchto vrstev PUR lepidlem.

Pro obě vrstvy izolace platí, že nesmí vznikat X spoje, ani průběžné spáry přes celou tloušťku izolace. Kladečský plán pro položení tepelné izolace pod žebrovou deskou je zobrazen v příloze 5 této práce.

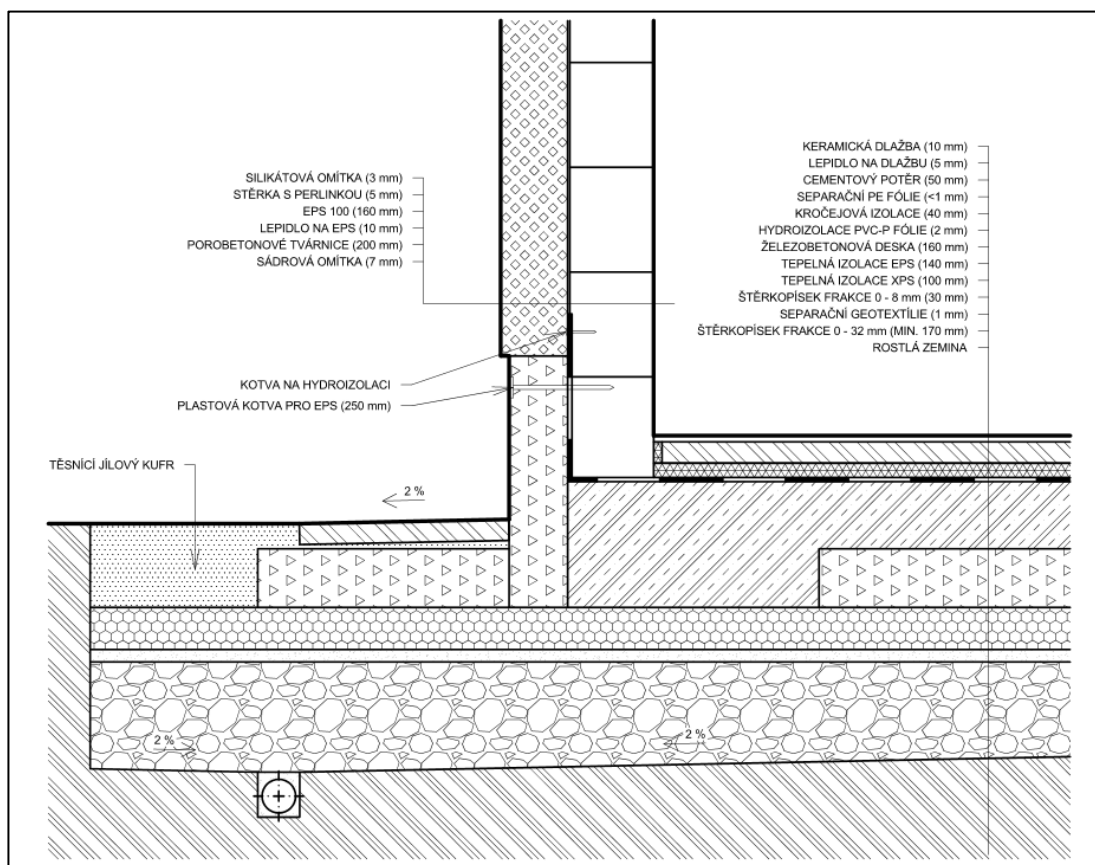
Provedení soklu budovy

Řešení soklu budovy je u žebrové desky podobné jako u té s konstantním průřezem, ale vzhledem k jinému materiálovému řešení a také geometrii konstrukce je zde několik odlišností, z nichž nejvýznamnější je umístění hydroizolace vzhledem k základové desce.

Po provedení první vrstvy, která je stejná jako u desky s konstantním průřezem, se nalepí obvodový pruh z EPS (tl. 140 mm) ve vzdálenosti na tloušťku izolace soklu od okraje základové desky (140 mm). Poté jsou osazeny soklové desky z EPS (lepí se nastojato na delší hranu), jejichž spoje je nezbytné řádně prolepit, aby nedocházelo k úniku cementového mléka při betonáži. Zbytek druhé vrstvy tepelné izolace z EPS (tl. 140 mm) se pokládá s odstupem 600 mm od soklové desky, čímž se vytvoří bednění pro ztužující žebro desky, a kotví se plastovými hřeby k první vrstvě. Stejným způsobem

je třeba vytvořit žebro i uprostřed desky pod nosnou stěnou. Soklové desky jsou proti tlaku čerstvého betonu zajištěny opřením o obvodové desky druhé vrstvy izolace a plastovými úhelníky, které se připevňují polyftalamidovými vruty. Stejným způsobem jsou soklové desky spojeny v rozích.

Jelikož má „vana“ z tepelné izolace pro žebrovou desku složitý profil, na který by se velice špatně pokládala hydroizolace, připadá v tomto případě v úvahu pouze možnost hydroizolační vrstvy nad základovou deskou. Vzhledem k tomu, že asfaltové pásy nelze ohýbat do pravého úhlu, je vhodné použít PVC-P fólii bodově kotvenou k desce a svařovanou horkým vzduchem. Na okrajích se fólie ohne podle soklových desek a s dostatečným přesahem nechá viset přes bednění (po vyždění prvních dvou šarů cihel se k nim mechanicky přikotví). Při dalších etapách stavby je třeba hydroizolaci chránit před protržením například OSB deskami, dokud nebude zakryta podlahovou konstrukcí.



Obr. 27: Detail soklu u žebrové desky

Na obrázku 27 je vyobrazeno řešení detailu soklu pro žebrovou desku včetně navazujících konstrukcí a jednotlivých vrstev stěny i podlahového souvrství.

Technologický postup

Technologický postup výstavby žebrové základové desky je až po první vrstvu tepelné izolace stejný, jako u desky s konstantním průřezem. Pro přehlednost je níže uveden kompletní postup pro žebrovou desku, včetně shodných pasáží.

Charakteristika konstrukce

Železobetonová základová deska tloušťky 160 mm se ztužujícími žebry výšky 300 mm a šířky 600 mm o rozměrech 8 x 8 m ve „vaně“ z extrudovaného a expandovaného polystyrenu vybudované na zhutněném loži ze štěrkopísku o minimální tloušťce 200 mm (dno stavební jámy musí být spádované od středu směrem k obvodovým drenážím).

Použité materiály

- Beton C 25/30 – XF2 ($E_{cm} = 31$ GPa)
- Betonářská výztuž \varnothing 10 mm (ocel B500B)
- Vázací pásky na výztuž
- Distanční lišty TRICK a UTH
- Styrodur 4000 CS
- Isover EPS SOKL 3000
- PUR lepidlo a PUR pěna
- Plastové úhelníky DOMAX
- Polyftalamidové vruty
- Plastové hřeby délky 200 mm
- PVC-P fólie ALKORPLAN 35034
- Kotvící hmoždinky 9 x 80 mm
- Separální geotextílie FILTEK 500
- Štěrkopísek frakce 0 – 32 mm
- Štěrkopísek frakce 0 – 8 mm
- Jíl (z místních zdrojů)

Stavební připravenost

Před započítím budování základové desky je nezbytné, aby byly dokončeny veškeré výkopové práce a položeny všechny přípojky inženýrských sítí. Také musí být položen zemnicí pásek a provedeny drenáže po obvodu stavby.

Pracovní postup

Na dno stavební jámy vyspádované ve sklonu minimálně 2 % ve směru k obvodovým drenážím se naveze vrstva štěrkopísku frakce 0 – 32 mm, která se zhutní vibrační deskou, přičemž nejmenší tloušťka této vrstvy by neměla klesnout pod 170 mm. Následně se na celou plochu položí separační geotextílie a na ní se rozprostře cca 30 mm silná vrstva štěrkopísku, která se urovná s maximální odchylkou ± 3 mm na 2 m (geotextílie brání vymílání jemných částic z této vrstvy). Dalšími kroky jsou osazení průchodek pro inženýrské sítě a položení první vrstvy extrudovaného polystyrenu s prolepováním spojů. Poté se klade (celoplošně lepí) obvodový pruh druhé vrstvy tepelné izolace (EPS tl. 140 mm), ke kterému se přilepí soklové desky (pokládají se na delší hranu a lepí k první vrstvě izolace a obvodovým deskám druhé vrstvy). Následně se soklové desky kotví pomocí plastových úhelníků připevněných polyftalamidovými vruty k první vrstvě izolace z XPS a v rozích mezi sebou. Dle kladečského plánu se položí a plastovými hřeby (délky 200 mm) zafixuje zbytek druhé vrstvy izolace z EPS tak, aby po obvodu základové desky a pod vnitřní nosnou stěnou vznikl 600 mm široký pruh pro vybetonování žebra (pod žebrem je pouze 1. vrstva izolace). Netěsnosti okolo průchodek pro inženýrské sítě se vyplní PUR pěnou. Poté se provede armování desky (spodní výztuž, konstrukční výztuž, horní výztuž, smykové třmínky v trámech) a její betonáž. Než se započne s pokládáním hydroizolace, je třeba dodržet technologickou pauzu (cca 28 dní), aby deska mohla řádně vyschnout a vytvrdnout. Mezitím je možné po obvodu stavby zakrýt tepelnou izolací vrstvou jílu z místních zdrojů, která vytvoří těsnění bránící vsakování dešťové vody pod základy objektu. Hydroizolace se klade volně a v přesazích pásů kotví k základové desce. Spoje se svařují horkým vzduchem (pomocí speciální horkovzdušné pistole). Na okrajích se fólie ohne podle soklových

desek a s dostatečně dlouhým přesahem nechá viset přes okraj bednění (později se přikotví k nosné stěně). Hydroizolaci je nezbytné zakrýt proti poškození při následujících pracích (např. OSB deskami). Postupový diagram je zobrazen v příloze 6 této práce.

Požadavky na kontrolu jakosti

Před započítím prací je třeba zkontrolovat rozměry stavební jámy a zda je dno stavební jámy správně vyspádováno (min. 2 % směrem k drenáži). V průběhu prací se kontroluje rovinnost povrchu z jemného štěrkopísku ($\pm 3 \text{ mm} / 2 \text{ m}$) před pokládáním desek XPS, utěsnění mezer v tepelné izolaci u prostupů pro inženýrské sítě, správné lepení a kotvení desek, umístění a vázání výztuže, její kotevní délky a krycí vrstva, hutnění betonu, těsnost spojů hydroizolačních pásů (vizuálně, jehlou). Po celou dobu stavby je nutné dohlížet, zda se používají navržené materiály (typy, frakce, třídy pevnosti apod.). Před pokládkou hydroizolace se kontroluje místní rovinnost povrchu základové desky, jejíž hodnota by neměla přesáhnout $\pm 5 \text{ mm} / 2 \text{ m}$.

Skladba pracovního kolektivu

Po celou dobu výstavby základové desky se pracovní kolektiv skládá z jednoho mistra (stavbyvedoucího) a dvou pomocných dělníků, přičemž ti se střídají podle profesí (armovači, betonáři, izolatéři).

Stroje a zařízení

Pro vybudování této základové desky je třeba následujících strojů a zařízení: vibrační desky, vibrační latě, ponorného vibrátoru, nákladního automobilu, autodomíhávače, aku šroubováku, horkovzdušné svařovací pistole.

Mezi další potřebné pomůcky patří: lopata, ocelové hrábě, nůž na izolaci, nůžky, vazačka výztuže, 2m lať, svinovací metr, štětka, kyblík, jehla na kontrolu svarů, štípací kleště, kladivo.

Opatření při pracích za mimořádných podmínek

Betonářské práce a pokládání hydroizolační vrstvy by neměly probíhat při teplotách pod $+ 5 \text{ °C}$ ani za deště. Při vysokých teplotách je nutné chránit základovou desku před příliš rychlým vysycháním např. zakrytím, nebo

kropením vodou. S ohledem na bezpečnost pracovníků i kvalitu výrobku je nevhodná práce za bouří či jiných vysoce nepříznivých povětrnostních podmínek.

Tepelně-technické posouzení

Stejně jako u desky konstantního průřezu, je i u žebrové desky třeba posoudit, zda konstrukce vyhoví požadavkům na maximální součinitel prostupu tepla pro pasivní domy a jestli je správně navržen detail soklu, aby nedocházelo k tvorbě plísní v interiéru budovy a nežádoucím únikům tepla.

Posouzení prostupu tepla konstrukcí

Jelikož se jedná o stejný typ konstrukce a směr tepelného toku je také shodný jako u desky s konstantním průřezem, je hodnota $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ a $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ pro výpočty šíření tepla v zimním období.

Výpočet tepelného odporu pro jednotlivé vrstvy konstrukce základů a podlahového souvrství je uveden v tabulce 19. Vrstvy s velmi malou tloušťkou (separační fólie) a povrchová úprava podlahy (keramická dlažba + lepidlo) byly zanedbány.

Tab. 19: Tepelný odpor jednotlivých vrstev základů a podlahy (žebrová deska)

Název vrstvy	d	λ	R
	[m]	[W/(m·K)]	[(m ² ·K)/W]
Cementový potěr	0,050	1,380	0,036
Kročejeová izolace Isover T-N	0,040	0,039	1,026
Hydroizolace PVC-P fólie ALKORPLAN 35034	0,002	0,160	0,013
Železobetonová deska	0,160	1,740	0,092
Tepelná izolace Isover EPS SOKL 3000	0,140	0,037	3,784
Tepelná izolace Styrodur 4000 CS	0,100	0,035	2,857
		Celkem	7,807

Dosazením vypočtených hodnot do vzorce z normy ČSN 73 0540-4, popsaného u výpočtu součinitele prostupu tepla pro desku s konstantním průřezem, získáme:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{0,17 + 7,807 + 0,04} = 0,125 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Výsledek výpočtu porovnáme s doporučenou hodnotou pro pasivní budovy ($U_{pas,20}$), která je uvedena v tabulce 3 v normě ČSN 73 0540-2^[5].

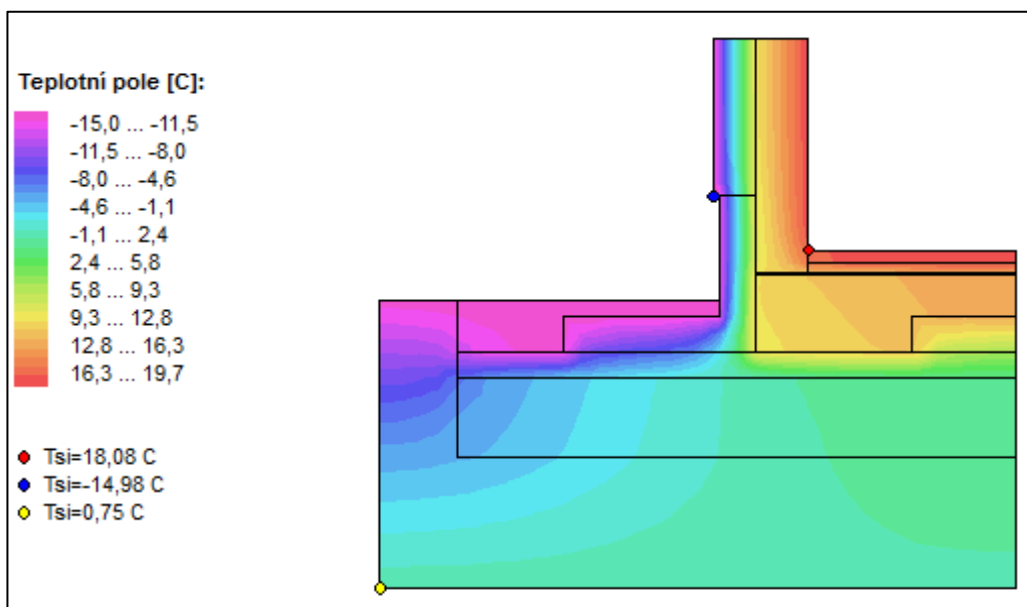
$$U \leq U_{pas,20} \rightarrow 0,13 < 0,22 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Doporučená hodnota pro pasivní domy je zde uvedena v rozmezí 0,15 až 0,22 W/(m²·K), navržená tepelná izolace ji tedy splňuje s velkou rezervou.

Tepelně-technické posouzení detailu soklu

Detail soklu je u žebrové desky navržen obdobně jako u desky s konstantním průřezem, ale pod nosnými stěnami je pouze 1 vrstva tepelné izolace a je zde jiná poloha hydroizolace, což může mít vliv na kondenzaci vodní páry v konstrukci.

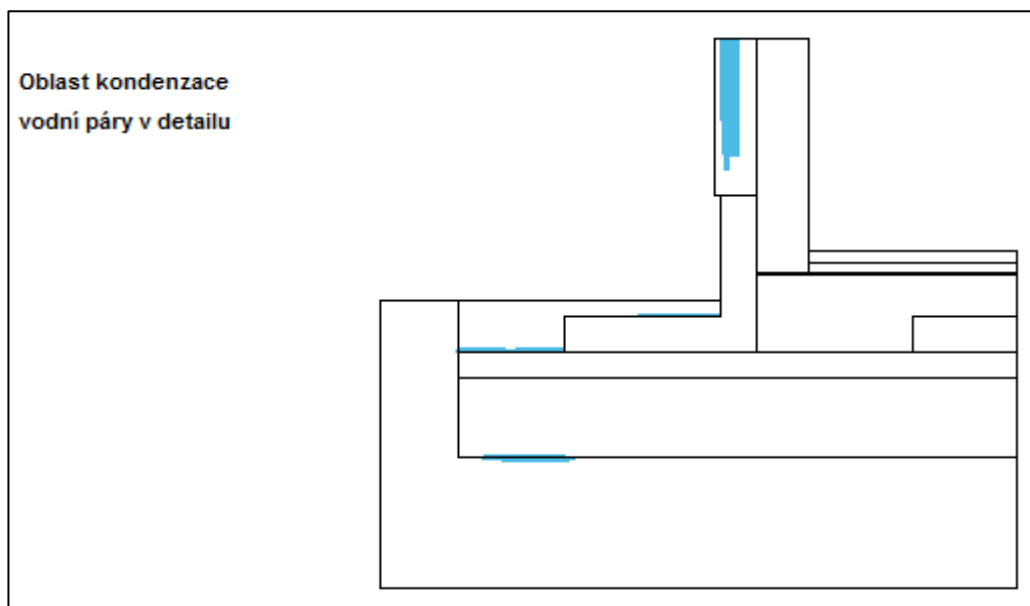
Na obrázku 28 je vykresleno teplotní pole detailu soklu pro žebrovou desku při teplotě v exteriéru -15 °C a v interiéru +21 °C. V hloubce 1,1 m pod úrovní povrchu je uvažována teplota +1 °C.



Obr. 28: Teplotní pole okolo soklu u žebrové desky

Když porovnáme teplotní pole obou desek, zjistíme, že se nijak zásadně neliší, pouze u žebrové desky nepatrně klesla teplota v rohu místnosti (cca o 0,3 °C) vlivem horšího zateplení pod nosným žebrem, ale stále je vysoko nad teplotou rosného bodu při 50% relativní vlhkosti vzduchu (10 °C). A jak je vidět na obrázku 28, ani u žebrové desky nedochází k promrzání zeminy pod základy.

Na obrázku 29 jsou znázorněna místa, kde může docházet ke kondenzaci vodní páry při relativní vlhkosti vzduchu v exteriéru 84 % a v interiéru 50 % (teploty jsou stejné jako u teplotního pole).



Obr. 29: Oblasti kondenzace vodní páry u žebrové desky

Z grafického znázornění je patrné, že ke kondenzaci vodní páry opět dochází pouze v oblasti tepelné izolace, ale je zajímavé, že v druhé vrstvě protizámrzové clony se, ve srovnání s deskou konstantního průřezu, kondenzuje mnohem menší množství vody, což je dáno tím, že použité EPS má asi o polovinu menší faktor difúzního odporu než XPS. Kompletní protokol z programu Area je přílohou číslo 8 této práce.

5.3 Ekonomické posouzení

V předchozích kapitolách bylo řešeno, zda lze realizovat základovou desku položenou ve vaně z tepelné izolace a jakým způsobem to provést. Ovšem další otázkou je, zda se to finančně vyplatí, respektive zda by případné navýšení nákladů odpovídalo výhodám, které toto řešení přináší.

5.3.1 Popis způsobu stanovení celkových nákladů

Celkové náklady na jednotlivé varianty založení stavby jsou stanoveny jako součet nákladů na materiál (včetně jeho dopravy), stroje potřebné pro vybudování základů a pracovníky.

Náklady na materiál jsou určeny na základě vypočítaného potřebného objemu a ceny materiálu (včetně DPH) od konkrétního prodejce, který má svoji provozovnu co možná nejbližší k místu výstavby. Například ceny betonu jsou odečteny z ceníku firmy Cemex a tepelné izolace ze stránek společnosti Isover či webu Rájstavitelů.cz. Výlohy na dopravu jsou u betonu dány dle ceníku výrobce, u ostatních materiálů dle nabídky autodopravců vzhledem ke hmotnosti nebo velikosti materiálu a dopravní vzdálenosti.

Náklady na stroje jsou stanoveny z doby nasazení stroje (strojohodiny) a ceny za jeho zapůjčení, případně jsou zohledněny příplatky za přistavení či jiné obdobné služby. Samostatně oceňované jsou pouze velké stroje jako rypadlo nebo vibrační deska, u těch drobnějších (svařovací pistole, ponorné vibrátory, aku šroubováky apod.) se předpokládá, že je mají ve výbavě specialisté pro danou technologii.

Výlohy na pracovníky jsou určeny z doby nasazení jednotlivých profesí a jejich hodinové mzdy (superhrubé). Doba nasazení je stanovena z objemu prací, počtu pracovníků a normohodin pro konkrétní činnost (zdroj – web ČVUT^[50] a databáze programu RTS). Hodinová mzda vychází z běžného ohodnocení pracovníků dané profese v oblasti výstavby objektu.

Stavební konstrukce, které nemají přímou souvislost se základy a vyskytují se u všech variant založení stavby, nejsou do rozpočtu zahrnuty. Jedná se o přípojky inženýrských sítí včetně průchodek základovou deskou, zemnicího pásu nebo drenáží. V textu práce jsou uvedeny pouze tabulky s přehledem nákladů, doplňující výpočty naleznete v příloze 9.

5.3.2 Výpočet celkových nákladů na desku konstantního průřezu

Základní popis desky, tedy její technologické a materiálové řešení je uvedeno v kapitole 5.2.1. Jedná se o konzervativnější návrh desky založené na „polštáři“ z extrudovaného polystyrenu, tudíž se dá předpokládat vyšší pořizovací cena v porovnání s ostatními technologickými řešeními.

Náklady na materiál

V tabulce 20 jsou uvedeny náklady na jednotlivé materiály potřebné k vybudování řešené konstrukce. U šterkopísku frakce 0 až 32 je navýšeno vypočítané množství o 20 %, neboť při nákupu je udáván objem pro sypanou směs a hutněním dojde k jeho snížení.

Tab. 20: Náklady na materiál – deska s konstantním průřezem

Materiál	MJ	Množství	Cena za MJ	Celková cena
Šterkopísek frakce 0 až 32 mm	t	51,00	217,80 Kč	11 107,80 Kč
Šterkopísek frakce 0 až 8 mm	t	6,00	240,00 Kč	1 440,00 Kč
SeparáčnÍ geotextílie FILTEK 500	role	3,00	2 648,45 Kč	7 945,35 Kč
Styrodur 4000 CS (tl. 100 mm)	m ²	168,00	513,06 Kč	86 194,08 Kč
Styrodur 3000 CS (tl. 140 mm)	m ²	42,75	549,70 Kč	23 499,68 Kč
PUR lepidlo Original Bórner - PUK	balení	7,00	510,86 Kč	3 576,02 Kč
PUR pěna Soudal 750 ml	balení	2,00	202,81 Kč	405,62 Kč
Úhelníky DOMAX (90 x 90 x 65 x 2,5 mm)	ks	36,00	12,71 Kč	457,56 Kč
Polyftalamidové vruty (4,8 x 38 mm)	ks	144,00	7,02 Kč	1 010,88 Kč
Náběhové klíny EPS (50 x 50 mm)	m	32,00	43,56 Kč	1 393,92 Kč
ELASTEK 50 SPECIAL MINERAL	role	13,00	1 250,54 Kč	16 257,02 Kč
Kotvící hmoždinky 9 x 80 mm	ks	64,00	8,17 Kč	522,88 Kč
Beton C 25/30 - XF2	m ³	20,00	2 662,00 Kč	53 240,00 Kč
KARI síť 8/100/100 mm	ks	16,00	1 639,80 Kč	26 236,80 Kč
Lišty UTH 220	m	128,00	35,80 Kč	4 582,40 Kč
Distanční lišty TRICK 15	ks	36,00	20,73 Kč	746,28 Kč
Pytlové úvazky (1,1 x 100 mm)	balení	1,00	269,01 Kč	269,01 Kč
			Celkem	238 885,30 Kč

Náklady na dopravu materiálu

Náklady na dopravu jsou počítány pro materiály, které nelze přepravovat běžným osobním či užitkovým vozem. U těch ostatních se předpokládá, že je dodavatel schopen zajistit jejich dodání na místo stavby vlastními silami. Položka N/V v tabulce 21 udává čas potřebný na nakládky a vykládky materiálu.

Tab. 21: Náklady na dopravu materiálu – deska s konstantním průřezem

Stanovení nákladů dle dopravního prostředku						
Typ dopravního prostředku	Objem korby	Nosnost	Přeprava	Nakládka		
	[m ³]	[t]	[Kč/km]	[Kč/h]		
Tatra 8x8 souprava	20	30	55	1000		
Tatra Terrno	10	12	40	700		
MAN 18 232 - valník	3	7	33	700		
Stanovení nákladů na přepravu sypkého nebo kusového materiálu						
Dopravovaný materiál	MJ	Množství	Typ DP	km	N/V [h]	Celková cena
Štěrkopísek frakce 0 až 32 mm	t	51,00	Tatra 8x8	20	1	3 200,00 Kč
Štěrkopísek frakce 0 až 8 mm	t	6,00	Tatra Terrno	20	0,5	1 150,00 Kč
KARI síť 8/100/100 mm	t	0,76	MAN - valník	20	0,5	1 010,00 Kč
Stanovení nákladů na dopravu betonové směsi						
Dopravovaný materiál	MJ	Množství	Vzdálenost	Cena za MJ	Celková cena	
Beton C 25/30 - XF2	m ³	20,00	18 až 20 km	261,00 Kč	5 220,00 Kč	
Celková cena za dopravu materiálu pro desku konstantního průřezu						10 580,00 Kč

Náklady na stroje

V tabulce 22 jsou uvedeny náklady na zapůjčení větších stavebních strojů, tedy rypadla a vibrační desky, včetně jejich příslušenství. U drobnějších nástrojů se předpokládá, že je mají dodavatelé ve své výbavě.

Tab. 22: Náklady na stroje – deska s konstantním průřezem

Stroj	Čas nasazení	MJ	Cena za MJ	Příslušenství	Celkem
Rypadlo-nakladač CAT 428D II	1	den	3 751,00 Kč	302,50 Kč	4 053,50 Kč
Vibrační deska	2	den	660,00 Kč	0,00 Kč	1 320,00 Kč
Celkem					5 373,50 Kč

Náklady na pracovníky

Náklady na pracovníky jsou v tabulce 23 rozděleny podle činnosti, kterou vykonávají, přičemž každé profesi je přiřazeno odpovídající platové ohodnocení. Stavbyvedoucí je na staveništi přítomen po celou dobu výstavby, aby koordinoval činnosti a řídil pracovníky.

Tab. 23: Náklady na pracovníky – deska s konstantním průřezem

Činnost	Doba trvání [h]	Profese	Počet pracovníků	Hrubá mzda	Superhrubá mzda	Celkem
Výkopy strojní	3	Strojník	1	150,00 Kč	201,00 Kč	603,00 Kč
Hutněné podsypy	13	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	4 180,80 Kč
Geotextilie	4	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	1 286,40 Kč
Tepelná izolace	32	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	10 291,20 Kč
Hydroizolace	16	Izolátér	2	150,00 Kč	201,00 Kč	6 432,00 Kč
Armování	8	Armovač	2	150,00 Kč	201,00 Kč	3 216,00 Kč
Betonáž	10	Betonář	2	150,00 Kč	201,00 Kč	4 020,00 Kč
Jílový zásyp	3	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	964,80 Kč
Stavební dozor	89	Stavbyvedoucí	1	180,00 Kč	241,20 Kč	21 466,80 Kč
					Celkem	52 461,00 Kč

5.3.3 Výpočet celkových nákladů na žebrovou desku

Technologické a materiálové řešení žebrové desky je popsáno v kapitole 5.2.2. Cílem návrhu žebrové desky je maximální využití materiálu pro jemu určenou funkci, čímž by mělo dojít ke snížení jeho objemu a tím k poklesu ceny.

Náklady na materiál

Stejně jako u konstantní desky je i zde navýšeno vypočítané množství štěrkopísku frakce 0 až 32 o 20 %, neboť při nákupu je udáván objem pro sypanou směs a hutněním dojde k jeho snížení. V tabulce 24 jsou uvedeny náklady na jednotlivé materiály potřebné ke stavbě žebrové desky.

Tab. 24: Náklady na materiál – žebrová deska

Materiál	MJ	Množství	Cena za MJ	Celková cena
Štěrkopísek frakce 0 až 32 mm	t	51,00	217,80 Kč	11 107,80 Kč
Štěrkopísek frakce 0 až 8 mm	t	6,00	240,00 Kč	1 440,00 Kč
Separační geotextílie FILTEK 500	role	3,00	2 648,45 Kč	7 945,35 Kč
Styrodur 4000 CS (tl. 100 mm)	m ²	102,00	513,06 Kč	52 332,12 Kč
Isover EPS SOKL 3000 (tl. 140 mm)	m ²	86,25	380,14 Kč	32 787,08 Kč
PUR lepidlo Original Börner - PUK	balení	3,00	510,86 Kč	1 532,58 Kč
PUR pěna Soudal 750 ml	balení	2,00	202,81 Kč	405,62 Kč
Úhelníky DOMAX (90 x 90 x 65 x 2,5 mm)	ks	36,00	12,71 Kč	457,56 Kč
Polyftalamidové vruty (4,8 x 38 mm)	ks	144,00	7,02 Kč	1 010,88 Kč
Plastové hřeby (délka 200 mm)	balení	6,00	249,00 Kč	1 494,00 Kč
Beton C 25/30 - XF2	m ³	14,00	2 662,00 Kč	37 268,00 Kč
Betonářská výztuž Ø 10 mm	m	1121,00	13,32 Kč	14 931,72 Kč
Lišty UTH 100	m	84,00	19,30 Kč	1 621,20 Kč
Distanční lišty TRICK 20	ks	54,00	20,92 Kč	1 129,68 Kč
Pytlové úvazky (1,1 x 100 mm)	balení	2,00	269,01 Kč	538,02 Kč
PVC-P fólie ALKORPLAN 35034	role	2,00	10 002,25 Kč	20 004,50 Kč
Kotvící hmoždinky 9 x 80 mm	ks	144,00	8,17 Kč	1 176,48 Kč
			Celkem	187 182,59 Kč

Náklady na dopravu materiálu

Náklady na dopravu materiálu jsou u obou variant založení na extrudovaném polystyrenu velice podobné. Přehled pro žebrovou desku je uveden v tabulce 25.

Tab. 25: Náklady na dopravu materiálu – žebrová deska

Stanovení nákladů dle dopravního prostředku				
Typ dopravního prostředku	Objem korby	Nosnost	Přeprava	Nakládka
	[m ³]	[t]	[Kč/km]	[Kč/h]
Tatra 8x8 souprava	20	30	55	1000
Tatra Terrno	10	12	40	700
MAN 18 232 - valník	3	7	33	700

Stanovení nákladů na přepravu sypkého nebo kusového materiálu						
Dopravovaný materiál	MJ	Množství	Typ DP	km	N/V [h]	Celková cena
Štěrkopísek frakce 0 až 32 mm	t	51,00	Tatra 8x8	20	1	3 200,00 Kč
Štěrkopísek frakce 0 až 8 mm	t	6,00	Tatra Terrno	20	0,5	1 150,00 Kč
Betonářská výztuž Ø 10 mm	t	0,70	MAN - valník	20	0,5	1 010,00 Kč
Stanovení nákladů na dopravu betonové směsi						
Dopravovaný materiál	MJ	Množství	Vzdálenost	Cena za MJ	Celková cena	
Beton C 25/30 - XF2	m ³	14,00	18 až 20 km	261,00 Kč	3 654,00 Kč	
Celková cena za dopravu materiálu pro desku konstantního průřezu					9 014,00 Kč	

Náklady na stroje

Výlohy na velké stroje použité pro vybudování žebrové desky vypsané v tabulce 26 se dokonce vůbec neliší od těch na stavbu desky s konstantním průřezem, což je dáno tím, že tyto stroje jsou využívány pouze pro provedení podkladních vrstev (hloubení jámy a hutnění štěrkopísku), které jsou pro obě konstrukce totožné.

Tab. 26: Náklady na stroje – žebrová deska

Stroj	Čas nasazení	MJ	Cena za MJ	Příslušenství	Celkem
Rypadlo-nakladač CAT 428D II	1	den	3 751,00 Kč	302,50 Kč	4 053,50 Kč
Vibrační deska	2	den	660,00 Kč	0,00 Kč	1 320,00 Kč
				Celkem	5 373,50 Kč

Náklady na pracovníky

V tabulce 27 jsou vypsány náklady na pracovníky zaměstnané na stavbě žebrové desky. Vzhledem k jinému způsobu vyztužení a celkově složitější geometrii byl předpoklad, že tato deska bude náročnější na provedení, což by znamenalo prodloužení doby výstavby a tím navýšení výloh na pracovní síly. Tato predikce se však nepotvrdila a některé procesy se dokonce zkrátily, především betonáž díky menšímu objemu betonu, ale také hydroizolace použitím PVC-P pásů, které mají větší šířku role než asfaltové pásy, a tak je jejich pokládka rychlejší.

Tab. 27: Náklady na pracovníky – žebrová deska

Činnost	Doba trvání [h]	Profese	Počet pracovníků	Hrubá mzda	Superhrubá mzda	Celkem
Výkopy strojní	3	Strojník	1	150,00 Kč	201,00 Kč	603,00 Kč
Hutněné podsypy	13	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	4 180,80 Kč
Geotextilie	4	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	1 286,40 Kč
Tepelná izolace	27	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	8 683,20 Kč
Armování	8	Armovač	2	150,00 Kč	201,00 Kč	3 216,00 Kč
Betonáž	8	Betonář	2	150,00 Kč	201,00 Kč	3 216,00 Kč
Hydroizolace	14	Izolatér	2	150,00 Kč	201,00 Kč	5 628,00 Kč
Jílový zásyp	3	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	964,80 Kč
Stavební dozor	80	Stavbyvedoucí	1	180,00 Kč	241,20 Kč	19 296,00 Kč
					Celkem	47 074,20 Kč

5.3.4 Výpočet celkových nákladů pro založení na drti z pěnového skla

Další možností zespuu tepelně izolovaných základů je deska na drti z pěnového skla. Pro řešenou stavbu je navržena železobetonová deska tloušťky 300 mm o rozměrech 8 x 8 m (vyztužení totožné s deskou konstantního průřezu) spočívající na 400 mm silné hutněné vrstvě z drceného pěnového skla, která přesahuje na každém okraji desky o 1 m do strany, aby bylo zabráněno promrzání půdy pod objektem. Dno stavební jámy je svahováno k drenážím stejným způsobem jako u desek založených na XPS (odvedení vody z oblasti pod stavbou). Hydroizolace z SBS asfaltových pásů je provedena na povrchu desky a vertikálně v oblasti soklu do výšky 400 mm nad terén. Po obvodu je základová deska izolována proti úniku tepla pomocí desek Isover EPS SOKL 3000 tloušťky 140 mm.

Náklady na materiál

Z tabulky 28 lze vyčíst, že nejdražším materiálem u tohoto způsobu založení stavby je právě drť z pěnového skla, která slouží jako tepelná izolace, což je dáno nejen její poměrně vysokou jednotkovou cenou, ale hlavně velkou spotřebou, jelikož je třeba tlustší vrstva než u deskových

izolací (drť z pěnového skla má součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,08 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, oproti XPS, které má $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$).

Tab. 28: Náklady na materiál – deska na drti z pěnového skla

Materiál	MJ	Množství	Cena za MJ	Celková cena
Drť z pěnového skla	m ³	53,00	1 657,70 Kč	87 858,10 Kč
Prkna na bednění desky (tl. 24 mm)	m ²	10,00	151,25 Kč	1 512,50 Kč
Latě na bednění desky (40 x 60 mm x 4 m)	ks	11,00	82,28 Kč	905,08 Kč
Vrut do dřeva TORX (5 x 60 mm)	balení	1,00	637,00 Kč	637,00 Kč
Beton C 25/30 - XF2	m ³	20,00	2 662,00 Kč	53 240,00 Kč
KARI síť 8/100/100 mm	ks	16,00	1 639,80 Kč	26 236,80 Kč
Lišty UTH 220	m	128,00	35,80 Kč	4 582,40 Kč
Distanční lišty TRICK 15	ks	36,00	20,73 Kč	746,28 Kč
Pytlivé úvazky (1,1 x 100 mm)	balení	1,00	269,01 Kč	269,01 Kč
ELASTEK 50 SPECIAL MINERAL	role	12,00	1 250,54 Kč	15 006,48 Kč
Isover EPS SOKL 3000 (tl. 140 mm)	m ²	20,25	380,14 Kč	7 697,84 Kč
Lepící hmota Weber tmel 700	balení	4,00	144,00 Kč	576,00 Kč
Kotvicí hmoždinky 9 x 80 mm	ks	64,00	8,17 Kč	522,88 Kč
			Celkem	199 790,37 Kč

Náklady na dopravu materiálu

Náklady na dopravu materiálu výrazně navyšuje drť z pěnového skla, která není běžně dostupná a musí se na stavenišťe dopravit z výroby ve Vintřově v Karlovarském kraji, jenž je od plánovaného umístění stavby v okolí města Turnov (Liberecký kraj) vzdálen přibližně 230 km. Ostatní materiály je možné zakoupit u místních distributorů.

Tab. 29: Náklady na dopravu materiálu – deska na drti z pěnového skla

Stanovení nákladů dle dopravního prostředku				
Typ dopravního prostředku	Objem korby	Nosnost	Přeprava	Nakládka
	[m ³]	[t]	[Kč/km]	[Kč/h]
SCANIA tahač + sklápěcí návěs	27	31	39	1050
MAN 18 232 - valník	3	7	33	700

Stanovení nákladů na přepravu sypkého nebo kusového materiálu						
Dopravovaný materiál	MJ	Množství	Typ DP	km	N/V [h]	Celková cena
Drť z pěnového skla	t	84,80	SCANIA	460	1,5	55 395,00 Kč
KARI síť 8/100/100 mm	t	0,76	MAN - valník	20	0,5	1 010,00 Kč
Stanovení nákladů na dopravu betonové směsi						
Dopravovaný materiál	MJ	Množství	Vzdálenost	Cena za MJ	Celková cena	
Beton C 25/30 - XF2	m ³	20,00	18 až 20 km	261,00 Kč	5 220,00 Kč	
Celková cena za dopravu materiálu pro desku konstantního průřezu						61 625,00 Kč

Náklady na stroje

Výlohy na stroje jsou opět velice podobné předchozím variantám, jen je déle využívána vibrační deska, což je dáno větším objemem podkladních vrstev základové desky.

Tab. 30: Náklady na stroje – deska na drti z pěnového skla

Stroj	Čas nasazení	MJ	Cena za MJ	Příslušenství	Celkem
Rypadlo-nakladač CAT 428D II	1 den	3 751,00 Kč	302,50 Kč	4 053,50 Kč	
Vibrační deska	3 den	660,00 Kč	0,00 Kč	1 980,00 Kč	
Celkem					6 033,50 Kč

Náklady na pracovníky

Složení pracovního kolektivu je pro všechny porovnávané možnosti založení stejné, neboť klasická i moderní řešení vycházejí ze železobetonové základové desky a konstrukci je nezbytné izolovat proti vodě i únikům tepla. Co se liší, je doba výstavby, jelikož každá varianta má různě náročné jednotlivé technologické postupy a objem budovaných konstrukcí je také rozdílný. U založení na drti z pěnového skla zabere nejvíce času hutnění tohoto materiálu, neboť se ukládá ve velké vrstvě (je nutné jej hutnit po několika slabších vrstvách), ale naopak se výrazně zkrátí potřebná doba na položení tepelné izolace, neboť tuto funkci již z velké části vykonává právě podsyp z pěnového skla.

Tab. 31: Náklady na pracovníky – deska na drti z pěnového skla

Činnost	Doba trvání [h]	Profese	Počet pracovníků	Hrubá mzda	Superhrubá mzda	Celkem
Výkopy strojní	3	Strojník	1	150,00 Kč	201,00 Kč	603,00 Kč
Hutněné podsypy	24	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	7 718,40 Kč
Bednění	2	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	643,20 Kč
Armování	8	Armovač	2	150,00 Kč	201,00 Kč	3 216,00 Kč
Betonáž	10	Betonář	2	150,00 Kč	201,00 Kč	4 020,00 Kč
Hydroizolace	14	Izolátér	2	150,00 Kč	201,00 Kč	5 628,00 Kč
Tepelná izolace	8	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	2 572,80 Kč
Stavební dozor	69	Stavbyvedoucí	1	180,00 Kč	241,20 Kč	16 642,80 Kč
					Celkem	41 044,20 Kč

5.3.5 Výpočet celkových nákladů pro založení na pasech

Toto tradiční založení stavby je při správném provedení velice spolehlivé a u standardních objektů i poměrně finančně nenáročné. Pro řešený rodinný dům jsou navrženy pasy z prostého betonu o šířce 600 mm zasahující do nezámrzné hloubky 800 mm, na nich spočívá roznášecí železobetonová deska tloušťky 200 mm o rozměrech 8 x 8 m vyztužená KARI sítěmi 8/100/100 mm při spodním okraji v celé ploše a při horním okraji po obvodu desky. Mezi základovými pasy je vytvořen 100 mm silný hutněný štěrkopískový podsyp. Hydroizolace z asfaltových pásů je položena na povrchu desky a vertikálně v oblasti soklu do výšky 400 mm nad terén. Do celkových nákladů je započítána i tepelná izolace soklu (desky Isover EPS SOKL 3000) a podlahy (Isover EPS 100), aby bylo relevantní porovnání s ostatními variantami, které mají izolaci pod základy.

Náklady na materiál

V tabulce 32 jsou uvedeny náklady na materiál pro vybudování klasického založení na pasech. Oproti moderním způsobům je zde mnohem větší spotřeba betonu (asi 17,5 m³ padne na pasy), ostatní materiály se pohybují v podobných objemech jako u ostatních variant.

Tab. 32: Náklady na materiál – betonové pasy

Materiál	MJ	Množství	Cena za MJ	Celková cena
Štěrkopísek frakce 0 až 32 mm	t	10,00	217,80 Kč	2 178,00 Kč
Prkna na bednění desky (tl. 24 mm)	m ²	7,00	151,25 Kč	1 058,75 Kč
Latě na bednění desky (40 x 60 mm x 4 m)	ks	10,00	82,28 Kč	822,80 Kč
Vrut do dřeva TORX (5 x 60 mm)	balení	1,00	637,00 Kč	637,00 Kč
Beton C 25/30 - XF2	m ³	31,00	2 662,00 Kč	82 522,00 Kč
KARI síť 8/100/100 mm	ks	16,00	1 639,80 Kč	26 236,80 Kč
Lišty UTH 140	m	48,00	23,60 Kč	1 132,80 Kč
Distanční lišty TRICK 15	ks	36,00	20,73 Kč	746,28 Kč
Pytlové úvazky (1,1 x 100 mm)	balení	1,00	269,01 Kč	269,01 Kč
ELASTEK 50 SPECIAL MINERAL	role	12,00	1 250,54 Kč	15 006,48 Kč
Isover EPS SOKL 3000 (tl. 140 mm)	m ²	20,25	380,14 Kč	7 697,84 Kč
Isover EPS 100 (tl. 120 mm)	m ²	60,00	212,57 Kč	12 754,20 Kč
Lepící hmota Weber tmel 700	balení	4,00	144,00 Kč	576,00 Kč
Kotvící hmoždinky 9 x 80 mm	ks	64,00	8,17 Kč	522,88 Kč
			Celkem	152 160,84 Kč

Náklady na dopravu materiálu

Výlohy na dopravu materiálu pro tuto variantu základů jsou vypsány v tabulce 33 a v zásadě se neliší od těch pro desky zakládáné na extrudovaném polystyrenu.

Tab. 33: Náklady na dopravu materiálu – betonové pasy

Stanovení nákladů dle dopravního prostředku						
Typ dopravního prostředku	Objem korby	Nosnost	Přeprava	Nakládka		
	[m ³]	[t]	[Kč/km]	[Kč/h]		
Tatra Terrno	10	12	40	700		
MAN 18 232 - valník	3	7	33	700		
Stanovení nákladů na přepravu sypkého nebo kusového materiálu						
Dopravovaný materiál	MJ	Množství	Typ DP	km	N/V [h]	Celková cena
Štěrkopísek frakce 0 až 32 mm	t	10,00	Tatra Terrno	20	0,5	1 150,00 Kč
KARI síť 8/100/100 mm	t	0,76	MAN - valník	20	0,5	1 010,00 Kč

Stanovení nákladů na dopravu betonové směsi					
Dopravovaný materiál	MJ	Množství	Vzdálenost	Cena za MJ	Celková cena
Beton C 25/30 - XF2	m ³	31,00	18 až 20 km	261,00 Kč	8 091,00 Kč
Celková cena za dopravu materiálu pro desku konstantního průřezu					10 251,00 Kč

Náklady na stroje

Náklady na stroje jsou v tomto případě minoritní, protože objem výkopů i hutněných podkladních vrstev je oproti ostatním variantám založení výrazně menší, proto rypadlo i vibrační deska stráví na stavbě pouze 1 den.

Tab. 34: Náklady na stroje – betonové pasy

Stroj	Čas nasazení	MJ	Cena za MJ	Příslušenství	Celkem
Rypadlo-nakladač CAT 428D II	1 den		3 751,00 Kč	302,50 Kč	4 053,50 Kč
Vibrační deska	1 den		660,00 Kč	0,00 Kč	660,00 Kč
Celkem					4 713,50 Kč

Náklady na pracovníky

Tab. 35: Náklady na pracovníky – betonové pasy

Činnost	Doba trvání [h]	Profese	Počet pracovníků	Hrubá mzda	Superhrubá mzda	Celkem
Výkopy strojní	3	Strojník	1	150,00 Kč	201,00 Kč	603,00 Kč
Betonáž pasů	8	Betonář	2	150,00 Kč	201,00 Kč	3 216,00 Kč
Výkopy ruční	4	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	1 286,40 Kč
Hutněné podsypy	4	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	1 286,40 Kč
Bednění	2	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	643,20 Kč
Armování	8	Armovač	2	150,00 Kč	201,00 Kč	3 216,00 Kč
Betonáž	7	Betonář	2	150,00 Kč	201,00 Kč	2 814,00 Kč
Hydroizolace	14	Izolatér	2	150,00 Kč	201,00 Kč	5 628,00 Kč
TI soklu	8	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	2 572,80 Kč
TI podlahy	9	Dělník	2	120,00 Kč	160,80 Kč	2 894,40 Kč
Stavební dozor	67	Stavbyvedoucí	1	180,00 Kč	241,20 Kč	16 160,40 Kč
Celkem					40 320,60 Kč	

5.3.6 Porovnání nákladů na jednotlivé způsoby založení stavby

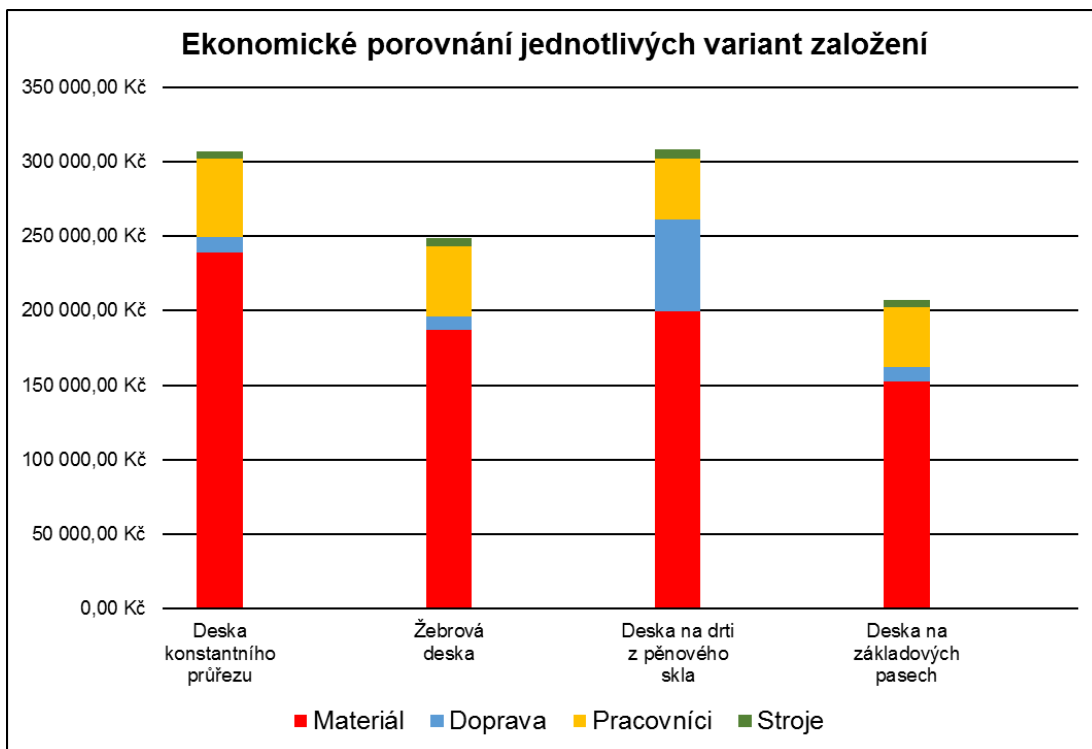
V tabulce č. 36 jsou porovnány náklady na jednotlivé způsoby založení rodinného domu, jejichž výpočet byl proveden na předchozích stránkách. Nalezneme zde jak porovnání dílčích nákladů na materiál, dopravu, stroje a pracovníky, tak srovnání celkových nákladů na vybudování základů.

Tab. 36: Porovnání nákladů na jednotlivé varianty založení stavby

	Deska konstantního průřezu	Žebrová deska	Deska na drti z pěnového skla	Deska na základových pasech
Materiál	238 885,30 Kč	187 182,59 Kč	199 790,37 Kč	152 160,84 Kč
Doprava	10 580,00 Kč	9 014,00 Kč	61 625,00 Kč	10 251,00 Kč
Pracovníci	52 461,00 Kč	47 074,20 Kč	41 044,20 Kč	40 320,60 Kč
Stroje	5 373,50 Kč	5 373,50 Kč	6 033,50 Kč	4 713,50 Kč
Celkem	307 299,80 Kč	248 644,29 Kč	308 493,07 Kč	207 445,94 Kč

Z tabulky je patrné, že nejlevnější je tradiční založení na pasech, a naopak nejdražší je deska na drti z pěnového skla, za níž v těsném závěsu následuje deska konstantního průřezu na XPS. U varianty s pěnovým sklem je vysoká cena dána jednak cenou materiálu, ale hlavně nutností jeho přepravy na velkou vzdálenost. Pokud by stavba stála někde v Karlovarském kraji, kde je výrobní závod na drť z pěnového skla, bylo by toto řešení konkurenceschopnější. Zakládání na XPS zase prodražuje vysoká cena materiálu, což je zřetelné u desky s konstantním průřezem, kde je tepelná izolace v celé ploše ve dvou vrstvách.

U žebrové desky se podařilo, jednak snížením spotřeby betonu, ale hlavně nahrazením části desek z XPS deskami z EPS, které jsou sice méně únosné, ale zato levnější, srazit cenu materiálu o 50 000 Kč. Přesto je tato varianta stále o 40 000 Kč dražší než založení na pasech. Pokud však vezmeme v úvahu mnohem lepší izolační vlastnosti desky založené na XPS, a tím dané snížení nákladů na vytápění, může se jednat o zajímavý ekvivalent k tradičním metodám. Názorně jsou hodnoty z tabulky 36 zobrazeny ve skládaném sloupcovém grafu 1.



Graf 1: Porovnání nákladů na jednotlivé varianty založení

6 Přínosy

Přínosy této práce lze rozdělit do dvou rovin. Tou první jsou poznatky pro praktické použití řešeného systému, tou druhou poté přínosy pro autora práce.

V oblasti poznatků pro praxi přináší tato práce návrh postupu, jak dimenzovat základové desky položené na polštáři z tepelné izolace. Dále pak možná řešení typických detailů těchto konstrukcí, jako jsou prostupy inženýrských sítí nebo napojení jednotlivých konstrukčních vrstev v oblasti soklu budovy. V neposlední řadě je zde stanoven technologický postup pro vybudování těchto základových konstrukcí, a to jak pro konzervativnější variantu desky s konstantním průřezem, tak pro ekonomicky výhodnější žebrovou desku.

Autorovi této práce přinesla její realizace především rozšíření povědomí o možnostech zakládání staveb (poznání moderních způsobů zakládání) i o dimenzování základů. Také poznal nové materiály a jejich možná využití. V oblasti tepelné techniky si osvěžil znalost normových požadavků pro různé kategorie objektů a osvojil si postupy navrhování materiálového složení i detailů různých konstrukcí, aby požadavky byly splněny.

7 Doporučení pro další postup

Cílem této práce bylo navrhnout základovou desku položenou na polštáři z extrudovaného polystyrenu, stanovit technologický postup pro její vybudování a porovnat náklady potřebné k její stavbě s výlohami na jiné varianty založení. V průběhu psaní práce se však objevilo několik otázek, které by bylo zajímavé zodpovědět, ale v této práci na to již nezbyl prostor.

První otázkou je, jak se bude skutečně chovat extrudovaný či expandovaný polystyren při daném zatížení. Abychom to zjistili, bylo by třeba provést praktická měření na definovaném vzorku a podle jejich výsledků upravit výpočetní model základové desky.

Další neznámou je, zda navržené kotvení soklů, které zároveň plní funkci bednění základové desky, odolá vodorovným tlakům od čerstvé betonové směsi. To je nutné ověřit statickým výpočtem, případně praktickou zkouškou v laboratoři.

Také je otázkou, jak navrhnout konstrukce, které jsou spojené se stavbou, ale nemají s ní společný základ, jako jsou vstupní rampy či schodiště, terasy a podobně. V práci jsou řešeny pouze prostupy inženýrských sítí.

Posledním otazníkem je to, kolik by se ročně ušetřilo nákladů na vytápění objektu, při použití navrhovaných základových konstrukcí, oproti těm klasickým. Z tohoto údaje by poté bylo možné stanovit návratnost investice do tepelně úspornější, ale dražší varianty.

8 Závěr

Práce se snažila popsat zakládání staveb na extrudovaném polystyrenu, a to jak z hlediska návrhu základových konstrukcí dle působícího zatížení a podkladní zeminy, tak z pohledu technologického s důrazem na řešení detailů a stanovení vhodných technologických postupů. Také se zabývala ekonomickým posouzením navrženého řešení a jeho porovnáním s jinými variantami zakládání.

Prvním cílem práce byla dimenzace základové desky ve dvou variantách – deska konstantního průřezu a žebrová deska. V kapitole 5.1.4 jsou navrženy rozměry základové desky konstantního průřezu i její vyztužení a materiálové řešení a v kapitole 5.1.5. je totéž provedeno pro žebrovou desku.

Druhým cílem této práce bylo navržení konstrukčních řešení detailů základů a technologických postupů pro jejich vybudování, a posouzení konstrukce z hlediska tepelné techniky. V kapitole 5.2.1 jsou navrženy detaily soklu a spojování izolačních desek i podrobný technologický postup pro desku konstantního průřezu. Je zde také posudek na prostup tepla konstrukcí a vykreslení teplotního pole v detailu soklu. Pro žebrovou desku je to samé provedeno v kapitole 5.2.2.

Třetím a posledním cílem bylo ekonomické porovnání zakládání na XPS s tradičním založením na pasech a dalším moderním způsobem – založením na drti z pěnového skla. V kapitole 5.3 jsou nejprve vypočteny dílčí i celkové náklady na jednotlivé varianty, které jsou následně porovnány a je určena nejvýhodnější varianta.

Z výše uvedeného vyplývá, že všechny vytyčené cíle byly splněny, a navíc se v průběhu psaní objevily další zajímavé otázky, které jsou vypsány v kapitole „Doporučení pro další postup“.

Použitá literatura

Knihy:

- [1] MACEKOVÁ, Věra a Milan VLČEK. *Zakládání staveb*. 2. doplněné vydání. Brno: ERA group spol. s r.o., 2006. Edice Technická knihovna. ISBN 80-7366-055-5.
- [2] MASOPUST, Jan. *Zakládání staveb 1*. Dotisk 1. vydání. Praha: ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-05837-4.
- [3] SMOLA, Josef. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. Praha: Grada, 2011. Edice Stavitel. ISBN 978-80-247-2995-4.
- [4] TYWONIAK, Jan a kol. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. Praha: Grada, 2008. Edice Stavitel. ISBN 978-80-247-2061-6.

Normy:

- [5] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 73 0540.
- [6] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Český normalizační institut, 2005. Třídící znak 73 0540.
- [7] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody*. Praha: Český normalizační institut, 2005. Třídící znak 73 0540.
- [8] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004. Třídící znak 73 0002.
- [9] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004. Třídící znak 73 0035.
- [10] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2005. Třídící znak 73 0035.
- [11] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006. Třídící znak 73 1201.

- [12] ČSN EN 1997-1. *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla*. Praha: Český normalizační institut, 2006. Třídící znak 73 1000.

Webové stránky:

- [13] ADAMEC, Tomáš. Zakládání rodinného domu na polštáři izolace z extrudovaného polystyrenu. In: *Estav.cz* [online]. 10.5.2018 [cit. 2018-10-14]. Dostupné z:
<https://www.estav.cz/cz/6321.zakladani-rodinneho-domu-na-polstari-z-tepelne-izolace-z-extrudovaneho-polystyrenu>
- [14] GIBSON, Scott. Prefabricated Foam Forms for Slab Foundations. In: *Finehomebuilding.com* [online]. Oct 15, 2014 [cit. 2018-10-12]. Dostupné z:
<https://www.finehomebuilding.com/2014/10/15/prefabricated-foam-forms-for-slab-foundations>
- [15] HAZUCHA, Juraj. Jak na efektivní zakládání pasivních domů? In: *Tzb-info.cz* [online]. 3.7.2014 [cit. 2018-10-09]. Dostupné z:
<https://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/11435-jak-na-efektivni-zakladani-pasivnich-domu>
- [16] KOS, Jan a Alena Horská. Vyztužování poruchových oblastí železobetonové konstrukce: Návrh výztuže základové desky. In: *Concrete.fsv.cvut.cz* [online]. 2017 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z:
<http://concrete.fsv.cvut.cz/projekty/pdf/2017/N%C3%A1vrh%20v%C3%BDztu%C5%BEe%20z%C3%A1kladov%C3%A9%20desky.pdf>
- [17] [MICHALCOVÁ, Vladimíra]. Modely podloží. In: *Fast10.vsb.cz* [online]. 2010-2011 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z:
http://fast10.vsb.cz/michalcova/PruznostII/podlozi_tisk.pdf
- [18] ZEMAN, Jan. Modelování podloží. In: *Mech.fsv.cvut.cz* [online]. Říjen 2006 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z:
<http://mech.fsv.cvut.cz/~zemanj/teaching/mk10/prednasky/prednaska5.pdf>
- [19] Austrotherm Fundamentplatten-Dämmsystem: Das Fundament für Behaglichkeit. *Austrotherm.at* [online]. 12/2015 [cit. 2018-10-21]. Dostupné z:

https://www.austrotherm.at/fileadmin/user_upload/Fundamentplattensystem_2015.pdf

- [20] Austrotherm XPS TOP 50 SF. *Austrotherm.at* [online]. 05/2017 [cit. 2018-10-21]. Dostupné z:
https://www.austrotherm.at/fileadmin/user_upload/Austrotherm_XPS_TOP_50_SF_AT.pdf
- [21] Austrotherm XPS TOP 70 SF. *Austrotherm.at* [online]. 05/2017 [cit. 2018-10-21]. Dostupné z:
https://www.austrotherm.at/fileadmin/user_upload/Austrotherm_XPS_TOP_70_SF_AT.pdf
- [22] Gesamtpreisliste. *Austrotherm.at* [online]. 1.3.2018 [cit. 2018-10-22]. Dostupné z:
https://www.austrotherm.at/fileadmin/user_upload/AT_Preisliste_2018.pdf
- [23] Austrotherm XPS TOP 50 SF. *Austrotherm.cz* [online]. © by Austrotherm [cit. 2018-10-22]. Dostupné z:
http://www.austrotherm.cz/front_content.php?idart=798
- [24] Austrotherm XPS TOP 70 SF. *Austrotherm.cz* [online]. © by Austrotherm [cit. 2018-10-22]. Dostupné z:
http://www.austrotherm.cz/front_content.php?idart=799
- [25] Austrotherm Fundamentplatten-Dämmsystem. *Austrotherm.de* [online]. © 2018 Austrotherm [cit. 2018-10-21]. Dostupné z:
<https://www.austrotherm.de/produkte/austrotherm-xps/austrotherm-fundamentplatten-daemmsystem/>
- [26] Planning and installation instructions. *Bygghouse.com* [online]. 07Feb18 [cit. 2018-10-24]. Dostupné z:
<http://www.bygghouse.com/wp-content/uploads/2018/03/WarmForm-Instruction-Manual-s30mar18.pdf>
- [27] Frank Lloyd Wright. *Cs.wikipedia.org* [online]. 25.12.2018 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Frank_Lloyd_Wright
- [28] Insulated Foundation System Design Guide. *Cdn2.hubspot.net* [online]. [cit. 2018-10-23]. Dostupné z:

[https://cdn2.hubspot.net/hubfs/299572/docs/KORE Passive Slab Design Guide.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/299572/docs/KORE_Passive_Slab_Design_Guide.pdf)

- [29] GEO5 Uživatelská příručka. *Data.fine.cz* [online]. © Fine spol. s r.o. 2018 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z:
https://data.fine.cz/handbooks-chapter-pdf/manual_geo5_july_2018_cs.pdf
- [30] Produktový list: X-FOAM HBT 300. *Dek.cz* [online]. 23. červen 2011 [cit. 2018-10-25]. Dostupné z:
<https://www.dek.cz/documents/1394493151>
- [31] Prohlášení o vlastnostech: X-FOAM HBT 300. *Dek.cz* [online]. 10.5.2013 [cit. 2018-10-25]. Dostupné z:
<https://www.dek.cz/documents/1467935512>
- [32] Extrudovaný polystyren XPS X-FOAM HBT 300. *Dek.cz* [online]. © 2018 DEK a.s. [cit. 2018-10-25]. Dostupné z:
https://www.dek.cz/pobocka-turnov/produkty/detail/1420381270-xps-x-foam-hbt-300-polodrazka-hp-tl-100mm-3m2-bal?tab_id=parametry
- [33] Směrné normové charakteristiky jemnozrnných zemin. *Departments.fsv.cvut.cz* [online]. 9. 3. 2008 [cit. 2018-10-28]. Dostupné z:
http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2008/03/09_meze-pafamatry-f.pdf
- [34] Základy domu na extrudovaném polystyrénu. *Elegohouse.cz* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-12]. Dostupné z:
<http://www.elegohouse.cz/zakladove-desky/typy-zakladovych-desek/zakladova-deska-na-extrudovanem-polystyrenu/>
- [35] Základová půda, druhy a vlastnosti zemin. *Eluc.kr-olomoucky.cz* [online]. [cit. 2018-10-04]. Dostupné z:
<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2132>
- [36] Technická data: Příručka pro projektování. *Isover.cz* [online]. 12/2016 [cit. 2018-10-24]. Dostupné z:
https://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/styrodur-technicka_data_12-2016_0.pdf
- [37] Isover EPS SOKL 3000. *Isover.cz* [online]. 1. 8. 2018 [cit. 2018-10-29]. Dostupné z:

https://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/isover_eps_sokl_3000_tl_cz.pdf

- [38] Isover EPS Perimeter. *Isover.cz* [online]. 1. 8. 2018 [cit. 2018-10-25].
Dostupné z:
https://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/isover_eps_perimeter_tl_cz.pdf
- [39] Isover EPS SOKL 3000. *Isover.cz* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-29].
Dostupné z:
<https://www.isover.cz/produkty/isover-eps-sokl-3000>
- [40] Isover EPS Perimeter. *Isover.cz* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-25].
Dostupné z:
<https://www.isover.cz/produkty/isover-eps-perimetr>
- [41] Styrodur 3000 CS. *Isover.cz* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-24].
Dostupné z:
<https://www.isover.cz/produkty/styrodur-3000-cs>
- [42] Styrodur 4000 CS. *Isover.cz* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-24].
Dostupné z:
<https://www.isover.cz/produkty/styrodur-4000-cs>
- [43] Styrodur 5000 CS. *Isover.cz* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-24].
Dostupné z:
<https://www.isover.cz/produkty/styrodur-5000-cs>
- [44] Postavte si dům na pořádných základech! *Nasdum.cz* [online]. © 2010-2019 [cit. 2018-10-08]. Dostupné z:
<https://www.nasdum.cz/novinky/postavte-si-dum-na-poradnych-zakladech>
- [45] Studentenheim Molkereistraße feiert 10-jähriges Jubiläum. *Passivhaus-austria.org* [online]. 12 August, 2015 [cit. 2018-11-17].
Dostupné z:
<https://passivhaus-austria.org/content/studentenheim-molkereistra%C3%9Fe-feiert-10-j%C3%A4hriges-jubil%C3%A4um>
- [46] Quadro-Secura E 1. *Prostupy-doyma.cz* [online]. © Copyright 2000 – 2019 GEROTop spol. s r.o [cit. 2018-12-21]. Dostupné z:
<http://www.prostupy-doyma.cz/cs/sluzby/sdruzene-prostupy-quadro-secura/quadro-secura-e/quadro-secura-e-1/>

- [47] Mapa sněhových oblastí. *Snihnastrese.cz* [online]. © Llentab, spol. s r.o. [cit. 2018-12-01]. Dostupné z:
<http://www.snihnastrese.cz/mapa-snehovych-oblasti/>
- [48] Styrodur C: Doporučené použití a technické údaje. *Tepelna-izolace.cz* [online]. [cit. 2018-10-24]. Dostupné z:
http://www.tepelna-izolace.cz/data/mod_redaction_adv/45/down/styrodur-cz.pdf
- [49] CEMEX ELEGHOUSE – postavte si dům na izolovaných základech. *Tzb-info.cz* [online]. 29.5.2014 [cit. 2018-10-21]. Dostupné z:
<https://stavba.tzb-info.cz/obalove-konstrukce-nizkoenergetickych-staveb/11275-cemex-elegohouse-postavte-si-dum-na-izolovanych-zakladech>
- [50] Orientační časové ukazatele prací a dodávek. *Web.cvut.cz* [online]. [cit. 2018-12-20]. Dostupné z:
<http://web.cvut.cz/fa/u524/rea/podklady/ukazatele/podklady.html>

Seznam obrázků

Obr. 1: Prostorové základové konstrukce	14
Obr. 2: Založení domu na samonosné betonové desce	15
Obr. 3: Založení stavby na štěrku z pěnového skla.....	16
Obr. 4: Zakládání staveb na XPS.....	18
Obr. 5: Prvky systému od firmy Austrotherm.....	21
Obr. 6: Detail soklu při zakládání pomocí systému KORE.....	23
Obr. 7: Detail soklu při použití systému WarmFörm	25
Obr. 8: Kolej Molkereistrasse ve Vídni	30
Obr. 9: Namáhání desky ohybem a kroucením	39
Obr. 10: Průběh příčinkového součinitele sedání I2 pro char. bod obd.	40
Obr. 11: Kontaktní napětí v základové spáře	52
Obr. 12: Celkové sedání konstrukce	53
Obr. 13: Potřebná plocha horní výztuže ve směru 1	54
Obr. 14: Vyztužení okraje desky s konstantním průřezem	55
Obr. 15: Umístění makroprvků v modelu žebrové základové desky	56
Obr. 16: Kontaktní napětí v základové spáře	57
Obr. 17: Celkové sedání konstrukce	58
Obr. 18: Potřebná plocha horní výztuže ve směru 1	59
Obr. 19: Horní výztuž desky ve směru 1 a ve směru 2	60
Obr. 20: Potřebná plocha smykové výztuže	60
Obr. 21: Vyztužení obvodových žeber	61
Obr. 22: Vyztužení středového žebra.....	62
Obr. 23: Detail soklu u desky s konstantním průřezem	65
Obr. 24: Těsnicí systém Quadro-Sicura E 1	66
Obr. 25: Teplotní pole okolo soklu u desky s konstantním průřezem	71
Obr. 26: Oblasti kondenzace vodní páry u desky s konstantním průřezem ..	72
Obr. 27: Detail soklu u žebrové desky.....	74
Obr. 28: Teplotní pole okolo soklu u žebrové desky.....	79
Obr. 29: Oblasti kondenzace vodní páry u žebrové desky	80

Seznam tabulek

Tab. 1: Základní technické údaje systému od firmy Austrotherm	21
Tab. 2: Základní technické údaje systému od firmy KORE.....	23
Tab. 3: Základní technické údaje systému WarmFörm	25
Tab. 4: Základní parametry výrobků Austrotherm	26
Tab. 5: Základní parametry výrobků Styrodur	27
Tab. 6: Základní parametry výrobku X-FOAM HBT 300.....	28
Tab. 7: Základní parametry výrobku Isover EPS Perimetr.....	29
Tab. 8: Základní parametry zeminy F4.....	44
Tab. 9: Základní parametry výrobku Isover EPS SOKL 3000.....	45
Tab. 10: Zatížení od skladby střešní konstrukce	46
Tab. 11: Zatížení od trámů stropu (střeška a strop nad 1. NP)	47
Tab. 12: Zatížení od skladby stropu nad 1. NP	47
Tab. 13: Zatížení od skladby podlahy 1. NP	47
Tab. 14: Zatížení od vnitřní nosné stěny	47
Tab. 15: Zatížení od obvodových nosných stěn	48
Tab. 16: Proměnné liniové zatížení působící pod jednotlivými stěnami.....	49
Tab. 17: Stálé liniové zatížení působící pod jednotlivými stěnami	50
Tab. 18: Tepel. odpor vrstev základů a podlahy (deska s konst. průřezem).70	
Tab. 19: Tepel. odpor vrstev základů a podlahy (žebrová deska)	78
Tab. 20: Náklady na materiál – deska s konstantním průřezem.....	82
Tab. 21: Náklady na dopravu materiálu – deska s konstantním průřezem ...	83
Tab. 22: Náklady na stroje – deska s konstantním průřezem.....	83
Tab. 23: Náklady na pracovníky – deska s konstantním průřezem	84
Tab. 24: Náklady na materiál – žebrová deska	85
Tab. 25: Náklady na dopravu materiálu – žebrová deska	85
Tab. 26: Náklady na stroje – žebrová deska	86
Tab. 27: Náklady na pracovníky – žebrová deska.....	87
Tab. 28: Náklady na materiál – deska na drti z pěnového skla	88
Tab. 29: Náklady na dopravu materiálu – deska na drti z pěnového skla.....	88
Tab. 30: Náklady na stroje – deska na drti z pěnového skla	89
Tab. 31: Náklady na pracovníky – deska na drti z pěnového skla.....	90
Tab. 32: Náklady na materiál – betonové pasy	91

Tab. 33: Náklady na dopravu materiálu – betonové pasy	91
Tab. 34: Náklady na stroje – betonové pasy	92
Tab. 35: Náklady na pracovníky – betonové pasy.....	92
Tab. 36: Porovnání nákladů na jednotlivé varianty založení stavby	93

Seznam grafů

Graf 1: Porovnání nákladů na jednotlivé varianty založení.....	94
--	----

Seznam příloh

- 1) Výkresy – řez, půdorys 1. NP a půdorys 2. NP
- 2) Zatěžovací plochy
- 3) Protokol z GEO5 2018 – deska s konstantním průřezem
- 4) Protokol z GEO5 2018 – žebrová deska
- 5) Kladečské plány
- 6) Postupové diagramy
- 7) Protokol z Area 2017 EDU – deska s konstantním průřezem
- 8) Protokol z Area 2017 EDU – žebrová deska
- 9) Podklady pro ekonomické posouzení