



České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Kopecký, Ph.D.

Diplomová práce

Jméno a příjmení studenta:	Bc. Štěpán Dvořák
Studijní program:	Budovy a prostředí (N3649)
Akademický rok:	2016/2017
Zadávací katedra:	K124 - Katedra konstrukcí pozemních staveb
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Pavel Kopecký, Ph.D.
Název bakalářské práce:	Pěnové sklo, jeho tepelně technické vlastnosti a využitelnost v pozemních stavbách
Název v angličtině:	Foam glass, its hygo-thermal properties, and usability in civil engineering

Rámcový obsah DP:

Zkoumání vlastností pěnového skla s následnou aplikací ve fyzikálních modelech a finanční rozvaze.

Anotace

Tato diplomová práce se věnuje problematice aplikace pěnového skla v pozemních stavbách. Cílem je zjistit celkovou konkurenceschopnost pěnového skla se zaměřením na štěrk z pěnového skla. V laboratoři jsou zjištěny různé fyzikální vlastnosti, které jsou následně aplikovány v teoretické části, kde jsou porovnávány různé modely založení. Srovnává se finanční náročnost a tepelně vlhkostní vlastnosti klasického založení na základových pasech a založení na základové desce.

Klíčová slova: základy, pěnové sklo, základová deska, štěrk z pěnového skla

Annotation

This dissertation is dedicated to the issue of using foam glass in building structures. The aim is to determine the overall competitiveness of foam glass with a focus on foam glass gravel. Various physical properties have been identified in a laboratory, which have then been applied in the theoretical part, where different models of foundations are compared. Costs and the thermal and moisture properties of a classical foundation on wall footings and the foundation on a base slab are compared.

Key words: foundations, foam glass, base slab, foam glass gravel

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dvořák** Jméno: **Štěpán** Osobní číslo: **380946**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra konstrukcí pozemních staveb**
Studijní program: **Budovy a prostředí**
Studijní obor: **Budovy a prostředí**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Pěnové sklo, jeho tepelně technické vlastnosti a využitelnost v pozemních stavbách

Název diplomové práce anglicky:

Foam glass, its hygro- thermal properties, and usability in civil engineering

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Pavel Kopecký Ph.D., katedra konstrukcí pozemních staveb FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **11.10.2016** Termín odevzdání diplomové práce: **08.01.2017**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Tímto prohlašuji, že tuto diplomovou práci jsem vypracoval pod vedením Ing. Pavla Kopeckého, Ph.D. samostatně. Veškerá použitá literatura a zdroje, které jsem použil v práci, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze

dne

.....

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat za odborný dohled, pomoc při práci v laboratoři UCEEB, trpělivost při konzultacích mé diplomové práce a vedení Ing. Pavlu Kopeckému, Ph.D. Také děkuji své rodině za jejich podporu během mých studií. Dále bych chtěl poděkovat lidem, kteří jsou mi učiteli v praxi, Ing. Václavu Horčíčkovi a Ing. Petru Lasovskému a panu Ing. Václavu Šenbauerovi za poskytnutí šterku z pěnového skla.

1. Úvod	1
1.1 Využití pěnového skla ve stavebnictví	1
1.2 Výroba pěnového skla	5
1.3 Vlastnosti deklarované výrobcí	6
1.4 Cíle diplomové práce	8
<u>PRAKTICKÁ ČÁST</u>	
2. Laboratorní práce	10
2.1 Cíle měření	10
2.2 Součinitel tepelné vodivosti	11
2.2.1 Hmotnostní vlhkost	11
<i>Výsledky měření</i>	13
<i>Průběh vlhkosti po výšce násypu z pěnového skla v HFM</i>	15
2.2.2 Pórovitost násypu ze štěrku z pěnového skla	17
<i>Měření</i>	17
<i>Pórovitost zhutněného kameniva</i>	19
2.2.3 Součinitel tepelné vodivosti	19
2.2.3.1 Příprava vzorků a měření	22
2.2.3.2 Vyhodnocení výsledků měření	24
2.2.3.3 Závěr z měření součinitele tepelné vodivosti	26
2.3 Nasákavost a kapilární vztlínavost	27
2.3.1 Kapilární vztlínavost	27
2.3.2 Nasákavost – tlaková voda	30
<i>ZKOUŠKA 1</i>	30
<i>ZKOUŠKA 2</i>	31
<i>ZÁVĚR MĚŘENÍ NASÁKAVOSTI V TLAKOVÉ VODĚ</i>	34
<u>TEORETICKÁ ČÁST</u>	
3. Modelové aplikace pěnového skla	36
3.1 Cíle modelování	36
3.2 Varianty zakládání	37
Základové pasy – obsyp z běžného štěrku	38
Základové pasy – obsyp ze štěrku z pěnového skla	39
Základová deska	40
3.3 Okrajové podmínky	42

3.3.1 Model pro výpočet povrchové teploty	42
3.3.2 Model pro výpočet tepelné propustnosti L	42
3.4 Vytvoření modelu	43
3.5 Vyhodnocení modelů	45
3.5.1 Pasy – obsyp štěrkem	45
3.5.2 Pasy – obsyp z pěnového skla	45
3.5.3 Desky	46
3.6 Srovnání variant	47
3.6.1 Pasy	47
3.6.2 Pasy a deska	49
3.6.3 Deska – extrémny	52
3.7 Závěr z modelování	56
4. Finanční rozvaha	58
4.1 Cíle finanční rozvahy	58
4.2 Schémata pro výpočet kubatur	59
4.2.1 Základové pasy	59
4.2.2 Základová deska	60
4.3 Výpis materiálu	61
4.3.1 Varianta 1 a 2	62
4.3.2 Varianta 3	63
4.4 Výpis prací	64
4.5 Vytvoření modelu	64
4.5.1 Výchozí model	64
4.5.2 Vliv tvaru základu a zastavěné plochy	65
4.5.3 Změna poměru O/S	65
4.5.4 Změna součinitele prostupu tepla U	67
4.6 Vyhodnocení modelů	67
4.6.1 Vyhodnocení modelu – vliv změny O/S	67
4.6.2 Změna velikosti zastavěné plochy	71
4.6.3 Změna součinitele prostupu tepla	73
4.7 Obsyp ze štěrku z pěnového skla	74
4.8 Závěr z finanční rozvahy	77

5. Závěr	78
<i>SHRNUTÍ</i>	79

PŘÍLOHY

A) Výpis základních materiálů použitých v modelech a finanční rozvaze	81
B) Prostředí pro zadání vstupních hodnot – MATERIÁL – VARIANTA 1	82
C) Prostředí pro zadání vstupních hodnot – MATERIÁL – VARIANTA 2	83
D) Prostředí pro zadání vstupních hodnot – PRÁCE – VARIANTA 1 a 2	84
E) Prostředí pro zadání vstupních hodnot – MATERIÁL – VARIANTA 3	85
F) Prostředí pro zadání vstupních hodnot – PRÁCE – VARIANTA 3	86
G) Obsah vody ve vzduchu a množství sražené vody při 60% vlhkosti	87

ZDROJE

LITERATURA	88
INTERNET	88
OBRÁZKY	89
TABULKY	89

1. Úvod

1.1 Využití pěnového skla ve stavebnictví

Pěnové sklo vzniklo ve Francii v roce 1936. Na trhu je tedy již od 30. let 20. století (v té době bylo známé také jako pórovité sklo). Princip výroby je od počátku velice podobný jako dnes. Při zahřátí směsi skla a dalších přísad (viz kapitola 1.2) na určitou teplotu dojde k napěnění a vytvoření uzavřených pórů. Princip výroby se od počátku měnil a na výrobu existovaly různé patenty. Časem se upustilo od používání čistého skla a začalo se zpracovávat recyklované sklo. Z dnešního pohledu má **recyklovaný** a zároveň **recyklovatelný** materiál velkou výhodu při posouzení **vlivu na životní prostředí**. Srovnání jednotlivých materiálů jsou například v Tabulce 1.1. (Zdrojem je web zabývající se stavebními materiály a technologií The Future Build) [1];[2].

Ecological assesment for different thermal Insulation materials.

	Production energy	Resources	Nuisance for workers	Emissions during production	Emissions in case of fire	Long-term performance	Disposal/Recycling
Glass wool	Orange	Yellow	Red	Orange	Orange	Orange	Orange
Stone wool	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange
Cellulose insulation	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Yellow
Pure expanded cork	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Yellow
Expanded polystyrene	Red	Red	Yellow	Orange	Red	Orange	Red
Extruded polystyrene	Red	Red	Orange	Orange	Red	Orange	Red
Polyurethane (PUR)	Red	Red	Orange	Orange	Red	Orange	Red
FOAMGLAS®	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow

Very good *Acceptable* *Critical* *Very critical*

Tabulka 1.1 – Posouzení vlivu na životní prostředí pro různé tepelné izolace

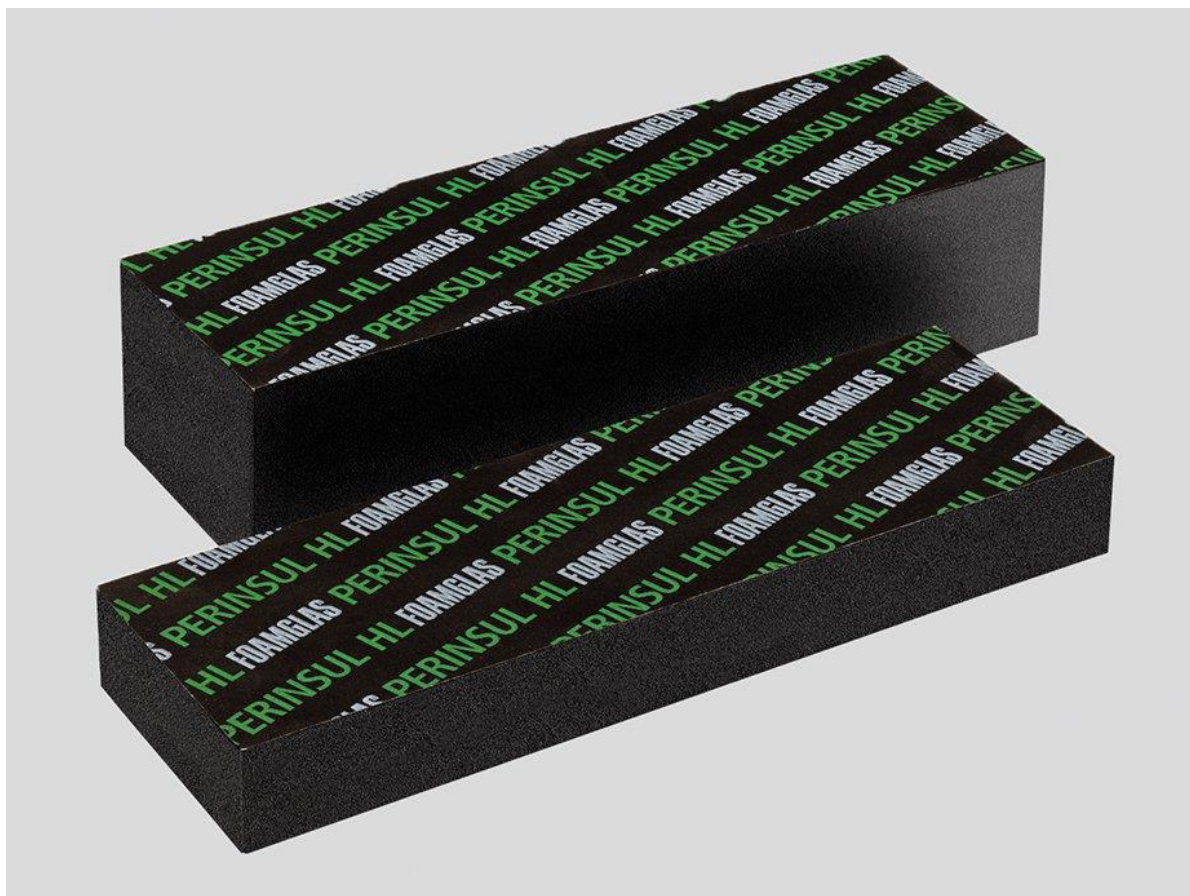
Pěnové sklo si našlo široké využití ve stavebnictví, používá se od zateplení spodní stavby, stěny až po střechu. Pro tyto aplikace jsou na trhu dostupné různé formy.:



1.1 – Pelety z pěnového skla



1.2 – Štěrk z pěnového skla (frakce 16-32mm)



1.3 – Desky z pěnového skla (s nalepenou hydroizolací)

ZATEPLENÍ SPODNÍ STAVBY

Pro izolování spodní stavby je využíván štěrk z pěnového skla (dále jen PS) nebo desky z PS. Takovému způsobu založení se říká „založení na desku.“ Do předpřipravené stavení jámy se nasype vrstva štěrku z PS v tloušťce 300 až 600 mm a na ní se provede ŽB deska. Podobně vypadá případ s deskami z PS, kde je její tloušťka přibližně poloviční. (Tloušťka izolace je navržena podle požadavku na součinitel prostupu tepla U [W/m^2K].)

Materiál se dá použít i v případě základových pasů při obkládání soklového zdiva na místo běžně používaného extrudovaného polystyrenu (dále jen XPS). Další možnost aplikace je při zásypu obvodové drenáže. Zásyp by mohl nahrazovat XPS a běžně používaný štěrk (viz kapitola 3 a 4).

ZATEPLENÍ PODLAH

Použití desek z PS v podlahách je podobné jako u jiných deskových materiálů – EPS, XPS, vláknité izolace. V případě štěrku z pěnového skla je ideální aplikace v dřevěných podlahách mezi polštáře nebo stropní trámy. Nabízí se také aplikace v rekonstrukcích starých domů, protože štěrk propustí vodní páru a zároveň je nenasákavý.

ZATEPLENÍ STĚN

Desky z PS se používají k obkládání stěn. Lepí se a následně kotví podobně, jak se to dělá v běžných skladbách ETICS (external thermal insulation composite system) – kontaktní zateplovací systém. Použití v exteriéru by však mělo být odůvodněno vzhledem k vysoké ceně desek.

Použití desek z PS se nabízí v případě vnitřního zateplení, kdy hrozí srážení vlhkosti ve skladbě. V zimních měsících se sníží teplota na rozhraní stávající stěny a zateplení a vlhkost prostupující konstrukcí z interiéru do exteriéru může kondenzovat (v horším případě i zmrznout). Desky z pěnového skla zabrání průniku vlhkosti skrz skladbu.

V některých případech je k vidění i zásyp šterkem z PS do připraveného bednění stěn, místo například celulózy nebo vláken.

Jednou z variant, jak využít desky z PS, je založení první řady zdiva na pěnovém skle, viz obrázek 1.3. Tato vrstva přerušuje tepelný most mezi zdivem a základovou deskou (podkladním betonem) a pomáhá tím zvýšit povrchovou teplotu. Řešení je finančně nákladné, ale efektivní. V kapitole 4. *Finanční rozvaha* je jednou z posuzovaných variant právě zakládací řada z pěnového skla.

ZATEPLENÍ STŘECHY

Zateplení střechy je možné s využitím desek z PS, které jsou ukládány do asfaltového lože, aby bylo zabráněno průniku vody, popřípadě vodní páry – viz níže.

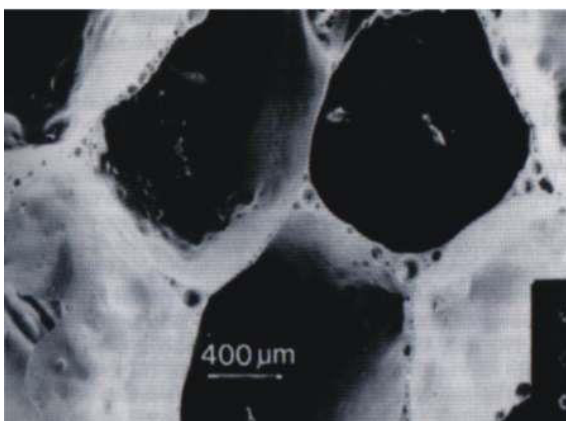
1.2 Výroba pěnového skla

Pěnové sklo je zpravidla tvořeno recyklovaným sklem, které se rozemele na zrna o velikosti do 90 mikrometrů. Složení takového prášku je: SiO_2 – 71%; Al_2O_5 – 1,7 až 2%; CaO – 9 až 11%; MgO – 0,5 až 1,5%; Na_2CO_3 – 14 až 15% a K_2O – 0,5%. Skelná moučka se smíchá s jemně mletým uhlíkovým práškem a tato směs se zahřívá na teploty 900°C až 1000°C. Po zahřátí začne oxidovat uhlíkový prášek a vznikne CO_2 , který vytvoří uzavřené buňky, které napění slinuté sklo až na dvacetinásobek původního objemu (složení moučky výrobce REFAGLASS [3]).



1.4 – Řez vypěněným sklem po vyjmutí z formy

Materiál má šedou barvu, buňky jsou uzavřené a plyn, který je vyplňuje, je v podtlaku. Výrobci uvádějí hodnotu faktoru difuzního odporu samotné desky blízkou nekonečnu. To znamená, že vzniklý materiál prakticky nepropouští vodní páru ani plyny. Tato vlastnost je dána právě uzavřenou buněčnou strukturou, viz obrázek 1.5. V případě aplikace skladby desek v tepelně izolačních skladbách podlah a střeš, kdy se desky ukládají do asfaltového lože, se vlivem spár uvažuje s faktorem difuzního odporu $\mu > 70\,000$ (nebo více, podle počtu vrstev) [4].



1.5 – Struktura pěnového skla
(400 μm = 0,4mm)

1.3 Vlastnosti deklarované výrobci

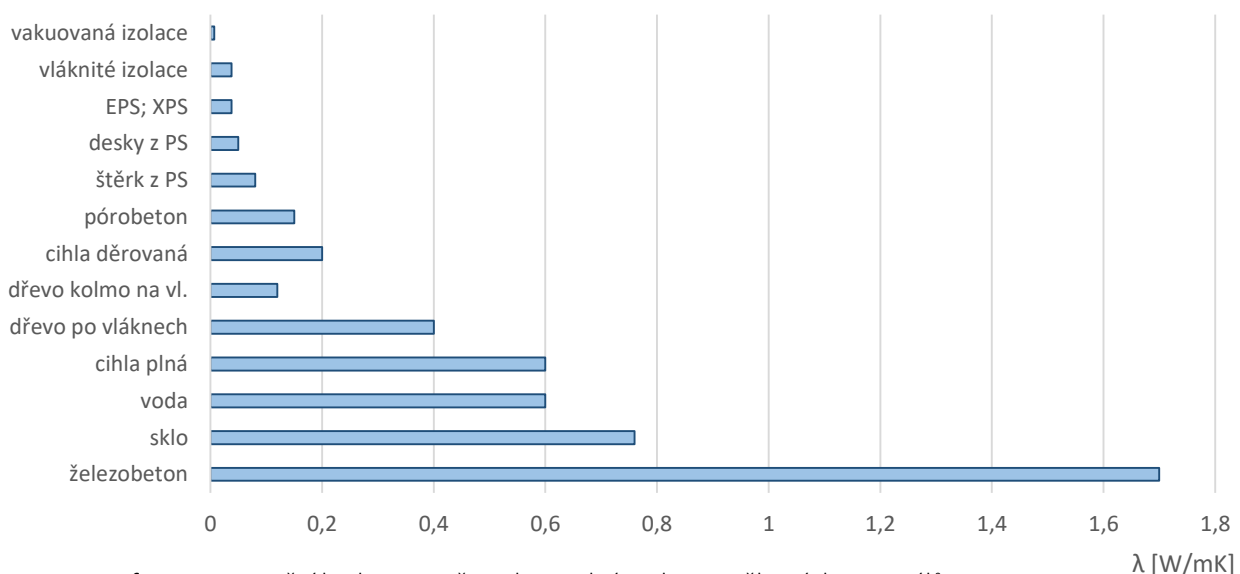
Následující tabulka je výpisem vlastností, které deklarují vybraní výrobci štěrku z PS:

VLASTNOSTI ŠTĚRKU Z PĚNOVÉHO SKLA							
výrobce	REFAGLASS				GEOCELL	A-GLASS	jednotky
zrnitost	0 - 4	4 - 16	16 - 32	0 - 63	0 - 60	10 - 60	[mm]
objemová hmotnost nasypaná	460	170	160	140	150	150	[kg/m ³]
součinitel tepelné vodivosti λ	0,096	0,08	0,081	0,08	0,08	0,08	[W/mK]
nasákavost vnitřní (povrchová)	0 (< 50)	0 (< 50)	0 (< 40)	0 (5-10)	0 (< 10)	0 (-)	[%]
pevnost v tlaku	1,97	0,8	0,81	0,7	0,57	0,64 - 1,3	[MPa]
bod měknutí	700						[°C]
požární odolnost	A1						-

Tabulka 1.2 – Výpis vlastností podle vybraných výrobců a frakce

SOUČINITEL TEPELNÉ VODIVOSTI λ

Nejdůležitější hodnota, kterou je nutné znát pro správný návrh tepelné izolace je součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]. Hodnota součinitele vyjadřuje schopnost materiálu vést teplo. Čím je hodnota menší, tím lepším je materiál izolantem. Výrobci štěrku z PS téměř shodně uvádějí hodnotu λ=0,08 W/mK. Pro srovnání jsou v grafu uvedeny přibližné hodnoty některých dalších materiálů, viz Graf 1.1.



Graf 1.1 – Orientační hodnoty součinitele tepelné vodivosti některých materiálů

1.4 Cíle diplomové práce

Práce se zabývá pěnovým sklem se zaměřením na štěrk z pěnového skla. Materiál je v následujících kapitolách zkoumán v teoretické části a praktické části. Praktická část zahrnuje měření vlastností v laboratoři a teoretická část se zabývá porovnáním z pohledu fyzikálního modelu a finanční rozvahou. V teoretické části je srovnáváno zakládání na štěrku z pěnového skla (založení na desku) s klasickým založením na základové pasy.

PRAKTICKÁ ČÁST

Laboratorní práce – V laboratořích UCEEB jsou zkoumány vlastnosti štěrku z pěnového skla. Získané hodnoty slouží pro srovnání s deklarovanými vlastnostmi a jsou využity ve fyzikálních modelech.

TEORETICKÁ ČÁST

Modelové aplikace pěnového skla – V modelech jsou zohledněny výsledky měření z laboratoří. Cílem je porovnat způsob založení na pěnovém skle s klasickým zakládáním na základových pasech. Porovnává se celkový únik tepla přes základovou konstrukci a minimální povrchová teplota na vnitřním líci zdiva kvůli nebezpečí kondenzace.

Optimalizované skladby jednotlivých variant jsou podkladem pro finanční rozvahu.

Finanční rozvaha – Pro fyzikální modely jednotlivých způsobů založení je vytvořen idealizovaný rozpočtový model v tabulkovém procesoru. Zde se porovnává jednak finanční náročnost, ale také vliv zastavěné plochy, složitosti půdorysu a navrženého součinitele prostupu tepla na výslednou cenu.

Cílem práce je tedy **určení celkové konkurenceschopnosti štěrku z pěnového skla** v porovnání s běžnými materiály a postupy.

PRAKTICKÁ ČÁST

2. Laboratorní práce

2.1 Cíle měření

Celá práce si klade za cíl posoudit využitelnost pěnového skla především v oblasti základových konstrukcí. Pro vytvoření co nejpřesnějšího modelu, který by popisoval reálné chování materiálu, je potřeba zjistit jeho vlastnosti v různých podmínkách. Cílem měření v laboratořích bude ověřit několik důležitých parametrů, hlavně **nasákavost**, kapilární vztlínavost a **součinitel tepelné vodivosti λ [W/m]** a porovnat je s deklarovanými parametry výrobců. Snahou je, především při měření součinitele tepelné vodivosti, vytvořit podmínky, které by se co nejvíce přiblížily reálnému stavu materiálu v podloží. Takové měření by mělo poskytnout reálnější hodnoty pro aplikaci v tepelně vlhkostních modelech nejen základových konstrukcí.

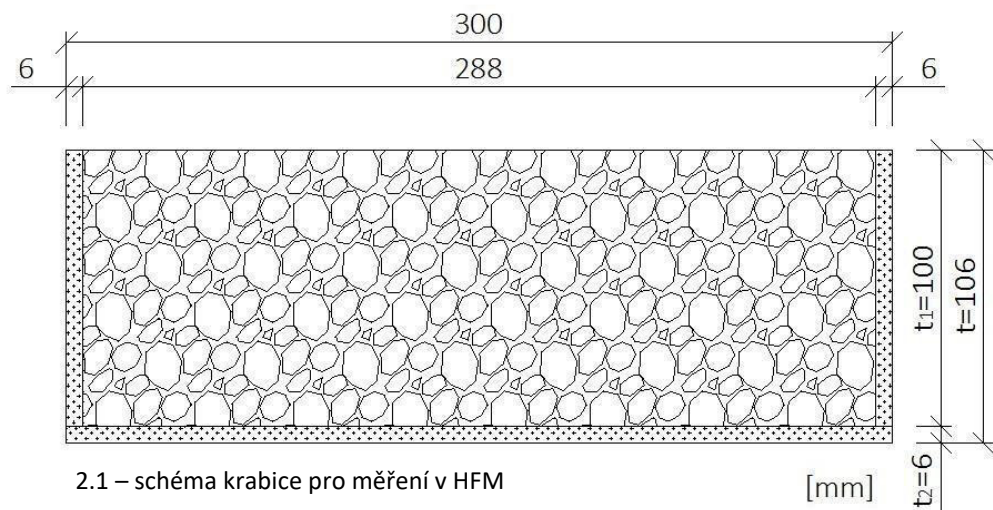
Přístroje a pomůcky použité při měření:

Pro měření jednotlivých částí kapitoly 2. *Laboratorní práce* bylo využito vybavení laboratoře v Univerzitním centru energeticky efektivních budov.

Část 2.2 Součinitel tepelné vodivosti (str. 11)

2.3 Nasákavost a kapilární vztlínavost (str. 27)

- Miska
- Váha AND GX-1000
- Heat Flow Meter (dále jen HFM) HFM 300, Seriál No. 6427/6912/14
- Krabice z plexiskla o vnějších rozměrech 300x300x106mm o tloušťce stěny 6mm.



2.2 Součinitel tepelné vodivosti

2.2.1 Hmotnostní vlhkost

Tato část se věnuje zkoumání hmotnostní vlhkosti štěrků z pěnového skla při různých vlhkostních podmínkách a stavech štěrků. K dispozici bylo pěnové sklo od firmy Refaglass frakce 4 – 16 mm. Hmotnostní vlhkost bude určena pomocí přesné váhy a sušičky vzorků. Měřením se získá obsah vody z hmotnostních rozdílů vlhkého a suchého vzorku a po přepočtu i hmotnostní vlhkost vzorků.

Výsledky z této části jsou dále využity pro porovnání podmínek při měření součinitele tepelné vodivosti v HFM a k určení schopnosti kameniva udržet vodu na povrchu.

Hmotnostní vlhkost

Pro určení hmotnostní vlhkosti bylo vyčleněno celkem 17 vzorků, které byly vystaveny vodě či vlhkosti různými způsoby.

Kategorie vzorků:

Miska 1-3

Kamenivo bylo vystaveno jen běžné vzdušné vlhkosti. Vzorek byl odebrán přímo z pytle (viz 2.7, str. 17) a umístěn do sušičky dne 16.9. v 10:50. Měření pak bylo během sušení provedeno podle tabulky 2.1.



2.2 – příprava vzorků 4,5 a 6

Miska 4-6

Kamenivo bylo uloženo v plastových kýblech od 16.9. do 20.9., zalito vodou a zatíženo, aby bylo konstantně pod hladinou. Při prvním vážení (20.9.) bylo kamenivo vyjmuto, osušeno papírovými ubrousky a umístěno do označených misek. (viz fotografie 2.2)

Miska 7-9

Kamenivo bylo ponořeno pod vodou stejně jako vzorky z misky 4-6, ale na rozdíl od nich bylo kamenivo v miskách 7-9 umístěno do sušičky spolu s vodou. Toto měření bylo provedeno, aby se orientačně určilo množství vody při zaplavení kameniva, protože o povrchové nasákavosti kameniva tyto vzorky nic nevyovídají.

Miska 10-12

Kamenivo bylo podrobena zkouškám v HF metru. Nejdříve za sucha (A1), poté zcela zaplavené (D) a nakonec jen zvlhčené (C2).



2.3 – Váha se vzorky 10, 11 a 12 při založení

Miska 13-14

K měření bylo použito kamenivo z měření zvlhčeného a následně osušeného kameniva (B). Předpokládá se, že tento vzorek by se měl nejvíce blížit reálným podmínkám v podzákladí.

Miska 15

Kamenivo bylo odebráno z vrchní vrstvy vzorku, který byl měřen v HFM jako vzorek C1 při teplotním spádu 10/20°C. Kamenivo bylo ponořeno pod vodou, která byla následně slita. U vrchní vrstvy vzorku se očekává nižší hmotnostní vlhkost vzhledem k vyšší povrchové teplotě HFM.

Miska 16

Kamenivo bylo odebráno z prostřední vrstvy vzorku, který byl měřen v HFM jako vzorek C1 při teplotním spádu 10/20°C. Kamenivo bylo ponořeno pod vodou, která byla následně slita. U prostřední vrstvy se očekává přibližně průměrná hmotnostní vlhkost v porovnání s vrchní a spodní vrstvou.

Miska 17

Kamenivo bylo odebráno ze spodní vrstvy vzorku, který byl měřen v HFM jako vzorek C1 při teplotním spádu 10/20°C. Kamenivo bylo ponořeno pod vodou, která byla následně slita. U spodní vrstvy vzorku se očekává vyšší hmotnostní vlhkost vzhledem k nižší povrchové teplotě HFM a díky stékající vodě z vrchních vrstev.

Výsledky měření:

miska	čas měření							m_v [g]	m_s [g]	u [%]
	16.9. 10:50	20.9. 10:20	22.9. 11:30	29.9. 14:45	6.10. 15:45	3.11. 12:30	10.11. 12:30	vlhký vzorek	vysuš. vzorek	hmot. vlhkost
1	11,498	11,476	11,480	11,481	11,485			8,953	8,931	0,25
2	12,831	12,814	12,817	12,817	12,817			10,286	10,269	0,17
3	13,057	13,044	13,043	13,044	13,045			10,512	10,498	0,13
4		10,041	7,874	7,872	7,873			7,496	5,327	40,72
5		14,628	11,361	11,361	11,36			12,083	8,815	37,07
6		14,547	11,283	11,27	11,28			12,002	8,725	37,56
7		79,533	22,833	22,817	22,831			76,988	20,272	279,78
8		84,532	21,617	21,604	21,615			81,987	19,059	330,17
9		76,529	20,631	20,62	20,628			73,984	18,075	309,32
10		18,936	13,794	13,806	13,809			16,391	11,249	45,71
11		19,387	13,831	13,838	13,842			16,842	11,286	49,23
12		13,39	9,850	9,856	9,856			10,845	7,305	48,46
13			16,214	11,272	11,271			13,669	8,726	56,65
14			15,483	13,411	13,412			12,938	10,866	19,07
15						12,9	11,517	10,355	8,972	15,41
16						14,382	11,306	11,837	8,761	35,11
17						14,5	10,663	11,955	8,118	47,27

váha misky je cca : **2,545** g [g]

Tabulka 2.1 – Hodnoty naměřené při vysoušení vzorků v HFM – hmotnostní vlhkost u [%]

Poznámka:

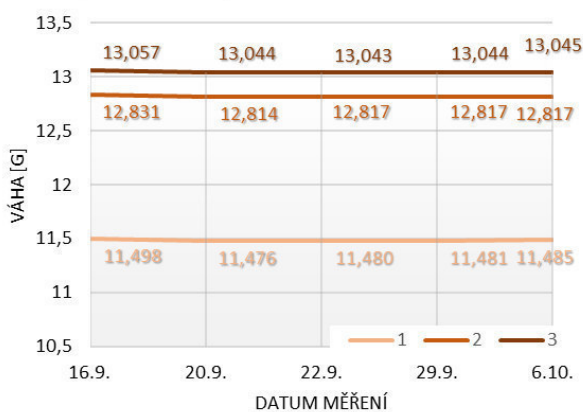
První hodnota řádku (zvýrazněná) je vždy vzorek před vložením do sušičky, tedy plně nasycen podle způsobu zvlhčení.

Podmínky v laboratoři 22.9. byly: teplota $t_i=23^\circ\text{C}$ a vlhkost $\phi_i=33\%$

Výsledky z tabulky jsou promítnuty v následujících grafech. (Vzorky 1 až 12 jsou v časovém grafu, který ukazuje průběh hmotnosti, kdy jednotlivá měření byla provedena s odstupem několika dní.)

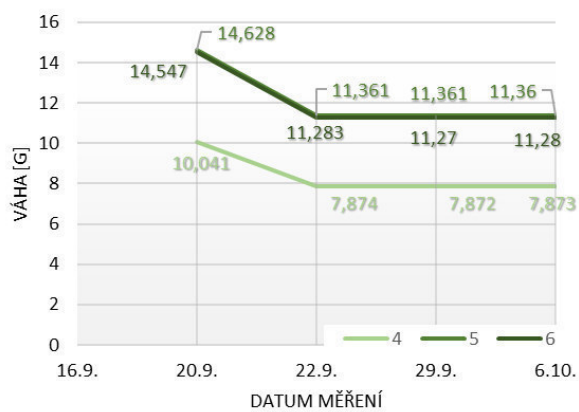
Grafy průběhu hmotnosti v čase

průběh váhy vzorku 1 až 3 v čase



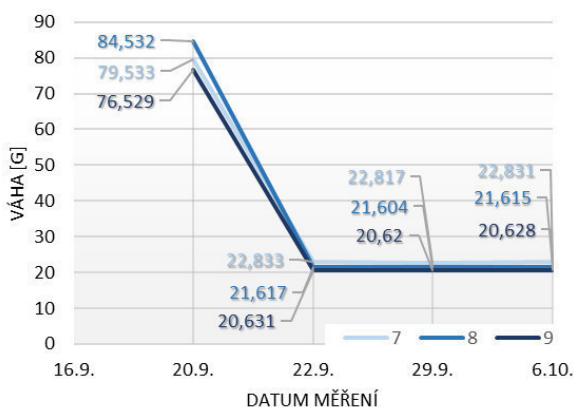
Graf 2.1 – Průběh vlhkosti suchých vzorků

průběh váhy vzorku 4 až 6 v čase



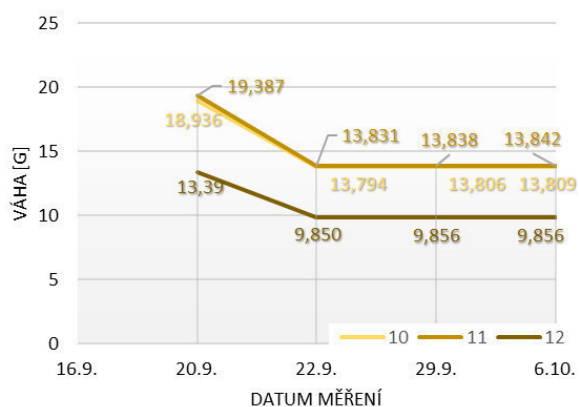
Graf 2.2 – Průběh vlhkosti navlhčených a osušených vzorků

průběh váhy vzorku 7 až 9 v čase



Graf 2.3 – Průběh vlhkosti ponořeného vzorku

průběh váhy vzorku 10 až 12 v čase



Graf 2.4 – Průběh vlhkosti navlhčených vzorků

Průběhy hmotností vzorků v čase ukazují ustálení hmotnosti vzorku. Došlo k odpaření vody z povrchu kameniva, popřípadě z vnitřních pórů, a hodnoty dále kolísaly na úrovni tisíců gramů. Toto kolísání je přičítáno odchýlkám při vážení, protože hodnoty v posledních měřeních souhlasně u většiny vzorků stoupaly.

Pokud by měření probíhalo v kratších časových úsecích (například po hodinách), bylo by možné vytvořit graf průběhu hmotnosti (souhlasný s hmotnostní vlhkostí). Tento průběh by mohl mnohé vypovědět o povrchové i vnitřní nasákavosti. Pokud by Průběh vysoušení (od plného nasycení po úplné vysušení) byl spíše lineární, naznačovalo by to, že štěrk z pěnového skla je opravdu nenasákavý. Naopak pokud by se průběh, hlavně v závěrečné části vysoušení, blížil křivce druhého stupně, mohlo by to znamenat, že voda se dostala do vnitřních pórů, jejichž vysoušení probíhá déle vzhledem k delší cestě vlhkosti směrem k povrchu.

S tímto několikanásobným časovým krokem mezi jednotlivými měřeními během vysoušení je průběh hmotnosti spíše potvrzením toho, že vzorek je řádně vysušen a že je možné použít hodnoty hmotnostní vlhkosti k porovnání a vysvětlení součinitelů tepelné vodivosti v části 2.6 *Součinitel tepelné vodivosti*.

Průběh vlhkosti (hmotnostní vlhkosti) po výšce násypu z pěnového skla v HFM

Při měření v Heat Flow Meteru (HFM) dochází ke změně podmínek. Příčinou je rozdíl teploty prostředí, kde byl vzorek zakládán, teploty horního povrchu a teploty dolního povrchu přístroje. Při měření vlhkých vzorků byl teplotní spád (horní/spodní) v rozmezí 10/20 až 10/30 °C, teplota v laboratoři cca $t_i=23^\circ\text{C}$ a vlhkost $\phi_i=33\%$.

Během procesu v HFM docházelo k osychání vrchních vrstev vzorku. Toto osychání mohlo způsobovat mírné zkreslení výsledků. Pro představu, jak se změní hmotnostní vlhkost kameniva v HFM, byly odebrány tři vzorky. Vzorek č. 15 byl odebrán z vrchní vrstvy bezprostředně po měření, vzorek č. 16 ze střední vrstvy a vzorek č. 17 z dolní vrstvy.



2.4 – Vrchní vrstva vzorku C1
(vlhkost na povrchu)





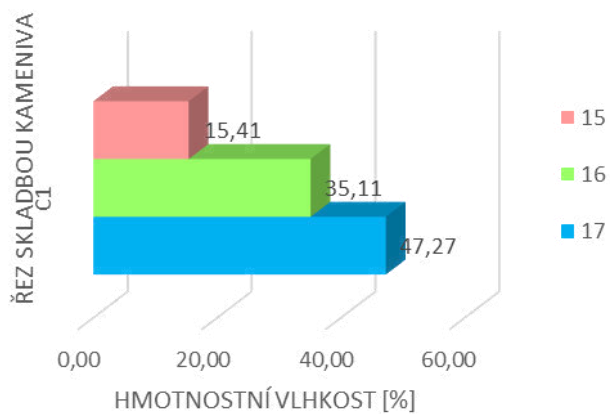
2.5 – Střední vrstva vzorku C1
(vlhkost na povrchu)



2.6 – Spodní vrstva vzorku C1
(vlhkost na povrchu)



PRŮBĚH HMOTNOSTNÍ VLHKOSTI VE SKLADBĚ ŠTĚRKU



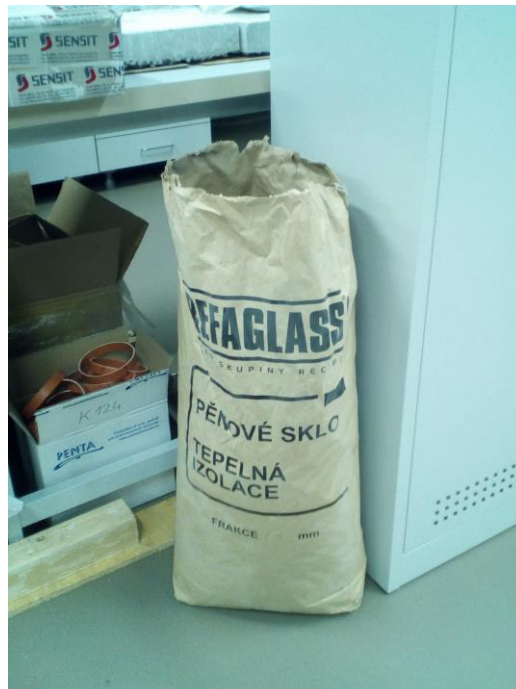
Graf 2.5 – Průběh hmotnostní vlhkosti
ve skladbě C1 bezprostředně
po měření v Heat Flow Meteru

Graf 2.5 a fotografie 2.4, 2.5 a 2.6, na kterých jsou jednotlivé vrstvy vidět včetně intenzity odlesku podle množství vody na povrchu, potvrzují úvahy o osychání.

2.2.2 Pórovitost násypu ze štěrku z pěnového skla

Pórovitost násypu štěrku z pěnového skla může být součástí vysvětlení změn součinitele tepelné vodivosti při různém zhutnění materiálu při různých úrovních zvlhčení nebo zatopení. Předpokládá se, že ve všech případech platí přímá úměra mezi pórovitostí a součinitelem tepelné vodivosti.

Pro přesnější definování souvislosti mezi zhutněním a velikostí součinitele tepelné vodivosti by bylo nutné provést měření v Heat Flow Meteru pro různé míry zhutnění. Zároveň by se muselo pro každý z těchto vzorků provést měření pórovitosti. Vzhledem k nízké objemové hmotnosti není jednoduché toto měření provést přesně, protože štěrk z pěnového skla vyplouvá na povrch. Proto byla měřena jen přibližná pórovitost pro volně nasypáný štěrk z pěnového skla.



2.7 – Pěnové sklo v pytli od Refaglass
frakce 4-16 mm

Měření:

Pro měření bylo odebráno kamenivo z pěnového skla v suchém stavu tak, jak bylo dodáno (v papírovém pytli viz obrázek 2.7) a umístěno do předem zvážené kádinky ($m_{\text{kádinka}}$). Následně byla zvážena kádinka s kamenivem (73,933g) a odečtením hmotnosti kádinky byla získána váha samotného kameniva (m_{kamenivo}). Vzorek byl přitížen, aby voda, kterou byl štěrk zalit, nevytlačila kamenivo a objem makro pórů odpovídal objemu vzduchu v suchém stavu. Obsah i s kádinkou byl zvážen ($m_{\text{celkové+}}$) a po vylití vody (voda zůstala jen na povrchu zrn štěrku) opět zvážen ($m_{\text{celkové-}}$).

Kamenivo bylo nasypáno do úrovně rysky 250ml, což je objem nasypaného kameniva pro výpočet (V_{celkem}). Při uvažování objemové hmotnosti vody 1000kg/m^3 se uvažuje, že $1\text{g}=1\text{ml}$. Odečtením hodnot $m_{\text{celkové+}}$ a $m_{\text{celkové-}}$ byla získána hmotnost, respektive objem, vody ($m_{\text{voda}} = V_{\text{voda}}$).



2.8 – Kádinka o objemu 250ml naplněná kamenivem a vodou

Pórovitost pak byla získána podílem hodnoty objemu nasypaného kameniva (V_{kamenivo}) a objemu vody v makropórech kameniva (V_{voda}).

Pomůcky: kádinka o objemu 250 ml
váha AND GX-1000

Hmotnost:

kádinka	$m_{\text{kádinka}}$	= 30,234 g
kamenivo (suché)	m_{kamenivo}	= 73,933 g
$m_{\text{kádinka}} + m_{\text{kamenivo}} + m_{\text{voda}}$	$m_{\text{celkové+}}$	= 200,975 g
$m_{\text{celkové+}} - m_{\text{voda}}$	$m_{\text{celkové-}}$	= 93,701 g
objem celkový	V_{celkem}	= 250 ml
potom		
objem vody z makropórů	$V_{\text{voda}} = m_{\text{celkové+}} - m_{\text{kamenivo}}$	= 200,975 – 73,933
	V_{voda}	= 127,04 ml ($m_{\text{voda}} = 127,04$ g)
Pórovitost volně sypaného kameniva	$\rho = V_{\text{voda}} / V_{\text{celkem}}$	
	$\rho = 127,04 / 250$	
	$\rho = 0,508$	(50,8%)

Pórovitost volně sypaného kameniva je 50,8%. To je polovina celkového objemu, ale v reálné situaci na stavbě je šterk z pěnového skla dále hutněn. Při hutnění dochází ke snížení celkového objemu při zachování objemu samotného kameniva.

Štěrk z pěnového skla pod základovou desku se zpravidla hutní na poměr 1:1,2 až 1:1,3. Z těchto poměrů můžeme určit pórovitost zhutněného násypu na stavbě. Měřený vzorek má z pohledu hutněního poměru objem 120 až 130% a zhutněný objem 100%. Jednoduchou trojčlenkou je vypočítáno procento objemu zhutněného násypu při uvažování volného objemu násypu jako 100% objemu.

$$\text{Pro poměr } 1:1,2 \Rightarrow \frac{100}{120} \times 100 = \mathbf{83,3\%} \quad \text{Pro poměr } 1:1,3 \Rightarrow \frac{100}{130} \times 100 = \mathbf{76,9\%}$$

Celkový objem zhutněného násypu se pak dopočítá vynásobením procenta zhutněného objemu původním objemem.

$$V_{1,2} = V_{\text{celkem}} \cdot 0,833 = 250 \cdot 0,833 = \mathbf{208,25 \text{ ml}}$$

$$V_{1,3} = V_{\text{celkem}} \cdot 0,769 = 250 \cdot 0,769 = \mathbf{192,25 \text{ ml}}$$

Při zachování objemu samotného kameniva $V_{\text{kamenivo}} = 250 - 127 = 123 \text{ ml}$ dojde k vytlačení vzduchu, potom se objem vzduchu ve vzorku sníží na:

$$V_{\text{vzduch},1,2} = V_{1,2} - V_{\text{kamenivo}} = 208,25 - 127,04 = \mathbf{81,21 \text{ ml}}$$

$$V_{\text{vzduch},1,3} = V_{1,3} - V_{\text{kamenivo}} = 192,25 - 127,04 = \mathbf{65,21 \text{ ml}}$$

Pórovitost zhutněného kameniva p_i

$$p_{1,2} = V_{\text{vzduch},1,2}/V_{1,2} = 81,21/208,25 = \mathbf{0,39 \text{ (39\%)}}$$

$$p_{1,3} = V_{\text{vzduch},1,3}/V_{1,3} = 65,21/208,25 = \mathbf{0,313 \text{ (31,3\%)}}$$

Změna objemu vzduchu Δp_i

$$\Delta p_{1,2} = p - p_{1,2} = 0,508 - 0,39 = \mathbf{0,118 \text{ (11,8\%)}}$$

$$\Delta p_{1,3} = p - p_{1,3} = 0,508 - 0,313 = \mathbf{0,195 \text{ (19,5\%)}}$$

Po provedeném měření a při znalosti poměru zhutnění štěrku z pěnového skla na stavbě lze konstatovat, že vzduchu v makropórech volně sypaného kameniva je přibližně 50% a díky zhutnění se sníží o 12 až 20%.

2.2.3 Součinitel tepelné vodivosti

Nejdůležitější kapitolou části 2. *Laboratorní práce* je určení součinitele tepelné vodivosti. Cílem je zjistit, jakým způsobem se mění součinitel tepelné vodivosti v různých podmínkách. V laboratoři byly posuzovány dvě hlavní okrajové podmínky a to vlhkost vzorku a teplota. Výsledky by měly být srovnáním k obecně deklarovaným vlastnostem štěrku z pěnového skla. Zároveň by měly vést k doporučením, jaké by mohly být hodnoty součinitele prostupu tepla používané ve fyzikálních modelech a posouzeních skladeb.

Hodnoty součinitele prostupu tepla budou zároveň použity v teoretické části práce při modelování jednotlivých variant základů.

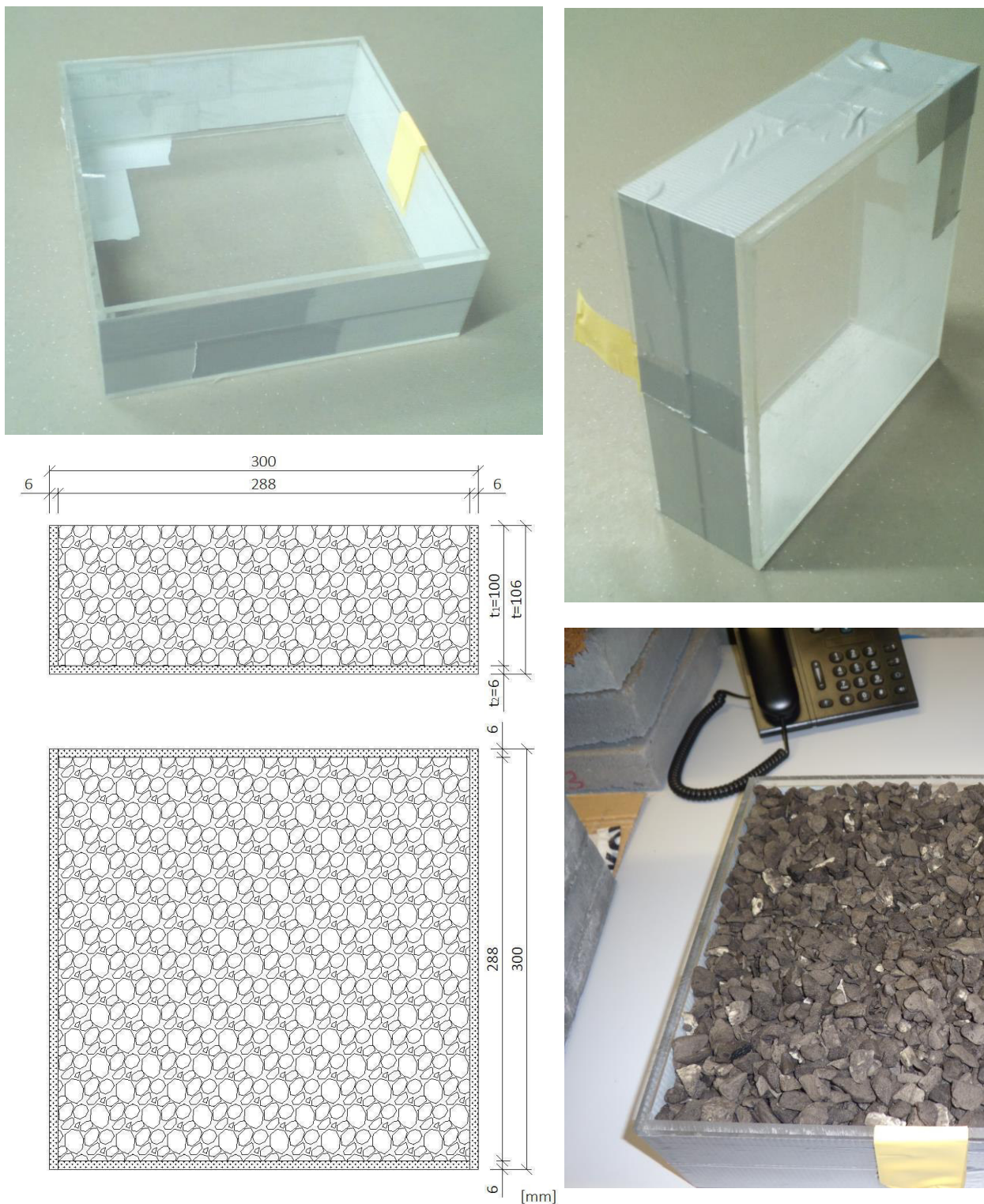
Přístroje a pomůcky použité při měření:



2.9 – Linseis HFM 300 – Heat Flow Meter, který byl použit pro měření součinitele prostupu tepla.

Heat Flow Meter LINSEIS HFM 300 (Seriál no. 6427/6912/14) je měřicí přístroj, který je vybaven odizolovanou komorou s proměnnou výškou vzorku a s nastavitelnou teplotou protilehlých stěn (horní a dolní). Přístroj nastaví teplotu obou povrchů, teplotní spád, a přibližuje se ustálenému stavu dodávané energie – dodávaná energie pro udržení teploty jedné i druhé desky nekolísá. Přístroj poté přepočítá množství energie dodávané na udržení teplot na plochu (0,3x0,3m) a výšku vzorku, podle čehož určí velikost tepelné prostupnosti L (W/mK) a následně součinitel prostupu tepla U (W/m²K).

Krabice z plexiskla vyrobená v dílně UCEEB se součinitelem tepelné vodivosti stěny $\lambda = 0,2 \text{ W/mK}$. Rozměry viz obrázky 2.10.



2.10 – Schéma a fotografie krabice z plexiskla pro měření v HFM (Krabice byla přelepena lepicí páskou, protože při měření zatopeného kameniva docházelo k mírnému protékání přes spoje.)

2.2.3.1 Příprava vzorků a měření

Při přípravě měření je důležité zajistit co nejvyšší podobnost vzorků. To znamená, že úroveň zhutnění, výška vzorku a další parametry by měly být stejné v každé skupině. Pokud se porovnává **vliv teplotního spádu** na měření, měly by být zajištěny stejné okrajové podmínky, které jsou konstantami – zhutnění, vlhkost vzorku, materiál – a mění se teplotní spád (skupina A1 až A4 respektive C1 a C2). V případě zkoumání vlivu **vlhkosti a vody** na výsledek měření, jsou konstantami – zhutnění, materiál a teplotní spád – a mění se jen množství vody ve vzorku (skupina se vzorky A2, B, C2 a D).

Vzorky a jejich příprava

Všechny vzorky A1 až C2 byly do krabice z plexiskla ukládány volně a zhutněny. Zvláštním případem byl vzorek D, protože se, i přes snahu přidržovat kamenivo, nepodařilo zcela zabránit částečnému vyplavání kameniva při umístování do HFM. Výsledkem bylo, že na dně (ochlazovaná strana) byl vyšší podíl vody a naopak na vrchu nebylo kamenivo ponořené. Na jedné straně tak docházelo ke zhoršení vlastností vzorku a naopak na druhé straně ke zlepšení. Jakou měrou se tyto dva vlivy vyrušily nebo zlepšily, či zhoršily výsledek, nelze s jistotou říci.

Vzorek A1, A2, A3 a A4 – konstantní vlhkost vzorku

Kamenivo bylo odebráno přímo z pytle dodaného od výrobce (viz 2.8, str. 17). Měření ukazuje, že toto kamenivo lze považovat za suché, protože hodnoty hmotnostní vlhkosti jsou v rozmezí 0,13 až 0,25% (viz Graf 2.1, str. 14). Je tak ideální pro zkoumání vlivu teplotního spádu měření (t_D/t_H) na hodnotu součinitele prostupu tepla.

Štěrka byla z pytle ve všech případech nasypána do krabice a mírně zhutněna. Teplota interiéru se pohybovala kolem 23°C a vlhkost vzduchu byla 33% (22.9.).

Vzorek B – skupina s konstantním teplotním spádem

Kamenivo bylo ponořené pod vodou od 16.9. do 20.9. (72 hodin), poté osušeno papírovým ubrouskem a ponecháno na vzduchu. Hmotnostní vlhkost vzorku B je 37 až 41% (viz Graf 2.2, str. 14) a v měřeních reprezentoval možný stav kameniva po zvlhčení pod základovou deskou, kde je vysoká vlhkost vzduchu s minimální možností vysychání.

Při ukládání do krabice byl vzorek opět mírně zhutněn a vložen do HFM.

Vzorek C1 a C2 – skupina s proměnným teplotním spádem a vlhkostí

Kamenivo bylo, stejně jako ve vzorku B, ponořeno pod vodou po 72 hodin, ale nebylo osušeno a mělo plné povrchové nasycení vodou. Pro reálné podmínky by se jeho stav dal přirovnat mimořádné situaci, kdy dojde k náhlému zatopení podzákladí – přívalemý déšť, tání sněhu, dočasné zvýšení spodní vody – vlivem špatného návrhu či provedení drenáže nebo popršením materiálu před zakrytím.

Zvlhčení vzorku C1 a C2 neprobíhalo ve stejnou dobu a nelze zcela zaručit stejné podmínky a z toho vyplývající výsledky.

Při ukládání vzorku do krabice bylo kamenivo mírně zhutněno a uloženo do HFM.

Vzorek D – skupina s proměnnou vlhkostí

Kamenivo bylo před měřením ponořeno pod vodou. Po umístění vlhkého kameniva do krabice se nahoře zatížilo deskou z plexiskla, aby při zalití vodou nevyplouvalo. Při umísťování do HFM se krabice opatrně vsunula do přístroje, aby štěrk zůstal potopený. Úplné potopení kameniva se nepodařilo zajistit, viz výše. V podmínkách na stavbě tento vzorek představuje případ dlouhodobého plného zatopení podzákladí. V reálné situaci by k něčemu takovému nemělo docházet, ale při posouzení extrémních případů je možné hodnotu součinitele tepelné vodivosti z tohoto měření použít.

Vzorek nebylo možné reálně zhutnit a podíl vody je vyšší než u zhutněného kameniva.



2.11 – Pracoviště s Heat Flow Meterem, zařízeními a technikou

Měření

Měření probíhalo ve výše zmíněném HFM, kde se měřilo množství ustálené energie dodávané pro udržení teplotního spádu. Jedno měření probíhalo v řádu hodin podle toho, kolik vody daný vzorek obsahoval a jaký byl přednastavený tepelný spád. Delší dobu probíhalo měření vlhkých a zejména pak plně zavodněného vzorku.

Výsledkem měření byly tyto hodnoty:

$$A1 \dots\dots\dots U_{A1} = 0,718 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A2 \dots\dots\dots U_{A2} = 0,720 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A3 \dots\dots\dots U_{A3} = 0,735 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A4 \dots\dots\dots U_{A4} = 0,807 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$B \dots\dots\dots U_B = 1,460 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$C1 \dots\dots\dots U_{C1} = 1,415 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$C2 \dots\dots\dots U_{C2} = 1,807 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$D \dots\dots\dots U_D = 3,140 \text{ W/m}^2\text{K}$$

2.2.3.2 Vyhodnocení výsledků měření

Heat Flow Meter měří hodnotu součinitele prostupu tepla, výšku vzorku a tepelnou prostupnost. Pro aplikaci ve fyzikálních modelech a tepelných posudcích je potřeba znát součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]. Při jednoduchém vztahu s jedinou vrstvou by se dalo uvažovat, že $U = \lambda/t$ (pokud víme, že $R = t/\lambda$ a $U = 1/R$). Měření štěrku z pěnového skla si vyžadovalo použití krabice z plexiskla, která má vliv na výsledek, protože má rozdílné tepelně technické vlastnosti. Svislé stěny, vzhledem k malému poměru půdorysné plochy (7,84%) byly zanedbány.

Do přepočtu bylo pro zjednodušení zohledněno jen plexisklové dno. Označí-li se hodnota celkového součinitele prostupu tepla jako U , tepelný odpor násypu z kameniva jako R_1 a plexiskla jako R_2 , výška vrstvy štěrku t_1 a plexiskla t_2 , součinitel tepelné vodivosti štěrku λ_1 a plexiskla λ_2 , můžeme ze základních vztahů pro výpočet součinitele prostupu tepla vyjádřit součinitel λ_1 takto:

$$U = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad \Rightarrow \quad U = \frac{1}{\frac{t_1}{\lambda_1} + \frac{t_2}{\lambda_2}} \quad \Rightarrow \quad \lambda_1 = \frac{t_1}{\frac{1}{U} + R_2}$$

Výsledky měření a přepočtu jsou zobrazeny v přehledné tabulce a grafu:

popis vzorků:

- A1** - zcela vysušený vzorek při teplotním spádu 0/20
- A2** - zcela vysušený vzorek při teplotním spádu 10/30
- A3** - zcela vysušený vzorek při teplotním spádu 50/30
- A4** - zcela vysušený vzorek při teplotním spádu 60/40
- B** - zvlhčený vzorek, osušený ubrouskem při teplotním spádu 10/30
- C1** - zvlhčený vzorek s plnou povrchovou vlhkostí při t. s. 10/20
- C2** - zvlhčený vzorek s plnou povrchovou vlhkostí při t. s. 10/30
- D** - všechny volné póry násypu jsou vyplněny vodou při t. s. 10/30

HEATFLOW METER (HFM)

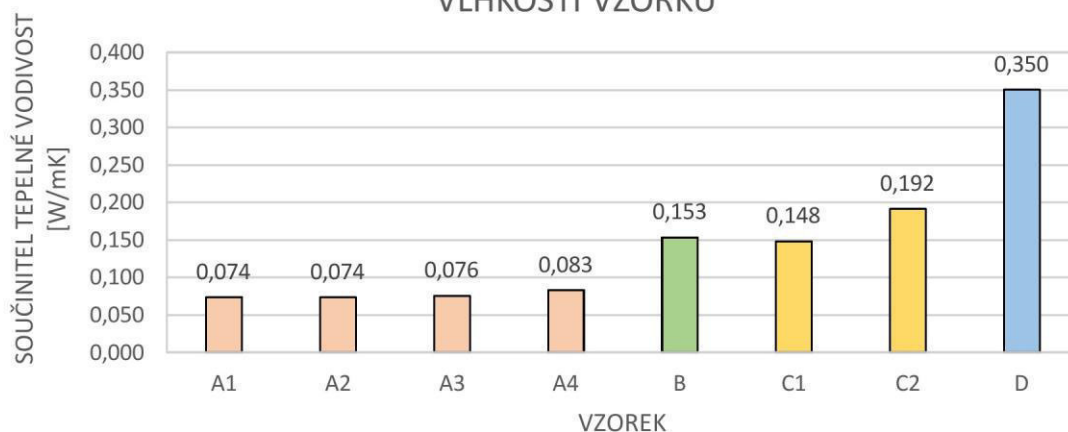
vzorek	t [m]	t ₁ [m]	t ₂ [m]	λ ₂ [W/mK]	U [W/m ² K]	λ ₁ [W/mK]	teploty dol.-hor.	%
A1	0,1065	0,1005	0,006	0,2	0,718	0,074	0-20°C	100%
A2	0,1063	0,1003			0,720	0,074	10-30°C	100%
A3	0,1066	0,1006			0,735	0,076	50-30°C	103%
A4	0,1066	0,1006			0,807	0,083	60-40°C	113%
B	0,1065	0,1005			1,460	0,153	10-30°C	208%
C1	0,1063	0,1003			1,415	0,148	10-20°C	201%
C2	0,1063	0,1003			1,807	0,192	10-30°C	260%
D	0,1071	0,1011			3,140	0,350	10-30°C	475%

legenda značení:

- t - celková tloušťka
- t₁ - tloušťka zkoumaného materiálu
- t₂ - tloušťka plexiskla
- λ₁ - součinitel tepelné vodivosti násypu ze šterku z pěnového skla
- λ₂ - součinitel tepelné vodivosti plexiskla
- U - hodnota souč. prostupu tepla, která byla naměřena v HFM

Tabulka 2.2 – Hodnoty naměřené v HFM a přepočet na samotné PS

TEPELNÁ VODIVOST V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ A VLHKOSTI VZORKU



Graf 2.6 – Graf součinitelů tepelné vodivosti

2.2.3.3 Závěr z měření součinitele tepelné vodivosti

Výstupem z měření součinitele tepelné vodivosti (dále jen λ) jsou dvě důležité skupiny poznatků. Jednou je vliv obsahu vody v násypu a druhým vliv teploty prostředí.

VLIV OBSAHU VODY

Po zvlhčení vzorku dochází ke zhoršení λ o 100 až 160% při hmotnostní vlhkosti 38 až 57%. To je významná změna, protože pokud by se v návrhu uvažovalo s takovou hodnotou, znamenalo by to minimálně dvojnásobné množství šterku z pěnového skla, aby bylo dosaženo požadovaných hodnot. V případě plného zatopení kameniva by došlo dokonce až k 375% nárůstu hodnoty λ .

Pokud má být návrh správný, ale zároveň ekonomický, je potřeba se při návrhu vyhnout složitým řešením a chybám. Stěžejní je ale především provedení. Prováděcí firma musí zajistit bezproblémové fungování drenážního potrubí a správné provedení izolací a dalších vrstev.

VLIV TEPLoty PROSTŘEDÍ

Na vzorcích A1 až A4 je znatelný nárůst hodnoty λ se zvyšující se střední teplotou. S podmínkami, které panují v podzákladích, tedy teplotami mezi 8 a 15°C, by bylo možné uvažovat s nižší (lepší) hodnotou λ v řádu procent.

CELKOVÉ HODNOCENÍ

Nižší teplota v základových poměrech ovlivňuje λ pozitivně, ale jen minimálně v porovnání s obsahem vlhkosti. Ve fyzikálních modelech a při návrhu tloušťky izolace by tedy měla být hodnota λ přísnější. Správně by nemělo dojít ke zvlhčení kameniva vůbec, ale s naprostou jistotou to zajistit nelze a vysychání v podzákladích je jen velmi omezené kvůli vysoké vlhkosti vzduchu.

Pro fyzikální model (kapitola 3) a ekonomickou rozvahu (kapitola 4) je, v souvislosti s důvody uvedenými výše, uvažováno s hodnotou $\lambda = 0,1 \text{ W/mK}$. Pomyslný „součinitel bezpečnosti“ by byl $\gamma_\lambda = 1,25$ [-]. Pro případ zásypu chodníčku šterkem z PS je uvažována hodnota $\lambda = 0,12 \text{ W/mK}$ (vliv srážek). Při posouzení minimální teploty v interiéru by měla být hodnota ještě přísnější, než při posouzení skladby z pohledu součinitele prostupu tepla U [$\text{W/m}^2\text{K}$], ale jednalo by se o extrémní případ a proto s tímto případem není v kapitole 3 a 4 uvažováno.

2.3 Nasákavost a kapilární vzlínavost

Důležitou vlastností pěnového skla, která je deklarována výrobcí a která dělá z pěnového skla výjimečný materiál, je nenasákavost. Vnitřní nasákavost je, podle dostupných materiálů výrobců [5] [6] [7], 0%. To znamená, že materiál do vnitřních uzavřených pórů nepropustí žádnou vodu. Podobně je tomu s propustností par, kdy se uvažuje s faktorem difúzního odporu $\mu = \infty$. To znamená, že materiál nepropouští vodní páru.

Tato část laboratorního měření má ověřit nasákavost materiálu, která ovlivňuje tepelně technické vlastnosti obecně a určuje tím využitelnost pěnového skla.

Při zakládání na šterku z pěnového skla se hloubka uložení PS pohybuje zhruba do 1m. Při mimořádné situaci, například ucpání drenážního potrubí, by mohlo dojít k zaplavení kameniva. Za předpokladu, že je uživatel schopen odhalit takovou poruchu odvodnění, je otázkou, jak efektivně kamenivo vysoušet, je-li to vůbec možné. Proto je třeba znát množství vody, která ulpí na povrchu kameniva, respektive uvnitř pórů, aby bylo možné vypočítat (odhadnout) dobu potřebnou pro vyschnutí.

2.3.1 Kapilární vzlínavost

Kapilární vzlínavost byla zkoumána na dvou vzorcích z PS (Perinsul) o rozměrech 50x50x240 mm. Boky vzorku kryla vrstva hydroizolace a čela byla přelepena hliníkovou lepicí páskou, viz obrázek 2.12. [15]



2.12 – Vzorky V1 a V2 uložené ve vodní lázni 28.11. – 30.11. 2016

Před vložením do lázně byly oba vzorky zváženy na váze Sartorius L420 S. Vážení bylo opakováno v určitých časových intervalech, viz Graf 2.7, 2.8, 2.9, 2.10. Hodnoty v grafu ukazují rychlý nárůst hmotnosti vlivem vody, která vyplnila póry ponořené části.

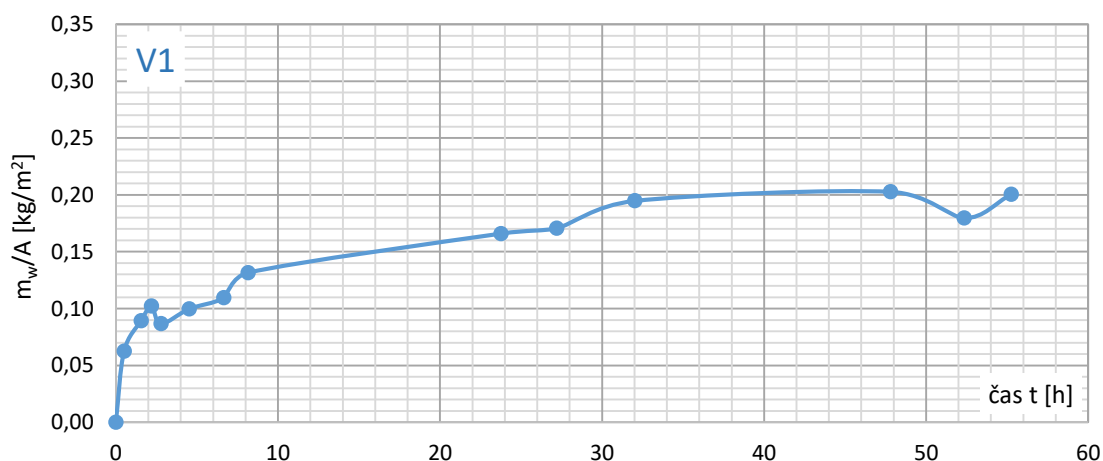
Další nárůst hmotnosti je přičítán vzlínáním (kapilární elevací) vody po obvodu vzorku. Toto vzlínání je dobře znatelné na fotografii 2.13 na straně 29, kde tmavá oblast znamená přítomnost kapilární vody. Znatelnější nárůst je vidět na průběhu obsahu vody u vzorku V2 na straně 29.

Je možné, že voda částečně prostoupila i mezi pěnové sklo a hydroizolaci.

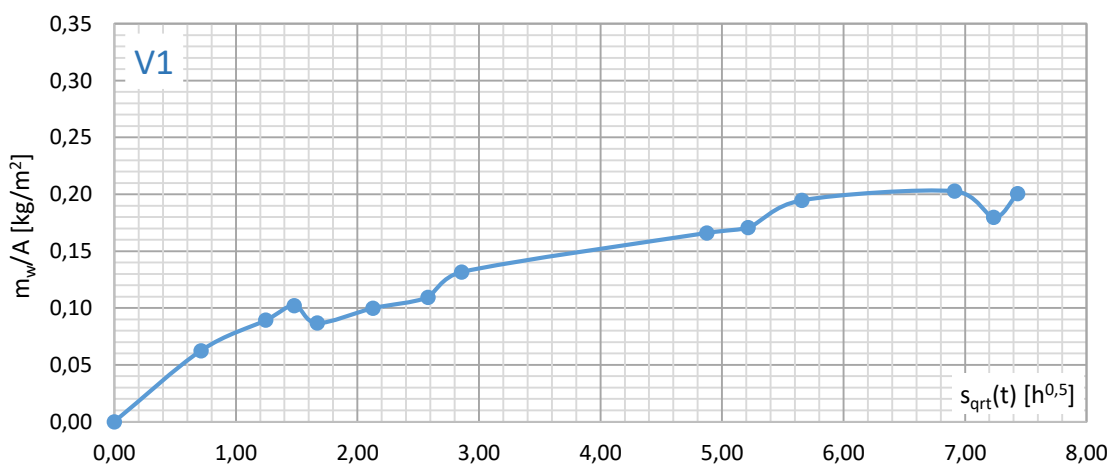
m_w – hmotnost vody obsažené ve vzorku [kg]

A – styčná plocha vzorku s vodní lázní [m^2]

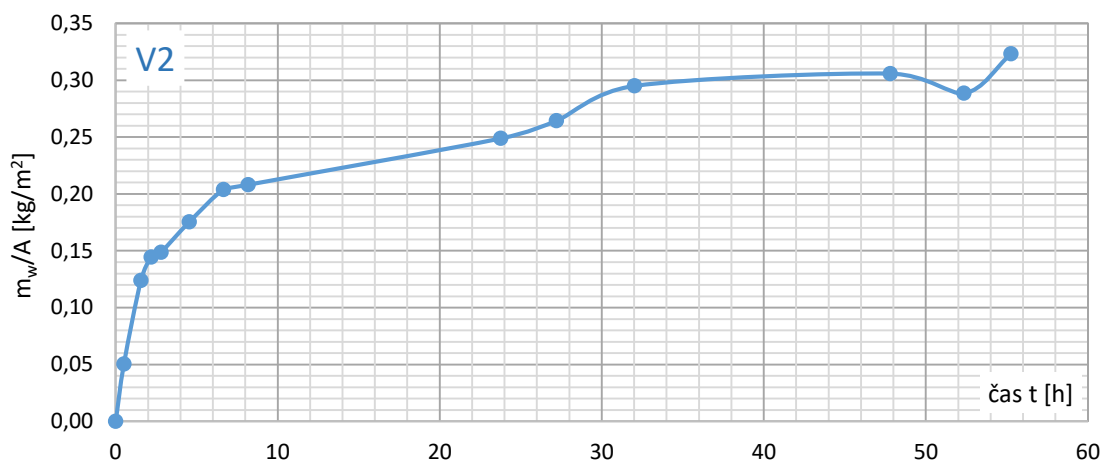
$s_{qrt}(t)$ – odmocnina z času, po kterém byl vzorek zvážen [$h^{0,5}$]



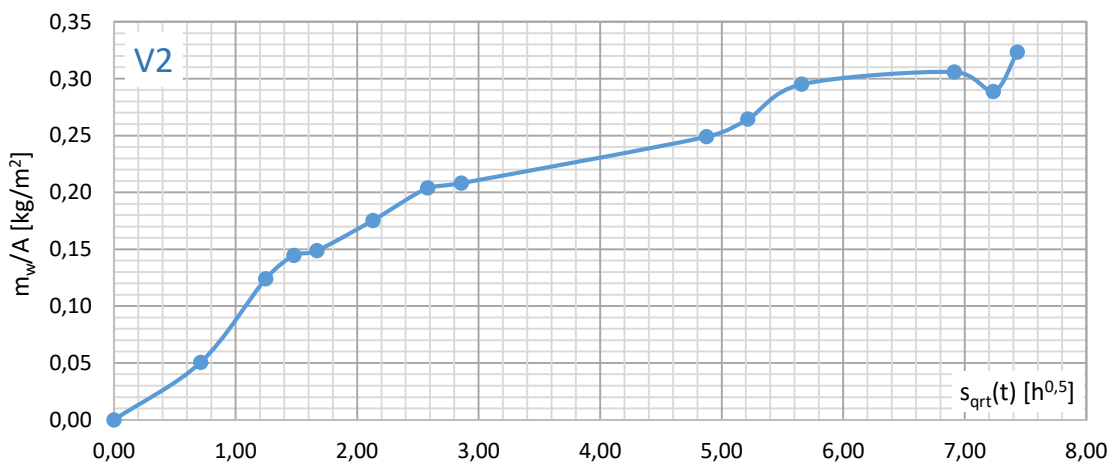
Graf 2.7 – Nárůst obsahu vody v pórech v závislosti na čase t [h]



Graf 2.8 – Nárůst obsahu vody v pórech v závislosti na odmocnině z času $s_{qrt}(t)$ [$h^{0,5}$]



Graf 2.9 – Nárůst obsahu vody v pórech v závislosti na čase t [h]



Graf 2.10 – Nárůst obsahu vody v pórech v závislosti na odmocnině z času $s_{qrt}(t)$ [h^{0,5}]



2.13 – Na fotografii je modře vyznačena úroveň vody, která vzlíná pod záplekou.

Průběh nárůstu hmotnosti vlivem vztlínající vody je minimální v porovnání s jinými nasákovými materiály [5]. U běžných materiálů, jako je beton, pórobeton, cihla, a další, jsou hodnoty v řádech kilogramů až desítek kilogramů.

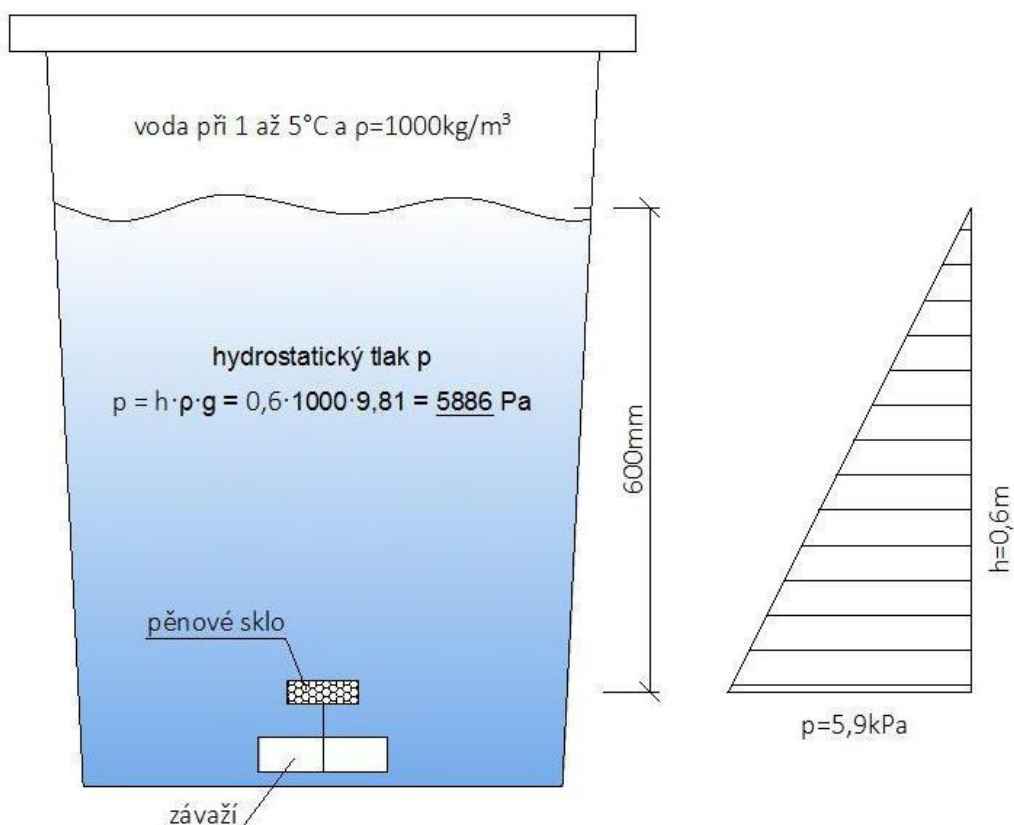
Vezme-li se v potaz, že voda vztlínala kolem lepicí pásky, popřípadě vrstvou mezi hydroizolací a PS a zároveň jsou naměřené hodnoty velmi nízké, dá se říci, že **nedochází ke kapilárnímu vztlínání** uvnitř materiálu.

2.3.2 Nasákavost – tlaková voda

ZKOUŠKA 1

Jak již bylo napsáno výše, štěrk z PS se může dostat do různých i extrémních situací. Proto byla provedena zkouška nasákavosti v tlakové vodě. Vzorek o rozměrech 50x40x120mm byl ponořen na dně nádrže na vodu v hloubce 0,6m od pátku 25.11. 18:00 do úterý 6.12. 10:00.

Vzorek byl před ponořením do nádrže zvážen. Bohužel díky nízkým teplotám byl zkoumaný vzorek znehodnocen, když přimrzl ke stěně nádrže. Další měření pak pozbývalo smyslu.

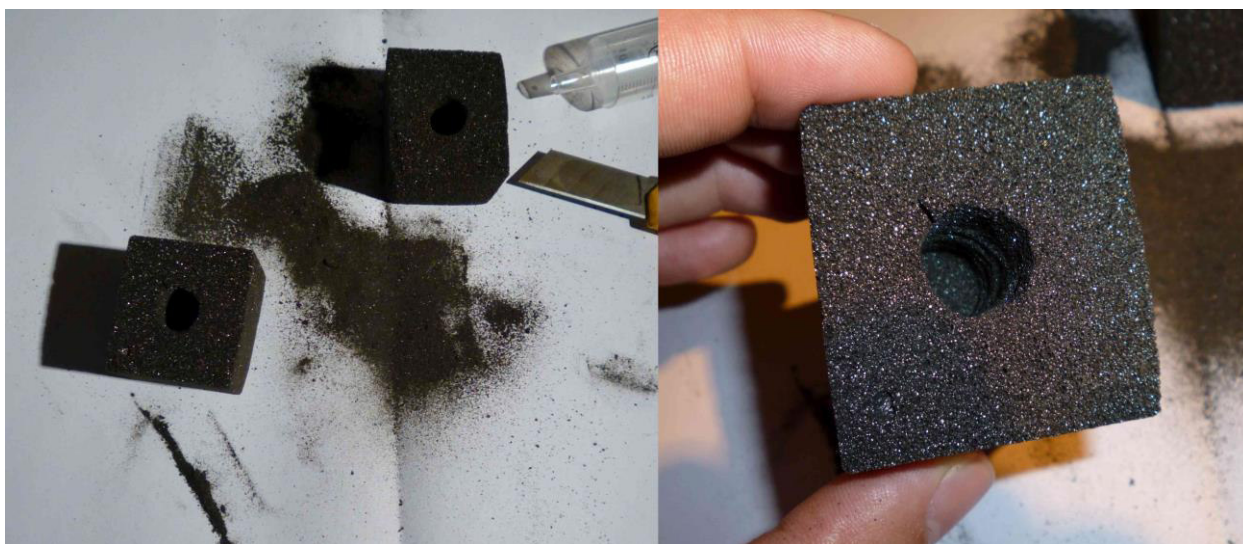


2.14 – Schéma uložení vzorku v nádrži v hloubce 0,6m.

Po rozlomení vzorku se z vnitřních pórů vysypal suchý šedý prach z rozdrčeného skla a po obvodu nebylo znatelné zvlhčení.

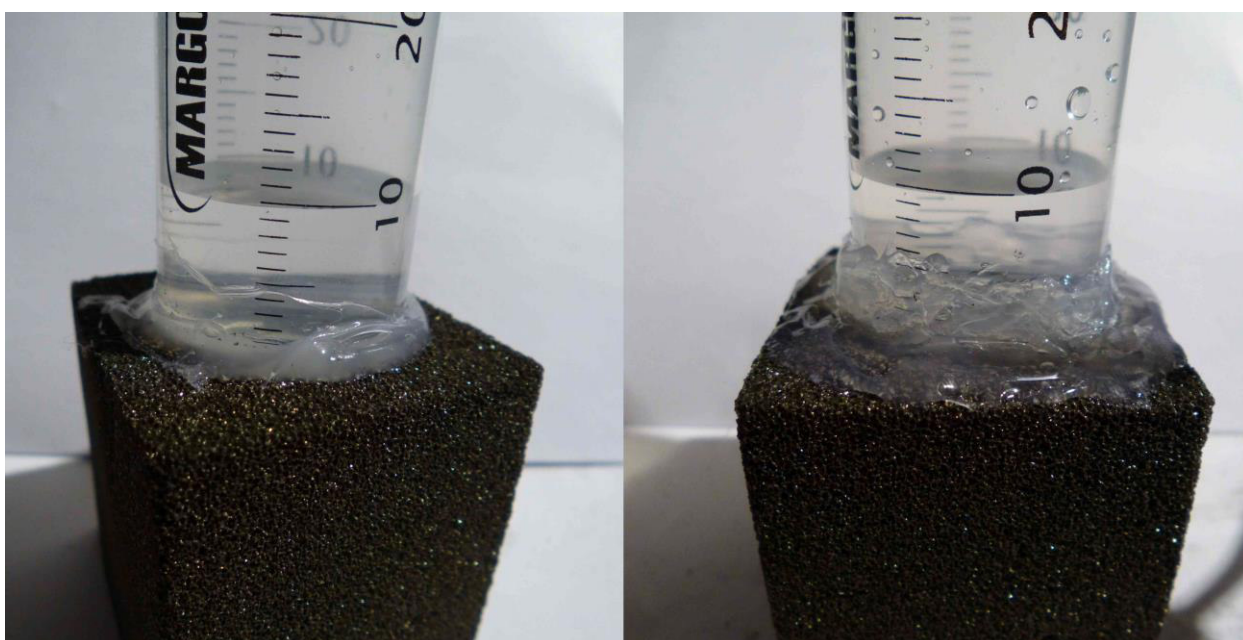
ZKOUŠKA 2

Z desky byla vyříznuta krychle o rozměrech 40x40x40mm a do ní byl vyvrtán otvor o průměru přibližně 1 cm a hloubce 3 cm, viz fotografie 2.15.



2.15 – Příprava vzorku pro tlakovou zkoušku.

Ke krychli z PS byla pomocí lepicí pistole přilepena injekční stříkačka. Během pokusu bylo nutné postupně rozšiřovat oblepení, protože lepidlo nedokázalo proniknout do dutin na povrchu a tlaková voda si mezi ním a PS vždy našla cestu, viz fotografie 2.16.



2.16 – Injekční stříkačka přilepená ke vzorku PS a viditelná hladina vody.

Do stříkačky bylo nalito menší množství vody, aby v injekční stříkačce zbyl dostatek vzduchu, který by bylo možné stlačit a dosáhnout tak přetlaku. Píst stříkačky byl stlačen alespoň na úroveň 50ml a zafixován. Změna objemu vzduchu z původní hodnoty cca 55ml klesla na 40ml při maximálním zatížení. Pohled na celou zkoušku je vidět na fotografii 2.17.



2.17 – Fixování pístu stříkačky – vzduch je stlačen na objem 39ml.

Vzhledem ke konstantnímu úniku vody byl přetlak nestálý a voda musela být pravidelně doplňována v průběhu 48 h.

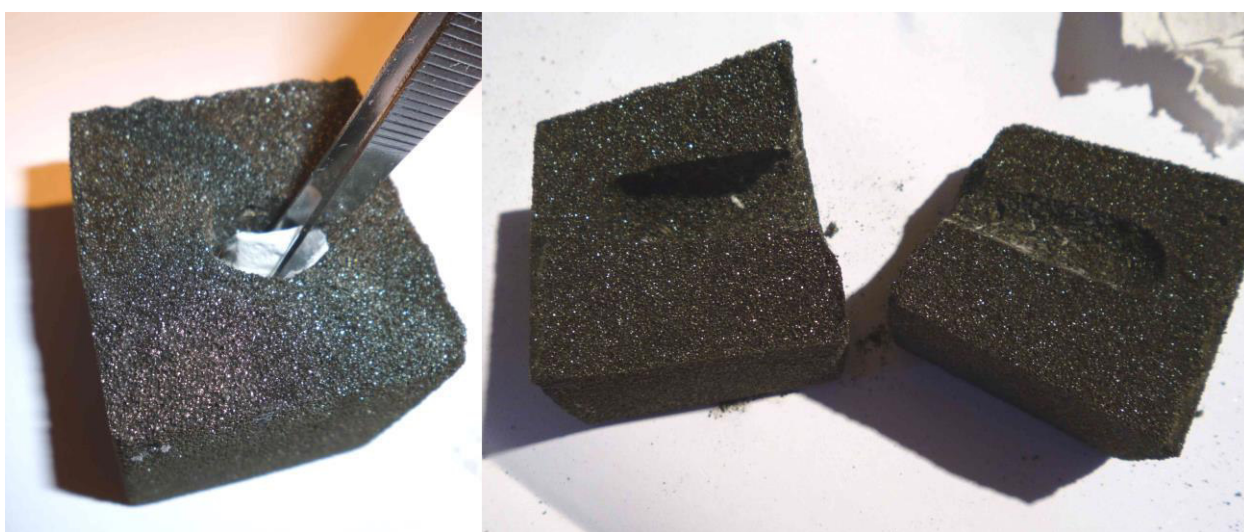
Uvažuje-li se s modulem objemové pružnosti vzduchu $K=485$ kPa [6] a změna objemu vzduchu byla v rozmezí 0,1 až 0,3 ($\Delta V/V_0$), potom se **přetlak** vzduchu, respektive vody, pohyboval přibližně mezi **50 až 150 kPa** (1,5 až 2,5 atmosféry).

Po několikanásobném zatížení přetlakem byla odstraněna injekční stříkačka ze vzorku. Na fotografii 2.18 je vidět, jak je PS promáčené pod utrženou vrchní vrstvou, která šla bez většího odporu odstranit.

Následně byl vysušen vývrt, který byl v přímém kontaktu s vodou a kostka byla rozlomena, viz fotografie 2.19.



2.18 – Pohled na odtrženou vrstvu PS, do které pronikala voda.



2.19 – Vysušení otvoru papírovým ubrouskem a následné rozlomení vzorku.



2.20 – Detailní pohled do lomu kostky z PS v okolí otvoru, který byl vystaven tlakové vodě.

Při blízkém pohledu do lomu není vidět žádná známka vlhkosti a lze konstatovat, že materiál je nenasákavý i za přetlaku, kterého by v základových poměrech nemělo být dosaženo. Detail lomu viz fotografie 2.20.

ZÁVĚR MĚŘENÍ NASÁKAVOSTI V TLAKOVÉ VODĚ

Obě zkoušky pěnového skla byly založeny na vystavení vzorků tlakové vodě a následné vizuální kontrole. Z časových důvodů nebylo možné opakovat první část zkoušky, ale přesto je možné potvrdit deklarovanou **nenasákavost materiálu**.

TEORETICKÁ ČÁST

3. Modelové aplikace pěnového skla

Tato část se věnuje zkoumání vlivu použitého materiálu a způsobu založení na průběh teploty v podzákladí, minimální povrchovou teplotu na vnitřním líci zdiva a tepelnou ztrátu. Modely jsou vytvořeny v programu Area 2014 EDU, výukové verzi [7].

3.1 Cíle modelování

Cílem je vytvořit modely založení v několika variantách, které budou mít stejné podmínky – velikost modelu, okrajové podmínky a součinitel prostupu tepla U . Hlavními skupinami jsou založení na základové desce a založení na základových pasech.

POVRCHOVÁ TEPLOTA

Dodržení minimální povrchové teploty na vnitřním líci konstrukce je důležité pro zabránění srážení vlhkosti. Cílem je porovnat povrchové teploty u jednotlivých variant.

TEPELNÁ PROPUSTNOST

Cílem je zjistit a porovnat množství energie, které uniká přes detail základu, pro jednotlivé varianty.

IZOTERMY

Pro ověření, jestli nedojde k podmrzáni základu budou vykresleny izotermy a porovnány průběhy teplot jednotlivých variant.

3.2 Varianty zakládání

Varianty jsou rozděleny do tří základních skupin, které jsou dále děleny podle různých specifik. Varianta 3 je rozdělena do tří částí. Pro hlavní srovnání s klasickým zakládáním je varianta 3A, kdy je kamenivo zatíženo jen vzdušnou vlhkostí a deštěm. Varianty 3B a 3C ukazují, jaký vliv by mohlo mít selhání drenážní vrstvy.

● 1) ZÁKLADOVÉ PASY – OBSYP Z BĚŽNÉHO ŠTĚRKU (strana 38)

A) PÓROBETON

B) PĚNOVÉ SKLO

● 2) ZÁKLADOVÉ PASY – OBSYP ZE ŠTĚRKU Z PĚNOVÉHO SKLA (strana 39)

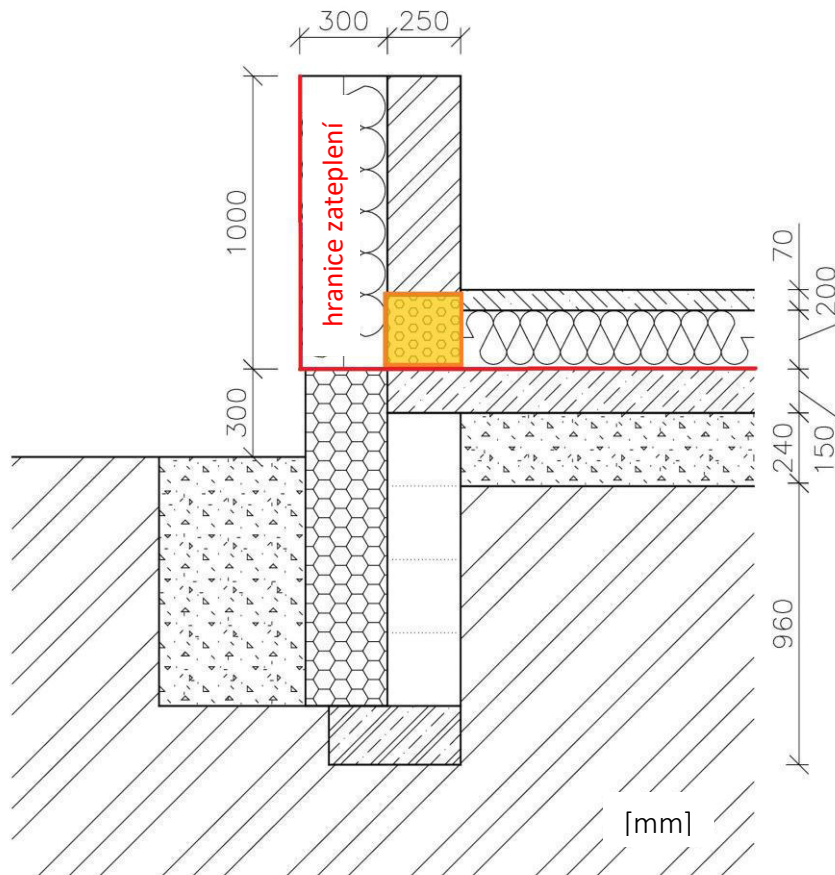
● 3) ZÁKLADOVÁ DESKA (strana 40)

A) VZDUŠNÁ VLHKOST

B) ČÁSTEČNĚ ZAPLAVENÉ

C) ZCELA ZAPLAVENÉ

1) ZÁKLADOVÉ PASY – OBSYP Z BĚŽNÉHO ŠTĚRKU



3.1 – Schéma založení základového pasu s přerušením tepelného mostu

POPIS KONSTRUKCE

Pas je vyzděn na roznášecí beton a je vyztužen a vybetonován. Zvenku je zateplen extrudovaným polystyrenem tl. 280 mm. Podlaha je zateplena polystyrenem, na který je provedena roznášecí vrstva z železobetonu. Svislá konstrukce je z vápenopískových cihel tl. 250 mm s vnějším kontaktním zateplovacím systémem z polystyrenu.

Skladba je posouzena a vypsána na straně 41.

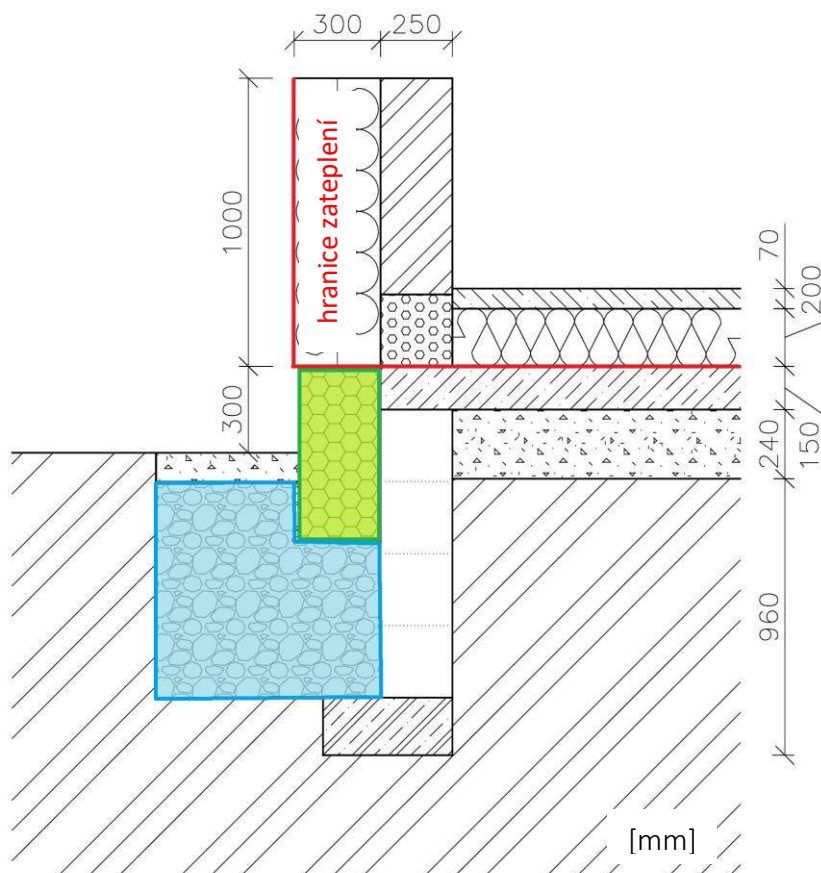
A) Pórobeton

Přerušení tepelného mostu je provedeno z tvárnice z pórobetonu s $\lambda=0,14$ W/mK. Tvárnice je ve schématu označena **oranžově**.

B) Pěnové sklo

Tepelný most je řešen stejně jako v případě A, ale vrstva je z desky z pěnového skla s $\lambda=0,05$ W/mK.

2) ZÁKLADOVÉ PASY – OBSYP ZE ŠTĚRKU Z PĚNOVÉHO SKLA



3.2 – Schéma založení základového pasu s obsypem z PS místo XPS a štěrku

POPIS KONSTRUKCE

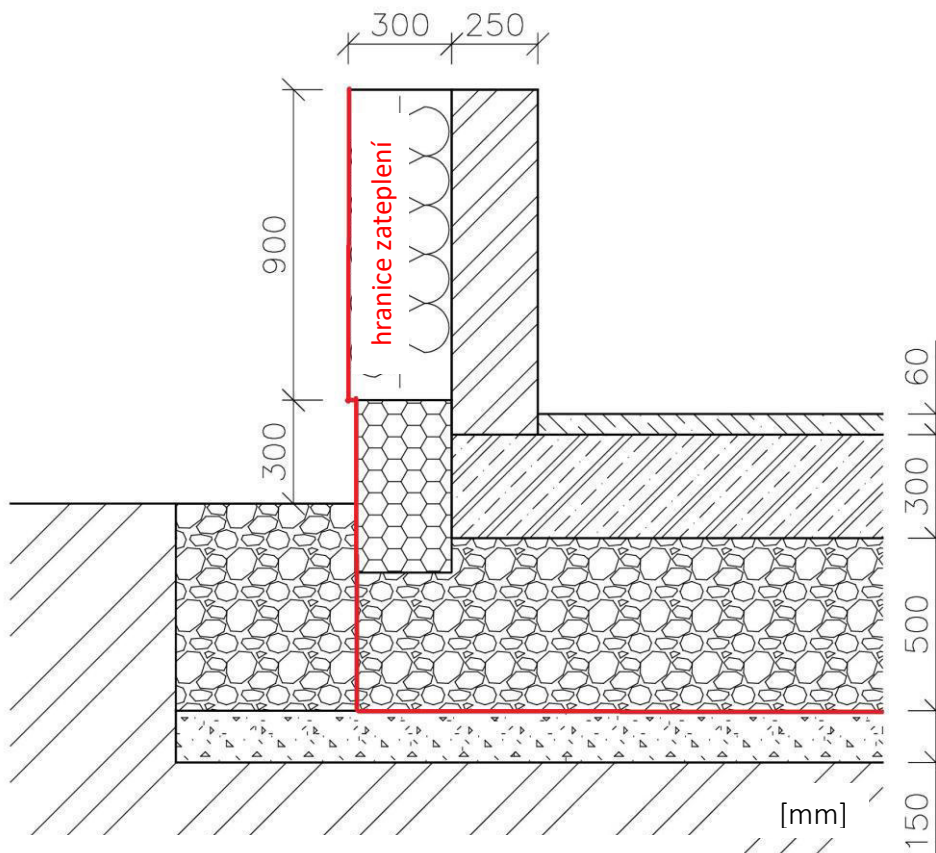
Konstrukce je provedena stejným způsobem jako ve variantě 1A. Rozdíl je v zateplení základového pasu. V horní části je extrudovaný polystyren proti odstříkující vodě a omezení prostupu tepla (zelené značení). Zbytek výkopu je vysypán štěrku z pěnového skla (modré značení). Finanční dostupnost opatření je posouzena v kapitole 4 (strana 74).

Skladba je posouzena a vypsána na straně 41.

Součinitel tepelné vodivosti obsypu ze štěrku z PS je uvažován $\lambda=0,12$ W/mK. Tato hodnota byla odhadnuta na základě laboratorního měření v kapitole 2.

Jedním z dalších řešení by mohlo být využití štěrku z pěnového skla do podsypu podkladního betonu, ale toto opatření nepřináší zásadnější výhody.

3) ZÁKLADOVÁ DESKA



3.3 – Schéma založení základové desky na štěrku z pěnového skla

POPIS KONSTRUKCE

Dno stavební jámy je zakryto drenážní vrstvou ze štěrku. Zbytek zásypu je tvořen štěrkem z pěnového skla, na kterém je základová deska.

A) VZDUŠNÁ VLHKOST

Hodnota součinitele tepelné vodivosti štěrku z PS přímo pod konstrukcí je $\lambda=0,1$ W/mK a mimo obvod (hranici zateplení) se uvažuje s hodnotou $\lambda=0,12$ W/mK.

Skladba je posouzena a vypsána na straně 41.

B) ČÁSTEČNĚ ZAPLAVENÉ

Součinitel tepelné vodivosti vlhkého štěrku z PS je $\lambda=0,15$ W/mK a štěrku, který je zcela zaplaven, je $\lambda=0,35$ W/mK

C) ZCELA ZAPLAVENÉ

Součinitel tepelné vodivosti štěrku z PS je do úrovně základové desky $\lambda=0,35$ W/mK.

NÁZEV SKLADBY:		S0 - stěna					
vrstva	č.	d [m]	μ [-]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ΣR [m ² K/W]	U [W/m ² K]
omítka vnější	1	0,01	10	0,25	0,04	7,83	0,13
kontaktní zateplení	2	0,3	40	0,040	7,50		
vápenopísková tv.	3	0,2	25	0,750	0,27		
omítka vnitřní	4	0,01	25	0,400	0,03		

NÁZEV SKLADBY:		S1 - podlaha - pasy					
vrstva	č.	d [m]	μ [-]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ΣR [m ² K/W]	U [W/m ² K]
roznášecí vrstva	1	0,07	30	1,500	0,05	5,05	0,20
izolace	2	0,2	50	0,040	5,00		

NÁZEV SKLADBY:		S2 - podlaha - pasy					
vrstva	č.	d [m]	μ [-]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ΣR [m ² K/W]	U [W/m ² K]
roznášecí vrstva	1	0,07	30	1,500	0,05	5,05	0,20
izolace	2	0,2	50	0,040	5,00		

NÁZEV SKLADBY:		S3 - podlaha - deska					
vrstva	č.	d [m]	μ [-]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ΣR [m ² K/W]	U [W/m ² K]
roznášecí vrstva	1	0,07	30	1,500	0,05	5,05	0,20
základová deska	3	0,3	30	1,500	0,20		
šterk z PS	4	0,48	1	0,100	4,80		

Tabulka 3.1 – Návrh skladeb variant 1 až 3

NÁVRH SKLADEB

Aby byly dodrženy stejné podmínky pro všechny varianty 1,2 a 3, jsou plošné skladyby – stěna, podlaha – navrženy se stejným součinitelem tepelné vodivosti λ .

S0 – skladba stěny, která je použita ve všech variantách

- S1 – skladba podlahy pro variantu 1A a 1B
- S2 – skladba podlahy pro variantu 2
- S3 – skladba podlahy pro variantu 3A

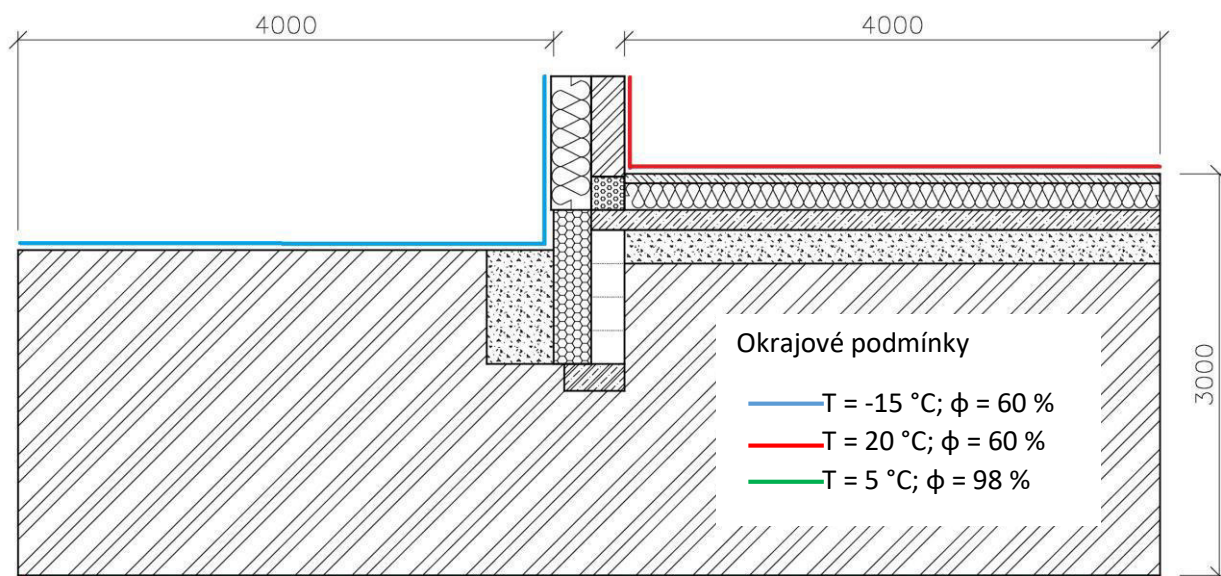
POZNÁMKA: Varianty 3B a 3C jsou modelovány jen pro srovnání s variantou 3A.

3.3 Okrajové podmínky

Okrajové podmínky jsou rozděleny do dvou základních skupin modelů, obecně pro výpočet **povrchové teploty** (průběh izoterm a vlhkosti) a pro výpočet **tepelných propustností** základem. [8]

3.3.1 Model pro výpočet povrchové teploty

V modelu pro výpočet povrchové teploty je vytvořeno prostředí s okrajovými podmínkami, které by se měly blížit reálné situaci. Rozměry modelu jsou vyznačeny v obrázku 3.4. Modrá hranice značí okrajovou podmínku exteriéru, červená čára interiéru a zelená čára značí teplotu v zemině v hloubce 3m pod úrovní podlahy. Ostatní okrajové podmínky jsou adiabatické.

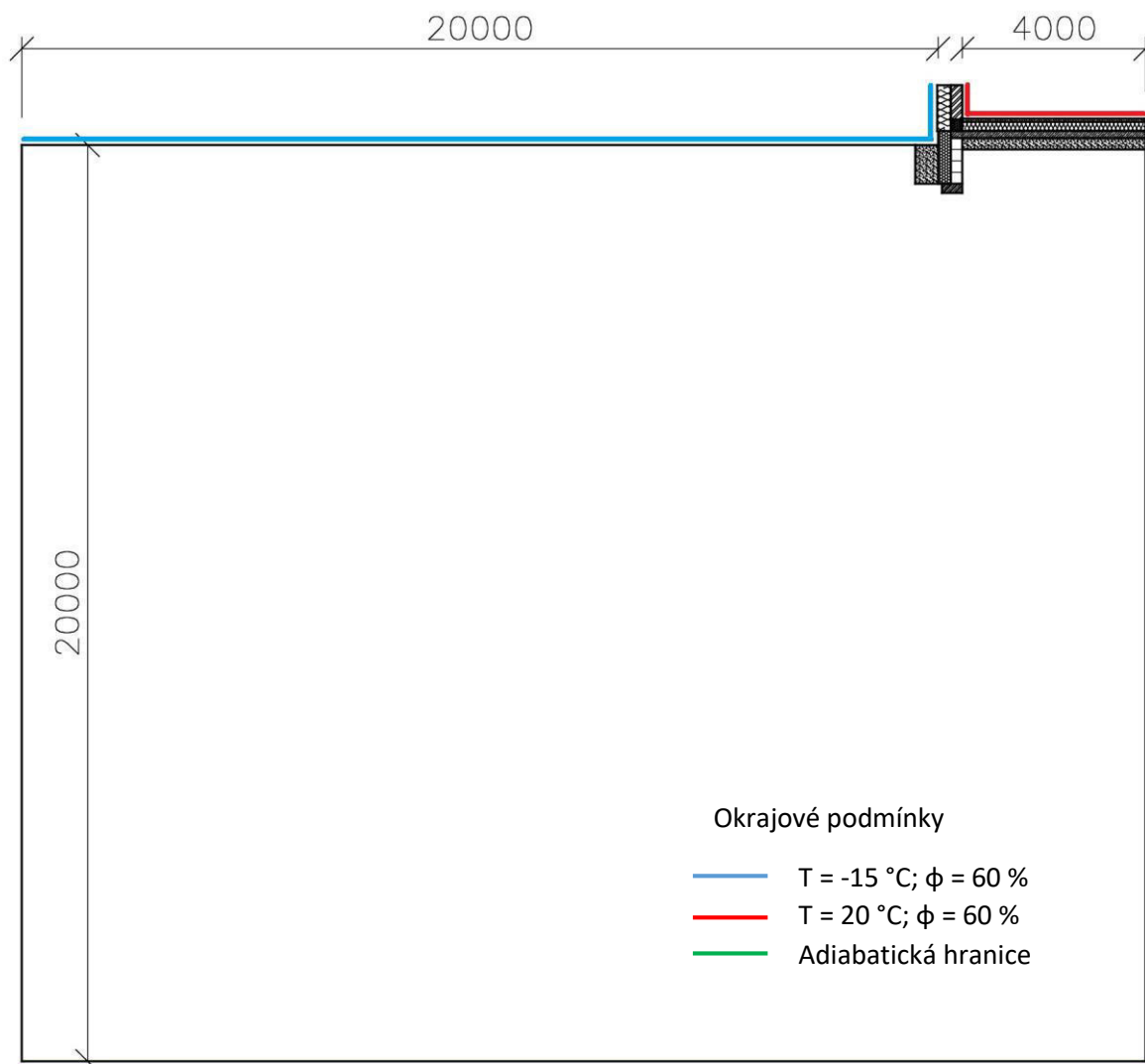


3.4 – Schéma prostředí pro výpočet povrchové teploty

Model je detailnější včetně **plastové zakládací lišty** zateplení a **omítek**.

3.3.2 Model pro výpočet tepelné propustnosti L

Při výpočtu tepelné propustnosti nejsou v modelu zohledněny teploty podloží a spodní hranice je, stejně jako ostatní neoznačené hranice, adiabatická. Rozměry modelu jsou znatelně větší, než jsou u modelu výše, aby nedošlo ke zkreslení výsledků při deformaci teplotního pole. Schéma modelu je vidět na obrázku 3.5.



3.5 – Schéma prostředí pro výpočet tepelné propustnosti

3.4 Vytvoření modelu

Modely základových konstrukcí byly vytvořeny v programu Area 2014 EDU [7]. Program provádí výpočet za ustáleného stavu – v celém modelu je neměnný průběh teplot a ustálený je také celkový tepelný tok.

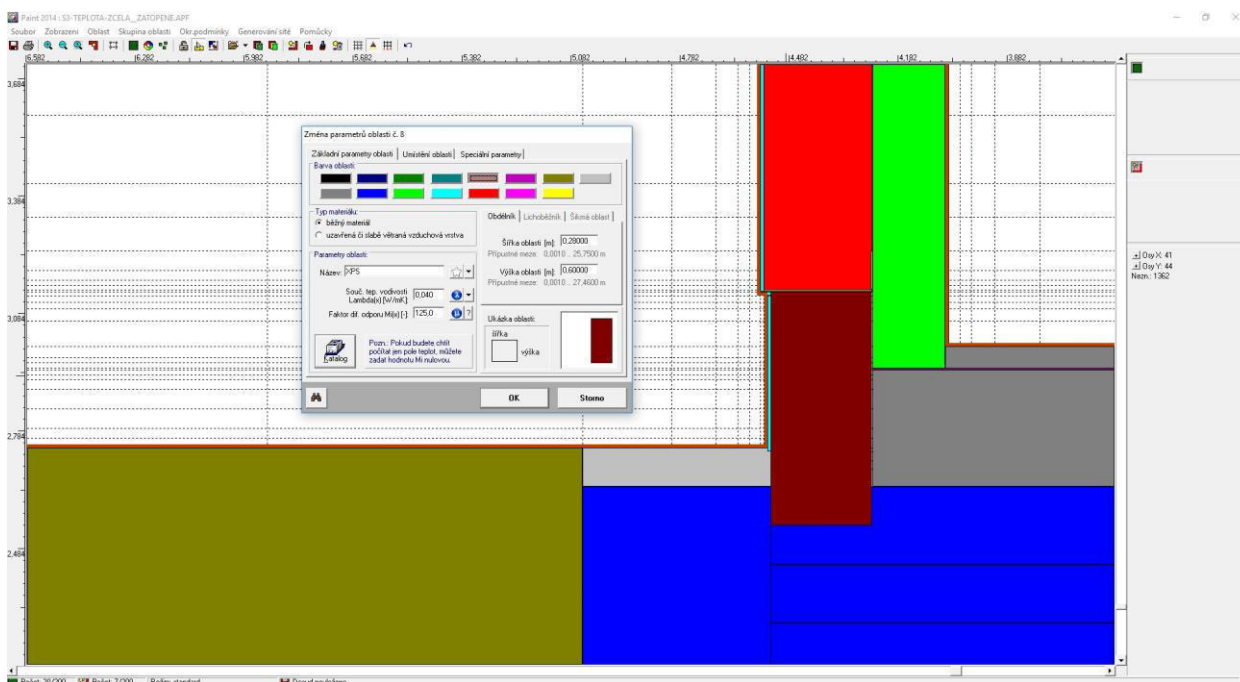
Výstupem může být teplotní pole, jednotlivé izotermy, povrchové teploty, vlhkost a oblast kondenzace v konstrukci.

Vstupními hodnotami modelu byli součinitelé tepelné vodivosti a faktor difuzního odporu jednotlivých materiálů. Tyto vlastnosti byly určeny na základě hodnot uváděných výrobcí, popřípadě na základě zjednodušujících úvah o tepelných mostech atp. V modelech nejsou použity nejlepší ani nejhorší dostupné materiály, ale průměrné hodnoty.

VLASTNOSTI VYBRANÝCH MATERIÁLŮ

MATERIÁL	λ [W/mK]	μ [-]	model
rostlý terén	1,5	17	1, 2, 3
železobeton, beton	1,5	30	1, 2, 3
vápenopískové tvárnice	0,75	15	1, 2, 3
expandovaný polystyren EPS	0,04	40	1, 2, 3
extrudovaný polystyren XPS	0,04	125	1, 2, 3
štěrk	0,65	15	1, 2, 3
pórobeton	0,14	25	1A, 2
pásek z pěnového skla	0,05	75000	1B
Štěrk z PS- obsyp	0,12	15	2, 3
Štěrk z PS- podsyp	0,1	15	3
Štěrk z PS- mokrý	0,15	15	3B, 3C
Štěrk z PS – plně nasycený vodou	0,35	-	3B, 3C

Tabulka 3.2 – Vlastnosti vybraných materiálů a seznam modelů, pro které byly použity.



3.6 – Grafické prostředí programu Area 2014 EDU.

3.5 Vyhodnocení modelů

V této části jsou vypsány výsledky jednotlivých modelů. Jejich srovnání je součástí kapitoly 3.6

● 3.5.1 1) Pasy – obsyp štěrkem

Schéma řešení je vidět na obrázku 3.1 na straně 38.

3.5.1.1 1a) Zakládací zdivo z pórobetonu

TEPELNÁ PROPUSTNOST „L“

$$Q_{1A} = 21,74 \text{ W/m při rozdílů teplot } 35^\circ\text{C}$$

$$L_{1A} = \underline{0,621} \text{ W/mK}$$

POVRCHOVÁ TEPLOTA

$$f_{Rsi} = 0,94$$

$$T_{1A, \min} = \underline{17,91} \text{ }^\circ\text{C}$$

3.5.1.2 1b) Zakládací zdivo z pěnového skla

TEPELNÁ PROPUSTNOST „L“

$$Q_{1B} = 21,87 \text{ W/m při rozdílů teplot } 35^\circ\text{C}$$

$$L_{1B} = \underline{0,625} \text{ W/mK}$$

POVRCHOVÁ TEPLOTA

$$f_{Rsi} = 0,932$$

$$T_{1B, \min} = \underline{17,61} \text{ }^\circ\text{C}$$

● 3.5.2 2) Pasy – obsyp z pěnového skla

Schéma řešení je vidět na obrázku 3.2 na straně 39.

TEPELNÁ PROPUSTNOST „L“

$$Q_2 = 21,58 \text{ W/m při rozdílů teplot } 35^\circ\text{C}$$

$$L_2 = \underline{0,616} \text{ W/mK}$$

POVRCHOVÁ TEPLOTA

$$f_{Rsi} = 0,94$$

$$T_{2, \min} = \underline{17,92} \text{ }^\circ\text{C}$$

● 3.5.3 3) Desky

Schéma řešení je vidět na obrázku 3.2 na straně 39.

3.5.3.1 3a) Bez přítomnosti vody

TEPELNÁ PROPUSTNOST „L“

$$Q_{3A} = 24,06 \text{ W/m při rozdílu teplot } 35^\circ\text{C}$$

$$L_{3A} = 0,687 \text{ W/mK}$$

POVRCHOVÁ TEPLOTA

$$f_{R_{Si}} = 0,943$$

$$T_{3A, \min} = 17,99 \text{ }^\circ\text{C}$$

3.5.3.2 3b) Částečně zaplavené kamenivo

TEPELNÁ PROPUSTNOST „L“

$$Q_{3B} = 28,62 \text{ W/m při rozdílu teplot } 35^\circ\text{C}$$

$$L_{3B} = 0,818 \text{ W/mK}$$

POVRCHOVÁ TEPLOTA

$$f_{R_{Si}} = 0,938$$

$$T_{3B, \min} = 17,81 \text{ }^\circ\text{C}$$

3.5.3.3 3c) Zcela zaplavené kamenivo

TEPELNÁ PROPUSTNOST „L“

$$Q_{3C} = 38,65 \text{ W/m při rozdílu teplot } 35^\circ\text{C}$$

$$L_{3C} = 0,937 \text{ W/mK}$$

POVRCHOVÁ TEPLOTA

$$f_{R_{Si}} = 0,912$$

$$T_{3C, \min} = 16,92 \text{ }^\circ\text{C}$$

3.6 Srovnání variant

Varianty jsou srovnávány ve třech skupinách. První skupina (Pasy) je srovnání varianty **1A a 1B – kapitola 3.6.1**, druhá skupina (Pasy a deska) je srovnáním způsobů založení **1A, 2 a 3A – kapitola 3.6.2** a třetí skupinou (Deska – extrémy) jsou varianty **3A, 3B a 3C. – kapitola 3.6.3**.

Pasy – porovnání efektivity přerušení tepelného mostu mezi základovým pasem a stěnou pomocí pórobetonové tvárnice a pásku z pěnového skla

Pasy a deska – porovnání způsobu založení pas X deska

Deska – porovnání funkčního řešení (3A) s nefunkčním odvodněním (3B) a extrémním případem plného zaplnění podzákladí vodou (3C)

Ve variantách se porovnávají **povrchové teploty, tepelná propustnost, průběh izoterm** (nebezpečí podmrzáni) a **vlhkost v konstrukci**.

● 3.6.1 Pasy

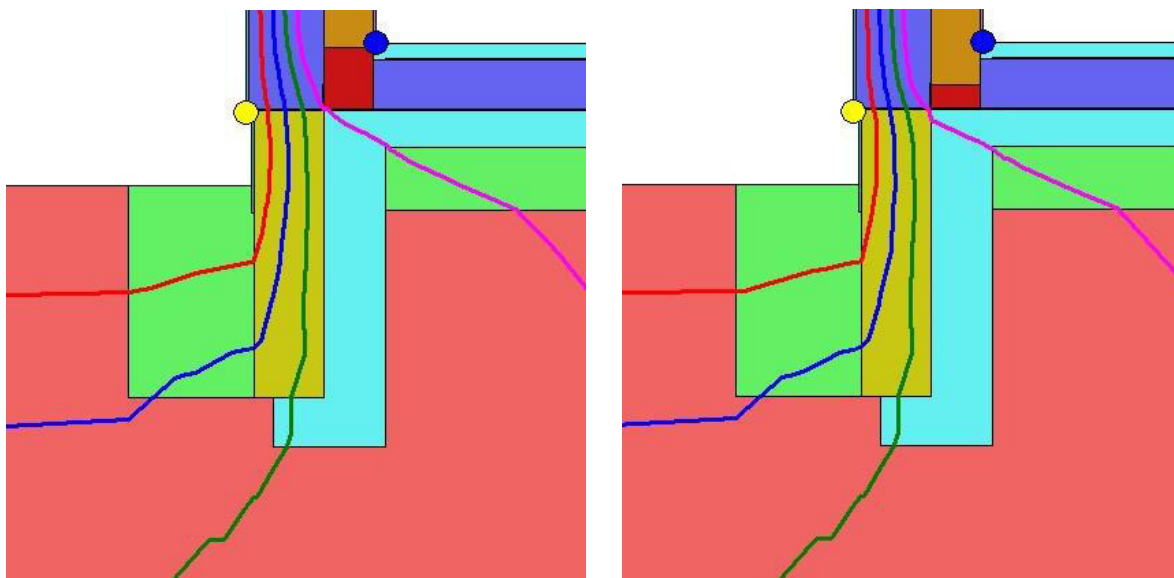
V praxi jsou řešena přerušení tepelných mostů mezi základovým pasem a stěnou různými materiály, například pásky z pěnového skla, pórobetonem nebo speciálními tvárniciemi.

Povrchová teplota a tepelná propustnost



Graf 3.1 – Graf porovnání povrchové teploty a tepelné propustnosti pórobetonu a pěnového

Průběh izoterm



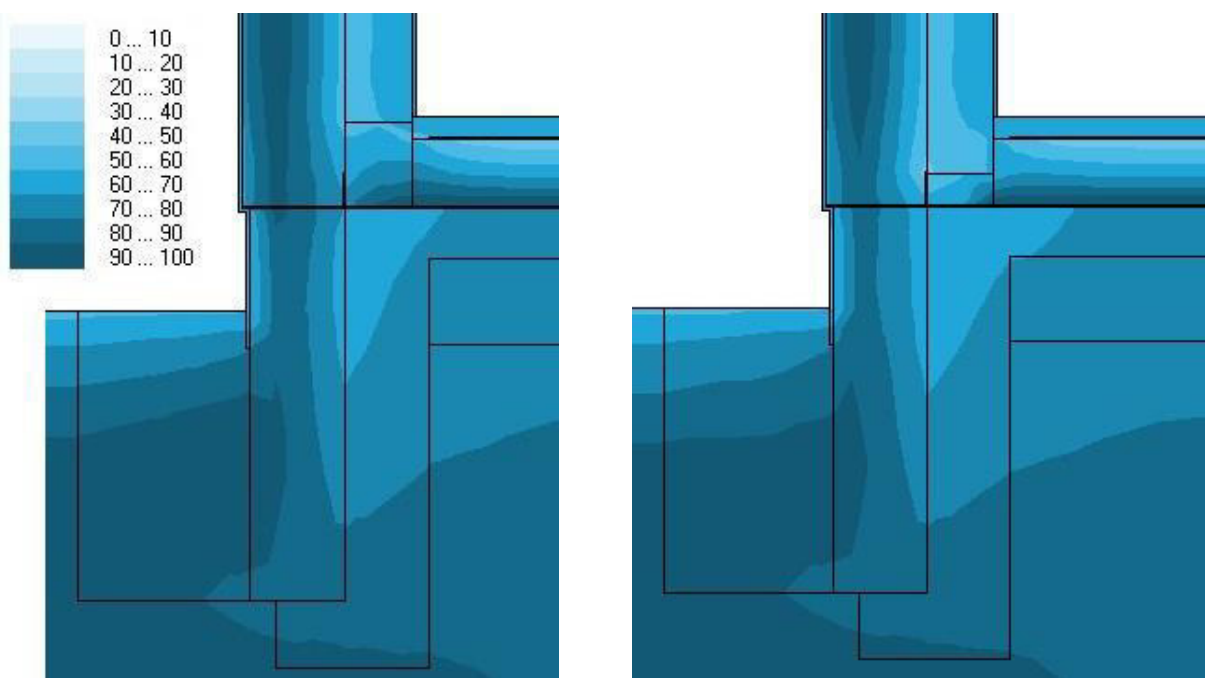
3.7 – Porovnání průběhu izoterm varianty pórobeton (vlevo) a pěnové sklo (vpravo).

--- -10°C --- -5°C --- 0°C --- +5°C

Rozdíl v průběhu izoterm je zanedbatelný. Úroveň nulové teploty (zelená) zasahuje částečně do roznášecí vrstvy základu. Vzhledem k tomu, že model je za ustáleného stavu, dá se předpokládat, že návrh je z hlediska podmrzáni bezpečný.

Průběh vlhkosti

Rozdíl vlhkostí je minimální, ztelnější změna je v místě přerušeni tepelného mostu, pravděpodobně vlivem schopnosti PS nepropouštět vodní páru.



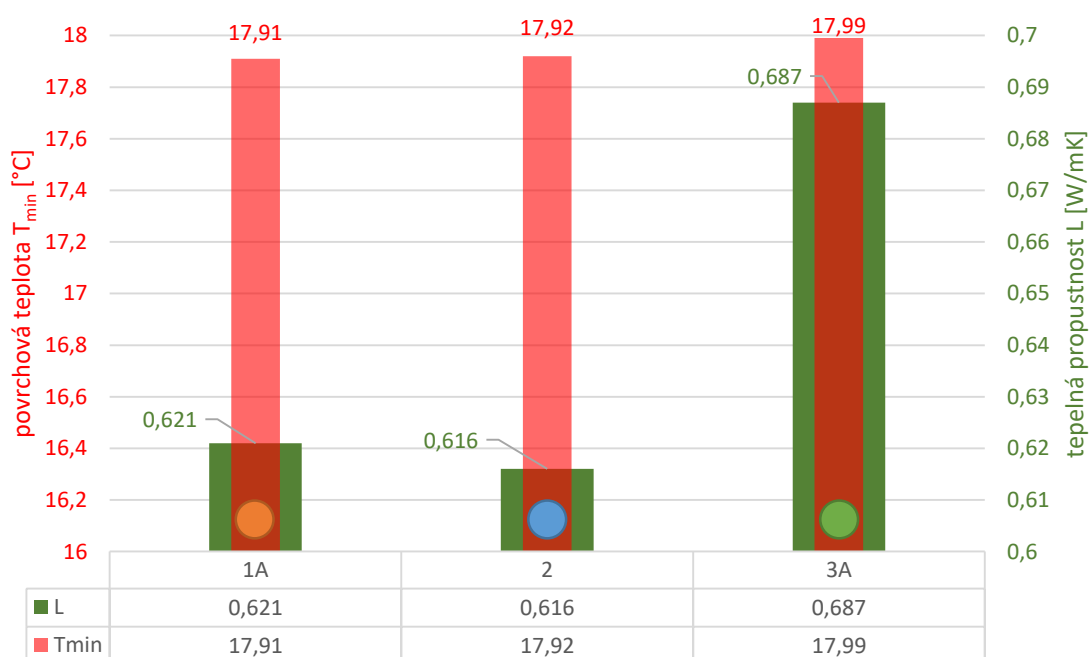
3.8 – Porovnání množství vlhkosti v konstrukci – pórobeton (vlevo) a pěnové sklo (vpravo), čím je barva tmavší, tím je vyšší vlhkost (bílá 0% až tmavě modrá 100%)

3.6.2 Pasy a deska

Nejdůležitějším srovnáním, které pak pokračuje v kapitole 4 finanční rozvahou, je srovnání jednotlivých způsobů zakládání.

- 1A – základové pasy (pórobeton)
- 2 – základové pasy (pórobeton + obsyp z pěnového skla)
- 3A – základová deska

Povrchová teplota a tepelná propustnost



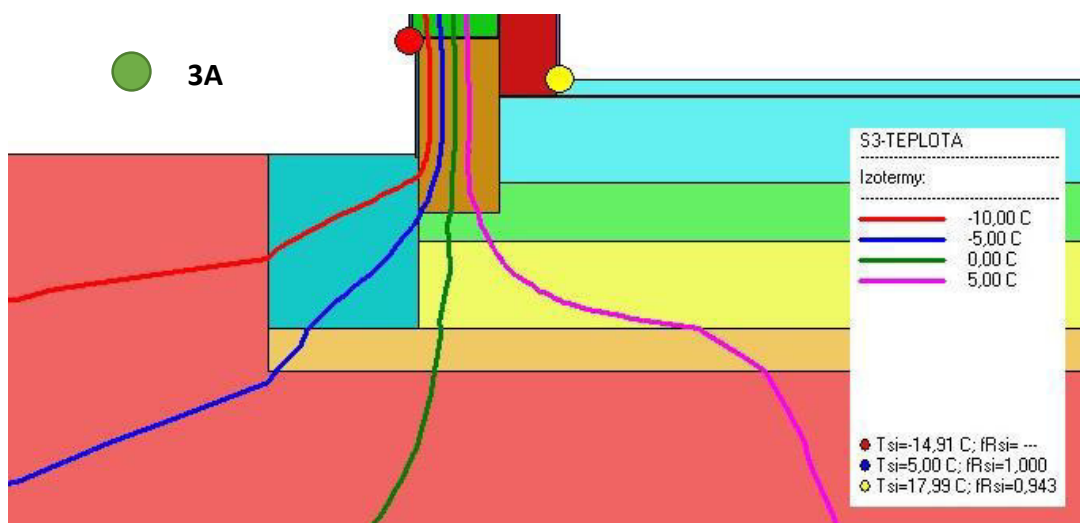
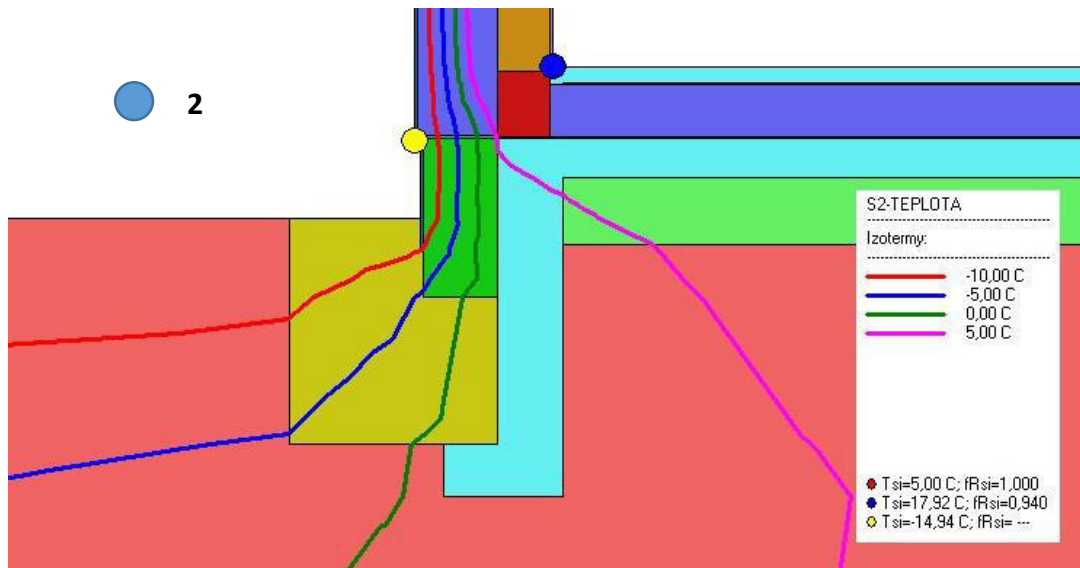
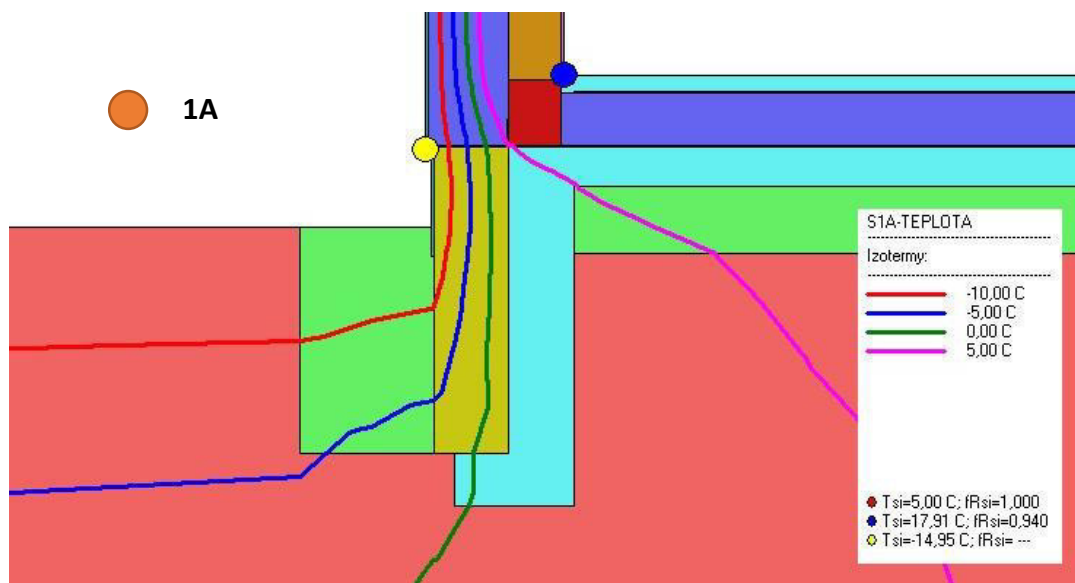
Graf 3.2 – Graf porovnání povrchové teploty a tepelné propustnosti základových pasů a základové desky

Povrchové teploty všech variant jsou velice podobné. Nejvyšší povrchovou teplotu má základová deska (3A), ale zároveň má nejvyšší tepelnou propustnost, která je přibližně o 10% vyšší než u základových pasů.

Průběh izoterm

Ve všech případech je hranice nulové teploty za ustáleného stavu mimo průmět nosné konstrukce. Nejpriznivější je varianta 2, kde je, díky obsypu z pěnového skla, úroveň nulové teploty nejdál od konstrukce.

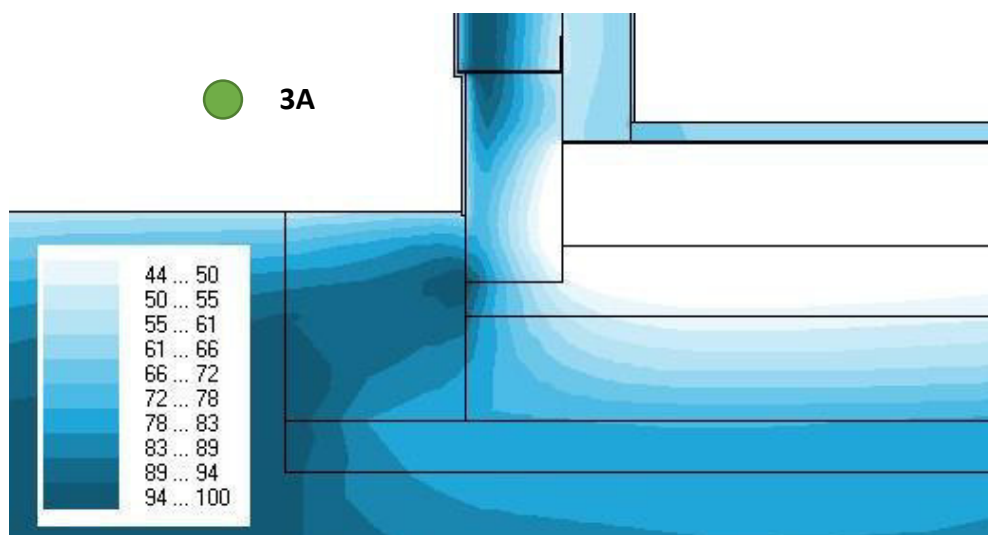
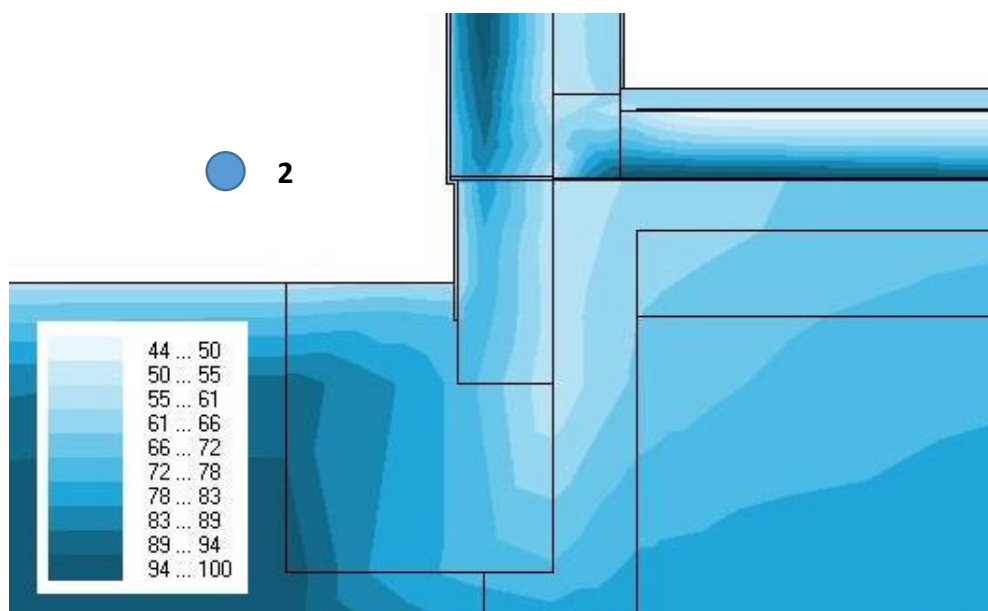
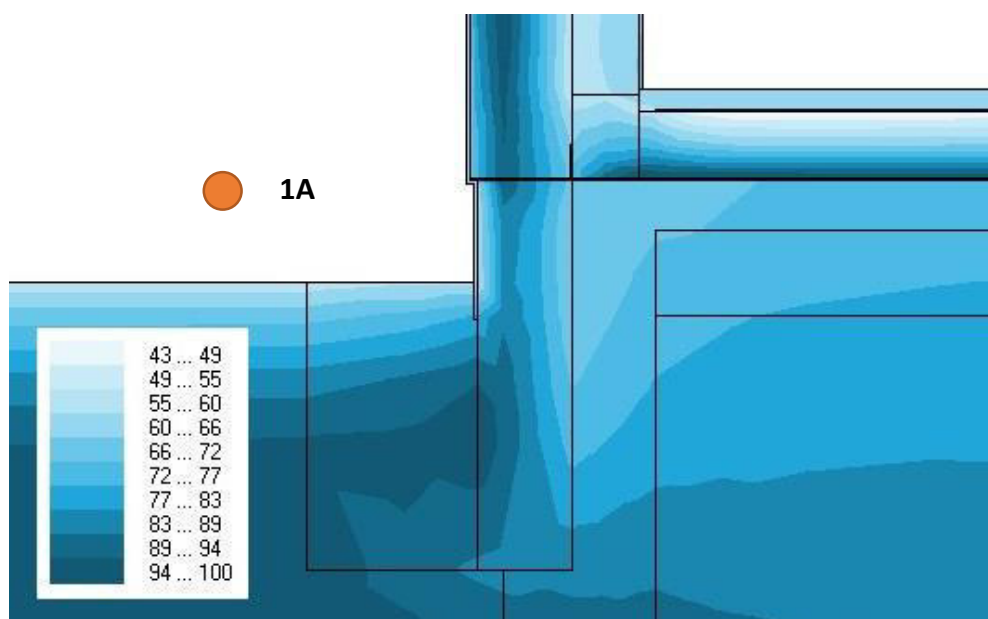
Průběh izoterm



3.9 – Porovnání průběhu izoterm varianty 1A (nahore), 2 (uprostřed) a 3A (dole).

--- -10°C --- -5°C --- 0°C --- +5°C

Průběh vlhkosti



3.10 – Porovnání množství vlhkosti v konstrukci – varianta 1A (nahore), 2 (uprostřed) a 3A (dole).

Nejpříznivější, z pohledu obsahu vlhkosti, je založení na pěnovém skle. Díky tomu, že izolace (šterk z pěnového skla) je vně konstrukce, je teplotní spád posunutý mimo konstrukci. To má za následek zvýšení teploty konstrukce základové desky a díky tomu snížení vlhkosti.

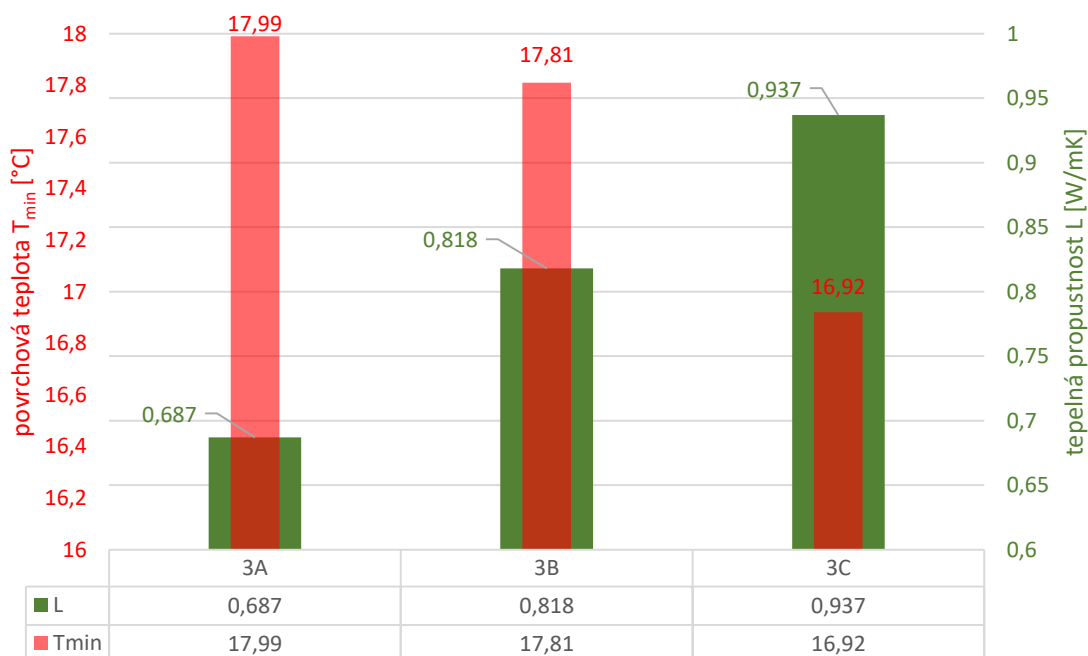
3.6.3 Deska – extrém

Tato část se věnuje srovnání případu fungující konstrukce základové desky (3A), kde drenážní potrubí spolehlivě odvádí vodu a šterk z pěnového skla se dostává do přímého kontaktu s vodou jen po obvodu stavby a dále dvou případů, kdy je drenážní potrubí nefunkční.

V případě 3B je šterk zaplaven jen částečně – do výšky 150mm s $\lambda = 0,35 \text{ W/mK}$, dalších 150 mm s hodnotou $\lambda = 0,15 \text{ W/mK}$ a 180mm s hodnotou $\lambda = 0,1 \text{ W/mK}$.

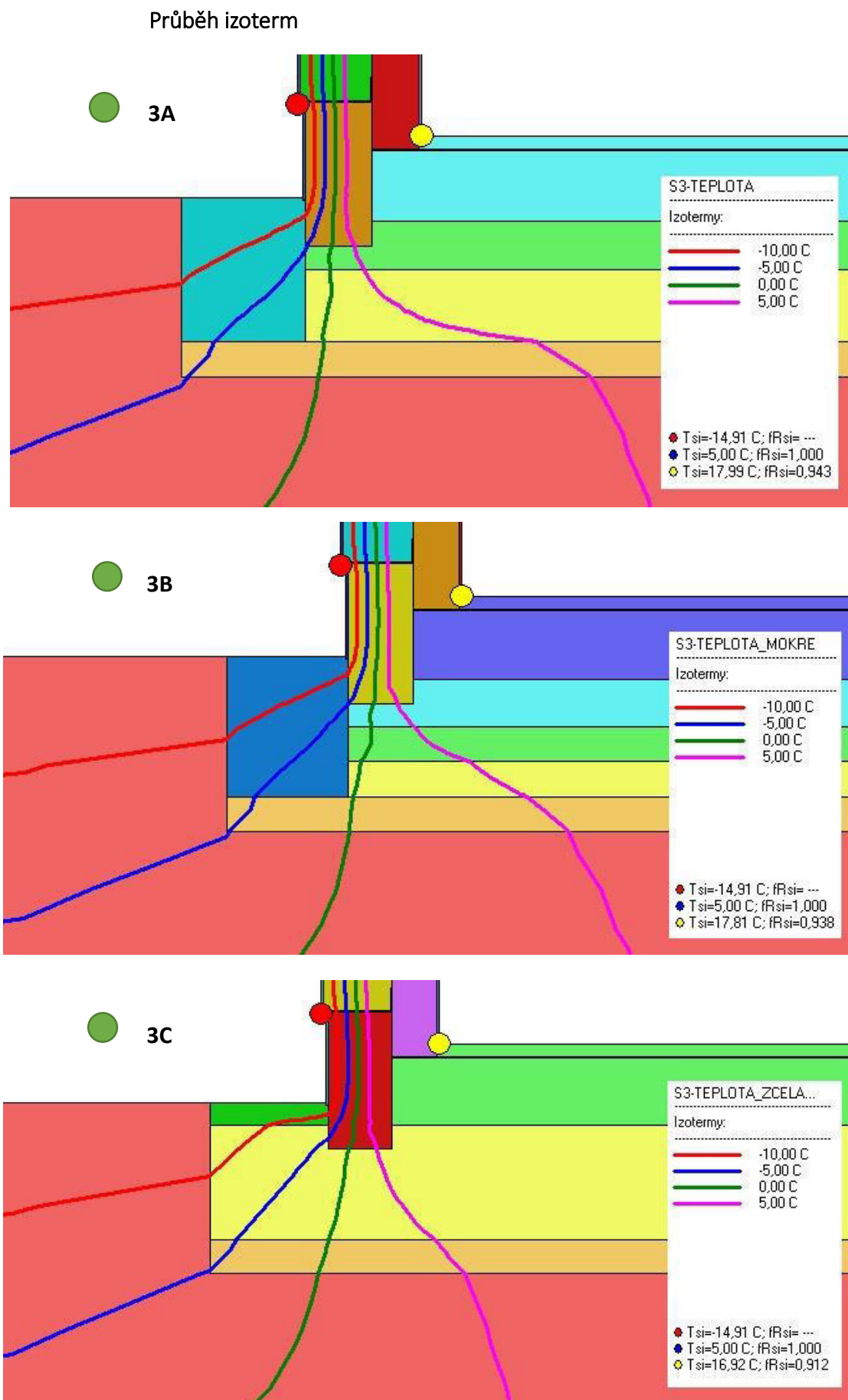
Pro případ 3C je uvažováno se zcela zatopeným kamenivem PS do úrovně základové desky, kdy je hodnota $\lambda = 0,35 \text{ W/mK}$.

Povrchová teplota a tepelná propustnost



Graf 3.3 – Graf porovnání povrchové teploty a tepelné propustnosti různých stavů nasycení vodou

Tepelná propustnost se zvyšuje konstantně s celkovým zhoršením součinitele prostupu tepla. Naopak povrchová teplota se kriticky sníží v okamžiku, kdy se hladina vody dostane k základové desce a pěnové sklo přestává izolovat.



3.11 – Porovnání průběhu izoterm varianty 3A (nahore), 3B (uprostřed) a 3C (dole).

--- -10°C
 --- -5°C
 --- 0°C
 --- +5°C

Na obrázku 3.11 je vidět závislost průběhu izoterm na změně vlastností štěrku z pěnového skla vlivem vody. Díky vodě se zvyšuje teplota podzákladí, včetně obsypu. To má pozitivní vliv z pohledu podmrzáení, ale zvyšuje se únik tepla a snižuje se teplota konstrukce, hlavně pak povrchová teplota na vnitřním líci (na přechodu stěna – podlaha).

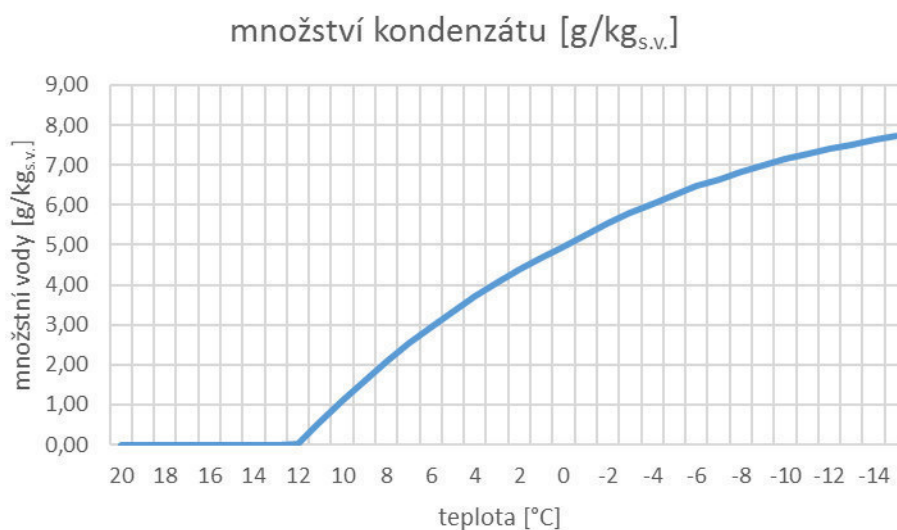
Průběh vlhkosti

Průběh vlhkosti ve skladbě se při změně vlastností pěnového skla příliš neliší (viz strana 55), protože izolační schopnost pěnového skla je stále do jisté míry zachována. Nad úroveň hydroizolace je znatelné mírné zhoršení, ale vlhkost v konstrukci ani teplota povrchu nejsou kritické.

I v extrémním případě je tedy výhodou nízká vlhkost v konstrukcích nad hydroizolací, na rozdíl od zateplení v podlaze.

Kritickou teplotou je podle výpočtů, pro 60% vlhkosti a teplotu 20°C, kritická hodnota pro kondenzaci 12°C (příloha stran 87). Při vlhkosti 80% by pak kondenzace nastala již při 16°C. [9]

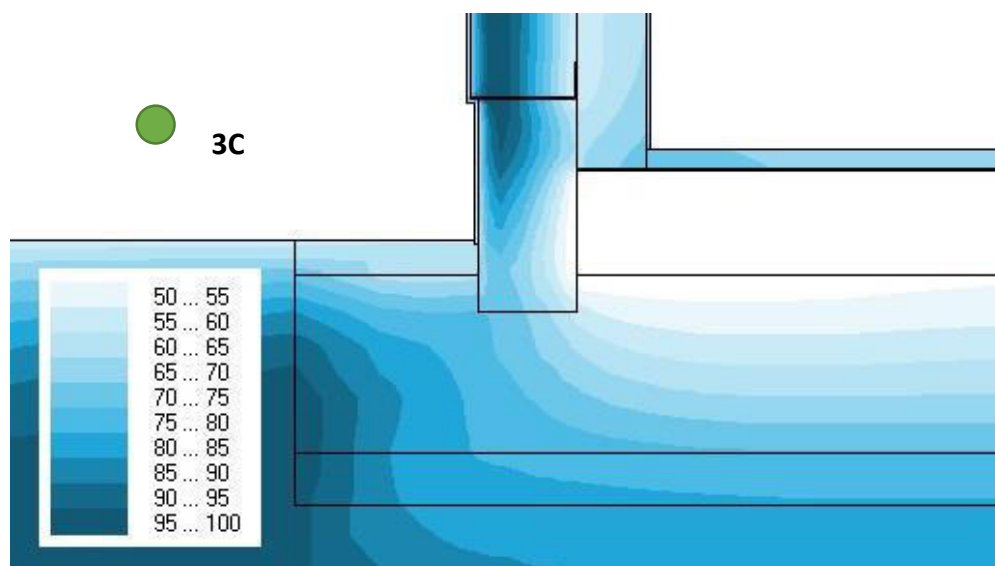
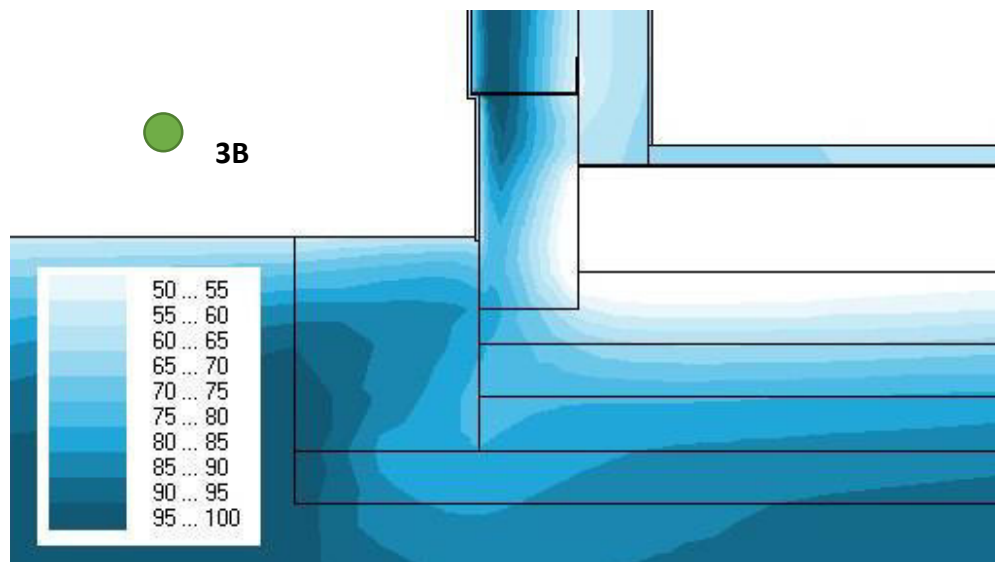
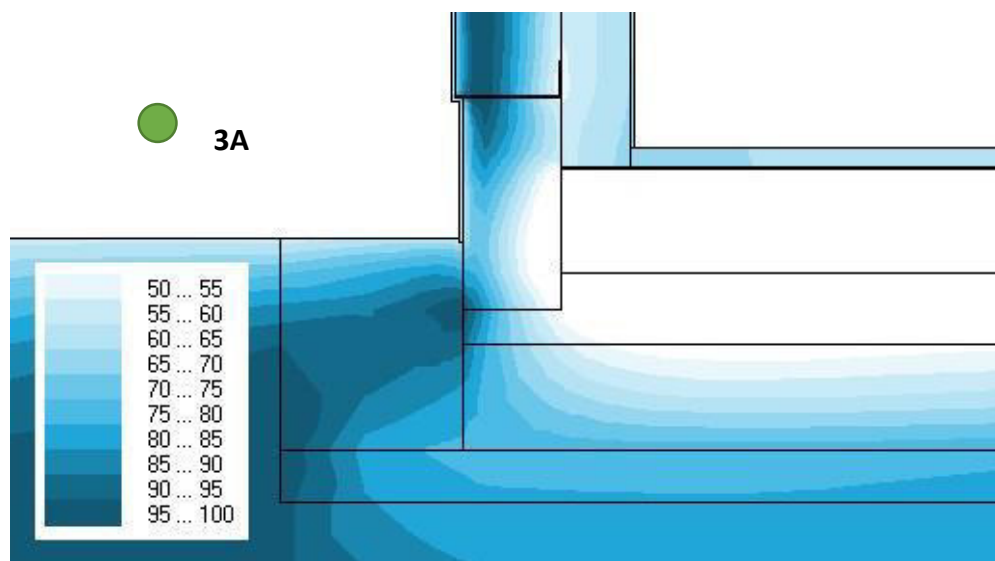
Nárůst zkondenzované vody při snížení teploty je vidět na grafu 3.4. Průběh vlhkosti **pod hydroizolací** neodpovídá realitě, protože štěrk by byl nepřetržitě dotován vlhkostí ze zeminy.



Graf 3.4 – Graf závislosti zkondenzované vody na teplotě při počáteční vlhkosti 60% a teplotě 20°C

(g/kg_{s.v.} – gram vody / kilogram suchého vzduchu)

Průběh vlhkosti



3.12 – Porovnání množství vlhkosti v konstrukci – varianta 3A (nahore), 3B (uprostřed) a 3C (dole).

3.7 Závěr z modelování

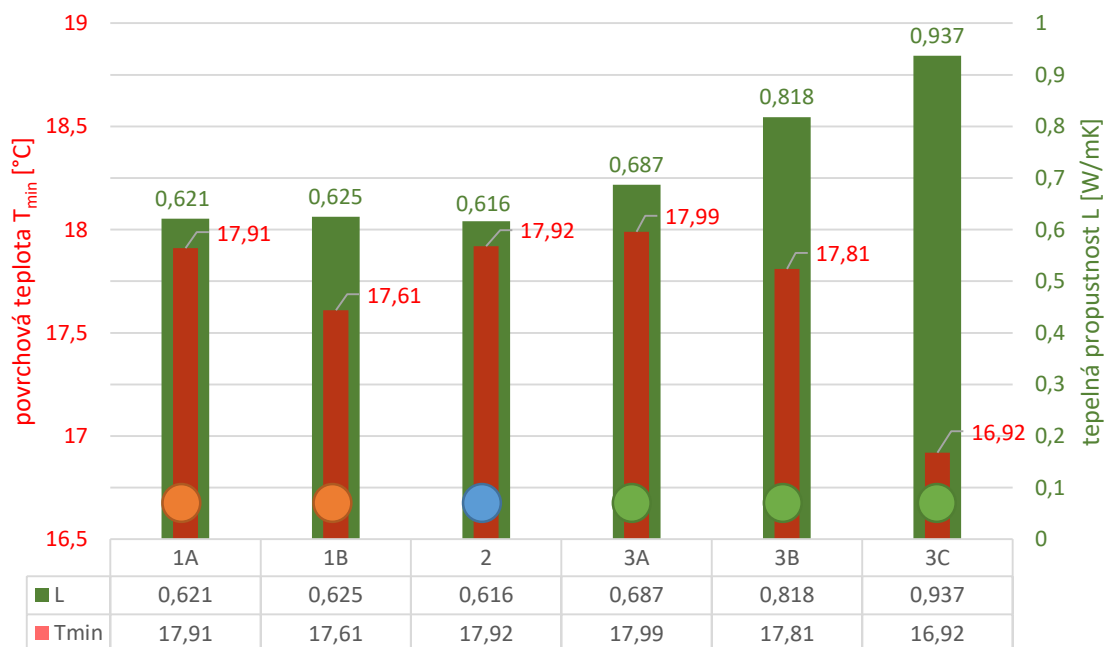
Povrchová teplota

Souhrnná tabulka hodnot povrchových teplot a tepelných propustností ukazuje, že pro daný model s okrajovými podmínkami pro zimní období (viz strana 42) jsou splněny požadované povrchové teploty. To znamená, že teplota na přechodu mezi stěnou a podlahou neklesne pod 12°C, tedy pod teplotu rosného bodu.

Pro stěžejní varianty (1A až 3A) se teploty pohybují v rozmezí půl stupně. Dá se říci, že způsob založení v těchto případech nehraje významnější roli. Nejvyšších povrchových teplot dosahují varianty 1A, 2 a 3A.

Tepelná propustnost

Nejnižší tepelná propustnost vychází v případech založení na základových pasech. Rozdíl mezi tepelnou propustností pasů a deskou je přibližně 10%. Je důležité vzít v úvahu, že pro přerušení tepelného mostu byly použity specifické materiály (pórobeton, pěnové sklo), bez kterých by takových hodnot nebylo dosaženo. Naopak u založení na základovou desku je možné použít zdivo bez omezení, protože šterk z PS tvoří tepelnou ochranu vně konstrukce.



Graf 3.5 – Graf porovnání povrchové teploty a tepelné propustnosti všech variant

Vlhkost

Citlivým místem konstrukce je skladba nad úrovní hydroizolace. Z pohledu zvýšené vlhkosti v konstrukci má rozhodující výhodu zateplení štěrkem z PS. Zateplení v podlaže posouvá teplotní spád do podlahy, to značně snižuje teplotu těsně nad hydroizolací a tím zvyšuje vlhkost. Vzhledem k tomu, že se jedná o ustálený stav za extrémních podmínek, je nepravděpodobné, že by došlo k větší kondenzaci v konstrukci základových pasů.

-

Celkově se z variant nejlépe prosadila varianta (2) založení na základových pasech s obsypem z pěnového skla. Při přísnějších požadavcích na vlhkost v konstrukci je doporučeno využít založení na základové desce s podsypem z PS pro dřevostavby, kde je potřeba udržet konstrukci co nejsušší.

4. Finanční rozvaha

Pravděpodobně nejdůležitějším ukazatelem při výběru způsobu zakládání (a nejen zakládání) pro stavebníka jsou peníze. Kapitola **Finanční rozvaha** se zabývá ekonomickým porovnáním dvou základních způsobů zakládání – zakládání na základových pasech a na základové desce. Pro efektivní výpočet byly vytvořeny zjednodušené modely, pomocí kterých je možné provádět výpočet opakovaně v tabulkovém procesoru a vyhodnotit cenu založení pro různé plochy a tvary.

4.1 Cíle finanční rozvahy

Cílem je srovnat varianty z předchozí kapitoly 4 z pohledu finanční náročnosti. Zároveň je cílem definovat faktory, které ovlivňují výslednou cenu. Toto srovnání je jednou z hlavních součástí závěru z této práce.

SCHÉMA PRO VÝPOČET KUBATUR A VÝPIS MATERIÁLU A PRACÍ

Jsou přesně definovány geometrické vlastnosti modelu včetně materiálového řešení. Pro každý materiál je stanovena cena za m^3 (m^2), pracnost provedení a z ní vycházející cena za práci.

VYTVOŘENÍ MODELU

Model je vytvořen v tabulkovém procesoru tak, aby proměnnou vstupní hodnotou byly rozměry (A a B), popřípadě další podrobnosti – vstupní hodnoty viz příloha.

VLIV OBVODU KU ZASTAVĚNÉ PLOŠE (O/S)

Cílem je vyjádřit závislost změny O/S na cenu založení a porovnat jí v jednotlivých variantách.

ZMĚNA VELIKOSTI ZASTAVĚNÉ PLOCHY

Společně se zastavěnou plochou se mění poměr O/S. Cílem je tedy, podobně jako výše, vyjádřit závislost velikosti zastavěné plochy na cenu založení a porovnat jednotlivé varianty.

ZMĚNA SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA

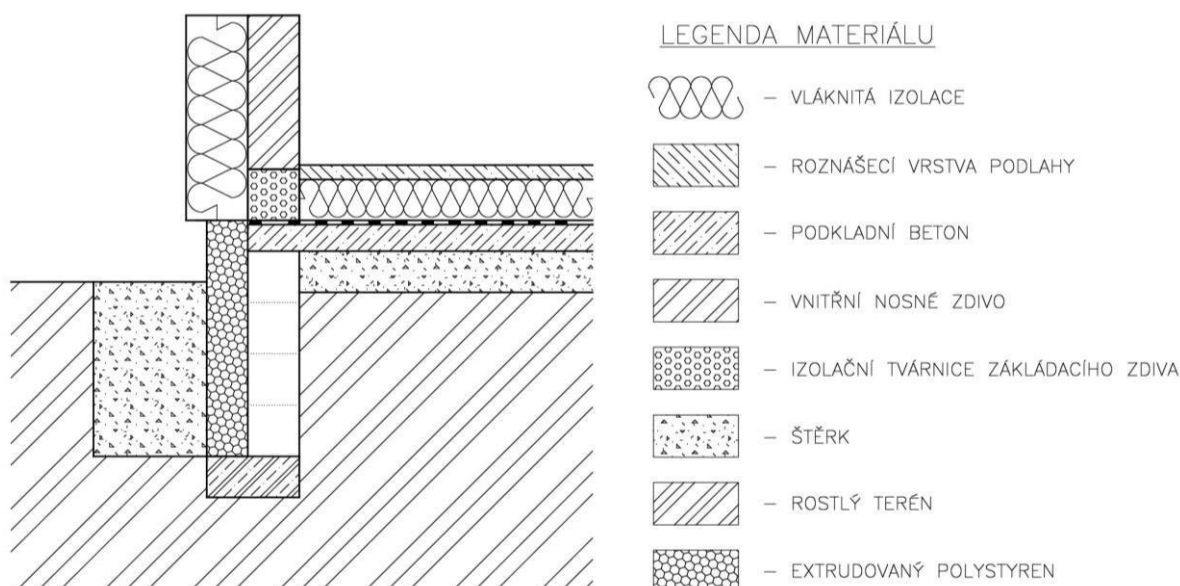
Cílem je ukázat vliv změny součinitele prostupu tepla na cenu založení.

4.2 Schémata pro výpočet kubatur

Aby byly zajištěny podobné podmínky pro obě varianty, model končí vyzděním obvodového zdiva do výšky 1 metru a vybetonováním roznášecí vrstvy podlahy. Předpokládá se rovinný terén po skrývce ornice. Zemina se uvažuje dostatečně soudržná, aby nebylo nutné provádět svahování. Zároveň hloubka základové konstrukce není ani v jednom z případů hluboká tak, aby bylo nutné provádět výztuhy a vzpěry.

4.2.1 Základové pasy (varianta 1 a 2)

Základový pas je řešen tak, že se dno základové rýhy vybetonuje (roznášecí vrstva základu), vyzdí se stěna z betonových tvarovek, které poslouží jako bednění pro betonovou zálivku. Provede se štěrkový podsyp s vloženým potrubím pro odvod radonu a na štěrk se položí separační vrstva proti zatékání betonové směsi do štěrku. Z vnější strany stěny se provede izolace z extrudovaného



4.1 – Detail základového pasu, podle kterého byl proveden výpočet objemů a obsahů

polystyrenu v předepsané tloušťce. Tepelná izolace tvoří bednění a rovinu pro podkladní beton vyztužený kari sítí. Vybetonování tvarovek a podkladního betonu proběhne zároveň. Na podkladní beton se provede souvrství hydroizolace. Cena hydroizolace je orientační, protože pro všechny varianty je její plocha stejná. Po vyzdění obvodového zdiva je položena tepelná izolace, na kterou je opět položena separační vrstva a provedena roznášecí betonová vrstva s vloženou kari sítí. Zbytek základové rýhy je vysypán štěrkem.

Model je zjednodušený, a proto byly vynechány položky, které jsou pro všechny varianty stejné nebo podobné. Neuvažuje se s drenážním potrubím, prostupy základem, omítkami, nášlapnou vrstvou podlahy a tepelnou izolací obvodových stěn.

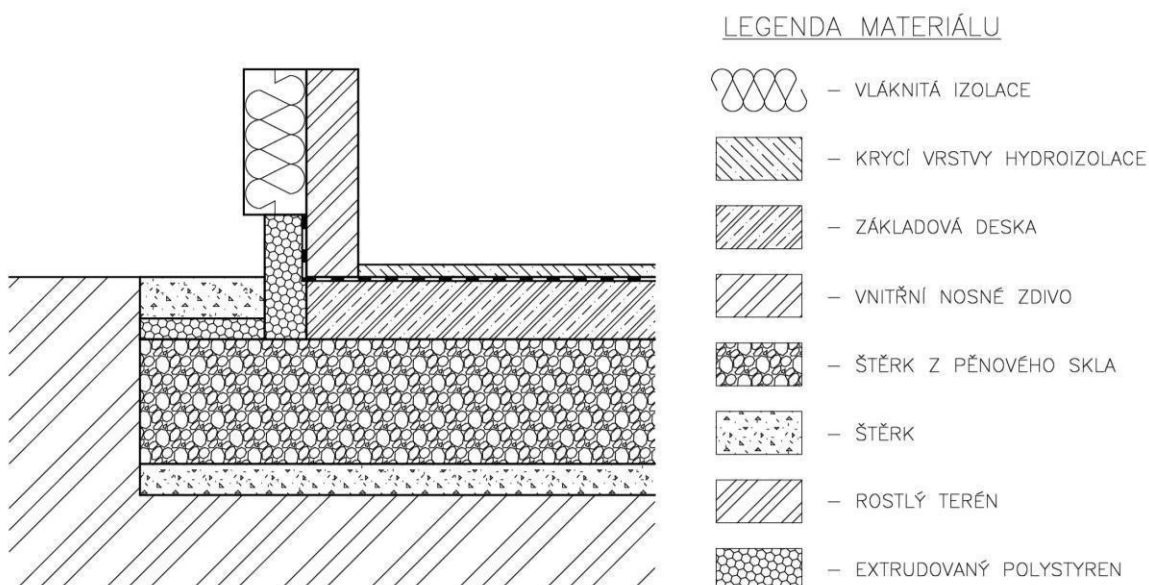
V modelu je, pro porovnání, uvažováno s dvěma variantami založení zdiva. První varianta uvažuje se zakládací vrstvou z tvárnic z pórobetonu (levnější varianta). V druhé variantě jsou použity pásy z pěnového skla. Varianta s pěnovým sklem bude dražší variantou z těchto dvou, vzhledem k vysoké ceně kolem 40 000 Kč/m³ (až 66 000 Kč/m³ pro nižší pásy).

Varianta 1 – základový pas + pórobeton

Varianta 2 – Základový pas + pěnové sklo

4.2.2 Základová deska (varianta 3)

Podmínky pro základovou desku jsou stejné jako pro základové pasy. Dno stavební jámy je vyspádováno směrem k drenáži. Dále je vysypáno štěrkovou



4.2 – Detail základové desky, podle kterého byl proveden výpočet objemů a obsahů

drenážní vrstvou. Na štěrk je uložena geotextilie s přesahem na stěny výkopu. Na geotextilii je nasypán štěrk z pěnového skla (dále jen PS), který je v několika vrstvách hutněn. Přesahy jsou ve dvojnásobné šířce okapního chodníčku přehnuty přes štěrk z PS. Přes PS se položí separační PE fólie. Provede se obednění budoucí základové desky a pokládka výztuže z kari sítí. Po betonáži a požadovaném vytvrnutí betonu se položí souvrství hydroizolace s přesahem, který bude nalepen na obvodové zdivo. Vyzdí se obvodové zdivo, na které se provede hydroizolace. Sokl se zateplí extrudovaným polystyrenem. Zbytek výkopu se po obvodu dosype štěrskem z PS a štěrskem. Vrstvy PS a štěrku se proloží izolací (NOP), která bude odvádět dešťovou vodu směrem od domu a od pěnového skla.

Model je zjednodušený, a proto byly vynechány položky, které jsou pro všechny varianty stejné nebo podobné. Neuvažuje se s drenážním potrubím, prostupy základem, omítkami, nášlapnou vrstvou podlahy a tepelnou izolací obvodových stěn.

Varianta 3 – základová deska

4.3 Výpis materiálu

Ceny jednotlivých materiálů byly určovány podle nabídky výrobků různých dodavatelů. Do výpočtu nebyly uvažovány cenové extrémy (nejnižší nebo nejvyšší cena). Kromě štěrku z PS, betonových tvarovek, základacího zdiva a podlahové izolace (u varianty 1 a 2) jsou všechny materiály a prováděcí práce stejné nebo podobné. Dá se tedy předpokládat, že odchylka při určování cen materiálu nebude vysoká a neměla by ovlivnit porovnání způsobů zakládání.

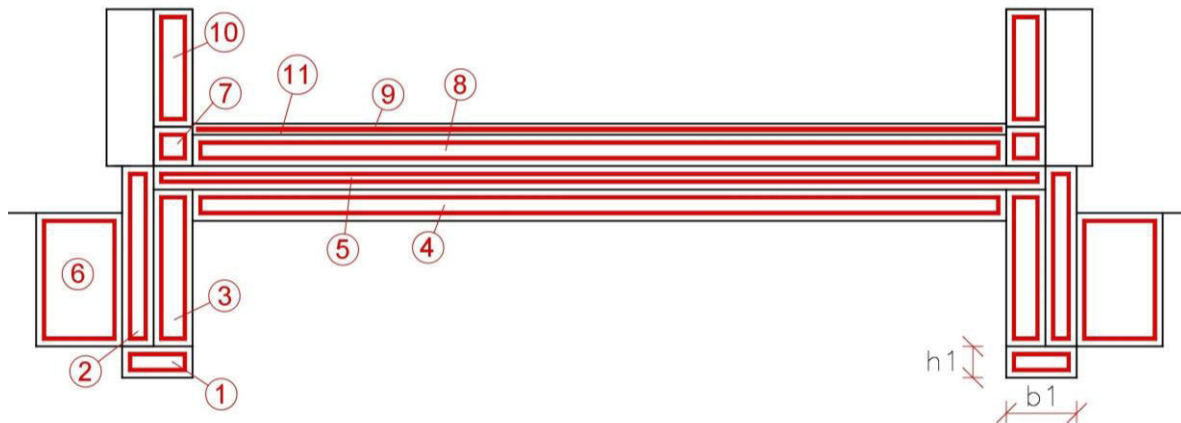
Seznam zdrojů: [10], [16], [17]

Pro přehlednost určení položek v tabulkovém procesoru byla vytvořena schémata s popisem hlavních částí konstrukce.:

PASY – strana 62

DESKA – strana 63

4.3.1 Varianta 1 a 2



4.3 – Schéma řezu základovou konstrukcí s pasy - pro práci s tabulkovým procesorem

Položka:

1 – železobeton => beton (2100 Kč/m³) + ocel 1% vyztuž. (1500 Kč/m³) = 3 600 Kč/m³

2 – XPS soklový => po přepočtu na m³ = 7 000 Kč/m³

3 – základový pas => tvarovky (1450 Kč/m³) + železobeton (1750 Kč/m³) = 3 200 Kč/m³

4, 6 – štěrk => nespecifikovaný = 500 Kč/m³

5 – podkladní beton => železobeton s 1% vyztužení = 3 600 Kč/m³

7 – zakládací zdivo => pěnové sklo (varianta 2) = 38 000 Kč/m³

pórobeton (varianta 1) = 3 800 Kč/m³

8 – podlahová izolace => EPS = 2 500 Kč/m³

9 – roznášecí beton => železobeton s 2% vyztužení = 3 600 Kč/m³

10 – zdivo => vápenopískové tvárnice = 5 000 Kč/m³

11 – hydroizolace => skladba protiradonové izolace = 500 Kč/m³

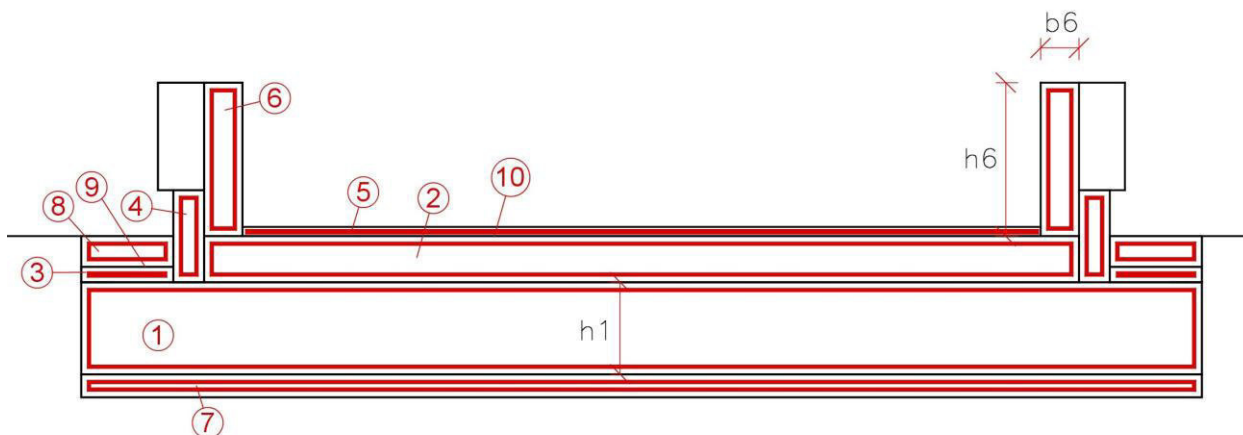
– separační fólie PE => 40 Kč/m²

– základový pas vnitřní => 40 Kč/m²

- b – šířka prvku

- h – výška prvku

4.3.2 Varianta 3



4.4 – Schéma řezu základovou konstrukcí s deskou - pro práci s tabulkovým procesorem

Položka:

- 1 – štěrk z PS => cena zhutněného štěrku = 2000 Kč/m³
- 2 – zákl. deska => beton (2100 Kč/m³) + ocel 1% vyztuž. (1500 Kč/m³) = 3 600 Kč/m³
- 3 – pěnové sklo => cena zhutněného štěrku = 2000 Kč/m³
- 4 – XPS soklový => po přepočtu na m³ = 7 000 Kč/m³
- 5 – krycí cementová mazanina => 3 000 Kč/m³
- 6 – zdivo => vápenopískové tvárnice = 5 000 Kč/m³
- 7 – štěrk => štěrk => nespecifikovaný = 500 Kč/m³
- 8 – štěrk => oblázky = 500 Kč/m³
- 9 – nopová fólie => 50 Kč/m²
- 10 – hydroizolace => skladba protiradonové izolace = 500 Kč/m³
 - separační fólie PE => 40 Kč/m²
 - geotextilie => 50 Kč/m² železobeton s 2% vyztuž. = 3 600 Kč/m³

- b – šířka prvku
- h – výška prvku

4.4 Výpis prací

Rozpočet prací se týká zemních prací po skrývce ornice - pracích při provádění základových konstrukcí. Nejprve je určena pracnost jednotlivých úkonů, jednotková cena práce za hodinu a nakonec podle objemu prací celková cena. Pracnost byla určena podle orientačních časových ukazatelů prací na stránkách www.cvut.cz/fa (celý odkaz je v části zdroje) [10]. Do prací není zahrnuta manipulace materiálem na stavbě a doprava materiálu, uvažují se jen práce spojené přímo s prováděním základových konstrukcí.

Pro stejné nebo podobné práce jsou časové ukazatele stejné. Odchylna při porovnání variant by měla být minimální. Z pohledu celkové ceny navíc představují náklady za práci přibližně 10% celkových nákladů, takže fakt, že pracovní nasazení je zcela individuální záležitostí, příliš neovlivní celkový výsledek.

Cena za práci byla stanovena odhadem v rozmezí 150 až 250 Kč/h podle potřeby odbornosti provádění jednotlivých prací. (Přesnější stanovení ceny by nepřineslo žádné zpřesnění z pohledu ekonomického srovnání.)

4.5 Vytvoření modelu

Veškeré výpočty finanční rozvahy byly provedeny v tabulkovém procesoru. Vstupy i výstupy pro výpočet kubatur, prací a dalších jsou součástí přílohy od strany 81 do strany 86.

4.5.1 Výchozí model

Výchozí tvar základové konstrukce je obdélník o rozměrech $A \times B$. Proměnnou pro výpočet objemů a povrchů jsou jednak půdorysné rozměry A a B a zároveň rozměry b a h jednotlivých materiálů (viz strana 82 až 86). Pro model se základovými pasy je v tabulkovém procesoru možnost zadat počet základových pasů pro vnitřní nosné zdivo, jejich rozměry a směr, ve kterém jsou provedeny (podélný systém A , resp. příčný systém B).

Cena materiálu je pak jednoduše určena součinem objemu materiálu a cenou za m^3 , respektive m^2 , materiálu.

Doba práce je stanovena součinem objemu zpracovaného materiálu a normovou pracností pro danou činnost.

4.5.2 Vliv tvaru základu a zastavěné plochy

Důležitými faktory při porovnání ceny zakládání jednotlivých variant jsou velikost zastavěné plochy a poměr obvodu a zastavěné plochy (O/S). Dáno je to tím, že založení na pasech má jiné charakteristiky než založení na desce.

U **základových pasů** je převládající množství materiálu, díky tomu i práce, soustředěno po obvodu základů. Na druhé straně u **základové desky** je materiál rovnoměrně rozložen v ploše. Jak bude ukázáno níže v části 4.6 *Vyhodnocení*, díky tomu by měla cena pasů stoupat nejen zvětšováním zastavěné plochy, ale hlavně zvětšováním obvodu, který má naopak na cenu desky výrazně menší vliv.

Porovnání změny tvaru a zastavěné plochy je rozděleno do dvou kapitol. Do kapitoly 4.6.1 (strana 67) a kapitoly 4.6.2 (strana 71).

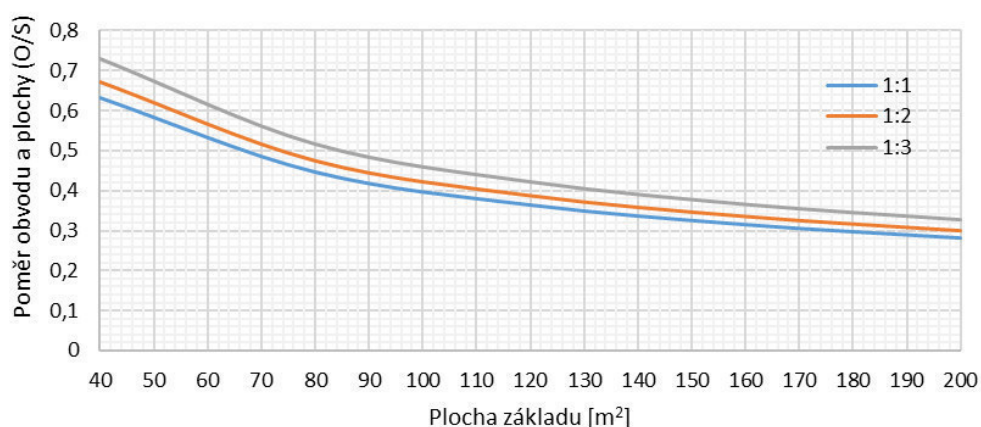
4.5.3 Změna poměru O/S

Vliv poměru O/S (obvod/plocha) je zkoumán na půdorysech o zastavěné ploše 50, 150 a 300 m². Tím se zohledňuje i vliv změny velikosti půdorysu. Změnou zastavěné plochy se zároveň mění i poměr O/S, to je vidět v grafu 4.2 a níže.

Pro jednotlivé zastavěné plochy jsou dány tyto výchozí poměry:

Varianta	Zastavěná plocha	Rozměr A [m]	Rozměr B [m]	O/S
1	50 m ²	10	5	0,60
2	150 m ²	10	15	0,33
3	300 m ²	12	25	0,25


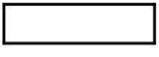
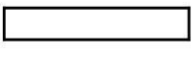

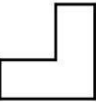


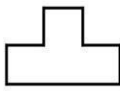
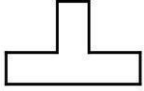
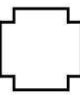
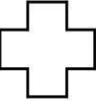
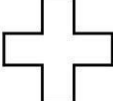
Tabulka 4.1 – Tabulka zkoumaných variant pro změnu poměru O/S



Graf 4.1 – Závislost plochy základu a poměru stran na poměr O/S


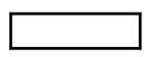
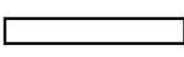
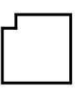
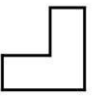
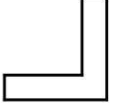

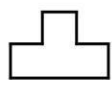
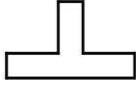
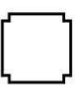
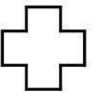
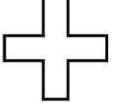
Pro představu, byla vytvořena schémata různých tvarů podle zastavěné plochy.

poměr O/S



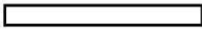


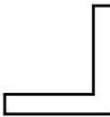

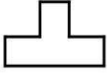
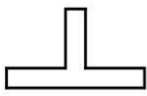


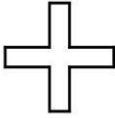
		0,6	0,7	0,8
ZASTAVĚNÁ PLOCHA 50m ²				
				
				
				

Tabulka 4.2 – Tabulka tvarových variant pro zastavěnou plochu 50 m²

poměr O/S

		0,33	0,4	0,5
ZASTAVĚNÁ PLOCHA 150m ²				
				
				
				

Tabulka 4.3 – Tabulka tvarových variant pro zastavěnou plochu 150 m²

		poměr O/S		
		0,23	0,3	0,4
ZASTAVĚNÁ PLOCHA 300m ²				
				
				
				

Tabulka 4.4 – Tabulka tvarových variant pro zastavěnou plochu 300 m²

Na tabulkách 4.2, 4.3 a 4.4 je vidět posun v hodnotách poměru O/S s měnící se zastavěnou plochou. Čím je zastavěná plocha větší, tím je nižší poměr O/S – viz graf 4.1.

4.5.4 Změna součinitele prostupu tepla U

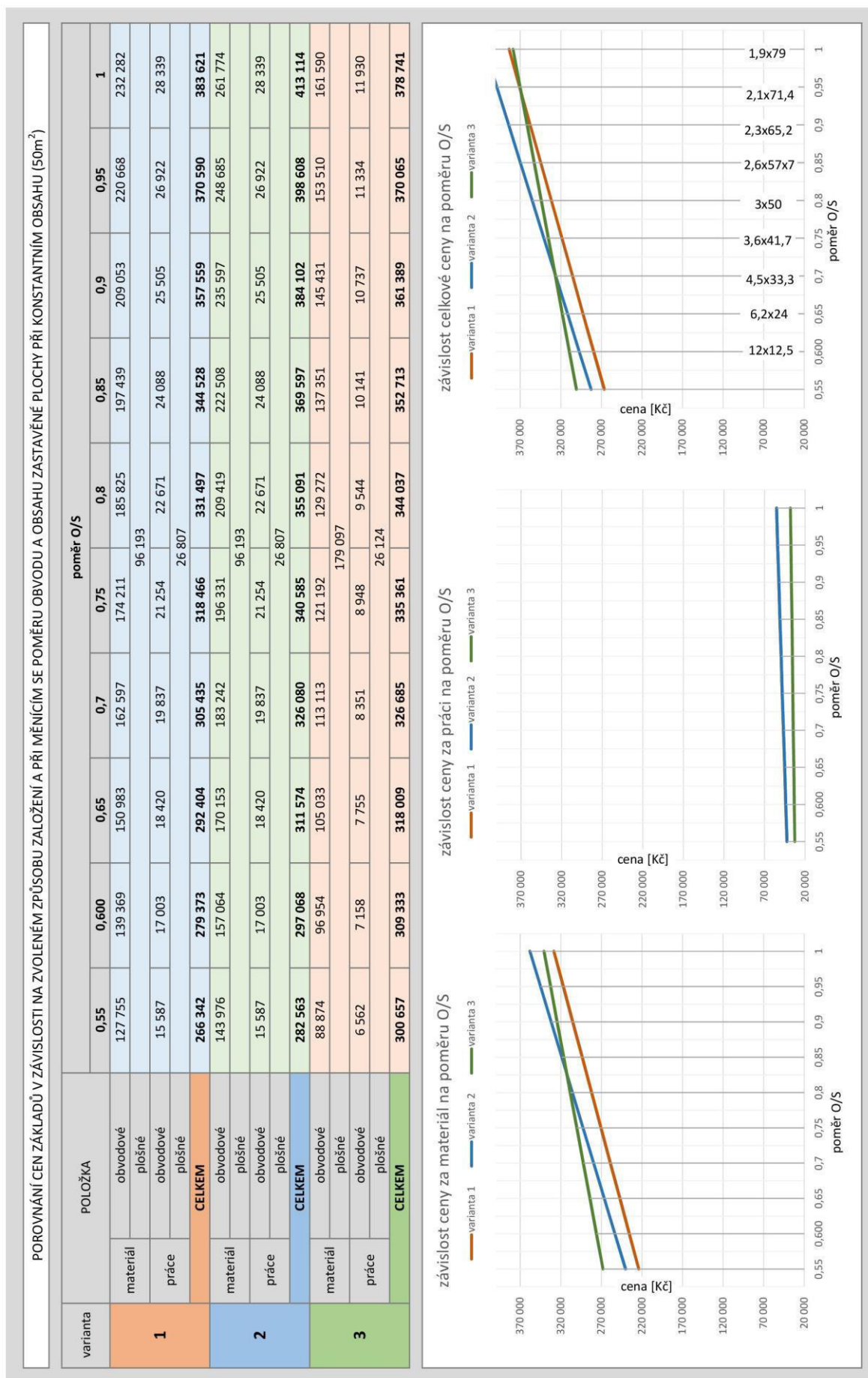
Značnou částkou při zakládání na desce je tepelná izolace – štěrk z PS – a právě množství šterku z PS je ovlivněno hodnotou U, která je určena projektantem nebo požadována normou.

4.6 Vyhodnocení modelů

Jednotlivé varianty jsou porovnávány, podle různých vlivů, v následujících kapitolách. Celkové zhodnocení je součástí závěru kapitoly 4 a závěru práce.

4.6.1 Vyhodnocení modelu – vliv změny O/S

Model vychází ze základního modelu pro součinitel prostupu tepla $U=0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Viz skladba na straně 41. Ukázka vstupních hodnot v tabulkovém procesoru je součástí přílohy na straně 82 až 86.

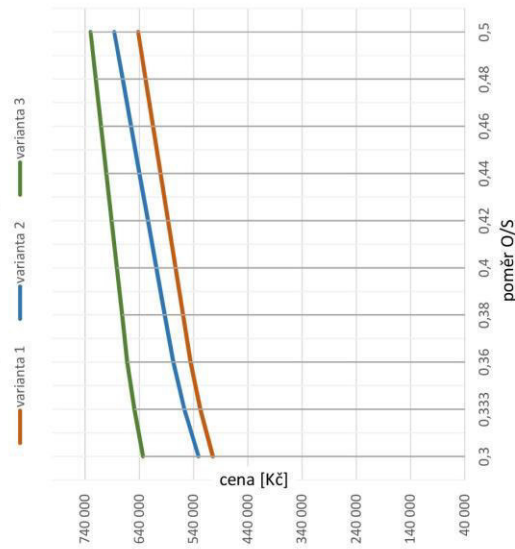


Tabulka 4.5 – Porovnání ceny založení pro jednotlivé varianty při zastavěné ploše 50m² a s proměnným poměrem O/S
Viz tabulka 4.2 na straně 66

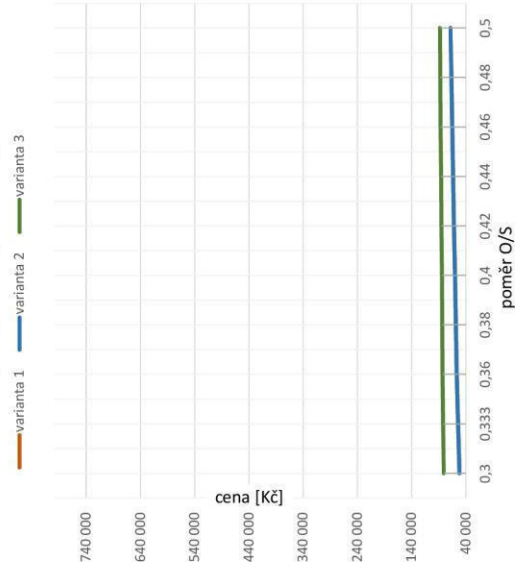
POROVNÁNÍ CEN ZÁKLADŮ V ZÁVISLOSTI NA ZVOLENÉM ZPŮSOBU ZALOŽENÍ A PŘI MĚNÍCÍM SE POMĚRU OBVODU A OBSAHU ZASTAVĚNÉ PLOCHY PŘI KONSTANTNÍM OBSAHU (150m²)

varianta	POLOŽKA	poměr O/S									
		0,3	0,333	0,36	0,38	0,4	0,42	0,44	0,46	0,48	0,5
1	obvodové	206 610	229 566	247 932	261 706	275 480	289 254	303 028	316 802	330 576	344 350
	plošné					297 788					
	obvodové	24 999	27 777	29 999	31 666	33 332	34 999	36 665	38 332	39 999	41 665
	CELKEM	556 204	581 939	602 526	617 967	633 407	648 848	664 289	679 729	695 170	710 610
2	obvodové	233 111	259 012	279 733	295 274	310 814	326 355	341 896	357 437	372 977	388 518
	plošné					297 788					
	obvodové	24 999	27 777	29 999	31 666	33 332	34 999	36 665	38 332	39 999	41 665
	CELKEM	582 705	611 384	634 327	651 535	668 742	685 949	703 157	720 364	737 571	754 779
3	obvodové	144 984	161 094	173 981	183 647	193 313	202 978	212 644	222 309	231 975	241 641
	plošné					488 177					
	obvodové	10 612	11 792	12 735	13 442	14 150	14 857	15 565	16 272	16 980	17 687
	CELKEM	713 941	731 229	745 060	755 433	765 806	776 180	786 553	796 926	807 299	817 672

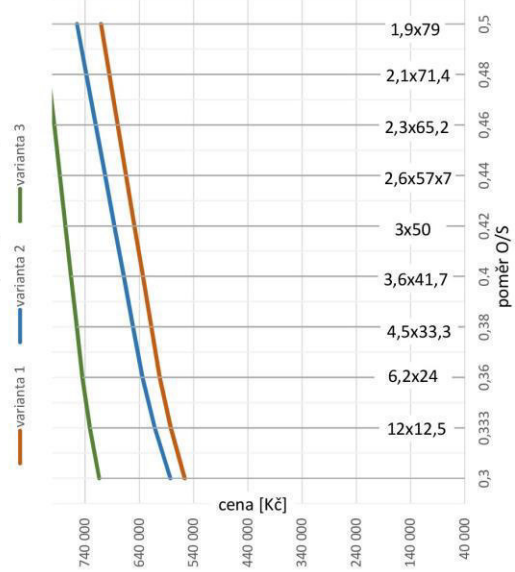
závislost ceny za materiál na poměru O/S



závislost ceny za práci na poměru O/S



závislost celkové ceny na poměru O/S

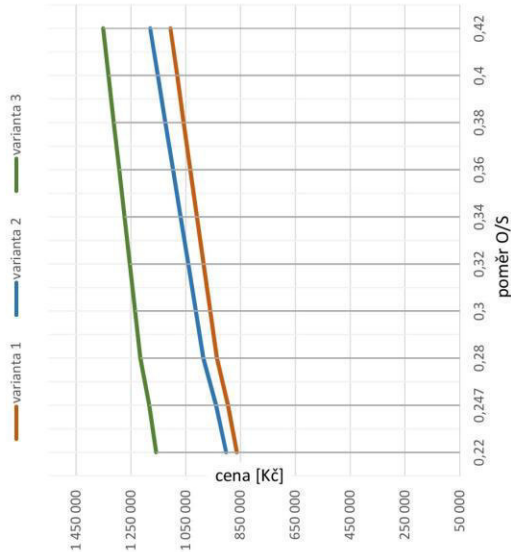


Tabulka 4.6 – Porovnání ceny založení pro jednotlivé varianty při zastavěné ploše 150m² a s proměnným poměrem O/S
Viz tabulka 4.3 na straně 66

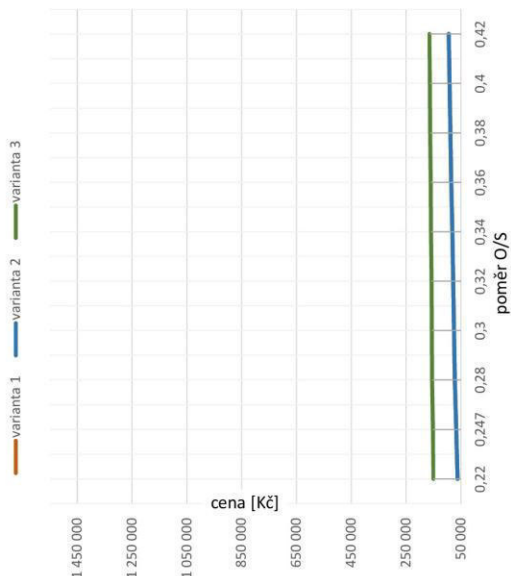
POROVNÁNÍ CEN ZÁKLADŮ V ZÁVISLOSTI NA ZVOLENÉM ZPŮSOBU ZALOŽENÍ A PŘI MĚNÍCÍM SE POMĚRU OBVODU A OBSAHU ZASTAVĚNÉ PLOCHY PŘI KONSTANTNÍM OBSAHU (300m²)

varianta	POLOŽKA		poměr O/S									
			0,22	0,247	0,28	0,3	0,32	0,34	0,36	0,38	0,4	0,42
1	materiál	obvodové	266 217	298 485	338 821	363 023	387 224	411 426	435 627	459 829	484 030	508 232
		plošné	597 493									
	práce	obvodové	35 593	39 908	45 300	48 536	51 772	55 008	58 243	61 479	64 715	67 951
2	materiál	obvodové	926 110	962 693	1 008 421	1 035 859	1 063 296	1 090 733	1 118 170	1 145 608	1 173 045	1 200 482
		plošné	597 493									
	práce	obvodové	35 593	39 908	45 300	48 536	51 772	55 008	58 243	61 479	64 715	67 951
3	materiál	obvodové	964 780	1 006 050	1 057 638	1 088 591	1 119 544	1 150 496	1 181 449	1 212 402	1 243 354	1 274 307
		plošné	945 623									
	práce	obvodové	15 476	17 352	19 697	21 104	22 511	23 918	25 324	26 731	28 138	29 545
CELKEM			1 308 600	1 336 213	1 370 728	1 391 437	1 412 146	1 432 856	1 453 565	1 474 274	1 494 983	1 515 692

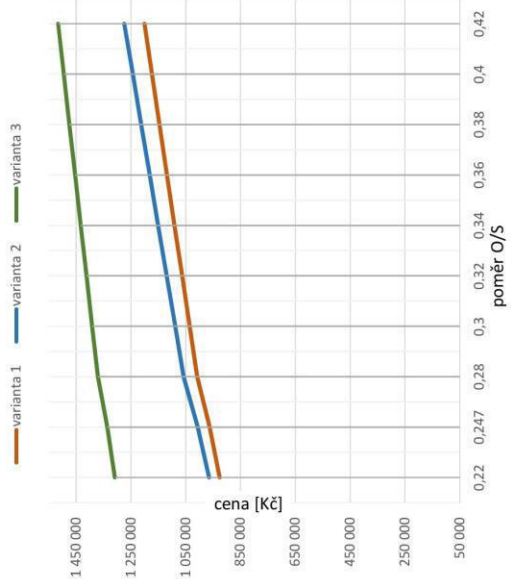
závislost ceny za materiál na poměru O/S



závislost ceny za práci na poměru O/S



závislost celkové ceny na poměru O/S



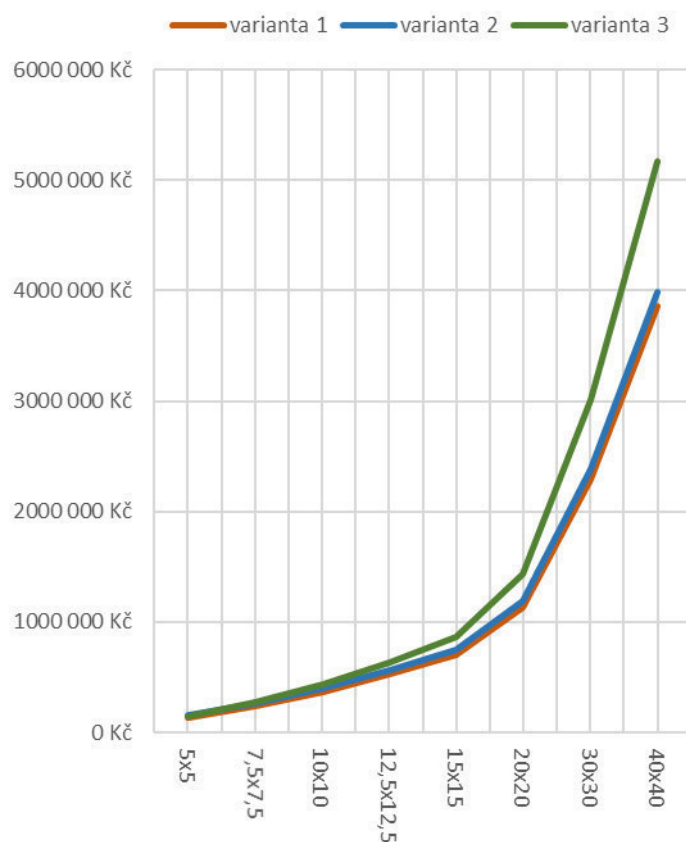
Tabulka 4.6 – Porovnání ceny založení pro jednotlivé varianty při zastavěné ploše 300m² a s proměnným poměrem O/S
Viz tabulka 4.4 na straně 67

Průběh cen pro 50, 150 i 300 m² zastavěné plochy odpovídá úvahám o vlivu poměru O/S na cenu založení. Nárůst ceny základových pasů se zvyšujícím se O/S je větší díky tomu, že převážná část materiálu a prací se týká liniových prvků pasů. Naopak u základové desky je nárůst mírnější, protože materiál je rovnoměrněji rozložen v ploše.

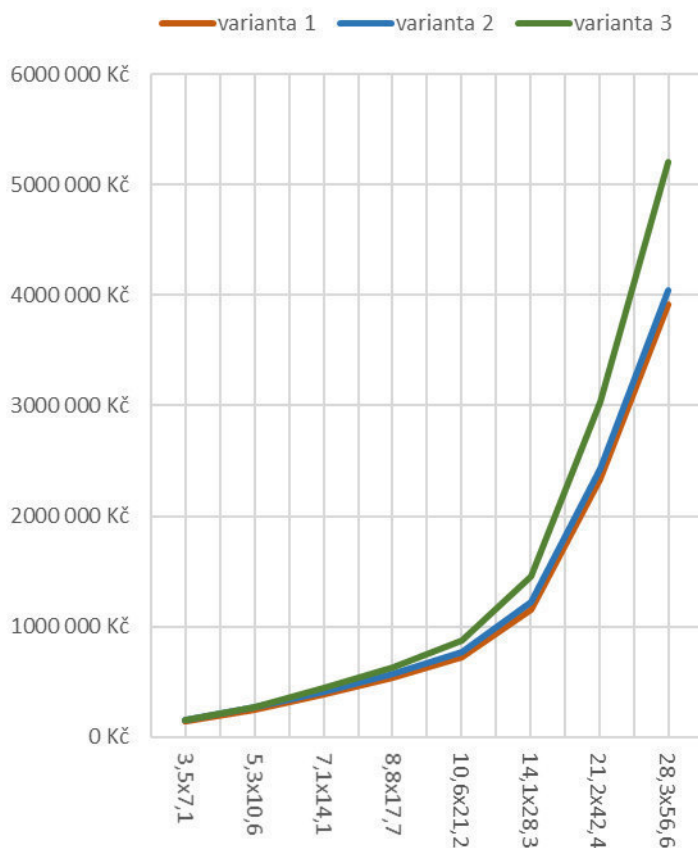
4.6.2 Změna velikosti zastavěné plochy

Vliv velikosti zastavěné plochy na výslednou cenu je vypočten ve třech variantách s poměry stran 1:1, 1:2 a 1:4 a s uvažováním součinitele prostupu tepla $U=0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vliv změny zastavěné plochy na cenu má souvislost se změnou poměru O/S, která je vysvětlena výše.

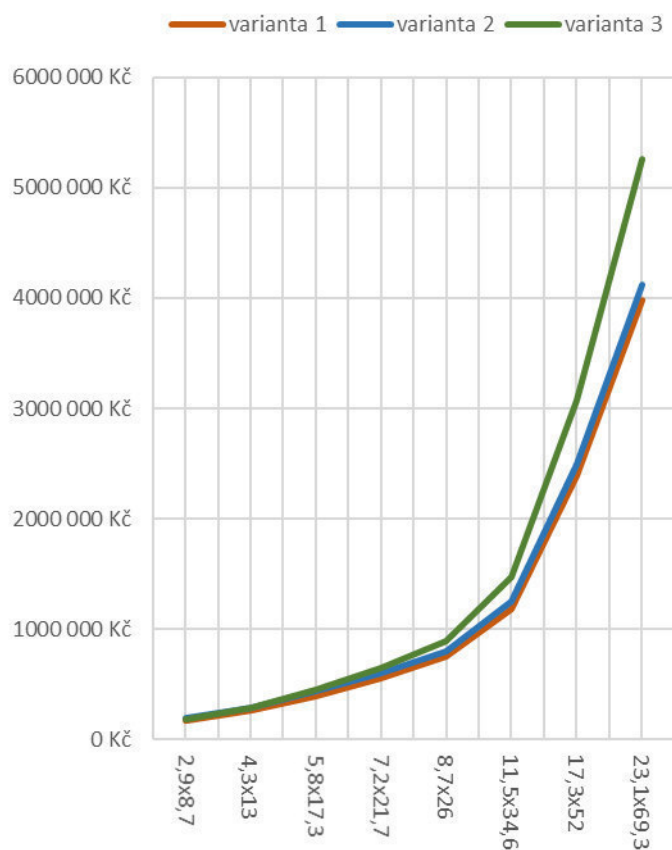
Výpočet je orientační podle poměru obvodu (liniové prvky) a zastavěné plochy (plošné prvky).



Graf 4.2 – Graf závislosti změny velikosti půdorysu pro poměr stran 1:1



Graf 4.3 – Graf závislosti změny velikosti půdorysu pro poměr stran 1:2

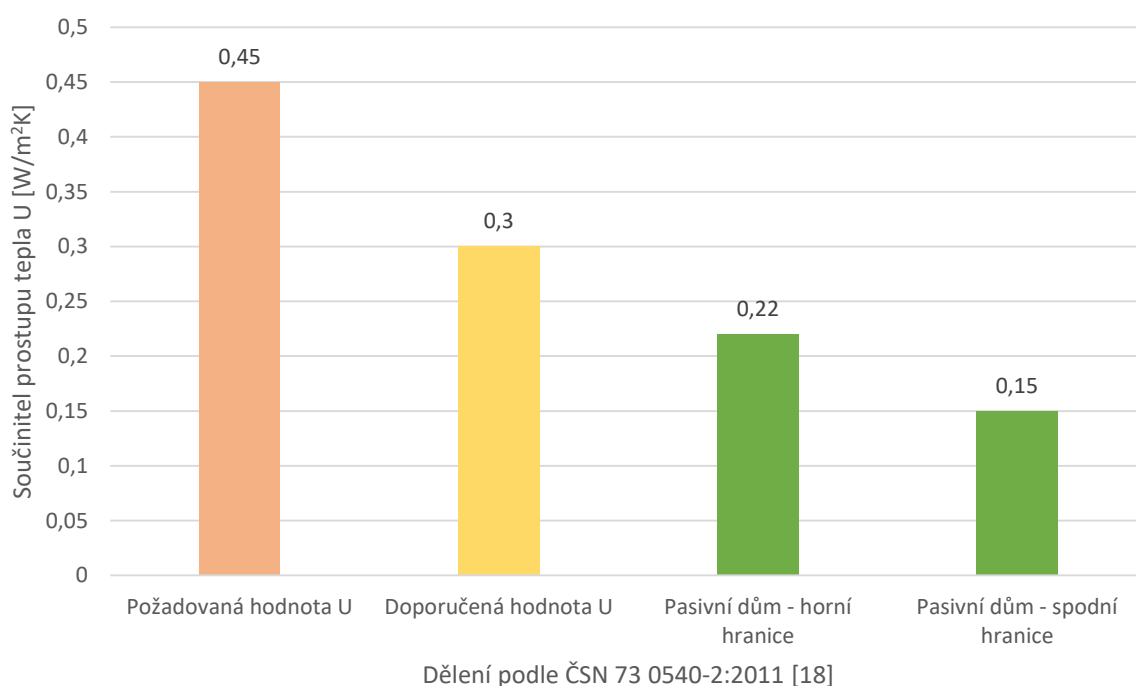


Graf 4.4 – Graf závislosti změny velikosti půdorysu pro poměr stran 1:4

4.6.3 Změna součinitele prostupu tepla

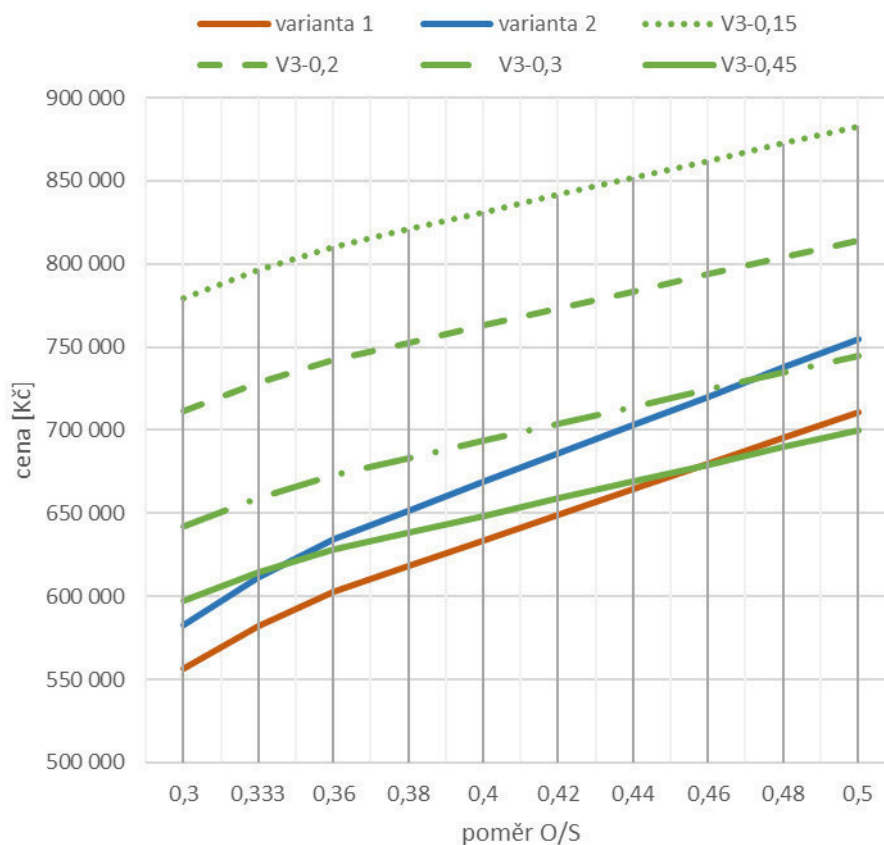
Součinitel prostupu tepla U udává množství izolačního materiálu. V případě založení na základové desce je tedy vliv U zásadní.

Při navrhování skladby podlahy na zemině se projektant musí držet předepsaných, respektive doporučených, hodnot – viz graf 4.5.



Graf 4.5 – Graf hodnot U , které byly použity k porovnání cen zakládání.

Cena za založení na **základových pasech** se s měnícím součinitelem prostupu tepla U prakticky nezmění, protože izolační materiál podlahy má vysokou izolační účinnost, tedy malou tloušťku, a zároveň je relativně levný. Z toho důvodu nejsou v grafu 4.6 zahrnuty změny U pro základové pasy. Rozdíl v ceně by byl zanedbatelný a průběhy grafů by se překrývaly.



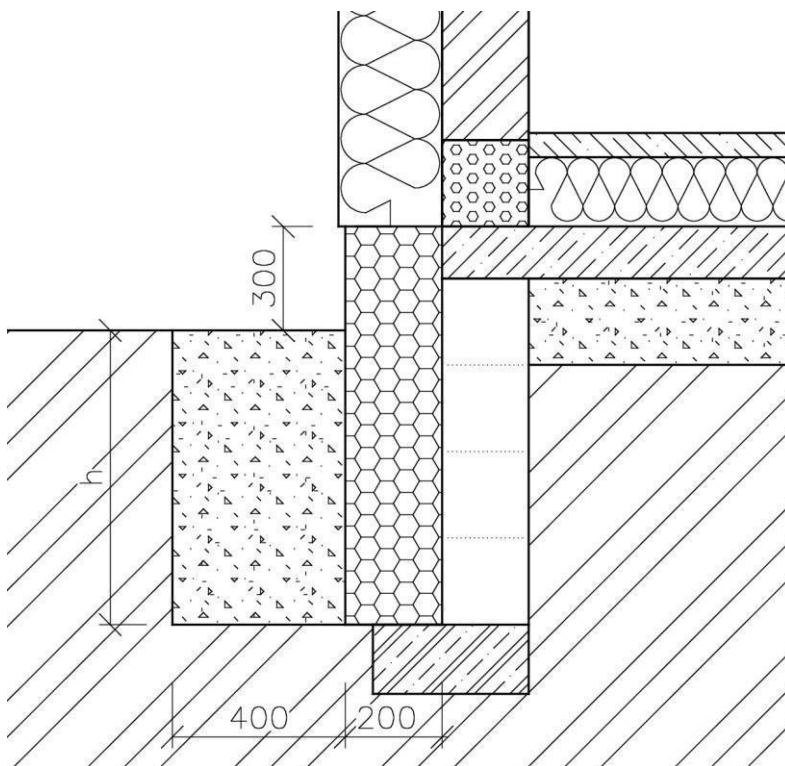
Graf 4.6 – Graf porovnání ceny založení při změně poměru O/S pro zastavěnou plochu 150 m²

Graf 4.6 ukazuje, že v závislosti na součiniteli prostupu tepla se zásadně mění dostupnost řešení základů pomocí šterku z pěnového skla. Čím jsou požadavky na součinitel prostupu tepla větší (U je menší), tím se řešení se šterkem z PS prodražuje. Ve srovnání se základovými pasy je z finančního hlediska konkurenceschopná varianta, kde je počítáno s minimálními nebo doporučenými hodnotami U.

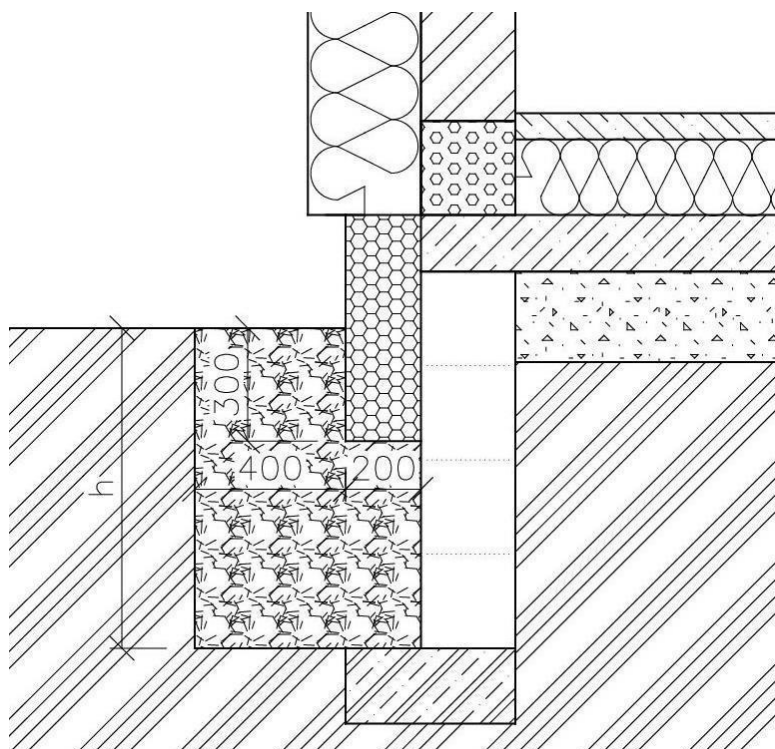
4.7 Obsyp ze šterku z pěnového skla

Součástí kapitoly 3, která se věnuje modelům, je varianta založení na základových pasech, kde je místo zásypu drenážního potrubí po obvodu stavby nasypáno pěnové sklo. Varianta s pěnovým sklem není součástí předchozího srovnání a proto se mu věnuje tato kapitola.

Na obrázku 4.5 je výška izolování základu označena jako h . V tabulkovém procesoru je vypočten průběh nárůstu ceny za obsyp z běžného štěrku + XPS po celé výšce h , respektive ze štěrku z PS + částečně zapuštěný XPS, viz Graf 4.7.

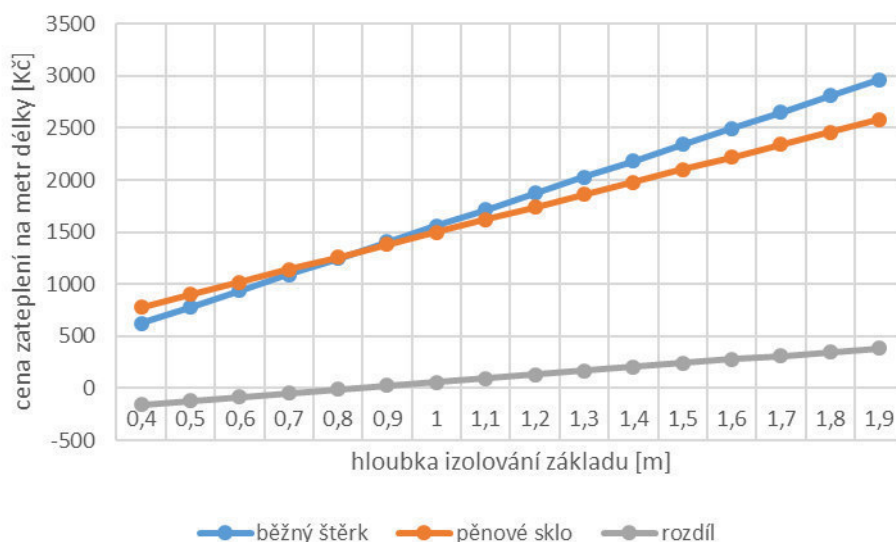


4.5 – Schéma obsypu z běžného štěrku s izolací soklu z XPS.



4.6 – Schéma obsypu z pěnového skla se zapuštěnou izolací soklu z XPS.

Ceny uvažované ve výpočtu jsou pouze za materiál. Práce a další detailní řešení (kotvení, ukládání atd.) nejsou uvažovány. Ceny za materiál použité v modelu jsou následující: štěrk – 400 Kč/m³; XPS – 7000 Kč/m³; štěrk z PS – 2000 Kč/m³.



Graf 4.7 – Srovnání nárůstu ceny se zvětšující se hloubkou založení.

Graf ukazuje nárůst ceny obsypu s izolací soklu na metr délky. Vysoká cena extrudovaného polystyrenu se projevuje na strmějším nárůstu ceny oproti pěnovému sklu. Čistě z pohledu ceny materiálu se obsyp z pěnového skla vyplatí od hloubky založení 0,85 m. Kdyby se započítala cena za práce, vycházelo by pěnové sklo ještě výhodnější, protože lepení a skládání XPS je pracnější než ukládání štěrku. Zvláště výhodný by mohl být štěrk při izolaci stěn podsklepení. I při tloušťce 0,6 m se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda=0,15$ W/mK (mokrý kamenivo) by součinitel prostupu tepla vycházel na 0,25. To je stejné U, jako má 160 mm XPS s $\lambda=0,04$ W/mK.

4.8 Závěr z finanční rozvahy

Obecně je pěnové sklo drahý materiál, ale díky svým vlastnostem je možné ho aplikovat ve zvláštních řešeních a speciálních opatřeních. Díky tomu se dá ušetřit a vyhnout se technologicky náročnějším řešením. Přesto je, vzhledem k ceně, zatím nejdražším řešením v porovnání s klasickým zakládáním.

Z vybraných modelů je **nejlevnější možností varianta základových pasů s obsypem z pěnového skla**. Jejich výhodnost se zvyšuje s hloubkou založení, ale zároveň se zvyšuje cena vlivem liniových prvků v porovnání s deskou. Toto srovnání není součástí práce.

Cena založení na pěnovém skle nejvíc závisí na požadovaném **součiniteli prostupu tepla U** – viz graf 4.6. Se zvyšujícími se nároky na tepelnou ochranu, hlavně v případě pasivních domů, se výrazně zvyšuje cena. Další vliv má složitost půdorysu a zastavěná plocha – viz kapitola 4.6.1. Zatímco u pasů tvoří nejdražší část liniové prvky po obvodu, u desky je materiál rovnoměrněji rozprostřen v ploše a změna poměru O/S má menší vliv. Z toho plyne, že **založení na desce by bylo nejlevnější pro menší stavby se složitějším půdorysem a nižšími nároky na součinitel prostupu tepla U**.

Je možné obecně říci, že **založení na pěnovém skle je dražší než založení na základových pasech**. Z výše uvedených grafů a schémat je však možné pro individuální projekt určit, o kolik je založení na desce dražší a jestli se, v porovnání s výhodami které štěrk z pěnového skla má, vyplatí.

Variantu založení na desce by šlo dále zlevnit. Například optimalizovat návrh tloušťky základové desky, provést proměnnou tloušťku štěrku z pěnového skla atd.

5. Závěr

Laboratorní práce – kapitola 2

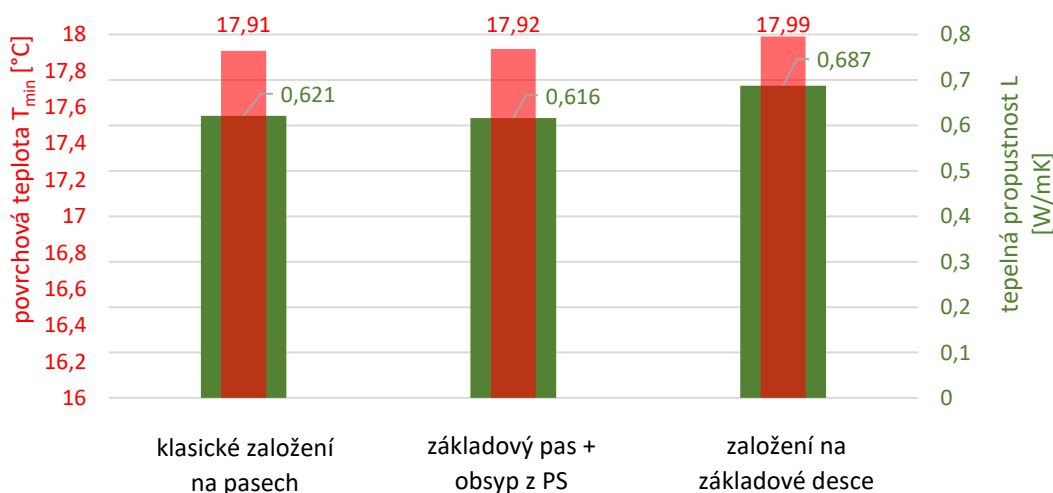
Z měření v laboratořích vyplývá, že při návrhu skladby, kde je štěrku z pěnového skla v kontaktu se zemínou a vlhkostí, by **nemělo být uvažováno se zcela suchým kamenivem** a idealizovanými hodnotami součinitele tepelné vodivosti λ .

V práci je uvažováno s hodnotou $\lambda_{\text{deska}} = 0,1 \text{ W/mK}$, $\lambda_{\text{obsyp}} = 0,12$ a $\lambda_{\text{zaplavené}} = 0,35 \text{ W/mK}$.

Nepodařilo se prokázat nasákavost pěnového skla a uvažuje se s **nenasákavostí** a s **nepropustností vodní páry**.

Fyzikální model – kapitola 3

Modelování v programu Area ukázalo, že každá varianta má své klady a zápory. Nejefektivnějším a nejúspornějším způsobem založení je založení na **pasech s obsypem ze štěrku z pěnového skla** (varianta 2) na místo klasického XPS. Druhou nejúspornější variantou je **klasické založení na pasech** (varianta 1A a 1B). **Založení na desce** (varianta 3) je nejcitlivější na podmínky v podzákladí a tepelná ztráta základem je nejvyšší, ale povrchová teplota na vnitřním líci konstrukce je nejvyšší (nejbezpečnější). Hlavní výhodou desky, oproti pasům, je zvýšení teploty v konstrukci, nad hydroizolací, kde je u pasů riziko kondenzace ztlačně vyšší.

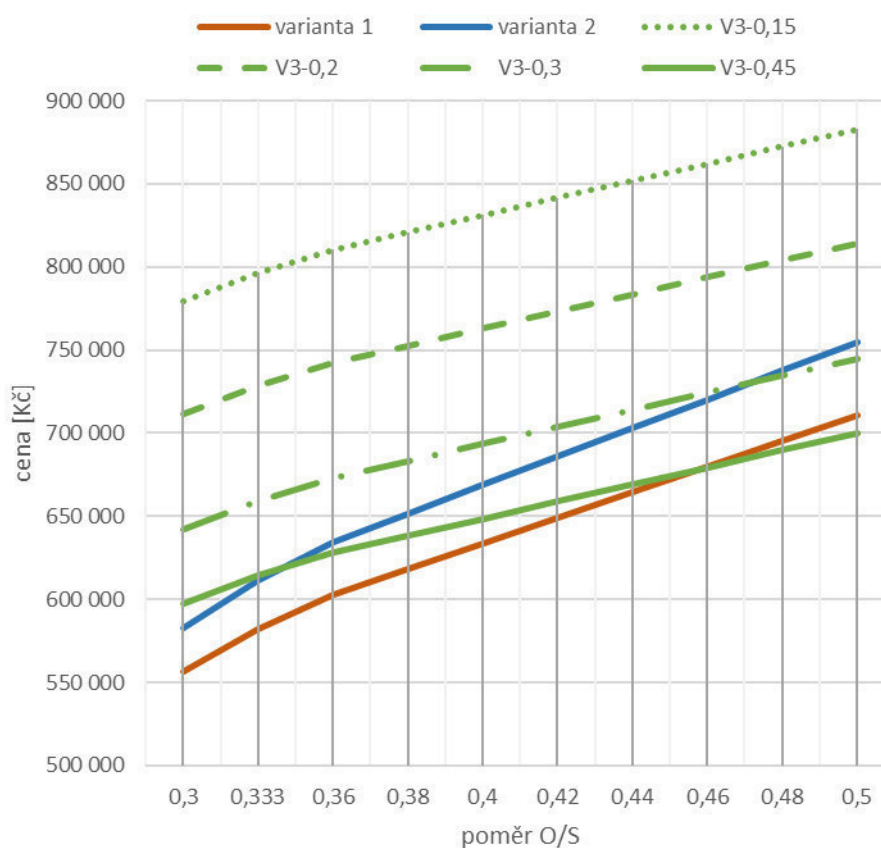


Graf 5.1 – Graf porovnání povrchové teploty a tepelné propustnosti základových pasů a základové desky

Finanční rozvaha – kapitola 4

Nejlevnějším způsobem zakládání je založení na pasech, konkrétně s obsypem ze štěrku z pěnového skla. Nelze ale jednoznačně říct, že založení na základové desce je vždy dražší. Cenu založení ovlivňuje několik faktorů, které jsou pro každou stavbu různé.

Obecně platí, že čím má stavba větší poměr obvodu k zastavěné ploše, tím je založení na desce srovnatelnější se založením na pasech. Největší vliv na cenu desky má navržený součinitel prostupu tepla U . Podle následující tabulky je možné si udělat představu o vlivu poměru O/S a U na cenu základové desky.



Graf 5.2 – Graf nárůstu ceny založení se zvyšujícím se O/S pro zastavěnou plochu 150 m^2 .

Varianta 1 – základový pas – založení zdiva z pórobetonu

Varianta 2 – základový pas – založení zdiva z pásku z PS

V3-U – základová deska (U – hodnota součinitele prostupu tepla)

SHRNUTÍ

Pěnové sklo má ve stavebnictví své místo a jeho využití je velmi široké díky různým produktům a dobrým vlastnostem. Pěnové sklo není nejlevnější volbou při použití pásků z PS na základové pasy a stejně tak je dražší založení na desce s podsypem z PS než běžné založení na pasech. Ale například obsyp základového pasu z PS může stavbu zlevnit.

Při zohlednění výhod z pohledu tepelné techniky je závěr takový, že nelze říct, jaká varianta založení je jednoznačně nejlepší po všech stránkách, protože založení na desce nemusí být výrazně dražší (o 5 až 35%). Založení na desce se doporučuje použít například při založení dřevostaveb. Během návrhu stavby je potřeba definovat požadavky na vlastnosti založení, základové poměry, dostupnost materiálů a charakter stavby a podle toho se rozhodnout.

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA A) Výpis základních materiálů použitých v modelech a finanční rozvaze

MATERIÁL	λ [W/mK]	μ [-]	Cena [Kč/m ³]	model
rostlý terén	1,5	17	-	1, 2, 3
železobeton, beton	1,5	30	3 600	1, 2, 3
vápenopískové tvárnice	0,75	15	5 000	1, 2, 3
expandovaný polystyren EPS	0,04	40		1, 2, 3
extrudovaný polystyren XPS	0,04	125	7 000	1, 2, 3
štěrk	0,65	15	500	1, 2, 3
pórobeton	0,14	25	3 800	1A, 2
pásek z pěnového skla	0,05	75000	38 000	1B
Štěrk z PS- obsyp	0,12	15	2 000	2, 3
Štěrk z PS- podsyp	0,1	15		3
Štěrk z PS- mokrý	0,15	15		3B, 3C
Štěrk z PS – plně nasycený vodou	0,35	-		3B, 3C

- POZNÁMKA: - cena štěrku z PS je uvažována ve ztuhnutém stavu.
- ceny materiálů byly určeny podle aktuálních ceníků výrobců a dodavatelů

PŘÍLOHA B) Prostředí pro zadání vstupních hodnot – MATERIÁL – VARIANTA 1

CENA MATERIÁLU - VARIANTA 1 - ZÁKLADOVÉ PASY

vnější rozměry základů : A [m]= 10 B [m]= 15 poměr O/S = 0,333

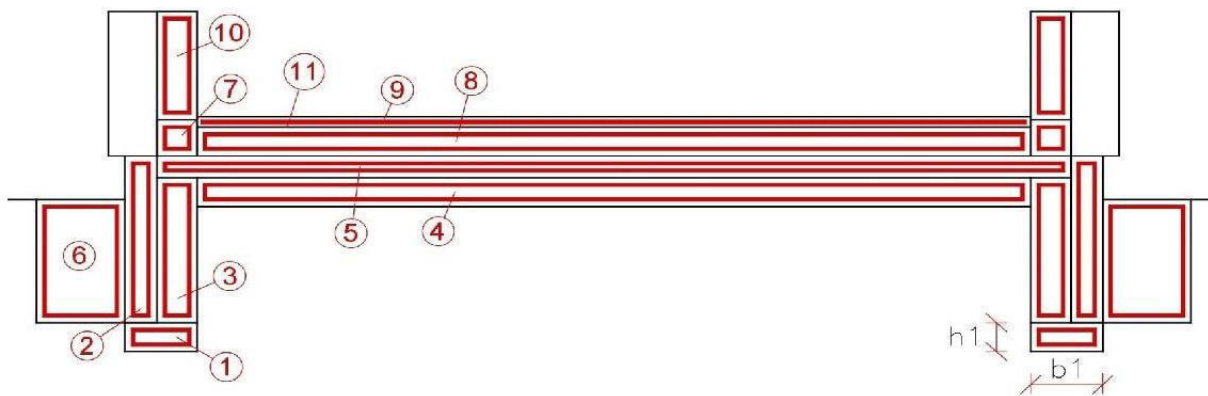
10,56 15,56

hlavní části konstrukce		b [m]	h [m]	O _{out} [m]	O _{in} [m]	O [m]	S [m ²]	V [m ³]	cena/MJ [kč/m ³]	cena [kč]
železobetonový pas	1	0,45	0,2	52	50		23	5	3 600	16 343
XPS	2	0,28	0,9	52	51		14	13	7 000	90 176
betonové tvarovky	3	0,25	1	51	50		13	13	1 450	18 531
beton										
štěrkopísek	4		0,25			50	142	35	500	17 702
podkladní beton	5		0,15			51	150	23	3 600	81 000
štěrk	6	0,6	0,75	55	52		33	25	500	12 294
1. šár zdiva	7	0,25	0,25	51	50		13	3	3 800	11 904
izolace	8		0,2			50	138	28	2 500	68 875
roznášecí beton	9		0,07			50	138	10	3 600	34 713
zdivo	10	0,25	0,75	51	50		13	9	7 000	65 783
hydroizolace	11					50	150		500	75 000
separační vrstev (PE)	-						138		40	5 510
separační vrstev (PE)	-						137		40	5 489

pasy		b [m]	h [m]	směr pasu (A×B)	počet	S [m ²]	V [m ³]	cena/MJ [kč/m ³]	cena [kč]
železobeton	12	0,3	0,3	směr B	2	4,398	2,6	3 600	9 500
	13			směr A		0	0,0	0	0

kč/m² kč

betonu celkem [m³]	cena celkem
52	527 355 Kč



PŘÍLOHA C) Prostředí pro zadání vstupních hodnot – MATERIÁL – VARIANTA 2

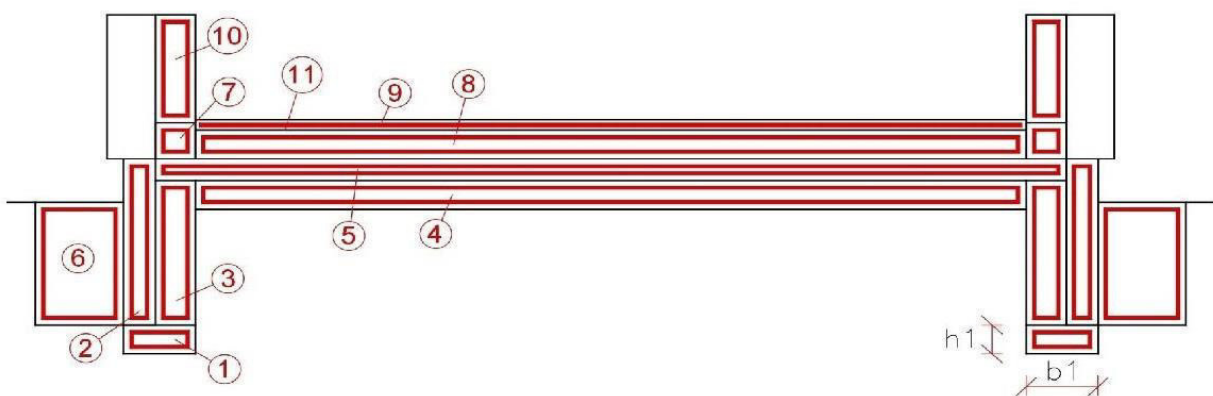
CENA MATERIÁLU - VARIANTA 2 - ZÁKLADOVÉ PASY

vnější rozměry základů : A [m]= 10 B [m]= 15 poměr O/S = 0,333

hlavní části konstrukce		b [m]	h [m]	O _{out} [m]	O _{in} [m]	O [m]	S [m ²]	V [m ³]	cena/MJ [kč/m ³]	cena [kč]
železobetonový pas	1	0,45	0,2	52	50		23	5	3 600	16 343
XPS	2	0,28	0,9	52	51		14	13	7 000	90 176
betonové tvarovky	3	0,25	1	51	50		13	13	1 450	18 531
beton										
šterkopísek	4		0,25			50	142	35	500	17 702
podkladní beton	5		0,15			51	150	23	3 600	81 000
šterk	6	0,6	0,75	55	52		33	25	500	12 294
1. šár zdiva	7	0,25	0,05	51	50		13	1	38 000	23 807
izolace	8		0,2			50	138	28	2 500	68 875
roznášecí beton	9		0,07			50	138	10	3 600	34 713
zdivo	10	0,25	0,95	51	50		13	12	7 000	83 325
hydroizolace	11					50	150		500	75 000
separační vrstev (PE)	-						138		40	5 510
separační vrstev (PE)	-						137		40	5 489

pasy		b [m]	h [m]	směr pasu (A×B)	počet	S [m ²]	V [m ³]	cena/MJ [kč/m ³]	cena [kč]
železobeton	12	0,3	0,3	směr B	2	4,398	2,6	3 600	9 500
	13			směr A		0	0,0	0	0

betonu celkem [m³]	cena celkem
52	556 800 Kč



PŘÍLOHA D) Prostředí pro zadání vstupních hodnot – PRÁCE – VARIANTA 1 a 2

CENA PRACÍ - VARIANTA 1 a 2						
zemní práce		objem práce	MJ	pracnost [Nh]	cena/MJ [kč/m3]	cena [kč]
hloubení pasů 1	0	45	m ³	0,08	1 500	5 389
hloubení pasů 2		5	m ³	0,10	2 000	908
ruční začištění		122	m ²	0,07	150	1 281
zarovnání terénu		142	m ²	0,010	1 500	2 124
konstrukce		objem práce	MJ	pracnost [Nh]	cena/MJ [kč/m3]	cena [kč]
armování	1	3,6	100 kg	1,20	200	855
betonáž		5	m ³	1,20	200	1 090
tepelná izolace	2	47	m ²	0,70	200	6 582
zdění	3	13	m ³	1,50	200	3 834
armování		1,3	100 kg	1,10	200	287
betonáž	4	8	m ³	1,10	200	1 828
uložení štěrku		35	m ³	0,08	100	283
hutnění	5	142	m ²	0,05	150	1 062
separační vrstva		150	m ²	0,03	150	675
armování	6	18	100 kg	1,00	200	3 533
betonáž		23	m ³	1,10	200	4 950
štěrkový zásyp	7	25	m ³	0,20	100	492
základací vrstva zd.	8	1	m ³	3,00	250	470
podlahová izolace	9	138	m ²	0,08	250	2 755
separační vrstva		138	m ²	0,06	150	1 240
armování	10	15	100 kg	1,00	200	3 028
betonáž		10	m ³	1,10	200	2 121
zdivo	11	12	m ³	2,00	200	4 761
hydoizolace		150	m ²	0,50	250	18 750
zem. práce		konstrukce		cena celkem		
9 703 Kč		58 595 Kč		68 298 Kč		
celková doba provádění na 1 os. 293,8 h						

PŘÍLOHA E) Prostředí pro zadání vstupních hodnot – MATERIÁL – VARIANTA 3

CENA MATERIÁLU - VARIANTA 3 - ZÁKLADOVÁ DESKA

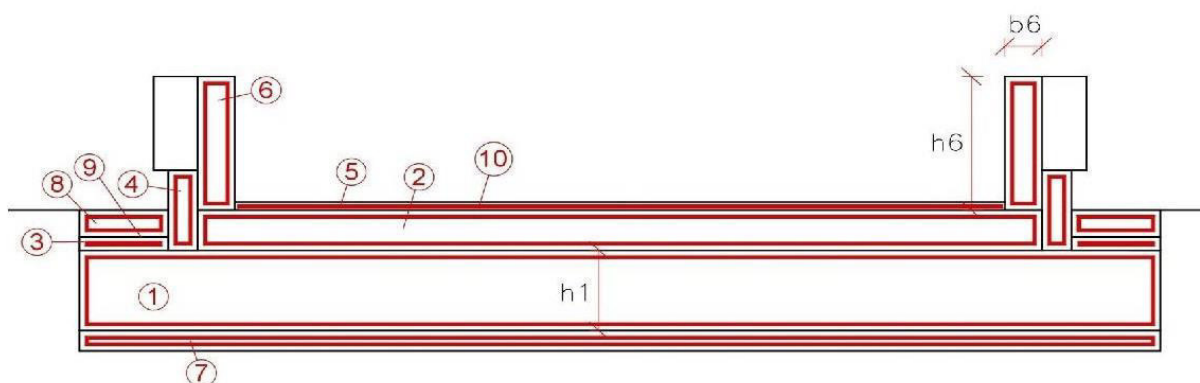
vnější rozměry základů : A [m]= 10 B [m] = 15 poměr O/S = 0,333

hlavní části konstrukce	b [m]	h [m]	O _{out} [m]	O _{in} [m]	O [m]	S [m ²]	V [m ³]	cena/MJ [kč/m ³]	cena [kč]
štěrk - pěnové sklo	1		0,48			57	197	2 000	189 214
základová deska žb	2		0,3			50	150	3 600	162 000
pěnové sklo	3	0,6	0,14	57	52		33	2 000	9 180
xps - sokl	4	0,28	0,6	52	50		14	7 000	60 117
krycí beton hydroiz.	5		0,06			48	138	3 000	24 795
zdivo	6	0,25	1	50	48		12	7 000	85 750
štěrkový podsyp	7		0,15			57	197	500	14 782
štěrk - chodníček	8	0,6	0,1	57	52		33	500	1 639
							0	0	0
							0	0	0
hydroizolace - chod.	9					52	55	50	2 769
hydroizolace	10					50	150	500	75 000
geotext. pod p. sklo	-						290	50	14 502
PE fólie na p. sklo	-						197	40	7 884

kč/m² kč

betonu celkem [m³]
53

cena celkem
647 632 Kč



PŘÍLOHA F) Prostředí pro zadání vstupních hodnot – PRÁCE – VARIANTA 3

CENA PRACÍ - VARIANTA 3						
zemní práce		objem práce	MJ	pracnost [Nh]	cena/MJ [kč/m3]	cena [kč]
hloubení jámy	0	171	m ³	0,03	1 500	7 716
spádování dna		197	m ²	0,01	1 500	2 956
konstrukce		objem práce	MJ	pracnost [Nh]	cena/MJ [kč/m3]	cena [kč]
geotextilie	1	290	m ²	0,06	200	3 481
násyp štěrku z PS		45	m ³	0,10	150	675
hutnění		290	m ³	0,10	200	5 801
separační vrstva	2	150	m ²	0,03	200	900
bednění + odbed.		15	m ²	0,70	200	2 100
armování		71	100 kg	1,00	200	14 130
betonáž		45	m ³	1,10	200	9 900
pěnové sklo	3	5	m ²	0,10	200	92
tepelná izolace	4	31	m ²	0,70	200	4 388
krycí beton	5	8	m ³	1,20	200	1 984
zdivo	6	12	m ³	2,00	200	4 900
štěrkový podsyp	7	30	m ³	0,20	150	887
štěrk podokap. ch.	8	3	m ³	0,20	150	98
hydroizolace nop	9	55	m ²	0,20	200	2 215
hydroizolace	10	150	m ²	0,50	250	18 750
zem. práce		konstrukce		cena celkem		
10 673 Kč		70 300 Kč		80 973 Kč		
celková doba provádění na 1 os.				338,1	h	

PŘÍLOHA G) Obsah vody ve vzduchu a množství sražené vody při 60% vlhkosti

teplota [°C]	parciální tlak syté páry [Pa]	vlhkost	měrná vlhkost vzduchu $\times 100\%$ [g/kg _{s.v.}]	vlhkost v místnosti	měrná vlhkost vzduchu $\times 60\%$ [g/kg _{s.v.}]	množství kondenzátu [g/kg _{s.v.}]
20	2339,3	100%	14,7	60%	8,74	-
19	2198,4		13,8		8,20	-
18	2064,9		12,9		7,70	-
17	1938,6		12,1		7,22	-
16	1819,1		11,4		6,77	-
15	1706,0		10,7		6,35	-
14	1599,2		10,0		5,95	-
13	1498,3		9,3		5,57	-
12	1403,0		8,7		5,21	0,00
11	1313,1		8,2		4,87	0,57
10	1228,3		7,6		4,56	1,10
9	1148,3		7,1		4,26	1,61
8	1073,0		6,7		3,98	2,08
7	1002,0		6,2		3,71	2,52
6	935,2		5,8		3,46	2,94
5	872,3		5,4		3,23	3,34
4	813,2		5,0		3,01	3,70
3	757,7		4,7		2,80	4,05
2	705,5		4,4		2,61	4,38
1	656,6		4,1		2,43	4,68
0	610,6		3,8		2,26	4,97
-1	564,3		3,5		2,09	5,25
-2	519,2		3,2		1,92	5,53
-3	477,4		2,9		1,76	5,79
-4	438,7		2,7		1,62	6,03
-5	402,8		2,5		1,49	6,25
-6	369,7		2,3		1,36	6,46
-7	339,1		2,1		1,25	6,65
-8	310,8		1,9		1,15	6,82
-9	284,7		1,8		1,05	6,98
-10	260,6	1,6	0,96	7,13		
-11	238,4	1,5	0,88	7,27		
-12	217,9	1,3	0,80	7,40		
-13	199,0	1,2	0,73	7,51		
-14	181,7	1,1	0,67	7,62		
-15	165,7	1,0	0,61	7,72		

LITERATURA

- [L1] **JURAJ HAZUCHA, Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy.** Grada Publishing, a.s., 2016, ISBN 978-80-247-4551-0
- [L2] **LUBOŠ SVOBODA A KOLEKTIV, Stavební hmoty.** Jaga group, s.r.o., Bratislava 2006, ISBN 80-8076-007-1
- [L3] **JAN TYWONIAK, Nízkoenergetické domy, Principy a příklady.** Grada Publishing, a.s., Praha 2005, ISBN 80-247-1101-X

INTERNET

- [1] <http://www.glass-ts.com/userfiles/files/2003-03%20WRAP%20Report%20-%20UK%20Market%20Survey%20for%20Foam%20Glass.pdf>
- [2] https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C4%9Bnov%C3%A9_sklo
- [3] <http://www.refaglass.cz/skelna-moucka/>
- [4] <http://www.izolace.cz/clanky/detail/981-vyuziti-penoveho-skla-v-provoznich-strechach>
- [5] http://web.byv.kth.se/bphys/reykjavik/pdf/art_026.pdf
- [6] http://uchi.vscht.cz/uploads/pedagogika/hydro/vlastnosti_tekutin.pdf
- [7] <https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=people&id=52&sub=369>
- [8] <http://www.tzb-info.cz/3560-teplotni-faktor-vnitriho-povrchu-frsi-pro-csn-73-0540-2>
- [9] <http://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3323-teorie-vlhkeho-vzduchu-i>
- [10] <http://web.cvut.cz/fa/u524/rea/podklady/ukazatele/podklady.html>
- [11] https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=55584
- [12] <http://www.refaglass.cz/sterk-z-penoveho-skla/zrnitost-16-32mm/>
- [13] <http://www.geocell-schaumglas.eu/cz/produkty/penove-sklo/technicka-data/>
- [14] <http://www.penove-sklo.net/soukromy-stavebnik/>
- [15] http://web.byv.kth.se/bphys/reykjavik/pdf/art_026.pdf
- [16] <https://www.dek.cz/cenik/>
- [17] Ceník Ytong, platný od 1.4.2016
- [18] <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>

OBRÁZKY

1.1 – Pelety z pěnového skla

Zdroj: <http://www.glass-ts.com/projects/a-market-survey-of-applications-and-manufacturing-processes-of-foam-glass>

1.2 – Štěrk z pěnového skla (frakce 16-32mm)

Zdroj: <http://www.dk1.cz/cz/kamenivo-a-palivo/sypke-stavebni-materialy/>

1.4 – Řez vypěněným sklem po vyjmutí z formy

Zdroj: https://www.youtube.com/watch?v=lummv_v5zi0

1.5 - Struktura pěnového skla (400 μm = 0,4mm)

Zdroj: <http://www.izolace.cz/clanky/detail/981-vyuziti-penoveho-skla-v-provoznich-strechach>

TABULKY

Tabulka 1.1 – Posouzení vlivu na životní prostředí pro různé tepelné izolace

Zdroj: <http://www.thefuturebuild.com/news/product-review-foamglas-insulation-systems>

Tabulka 1.2 – Výpis vlastností podle vybraných výrobců a frakce

Zdroje: <http://www.refaglass.cz/prohlaseni-o-vlastnostech/>
<http://www.geocell-schaumglas.eu/cz/produkty/penove-sklo/technicka-data/>
<http://www.penove-sklo.net/technicky-list-penove-sklo-a-glass/>