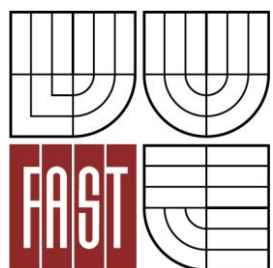




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

# POROVNÁNÍ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ A TECHNOLOGIÍ POKLÁDKY LEHKÝCH STAVEBNÍCH HMOT PRO PODLAHOVÉ KONSTRUKCE

COMPARISON OF TECHNICAL CHARACTERISTICS AND TECHNOLOGY OF LAYING LIGHT  
BUILDING MATERIALS FOR FLOOR CONSTRUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. KAREL MIKULICA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. RUDOLF HELA, CSc.

BRNO 2015



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Karel Mikulica
<b>Název</b>	Porovnání technických vlastností a technologií pokládky lehkých stavebních hmot pro podlahové konstrukce
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	18. 3. 2014
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	16. 1. 2015

V Brně dne 18. 3. 2014

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

- firemní a technické listy a prospekty
- zahraniční a tuzemské odborné časopisy
- internetové zdroje

## **Zásady pro vypracování**

V současné době se pro konstrukce podlah obytných či průmyslových objektů, pro dosažení vhodných tepelně izolačních či zvukově izolačních vlastností, využívá velký sortiment lehkých stavebních hmot. Velký objem zaujímá technologie vylehčených silikátových hmot, či jejich kombinace s klasickými tepelně izolačními materiály v deskové formě.

Cílem práce bude sestavit různé varianty konstrukcí těchto typů podlah, popsat jejich technické parametry, náročnost na provádění a ekonomické srovnání. Hlavním předmětem zájmu budou pro nosnou část podlah tyto materiály:

- pěnobetony s různou objemovou hmotností a pevností
- polystyrénbetony, polystyrénpěnobetony,
- perlitobetony
- lehké betony s pórovitým kamenivem atd.

V experimentální části navrhnete různé varianty receptur pro nosnou pochůznou vrstvu, stanovte objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku, součinitele tepelné vodivosti, útlum kročejového hluku a cenu. Dále navrhnete vhodné technologie jejich staveništní ukládky včetně dopravy a zhutňování. Navrhnete také různé varianty podlah s využitím lehkých betonů a klasických plošných tepelně a zvukově izolačních materiálů ve formě desek či násypů. Popište technické vlastnosti těchto systémových řešení včetně porovnání pracnosti při jejich realizaci a ekonomického porovnání. Zohledněte návrhy řešení pro jednotlivé typy podlahových konstrukcí dle užití, tvaru či tloušťek podlah.

Rozsah minimálně 80 stran textu

## **Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....

prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce je zaměřena na představení tepelně - izolačních materiálů určených do podlahových konstrukcí. Experimentální část se věnuje porovnání fyzikálně - mechanických vlastností navržených velmi lehkých betonů s cementovým pojivem. Stěžejní část práce je věnována způsobům dopravy a pokládky jednotlivých typů tepelně - izolačních materiálů. Na závěr jsou navrženy skladby podlahových konstrukcí s ohledem na jejich vlastnosti a cenu.

## **Klíčová slova**

Lehký beton, pěnobeton, minerální izolace, pěnové sklo, objemová hmotnost, pevnost v tlaku, tepelná izolace, kročejová izolace, doprava a pokládka stavebních materiálů, podlahových konstrukcí.

## **Abstract**

This graduation thesis is aimed to presentation heat isolation materials for the floor constructions. The experimental part is devoted physical - mechanical properties suggested very light concretes with the cement. The main part of the thesis is devoted to form of the transit and putting of the individual heat isolation materials. In the end are suggested structures of the floor constructions with the respect to their properties and price.

## **Keywords**

Lightweight concrete, foamed concrete, mineral isolation, foam glass, bulk density, compressive strength, heat isolation, walking isolation, transit and putting building materials, floor construction.

## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Karel Mikulica *Porovnání technických vlastností a technologií pokládky lehkých stavebních hmot pro podlahové konstrukce*. Brno, 2014. 124 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15.1.2015

.....

podpis autora

Bc. Karel Mikulica

**Poděkování:**

Tímto bych rád poděkoval mému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Rudolfu Helovi, CSc. za odborné vedení a cenné rady při zpracování této diplomové práce.

V Brně dne 15. 1. 2015

Bc. Karel Mikulica

## Obsah

<b>Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>Cíle práce.....</b>	<b>13</b>
<b>1. Lehká staviva.....</b>	<b>14</b>
<b>2. Lehké betony.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Betony s vylehčenou maltovinou.....</b>	<b>19</b>
2.1.1 PĚNOBETON.....	19
2.1.2 POLYSTYRENPĚNOBETON.....	21
<b>2.2 Lehká plniva a lehké betony z nich vyráběné.....</b>	<b>22</b>
2.2.1 ŠKVÁRA A ŠKVÁROBETON.....	23
2.2.2 PERLIT A PERLITOBETON.....	24
2.2.3 VERMIKULIT A VERMIKULITBETON.....	26
2.2.4 KERAMZIT A KERAMZITBETON.....	27
2.2.5 POLYSTYREN A POLYSTYRENBETON.....	28
2.2.6 KONOPÍ A KONOPNÝ BETON.....	31
<b>3. Deskové tepelně izolační materiály.....</b>	<b>34</b>
3.1 Pěnový polystyren.....	34
3.2 Minerální vlákna.....	37
3.3 Pěnový polyetylen.....	38
3.4 Torfoleum.....	38
<b>4. Pěnové sklo.....</b>	<b>40</b>
<b>5. Izolace z přírodních materiálů.....</b>	<b>42</b>
5.1 Ovčí vlna.....	42
<b>6. Orientační přehled izolačních materiálů - vlastnosti a ekologie.....</b>	<b>44</b>
<b>7. Varianty receptur pro pochozí vrstvu.....</b>	<b>46</b>
7.1 Složení betonu.....	46
7.1.1 Cement.....	46
7.1.2 Záměsová voda.....	46



7.1.3 Plniva a příměsi.....	48
7.1.4 Pěnotvorné přísady.....	48
<b>7.2 Použité laboratorní zkoušky.....</b>	<b>49</b>
7.2.1 Pevnost v tlaku.....	49
7.2.2 Objemová hmotnost $\rho_v$ .....	50
7.2.3 7.2.3 Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ .....	50
<b>7.3 Názvosloví navržených receptur.....</b>	<b>53</b>
7.3.1 PBG 200.....	54
7.3.2 PBG 450.....	55
7.3.3 PBG 750.....	57
7.3.4 SIRCONTEC PBG 35.....	58
7.3.5 SIRCONTEC PBG 40.....	60
7.3.6 CEMEX Poroflow F 600.....	61
7.3.7 CEMEX Poroflow F 900.....	63
7.3.8 CEMEX Poroflow FS 600.....	64
7.3.9 KPSB 600.....	65
7.3.10 KVB 1000.....	66
7.3.11 LKB 700.....	67
7.3.12 PTB 600.....	68
7.3.13 PTB 800.....	69
7.3.14 KB 800.....	70
<b>7.4 Souhrnné výsledky navržených receptur.....</b>	<b>73</b>
7.4.1 Objemová hmotnost.....	73
7.4.2 Pevnost v tlaku.....	74
7.4.3 Součinitel tepelné vodivosti.....	75
7.4.4 Stanovení ceny jednotlivých navržených receptur.....	78
<b>8. POROVNÁNÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ Z HLEDISKA JEJICH DOPRAVY .....</b>	<b>80</b>
<b>8.1 Foukání.....</b>	<b>80</b>
<b>8.2 Doprava litých a polosuchých směsí.....</b>	<b>81</b>
8.2.1 Putzmeister SP 20.....	82

8.2.2 Putzmeister 715.....	83
<b>8.3 Míchání a čerpání směsi in-situ.....</b>	<b>83</b>
8.3.1 SIRCONTEC MS 1000.....	84
8.2.2 Putzmeister MT 740.....	85
<b>8.4 Balená surovina.....</b>	<b>86</b>
<b>8.5 Oceňování dopravy.....</b>	<b>87</b>
8.5.1 Orientační ceník pronájmu šnekového čerpadla.....	87
<b>9. Porovnání tepelně - izolačních materiálů z hlediska náročnosti na pokládku.....</b>	<b>88</b>
9.1 Lité izolace na cementové bázi.....	89
9.2 Hutné a polosuché izolace na cementové bázi.....	91
9.3 Granuláty.....	92
9.4 Desky a rohože.....	93
<b>10. Návrhy skladeb tepelně - izolačních podlah.....</b>	<b>95</b>
10.1 PRŮMYSLOVÉ OBJEKTY - podlahové konstrukce na terénu.....	96
10.2 PRŮMYSLOVÉ OBJEKTY - stropní podlahové konstrukce.....	99
10.3 BYTOVÉ DOMY - podlahové konstrukce na terénu.....	103
10.4 BYTOVÉ DOMY - stropní podlahové konstrukce.....	106
10.5 PLOCHÉ STŘECHY.....	111
10.6 REKONSTRUKCE.....	113
<b>Závěr.....</b>	<b>115</b>
<b>Seznam zdrojů.....</b>	<b>117</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>120</b>

## Úvod

Každodenně se řada architektů, projektantů a stavitelů potýká s otázkou, jak co nejlevněji, nejsnadněji a zároveň při zachování co nejlepších tepelně a zvukově izolačních vlastností vyplnit prostor mezi podkladní/stropní nosnou a podlahovou roznášecí konstrukcí. V době hi-tech technologií a nepřeborném množství stavebních materiálů je těžké se na trhu orientovat, kdy řada výrobců nabízí téměř shodné výrobky s papírově velmi podobnými vlastnostmi z přírodních či uměle vyráběných materiálů, které mohou být na stavbu dodávány již ve ztvrdlém stavu, nejčastěji v podobě desek či granulátu nebo vyráběny přímo in-situ či v nedaleké betonárně a na místo pokládky dopravovány v kapalném skupenství. Tento prostor se netýká pouze nových obytných a průmyslových objektů, ale i těch z dob minulých, které momentálně čeká rekonstrukce.

S moderní dobou jsou prostě i naše nároky na pohodu životního prostředí mnohem vyšší než kdykoliv dřív. Tam, kde se dřív schovávala stavební suť, škvára, sláma či odpad z probíhající výstavby, je dnes pečlivě poskládaná tepelně izolační vrstva splňující ty nejpřísnější nároky na fyzikálně-mechanické vlastnosti, ekologičnost, životní pohodu, dlouhověkost a následnou recyklaci. Také útlum kročejového hluku a zvukovou neprůzvučnost naše předky příliš nezajímaly, ale to bylo způsobeno spíše tím, že nejenže neexistovaly normy zabývající se tímto problémem, neexistovala ani zařízení, která by dokázala nějak změřit danou problematiku a už vůbec neexistovaly materiály, které by řešily daný problém.

Problémem jsou především rekonstrukce starých objektů, kde často nevíme, co za překvapení na nás číhá pod vrstvami starých podlahovin či roznášecích desek. Často jsou tvořeny z materiálů, které sice v době vzniku stavby mohly být super moderní či dokonce hi-tech, ale kdy my již s ohledem na dlouhodobý výzkum víme, že tomu tak ve většině případů není. Dokonce jsme zjistili, že některé tyto materiály jsou dokonce člověku nebezpečné, příkladem může být dříve velmi hojně využívaná škvára či škvárobeton.

Dalším jevem především u rekonstrukcí je, že oproti dnešním trendům ve stavebnictví, kdy je kladen velký důraz na bezbariérový pohyb osob, zvířat a věcí v objektu, bylo normální, když jednotlivé prostory na sebe výškově nenavazovaly, protože jednotlivé prostory byly dodatečně přistavovány. Při rekonstrukci musíme brát v potaz různou tloušťku jednotlivých vrstev vzhledem i k rozličným tloušťkám nášlapných podlahovin a roznášecích podlahových konstrukcí lišících se dle budoucího zatížení.

## **Cíle práce**

Hlavním úkolem této diplomové práce je představit nejčastěji používané lehké stavební materiály pro nosnou pochůznou vrstvu podlah na bázi vylehčených silikátových hmot jako jsou pěnobeton, pěnopolystyrenbeton, polystyrenbeton, perlitobeton, keramzitbeton v porovnání s klasickými tepelně izolačními materiály v deskové nebo granulované formě jak z pohledu fyzikálně-chemických vlastností, tak z pohledu složitosti dopravy, pokládky a ceny.

V experimentální části budou u navržených variant receptur ověřeny jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti a jejich vhodnost využití jako tepelně izolační či zvukově izolační materiál v podlahových konstrukcích.

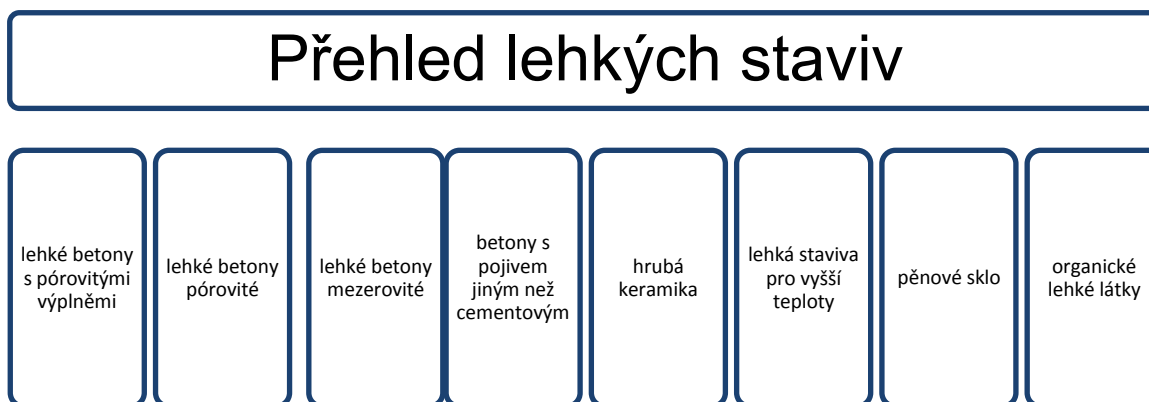
Dále budou sestaveny různé varianty konstrukcí těchto typů podlah s ohledem na technické parametry, náročnost na provádění a ekonomické srovnání. Konkrétní návrhy řešení budou zohledňovat jednotlivé typy podlahových konstrukcí dle užití, tvaru či tloušťek podlah.

## 1. Lehká staviva

Lehká staviva jsou všeobecně všechny materiály používané ve stavebnictví za účelem odlehčení stavební konstrukce ze statického hlediska nebo pro zlepšení tepelně izolačních vlastností stavby.

Všeobecně lze říci, že všechny lehká staviva jsou lehká díky pórům obsahujícím plyn, ať už jde o vzduch, oxid uhličitý apod.. Známe nespočet druhů lehkých staviv, pro snazší orientaci bych využil následujícího přehledu.

Obr. 1 Přehled lehkých staviv



Zdroj: [1]

V následujících kapitolách budou představeny vybraná lehká staviva vhodná pro tepelnou izolaci podlahových konstrukcí.

## 2. Lehké betony

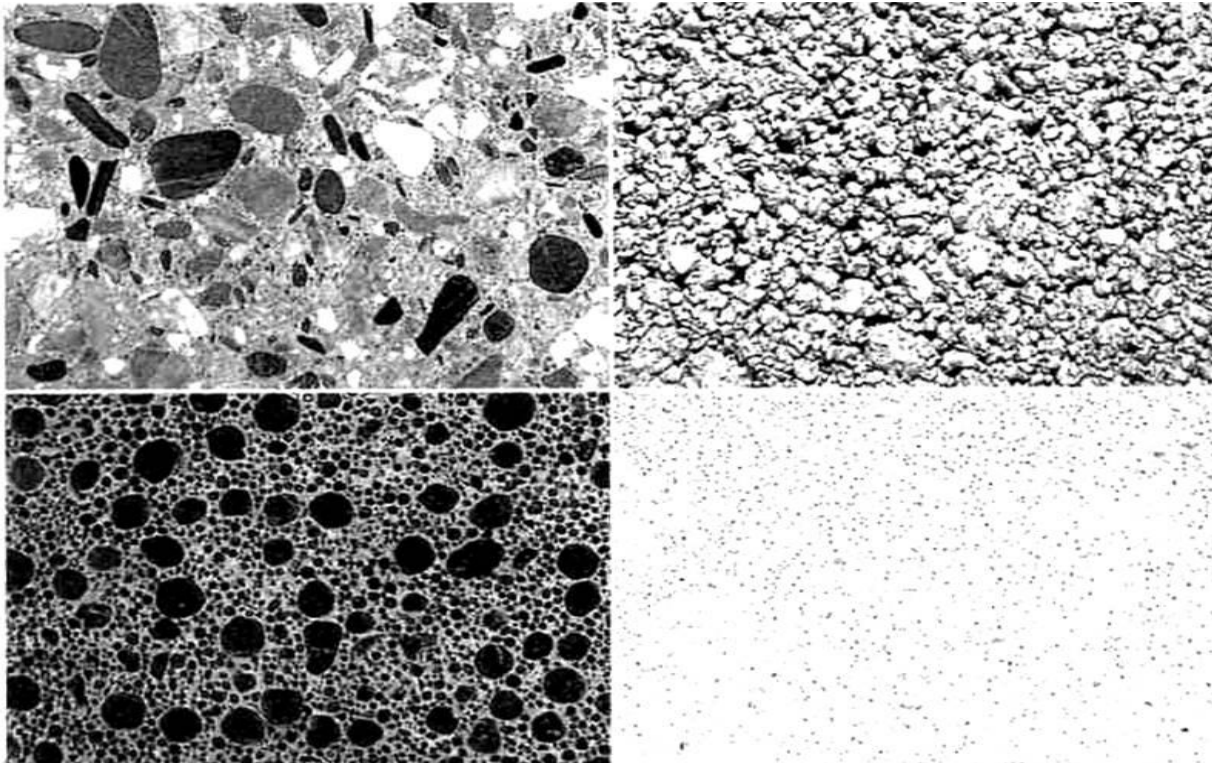
Beton je stavivo, jehož základními složkami jsou cement, voda a kamenivo. Dále mohou být obsaženy různé příměsi, přísady nebo výztuže. Betony s objemovou hmotností do  $2\,000\text{ kg/m}^3$  označujeme jako lehké betony. Lehčené betonové směsi jsou používány již od starověku, kdy se do vápenných pojiv zamíchávala lehká přírodní kameniva v podobě lávových tufů, tufitů a křemeliny. Tyto betony bývaly zpočátku využívány spíše jako izolační a výplňové hmoty. V posledních cca 45 letech jsou však tyto betony používány i jako konstrukční. Díky vylehčení póry či lehkým pórovitým kamenivem dosahují maximální objemové hmotnosti  $2\,000\text{ kg/m}^3$  při dosahování pevnosti v tlaku až 60 MPa. Při navrhování nosných konstrukcí tak lze použít daleko subtilnější konstrukční prvky a tím snížit objem materiálu v konstrukci, čímž dojde nejen ke snížení stálého zatížení konstrukce, ale mnohdy i ke snížení celkové ceny konstrukce. Další výhodou je i ekologický aspekt, jelikož většina dnes vyráběného lehkého kameniva je vyrobena z průmyslových odpadů, které se tím pádem nemusí jen ukládat na skládkách, ale jsou dále systematicky využívány. [9]

Základním stavebním kamenem lehkých betonů a pěnobetonů je nízká objemová hmotnost. Snížení objemové hmotnosti betonu lze docílit několika způsoby:

- Použitím pórovitého kameniva pro mezerovitý nebo hutný lehký beton.
- Provzdušněním s použitím provzdušňovací přísady, za účelem zvýšení mrazuvzdornosti betonu a současně se sníží objemová hmotnost betonu jen asi o 4 až 6 %.
- Vytvořením pěny pomocí pěnotvorné přísady a zamícháním s ostatními složkami betonu vznikne pěnobeton. [5]

Podle způsobu snížení objemové hmotnosti dělíme lehké betony na mezerovité betony, betony s vylehčenou maltovinou a betony s lehkým kamenivem.

Obr. 2 Pohled na řezy různými lehkými betony



Zdroj: [6]

Mezerovitý beton se vyrábí z kameniva s omezením jemných frakcí. Struktura obsahuje velké množství mezer. Mezery mohou být vyplněny vzduchem nebo provzdušněnou maltou. Jako plnivo se používá hutné nebo lehké kamenivo. Dosažená pevnost je závislá na druhu kameniva, množství cementu a dalším zpracování. Pevnost se pohybuje okolo 1 – 10 Mpa a objemová hmotnost okolo 500 – 1 500 kg/m<sup>3</sup>. Smrštění je malé, odolnost vůči mrazu je velmi dobrá, protože je omezeno kapilární vztlínání (omezené množství kapilár). [8]

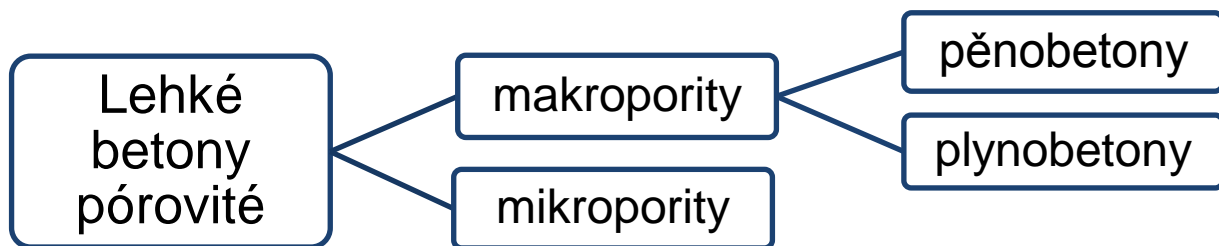
Betony, u kterých se snížení objemové hmotnosti provede použitím lehkého kameniva, se také nazývají lehké betony s pórovitými výplněmi. Může být použito anorganické kamenivo nebo organické plnivo. Jako organické plnivo lze použít piliny nebo slámu, ale také uměle vyrobené organické hmoty, např. polystyren. Polystyrenový beton je složený z drobného těžného kameniva, polystyrenových granulí, cementu a vody s přidavkem plastifikátoru. Objemová hmotnost a pevnost polystyrenového betonu závisí na podílu



polystyrenových granulí. Lze dosáhnout hodnotu objemové hmotnosti  $250 \text{ kg/m}^3$ . [8] Polystyrenbeton je možné použít jen jako výplňový, např. na izolační vrstvy střech. Jako anorganické kamenivo pro výrobu lehkého betonu lze použít buď přírodní tufy, lávu, pemzu nebo křemelinu, nebo uměle vyrobené – perlit, cihelný recyklát, vysokopeční strusku nebo v ČR nejčastěji používaný Liapor – lehké kamenivo z expandovaného jílu.

Lehké betony pórovité jsou betony s vylehčenou maltovinou. Základním faktorem při výrobě každého pórovitého betonu je, že do čerstvé záměsi malty vmícháme plynotvorný či pěnotvorný přípravek a podle požadovaných objemových a pevnostních charakteristik i jemné křemičité písky, které často ještě domíláme. Lehké pórovité betony se dělí podle velikosti pórů na makropority a mikropority. Makropority obsahují póry o velikosti v průměru  $0,1 - 1,0 \text{ mm}$ , tedy makroskopické póry, které je možno vidět pouhým okem. Vznikají při chemické reakci pěnotvorné či plynotvorné přísady se záměsovou vodou. Oproti tomu mikropority mají mikroskopické póry o průměru pouhých  $0,001 \text{ mm}$ , které už pouhým okem nevidíme. Tyto póry vznikají vypařením nadbytečné vody z jemnozrnné malty s obsahem vápna vylehčené submikroskopickými póry, tato technologie je bohužel závislá na použití nákladných autoklávů v procesu výroby. [9]

Obr. 3 Přehled lehkých pórovitých betonů



Zdroj: [1]

U pórobetonu se vylehčení maltoviny dosahuje vývojem plynu, který zanechává ve struktuře póry vhodných velikostí. Pórobeton se vyrábí ze směsi složené z křemičitého plniva, pojiva, vody, plynotvorné přísady a regulačních přísad. Jako křemičité plnivo se používá křemičitý popílek (z elektráren nebo tepláren) nebo křemičitý písek. Pojivo může být cement nebo jemně mleté vápno. Regulátorem tuhnutí je sádrovec nebo anhydrit. Plynotvorná přísada je hliníkový prášek nebo hliníková pasta,

které zabezpečují nakypření hmoty ve formě. [8] Konečné vlastnosti získává pórobeton většinou autoklávováním, tj. v tlakové nádobě za působení vyššího tlaku a teploty okolo 190 °C. Z pórobetonu se vyrábí nejčastěji tvárnice (YTONG, Porfix, Hebel).

## 2.1 Betony s vylehčenou maltovinou

Do skupiny betonů s vylehčenou maltovinou patří pěnobetony, polystyrenpěnobetony a další lehké betony do kterých je pro snížení objemové hmotnosti vmíchávána organická pěna.

### 2.1.1 PĚNOBETON

Pěnobetony jsou velmi lehké betony vyráběné z jemnozrnných cementových malt jejich napěněním pomocí pěnotvorné přísady. Pěnobeton se v širším poli působnosti využívá až posledních cca 30 let. Jeho historie je však daleko starší. Již v roce 1923 byl vyvinut a patentován v Rusku jako izolační materiál. Původní pěnidlo bylo vyráběno z dnes již neznámé rostliny rostoucí ve střední Asii. V roce 1954 byl pěnobeton odborné veřejnosti představen ve stavebním věstníku. Z důvodu nestejných vlastností původních pěnotvorných přísad však nedošlo ihned k jeho začlenění mezi ostatní stavební materiály a to až do doby průmyslové výroby pěnotvorného koncentrátu o identických vlastnostech. V současnosti se pěnobeton používá především jako izolační a vyrovnávací vrstva ve vodorovných konstrukcích podlah a střech a jako materiál k vyplňování dutin. [9]

Pro výrobu pěnobetonů je nejdůležitější kvalita technické pěny, která je alfou a omegou celé koncepce výroby pěnobetonu. Přímo na technické pěně můžeme zkoušet několik specifických vlastností jako je objemová hmotnost, vydatnost, poločas odloučivosti pěny a číslo napěnění. Stabilita v čase technické pěny po zamíchání je velmi důležitá pro dobu zpracovatelnosti, ale především pro stabilitu vzduchových pórů do doby než dojde k tuhnutí a následnému zatvrdnutí cementového mléka. Pokud by vyrobená technická pěna nebyla vyhovující došlo by ke zhroucení pórovité struktury pěnobetonu v celé vrstvě.

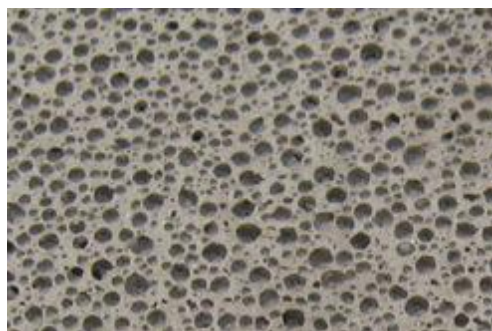
Technickou pěnu můžeme vyrábět odděleně mimo míchací centrum s cementovým mlékem pomocí pěnotvorných trysek pracujících s atmosférickým či se stlačeným vzduchem nebo přidáme pěnotvorný koncentrát do míchacího centra přímo během dávkování záměsové vody, ale v tomto případě je potřeba míchací centrum schopné

dosahovat takové rychlosti míchání, aby se dala technická pěna během míchání vyšlehat.

V praxi se nejvíce osvědčil systém pracující se samostatnou pěnotvornou tryskou, která je připojena na vodní řadu a na zdroj elektrické energie. Zařízení obsahuje nádobu na vodu, která je následně pomocí čerpadla regulovatelně dávkována a zásobník stlačeného vzduchu. Pěnotvorná přísada je pomocí podtlaku od proudící vody nasávána přes nastavitelné ústí, smícháním přísady s vodou vzniká roztok, který je napěněn stlačeným vzduchem. Výhoda takového zařízení spočívá především v tvorbě technické pěny stálých vlastností přímo na míru požadavkům a potřebám dané receptury pěnobetonu. Další výhodou je, že zařízení je mobilní a lze je převážet mezi jednotlivými stacionárními betonárnami, dle momentální potřeby výroby pěnobetonů.

Jednoduché pěnotvorné trysky pracující s atmosférickým vzduchem jsou sice velice jednoduché, lehké, skladné a kromě přípojky na zdroj vody nepotřebují vůbec nic. Ale technická pěna jimi vyráběná má velmi často rozdílné vlastnosti, protože průtok vody lze velmi špatně regulovat a spíše záleží na aktuálním tlaku ve vodovodním řadu. Jinak je princip velmi podobný technologii se stlačeným vzduchem, tekoucí voda podtlakem nasává pěnotvorný koncentrát (zde regulace pouze použitím přívodních hadiček o různých průměrech), ten se smíchá s vodou a následně je tato směs napěněna pomocí vzduchu, který je nasáván z okolí pomocí perforovaného nadstavce.

Obr. 4 Řez pěnobetonem



Zdroj: [19]

## 2.1.2 POLYSTYRENPĚNOBETON

Pěnobeton s příměsí granulátu pěnového polystyrenu se odborně nazývá polystyrenpěnobeton, jde o jemnozrnnou cementovou maltu, která je provzdušněná pomocí napěňovací přísady a dále obsahuje příměs kuliček pěnového polystyrenu. Výhodami této směsi jsou výborné tepelně izolační vlastnosti podobné pěnobetonům s tím rozdílem, že díky příměsí granulátu pěnového polystyrenu se dá daleko více pracovat s jeho konzistencí a díky tomu lze tuto směs ukládat i do spádu, což u klasického pěnobetonu i při upravené receptuře lze jen velmi obtížně.

U polystyrenpěnobetonů hrozí obdobný problém se smáčením kuliček pěnového polystyrenu. Zde však lze praktikovat při výrobě jednodušší řešení a to i bez použití smáčedel. Při použití technické pěny nedochází k tvorbě hluchých míst i díky tomu, že konzistence polystyrenpěnobetonů je zpravidla řidší než u běžných polystyrenbetonů, vše však závisí na požadované objemové hmotnosti, dávce pěnového polystyrenu a výsledných fyzikálně - mechanických vlastnostech.

Při přípravě směsi polystyrenpěnobetonů se část záměsové vody a pěnový polystyren dávkuje předem, aby došlo k navlhčení a separaci jednotlivých kuliček pěnového polystyrenu. Pokud bychom tak neučinili, mohlo by docházet k tvorbě shluků, které následně nebudou uvnitř spojené cementovým mlékem.

Obr. 5 Tvorba spádových klínů z polystyrenpěnobetonu na střeše centra AdMaS v Brně



## 2.2 Lehká plniva a lehké betony z nich vyráběné

Při výrobě je třeba si uvědomit, že vlastnosti lehkých betonů závisejí především na množství dávkovaného cementu, druhu lehkého kameniva a jeho zrnitosti a velikosti objemu pórů. Pevnost pojiva má menší vliv než u hutného betonu. [6]

Lehké kamenivo může být dávkováno hmotnostně nebo objemově. Při hmotnostním dávkování je nutno mít na paměti závislosti vlhkostí (povrchová, jádrová a vlastní vlhkost), které mohou při různém způsobu skladování a různé skladovací době silně kolísat. U kameniva s max. zrnem  $> 4$  mm ovlivňuje vlastní vlhkost sypanou hmotnost tak výrazně, že se doporučuje objemové dávkování. Ostatní složky se dávkují hmotnostně. Doba míchání má být nejméně 1,5 minuty. [6]

Při přepravě hutného lehkého betonu z výroby transportbetonu dochází podle doby trvání přepravy k odebírání vody kamenivem z cementové kaše. Tím se výrazně ovlivňuje konzistence - beton postupně ztrácí zpracovatelnost. [6]

Hutný lehký beton se zpracovává obdobně jako obyčejný beton. Velikost zhutňovací práce je však větší, protože se tlumí kmity vibrátoru, takže je okruh jeho účinnosti menší. Proto je třeba zmenšit vzdálenost vpichu, nebo vzdálenosti umístění příložených vibrátorů. [6]

Ošetřování odpovídá obyčejnému betonu. Zabránění vyschnutí povrchu lehkého betonu se musí věnovat ještě větší pozornost, protože by došlo k velkému vlhkostrádu mezi jádrem a vnějšími vrstvami, což by mělo za následek vznik trhlinek. Při předvlhčení - nasycení vodou pórovitého lehkého kameniva ovšem pozitivně působí tzv. efekt samoošetřování, kdy voda saturovaná v pórovitém kamenivu se postupně při zrání betonu uvolňuje zpět do struktury betonu a takto vlastně zásobuje dodatečně cementovou maltu vodou. [6]

Vývoj pevnosti u hutného lehkého betonu probíhá odlišně než u obyčejného betonu. Důvodem je, že pevnost kameniva je zpravidla menší než pevnost pojivové malty. V prvních dnech je nárůst pevnosti podobný jako u obyčejného betonu, po 7 dnech je již dosaženo téměř 28 denní pevnosti. [6]

Lehký hutný beton se při hydrataci v důsledku horšího odvodu tepla více ohřívá. To má za následek větší teplotní rozdíl podél průřezu. Tento účinek se do určité míry kompenzuje menší tepelnou roztažností a nižším modulem pružnosti. Dilatační spáry se navrhují obdobně jako u normálního betonu. [6]

Při tepelném zpracování výrobku se používá nižších teplot neboť se uplatňuje i vlastní hydratační teplo, které není tak rychle odváděno. Z tohoto důvodu se doba odležení před tepelným urychlováním volí delší, nárůst teplot je pomalejší než u hutných betonů. [6]

Dále bych se již věnoval představení několika nejpoužívanějších lehkých plniv a betonů z nich vyráběných na našem území.

### 2.2.1 ŠKVÁRA A ŠKVÁROBETON

Škváry vznikají při spalovacím procesu různých druhů kamenného a hnědého uhlí, hořlavých břidlic a jiných pevných paliv a představují vlastně zpevnělé, nikoliv však úplně roztavené minerální zbytky uvedených pevných paliv, mohou vznikat na roštích nebo i jiných topeništích. [3]

Volně sypaná škvára dosahuje objemové hmotnosti v rozmezí 400 - 1000 kg/m<sup>3</sup>. Bohužel nemůžeme jako kamenivo použít jakoukoliv škváru, je příliš mnoho vjemů které by na následnou betonovou směs měli fatální následky, převážně se jedná o druh výchozího paliva a množství a stav jeho zbytků na škváře. Hlavně škvára vzniklá ze zbytků hnědého uhlí má velkou objemovou nestálost, rozpíná se ve vlhku. Dále nesmí být přítomen volný oxid vápenatý a hořečnatý. Škodlivost vápna se však dá odstranit dlouhotrvajícím skladováním (volně uložena na odvalech alespoň 6 měsíců), pokud došlo k jeho rozhašení již v době úpravy při drcení. Nebezpečím mohou být i rozpustné soli a sloučeniny síry.

Škváru před zpracováním nikdy nesusíme, naopak vlhčíme. Objemová hmotnost škvárového betonu bývá 1300 až 1700 kg/m<sup>3</sup> podle požadované pevnosti a přídatku cementu. Tomu odpovídající pevnost v tlaku bývá 3 - 8 MPa při mezerovité struktuře betonu nebo až 12 MPa při hutném betonu. Při větším obsahu cementu a při větších

objemových hmotnostech je však možné u hutného škvárového betonu dosáhnout pevnosti v tlaku až 17 MPa. [3]

Obr. 6 Úlomek škvárobetonu



## 2.2.2 PERLIT A PERLITOBETON

Jako perlit označujeme kyselé, vodu obsahující vulkanické ryolitové (liparitové) sklo, mezozoického až kenozoického stáří, které je složeno v podstatě z amorfního křemičitanu hlinitého. Mineralogický název perlit potom souvisí s texturou této horniny, která často připomíná drobné navzájem spojené perličky. Tato textura a i odlučnost vznikly vnitřním pnutím při chladnutí vulkanického skla. Obsah vody bývá 2 až 3 %, max 4 až 5 %. Hygroskopická vlhkost perlitu bývá 0,5 až 1,5 %. Obsidián, který je jinak obdobně složen, obsahuje vodu do 1 % a bývá průsvitnější. Šmolky pak obsahují kolem 10 % vody. Objemová hmotnost perlitu bývá 1600 až 2000 kg/m<sup>3</sup>, přičemž jeho pórovitost činí až 50 %. Perlit je křehký a poměrně snadno se drtí. Barva perlitu je šedá, modrošedá, příp. i hnědavá nebo okrová. Sypná hmotnost drceného perlitu je cca 1100 kg/m<sup>3</sup>. [3]



Voda z perlitu se uvolňuje v rozmezí 250 až 1275 °C. Podle původu se jedná o vodu jednak magmatickou, jednak druhotnou, která zahrnuje vodu adsorbovanou a vodu zeolitickou. Zeolitická voda má nejpevnější vazbu ze slabě vázané molekulární vody a uniká ze suroviny dosti spojitě, avšak až při zahřátí na vysoké teploty, a podílí se tedy na expandování perlitu, když se tento dostal při 850 až 1200 °C do pyroplastického stavu. [3]

Zrna perlitu větší než asi 3 mm neexpandují za uvedených okolností úplně, zvláště když zrna při expandování rozpraskají. Příliš jemné zrnění suroviny způsobuje vysoký úlet prachu, který má sice malou objemovou hmotnost, ale též nepatrné pevnosti a vysokou nasákavost. Prachové podíly jsou nepříjemné též tím, že se v používaných pecních agregátech nalepují na stěny. [3]

Do výroben expandovaného perlitu se dováží surový předdrcený a předsušený perlit z Lehotky pod Brehmi i na vzdálenost několika set kilometrů. Expandace se potom provádí v centrech spotřeby. Toto je výhodné proto, že z jednoho nákladního vozu suroviny se vyrobí sedm i více vozů expandovaného perlitu. [3]

Expandovaný perlit je sklovitý, bílé barvy, opálově zakalený a velmi jemně pórovitý. Jsou to vlastně drobné kuličky polyedrické pěny. Proti jiným druhům pórovitého kameniva má některé příznivější vlastnosti, a to především nízkou objemovou hmotnost, která je nejdůležitějším ukazatelem jeho jakosti. Pohybuje se od 70 do 450 kg/m<sup>3</sup>. Menší objemové hmotnosti příslušejí jemnějším frakcím, které se obyčejně zachytávají v cyklónech. Nejjemnější podíly do 0,3 mm se někdy v zahraničí označují jako vakulity. Náš expandovaný perlit EP 100 mívá zpravidla objemovou hmotnost 80 kg/m<sup>3</sup>, perlit EP 150 potom 120 až 150 kg/m<sup>3</sup>. [3]

Expandovaný perlit je jedním z nejlepších izolačních materiálů. Zásyp z něho při zrnitosti do 3 mm při objemové hmotnosti 100 kg/m<sup>3</sup> má součinitel tepelné vodivosti 0,06 W/m.K. Expandovaný perlit má nepatrnou hygroskopičnost. Avšak nasákavost zejména u nejjemnějších frakcí je velmi vysoká a může činit i přes 300 % hmotnostně. Pouze hrubší méně expandovaná zrna perlitu mají nasákavost menší než 100 % hmotnostně. Nasákavost je tedy jednou z nejméně příznivých vlastností perlitu.

Expandovaný volně sypaný perlit má dobrou zvukovou pohltivost při středních a vysokých frekvencích. Při 1200 Hz v tloušťce 20 mm je zde koeficient pohltivosti zvuku až 0,68. [3]

Expandovaný perlit se často používá jako tepelně izolační materiál ve formě zásypů pro nízké i vysoké teploty, jak pro průmyslové izolace (od 200 do 900 °C), tak na stavbách, např. do dutých stěn, izolačních jader, pro zateplení stropů a podlah, pro teplovodní izolace apod. Jako malta nebo beton se perlit může používat s nejrůznějšími pojivy, např. s cementem, sádrou, vápnem, Sorelovou maltovinou, vodním sklem, bitumenovou emulzí, hlinitou suspenzí s pojivy z plastických látek apod. Osvědčilo se přitom jak přímé zpracování na stavbě, tak používání prefabrikátů. Nejdůležitější výrobky z expandovaného perlitu u nás jsou i perlitové malty, betony, keramoperlit, bitumenperlit, perlitové podušky, suché perlitové omítky, vapex, vapol, plastperlit. [3]

Pokud se týká přípravy perlitových betonů, zhotovují se mokřím způsobem smícháním EXPERLITU s cementem. Perlitbetony se označují značkou PTB a číslem, udávající jeho objemovou hmotnost. [3]

### 2.2.3 VERMIKULIT A VERMIKULITBETON

Hlavním zástupcem slíd schopných průmyslového expandování je vermikulit. Je to tmavohnědý až tmavě šedo zelený hydratizovaný hořečnatohlinitý slídovitý křemičitan, vzniklý zvětráváním jiných slíd. Svě jméno má vermikulit právě od červíčkovitých útvarů vznikajících z něho žárovou expanzí (vermiculus = červ). Nachází se ve značném množství v zemích bývalého Sovětského svazu, USA, Africe, Austrálii, Indii a jiných zemích a jeho zpracování je dosti rozšířeno. U nás jsou výskyty této suroviny velmi omezené. Tak je známo menší ložisko vermikulitu severně od Dubiny u Zruče n. Sázavou. Vermikulitu je příbuzný hydrobiotit, což je navětralá tmavá slída s vyšším obsahem vody, než má biotit. Hydrobiotit se u nás vyskytuje např. v Líšni u Brna. [3]

Surový vermikulit má sypanou objemovou hmotnost 1400 až 1500 kg/m<sup>3</sup>. Expandování možno provádět v různých pecích, např. v souprůdých rotačních pecích při teplotě 800 až 900 °C. Jeho barva se tím změní na zlatově hnědožlutou se silným leskem. Objem se zvětší 5 až 20 krát. Objemová hmotnost expandovaného vermikulitu bývá jenom 60

až 200 kg/m<sup>3</sup> a tudíž vermikulit má velmi nízký součinitel tepelné vodivosti. Protože teplota tání vermikulitu je asi 1350 °C, je ho možno používat pro tepelné izolace i při vyšších teplotách. V zahraničí se vermikulit používá pro průmyslové tepelné izolace, při výrobě laků a barev a v jiném chemickém průmyslu. Ve stavebnictví se užívají tepelně izolační malty a betony. Musí být míchány jen krátce, aby se zrna vermikulitu nerozrušovala. Aby betonová směs byla dobře zpracovatelná, musí být její vodní součinitel velmi vysoký. Obsah vody může činit až 50 % hmotnosti betonu. [3]

#### 2.2.4 KERAMZIT A KERAMZITBETON

Keramzit se vyrábí tepelným expandováním snadněji tavitelných hlín při teplotách 1100 až 1200 °C, kdy za současné ztráty hmotnosti zvětšuje svůj objem díky tvorbě uzavřených dutinek naplněných plynem. Nejčastěji se používá ve formě kameniva.

Hlína musí být vhodného chemického a mineralogického složení a zároveň musí splňovat tři základní podmínky:

- při vhodné teplotě musí vzniknout tolik taveniny, aby se póry na povrchu zaplnily taveninou, tak aby nemohly unikat plyny vytvořené uvnitř hmoty
- hmota musí být pyroplastická, tedy tavenina uvnitř musí zůstat dostatečně viskózní, tak aby plyn neunikal, zároveň nedocházelo ke spojování jednotlivých bublin plynu a nedocházelo tak k tvorbě velkých pórů
- v hlíně musí být obsažena taková směs látek, které uvolní plyn v době staveného povrchu a pyroplastického stavu

Pokud se týká granulovaného keramzitu, je zde možných několik technologických způsobů, a to podle toho, v jakém stavu se surovina používá. Nejčastěji užíváme hlínu ve formě plastického těsta, ale možné jsou též způsoby mokré nebo obráceně způsoby používající materiál téměř suchý. Při způsobu používajícím plastického těsta se surovina, tj. cihlářská hlína s přísadou uhelnatých látek nejprve zpracuje na cihlářské soupravě na tvárnivé těsto za přídavku vody, pokud by ovšem nestačila přirozená vlhkost hlíny. [3]

Objemová hmotnost granulovaného keramzitu je závislá na velikosti zrn, kdy větší zrna (8 - 16 a 16 - 22 mm) mají nižší objemovou hmotnost než menší zrna (0 - 4 mm), především kvůli vysoké mezerovitosti (40 až 45 %) úzce vytříděných frakcí. Obecně se uvádí 300 až 700 kg/m<sup>3</sup>. Hmotnostní nasákavost keramzitu bývá 10 až 20 %. Běžně vyráběný keramzit má pevnost ve válci 2,8 až 4 Mpa.

Z granulovaného keramzitu se vyrábí především mezerovitý až jednozrný beton, který je pro tento druh kameniva typický. Objem malty takového betonu nepřesahuje 35 % celkového objemu. Zgranulovaného keramzitu je možno vyrábět též beton hutný sloužící ke konstrukčním účelům. Chybějící pískové podíly se přitom doplňují pískem buď kopaným, nebo z keramzitu. V Bratislavě se k tomu účelu používal především drcený keramzit, u betonu z vintířovského keramzitu se používají drobné keramzitové frakce. Jinak je možno k vytvoření plné struktury betonu použít i přísad jiných druhů pórovitého kameniva, zejména perlitu nebo též popílku. Objem malty u těchto betonů musí činit alespoň 40 %. [3]

Jednozrný keramzitový beton má jednotlivá zrna obalená cementovou maltou, která je bodově spojuje, aniž zaplní mezery mezi nimi. Na pevnosti malty v bodových spojích a na tuhosti takto vytvořené kostry závisí pevnost vyráběného betonu. Cementová malta se může skládat z čisté cementové kaše nebo může obsahovat jemné pískové frakce, menší množství kopaného písku, drceného keramzitu nebo popílku. Vodní součinitel těchto betonů bývá nízký a činí 0,30 až 0,50. Jednozrná keramzitobetonová směs se nejlépe zpracovává ručním dusáním. Při vibraci vzniká totiž nebezpečí, že malta steče se zrn keramzitu a vyplní mezery ve spodní části betonové vrstvy, čili, že nastane rozmíšení. [3]

Při 150 až 230 kg cementu na m<sup>3</sup> betonu bývá objemová hmotnost jednozrného, resp. jiných druhů mezerovitého keramzitového betonu 700 až 1200 kg/m<sup>3</sup> v suchém stavu, pevnost v tlaku 2,5 až 8,0 MPa. [3]

## 2.2.5 POLYSTYREN A POLYSTYRENBETON

Základní surovinou pro výrobu pěnového polystyrenu je zpěňovatelný polystyren ve formě perlí, obsahujících zpravidla 6–7 % pentanu jako nadouvadla. Tyto perle se

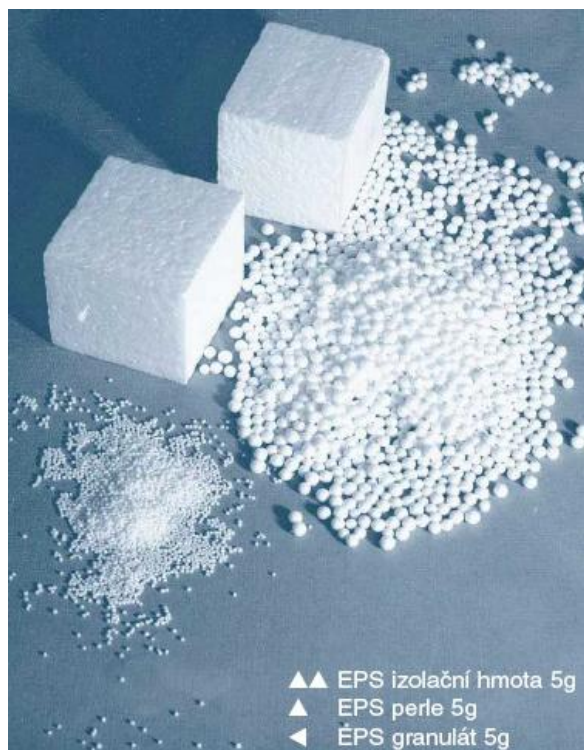
vyrábějí suspenzní polymerací monomeru styrenu a jsou dodávány výrobcům pěnového polystyrenu v několika velikostních skupinách od 0,3 do 2,8 mm, v závislosti na konkrétní aplikaci.

Styren i pentan jsou látky, která se běžně vyskytují v přírodě – styren lze nalézt i v mnoha potravinách a pentan se v přírodě vytváří ve značném množství na příklad v zaživacích systémech zvířat nebo při rozkladu rostlinného materiálu působením mikroorganismů. Obě tyto látky se pro průmyslové využití vyrábějí z ropy.

Pěnový polystyren neobsahuje a nikdy neobsahoval látky poškozující ozónovou vrstvu Země, známé jako freony.

Výroba pěnového polystyrenu probíhá v zásadě ve třech stupních: předpěnění, meziuskladnění a výroba bloků, desek, tvarovek, popřípadě pásů.

Obr. 7 Postup výroby pěnového polystyrenu



Zdroj: [18]

Zpěňovatelný polystyren se předpěňuje působením syté vodní páry v předpěňovacích zařízeních. Během tohoto procesu zvětší perle svůj objem na dvacet až padesátinásobek původního objemu a uvnitř každé perle vznikne buněčná struktura. Výsledná sypaná hmotnost je dána teplotou páry a dobou jejího působení na perle. Tato sypaná hmotnost musí být stejná jako požadovaná objemová hmotnost vyráběného EPS. Ta se zpravidla pohybuje mezi 10 a 35 kg/m<sup>3</sup> a má velký vliv na většinu vlastností konečného výrobku.

Následuje meziuskladnění, kdy tento proces probíhá v provzdušňovaných silech. V čerstvě vypěněných perlích se totiž během chlazení vytvoří podtlak, způsobující vysokou citlivost perlí na mechanické poškození a znemožňující jejich bezprostřední další zpracování. Difusí vzduchu do buněk perlí se podtlak vyrovnává, perle získávají větší mechanickou pružnost a zlepšuje se jejich další zpracovatelnost. Perle se současně i suší. [18]

Pro výrobu betonů s polystyrenovým plnivem postačí takto vyrobené perle, nebo-li granulát pěnového polystyrenu jako vstupní surovina. O výrobě bloků a desek se zmíním v další části.

Polystyrenbeton, jak již z názvu vyplývá, je betonová směs s cementovým pojivem obsahujícím příměs granulátu pěnového polystyrenu, který má za úkol danou směs vylehčovat. Svým charakterem zapadá do třídy lehkých betonů o objemové hmotnosti mezi 800 - 2000 kg/m<sup>3</sup>. Oproti obyčejným betonovým směsím dosahují polystyrenbetony lepších tepelně - izolačních vlastností dle výše dávky granulátu pěnového polystyrenu. Díky své polosuché konzistenci se tato směs často používá k výrobě spádových klínů na plochých střešních konstrukcích či jako výplň bednicích zdících prvků u tzv. pasivních staveb.

Problémem při výrobě polystyrenbetonu je obalení jednotlivých kuliček pěnového polystyrenu cementovým mlékem, tomuto lze zabránit použitím smáčecích roztoků, ve kterých je pěnový polystyren vykoupán. Dochází k tomu tak, že se nejprve do míchacího zařízení nadávkuje část záměsové vody spolu s roztokem smáčedla a poté se přidá

pěnový polystyren. Tato směs je promíchána a až poté dochází k dávkování pojiva, zbylých plniv, přísad, příměsí a záměsové vody.

## 2.2.6 KONOPÍ A KONOPNÝ BETON

I když tento název může v mnoha lidech vyvolat myšlenky na nezákonnou drogu, není tomu tak. Ve stavebnictví a i v jiných odvětvích se konopí, dnes již spíše technické konopí, používá již celá staletí.

Ve stavebnictví se nejčastěji konopí používá ve formě rohoží vyrobených z konopných vláken s příměsí pojivých dvousložkových vláken a roztoku sody jako ochrany proti hoření a plísním. Rohože vznikají metodou pneumatického rounotvoření, následně jsou tepelně opracovány a následně na řezány na požadované rozměry.

Vápeno-konopná stavební hmota je revoluční stavební a tepelně izolační materiál, se kterým lze postavit celý dům, není třeba cihel ani další tepelná izolace. Trend se šíří po Evropě z Francie, kde se směs pazdeří a vápna používala již v 16. a 17. století pro stavbu hrázděných domů. Ačkoliv v Evropě stojí z konopného betonu již stovky staveb, u nás s jeho použitím teprve nesměle začínáme.

Konopné zdivo, někdy též konopný beton (z angl. názvu HempCrete) tvoří směs konopného pazdeří (vnitřky stonku konopí), hašeného vápna, cementu a vody. Jde o recyklovatelný materiál, který nabízí vysokou tepelnou i zvukovou izolaci. Největší výhodou je nesporně rychlost výstavby, konopný beton totiž tvrdne velmi rychle.

Práce se stavební směsí nevyžaduje zvláštní um. Při stavbě stěn se konopný beton nejčastěji „temuje“ do falešného bednění (vtlouká se palicemi). Při izolování střechy se spíše volně rozhrabuje, při děláním podlahy se nakonec stírá, utahuje. Při omítání se klasicky nahazuje, použít se dá i stříkácí pistole. Pro finální omítky se vyplatí si pazdeří prosít a použít jen jemnější částičky. Vždy je dobré nasadit rukavice a ochranné brýle (vápno je přeci jen agresivnější než hlína).

Vedle toho, že konopný beton je univerzálně funkční a cenově dostupný stavební materiál, je také environmentálně šetrný, jeho ekologická bilance je A+. [24]

Konopné pazdeří je velmi savé a obsahuje velké množství kyslíčnicku křemičitého. Po smíchání s vápnem tedy dochází k procesu mineralizace (někdy označovaný jako petrifikace nebo přeměna v kámen), kdy materiál spotřebovává okolní  $\text{CO}_2$  ze vzduchu. Tento proces probíhá řadu let, takže se konopný beton v čase zpevňuje.

Obr. 8 Dům z konopného betonu na Severní Moravě



Zdroj: Marek Šedivý, 2013



Práce z konopným betonem probíhá pomocí klasických zednických postupů. Při použití bednění jej lze ukládat obdobně jako klasický hutný beton.

Obr. 9 Ve směsi na podlahu je pazdeří nejméně



Zdroj: Marek Šedivý, 2013

### 3. Deskové tepelně izolační materiály

#### 3.1 Pěnový polystyren

Výroba bloků a řezaných desek je nejčastější zpracování granulátu pěnového polystyrenu. Dutina blokové formy ve tvaru kvádrů s parními tryskami ve stěnách se zcela vyplní předpěněnými perlemi a vystaví se opět působení syté vodní páry. Perle změknou a působením pentanu a vzduchu v buňkách dále expandují. V uzavřeném prostoru formy se vzájemně svaří a vytvoří kompaktní blok. Po relativně krátké době na ochlazení jsou bloky vyjmuty z formy a uskladněny před dalším zpracováním. Potom jsou řezány teplým, nebo studeným drátem na desky. Okraje a povrch desek je možno profilovat pomocí speciálních technologií.

Při výrobě drenážních desek se používá velkých předpěněných perlí o průměru 7–10 mm, které jsou spojeny jen na svých styčných bodech. K tomu může dojít prostřednictvím lehkého „svažení“ v blokové formě nebo pomocí speciálního pojiva. V relativně pevných deskách vzniká velký souvislý objem pórů, které zaručují dobrou propustnost vody.

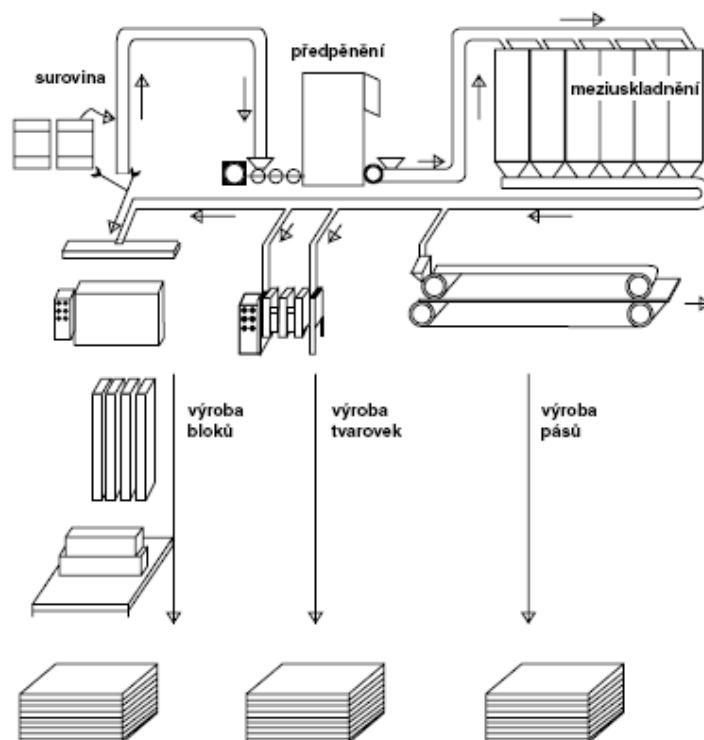
Při výrobě elastifikovaných desek pěnového polystyrenu izolujících kročejový hluk jsou bloky stlačovány v mechanických lisech přibližně na třetinu své výchozí tloušťky. Po uvolnění stlačení dosahují asi 4/5 svého původního rozměru. Uvedeným postupem dochází k narušení buněčné struktury polystyrenu a tím k výraznému zlepšení jeho akustických vlastností. Bloky jsou pak rozřezány na desky, používané hlavně do plovoucích podlah pro snížení kročejového hluku.

Při výrobě tvarovek pomocí automatů se používá shodný princip jako při výrobě bloků, dutina ale má tvar konečného výrobku. Pokud se takto vyrábějí desky, mohou mít složité zámky, povrch desky může být opatřen rastrem nebo výstupky pro uložení otopného potrubí pro podlahové topení a podobně. Další výhodou je uzavřená struktura povrchu a z toho vyplývající nižší nasákavost.

U nekonečné výroby desek na pásovém zařízení jsou předpěněné perle zpěňovány na požadovanou tloušťku desek mezi dvojicí obíhajících nekonečných ocelových pásů.

Z vyrobeného pásu se oddělují desky požadované délky. Pokud je třeba, mohou být ihned dále automaticky opracovány.

Obr. 10 Schéma výroby a zpracování pěnového polystyrenu



Zdroj: [18]

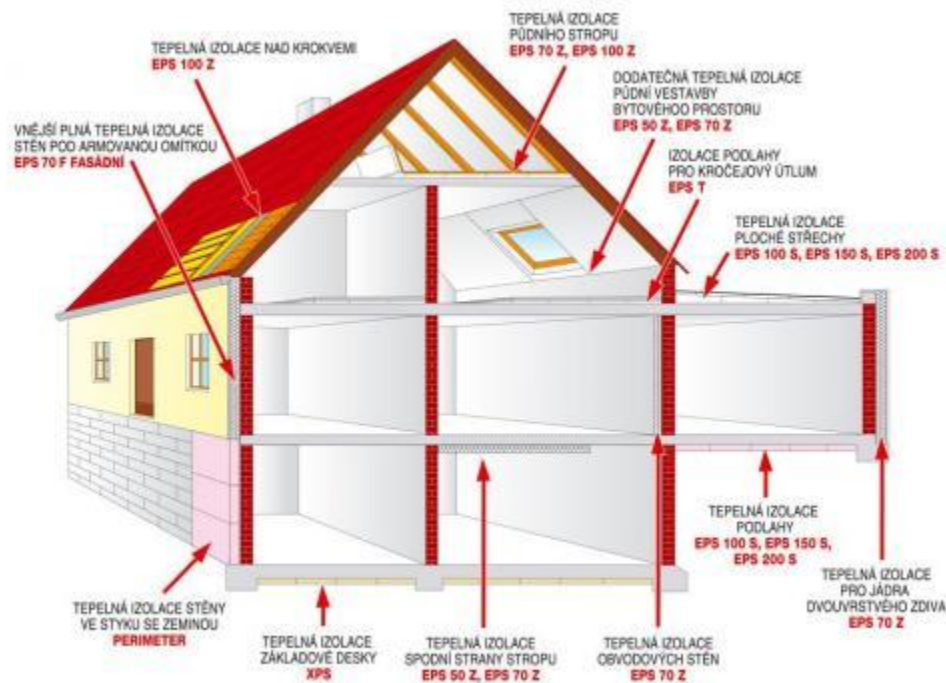
Pěnového polystyrenu se vyrábí celá škála druhů dle použití a zaměření v konstrukci. Pro použití v podlahových konstrukcích se však hodí pouze expandovaný polystyren značený jako EPS Z, S a T nebo extrudovaný polystyren XPS určený především k zateplení základové desky.

Tab. 1 Označování a doporučené použití desek polystyrenu ve stavební konstrukci dle Sdružení EPS ČR

Typ	Barevné značení			Doporučené použití
	Typ EPS	Výrobce	Tloušťka	
EPS 50 Z	modrá	černá	černá	Šikmé střechy mezi a pod krokviemi, závěsné podhledy
EPS 70 Z	zelená	černá	černá	Stěny s výjimkou kontaktních zateplovacích systémů
EPS 100 Z	černá	černá	černá	Šikmé střechy nad krokviemi, běžně zatížené podlahy, obvodové stěny pod terénem s izolací proti vodě
EPS 70 S Stabil	zelená	černá	černá	Podkladní vrstva izolací plochých střech
EPS 100 S Stabil	černá	černá	černá	Ploché střechy a podlahy s běžným zatížením
EPS 150 S Stabil	hnědá	černá	černá	Ploché střechy a podlahy vysoce zatížené
EPS 200 S Stabil	žlutá	černá	černá	Ploché střechy a podlahy vysoce zatížené, izolace suterénních konstrukcí bez izolace proti vodě
EPS F Fasádní	zelená	černá	zelená	Kontaktní zateplovací systémy stěn
EPS T 3500	modrá	černá	modrá	Plovoucí podlahy s útlumem kročejového hluku se zatížením max. 3,5 kN/m <sup>2</sup>
EPS T 5000	zelená	černá	modrá	Plovoucí podlahy s útlumem kročejového hluku se zatížením max. 5 kN/m <sup>2</sup>
EPS P Perimetr	Nemá barevné označení			Obvodové stěny pod terénem bez izolace proti vodě

Zdroj: [20]

Obr. 11 Schéma komplexního využití polystyrenu v konstrukci



Zdroj: [17]

### 3.2 Minerální vlákna

Minerální vlákna jsou základem izolací, které obecně nazýváme minerální vlnou či vatou. Dělí se na skelnou a kamennou podle hlavních surovin, ze kterých se vyrábí. Pro použití v podlahových konstrukcích však lze použít pouze vatu kamennou pro jejíž výrobu se používá čedič, diabas a vysokopeční struska, které se smíchávají s připraveným recyklátem z minerálních vláken pojeným cementovým pojivem. Všeobecně lze říci, že se používá k tepelné, protipožární a zvukové izolaci.

Vstupní suroviny se taví za vysoké teploty v kupolové peci, z níž vytéká směs v podobě lávy na rozvláknovací stroj. Následně se k vytvořeným a chladnoucím vláknům přidává organické pojivo jako je cement, případně impregnační prostředky, které zajistí vyšší stabilitu a odolnost vláken proti vodě.

V procesu rozvlákňování vzniká jemné vlákno z roztaveného materiálu, které je v tenkých vrstvách usazováno na pás sběrné komory. Vlna se dále pomocí kyvného systému vrství, přičemž množství uložené vlny koresponduje s finálními vlastnostmi materiálu. V kreovacím zařízení dochází ke stlačení materiálu na požadovanou tloušťku a k případnému dorovnání objemové hmotnosti. V tvrdící komoře následně dochází k vytvrzení pojiva, čímž je zajištěna rozměrová stálost minerální vlny. [25]

Vlna se následně ponechá vytvrdnout, poté je ořezána a rozřezána na požadované rozměry a vzniklé desky jsou zabaleny a připraveny k expedici. Odřezky jsou stejně jako při výrobě pěnového polystyrenu opět použity při výrobě.

### **3.3 Pěnový polyetylen**

Též známý pod obchodními názvy jako je Mirelon či Ethafoam je odlehčený pěnový polyetylen s uzavřenou buněčnou strukturou. Je to velmi ohebný, trvale pružný, chemicky odolný a nenasákavý materiál. Používá se jako tepelně izolační materiál díky nízké tepelné vodivosti, ale jeho největší předností je pohlcování otřesů, proto se používá jako kročejová izolace v podlahách, především tam kde kvůli omezené tloušťce vrstvy nelze zakomponovat jiný kročejový materiál. Bývá také nejčastěji používán jako vertikální izolant potěru od svislých konstrukcí či jako dilatace a tepelná izolace nejrůznějších rozvodů umístěných v podlahách. Nejčastěji se pro stavební praxi dodává v tloušťkách 5 a 10 mm, kdy se pokládá na horizontální konstrukci těsně pod potěr a to tzv. na sraz, aby se zachovala separace potěru od zbylých nosných konstrukcí a nedocházelo tak k vedení tlakových rázů dále do konstrukce. I když je tento materiál hygienicky zcela nezávadný a bez vlivu na životní prostředí je jeho jediným mínusem hořlavost a zařazení do skupiny C1.

### **3.4 Torfoleum**

Izolační desky pod obchodním názvem Torfoleum původem z Německa by se daly nazvat "prvorepublikovým" polystyrenem. Jedná se o tmavohnědé, jemně porézní desky o tloušťce nejčastěji 25 mm vyrobené z rašeliny s výztuží z hovězích chlupů. Desky byly opatřeny impregnací proti vodě a používaly se jako tepelná a zvuková izolace ve stěnách, podlahách a stropích. Torfoleum se dnes už nevyrábí, protože nespĺňuje



dnešní stavebně-technické parametry. Tento nepříliš rozšířený materiál byl znovu objeven při rekonstrukcích dražších domů z 30. let 20. století. Našlo se při obnově budov Bauhausu v Desavě na sklonku 90. let 20. století a pak při rozsáhlé rekonstrukci mezi lety 2010 až 2012 ve známé brněnské vile Tugendhat v někdejším pokoji kuchařky v personálním traktu ve 2. NP, kde byla ve zdivu za obnaženými svislými zdravotnickými instalacemi objevena tato původní izolace. Dokonce i po 80 letech bylo Torfoleum ve velmi dobrém stavu, viz. obrázky. [2]



Obr. 12 Vila Tugendhat: izolační desky značky Torfoleum ve zdivu v někdejším pokoji kuchařky v personálním traktu (2. NP).

Zdroj: David Židlický, 2010



Obr. 13 Vila Tugendhat: detail izolace značky Torfoleum u ocelového nosného sloupu (vlevo).

Zdroj: David Židlický, 2010

## 4. Pěnové sklo

Jedná se o nový a zatím nepříliš rozšířený tepelně izolační materiál, který se do sériové výroby dostal teprve v roce 2009. Tato surovina ať už ve formě desek či granulátu lze vyrobit jak ze suroviny běžně používané ve sklářské výrobě, tak i z recyklovaného skla, kdy cca 90 % tvoří právě sklo a zbylých 10 % uhlíkový prach. Tato směs se následně co nejvíce rozemele na mikroskopické částičky o velikosti 10 až 90 mikrometrů, z homogenní a následně zahřeje na teplotu kolem 1000 °C, kdy dojde k natavení skleněného prášku a k oxidaci uhlíkových mikročástic na oxid uhličitý, který formou plynu v materiálu vytvoří mikroskopické bubliny, které mnohonásobně zvětší původní objem rozdrčeného skla.

Obr. 14 Granulát pěnového skla



Kromě termo-izolačních a protipožárních vlastností je tento materiál zcela nehořlavý, tvarově stálý, nezapáchající, odolný proti mrazu, biologickému poškození bakteriemi, hmyzem či hlodavci. Dále je odolný proti mechanickému namáhání, nepropustný a má velmi vysokou životnost a co je v nynější době hodně důležité, je 100 % zpětně recyklovatelný na původní výchozí materiál, tedy sklo.



Obr. 15 Soubor fyzikálně - mechanické vlastností pěnového skla



Zdroj: [12]

Nevýhodou je prozatím vyšší cena deskových forem, která je způsobena malým odbytem na trhu s tepelnou izolací a také tím, že jednotlivé desky musí být spojovány speciálním dvousložkovým lepidlem na asfaltové bázi.

## 5. Izolace z přírodních materiálů

V poslední době se objevuje i trend k návratu ke přírodním izolacím jako je sláma, len, celulóza, dřevovláknno či technické konopí. Za tento trend může dle mého názoru i návrat k tradicím a starým metodám s příspěvkem moderních technologií, kdy jsou přírodní materiály upravovány k lepším fyzikálně-mechanickým vlastnostem jako je zlepšení požární odolnosti pomocí impregnace nebo chemická úprava vstupních surovin proti hnilobě a ochrana před plísněmi a houbami.

Tím že tyto materiály mají velice blízko k přírodě a přírodním zdrojům, tak se jen výjimečně kombinují s klasickými cementovými nebo anhydritovými potěry, ale jsou spíše zakomponovány do systémů na bázi dřevěných OSB desek či různých dřevovláknitých systémů.

Tyto materiály bývají obecně dražší a spíše tvoří okrajový sortiment produkce, ale své zákazníky si dokážou najít. Za vyšší ceny může to, že vstupní surovina dokáže v našich klimatických podmínkách narůst jen jedenkrát do roka a jejich pěstování ve sklenicích by byla značně neekonomická.

### 5.1 Ovčí vlna

Jak už bylo napsáno dříve, hodí se nejvíce k izolaci vodorovných dřevěných konstrukcí jako jsou stropy a podlahy roubenek, srubů a skeletových staveb, ale lze ji použít i jako izolaci obvodových stěn a příček, ale zde je potřeba počítat s tím, že je potřeba použít 2 - 3 vrstvy. Jedná se o zcela prodyšnou izolaci.

Izolace z ovčí vlny musí být před použitím v konstrukci čistá a vypraná. Aby byla její pokládka nějak rovnoměrná dodává se na trh ve formě rohoží nejčastěji v tloušťkách 40 a 60 mm, kdy svitek má na šířku 1 m a na délku 10 nebo 15 m. Proto aby vlna získala vyšší pružnost a držela svůj tvar a tloušťku po celou dobu životnosti přidává se k ovčí vlně pojivová vlákna na bázi polyesteru, ale jen do 10 %.

Riziko je oheň, proto se často impregnuje vodním sklem, borovou solí či boraxem, pokud je zabudovaná v konstrukci lze ji chránit opláštěním nehořlavými deskami. Patří

do požární skupiny lehce hořlavých materiálů, ale je samozhášivá, tedy bez přispění jiného plamene sama nevzplane a po vyjmutí z ohně sama hasne.

Problémem je skladování tohoto materiálu a nedokonalé uzavření v konstrukci, protože tento přírodní materiál je často napadán moly. Ochranu před tímto problémem je možno zajistit použitím prostředku Molantin SP, který je na rouno nanášen ve formě mlhoviny. Hrozbou mohou být i hlodavci, protože vlákno ovčí vlny je převážně tvořeno kreatinovou bílkovinou, ta je sice pro větší hlodavce nestravitelná, ale i tak jim to nezabrání v jejím okusování.

Hydroskopická struktura ovčího vlákna zajišťuje regulaci vlhkosti bez ztráty izolačních vlastností a díky tomu, že ovčí vlna nepodléhá plísním nehrozí její zplesnivění. Dále keratin obsažený v ovčí vlně dokáže neutralizovat škodlivé látky jako je formaldehyd.

Pokud vsijeme ovčí vlnu na tkanou rohož jako filcový pás, můžeme ji použít jako kročejovou izolaci pod plovoucí podlahy, ale do klasických podlah či pod terén je tato izolace zcela nevhodná.

## 6. Orientační přehled izolačních materiálů - vlastnosti a ekologie

Tab. 2 Přehled tepelně - izolačních materiálů a jejich vlastností

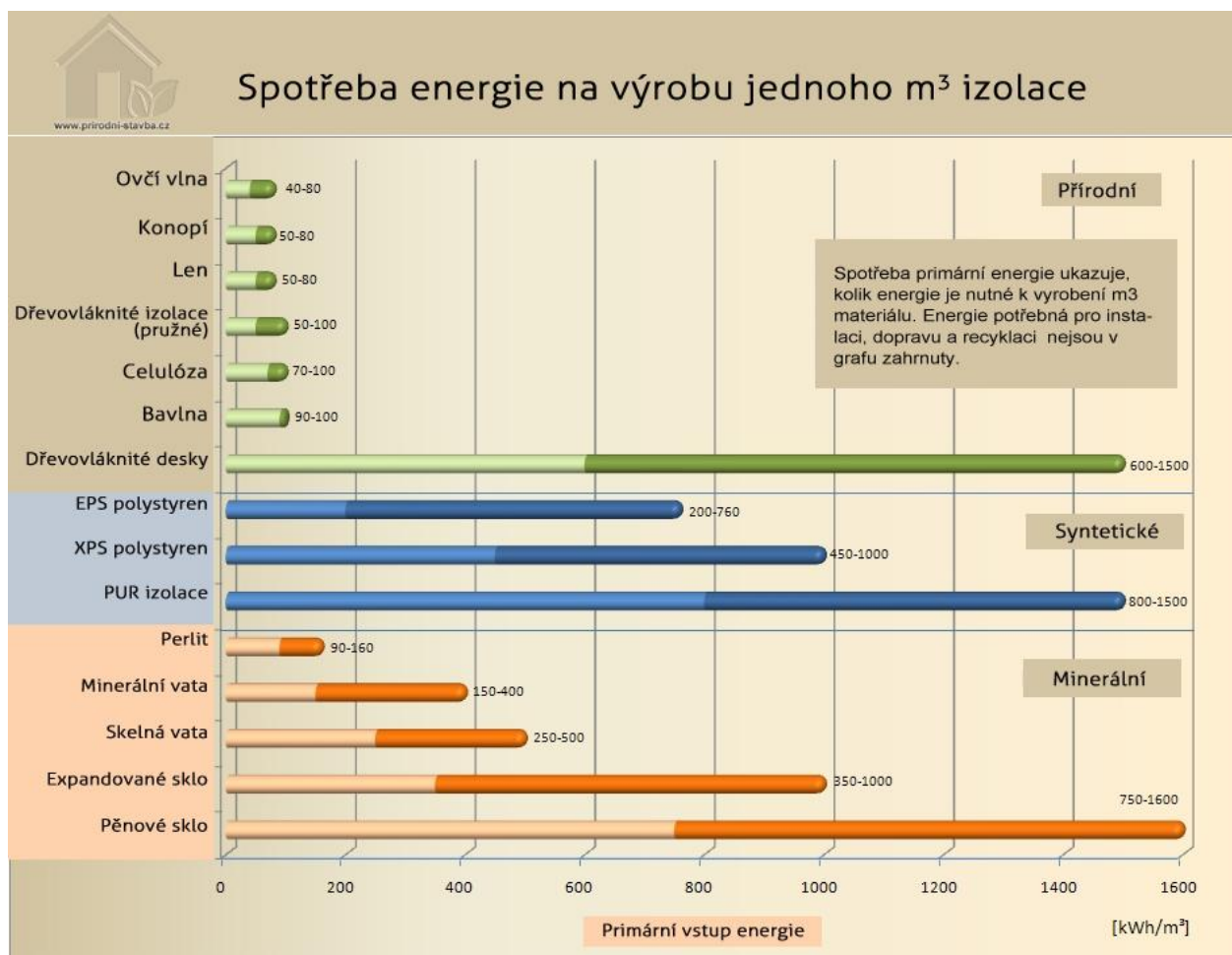
Skupina materiálů	Materiál	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/m.K]
Materiály na bázi cementového pojiva	Pěnobeton	350	0,080
	Polystyrenpěnobeton	600	0,130
	Polystyrenbeton	900	0,235
	Perlitobeton	500	0,140
	Škvárobeton	1800	0,900
	Keramzitbeton	1000	0,400
Pěnoplastické látky	Pěnové polystyreny	30	0,035
	Extrudované polystyreny	30	0,030
	Pěnové polyuretany	35	0,027
	Pěnové polyetyleny	25	0,026
	Pěněné pryskyřice	40	0,040
	Pěněné PVC	60	0,043
Vláknité materiály	Skleněná vlákna	50	0,038
	Minerální vlákna	75	0,037
	Syntetická vlákna	160	0,065
	Ovčí vlna	30	0,039
Pěněné silikáty	Pěnové sklo	165	0,08
Minerální materiály	Expandovaný perlit	75	0,060
	Expandovaný vermikulit	100	0,065
	Strusková pemza	500	0,130
	Keramzit	350	0,110
Materiály na bázi dřeva a přírodních vláken	Piliny a mineralizované hobliny	140	0,060
	Sláma a rákos	70	0,050
	Korek a korkové desky	150	0,058
	Dřevovláknité a dřevotřískové desky	400	0,092

Materiály na bázi celulókových vláken	Drcený mineralizovaný papír	30	0,039
	Desky z asfaltového papíru	60	0,065

Zdroj: [23] + [14]

Z ekologického hlediska je zajímavé porovnat množství spotřebované energie na výrobu 1 m<sup>3</sup> izolace (viz. graf níže) se spotřebou tepla na výrobu jedné tuny portlandského slínku, která se uvádí v rozsahu cca 3300 až 8500 MJ/t to odpovídá cca 915 až 2360 kWh/t. Už jen z tohoto důvodu je lepší volný prostor vyplnit tepelnou izolací než jen vyplnit betonem, pokud to tedy nemá vliv na statickou únosnost konstrukce.

Obr. 16 Spotřeba energie na výrobu jednoho m<sup>3</sup> izolace



Zdroj: [21]

## 7. Varianty receptur pro pochozí vrstvu

V této části své diplomové práce bych se chtěl věnovat čtrnácti recepturám, které jsem z větší části sám navrhl a které pro lepší srovnání porovnávám s již používanými recepturami společností SIRCONTEC a CEMEX (složení receptur daných společnostmi nemusí odpovídat přesně skutečnosti, jedná se o jejich know-how a v závislosti dle požadavků zákazníka se mohou mírně lišit). Všechny receptury jsou navrženy na bázi silikátového pojiva s ohledem na jejich výsledné tepelně izolační vlastnosti a jejich následné využití v podlahových konstrukcích jako tepelná izolace.

### 7.1 Složení betonu

Hlavními složkami lehkých betonů, pěnobetonů apod. modifikací jsou v mém případě cement, záměsová voda, plniva, příměsy a přísady, především ty pěnотvorné. Rád bych pro zopakování jen zběžně popsal jednotlivé složky.

#### 7.1.1 Cement

Základním nositelem pevnosti u cementového pěnobetonu je cementová matrice vzniklá reakcí portlandského cementu s vodou. Cement je polydisperzní partikulární anorganická látka s hydraulickými vlastnostmi. Obsahuje jemně rozemletý křemičitanový slínek a přísady (sádrovec). Dále může obsahovat pucolánové látky, jako granulovanou vysokopecní strusku, popílek, vápencovou moučku, lávu. [5]

#### 7.1.2 Záměsová voda

I když se voda nepovažuje za stavební materiál, je významnou součástí betonu i pěnobetonu. Voda je nutná k tomu, aby proběhl hydratační proces. Pro vlastní hydratační proces je třeba jen asi 19 až 23 % vody z hmotnosti cementu. Tato minimální dávka zajistí přeměnu slínekových minerálů z cementu v hydrokřemičitany a hydrohlinity. Množství vody přidávané k betonové směsi se vyjadřuje tzv. vodním součinitelem, což je poměr hmotnosti vody ku hmotnosti cementu a značí se:

$$w = u / c$$

Praktická hodnota vodního součinitele se pohybuje od 0,35 do 0,90. Přebytečná vypařená volná voda z tvrdnoucího betonu zanechává po sobě v betonu póry a dutinky, což má za následek snížení objemové hmotnosti, ale hlavně snižuje hutnost a tím pevnost. [1] U pěnobetonu je však snížení objemové hmotnosti a tím i hutnosti důležité. Zde se pohybuje hodnota vodního součinitele v rozmezí od 0,50 do 0,70 v závislosti na použití plastifikační přísady. [9]

Požadavky na vodu, která je vhodná pro výrobu betonů, jsou stanoveny technickou normou ČSN EN 1008 Záměsová voda do betonu – Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu. Tato norma je českou verzí evropské normy EN 1008:2002 a v květnu 2003 nahradila původní normu ČSN 73 2028 z 26. 9. 1962. [9]

Obecně platí, že při výrobě betonu lze použít vodu, která je označena jako pitná, pokud to není voda minerální. Musí to být tedy voda čistá, bez chemických a organických příměsí. Vody ze studní, nádrží, řek a potoků je nutné před použitím prověřit. Na nevhodnost vody může upozornit již vizuální znečištění, kalnost, zápach. Základním požadavkem na záměsovou vodu je také hodnota pH, kterou jde jednoduše zjistit pomocí indikátorových papírků. Minimální přípustná hodnota pH je 4, silně zásadité vody jsou také nevhodné. Při chemickém rozboru je nutné zjistit množství síranů, chloridů a hořečnatých iontů, jejichž maximální přípustné hodnoty jsou uvedeny právě v normě ČSN EN 1008. V praxi je často vhodnější, než provádění chemických rozborů, přistavení cisterny s pitnou vodou přímo na místo. Pro výrobu pěnobetonu není vhodná recyklovaná voda z již jednou použité záměsi. Recyklovaná voda obsahuje velmi jemné částice, které by ucpaly jemné póry ve struktuře pěnobetonu, které jsou při jeho výrobě žádoucí. [9]

Požadavky jsou také kladeny na teplotu použité záměsové vody. Pro běžné použití se má teplota záměsové vody pohybovat v rozmezí 15 až 30 °C. V letním období při vysokých teplotách má být co nejnižší a v zimě naopak co nejteplejší. Neměla by klesnout pod 5 °C. [1]

### 7.1.3 Plniva a příměsi

Pěnobeton lze vyrobit zcela bez přítomnosti plniv. V případě použití anorganických plniv se nejčastěji jedná o hutné kamenivo frakce 0 – 4 mm nebo o pórovité kamenivo frakce 1 – 4 mm, 4 – 8 mm a 8 - 16 mm. Jako organické plnivo se používá polystyrenová drť. Použije-li se při výrobě pěnobetonu cement CEM I, je vhodné přidat popílek a mletou strusku jednak pro zlepšení vlastností pěnobetonu a také z ekonomického hlediska. [9]

Obecně však lze říci, že pro výrobu lehkých betonů lze použít jakoukoliv pevnou lehkou látku, pokud její chemické složení nemá za následek destruktivní vliv na cementovou matici. Lze použít i biologický materiál ve formě částí rostlin, jako je např. dřevěná konopí. V tomto případě však nesmíme zapomenout, že takovýto materiál musí být před použitím spolu s cementovým pojivem nejdříve mineralizován, čímž dojde k přeměně organických látek na látky anorganické a nadále již nejsou nebezpečím pro cementové pojivo.

### 7.1.4 Pěnotvorné přísady

Pěnobetony využívají pro snížení objemové hmotnosti pěny. Napěňovací přísada se přidá do cementového mléka a řádně se zamíchá, nebo se použije generátor pro vytvoření pěny. Pěnu lze přidat i do čerstvého betonu na staveništi. Pěnobeton obsahuje okolo 300 - 350 kg/m<sup>3</sup> cementu portlandského nebo portlandského směsného a 70 - 90 kg/m<sup>3</sup> pěny. Pěna je tvořena látkami ze zmýdelnatělých pryskyřic, olejů, tuků nebo hydrolyzátů bílkovin. [8]



## 7.2 Použité laboratorní zkoušky

### 7.2.1 Pevnost v tlaku

U stavebních materiálů je pevnost v tlaku považována za jednu z nejdůležitějších mechanických vlastností. V závislosti na použití materiálu se zjišťuje pevnost v tlaku po 2, 7, 14 a 28 dnech, přičemž hodnota po 28 dnech je směrodatná při navrhování betonových konstrukcí.

Na dosažení optimálních pevností daného druhu pórobetonu má hlavní vliv druh použitých surovin, složení výrobní směsi, způsob zpracování, a obsah vlhkosti. [4] Pevnost v tlaku je nejdůležitější mechanickou vlastností pórobetonů. Závisí především na hodnotě pórovitosti, velikosti pórů, jejich rozdělení a na pevnosti stěn makropórů. Nejsnadněji je možno sledovat vliv těchto činitelů nepřímo jako závislost na objemové hmotnosti. Pevnost pórobetonů je dále závislá na obsahu jejich vlhkosti, na směru působení síly, ale také na tvaru a velikosti zkušebních těles. [4]

Pevnost v tlaku  $R_c$  je mezní napětí při největším zatížení  $F_c$ , které snese zkušební těleso při zkoušce tlakem, vztažené na plochu počátečního průřezu  $A_0$ .

$$R_c = \frac{F_c}{A_0} \quad [Pa, MPA]$$

Na rozdíl od pevnosti v tahu, je nutno při vyšetřování tělesa uvážit některé okolnosti. U štíhlých tlačných prvků s velkým poměrem délky ku nejmenšímu příčnému rozměru a rovněž tak u tenkostěnných částí prvků, v nichž dochází k napětí v tlaku i při jiných způsobech namáhání, je únosnost prvku vyčerpána ztrátou stability a ne pevností v tlaku. Příslušné kritické napětí se podle dřívějších zvyklostí někdy nazývá vzpěrná pevnost. Z těchto důvodů se proto zkouší pevnost v tlaku na vzorcích o malé štíhlosti. Přitom dochází k ovlivnění čel vzorku tlačnými deskami zkušebního lisu, které brání volnému příčnému roztahování vzorku. Dochází ke značnému tření mezi vzorkem a deskou lisu a tím k příčnému sevření, a proto také je např. pevnost v tlaku zjišťována na krychlích, tzv. pevnost krychelná  $R_{c\ cu}$  vyšší než na hranolech – pevnost hranolová  $R_{c\ pr}$  nebo na válcích - pevnost válcová  $R_{c\ cy}$ . Poměr délky ku příčnému rozměru bývá u hranolů minimálně 3 : 1, u válců pak 2 : 1. Mimo

to je hodnota pevnosti v tlaku ovlivněna i velikostí zkušební vzorku tak, že u menších rozměrů vzorků je pevnost vyšší. Proto se udává i rozměr zkušební vzorku (v ČSN ISO 4012 pro zkušební pevnosti betonu v tlaku je předepsána základní krychle o hraně 150 mm). [1]

### 7.2.2 Objemová hmotnost $\rho_v$

Objemová hmotnost [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] – zdánlivá hustota – poměr hmotnosti tělesa ku objemu tělesa (stanovený z vnějších rozměrů) neboli hmotnost objemové jednotky materiálu i s dutinami a póry. Vnější rozměry tělesa lze stanovit měřením (u pravidelných těles) nebo pomocí tzv. hydrostatického vážení (u těles s nepravidelnými tvary). Tento způsob využívá platnosti Archimédova zákona. [24] Z rozdílu hmotností tělesa nasyceného vodou váženého na vzduchu a pod vodou se stanoví hmotnost kapaliny, kterou těleso vytlačilo. Protože známe hustotu kapaliny, můžeme vypočítat její objem. Z Archimédova zákona vyplývá, že tento objem je stejný jako objem ponořeného tělesa. Objemovou hmotnost vypočteme jako poměr hmotnosti vysušeného tělesa a stanoveného objemu. [13]

Objemová hmotnost je veličina závislá na vlhkosti materiálu. U materiálů s malou pórovitostí jsou hodnoty hustoty a objemové hmotnosti téměř totožné. V případě materiálů s velkou pórovitostí (tedy i v případě pěnobetonu) je objemová hmotnost (v suchém stavu) vždy menší než hustota. [9]

### 7.2.3 Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$

V nynějším moderním světě, kde neustále slycháme o zbytečném plýtvání energetickými zdroji a nerostnými surovinami, je každá snaha o zvýšení účinnosti a šetření energiemi brána velice pozitivně. U stavebních materiálů jsou jedním z nejdůležitějších ukazatelů, které poukazují na úsporu energie, jejich tepelně-izolační vlastnosti, které nejvíce vystihuje součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$ . Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  vyjadřuje množství tepla, které projde za ustáleného teplotního stavu za časovou jednotku zkoušenou látkou jednotkovou plochou a jednotkové tloušťce při rozdílu povrchových teplot 1 K. [10]

Stanovení součinitele tepelné vodivosti lze provádět v praxi několika základními způsoby, které se od sebe liší jednak teplotním stavem zkušební vzorku během měření a dále způsobem stanovení a vyhodnocení součinitele tepelné vodivosti zkušební vzorku. Metody lze tedy obecně rozdělit na:

1. **Stacionární metody** (Metoda desky, Metoda chráněné teplé desky, Metoda měřidla tepelného toku, Metoda válce, Metoda koule)
2. **Nestacionární metody** (Metoda nestacionárního tepelného toku, Metody tepelných impulsů- Metoda horkého drátu (Hot Wire Method), Záblesková metoda (Laser Flash Method), Ostatní metody tepelných impulsů.

Stacionární metody stanovení hodnoty součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ] vycházejí ze vztahu:

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{(\theta_1 - \theta_0) \cdot S \cdot \tau}$$

kde:

Q...množství prošlého tepla [J],

$\theta_0, \theta_1$ ...teplota horní, resp. spodní roviny desky [ $^{\circ}\text{C}$ ],

d...tloušťka desky [m],

S...průřez [ $\text{m}^2$ ],

$\tau$ ...čas [s]. [7]

Stacionární stav je základním, při kterém je v měřeném vzorku ustálený teplotní stav, který blíže vyplývá z Fourierovy rovnice:

$$\frac{d\theta}{d\tau} = a \cdot \frac{d^2\theta}{dx^2} \quad \left| \frac{d\theta}{d\tau} = 0 \right.$$

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} = 0$$

$$q = -\lambda \cdot \frac{d\theta}{dx}$$

Zdroj: [10]

Vzhledem k tomu, že stacionární stav není při běžných podmínkách prakticky dosažitelný, považuje se za stacionární takový stav, kdy změna teploty je za daný časový úsek menší než smluvně definovaná teplotní změna (dle ČSN 72 7010).

$$\frac{d\theta}{d\tau} \leq \Delta T_{max} \quad |\Delta\tau = konst.$$

U stacionárních metod je nezbytné zajistit ustálený tepelný tok procházející od teplejšího povrchu měřeného vzorku k chladnějšímu povrchu vzorku. Potom lze z rozdílu teplot, plochy vzorku a tloušťky vzorku vypočítat hodnotu součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$ .

Z noremního přehledu stacionární metoda vychází z obecně platných zásad. Předně je to definice ustáleného tepelného stavu, pro který se požaduje, aby nedocházelo ve vztažné části vzorku k časové změně hustoty tepelného toku větší, než stanovují závazné požadavky pro zkušební normy. Vztažnou částí vzorku se dle této normy rozumí ta část vzorku, kterou protéká tepelný tok  $\Phi$  [W], uvažovaný při vyhodnocení součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$ . [7]

Na rozdíl od stacionárních metod je měření nestacionární metodou založeno na sledování dynamického vývoje teplot. Nestacionární metody však nepožadují ustálený teplotní stav, nýbrž se sleduje průběh šíření teplotní vlny měřeným vzorkem. Na základě různého způsobu sledování nestacionárního vývoje během měření potom existuje řada variant pro stanovení hodnoty součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$ . [7]

### 7.3 Názvosloví navržených receptur

Všechny navržené receptury mají společné především dvě věci, pojivem je cement a mají nízkou objemovou hmotnost. Jednotlivé receptury se liší způsobem svého vylehčení, proto jsem pro lepší přehled jednotlivé receptury pojmenoval zkratkami buď to dle běžně používaného názvosloví zavedeného pro perlitbetony (PTB) nebo dle firemního značení (CEMEX Poroflow F).

Společným jmenovatelem všech receptur je číslo za zkratkou, toto číslo udává přibližnou objemovou hmotnost ve vysušeném stavu jednotlivých receptur. Je udáváno jednotkou v  $\text{kg/m}^3$ .

Tab. 3 Vysvětlení užití zkratk v názvech receptur

Vysvětlení užití zkratk v názvech receptur	
Název	Zkratka
Pěnobeton	<b>PBG</b>
Pěnobeton vyrobený na zařízení SIRCONTEC MS 1000	<b>SIRCONTEC PBG</b>
CEMEX Poroflow F (pěnobeton)	<b>CEMEX Poroflow F</b>
CEMEX Poroflow FS (polystyrenpěnobeton)	<b>CEMEX Poroflow FS</b>
Keramzit-polystyrenpěnobeton	<b>KPSB</b>
Keramzit-vermikulit beton	<b>KVB</b>
Lehký Keramzit beton	<b>LKB</b>
Perlitbeton	<b>PTB</b>
Konopný beton	<b>KB</b>

### 7.3.1 PBG 200

Tato receptura jak již z názvu vyplývá je pěnobeton o objemové hmotnosti kolem 200 kg/m<sup>3</sup>. Jedná se o směs s velmi malou dávkou cementu, pouhými 165 kg na 1 m<sup>3</sup>. Tato směs byla navržena pro co nejlepší tepelně izolační vlastnosti při použití co nejméně surovin a technologického vybavení. Technická pěna byla stejně jako v případě dalších receptur označených zkratkou PBG vyrobena samostatně mimo míchací zařízení, v tomto případě ručním mixérem se speciálním nástavcem vyrobeným k vhánění vzduchu do směsi pěnотvorné přísady SIRCONTEC FN1 a vody v hmotnostním poměru 1 : 38,33.

K navážce cementu se přidá záměsová voda, směs se zamíchá a následně se přidá technická pěna vyrobená v druhé nádobě. Vše se promíchá a vzniká velmi lehká cementová pěna.

Tab. 4 Složení receptury PBG 200

Složení receptury PBG 200	
složka	množství na 1 m <sup>3</sup>
CEM II/B-M (S-V-LL) 32,5 R	165 kg
voda	83 kg
pěna (Sircontec FN1)	92 kg (voda)
	2,4 kg (pěnidlo)

Tab. 5 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury PBG 200

Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury PBG 200					
STAV	a [mm]	b [mm]	h [mm]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	R <sub>c</sub> [MPa]
po 7 dnech	99,03	99,5	100,55	190	0,2
po 28 dnech	99,59	100,34	99,65	200	0,2
vysušený	98,77	99,63	99,54	190	0,2

Naměřené pevnosti nejsou příliš vysoké, ale nízká objemová hmotnost a vysoký podíl uzavřených pórů má pozitivní vliv na tepelně izolační vlastnosti, které jsou již velmi blízké vlastnostem pěnového polystyrenu a minerální vaty.

Vlivem velkého množství záměsově vody a nízkého vývinu hydratačního tepla (nízká dávka cementu) trvá delší dobu než směs ztvdne.

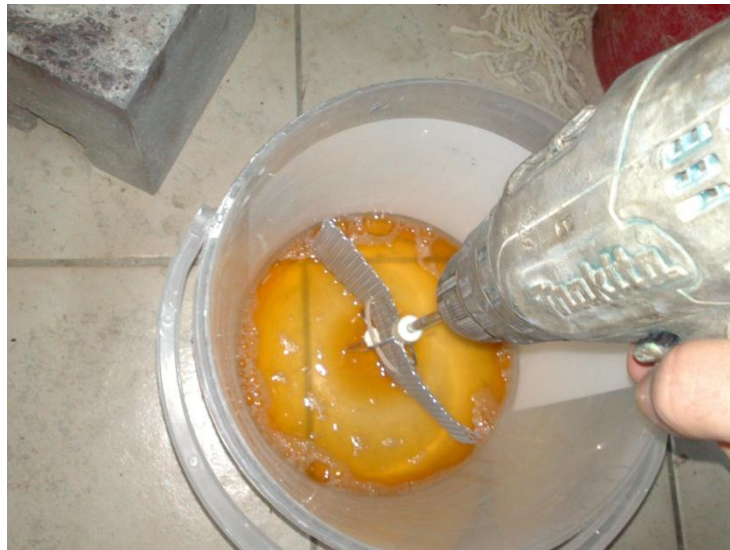
### 7.3.2 PBG 450

Tato receptura vychází z již zmiňované receptury PBG 200 pro zvýšení pevností byla nepatrně zvýšena dávka cementu a bylo přidáno plnivo ve formě kamenivo frakce 0 - 4 mm. Kvůli tomu musela být snížena celková dávka technické pěny.

Tab. 6 Složení receptury PBG 450

Složení receptury PBG 450	
složka	množství na 1 m <sup>3</sup>
CEM II/B-M (S-V-LL) 32,5 R	210 kg
kamenivo frakce 0 - 4 mm	210 kg
voda	80 kg
pěna (Sircontec FN1)	85 kg (voda)
	2,1 kg (pěnidlo)

Obr. 17 Výroba technické pěny ručním mixérem se speciálním nástavcem



Tab. 6 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury PBG 450

Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury PBG 450					
STAV	a [mm]	b [mm]	h [mm]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	R <sub>c</sub> [MPa]
po 7 dnech	98,67	99,78	99,68	460	0,2
po 28 dnech	99,27	99,63	100,47	490	0,3
vysušený	96,6	99,97	99,88	440	0,2

Dle výsledků přidavek cementu a plniv neměl přílišný vliv na nárůst pevností oproti PBG 200, ale váha plniv zapříčinila nárůst objemové hmotnosti. Součinitel tepelné vodivosti však zůstává stále nízký a to pod hranicí 0,085 W/m.K.



### 7.3.3 PBG 750

Receptura PBG 750 vychází z receptury PBG 450, opětovně byla zvýšena dávka plniva až na hodnotu 530 kg v 1 m<sup>3</sup>. Dávka cementu zůstala stejná tedy 210 kg. I zde byl snížen celkový objem technické pěny.

Tab. 8 Složení receptury PBG 750

Složení receptury PBG 750	
složka	množství na 1 m <sup>3</sup>
CEM II/B-M (S-V-LL) 32,5 R	210 kg
frakce 0 - 4 mm	530 kg
voda	95 kg
pěna (Sircontec FN1)	70 kg (voda)
	1,8 kg (pěnidlo)

Tab. 9 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury PBG 750

Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury PBG 750					
STAV	a [mm]	b [mm]	h [mm]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	R <sub>c</sub> [MPa]
po 7 dnech	104,1	99,92	99,98	720	0,4
po 28 dnech	101,84	100,26	100,07	730	0,7
vysušený	150,01	150,16	89,76	720	0,4

V tomto případě se již podařilo dosáhnout nepatrně vyšších pevností v tlaku než u receptury PBG 200, ale vyšší dávka písku měla též za následek zvýšení objemové hmotnosti a součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  se přiblížil k hodnotě 0,14 W/m.K.

### 7.3.4 SIRCONTEC PBG 35

Tato receptura byla namíchána dle receptury společnosti SIRCONTEC na mobilním výrobním zařízení téže společnosti MS 1000. Toto poloautomatické výrobní zařízení si vyrábí technickou pěnu pomocí stlačeného vzduchu z pěnотvorné přísady FN1. Technická pěna je velice stabilní a má objemovou hmotnost  $72 \text{ kg/m}^3$ . Tato receptura patří k nejvíce používaným, ale je vhodná především při pracích v letních měsících.

Tab. 10 Složení receptury SIRCONTEC PBG 35

Složení receptury SIRCONTEC PBG 35	
složka	množství na $1 \text{ m}^3$
CEM II/B-M (S-V-LL) 32,5 R	275 kg
voda	180 kg
pěna (Sircontec FN1)	45 kg (voda)
	1,76 kg (pěnidlo)

Zdroj: [19]

Obr. 18 Ruční dávkování cementu do výrobního zařízení SIRCONTEC MS 1000



Tab. 11 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury SIRCONTEC PBG 35

Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury SIRCONTEC PBG 35					
STAV	a [mm]	b [mm]	h [mm]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	R <sub>c</sub> [MPa]
po 7 dnech	98,15	100,67	100,23	370	1,0
po 28 dnech	95,46	99,9	99,89	410	1,5
vysušený	144,84	149,38	143,69	360	0,8

Tato receptura díky kvalitní technické pění dosahuje výborných vlastností jak v oblasti pevnosti v tlaku (1,5 MPa), tak i v oblasti tepelně - izolačních vlastností. Součinitel tepelné vodivosti dosáhl v průměru na hodnoty kolem 0,08 W/m.K. Zároveň si tato stavební hmota udržuje i nízkou objemovou hmotnost a tím pádem nezatěžuje zbytečně stavební konstrukci.

### 7.3.5 SIRCONTEC PBG 40

I tato receptura byla stejně jako receptura SIRCONTEC PBG 35 namíchána na mobilním míchacím zařízení SIRCONTEC MS 1000. Záměs je spíše určena pro betonáže při teplotách pod 15 °C, kdy díky vyšší dávce cementu oproti směsi PBG 35 vytváří větší hydratační teplo a tak urychluje počátek tuhnutí a následné tvrdnutí.

Tab. 12 Složení receptury SIRCONTEC PBG 40

Složení receptury SIRCONTEC PBG 40	
složka	množství na 1 m <sup>3</sup>
CEM II/B-M (S-V-LL) 32,5 R	300 kg
voda	195 kg
pěna (Sircontec FN1)	44 kg (voda)
	1,71 kg (pěnidlo)

Zdroj: [19]

Tab. 13 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury SIRCONTEC PBG 40

Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury SIRCONTEC PBG 40					
STAV	a [mm]	b [mm]	h [mm]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	R <sub>c</sub> [MPa]
po 7 dnech	98,07	100,17	100,78	460	1,0
po 28 dnech	97,75	99,88	99,98	490	1,4
vysušený	147,46	149,96	149,52	430	1,2

Tato receptura je se svými výsledky v pevnosti v tlaku dost podobné receptuře PBG 35, ale vyšší objemová hmotnost (cca 100 kg/m<sup>3</sup>) má spíše za následek trochu horší výsledky součinitele tepelné vodivosti, ale i tak je hodnota pod 0,1 W/m.K výborná.

### 7.3.6 CEMEX Poroflow F 600

Tato záměs vznikla na betonárně CEMEX v Brně, jde o pěnobeton s objemovou hmotností kolem  $600 \text{ kg/m}^3$ . Výroba probíhá na automatické míchačce Stetter, kde dojde k navážce a smíchání všech surovin vyjma technické pěny.

Namíchaná záměs se poté přesype do autodomíchávače, který následně přejede k dalšímu stanovišti, kde je do něj nadávkována technická pěna. V tomto případě byla technická pěna vyrobena pomocí pěnotvorné trysky pracující s atmosférickým vzduchem. Jako pěnotvorná přísada byla v tomto případě použita SIKA SB2. Tato pěna má objemovou hmotnost  $62 \text{ kg/m}^3$ , ale nedosahuje kvalit technické pěny vyrobené pomocí stlačeného vzduchu, lze to poznat především na krátkém času poločasu odloučivosti. Pěna má konzistenci "jarové" pěny. V tomto pěnobetonu jsou použity plniva, kamenivo frakce 0 - 4 mm a práškové příměsi v podobě popílku.

Obr. 19 Pěnotvorná tryska užívaná společností Cemex na betonárně v Brně



Tab. 14 Složení receptury CEMEX Poroflow F 600

Složení receptury CEMEX Poroflow F 600	
složka	množství na 1 m <sup>3</sup>
CEM I 42,5 R	270 kg
frakce 0 - 4 mm	220 kg
popílek	110 kg
voda	180 kg
pěna (SIKA SB2)	60 kg (voda)
	2,4 kg (pěnidlo)

Tab. 15 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury CEMEX Poroflow F 600

Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury CEMEX Poroflow F 600					
STAV	a [mm]	b [mm]	h [mm]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	R <sub>c</sub> [MPa]
po 7 dnech	150,50	150,80	149,90	690	1,1
po 28 dnech	150,10	149,58	150,02	650	1,6
vysušený	151,13	149,14	149,24	580	1,3

Pěnobeton CEMEX Poroflow F 600 je dosahovanými výsledky velmi podobný pěnobetonu SIRCONTEC PBG 40, pouze se liší nepatrně vyšší objemovou hmotností a oproti pěnobetonům, které neobsahují žádná plniva a příměsi u něj nedochází téměř k žádnému poklesu hladiny v čase » výborné výsledky hodnot při zkouškách stability v čase po 12 hodinách od zamíchání.

### 7.3.7 CEMEX Poroflow F 900

Tato receptura pěnobetonu vychází z předešlé Poroflow F 600, má však vyšší dávku cementu, plniv a příměsí. Technická pěna je zde opět vyrobena pěnotvornou tryskou vyrábějící pěnu pomocí atmosférického vzduchu. Je zde použita pěnotvorná přísada SIKA SB2.

Tab. 16 Složení receptury CEMEX Poroflow F 900

Složení receptury CEMEX Poroflow F 900	
složka	množství na 1 m <sup>3</sup>
CEM I 42,5 R	300 kg
frakce 0 - 4 mm	300 kg
popílek	120 kg
voda	200 kg
pěna (SIKA SB2)	50 kg (voda)
	2,0 kg (pěnidlo)

Tab. 17 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury CEMEX Poroflow F 900

Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury CEMEX Poroflow F 900					
STAV	a [mm]	b [mm]	h [mm]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	R <sub>c</sub> [MPa]
po 7 dnech	150,20	152,50	150,20	920	1,5
po 28 dnech	153,94	149,78	150,17	870	2,8
vysušený	149,14	149,15	149,28	770	2,6

Tato receptura je určena jako tepelná izolace v místech, kde se počítá s vyšším užitným zatížením, dosahuje dvojnásobných pevností v tlaku než Poroflow F 900 a ostatní pěnobetonu. Přitom součinitel tepelné vodivosti je stále menší než 0,15 W/m.K.

### 7.3.8 CEMEX Poroflow FS 600

Toto je receptura polystyrenpěnobetonu vyráběného společností CEMEX. Směs se díky nižší konzistenci než je tomu u klasických pěnobetonů hodí k tvorbě spádových klínů na plochých střechách. Tak že se směs po nalití nechá mírně zatuhnout a následně je latí stahována do požadovaného spádu a tvaru.

Nesmíme však zapomenout, že tuhnutí a tvrdnutí probíhá na venku, takže je směs vystavena přírodním vlivům. Musíme tedy betonáž naplánovat, tak aby nepršelo a okolní teplota nebyla příliš nízká dokud směs neztvrdne.

Technická pěna byla v tomto případě namíchána pomocí pěnogenerátoru SIRCONTEC pracujícím se stlačeným vzduchem a pěnotvorné přísady SIRCONTEC FN1, která má oproti dříve používané pěnotvorné trysce pracující s atmosférickým vzduchem daleko lepší vlastnosti.

Tab. 18 Složení receptury CEMEX Poroflow FS 600

Složení receptury CEMEX Poroflow FS 600	
složka	množství na 1 m <sup>3</sup>
CEM I 42,5 R	270 kg
frakce 0 - 4 mm	150 kg
pěnový polystyren	7,5 kg
popílek	110 kg
voda	180 kg
pěna (SIRCONTEC FN1)	60 kg (voda)
	2,4 kg (pěnidlo)

Tab. 19 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury CEMEX Poroflow FS 600

Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury CEMEX Poroflow FS 600					
STAV	a [mm]	b [mm]	h [mm]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	R <sub>c</sub> [MPa]
po 7 dnech	148,87	150,19	150,28	650	0,9
po 28 dnech	148,46	149,74	149,63	610	2,8
vysušený	148,59	149,37	149,39	580	0,8

Výsledné pevnosti v taku jsou lepší než u pěnobetonu Poroflow F 600 s podobnou objemovou hmotností, ale součinitel tepelné vodivosti je vyšší, cca 0,125 W/m.K.



### 7.3.9 KPSB 600

Tato receptura byla navržena jako varianta polystyrenpěnobetonu, když plnivem kromě granulátu pěnového polystyrenu byli dále frakce 0 - 4 mm kameniva a 4 - 8 a 8 -16 mm keramického kameniva Liapor. Technická pěna byla v tomto případě vyrobena na pěnogenerátoru SIRCONTEC pomocí stlačeného vzduchu a pěnidla SIRCONTEC FN1.

Tab. 20 Složení receptury KPSB 600

Složení receptury KPSB 600	
složka	množství na 1 m <sup>3</sup>
CEM II/B-M (S-V-LL) 32,5 R	445 kg
granulát pěnového polystyrenu	2,5 kg
kamenivo frakce 0 - 4 mm	170 kg
Liapor frakce 4 - 8 mm	60 kg
Liapor frakce 8 - 16 mm	105 kg
voda	170 kg
pěna (Sircontec FN1)	44 kg (voda)
	1,71 kg (pěnidlo)

Tab. 21 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury KPSB 600

Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury KPSB 600					
STAV	a [mm]	b [mm]	h [mm]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	R <sub>c</sub> [MPa]
po 7 dnech	149,75	151,34	149,92	790	0,7
po 28 dnech	149,95	150,12	150,03	800	2,0
vysušený	149,94	148,96	150,15	590	1,0

Tato receptura se svými vlastnostmi podobá pěnobetonům, především objemovou hmotností a pevností v tlaku. Součinitel tepelné vodivosti byl však o něco vyšší kolem 0,185 W/m.K. Z důvodu velkého množství rozdílných vstupních surovin a výsledných vlastností si však myslím, že si tato receptura nenajde většího rozšíření.

### 7.3.10 KVB 1000

U této receptury lehkého betonu bylo k odlehčení směsi použita dvě rozdílná lehká plniva a to vermikulit frakce 2 - 4 mm a keramické kamenivo Liapor frakce 4 - 8 a 8 - 16 mm. Byla použita vysoká dávka cementu (475 kg) a kameniva frakce 0 - 4 mm proto, aby se směs stala co nejvíce kompaktní.

Tab. 22 Složení receptury KVB 1000

Složení receptury KVB 1000	
složka	množství na 1 m <sup>3</sup>
CEM II/B-M (S-V-LL) 32,5 R	475 kg
frakce 0 - 4 mm	310 kg
Vermikulit frakce 2 - 4 mm	15 kg
Liapor frakce 4 - 8 mm	40 kg
Liapor frakce 8 - 16 mm	85 kg
voda	285 kg

Tab. 23 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury KVB 1000

Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury KVB 1000					
STAV	a [mm]	b [mm]	h [mm]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	R <sub>c</sub> [MPa]
po 7 dnech	151,55	150,09	150,41	1260	5,6
po 28 dnech	149,26	149,70	149,89	1240	10,1
vysušený	150,01	150,41	150,27	1030	8,7

Tato receptura dosáhla největších hodnot pevností v tlaku, celých 10,1 MPa po 28 dnech zrání. Už po 7 dnech byla pevnost v tlaku oproti ostatním zde uvedeným recepturám vysoká (5,6 MPa). I když byla zkušební tělesa velice pórovitá součinitel tepelné vodivosti byl nejvyšší ze všech měřených receptur (téměř 0,3 W/m.K), tomu i odpovídala i nejvyšší objemová hmotnost.

### 7.3.11 LKB 700

Tato receptura je navržena jako velmi provzdušněný lehký beton s lehkým pórovitým kamanivem Liapor, nejedná se tedy o klasický pěnobeton. Směs není napěněna pomocí samostatně vyrobené technické pěny, ale je silně provzdušněná díky velké dávce provzdušňující přísady, která je spolu se superplastifikační přísadou dávkovaná přímo do míchačky během míchacího cyklu.

Tab. 24 Složení receptury LKB 700

Složení receptury LKB 700	
složka	množství na 1 m <sup>3</sup>
CEM I 42,5 R	380 kg
Liapor frakce 1 - 4 mm	170 kg
Liapor frakce 4 - 8 mm	308 kg
popílek	120 kg
Chrysofluid optima 224 (1,2 % z m <sub>c</sub> )	4,56 kg
SIKA Lightcrete L 500 (1,5 % z m <sub>c</sub> )	5,7 kg
voda	290 kg

Tab. 25 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury LKB 700

Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury LKB 700					
STAV	a [mm]	b [mm]	h [mm]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	R <sub>c</sub> [MPa]
po 7 dnech	150,4	151,4	150,2	800	0,9
po 28 dnech	145,8	149,3	149,2	740	1,7
vysušený	148,2	149,09	149,33	720	1,1

Tato receptura má velmi dobré samonivelační vlastnosti, ale na tak velkou dávku cementu společně s popílkem nemá příliš vysoké hodnoty pevnosti v tlaku. Zároveň však díky vysokému provzdušnění nepřesahuje součinitel tepelné vodivosti v průměru hodnoty 0,15 W/m.K

### 7.3.12 PTB 600

Jedná se o recepturu perlitbetonu. Nevýhodou práce s perlitem je vysoká prašnost dokud se perlit nenamočí.

Tab. 26 Složení receptury PTB 600

Složení receptury PTB 600	
složka	množství na 1 m <sup>3</sup>
CEM II/B-M (S-V-LL) 32,5 R	350 kg
Expandovaný Perlit EP 150	90 kg
voda	235 kg

Obr. 20 Zkušební tělesa receptury PTB 600 se během odformování rozpadla



Bohužel objem perlitu v této receptuře je tak vysoký, že ani s dávkou cementu 350 kg/m<sup>3</sup> nedokázal pravděpodobně obalit všechna jemná zrna a všechna zkušební tělesa byla při odformování zničena. Proto na receptuře nemohly být provedeny žádné zkoušky.

### 7.3.13 PTB 800

Tato receptura byla po špatných zkušenostech s PTB 600 přepracována tak, aby se zvýšil poměr cementu vůči perlitu, tím však došlo k téměř dvojnásobnému navýšení objemové hmotnosti.

Tab. 27 Složení receptury PTB 800

Složení receptury PTB 800	
složka	množství na 1 m <sup>3</sup>
CEM II/B-M (S-V-LL) 32,5 R	410 kg
Expandovaný Perlit EP 150	80 kg
voda	275 kg

Tab. 28 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury PTB 800

Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury PTB 800					
STAV	a [mm]	b [mm]	h [mm]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	R <sub>c</sub> [MPa]
po 7 dnech	150,04	150,03	150,10	1170	5,4
po 28 dnech	150,91	150,23	150,28	1100	7,2
vysušený	150,45	150,16	150,34	930	4,2

Konečná objemová hmotnost byla trochu vyšší než původně plánovaná, ale zato byly výsledné pevnosti v tlaku docela vysoké, přes 7 MPa. Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  se u této receptury pohyboval kolem hodnoty 0,19 W/m.K.

### 7.3.14 KB 800

Protože se jedná o recepturu konopného betonu, bylo zapotřebí si nejdříve zmineralizovat konopné pazdeří, které v tomto betonu tvořilo veškeré plnivo. Mineralizace byla provedena pomocí směsi vápenného hydrátu s vodou dle receptury níže. Takto připravená směs musí alespoň 24 hodin odležet, aby se z organického konopného pazdeří stalo anorganické plnivo, které již nedosahuje následných degradačních reakcí s cementovým pojivem.

Tab. 29 Složení receptury pro přípravu mineralizovaného konopného pazdeří

Složení receptury pro přípravu mineralizovaného konopí	
složka	množství na 1 m <sup>3</sup>
konopné pazdeří	110 kg
vápenný hydrát	122 kg
voda	61 kg

Obr. 21 Konopné pazdeří během mineralizace





Poté co se konopné pazdeří zmineralizovalo mohlo dojít k jeho smícháním s cementem. Míchací proces by však neměl probíhat v nádobě ve které předtím probíhala mineralizace. Jelikož bylo konopné pazdeří mokré je zbytek záměsové vody nízký.

Tab. 30 Složení receptury KB 800

Složení receptury KB 800	
složka	množství na 1 m <sup>3</sup>
CEM II/B-M (S-V-LL) 32,5 R	505 kg
mineralizované konopné pazdeří	645 kg
voda	105 kg

Obr. 22 Konopný beton (KB 800) v čerstvém stavu



Tab. 31 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury KB 800

Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury KB 800					
STAV	a [mm]	b [mm]	h [mm]	D [kg/m <sup>3</sup> ]	R <sub>c</sub> [MPa]
po 7 dnech	150,00	146,68	149,88	1170	0,8
po 28 dnech	147,52	149,78	149,98	1040	2,2
vysušený	150,29	147,92	150,29	800	1,6

Tvrdnutí směsi probíhalo cca 3 - 4 dny, do té doby byla směs stále měkká na dotyk, mohl to způsobit vyšší vodní součinitel. Zkušební tělesa ze směsi vyrobená byla na první pohled vysoce pórovitá, kdy bylo vidět, že jednotlivá vlákna jsou mezi sebou spojena cementovým mlékem, i tak však byly vysoce kompaktní. Dle výsledků z pevností v tlaku lze očekávat, že pevnost by se časem mohla ještě mírně zvýšit i díky tomu, že vlákna mineralizací tvrdnou, ale výsledek není okamžitý.



## 7.4 Souhrnné výsledky navržených receptur

### 7.4.1 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost byla u všech receptur změřena ihned po zamíchání, tedy v čerstvém stavu, následně pak po 7 a 28 dnech zrání. Poté byla zbylá zkušební tělesa vysušena při teplotě 105 °C až do ustáleného hmotnostního stavu.

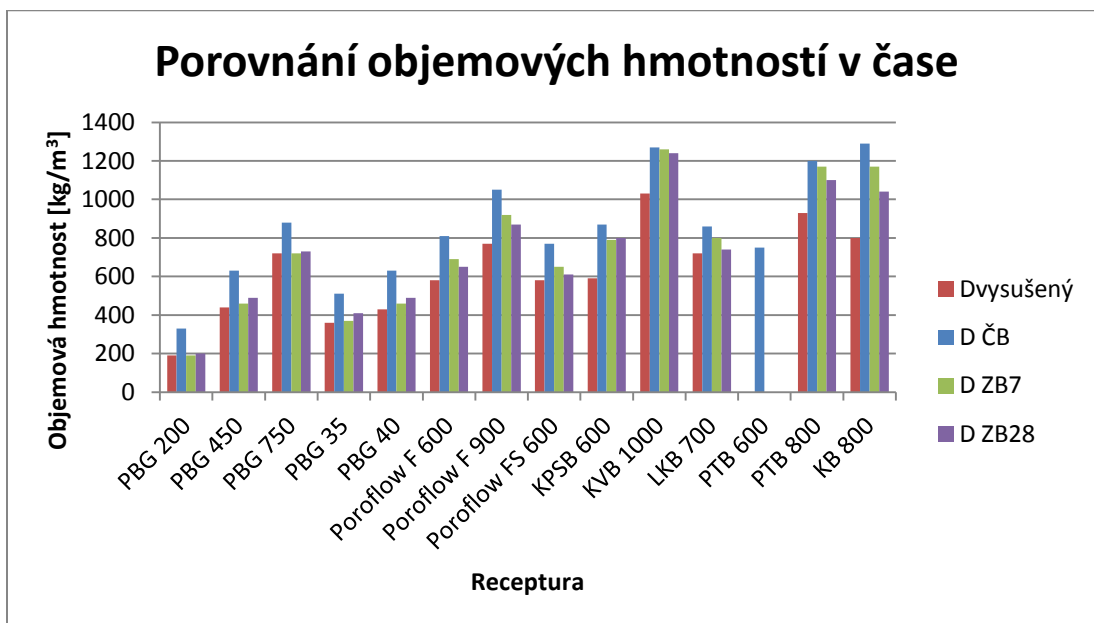
Tab. 32 Porovnání objemových hmotností v čase

Porovnání objemových hmotností v čase				
Receptura	D <sub>vysušený</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	D ČB [kg/m <sup>3</sup> ]	D ZB <sub>7</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	D ZB <sub>28</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]
PBG 200	190	330	190	200
PBG 450	440	630	460	490
PBG 750	720	880	720	730
PBG 35	360	510	370	410
PBG 40	430	630	460	490
Poroflow F 600	580	810	690	650
Poroflow F 900	770	1050	920	870
Poroflow FS 600	580	770	650	610
KPSB 600	590	870	790	800
KVB 1000	1030	1270	1260	1240
LKB 700	720	860	800	740
PTB 600	-	750	-	-
PTB 800	930	1200	1170	1100
KB 800	800	1290	1170	1040

Z tabulky vyplývá, že nejvyšší objemové hmotnosti jsou v čerstvém stavu a poté s časem klesají, výjimkou je však prvních pět navržených receptur pěnobetonů, ty se vyznačují tím, že sice v prvních 7 dnech vlivem tuhnutí, tvrdnutí a odpařování nadbytečné záměsové vody jejich objemová hmotnost vůči čerstvému stavu klesá stejně jako u ostatních receptur, ale tyto velmi pórovité pěnobetony následně zpátky nasávaly vzdušnou vlhkost z prostředí, ve kterém byly uskladněny a tím jejich objemová hmotnost opět stoupala, ale maximálně o 40 kg/m<sup>3</sup>.

Pro lepší zhodnocení je tabulka zpracována i graficky, viz. graf dále.

Graf 1 Porovnání objemových hmotností v čase



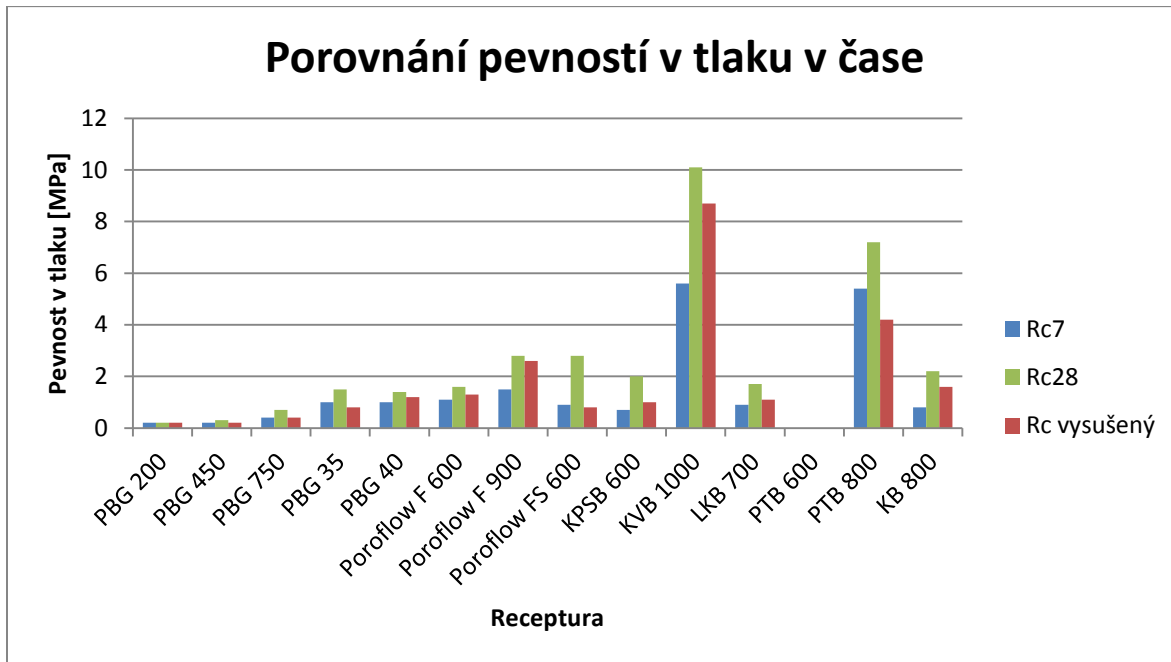
#### 7.4.2 Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku byla měřena po 7 a 28 dnech zrání a následně po vysušení a provedení měření součinitele tepelné vodivosti.

Tab. 33 Porovnání pevností v tlaku v čase

Porovnání pevností v tlaku v čase				
Receptura	$D_{\text{vysušený}} \text{ [kg/m}^3\text{]}$	$R_{\text{c vysušený}} \text{ [MPa]}$	$R_{\text{c7}} \text{ [MPa]}$	$R_{\text{c28}} \text{ [MPa]}$
PBG 200	190	0,2	0,2	0,2
PBG 450	440	0,2	0,2	0,3
PBG 750	720	0,4	0,4	0,7
PBG 35	360	0,8	1,0	1,5
PBG 40	430	1,2	1,0	1,4
Poroflow F 600	580	1,3	1,1	1,6
Poroflow F 900	770	2,6	1,5	2,8
Poroflow FS 600	580	0,8	0,9	2,8
KPSB 600	590	1,0	0,7	2,0
KVB 1000	1030	8,7	5,6	10,1
LKB 700	720	1,1	0,9	1,7
PTB 600	-	-	-	-
PTB 800	930	4,2	5,4	7,2
KB 800	800	1,6	0,8	2,2

Graf 2 Porovnání pevností v tlaku v čase



Jak z tabulky a grafu vyplývá nárůst pevností v čase je zřejmý. Co se týče pevností v tlaku ve vysušeném stavu jsou obecně nižší, protože je struktura materiálu narušena vysokou teplotou (105 °C) se kterou tyto materiály běžně nedojdou do styku, většinou až v případě požáru.

Nejvyšší hodnota pevnosti v tlaku byla naměřena po 28 dnech zrání na receptuře keramzitvermikulitbetonu (KVB 1000) a to 10,1 MPa. Oproti tomu nejnižší hodnota pouhých 0,2 MPa byla naměřena na pěnobetonu PBG 200, tedy nejlehčí receptuře vůbec.

#### 7.4.3 Součinitel tepelné vodivosti

Měření součinitele tepelné vodivosti probíhalo v laboratoři Stavební fyziky na přístroji Shotherm QTM, který pracuje na principu metody horkého drátu. Měřící zařízení je volně pokládáno na zkušební tělesa a pochvíli nám vyčíslí přibližnou hodnotu součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$ .

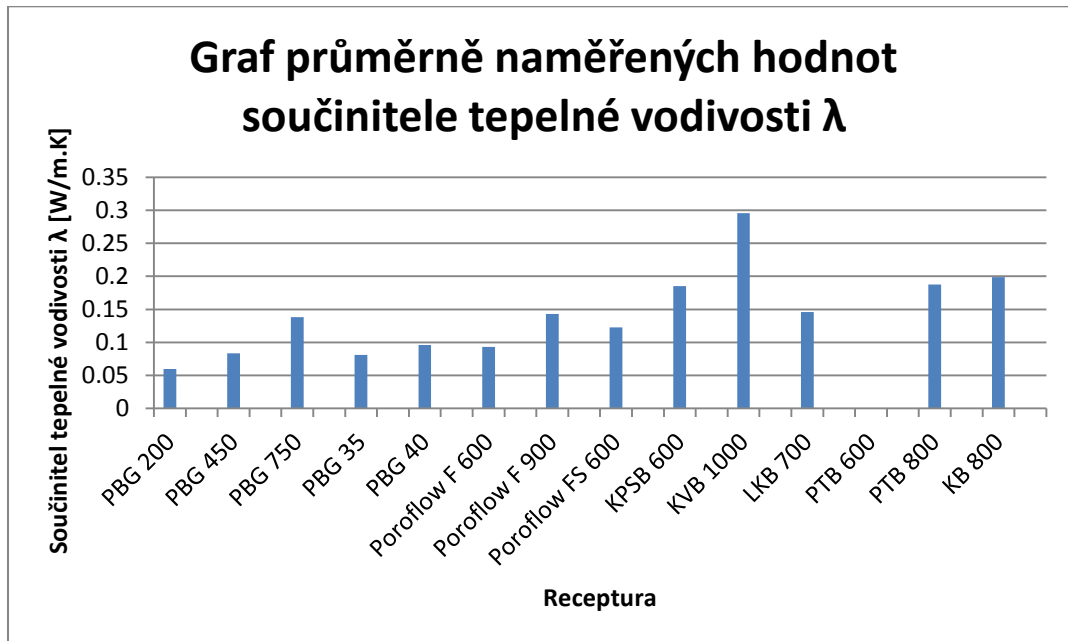
Tab. 34 Naměřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/m.K]

Naměřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti $\lambda$ [W/m.K]			
Receptura	Naměřená $\lambda$ [W/m.K]		$\bar{\lambda}$ [W/m.K]
PBG 200	0,0608	0,0628	<b>0,0598</b>
	0,0583	0,0573	
PBG 450	0,0759	0,0848	<b>0,0835</b>
	0,0929	0,0805	
PBG 750	0,1751	0,1062	<b>0,1379</b>
	0,1094	0,1607	
PBG 35	0,0821	0,0785	<b>0,0808</b>
	0,0830	0,0795	
PBG 40	0,0972	0,0961	<b>0,0958</b>
	0,0944	0,0954	
Poroflow F 600	0,1030	0,0803	<b>0,0932</b>
	0,0950	0,0946	
Poroflow F 900	0,1344	0,1510	<b>0,1430</b>
	0,1452	0,1415	
Poroflow FS 600	0,0907	0,1280	<b>0,1226</b>
	0,1101	0,1214	
KPSB 600	0,1774	0,2206	<b>0,1851</b>
	0,1764	0,1659	
KVB 1000	0,3544	0,2362	<b>0,2956</b>
	0,2560	0,3358	
LKB 700	0,1480	0,1442	<b>0,1460</b>
	0,1513	0,1405	
PTB 600	-	-	-
	-	-	
PTB 800	0,1956	0,1943	<b>0,1876</b>
	0,1689	0,1917	
KB 800	0,1843	0,1731	<b>0,1987</b>
	0,2066	0,2307	

Jak z tabulky a následného grafu pro lepší orientaci vyplývá součinitel tepelné vodivosti se zvyšující se objemovou hmotností roste. Za povšimnutí stojí, že receptura pěnobetonu PBG 200 dosáhla průměrné hodnoty součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  pouhých 0,0598 W/m.K což je hodnota blízka klasickým deskovým tepelně - izolačním materiálům jako je pěnový polystyren či minerální vata. Oproti tomu nejvyšší hodnota

byla naměřena na receptuře s nejvyšší objemovou hmotností, kterou byl keramzitvermitbeton s hodnotou blízkou 0,3 W/m.K.

Graf 3 Graf průměrně naměřených hodnot součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$



Obr. 23 Přístroj Shotherm QTM při práci



#### 7.4.4 Stanovení ceny jednotlivých navržených receptur

Při stanovování ceny jednotlivých receptur byl brán ohled pouze na cenu jednotlivých surovin bez ohledu na dopravu, spotřebu energie, ale s přihlédnutím na odebrané pouze maloobchodní množství. Dále do ceny nijak nezasahuje potřebné strojní vybavení pro namíchání směsí, a to ani kupní cenou nebo cenou pronájmu. Uvedené ceny jsou uvedeny bez DPH.

Tab. 35 Stanovení ceny jednotlivých surovin navržených receptur

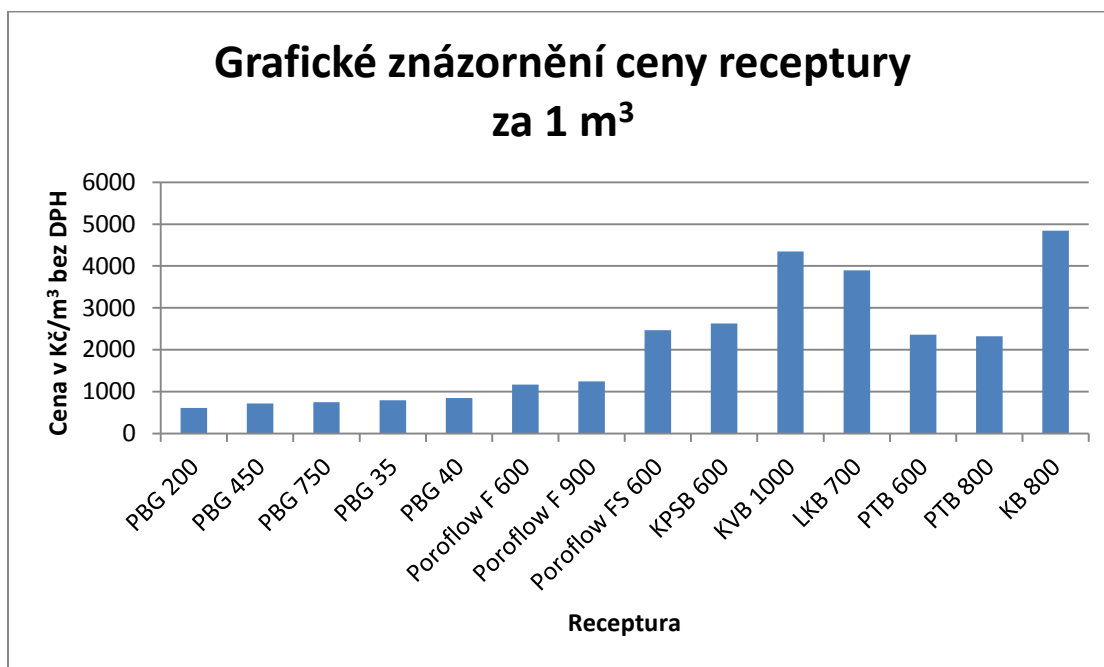
Stanovení ceny jednotlivých surovin navržených receptur	
Surovina	Cena v Kč/kg bez DPH
CEM I 42,5 R	2,90
CEM II/B-M (S-V-LL) 32,5 R	2,20
pěnový polystyren (granulát)	173,55
Expandovaný Perlit EP 150 frakce 0 - 2 mm	17,41
Vermikulit frakce 2 - 4 mm	163,45
kamenivo frakce 0 - 4 mm	0,18
Liapor frakce 1 - 4 mm	3,79
Liapor frakce 4 - 8 mm	5,19
Liapor frakce 8 - 16 mm	6,53
konopné pazdeří	30,00
vápenný hydrát	3,39
SIRCONTEC FN1	94,90
SIKA SB2	92,50
popílek	0,90
Chrysofluid optima 224	38,70
SIKA Lightcrete L 500	41,30
voda	0,10

Výsledná cena odpovídá hmotnostní potřebě jednotlivých surovin pro výrobu dané receptury.

Tab. 36 Stanovení ceny navržených receptur s ohledem pouze na vstupní suroviny

Stanovení ceny navržených receptur s ohledem pouze na vstupní suroviny	
Receptura	Cena v Kč/m <sup>3</sup> bez DPH
PBG 200	608,26
PBG 450	715,59
PBG 750	744,72
PBG 35	794,52
PBG 40	846,18
Poroflow F 600	1167,60
Poroflow F 900	1242,00
Poroflow FS 600	2462,39
KPSB 600	2624,20
KVB 1000	4343,70
LKB 700	3893,70
PTB 600	2360,40
PTB 800	2323,30
KB 800	4841,18

Graf 4 Grafické znázornění ceny receptury za 1 m<sup>3</sup>



## **8. POROVNÁNÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ Z HLEDISKA JEJICH DOPRAVY**

Doprava tepelně izolačních surovin, materiálu a výsledné hmoty je nedílnou součástí stavebnictví. Především v nynější uspěchané době, kdy včera už bylo pozdě. Nejde jen o logistiku dovozu materiálu či suroviny na stavbu, větším problémem je dostat výsledný materiál o požadovaných vlastnostech a v co nejkratším čase na místo pokládky.

Každý materiál lze dopravit na jeho budoucí místo uložení několika způsoby, vše závisí především na jeho skupenství, konzistenci, velikosti, váze, množství atd., ale i na vzdálenosti a přístupu k místu jeho uložení. Často si lze vystačit jen s lidskou silou a několika kbelíky či kolečky, někdy by se mohlo zdát, že je to i jediný způsob, ale proč si tuto práci neusnadnit moderními stroji, které tuto práci dokážou udělat za nás a to v mnohem kratším čase.

Ano, u deskových materiálů či tam, kde se jedná řádově o pár litrů suroviny nám po většinou nezbyvá nic jiného než uchopit dílec tzv. "do teplých" a odnést na místo ukládky, ale u sypkých a litých materiálů máme řadu možností dopravy o kterých si něco dozvíte níže.

### **8.1 Foukání**

Foukáním lze dopravovat lehké sypké materiály jako je keramzit, perlit, granulát pěnového polystyrenu apod.. Sypký materiál je na stavenišťe dovezen v cisterně odkud je pomocí vzduchu unášen hadicí až na místo uložení, kde je volně uložen. Nevýhodou tohoto řešení je vysoká prašnost a dále špatné zhutnění materiálu, který je "nadýchaný", toto je nebezpečné pokud na takto dopravený materiál pokládáme další konstrukce, vlivem zatížení by totiž mohlo docházet k pohybům a následnému hutnění a sedání nafoukaného materiálu, to by mělo za následek tvorbu deformací na následujících konstrukcích.

Pokud by se však jednalo o zaplnění volného prostoru (dutiny nad klenbami apod.), který je sám o sobě staticky únosný, šlo by o jednoduchý způsob tepelné izolace.



Obr. 24 Dodávka keramického kameniva Liapor do podlah v budově UMČ Brno formou foukání. Provedeno společností TECH TRADING GROUP a.s.



Zdroj: [22]

Například k foukání keramického kameniva Liapor lze použít pouze frakce 1 - 4 / 500 nebo 4 - 8 / 350. Na trhu jsou pak k dostání cisterny o objemu 30, 40 a 60 m<sup>3</sup>. Běžná doba vyprázdnění je pak cca 2 - 3 hodiny a materiál lze přemísťovat až do vzdálenosti 100 metrů.

## 8.2 Doprava litých a polosuchých směsí

Pokud potřebujeme dostat směs na bázi cementového pojiva například do patra, prostor s omezeným přístupem či přes obydlené prostory je nejjednodušší směs vést hadicí. Dle zvoleného materiálu, pak máme na výběr dva základní typy čerpadel šnekové a pístové.

Kdy každému z nich vyhovují rozličné materiály především svou konzistencí a použitým maximálním zrnem kameniva.

Většina čerpadel je postavena na brzděném přívěsu, je tedy možné je přepravovat za automobily a díky malým rozměrům a hmotnosti je lze používat na těžko dostupných místech či v hustě zastavěných oblastech.

Ale aby bylo nejdříve co čerpat musíme si zvolenou směs nechat namíchat na betonárně a převést na staveniště autodomíchávači.

### 8.2.1 Putzmeister SP 20

Toto šnekové (též výstředníkové nebo excentrické) čerpadlo patří do skupiny rotačních objemových čerpadel, díky tomu protéká čerpaný materiál spojitě, bez rázů či impulzů ze násypky až na místo ukládky. Je určeno k čerpání směsí konzistence S3 a S4 o maximálním zrně kameniva 8 mm. Čerpadlo je poháněno dieselovým motorem, který pohání hydraulické čerpadlo, které následně otáčí hřídel se dvěma šnekami nebo-li rotory. První šnek se nachází v násypce o objemu 250 l, na něj navazuje druhý, který je již ve stabilním elastickém gumovém pouzdru (nazývaném stator). Stejně jako je tomu u šroubu, který se otáčí v matce, tak i zde se dopravované médium ve šroubovém čerpadle opouzdří a posouvá se tak do dopravní hadice.

I v tomto případě je čerpadlo osazeno na podvozkový rám pro lepší manipulaci a přepravu. Hodinový výkon dosahuje až 15 m<sup>3</sup> na vzdálenost 150 m.



Obr. 24 Čerpadlo Putzmeister SP 20

### 8.2.2 Putzmeister 715 TD

Toto malé přívěsné 2-pístové čerpadlo poháněné dieslovým motorem je schopno odčerpat i konstrukční beton do maximálního zrna kameniva 16 mm při konzistenci S3 a S4. Disponuje rourou ve tvaru "S" s automatickým těsněním umožňujícím čerpací tlak až 68 barů, kdy automatický těsnící kroužek na tzv. S-rourě zabraňuje vznikajícímu opotřebení pístových dílů. Maximální hodinový výkon činí 17,4 m<sup>3</sup>/h na vzdálenost 100 m.

Nevýhodou oproti lehčí SP 20 je velikost hadic, které jsou sice kratší 5 m vs. 20 m, ale protože jsou dimenzovány na daleko vyšší tlaky jsou i tak mnohem těžší 40 kg/kus vs. 25 kg/kus.

Obr. 25 Čerpadlo Putzmeister 715 TD



Zdroj: [16]

### 8.3 Míchání a čerpání směsi in-situ

Tato zařízení si oproti čerpadlům litých směsí popsaných výše, dokážou výslednou směs namíchat přímo na staveništi. Díky tomu, že jsou často postaveny na podvozcích určených k přepravě za automobily je s nimi i jednoduchá manipulace na staveništi. Dle

konzistence a objemové hmotnosti výsledného materiálu bych představil dvě výrobní zařízení.

### 8.3.1 SIRCONTEC MS 1000

Toto výrobní zařízení je určeno k výrobě velmi lehkých litých pěnobetonů a polystyrenpěnobetonů o objemových hmotnostech v rozmezí 350 - 1600 kg/m<sup>3</sup>. Proto je vybaveno jen šnekovým dopravníkem pro čerpání maximálního zrna 4 mm. Celé zařízení je umístěno na dvounápravový podvalník včetně míchacího bubnu o objemu 1 m<sup>3</sup>, 300 l nádrže na vodu, pěnogenerátoru, řídicího počítače a šnekového dopravníku. Během jedné hodiny je i jen jeden strojník schopen namíchat a odčerpat až 6 m<sup>3</sup> na vzdálenost až 150 m. Jelikož je toto zařízení poháněno pouze elektrickou energií, může být při nevlídném počasí umístěno i v prostorách uvnitř stavby, ale za předpokladu ochrany obsluhy před hlukem vytvářeným kompresorem.

Obr. 26 Mobilní výrobní zařízení Sircontec MS 1000



Zdroj: [19]



### 8.3.2 Putzmeister MT 740

V tomto mísicím a čerpacím zařízení tzv. mixokretu se nejprve v míchacím a dopravním zásobníku (objem cca 200 l) dopravovaný materiál (velikost zrn až 16 mm) smíchá stejně jako v míchačce s proti běžným mícháním. Po skončení míchání se míchací zásobník, který je proveden jako tlakový zásobník naplní stlačeným vzduchem vyrobeným šroubovým kompresorem a to horním a spodním ventilem. Stlačený vzduch horním ventilem navádí směs ke spodnímu ventilu stlačeného vzduchu, který následně tlačí materiál na dávky do potrubí. Tím vzniká nespojitý tok materiálu.

I toto zařízení je umístěno na podvozku, ale tentokrát je zde osazen i dieselový motor, který pomocí hydrauliky pohybuje jednotlivými částmi stroje. Maximální výkon je spíše podprůměrných 3,8 m<sup>3</sup>/h při dosahu až 180 m nebo 30 pater. Zařízení dokáže přečerpát směs konzistence S0 (směs jílu a slámy nebo zrnitý sypký materiál) až S4 (potěr), je tedy velmi flexibilní.

Obr. 27 Mixokret Putzmeister MT 740



Zdroj: [15]

#### **8.4 Balená surovina**

Jedná-li se o sypký materiál, pak je nejčastěji zabalen do pytlů o objemu 1 - 150 litrů, pokud je určen k nošení lidmi. Lze-li využít mechanizaci jako je nakladač nebo vysokozdvižný vozík lze sypký materiál převážet v pytlích o objemu 1 m<sup>3</sup>, tzv. BigBagu. Tohoto se využívá především při stavbách průmyslových objektů, kde nejsme limitováni manipulačním prostorem.

Deskové a plošné materiály bývají zabaleny do balíků ať už kvádrového či válcového tvaru (pokud to nemá nepříznivý vliv na daný materiál) o velikostech určených k snadné manipulaci a nošení lidmi, například 0,5 x 0,5 x 1,0 m.

## 8.5 Oceňování dopravy

Oceňování nebo též tvorba cenové nabídky není jednoduchá, výslednou cenu ovlivňuje příliš mnoho faktorů a je tedy velmi individuální, proto se mnoho firem vydalo cestou tzv. "staveb na klíč".

Nesmíme zapomenout, že nákupní cena výše popisovaných čerpadel je minimálně v řádech statisíců, spíše milionů, tak je jejich pořízení finančně velmi náročné, i jen hodinový pronájem jednotlivých strojů je spíše v řádech tisíců korun. Stejně tak cena spotřebního materiálu jako jsou např. ocelová vřetena (šneky) a statory se pohybuje v řádech tisíců korun a jejich výdrž je přímo závislá na velikosti frakce kameniva, které je daným zařízením čerpáno.

### 8.5.1 Orientační ceník pronájmu šnekového čerpadla

Tab. 37 Orientační ceník pronájmu šnekového čerpadla potěrů PUTZMEISTER SP 20

Položka	Základní cena	Kauce
Pronájem	3 000 Kč / den	45 000 Kč
Mytí stroje mimo stavbu v případě běžného znečištění	1 500 Kč / jednorázově	
Mytí stroje mimo stavbu v případě hrubého znečištění	8 000 Kč / jednorázově	
Jízdné servisního vozidla	17 Kč / km	
Cena obsluhy	500 Kč / hod	
Další položky	PHM 5 l / Mhod	

## 9. Porovnání tepelně - izolačních materiálů z hlediska náročnosti na pokládku

Práce s každým stavebním materiálem je specifická, vše závisí na skupenství a hutnosti materiálu. Proto bych chtěl následně popsat práci s několika vybranými tepelně izolačními materiály.

Společným základem je příprava podkladu, všeobecně platí, že by měl být suchý a zametený, aby nedošlo navlhnutí a porušení převážně deskových izolací.

Dalším důležitým prvkem je předem opatřit veškeré svislé konstrukce a prostupující tělesa pružným a zároveň separačním materiálem, který následně umožňuje přetvoření vlivem změny teplot dalších navazujících vodorovných konstrukcí jako jsou potěry a podlahoviny. Tento úkon má dále vliv i na útlum kročejového hluku. Nejčastěji se k tomuto účelu používají pásy z pěnového polyetyleny o tloušťce 5 nebo 10 mm, podobně lze i použít i 10 mm pásek pěnového polystyrenu či minerální vlny, ale práce s nimi je mnohem komplikovanější.

Abychom tepelnou izolaci osadili do stanovené nivelety pomáháme si k tomu nivelačními přístroji, může jít buď to o optické nivelační, laserové rotační nebo kapalinové. Optické a především laserové přístroje jsou vhodné pro použití především v halových objektech, kde můžeme stativ postavit do prostoru, tak abychom na něho viděli ze všech zákoutí a paprsek pro snímač polohy byl co nejméně zakrýván přilehlými konstrukcemi. Oproti tomu kapalinové nivelační přístroje (tzv. vodo váhy) nám dokážou určit správnou niveletu i za rohem, takže jsou vhodnější do členitějších prostor jako jsou rodinné a bytové domy. Pracují na principu mechaniky tekutin, kdy je baňka s nastavenou niveletou hladiny spojena s druhou baňkou se stupnicí spojena pomocí hadičky v níž je obsažena měřicí kapalina. Jediným omezením je nižší výškový rozsah měření a délka hadičky.

Po dokončení pokládky tepelné izolace je potřeba danou izolaci zakrýt separační vrstvou, nejlépe Pe - fólií, aby nedošlo k narušení či dokonce vlivem nízké objemové hmotnosti k vyplavení tepelné izolace na povrch během betonáže nosné krycí desky.



## 9.1 Lité izolace na cementové bázi

Do této skupiny tepelných izolací patří převážně pěnobetony a polystyrenpěnobetony, díky tomu, že v čerstvém stavu dosahují konzistence třídy S3 a S4 jsou na místo ukládky čerpány nejčastěji vřetenovými čerpadly skrz gumovou hadici. Takto je směs nepřetržitě čerpána na místo pokládky, kde je dělníky plošně rozlévána na připravený podklad. Díky tomu, že je směs tekutá dosahuje dobrých rozlivových až samonivelačních schopností a je díky tomu velmi snadné ji vylít až do předem stanovené nivelety.

Příprava podkladu je v tomto případě velmi důležitá, protože se pracuje s tekutým materiálem, je potřeba aby byl co nejméně nasákavý a nejlépe vodotěsný, proto by příprava měla být velmi pečlivá. Nebezpečím je voda v záměsy, nejenže pokud se záměsová voda v pyje rychle do podkladu mohlo by dojít k velkému popraskání a seschnutí pěnobetonu, navíc by tato voda mohla porušit i stávající konstrukci tím, že by se zvýšila její vlhkost s následnou tvorbou plísní apod.. Tomuto lze předejít položením minimálně jedné vrstvy Pe - fólie, kdy jednotlivé spoje musí být pečlivě přelepeny samolepící páskou, pro jistotu je však lepší použít vícero vrstev Pe - fólie.

Dělníkům pro lití do správné nivelety pomáhají předpřipravené nivelační trojnožky, tzv. kozičky. Ty mají posuvný terč, který se nastaví do správné nivelety pomocí kapalinového nivelačního přístroje.

Ihned po dolití, je potřeba směs provibrovat, aby se materiál dostal do všech míst, k tomu slouží speciální duralové hrazdy o délkách 75, 142,5 a 240 cm. Díky tomu dojde ke sjednocení povrchu, jeho zatažení a výborné rovinnosti. Tato vibrace nemá při použití kvalitních pěnotvorných přísad vliv výsledné vlastnosti zatvrdlého pěnobetonu.

Tab. 38 Klady a zápory lité izolace na cementové bázi

KLADY	ZÁPORY
<p>+ samonivelační vlastnosti » výborná výsledná rovinnost</p> <p>+ možnost použití pro jakoukoliv tloušťku konstrukce nad 30 mm » výsledná niveleta pro co nejoptimálnější tloušťku navazujících horizontálních konstrukcí</p> <p>+ nezáleží na křivosti podkladu</p> <p>+ vyplní a obteče veškeré instalace v podlahách</p> <p>+ nehořlavý (pokud nejsou přítomna hořlavá plniva, př. polystyren)</p> <p>+ nestlačitelný</p> <p>+ rychlá pokládka</p> <p>+ dělník je při práci vzpřímený</p>	<p>- nebezpečí zatečení záměsové vody do konstrukce » pečlivá příprava</p> <p>- nemá vliv na útlum kročejového hluku</p> <p>- tvorba trhlin během tvrdnutí při teplotách nad 30 °C</p> <p>- pochozí po 24 hodinách při teplotách kolem 20 °C</p> <p>- nutnost speciálního strojního vybavení nebo čerpadla</p>

## 9.2 Hutné a polosuché izolace na cementové bázi

Jedná se především o směsi, které již kvůli své hustší konzistenci nelze čerpat šnekovými čerpadly, ale pouze pístovými. Jde především o perlitbetony, konopné betony apod. Zde i když je směs na místo pokládky dopravena rovněž hadicí, tak již nemá žádné samonivelační schopnosti. Pokládka tedy probíhá klasickým zednickým způsobem pomocí stahovacích latí a hladítky, pomocí patek a následného stahování směsi do jejich výšky. Pokud je potřeba vibrace lze ji vykonat plovoucí vibrační latí nebo při větších tloušťkách vrstev ponornými vibrátory, ale tato vibrace je dosti málo účinná.

Tab. 39 Klady a zápory hutné a polosuché izolace na cementové bázi

KLADY	ZÁPORY
+ nižší množství záměsové vody než u litých směsí + nezáleží na křivosti podkladu + možnost použití pro jakoukoliv tloušťku konstrukce nad 30 mm » výsledná niveleta pro co nejoptimálnější tloušťku navazujících horizontálních konstrukcí + nehořlavý (pokud neobsahuje hořlavá plniva) + nestlačitelný + rychlá pokládka	- práce v předklonu či ve dřepu - nutnost speciálního strojního vybavení nebo čerpadla - tvorba trhlin během tvrdnutí při teplotách nad 30 °C » potřeba ošetřování během tvrdnutí - nebezpečí zatečení záměsové vody do konstrukce » pečlivá příprava - oproti litým směsím možnost vzniku dutin - rovinatost záleží na schopnostech dělníků

### 9.3 Granuláty

Granuláty jako keramzit, perlit apod. lze snadno srovnávat klasickým zednickým způsobem pomocí stahovacích latí a hladítek, tento způsob se aplikuje především při nižších tloušťkách vrstev nebo pak v prostorách s omezeným přístupem.

Při tvorbě hutněných násypů a tepelně izolačních vrstev v halových objektech už lze použít větší mechanizaci jako jsou grejdry a kolové a smykové nakladače. Využívají se především na návoz a srovnání granulátů jako je pěnové sklo apod.. Zde je již potřeba hutnění a vibrace, která je nutná proto aby následkem zatížení nedocházelo k poklesu lože a destrukci horních nosných konstrukcí. K hutnění se používají plošné vibrační desky nebo vibrační válce. Především při větších tloušťkách vrstev je potřeba dodržovat určitá pravidla jako jsou vibrace po vrstvách (nejlépe každých 10 - 20 cm) a používat vhodné frakce granulátu.

Tab. 40 Klady a zápory izolačních granulátů

KLADY	ZÁPORY
+ vyplní a obteče veškeré instalace v podlahách (nutnost hutnění již během pokládky)	- vysoká prašnost
+ nehořlavý (pokud nejsou přítomna hořlavá plniva, př. polystyren)	- při větším množství potřeba strojního vybavení
+ nestlačitelný	- povrch není kompaktní a stabilní často ani po řádném hutnění
+ možnost použití pro jakoukoliv tloušťku konstrukce » výsledná niveleta pro co nejoptimálnější tloušťku navazujících horizontálních konstrukcí	- práce v předklonu či ve dřepu
	- rovinatost záleží na schopnostech dělníků

## 9.4 Desky a rohože

Balíky pěnového polystyrenu a minerální vlny obsahují již předem nařezané desky na danou tloušťku. Tyto desky se skládají na sraz jedna vedle druhé na suchý a rovný povrch. Aby nedocházelo k tvorbě tepelných mostů a především ke kopírování nerovností v podkladu do vyšších skladeb je lepší volbou skládat vícero tenčích desek do vrstvy než jedna deska celé tloušťky (skladba má tloušťku 100 mm, tak raději použijí skladbu: 1 x 10 mm + 3 x 30 mm než 1 x 100 mm). Další problém se vyskytuje u svislých zděných konstrukcí, kde vlivem asfaltového izolačního pásu vloženého pod touto konstrukcí vzniká malý fabionek, který zvedá tepelnou izolaci a tak snižuje tloušťku navazujících nosných konstrukcí, což má vliv na vznik tzv. talířového efektu.

Obecně by se desky k sobě a následně na sebe měli skládat podobně jako cihly, abychom zabránili procházení spár konstrukcí, nejenže tím zlepšíme stabilitu celé desky, výrazně se i zlepší výsledná rovinnost vzniklého souvrství.

Desky a rohože se všeobecně zkracují a opracovávají řezáním, ale pro každý materiál je vlivem jeho vnitřní struktury k tomuto činu určen jiný nástroj. Viz. tabulka níže.

Tab. 41 Optimální nástroje pro řezání vybraných deskových a rohožových tepelných izolací

Optimální nástroje pro řezání vybraných deskových a rohožových tepelných izolací	
Materiál	Nástroj na řezání
Pěnový polystyren	nůž s rovným ostřím, horký odporový drát
Minerální vlna	dlouhý nůž se zubatým ostřím
Pěnový polyetylen	nůž s rovným ostřím, horký odporový drát
Pěnové sklo	pilka na houževnatý materiál (př. dřevo)

Speciálně u rohoží pěnového polyetylenu je výhodou jednotlivé pásy čas od času slepit lepicí páskou, aby vlivem prodění vzduchu na stavbě nedocházelo k jeho volnému posunu, což by mělo velký vliv na následné tlumení kročejového hluku celé konstrukce.

Specifickým prvkem u desek pěnového skla je, že abychom zabránili posunu jednotlivých desek a tvorbě tepelných mostů, jsou jednotlivé desky mezi sebou lepeny speciálním dvousložkovým lepidlem na asfaltové bázi, čímž dochází nejen ke složitější a pomalejší pokládce, ale celý systém se tak dost prodražuje.

Tab. 42 Klady a zápory izolačních desek a rohoží

KLADY	ZÁPORY
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ není potřeba drahého strojního vybavení</li> <li>+ rychlá pokládka pokud je podklad rovný, čistý, nečlenitý a bez instalací</li> <li>+ nejlepší tepelně izolační vlastnosti</li> <li>+ některé výrobky snižují hladinu akustického tlaku kročejového hluku</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- práce v předklonu či ve dřepu</li> <li>- časově náročný, především při vyšších tloušťkách a při množství instalací</li> <li>- odřezky odvézt k recyklaci nebo uložit na skládku PKO</li> <li>- potřeba velmi rovného podkladu</li> <li>- výsledná niveleta je kopií podkladu</li> <li>- nemožnost nastavení tak přesné výsledné nivelety jako u litých, polosuchých a granulových izolací bez použití např. pískového podsypu</li> </ul>

## 10. Návrhy skladeb tepelně - izolačních podlah

S příslibem snížení vynaložených nákladů na tepelnou pohodu ve stavbách se už i během projekce řeší tepelně - izolační vlastnosti jednotlivých materiálů v konstrukci. Poté co se v dřívějších dobách řešilo pouze zateplování vnější obálky budov se nyní přechází i k daleko vyšším nárokům na zateplování podlah, stropů a střešních konstrukcí.

Tím, že každá stavba je ve svém smyslu originální, něčím specifická nelze jednoduše navrhnout jedno univerzální řešení, které by se dalo použít v každém případě. Existuje celá škála faktorů ovlivňující výsledný návrh a specifikaci:

- navrhované zatížení podlahy
- celková tloušťka skladby podlahy
- rovinatost a především tvarová a výšková nesourodost podkladu
- fyzikálně - mechanické vlastnosti izolantu
- potřeba splnit určité podmínky útlumu kročejového hluku
- požární odolnost skladby
- navýšení zatížení konstrukce
- cena
- doprava materiálu na místo pokládky a složitost jeho uložení
- preference daného stavebního materiálu projektanty a investory

Již dle prvního bodu se od sebe výrazně odlišují obytné, kancelářské a průmyslové objekty vlivem budoucího zatížení podlahových konstrukcí. Proto bych se chtěl dále zabývat jednotlivými typy podlah samostatně.

## 10.1 PRŮMYSLOVÉ OBJEKTY - podlahové konstrukce na terénu

V průmyslových objektech se příliš často nesečkááme s potřebou zateplování podlahových konstrukcí jedná se především o objekty se zavedenou sériovou výrobou, kde se počítá s tím, že dělníci budou stát většinu pracovní směny na jednom místě. Dále by se jednalo o sklady, kde je potřeba uvnitř udržovat konstantní teplotu bez rozdílu jaké roční období je zrovna venku, jedná se především o chladírenské provozy a provozy skladující zboží potřebující stálé klima.

Vlivem vyšší požadované únosnosti skladby lze v tomto případě použít pouze extrudovaný polystyren XPS nebo hutněné násypy z keramzitu a pěnového skla. Především extrudovaný polystyren nelze položit pouze na rostlý terén, je potřeba provést hutněný násyp nebo provést podkladní betonovou desku na hutněný násyp.

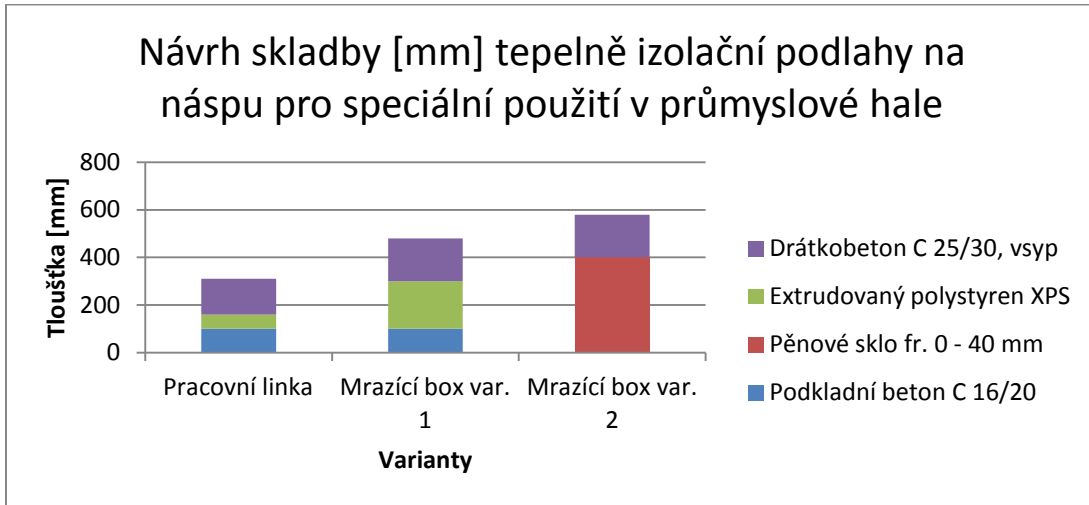
Tab. 43 Návrh skladby [mm] tepelně izolační podlahy na náspu pro speciální použití v průmyslové hale

Návrh skladby [mm] tepelně izolační podlahy na náspu pro speciální použití v průmyslové hale			
Materiál	Pracovní linka	Mrazící box var. 1	Mrazící box var. 2
Drátkobeton C 25/30, vsyp	150	180	180
Extrudovaný polystyren XPS	60	200	0
Pěnové sklo fr. 0 - 40 mm	0	0	400
Podkladní beton C 16/20	100	100	0

Jak i z následujícího grafu a tabulky vyplývá, pokud potřebujeme dosáhnout vysokých hodnot tepelného odporu musíme počítat s velkou tloušťkou použitého souvrství, kdy však je potřeba, aby statik navrhl danou skladbu i z hlediska požadované únosnosti.



Graf 5 Návrh skladby [mm] tepelně izolační podlahy na náspu pro speciální použití v průmyslové hale



Výpočet tepelného odporu použité tepelné izolace v návrhu:

Výpočet:

$$R = \sum_{j=1}^n R_j = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} \quad [m^2 \cdot K/W]$$

kde:

- R [m<sup>2</sup>.K/W] Tepelný odpor  
d [m] Tloušťka  
λ [W/m.K] Součinitel tepelné vodivosti

Tab. 44 Tepelně izolační vlastnosti jednotlivých skladeb

Tepelně izolační vlastnosti jednotlivých skladeb				
Materiál		Pracovní linka	Mrazící box var. 1	Mrazící box var. 2
Drátkobeton C 25/30, vsyp	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	1,5800	1,5800	1,5800
Extrudovaný polystyren XPS		0,0350	0,0350	-
Pěnové sklo fr. 0 - 40 mm		-	-	0,0760
Podkladní beton C 16/20		1,3600	1,3600	-
Celkový tepelný odpor konstrukce R [m <sup>2</sup> .K/W]		<b>1,8828</b>	<b>5,9017</b>	<b>5,3771</b>

Jak lze na výsledcích vidět extrudovaný polystyren XPS má i při poloviční tloušťce souvrství vyšší hodnotu tepelného odporu než hutněný násyp z pěnového skla.

V dalším kroku je z počítána teoretická cena souvrství s ohledem pouze na cenu použitého materiálu, protože náklady na strojní vybavení se mění v závislosti na množství ukládaného materiálu.

Tab. 45 Teoretická cena materiálu na 1 m<sup>2</sup> jednotlivých skladeb (ceny v Kč bez DPH)

Teoretická cena materiálu na 1 m <sup>2</sup> jednotlivých skladeb (ceny v Kč bez DPH)				
Materiál		Pracovní linka	Mrazící box var. 1	Mrazící box var. 2
Drátkobeton C 25/30, 25 kg drát., vsyp	Cena za 1 m <sup>3</sup>	2162 + 625 + 140 = 2927		
Extrudovaný polystyren XPS		3087	3087	-
Pěnové sklo fr. 0 - 40 mm		-	-	1694
Podkladní beton C 16/20		1974	1974	-
<b>Celková cena vstupního materiálu na 1 m<sup>2</sup></b>		<b>821,67</b>	<b>1341,66</b>	<b>1204,46</b>

Jak z vypočtených hodnot vyplývá, tak při srovnání variant s extrudovaným polystyrenem je při 50 % nárůstu ceny za 1 m<sup>2</sup>, zvýšení tepelného odporu více jak trojnásobné.

## 10.2 PRŮMYSLOVÉ OBJEKTY - stropní podlahové konstrukce

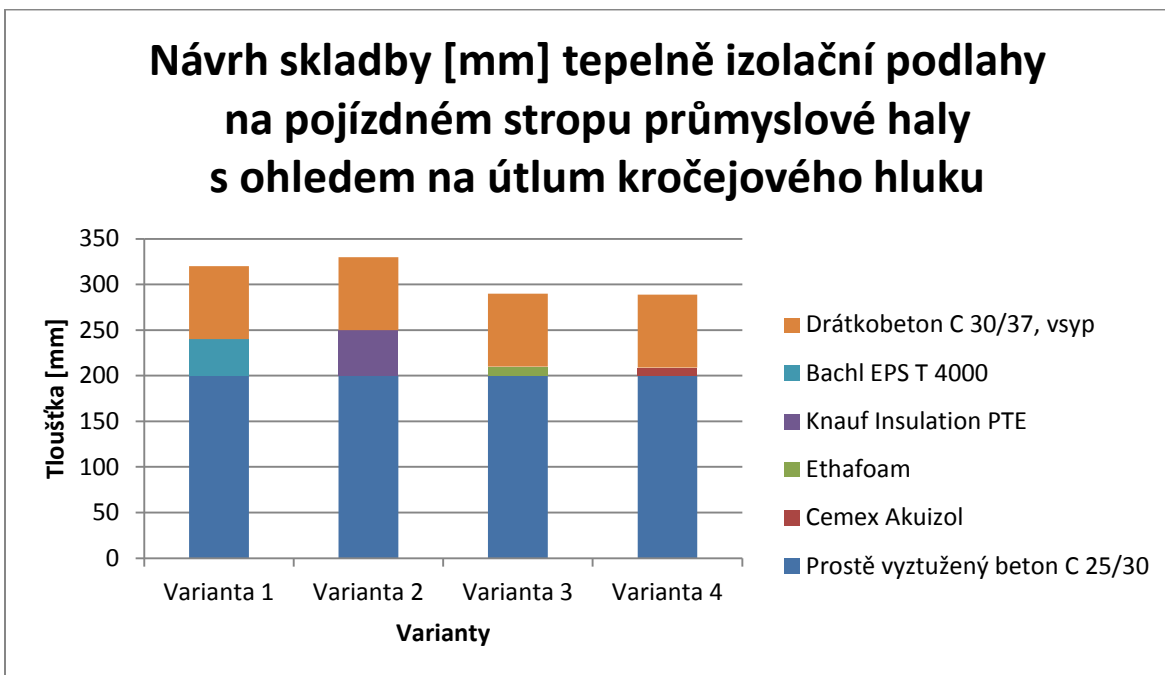
Pojízdné stropní konstrukce v průmyslových objektech se vlivem zvýšeného užitného zatížení roznášecí nebo stropní desky zateplují tzv. přídatnými vrstvami, kdy je tepelná izolace uložena do závěsného podhledu. Toto řešení má jen minimální vliv na snížení hladiny akustického tlaku kročejového zvuku. Proto pokud je to nezbytně nutné použijeme klasické řešení, kdy tepelnou a akustickou izolaci vložíme mezi roznášecí těžkou podlahu a nosnou stropní desku.

Tab. 46 Návrh skladby [mm] tepelně izolační podlahy na pojízdném stropu průmyslové haly s ohledem na útlum kročejového hluku

Návrh skladby [mm] tepelně izolační podlahy na pojízdném stropu průmyslové haly s ohledem na útlum kročejového hluku				
Materiál	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Drátkobeton C 30/37, vsyp	80	80	80	80
Bachl EPS T 4000	40	0	0	0
Knauf Insulation PTE	0	50	0	0
Ethafoam (2 x 5 mm)	0	0	10	0
Cemex Akuizol	0	0	0	9
Prostě vyztužený beton C 25/30	200	200	200	200

Pro lepší srovnání byly všechny varianty navrženy se stejnými nosnými a roznášecími prvky, liší se pouze v tloušťce použité izolace, ale s přihlédnutím na výslednou cenovou politiku. Pro tento příklad je totiž nejdůležitější hodnotou výsledná vážená normalizovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku.

Graf 6 Návrh skladby [mm] tepelně izolační podlahy na pojízdném stropu průmyslové haly s ohledem na útlum kročejového hluku



Obr. 47 Názorná ukázka Varianty 3, pokládka Ethafoamu a separační Pe - folie na stropě výrobní haly



Teoretický výpočet zlepšení akustických vlastností stropu:

Tab. 48 Strop bez izolace

Strop bez izolace	
Prostě vyztužený beton C 20/25 [mm]	200
Plošná hmotnost [kg/m <sup>2</sup> ]	460
L <sub>n,w,eq</sub> [dB] bez izolace	71

Výpočet:

$$L'_{n,w} = L'_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \quad [\text{dB}]$$

kde:

- L<sub>n,w,eq</sub> [dB] Ekvivalentní vážená normalizovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku
- $\Delta L_w$  [dB] Vážené snížení hladiny akustického tlaku kročejového zvuku podlahou
- K [dB] Korekce pro přenos kročejového zvuku homogenními bočními prvky v decibelech, K = 2 dB
- s' [MN/m<sup>3</sup>] Dynamická tuhost izolace
- L<sub>n,w</sub> [dB] Vážená normalizovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku s akustickou izolací

Tab. 49 Výsledné hodnoty akustických vlastností podlah pro strop s izolací

Výsledné hodnoty akustických vlastností podlah pro strop s izolací						
Izolace	tloušťka [mm]	$\lambda$ [W/m.K]	R [m <sup>2</sup> .K/W]	s' [MN/m <sup>3</sup> ]	$\Delta L_w$ [dB]	L <sub>n,w</sub> [dB]
Bachl EPS T 4000	40	0,0440	<b>0,9091</b>	10	30	<b>43</b>
Knauf Insulation PTE	50	0,0360	<b>1,3889</b>	15	29	<b>44</b>
Ethafoam	10	0,0400	<b>0,2500</b>	31,9	22	<b>51</b>
Cemex Akuizol	9	0,0453	<b>0,1987</b>	25,3	26	<b>47</b>

Z jednotlivých výpočtů plyne, že skladba s pěnovým elastifikovaným polystyrenem Bachl EPS T 4000 dosáhla nejlepšího výsledku do se týče útlumu kročejového hluku, ale jen o 1 dB horší minerální vata Knauf Insulation PTE dosáhla lepšího tepelného odporu.

I když tepelné izolace Ethafoam a Cemex Akuizol nedosahují takových hodnot útlumu kročejového hluku a tepelného odporu jako již zmíněný pěnový polystyren a minerální vata jejich výsledky nejsou zas až tak hrozné, když si uvědomíme, že jsou primárně určeny do skladeb, kde je na izolaci určeno maximálně 10 mm.

Tab. 50 Ceny jednotlivých materiálů za 1 m<sup>3</sup> bez DPH

Ceny jednotlivých materiálů za 1 m <sup>3</sup> bez DPH	
Materiál	Cena za 1 m <sup>3</sup> (bez DPH)
Drátkobeton C 30/37, 30 kg drát., vsyp	2461 + 750 + 220 = 3431
Bachl EPS T 4000	550
Knauf Insulation PTE	2784
Ethafoam (2 x 5 mm)	800
Cemex Akuizol	378
Prostě vyztužený beton C 25/30	2162

Tab. 51 Cena jednotlivých variant za materiál

Cena jednotlivých variant za materiál	
Skladba	Cena za 1 m <sup>2</sup> (bez DPH)
Varianta 1	<b>728,88</b>
Varianta 2	<b>846,08</b>
Varianta 3	<b>714,88</b>
Varianta 4	<b>710,28</b>

Dle ceny je nejdražší variantou provedení s minerální vatou, ale i kvůli tomu, že je u ní použita největší tloušťka izolace (50 mm). Ostatní varianty se již mezi sebou liší jen v řádu jednotek korun na 1 m<sup>2</sup>.

### 10.3 BYTOVÉ DOMY - podlahové konstrukce na terénu

U novostaveb bytových a rodinných domů se v posledních letech nejčastěji setkáváme s tloušťkou skladby podlahy nad základovou deskou v rozmezí 180 - 250 mm. Trendem poslední doby je také vézt veškeré rozvody elektřiny, vody, topení, centrálních vysavačů apod..

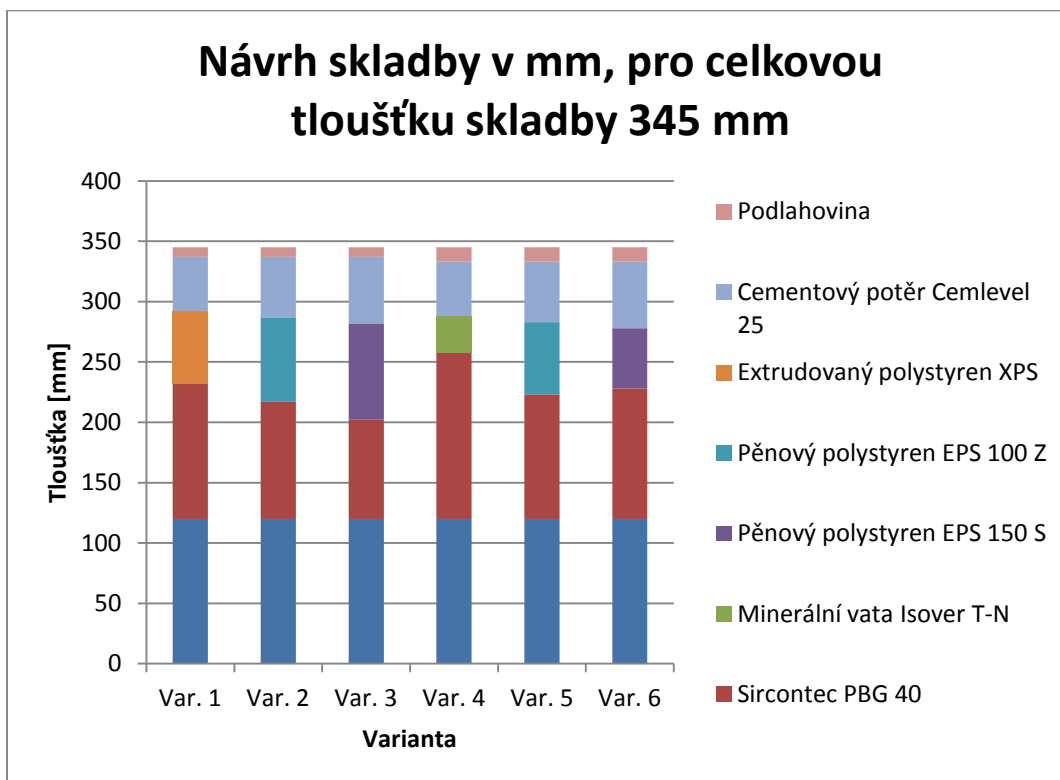
Tím, že je tato skladba uložena na základovou desku není potřeba v tomto případě řešit kročejovou izolaci. Pokud by však byl dům podsklepen byla by tato skladba přesunuta tam.

Pro návrh jsem navrhl celkovou tloušťku skladby 345 mm včetně základové desky. Pro zpestření byly použity různé tloušťky podlahovin a roznášecích cementových potěrů. Protože se často setkáváme s tím, že základová deska dosahuje nerovnosti podkladu i několik centimetrů, navrhl jsem všechny varianty, tak že je tepelná izolace v kombinaci dvou materiálů a to litého pěnobetonu a deskové izolace.

Tab. 52 Návrh skladby [mm] pro celkovou tloušťku skladby 345 mm

Návrh skladby [mm] pro celkovou tloušťku skladby 345 mm						
Materiál	Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 4	Var. 5	Var. 6
Podlahovina	8	8	8	12	12	12
Cementový potěr CP 25	45	50	55	45	50	55
Extrudovaný polystyren XPS	60	0	0	0	0	0
Pěnový polystyren EPS 100 Z	0	70	0	0	60	0
Pěnový polystyren EPS 150 S	0	0	80	0	0	50
Minerální vata Isover T-N	0	0	0	30	0	0
Sircontec PBG 40	112	97	82	138	103	108
Základová deska, C 20/25	120	120	120	120	120	120

Graf 7 Návrh skladby v mm, pro celkovou tloušťku skladby 345 mm



Dále byly teoreticky spočítány hodnoty tepelného odporu jednotlivých variant a cena celkové skladby za materiál na 1 m<sup>2</sup>.

Tab. 53 Vstupní hodnoty jednotlivých materiálů

Vstupní hodnoty jednotlivých materiálů		
Materiál	$\lambda$ [W/m.K]	Cena za 1 m <sup>3</sup> (bez DPH)
Cementový potěr CP 25	1,1600	2078
Extrudovaný polystyren XPS	0,0350	3087
Pěnový polystyren EPS 100 Z	0,0370	1116
Pěnový polystyren EPS 150 S	0,0350	1420
Minerální vata Isover T-N	0,0390	3194
Sircontec PBG 40	0,0958	1600
Základová deska, C 20/25	1,3000	2058



Tab. 54 Teoretický tepelný odpor a cena jednotlivých variant za materiál

Teoretický tepelný odpor a cena jednotlivých variant za materiál		
Skladba	R [m <sup>2</sup> .K/W]	Cena za 1 m <sup>2</sup> (bez DPH)
Varianta 1	<b>3,0145</b>	<b>704,89</b>
Varianta 2	<b>3,0398</b>	<b>584,18</b>
Varianta 3	<b>3,2814</b>	<b>606,05</b>
Varianta 4	<b>2,3408</b>	<b>657,09</b>
Varianta 5	<b>2,8322</b>	<b>582,62</b>
Varianta 6	<b>2,6956</b>	<b>605,05</b>

Tepelný odpor jednotlivých variant je dosti podobný, pohybuje se v rozmezí 2,34 - 3,28 m<sup>2</sup>.K/W, kdy nejnižší hodnota byla spočítána pro variantu 4 s minerální vatou Isover T - N v tloušťce 30 mm, zajímavé je, že se zároveň jedná i o druhou nejdražší variantu.

Zajímavým výsledkem je, že varianta 3 s 80 mm pěnového polystyrenu EPS 150 S má nejlepší tepelný odpor a přitom cena skladby zaostává o necelých 24 Kč/m<sup>2</sup> za nejlevnější variantou s pěnovým polystyrenem EPS 100 Z.

Obecně lze říci, že pěnové polystyreny mají v tomto srovnání lepší výsledky v poměru cena / užitná hodnota.

## 10.4 BYTOVÉ DOMY - stropní podlahové konstrukce

Specifickými vlastnostmi u bytových a rodinných domů jsou požadavky na ochranu proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti stavebních výrobků, které stanovuje norma ČSN 73 0532 / 2010, viz. tabulka níže.

Tab. 55 Zkrácená verze požadavků na zvukovou izolaci mezi místnostmi v budovách dle normy ČSN 73 0532 / 2010

Chráněný prostor (místnost příjmu zvuku)			
Řádka	Hlučný prostor (místnost zdroje zvuku)	Požadavky na zvukovou izolaci	
		Stropy	
		$R'_{w}, D_{nT,w}$ [dB]	$L'_{n,w}, L'_{nT,w}$ [dB]
A. Bytové domy, rodinné domy - nejméně jedna obytná místnost bytu			
1	Všechny ostatní obytné místnosti téhož bytu	47	63
B. Bytové domy - obytné místnosti bytu			
2	Všechny místnosti druhých bytů, včetně příslušenství	53 / 52 <sup>1)</sup>	55 / 58 <sup>1)</sup>

Zdroj: [11]

Poznámky:

1) Požadavek se vztahuje pouze na starou, zejména panelovou výstavbu, pokud neumožňuje dodatečná zvukově izolační opatření.

Tab. 56 Kategorie akustisko-izolačních materiálů dle dynamické tuhosti dle ČSN 73 0532

Kategorie podložky	$s'$ [MN/m <sup>3</sup> ]
I. kategorie	$s' \leq 30$
II. kategorie	$30 < s' \leq 200$
III. kategorie	$s' > 200$

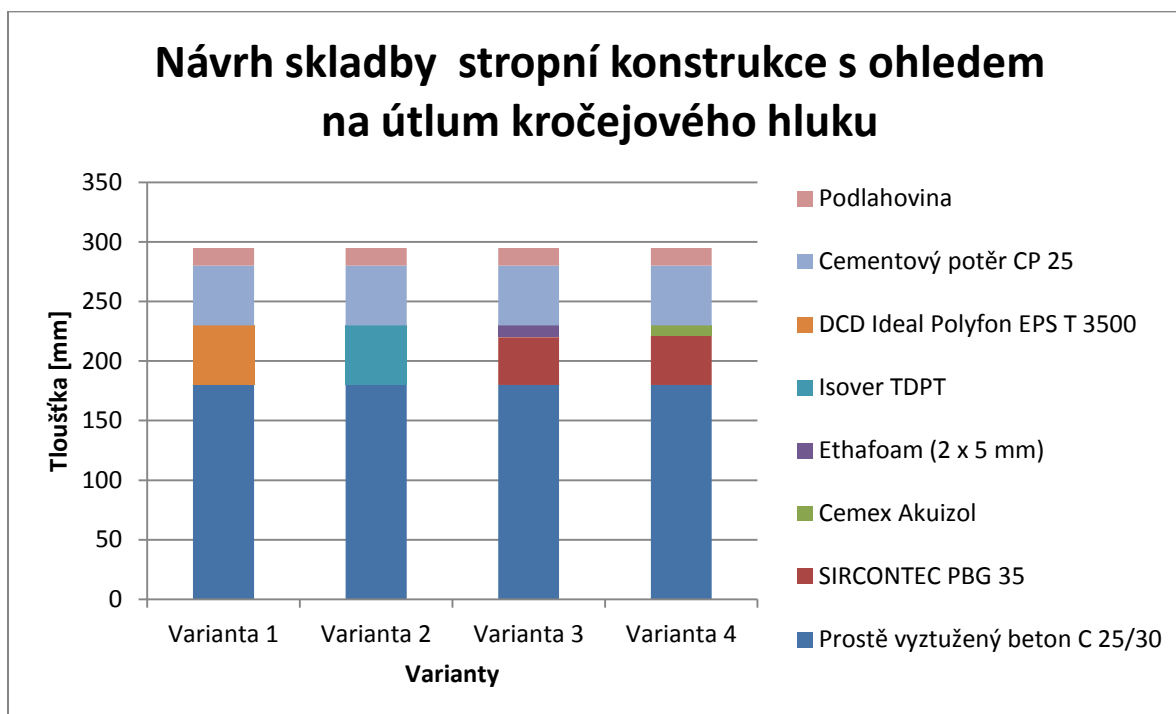
Zdroj: [11]

Tab. 57 Návrh skladby [mm] stropní konstrukce s ohledem na útlum kročejového hluku

Návrh skladby [mm] stropní konstrukce s ohledem na útlum kročejového hluku				
Materiál	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Podlahovina	15	15	15	15
Cementový potěr CP 25	50	50	50	50
DCD Ideal Polyfon EPS T 3500	50	0	0	0
Isover TDPT	0	50	0	0
Ethafoam (2 x 5 mm)	0	0	10	0
Cemex Akuizol	0	0	0	9
SIRCONTEC PBG 35	0	0	40	41
Prostě vyztužený beton C 25/30	180	180	180	180

Pro lepší srovnání byly všechny varianty navrženy se stejnými tloušťkami nosných, tepelně-izolačních a roznášecích prvků, liší se pouze v materiálu či kombinaci materiálů použitých izolací. Pro tento příklad je nejdůležitější hodnotou výsledná vážená normalizovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku.

Graf 8 Návrh skladby stropní konstrukce s ohledem na útlum kročejového hluku



Obr. 28 Názorná ukázka Varianty 2, pokládka skelné vaty Isover TDPT, separační Pe - folie a obvodového mirelonového pásu na stropní konstrukci



Obr. 29 Model Varianty 4 - kombinace pěnobetonu a Akuizolu



Teoretický výpočet zlepšení akustických vlastností stropu:

Tab. 58 Strop bez izolace

Strop bez izolace	
Prostě vyztužený beton C 20/25 [mm]	180
Plošná hmotnost [kg/m <sup>2</sup> ]	414
L <sub>n,w,eq</sub> [dB] bez izolace	69

Tab. 59 Výsledné hodnoty akustických vlastností podlah pro strop s izolací

Materiál	tloušťka [mm]	$\lambda$ [W/m.K]	$s'$ [MN/m <sup>3</sup> ]	$\Delta L_w$ [dB]	L <sub>n,w</sub> [dB]
Cementový potěr CP 25	50	1,1600	-	-	-
DCD Ideal Polyfon EPS T 3500	50	0,0445	10	30	<b>41</b>
Isover TDPT	50	0,0330	14	29	<b>42</b>
Ethafoam (2 x 5 mm)	10	0,0400	31,9	22	<b>49</b>
Cemex Akuizol	9	0,0453	25,3	26	<b>45</b>
SIRCONTEC PBG 35	40 / 41	0,0808	-	-	-
Prostě vyztužený beton C 25/30	180	1,3000	-	-	-

Z vypočtených hodnot vyplývá, že všechny skladby splňují maximální hodnotu vážené normalizované hladiny akustického tlaku kročejového zvuku dle ČSN 73 0532. Kdy nejlepší hodnota byla vypočtena u pěnového elastifikovaného polystyrenu DCD Ideal Polyfon EPS T 3500, jen o jeden decibel horší hodnota byla spočítána u skelné vaty Isover TDPT.

I když tepelné izolace Ethafoam a Cemex Akuizol nedosahují takových hodnot útlumu kročejového hluku, stále jejich vypočítané hodnoty nepřesáhly 50 dB. Hodnot tepelného odporu jako výše zmiňované materiály nedosahují, ale když si uvědomíme, že jsou primárně určeny do skladeb, kde je na izolaci určeno třeba jen 10 mm, tak výsledky nejsou zas tak špatné.

Tab. 60 Ceny jednotlivých materiálů za 1 m<sup>3</sup> bez DPH

Ceny jednotlivých materiálů za 1 m <sup>3</sup> bez DPH	
Materiál	Cena za 1 m <sup>3</sup> (bez DPH)
Cementový potěr CP 25	2078
DCD Ideal Polyfon EPS T 3500	890
Isover TDPT	1550
Ethafoam (2 x 5 mm)	800
Cemex Akuizol	378
SIRCONTEC PBG 35	1550
Prostě vyztužený beton C 25/30	2162

Tab. 61 Teoretický tepelný odpor a cena jednotlivých variant za materiál

Teoretický tepelný odpor a cena jednotlivých variant za materiál		
Skladba	R [m <sup>2</sup> .K/W]	Cena za 1 m <sup>2</sup> (bez DPH)
Varianta 1	<b>1,3052</b>	<b>537,56</b>
Varianta 2	<b>1,6967</b>	<b>570,56</b>
Varianta 3	<b>0,9266</b>	<b>640,56</b>
Varianta 4	<b>0,8877</b>	<b>560,01</b>

S přihlédnutím na výsledky všech výpočtů a kalkulací, se v tomto případě nejlépe jeví tepelná a kročejová izolace z pěnového elastifikovaného polystyrenu DCD Ideal Polyfon EPS T 3500, kdy varianta s tímto materiálem je nejen nejlevnější, má i nejlepší kročejový útlum a dosti vysoký tepelný odpor. Následuje ho varianta 2 ze skelné vaty, která je sice cca 35 Kč/m<sup>2</sup> dražší, ale má větší tepelný odpor. Nejhuře dopadla varianta 3 s Ethafoamem, která je nejdražší a má nejvyšší hodnotu kročejového útlumu.

## 10.5 PLOCHÉ STŘECHY

Ploché střechy se vyznačují tím, že i když není finální vrstva spádovaná, tak voda protéká souvrstvími až na vrstvu nejčastěji z PVC - fólie, po které ztéká do odvodňovacích žlabů. To by však nebylo možné pokud by PVC - fólie neležela na spádovaných vrstvách ústících právě do odvoňovacích žlabů. K tomuto se používají tzv. spádové klíny, které mohou být vyrobeny z polystyrenu, pěnového skla, polystyrenbetonu, polystyrenpěnobetonu apod.. V případě deskových materiálů musí být jednotlivé desky přesně nařezány dle projektové dokumentace, nejčastěji CNC frézami. V případě lehkých betonových směsí je spád tvořen až přímo při betonáži dle údajů z projektové dokumentace, kdy minimální tloušťka by měla být alespoň 30 mm.

Obr. 30 Zateplení stropní konstrukce pěnobetonem (cca 1300 m<sup>3</sup>) podzemních garaží u Janáčkova divadla v Brně s následnou parkovou úpravou a světelnou fontánou



Zdroj: Bronislav Sedlář, CEMEX, 2014



Postup prací při tvorbě takových konstrukcí s použitím polystyrenpěnobetonu na tvorbu spádových klínů je následující: příprava spádových vodítek » betonáž spádových klínů z polystyrenpěnobetonu » vyzrání a začištění spádových klínů » pokládka asfaltové izolace » geotextílie » noprková fólie » desky extrudovaného polystyrenu » PVC - fólie » zemina nebo jiný drenážní materiál.

Obr. 31 Ukázka postupu prací na pojízdné střešní konstrukci nad podzemními garážemi s použitím spádovaných klínů z polystyrenpěnobetonu





## 10.6 REKONSTRUKCE

Při provádění rekonstrukcí především starších budov musíme často řešit neočekávané problémy, velmi často jsme omezeni tím, že jsme nuceni některé konstrukce zachovat. Při návrhu nových podlahových konstrukcí musíme třeba novou niveletu podlahy upravit dle stávajícího schodiště, světlé výšky místnosti a překladů apod.. Dále se můžeme setkat s tím, že po odkrytí starých konstrukcí mohou být zjištěny různé výškové úrovně nosných prvků.

Na příkladu rekonstrukce bytového domu v Praze Pohořelci postaveného ještě za Marie Terezie bych rád poukázal na několik specifíků. Jedním z mnoha bylo použití jako nosné stropní konstrukce zděné klenby, dále nahrazení části klenby plošnou monolitickou konstrukcí z betonu a v neposlední řadě specifíkem byl fakt, že čtvrtina budovy nebyla podsklepena, ale stála přímo na rostlém terénu. Bylo zde tedy velké množství výškových úrovní.

K vyrovnání nivelety jednotlivých konstrukcí byl použit pěnobeton SIRCOTEC PBG 35, místy i v tloušťce téměř 1 metru. Na takto upravený povrch byla následně položena minerální vata sloužící jako kročejová izolace, na tu pak již následoval litý samonivelační potěr.

Tam kde výškový rozdíl konstrukcí byl minimální cca do 25 mm a jednotlivá souvrství byly vzájemně rovnoběžná, byl ke srovnání použit pěnový polystyren EPS 100 Z v potřebných tloušťkách.

Obr. 32 Ukázky z rekonstrukce objektu v Praze Pohoželci



## Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo porovnání fyzikálně - mechanických vlastností a zpracování technologií dopravy a pokládky lehkých stavebních hmot pro podlahové konstrukce. Toto téma je však velice obsáhlé, protože existuje velké množství použitelných materiálů, které jsou si svými vlastnostmi velmi podobné. Proto jsem zpracoval teoretický souhrn nejčastěji používaných lehkých stavebních hmot a surovin určených do podlahových konstrukcí používaných v minulosti a dnes.

V praktické části jsem ověřoval fyzikálně - mechanické vlastnosti navržených receptur pěnobetonů a velmi lehkých betonů s nejrůznějšími lehkými plnivými vzorky zhotovenými podle receptur výrobců nebo distributorů pěnotvorných přísad a betonů. Vzorové receptury byly namíchány na velkých stacionárních betonárnách či na mobilních míchacích zařízeních. Objemová hmotnost navržených receptur byla mezi 200 až 1200 kg/m<sup>3</sup>. Nejnižších hodnot objemové hmotnosti a zároveň nejnižších hodnot součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  (pod 0,06 W/m.K) jsem naměřil u receptur pěnobetonů. Oproti tomu na recepturách lehkých betonů jsem po většinou naměřil lepší hodnoty pevnosti v tlaku.

Pěnobetony a podobné velmi lehké betony sice nedosahují takových tepelně - izolačních vlastností jako klasické tepelně - izolační deskové a rohožové materiály, s jejich recepturou však lze snadno pracovat tak, aby jejich konzistence a pevnostní charakteristika vyhovovala vyžadovaným požadavkům nejen investora, ale i projektanta a statika. Můžeme je tak použít v celé škále situací od lité samonivelační směsi po polosuchou směs schopnou tvarovat do spádu až několika procent. Nevýhodou je, že pro výrobu kvalitní technické pěny potřebujeme pěnogenerátor, pěnotvornou trysku nebo speciální míchadlo, v případě že nám stačí vyrábět jen malé množství.

Díky tomu, že směsi pěnobetonů a lehkých betonů lze snadno čerpat pomocí malých mobilních šnekových nebo pístových čerpadel, je pokládka oproti klasickým deskovým a rohožovým materiálům mnohem rychlejší, a to především, je-li podklad nerovný, členitý či je do podlahových konstrukcí vkládáno příliš mnoho nejrůznějších instalací, kde je pokládka klasických deskových nebo rohožových izolací třeba z pěnového

polystyrenu nebo minerální vaty velmi komplikovaná. Mohlo by tak dojít k tvorbě dutých míst kolem instalací, k tvorbě tepelných mostů a deformaci instalací vlivem následného stálého a užitného zatížení. Špatná rovinatost výsledné pokládky tepelné izolace má poté vliv na zeslabení navazujících roznášecích podlahových konstrukcí, které jsou háklivé na proměnlivou tloušťku své hmoty, tím může dojít k následným deformacím vlivem zatížení a tvorbě prasklin na podlahovinách.

Proto aby podlahová konstrukce utlumovala kročejový hluk, je potřeba použít materiály s uzavřenou, ale zároveň pružnou buněčnou strukturou jakou mají elastifizované pěnové polystyreny, minerální vata, ethafoam, mirelon apod.. Pro co nejlepší pohodu je však potřeba dodržet základní zásady výstavby, jako je nezeslabování akusticky citlivé vrstvy vedením rozvodů nebo důsledně dbát na to, aby plovoucí podlahová deska byla od svislých i vodorovných konstrukcí oddělena měkkou izolační vrstvou.

Pokud je však podklad rovný a máme potřebu dosáhnout co nejlepších tepelně izolačních vlastností, je nejvhodnější použít pěnový polystyren i z hlediska ceny a nenáročnosti na strojové vybavení pro pokládku.

## Seznam zdrojů

### Tištěné zdroje:

- [1] ADÁMEK, Jiří; NOVOTNÝ, Bohumil; KOUKAL, Jan. *Stavební materiály*. 1. vyd. Brno: CERM, 1997. 210 s. ISBN 80-214-0631-3
- [2] ČERNÁ, Iveta; ČERNOUŠKOVÁ, Dagmar; WAHLA, Ivan; ŽÁČEK, Milan; ŽIDLICKÝ, David. Vila Tugendhat v průběhu památkové obnovy. *Průzkumy památek*, roč. XVIII, 1/2011.
- [3] DROCHYTKA, Rostislav; MATULOVÁ, Pavla. *Lehké stavební látky*. 1. vyd. učební opory VUT FAST Brno, 2006. 203 s.
- [4] DROCHYTKA, Rostislav; VÝBORNÝ, Jaroslav; KOŠATKA, Pavel; PUME, Dimitrij. *Pórobeton*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 1999. ISBN 80-214-1476-6
- [5] HELA, Rudolf. *Technologie betonu I*. 1. vyd. učební opory VUT FAST Brno, 2005. 110 s.
- [6] HELA, Rudolf. *Technologie betonu II*. 1. vyd. učební opory VUT FAST Brno, 2007. 148 s.
- [7] HROUDOVÁ, Jitka; ZACH, Jiří. *Izolační materiály - návody do cvičení*. 1. vyd. učební opory VUT FAST Brno, 2011. 42 s.
- [8] KŘÍŽOVÁ, Katarína. *Betonové konstrukce I*. 1. vyd. Praha: Sobotáles, 2010. 144 s. ISBN 978-80-86817-39-2
- [9] MIKULICA, Karel. *Technologie výroby cementových pěnobetonů a jejich vlastností*. Brno, 2013. 67 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc..
- [10] ŠTASTNÍK, Stanislav; ZNAJDA, Tomáš; ZACH, Jiří; NOVÁČEK, Jaroslav. *Fyzika stavebních látek - návody do cvičení*. 1. vyd. učební opory VUT FAST Brno, 2011. 25 s.

### **Normy a technické listy:**

- [11] ČSN 73 0532. *Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků - Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 03/2010. Třídící znak 73 0532.

### **Internetové zdroje:**

- [12] Foamglas. *Ke stažení - Prospekty* [online]. [cit. 2014-09-01]. Dostupné z: [http://global.foamglas.com/\\_\\_/frontend/handler/document.php?id=2309](http://global.foamglas.com/__/frontend/handler/document.php?id=2309)
- [13] KUČEROVÁ, Irena a kol. *Stavební materiály - stanovení objemové hmotnosti a pórovitosti přístupné vodě - teoretická část* [online]. Praha: Vysoká škola chemicko technologická, Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství, 2008. [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: [http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res\\_stavebni\\_materialy\\_objem\\_hmotnost/index.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_stavebni_materialy_objem_hmotnost/index.htm)
- [14] MURTINGER, Martin. *Nalezeno - Stavba a rekonstrukce - Izolace* [online]. [cit. 2010-03-02]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/stavba/izolace/tepelne-izolace-polystyren-mineralni-vata-a-dalsi.aspx>
- [15] Putzmeister CZ. *Putzmeister MM - Mixokrety* [online]. [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: [http://www.putzmeister.cz/Mixokrety\\_Putzmeister.html](http://www.putzmeister.cz/Mixokrety_Putzmeister.html)
- [16] Putzmeister CZ. *Putzmeister MM - Stacionární čerpadla na beton - Dieselová* [online]. [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: [http://www.putzmeister.cz/Stacionarni\\_cerpadla\\_betonu\\_Putzmeister\\_diesel.html](http://www.putzmeister.cz/Stacionarni_cerpadla_betonu_Putzmeister_diesel.html)
- [17] Sdružení EPS ČR. *Použití EPS ve stavebnictví* [online]. [cit. 2010]. Dostupné z: <http://www.epscr.cz/stavebnictvi.html?id=74>
- [18] Sdružení EPS ČR. *Vlastnosti expandovaného pěnového polystyrenu (EPS)* [online]. [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/8482-vlastnosti-expandovaneho->

penoveho-polystyrenu-eps

- [19] SCHERFEL, Walter. *Sircontec* [online]. SIRCONTEC, © 2005 - 2010 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://www.sircontec.sk/>
- [20] STAVOMARKET.CZ. *Pěnový polystyren - Technické listy* [online]. [cit. 2003-07-01]. Dostupné z:  
<http://www.stavomarket.cz/underwood/download/files/eps-vlastnosti.pdf>
- [21] ŠIMARA, Daniel. *Přírodní stavba - Konopná izolace* [online]. [cit. 2014-10-22]. Dostupné z:  
<http://www.prirodnistavba.cz/konopna-izolace-pevny-fasadni-panel-50x625x800-mm-4714.html>
- [22] TECH TRADING GROUP. *Reference* [online]. [cit. 2014-12-02]. Dostupné z:  
<http://www.techtrading.cz/cz/reference/dodavka-liaporu-umc-brno-a-ulozeni-foukanim-8>
- [23] TZB-info. *Katalog stavebních materiálů* [online]. [cit. 2014-11-02]. Dostupné z:  
[http://www.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068\\_katalog.html](http://www.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068_katalog.html)
- [24] VONDRA, Nicol. *Konopí ve stavebnictví* [online]. [cit. 2014-05-21]. Dostupné z:  
<http://www.ekostavivo.cz/konopi-ve-stavebnictvi/>
- [25] WIKIPEDIE. *Minerální vata* [online]. [cit. 2014-07-04]. Dostupné z:  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%A1ln%C3%AD\\_vata](http://cs.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%A1ln%C3%AD_vata)

## Seznam tabulek

- Tab. 1 Označování a doporučené použití desek polystyrenu ve stavební konstrukci dle Sdružení EPS ČR
- Tab. 2 Přehled tepelně - izolačních materiálů a jejich vlastností
- Tab. 3 Vysvětlení užití zkratk v názvech receptur
- Tab. 4 Složení receptury PBG 200
- Tab. 5 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury PBG 200
- Tab. 6 Složení receptury PBG 450
- Tab. 7 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury PBG 450
- Tab. 8 Složení receptury PBG 750
- Tab. 9 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury PBG 750
- Tab. 10 Složení receptury SIRCONTEC PBG 35
- Tab. 11 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury SIRCONTEC PBG 35
- Tab. 12 Složení receptury SIRCONTEC PBG 40
- Tab. 13 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury SIRCONTEC PBG 40
- Tab. 14 Složení receptury CEMEX Poroflow F 600
- Tab. 15 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury CEMEX Poroflow F 600
- Tab. 16 Složení receptury CEMEX Poroflow F 900
- Tab. 17 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury CEMEX Poroflow F 900
- Tab. 18 Složení receptury CEMEX Poroflow FS 600
- Tab. 19 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury CEMEX Poroflow FS 600
- Tab. 20 Složení receptury KPSB 600
- Tab. 21 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury KPSB 600
- Tab. 22 Složení receptury KVB 1000
- Tab. 23 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury KVB 1000
- Tab. 24 Složení receptury LKB 700
- Tab. 25 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury LKB 700
- Tab. 26 Složení receptury PTB 600
- Tab. 27 Složení receptury PTB 800
- Tab. 28 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury PTB 800



- Tab. 29 Složení receptury pro přípravu mineralizovaného konopného pazdeří
- Tab. 30 Složení receptury KB 800
- Tab. 31 Naměřené hodnoty na vzorcích z receptury KB 800
- Tab. 32 Porovnání objemových hmotností v čase
- Tab. 33 Porovnání pevností v tlaku v čase
- Tab. 34 Naměřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/m.K]
- Tab. 35 Stanovení ceny jednotlivých surovin navržených receptur
- Tab. 36 Stanovení ceny navržených receptur s ohledem pouze na vstupní suroviny
- Tab. 37 Orientační ceník pronájmu šnekového čerpadla potěrů PUTZMEISTER SP 20
- Tab. 38 Klady a zápory lité izolace na cementové bázi
- Tab. 39 Klady a zápory hutné a polosuché izolace na cementové bázi
- Tab. 40 Klady a zápory izolačních granulátů
- Tab. 41 Optimální nástroje pro řezání vybraných deskových a rohožových tepelných izolací
- Tab. 42 Klady a zápory izolačních desek a rohoží
- Tab. 43 Návrh skladby [mm] tepelně izolační podlahy na náspu pro speciální použití v průmyslové hale
- Tab. 44 Tepelně izolační vlastnosti jednotlivých skladeb
- Tab. 45 Teoretická cena materiálu na 1 m<sup>2</sup> jednotlivých skladeb (ceny v Kč bez DPH)
- Tab. 46 Návrh skladby [mm] tepelně izolační podlahy na pojízdném stropu průmyslové haly s ohledem na útlum kročejového hluku
- Tab. 47 Názorná ukázka Varianty 3, pokládka Ethafoamu a separační Pe - folie na stropě výrobní haly
- Tab. 48 Strop bez izolace
- Tab. 49 Výsledné hodnoty akustických vlastností podlah pro strop s izolací
- Tab. 50 Ceny jednotlivých materiálů za 1 m<sup>3</sup> bez DPH
- Tab. 51 Cena jednotlivých variant za materiál
- Tab. 52 Návrh skladby [mm] pro celkovou tloušťku skladby 345 mm
- Tab. 53 Vstupní hodnoty jednotlivých materiálů

- Tab. 54 Teoretický tepelný odpor a cena jednotlivých variant za materiál
- Tab. 55 Zkrácená verze požadavků na zvukovou izolaci mezi místnostmi v budovách dle normy ČSN 73 0532 / 2010
- Tab. 56 Kategorie akustisko-izolačních materiálů dle dynamické tuhosti dle ČSN 73 0532
- Tab. 57 Návrh skladby [mm] stropní konstrukce s ohledem na útlum kročejového hluku
- Tab. 58 Strop bez izolace
- Tab. 59 Výsledné hodnoty akustických vlastností podlah pro strop s izolací
- Tab. 60 Ceny jednotlivých materiálů za 1 m<sup>3</sup> bez DPH
- Tab. 61 Teoretický tepelný odpor a cena jednotlivých variant za materiál

## Seznam grafů

- Graf 1 Porovnání objemových hmotností v čase
- Graf 2 Porovnání pevností v tlaku v čase
- Graf 3 Graf průměrně naměřených hodnot součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$
- Graf 4 Grafické znázornění ceny receptury za 1 m<sup>3</sup>
- Graf 5 Návrh skladby [mm] tepelně izolační podlahy na náspu pro speciální použití v průmyslové hale
- Graf 6 Návrh skladby [mm] tepelně izolační podlahy na pojízdném stropu průmyslové haly s ohledem na útlum kročejového hluku
- Graf 7 Návrh skladby v mm, pro celkovou tloušťku skladby 345 mm
- Graf 8 Návrh skladby stropní konstrukce s ohledem na útlum kročejového hluku

## Seznam obrázků

- Obr. 1 Přehled lehkých staviv
- Obr. 2 Pohled na řezy různými lehkými betony
- Obr. 3 Přehled lehkých pórovitých betonů
- Obr. 4 Řez pěnobetonem
- Obr. 5 Tvorba spádových klínů z polystyrenpěnobetonu na střeše centra AdMaS v Brně
- Obr. 6 Úlomek škvárobetonu
- Obr. 7 Postup výroby pěnového polystyrenu
- Obr. 8 Dům z konopného betonu na Severní Moravě
- Obr. 9 Ve směsi na podlahu je pazdeří nejméně
- Obr. 10 Schéma výroby a zpracování pěnového polystyrenu
- Obr. 11 Schéma komplexního využití polystyrenu v konstrukci
- Obr. 12 Vila Tugendhat: izolační desky značky Torfoleum ve zdivu v někdejší pokoji kuchařky v personálním traktu (2. NP).
- Obr. 13 Obr. 13 Vila Tugendhat: detail izolace značky Torfoleum u ocelového nosného sloupu (vlevo).
- Obr. 14 Granulát pěnového skla
- Obr. 15 Soubor fyzikálně - mechanické vlastnosti pěnového skla
- Obr. 16 Spotřeba energie na výrobu jednoho m<sup>3</sup> izolace
- Obr. 17 Výroba technické pěny ručním mixérem se speciálním nadstavcem
- Obr. 18 Ruční dávkování cementu do výrobního zařízení SIRCONTEC MS 1000
- Obr. 19 Pěnotvorná tryska užívaná společností Cemex na betonárně v Brně
- Obr. 20 Zkušební tělesa receptury PTB 600 se během odformování rozpadla
- Obr. 21 Konopné pazdeří během mineralizace
- Obr. 22 Konopný beton (KB 800) v čerstvém stavu
- Obr. 23 Příklad Shotherm QTM při práci
- Obr. 24 Čerpadlo Putzmeister SP 20
- Obr. 25 Čerpadlo Putzmeister 715 TD
- Obr. 26 Mobilní výrobní zařízení Sircontec MS 1000

- Obr. 27 Mixokret Putzmeister MT 740
- Obr. 28 Názorná ukázka Varianty 2, pokládka skelné vaty Isover TDPT, separační Pe - folie a obvodového mirelonového pásku na stropní konstrukci
- Obr. 29 Model Varianty 4 - kombinace pěnobetonu a Akuizolu
- Obr. 30 30 Zateplení stropní konstrukce pěnobetonem (cca 1300 m<sup>3</sup>) podzemních garaží u Janáčkova divadla v Brně s následnou parkovou úpravou a světelnou fontánou