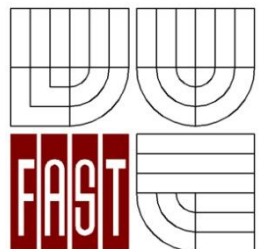




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ



FAKULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

NOVÉ DODATEČNÉ PRŮMYSLOVÉ IZOLAČNÍ SYSTÉMY PRO VYŠŠÍ TEPLoty

NEW ADDITIONAL INSULATION SYSTEMS FOR HIGHER TEMPERATURES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JULIANA PÁNIKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Juliana Pániková
Název Nové dodatečné průmyslové izolační systémy pro vyšší teploty
Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

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

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

Podklady a literatura

- Svoboda, L., Stavební hmoty. Bratislava: JAGA GROUP, s.r.o., 2007
- Šťastník, S., Fyzika stavebních látek, Fyzikální vlastnosti stavebních materiálů a konstrukcí, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2006
- Drochytka, R., Matulová, P., Lehké stavební látky, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2006.
- Machatka, M., Šála, J., Svoboda, J., Kontaktní zateplovací systémy, ČKAIT, Praha 1998
- www.sciencedirect.com
- příslušné technické normy (např. ČSN EN ISO 6946, ČSN EN ISO 10456, ČSN 72 3630 a další)

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Cílem práce je navrhnout nové tepelně izolační prefabrikované systémy pro technická zařízení s vyšší povrchovou teplotou, včetně prozkoumání možných způsobů kotvení a posouzení vlivu celého systému na izolovanou konstrukci. Práce by měla být teoretická a obsahovat následující body:

1. Vymezit podmínky, v nichž by se měla dodatečná tepelná izolace používat a definovat způsob jakým by se měla vyrábět.
2. Charakterizovat okrajové podmínky, pro které je nově vyvíjený tepelně-izolační systém určen a stanovit potřebnou tloušťku dodatečné izolace.
3. Navrhnout několik variant tepelně-izolačního systému pro použití při různých teplotách (200°C, 500°C) včetně způsobů kotvení tohoto systému k izolované konstrukci.
4. Posoudit vliv dodatečné izolace na zatížení konstrukce a vytvořit teoretický model změny prostupu tepla konstrukcí při použití dodatečné izolace.
5. Navrhnout a stručně popsat zkoušky, které je nutné provést pro certifikaci nového dodatečného tepelně-izolačního systému určeného pro vyšší teploty.

Rozsah 40-50 stran.

Struktura bakalářské práce

VŠKPŠ vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle směrnice rektora "Úprava, odevzdání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá teoretickým návrhem vnější skladby tepelně izolačního kompozitního systému s vyšší tepelnou odolností. Jsou zde stručně popsány vhodné vybrané materiály s izolačními vlastnostmi a nejčastěji používané technologie výroby prefabrikovaných dílců. Praktická část se pak zabývá teoretickými výpočty prostupů tepla a návrhem možných skladeb systému včetně kotvení a povrchových úprav.

Klíčová slova

Tepelně izolační systém, lehké betony, Multipor, vláknité materiály, technologie výroby prefabrikovaných dílců, optimalizace, tepelný prostup, součinitel tepelné vodivosti, kotvení.

ABSTRACT AND KEYWORDS

Abstract

This bachelor's thesis deals with the theoretical suggestion for external thermal insulation composite system with higher heat resistance. Here are briefly described appropriately selected materials with insulating properties and the most commonly used technology of prefabricated components. The practical part deals with theoretical calculations of heat transmission and suggestions for possible compositions including anchoring system and surface treatments.

Keywords

Thermal insulation system, lightweight concrete, Multipor, fibrous materials, production technology of prefabricated panels, optimization, heat transmission, thermal conductivity coefficient, anchoring.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

PÁNIKOVÁ, Juliana. *Nové dodatečné průmyslové izolační systémy pro vyšší teploty*. Brno, 2013. 74 s., 3 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA.

PROHLÁŠENÍ O PRAVOSTI VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2013

.....
Juliana Pániková

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24.5.2013

.....
Juliana Pániková

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování:

Tímto bych chtěla velmi poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Rostislavu Drochytkoví, CSc. a Ing. Lence Mészárosové za odborné vedení, připomínky a cenné rady při zpracování této práce i za nekonečnou trpělivost.

V Brně 2013

Pániková Juliana

Obsah

Úvod	12
Cíl práce.....	13
Metodika práce	14
I. TEORETICKÁ ČÁST	15
1. Vybrané průmyslově vyráběné materiály s izolačními vlastnostmi	15
1.1. Desky a rohože.....	15
1.1.1. Lehké betony	15
1.1.1.1. Mezerovité betony	16
1.1.1.2. Lehčené betony z pórovitého kameniva	16
1.1.1.3. Lehké pórovité betony - Pórobetony	20
1.1.2. Vláknité materiály	20
1.1.3. Pěnění silikáty.....	22
1.1.4. Vlastnosti vybraných používaných materiálů	22
1.2. Zásypové hmoty.....	24
1.2.1. Vybraná používaná kameniva s vyšší tepelnou odolností.....	24
1.2.2. Vlastnosti vybraných používaných kameniv.....	26
2. NÁVRH VLASTNOSTÍ NAVRHOVANÉHO IZOLAČNÍHO SYSTÉMU	27
2.1. Tepelná odolnost.....	27
2.2. Součinitel tepelné vodivosti.....	27
2.3. Objemová hmotnost.....	27
2.4. Objemové změny	28
3. TECHNOLOGIE PŘÍPRAVY TEPELNĚ-IZOLAČNÍHO SYSTÉMU	28
3.1. Volba prefabrikovaných dílců	28
3.2. Vybrané technologie výroby prefabrikovaných dílců.....	29
3.2.1. Technologie výroby klasického betonu.....	29
3.2.2. Technologie výroby pórobetonu (obecně)	29
3.2.3. Výroba pěnobetonu	30
II. PRAKTICKÁ ČÁST	31
4. VOLBA VHODNÉHO IZOLAČNÍHO MATERIÁLU (OPTIMALIZACE)	31
4.1. Stanovení kritérií a jejich vah	32
4.2. Rozhodovací matice.....	32
4.3. Výpočtová matice	33
4.4. Vyhodnocení optimalizačního výpočtu	33

5. VÝHLEDOVĚ PROVÁDĚNÉ ZKOUŠKY NA IZOLAČNÍM SYSTÉMU	35
5.1. Grafické znázornění výhledově prováděných zkoušek.....	36
5.2. Zkoušky na vstupních surovinách.....	37
5.3. Mezioperační zkoušky	37
5.4. Zkoušky na hotových výrobcích.....	37
5.5. Zkoušky na izolačním systému.....	38
6. NÁVRH OKRAJOVÝCH PODMÍNEK.....	39
6.1. Tepelný prostup	39
6.1.1. Základní způsoby přenosu tepla.....	39
6.1.2. Tepelný odpor	42
6.1.3. Součinitel prostupu tepla.....	42
6.1.4. Součinitel tepelné vodivosti	43
6.1.5. Množství tepla.....	43
6.2. Návrh skladby tepelné izolace	44
6.2.1. Zatěžovací stavy.....	44
6.2.1.1. 1. Zatěžovací stav	44
6.2.1.2. 2. Zatěžovací stav	45
6.2.1.3. 3. Zatěžovací stav	45
6.2.2. Volba tepelně izolačního materiálu.....	46
6.2.3. Volba optimální tloušťky izolační vrstvy.....	47
6.3. Výpočet tepelného prostupu	47
6.3.1. Užití vzorců.....	47
6.3.2. Okrajové podmínky.....	48
6.3.3. Teoretický výpočet povrchových teplot pro různé tloušťky tepelné izolace	49
6.3.3.1. Pro 1. zatěžovací stav	49
6.3.3.2. Pro 2. zatěžovací stav	51
6.3.3.3. Pro 3. zatěžovací stav	53
6.3.3.4. Shrnutí výpočtů	55
7. NÁVRH SKLADBY NOVÉHO TEPELNĚ-IZOLAČNÍHO SYSTÉMU	56
7.1. Volba tepelně izolačního materiálu	56
7.2. Shrnutí možných variant upevňování systému	56
7.2.1. Návrh kotvení systému.....	56
7.2.1.1. Lepidla	58
7.2.1.2. Páskování.....	60
7.2.1.3. Kombinace.....	61
7.2.2. Volba kotvení systému	61
7.3. Konečná povrchová úprava systému	61

7.4. Návrh dalších řešení.....	62
7.5. Mechanické zatížení konstrukce izolačním systémem	65
8. VYHODNOCENÍ.....	65
Možnosti skladby nového systému.....	65
9. ZÁVĚR.....	69
10. Použitá literatura	71
Seznam obrázků.....	72
Seznam tabulek.....	73
11. Přílohy.....	75
Technické informace - Multipor.....	75
Technické informace - Rockwool WM 80	76
Technické informace - Techrock 60	77

Úvod

Za úspěšným rozvojem ve stavebnictví stojí především vývoj nových kvalitních materiálů, při jejich vývoji jsou rozhodující volené suroviny pro jejich přípravu.

Pod pojmem izolační systém pro vyšší teploty rozumíme návrh vnější skladby tepelně izolačního kompozitního systému, který bude schopen odolávat vyšším teplotám a zároveň bude zabránovat úniku tepla z konstrukce. Pod pojmem konstrukce vykazující vyšší teploty si můžeme představit komíny, kotle, pece, apod. Cílem práce je navrhnout řešení tepelně-izolačního systému, který bude schopný odolávat teplotám 200°C a 500°C. Zaměříme se především na využití prefabrikovaných dílců při skladbě nového tepelně-izolačního systému. Celý systém by měl na povrchové straně konstrukce vykazovat co nejmenší možné teploty, abychom přebytečným sálajícím teplem zbytečně nezatěžovali například pracovní prostředí okolo konstrukcí a aby bylo současně možné na systém aplikovat bez větších nároků konečnou povrchovou úpravu.

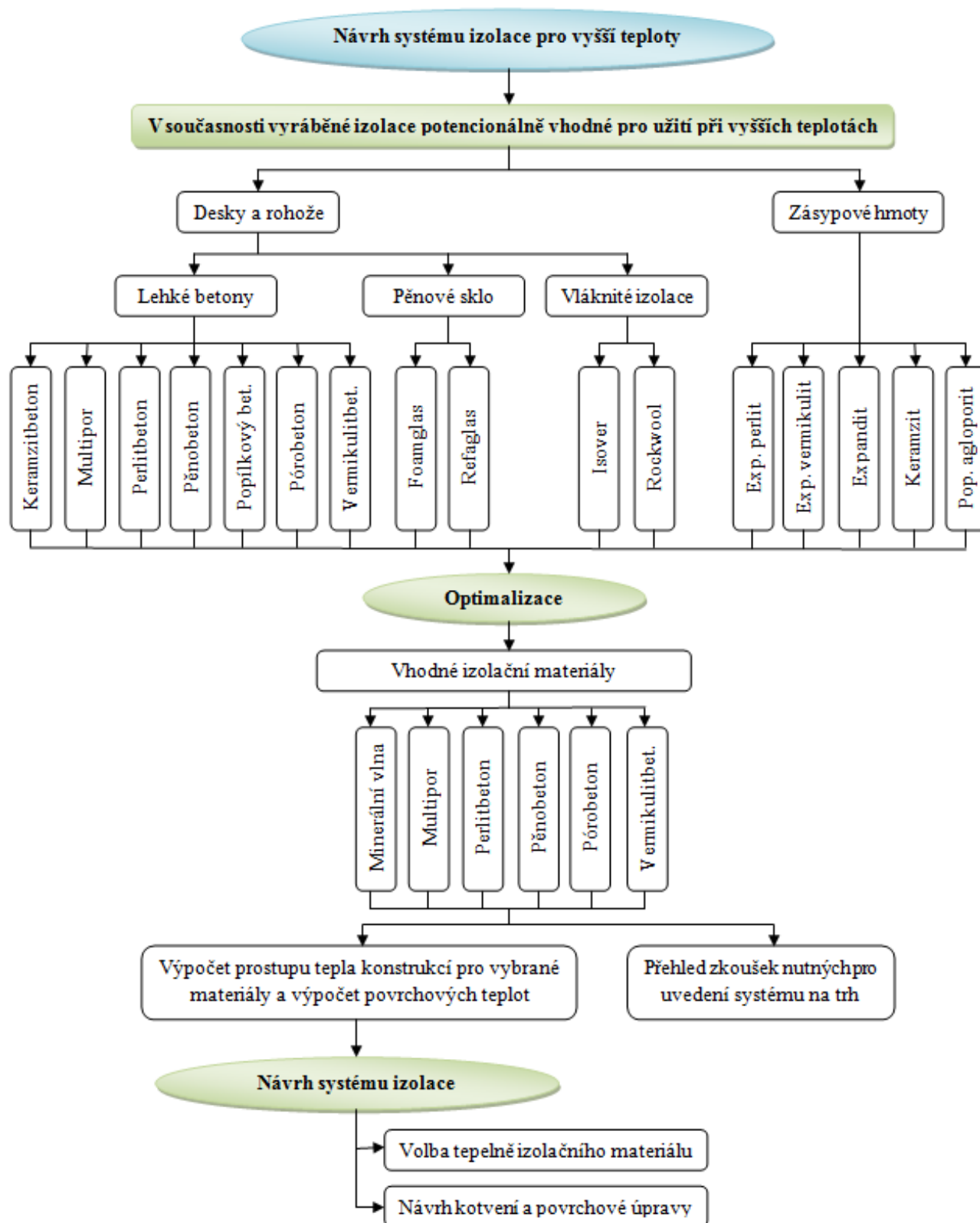
V této práci se budeme zabývat volbou vybraných vhodných izolačních materiálů a pomocí optimalizačního výpočtu vybereme pouze ty, které svými vlastnostmi nejvíce vyhovují daným podmínkám. Stanovíme kritéria, která by měl nově vyvíjený systém splňovat. Dále stanovíme okrajové podmínky různých možností zatěžovacích stavů na systém a vypočteme vhodnost vybraných materiálů. Výstupem práce by měli být možnosti variant navrhovaného tepelně-izolačního systému.

Cíl práce

Práce se zabývá návrhem nového izolačního systému pro vyšší teplot, tj. návrh vnější skladby tepelně izolačního kompozitního systému, který bude schopen odolávat vyšším teplotám a zároveň bude zabráňovat úniku tepla z konstrukce. Bude se jednat o konstrukce komínů, kotlů nebo pecí, které vykazují na svém povrchu vyšší teploty. Nároky na odolnost a trvanlivost izolačních materiálů se neustále zvyšují, zároveň je důležitá při výrobě i ekonomická stránka. Obecnou snahou je dosáhnout co nejlepších vlastností a přitom minimalizovat náklady. Na nově vyvíjený systém tedy budou především kladeny nároky na odolnost vůči vyšším teplotám, na nízký součinitel tepelné vodivosti a s tím související i nízkou objemovou hmotnost. Tato práce je zaměřena na návrh skladby nového tepelně izolačního systému. Nejprve budou zvoleny vhodné materiály s tepelně-izolačními vlastnostmi na základě optimalizačního výpočtu a následně bude posouzena jejich vhodnost pro užití do daného izolačního systému. Dále budou teoreticky stanoveny pomocí výpočtu povrchové teploty pro různé varianty skladeb systému a na základě tohoto výpočtu budou navrženy nejvhodnější materiály pro danou aplikaci.

Výstupem bude tepelně-izolační systém, který bude schopný odolávat teplotám 200°C a 500°C založený na využití prefabrikovaných dílců ve svojí skladbě. Tento systém bude doplněn o různé varianty kotvení a jeho finální povrchovou úpravu.

Metodika práce

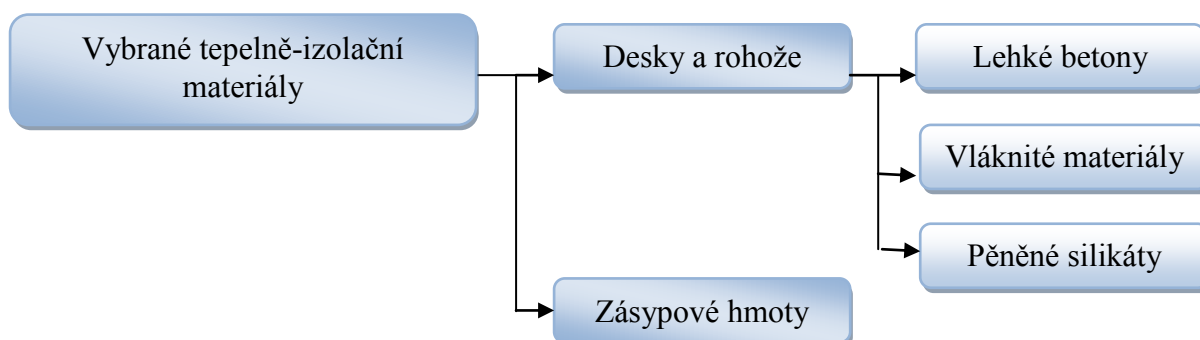


Obr.č. 1 - Metodika práce

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. Vybrané průmyslově vyráběné materiály s izolačními vlastnostmi

Pro zateplení konstrukcí vykazujících vyšší teploty byly zvoleny materiály z lehkých betonů, případně kombinaci lehkých betonů s jinými tepelně izolačními materiály (minerální vlákna, pěnové sklo). Jako jedna z variant mohou být použity vybrané zásypové materiály. Jako vhodné materiály mohou být označeny ty, které odolají požadovaným teplotám, zabráňují úniku tepla z konstrukce, vlivem vysokých teplot se nerozpínají a lze je snadno přizpůsobit dané konstrukci.



Obr.č. 2 - Schéma variant vybraných vhodných izolačních materiálů

1.1. Desky a rohože

Jsou to celistvé výrobky daných rozměrů, nejčastěji obdélníkového průřezu. Materiál desky bude přizpůsoben tvaru konstrukce, na níž by měl být umístěn. Jedná se o materiály z lehkých betonů, vláknitých materiálů nebo pěněných silikátů.

1.1.1. Lehké betony

Jsou dnes velice významnou stavební látkou. Mají mít nízkou objemovou hmotnost, vysokou tepelně izolační schopnost, dostatečnou pevnost a malou navlhavost. Při snižování stavebních nákladů můžeme vyrábět velký sortiment dílců. Surovinami pro výrobu těchto betonů jsou maltovinné složky, plnivo (kamenivo, křemičité látky), pomocné látky a voda.

Obecně nižších objemových hmotností dosahujeme přímým a nepřímým způsobem vylehčování betonů, užíváme tyto způsoby:

- *Využitím mezerovitosti kameniva.*

Při zvětšování mezerovitosti kameniva používáme jen jednu frakci hrubého kameniva, přičemž malta spojí k sobě zrna hrubého kameniva jen částečně a nevyplňuje mezery mezi nimi.

- *Pórovitostí kameniva.*

Zvětšení pórovitosti kameniva dosahujeme tím, že pórovité kamenivo vyrábíme buď umělé, nebo používáme přírodního kameniva typu tufů a tufitů, popř. organická plniva.

- *Vytvořením pórů v jemnozrnné cementové, vápenné nebo cementovápenné maltě.*

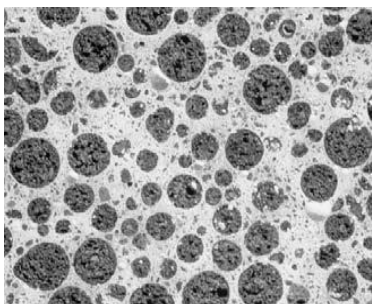
Pro vnesení pórů do struktury hmoty je potřeba maltu nakypřit pěnотvornou nebo plynотvornou přísadou, která vytvoří značné množství pórů (makropórovité betony). Odpařováním nadměrného množství vody lze získat v betonu jemné póry (mikropórovité betony). [1, 2, 3, 4]

Tyto způsoby lze vzájemně kombinovat.

Podle vytvořené fyzikální struktury lehkého betonu pak rozeznáváme:

1.1.1.1. Mezerovité betony

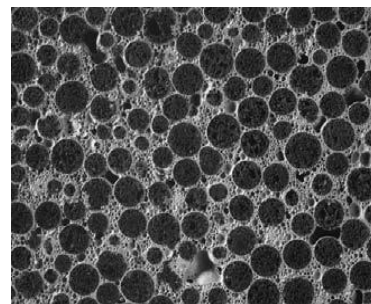
Mezerovité betony vyrábíme jak z přírodního hutného kameniva, tak i z pórovitého kameniva. Malých objemových hmotností dosáhneme vytvořením zvýšené mezerovitosti kameniva. Granulometrické složení má přetržitou křivku zrnitosti, nejčastěji volíme jednu frakci kameniva. Cementová malta spojuje zrna jen částečně a takto vzniklé mezery zvyšují tepelný odpor. Betony dosahují pevnosti 6 až 8 MPa a objemové hmotnosti 1500 až 1600 kg/m³. [1]



Obr.č. 3 - Struktura hutného mezerovitého betonu



Obr.č. 4 - Struktura mezerovitého lehkého betonu - přirozeně mezerovitá struktura



Obr.č. 5 - Struktura mezerovitého lehkého betonu - napěněná struktura

Pozn.: Pro naše účely není použití tohoto betonu zcela vhodné, z důvodu jeho vyšší objemové hmotnosti.

1.1.1.2. Lehčené betony z pórovitého kameniva

Tyto betony se označují jako betony nepřímo lehčené. Nízkých objemových hmotností dosahujeme použitím pórovitých kameniv o objemové hmotnosti menší než 1 800 kg/m³ (umělé nebo přírodní). Umělé kamenivo rozdělujeme na průmyslový odpad (škvára, struska, cihelná drť, popílek) a kamenivo speciálně vyrobené (agloporit, keramzit, expandit, expandovaný perlit). [1]

Z přírodního pórovitého kameniva

Výhodou použití přírodních pórovitých kameniv je možnost jejich využití ihned po vytěžení, podrcení a roztřídění. Jejich struktura bývá mikropórovitá až makropórovitá. Póry většinou tvoří kapiláry spolu navzájem spojené, což způsobuje nepříznivé vlastnosti tohoto kameniva, např. vzlinavost, nasákavost, objemové změny, obsah trvalé vlhkosti ovlivňuje tepelné vlastnosti. Další nevýhodou širšího využití jsou ekologické důvody (např. vyčerpatelnost přírodního zdroje).

Jedná se o *vulkanické tufy, tufity, přírodní pemza, lehká láva, spongility, diatomity*.

Pozn.: Pro naše účely použití těchto kameniv není zcela vhodné, z důvodu ekologických a sorpčních vlastností. [1]

Z průmyslových odpadů

Ve velkých průmyslových závodech, odpadá velké množství silikátových odpadů, které jsou pro lehké stavební látky cennou surovinovou základnou s vhodným chemickým a mineralogickým složením. Nevýhodou je jejich proměnlivé množství škodlivin, které se negativně projevuje na kvalitě betonů. Vhodnost užití těchto materiálů je výhodné z hospodářského hlediska, cenových nákladů a ozdravení okolí průmyslových závodů.

Jedná se o *škváru, popílek, cihelnou drť, sklo*, aj. [1]

Jako nejvhodnější beton vyrobený z průmyslových odpadů můžeme zmínit:

Popílkový pórobeton

Velká topeniště elektráren a tepláren v ČR produkují ročně až 1,2 milionu tun úletových popílků, které můžeme využít pro výrobu betonu. Popílkovým betonem nazýváme beton, při jehož výrobě byl použit popílek jako latentně hydraulická příměs nebo alternativně jako inertní příměs k cementové složce, kde do směsi kameniva a cementu je určitým procentem přidáván úletový popílek. Při použití popílku lze tedy dosáhnout úspory cementu.

Popílek lze využít i jako pojivo do betonové směsi bez hydratujících složek a to jeho aktivací. Podstatou aktivace

popílku je využití geopolymerní reakce působením roztoku vodního skla a hydroxidu sodného s následným temperováním na určitou teplotu případně při použití dalších přísad s možností aktivace bez dodatečného ohřevu směsi. Takto aktivovaný popílek při minimálním množství vody, tedy s nízkým vodním součinitelem vytváří kaši podobnou cementové, ovšem s pomalou viskozitou. Avšak prozatím je aktivovaný popílek ještě stále ve fázi výzkumu a vývoje. Popílek využíváme při výrobě pórobetonů a betonů s lehkým umělým kamenivem z popílku. [5, 6]



Obr.č. 6 - Struktura popílkového betonu

Z umělého pórovitého kameniva

Pro výrobu umělého pórovitého kameniva je typická příprava z různých přírodních hornin nebo zemin zaprvé expandováním v žáru, tedy využitím jejich nadýmaní v pyroplastickém stavu. Zadruhé kameniva, u kterých zvětšení objemu dosahujeme při nižších teplotách, jako např. rozlískování slídy. Zatřetí speciální kameniva vyráběná ve formě dutých tělísek. Začtvrté výroba kameniva s nepodstatnou změnou objemu důsledkem vyhořívání organických příměsí a odtěkávání vody a jiných látek.

Jedná se o *kavitit*, *keramzit*, *vermikulit*, *perlit*, *expandit*, *agloporit*. [1]

Jako nejvhodnější betony vyrobené z umělých pórovitých kameniv můžeme zmínit:

Keramzitbeton

Keramzit jsou výrobky získané tepelným expandováním hlín vhodného chemického a mineralogického složení. Z granulovaného keramzitu se pak vyrábí především mezerovitý až jednozrný beton. Objem malty takového betonu nepřesahuje 35% celkového objemu. Pískové podíly jsou doplňovány kopaným pískem nebo keramzitem. K vytvoření plné struktury betonu můžeme použít i přísady jiných druhů pórovitého kameniva. Objem malty by pak činil 40% celkového objemu.

Jednozrný keramzitový beton má jednotlivá zrna obalená cementovou maltou, která je bodově spojuje, aniž by zaplnila mezery mezi nimi.

Keramzitbeton má díky pórovitým zrnům keramického kameniva, které tvoří jeho podstatnou část skvělé tepelně-izolační vlastnosti a podstatně nižší objemovou hmotnost. Je taky snadno opracovatelný a žáruvzdorný. [1, 7, 8]



Obr.č. 7 - Keramzitbeton a jeho struktura

Vermikulitbeton

Větší část vermikulitbetonu tvoří slídový materiál zvaný vermikulit. Velice výhodné jsou vlastnosti expandovaného vermikulitu, který se svou objemovou hmotností do 200 kg/m^3 má nízký součinitel tepelné vodivosti a teploty tání nad 1300°C . Při jeho použití do betonové směsi musí být směs míchána krátce, aby se zrna vermikulitu nerozrušovala. Vodní součinitel takové směsi by měl být velmi vysoký, aby byla betonová směs dobře zpracovatelná. Obsah vody pak může činit až 50% hmotnosti betonu.



Obr.č. 8 - Deska z vermikulitu

Vermikulitový beton je odlehčený, má dobré izolační vlastnosti a je vnitřně žáruvzdorný. Lze jej použít pro podkladní vrstvy střech a podlah a při výrobě prefabrikovaných výrobků nebo také jako obložení pro bojler a jako protipožární materiál. [1,9]

Perlitbeton

Perlitbeton je jeden z nejlehčích silikátových tepelně-izolačních a zvukově-izolačních materiálů, připravený mokrou nebo polosuchou cestou z experlitu a cementu. Co se týče přípravy perlitových betonů, zhotovujeme je především mokrým způsobem smícháním experlitu s cementem. Označujeme je PTB a číslem, které udává jejich objemovou hmotnost. Zapravení perlitbetonu se provede dusáním, nebo vibrováním. Pro vysoký obsah hydratační vody musí být připravená směs zpracovaná do 30 minut. [10]



Obr.č. 9 - Vzorek perlitbetonu

Pěnobeton

Je stavební materiál s dobrou mechanickou pevností, nízkou tepelnou vodivostí, jednoduchou a přitom sofistikovanou výrobou a aplikací možnou přímo na stavbě. Pěnobeton obsahuje uzavřené vzduchové póry, čímž se výrazně snižuje jeho objemová hmotnost a dosahuje se úspor materiálových vstupů.

Při výrobě pěnobetonu se namísto obvyklého plniva používají vzduchové bubliny, které vzniknou aplikací technické pěny. Tato pěna se vmísí podle předem přísně určeného poměru do cementového mléka, a jakmile



Obr.č. 10 - vzorek pěnobetonu

dojde k procesu tuhnutí, technická pěna zůstane uzavřena v cementovém mléku a vzniknou tak uzavřené vzduchové póry. Čerstvý pěnobeton je tekutý a známý díky svým samonivelačním schopnostem. Materiál je paropropustný a vykazuje odolnost vůči vlhkosti, plísni, škůdcům, kyselinám a chemickým prostředkům. Podle navrhnuté směsi se dá přizpůsobit potřebná objemová hmotnost a pevnost pěnobetonu. [11]

Lehké betony z plniv organického původu

Různé organické výplně díky své přirozeně velké pórovitosti podstatně nepřímo beton vylehčují. Vysoká mezerovitost materiálů umožňuje další přímé vylehčování z nich vyrobených betonů. Výhodou těchto betonů je zvýšená houževnatost, snadné opracování a velmi dobré tepelné a zvukové izolační vlastnosti. Nevýhodou je tlení a plesnivění organických plniv při uložení ve vlhku a velice malá odolnost proti vysokým teplotám.

Jedná se piliny, hobliny, pazdeři, slámu, umělé lehčené plastické látky (pěn. polystyren). [1]

Pozn.: Pro naše účely použití tohoto materiálu není zcela vhodné, z důvodu nízké teplotní odolnosti.

1.1.1.3. Lehké pórovité betony - Pórobetony

Jsou to lehké betony přímo vylehčené póry v jemnozrnné maltě. Podle velikosti pórů je rozdělujeme na makropórovité a mikropórovité. U makropórovitého betonu jsou póry tvořené pomocí pěnотvorných přísad nebo chemickou reakcí plynотvorné přísady. U mikropórovitých betonů je jemnozrnná malta vylehčena mikroskopickými až submikroskopickými vzduchovými póry vzniklými odpařením nadbytečného množství vody. Vzhled výrobků je v podstatě dvojí: převážně bílý, je-li plnivem jemný křemičitý písek (pískový pórobeton), nebo v menší míře šedý, pokud je plnivem elektrárenský popílek (popílkový pórobeton). Výhoda pórobetonu spočívá ve výborných tepelně-izolačních vlastnostech, nízké hmotnosti a výrobě přesných tvárnic zaručujících přesnou a rychlou výstavbu. [1, 12]

Multipor

Jedná se o extrémně vylehčený bílý pórobeton. Multipor je masivní minerální, monolitický, tepelněizolační materiál z kalciumsilikát-hydrátu, vápence, písku, cementu, vody a přísady na tvorbu pórů. Jeho poréznost, získaná napěním v procesu, činí více než 95 % objemu. Tyto minerální tepelněizolační desky nové generace disponují přednostmi masivního zdiva, umožňují snadnou manipulaci a velmi lehce se opracovávají. Jejich tvarová stálost, vynikající paropropustnost,



Obr.č. 11 - Tvarovka multiporu

nehořlavost a jednoduchá aplikace nacházejí uplatnění všude tam, kde si běžné tepelné izolanty neporadí s požadovanými konstrukčními parametry. Svými izolačními vlastnostmi se velmi blíží materiálům jako je polystyren nebo izolační vlna, ale na rozdíl od těchto běžných tepelných izolací si Multipor zachovává pevnost, mechanickou odolnost a extrémní protipožární odolnost. [13, 14]

1.1.2. Vlákenné materiály

Vlákenné materiály pro stavební účely se vyrábí roztavením skla - skleněná, roztavením hornin, strusky, nebo jejich kombinací - minerální. Nejčastější tavnou horninou je čedič s přidávkou dalších korekčních látek. Izolační vlákna se dodávají buď jako volná vlna určená k ručnímu vyplňování, nebo v podobě rohoží či plstí jako měkké, ohebné pásy, případně jako měkké, polotuhé až tuhé desky. [15]

Minerální vlna (vata)

Minerální vata je rouno vyrobené slisováním vláken vyrobených z minerálů. Takové rouno se pak po úpravě a formátování do desek, či rolí určitých potřebných rozměrů používá jako tepelná, protipožární a zvuková izolace. Minerální vlákna, neboli kamenné či čedičové vlny se získávají z roztavené horniny, neboli kameniny známé jako vápenec, siderit, dolomit anebo nejčastější čedič. Do taveniny



Obr.č. 12 - Minerální vlna

se také přidává recyklát skla a koks. Podstata výroby spočívá v procesu tavení ve speciální kopulové peci při teplotě 1500 °C. Tím se získá láva, která odtéká na rotující válec, kde vznikají vlivem odstředivé síly malé kapky odlétávající do usazovací komory. Vlivem velkých odstředivých sil se pak kapky natahují na jemná vlákna. Do vláken se následně přidává pojivo a hydrofobizační, protiplísňové a další přísady. Tato směs se poté rovnoměrně ukládá na pás, který pokračuje do vytvrzovací pece, kde se výrobek teplem vytvrzuje a vyjde přes přítlačné zařízení. Díky rychlosti posunu pásu a intenzitě přísunu vláken můžeme regulovat objemovou hmotnost a tloušťku výsledného výrobku. V konečné fázi pás pokračuje přes chladicí komoru a poté k diamantové pile, která nařeže výrobek do požadovaného formátu. Minerální vata se vyznačuje vyšší odolností vůči vysokým teplotám (až 800 °C). Výhodou minerální vlny je taky velké množství vzduchových mezer a z toho vyplývající vysoká paropropustnost a nízký difúzní odpor. Díky této vlastnosti se minerální vlna často používá v difúzně otevřených konstrukcích nebo u dvouplášťových střech. [1, 16, 17, 18]

Skelná vata

Skelná vata je tzv. minerální vlna, jejíž součástí jsou roztavená skleněná vlákna. Její složení je 65 % křemičitého písku, 15 % sody, 8 % dolomitu, boraxu, živce a vápence. Přidává se rovněž malý podíl odpadového skla. Skelná vata se vyrábí zplstněním jemných skelných vláken a spojením vhodným pojivem na bázi polymerních pryskyřic (např. fenolformaldehydová pryskyřice). Jako podpůrný tavící prostředek se používá síran sodný, přidávají se i hydrofobní látky (např. silikonový olej). Skelná vata je objemově stálá,



Obr.č. 13 - Skelná vata

nepodléhá působení plísní, hmyzu a drobných hlodavců, je snadno tvarovatelná a lze ji jednoduše dělit. Výhodou tohoto materiálu je velká pružnost a chemická odolnost. Odolává teplotám do 600 °C. Nevýhodou je, že při manipulaci se malé procento vláken láme a malé kousky vláken působí dráždivě na pokožku, oči a dýchací cesty. Doporučuje se proto pracovat v rukavicích a používat respirátor.

Typické žlutavé zabarvení dodává skelné vatě pojivo formaldehydové pryskyřice. Skelná vata se dodává v rolich, které po rozvinutí expandují na větší tloušťku, nebo ve formě desek. [16, 19, 20]

1.1.3. Pěněné silikáty

Silikáty jsou vůbec nejdůležitější skupinou minerálů a představují velmi důležitou skupinu nerostných surovin. Mají využití v keramickém a sklářském průmyslu, stavebním průmyslu a jiné.

Pěnové sklo

Vyrábí se zahříváním směsi mletého skla s uhlíkovým práškem. Směs je v tenké vrstvě dána do ocelové formy. Formy jsou následně zahřáté v tunelové peci na cca 1000 °C. Tak dojde k opětovnému roztavení skleněného prášku a k současné oxidaci částic uhlíku na CO₂. Tento plyn vytvoří drobné uzavřené bublinky, které až dvacetinásobně zvětší původní objem roztaveného skla a vyplní celou formu. Po vypěnění je vzniklý blok



Obr.č. 14 - Pěnové sklo

pěnového skla zvolna ochlazován. Jako anorganický materiál je pěnové sklo odolné vůči zvýšené teplotě, vodě i organickým rozpouštědlům, je zcela nehořlavé a ekologicky nezávadné. Hlavní nevýhodou je poměrně vysoká cena. [16, 21, 22, 23]

1.1.4. Vlastnosti vybraných používaných materiálů

Tab. č. 1 - Vlastnosti vybraných lehkých betonů

MATERIÁL		Popílkový beton	Keramzitbeton	Vermikulitbeton (1:12,5)	Vermikulitbeton (1:8)	Perlitbeton PTB 300	Perlitbeton PTB 400	Pěnobeton	Pórobeton P2-400	Multipor
Vlastnost	Označení									
OH	ρ [kg/m ³]	500-1200	500-1200	300	365	300	400	340 - 750	400	115
Tepelná vodivost	λ [W/(m.K)]	0,23	0,22	0,081	0,09	0,088	0,129	0,11	0,1	0,045
Max. teploty použití	t [°C]	1050	1050	700	700	900	900	950	1050	1000

Součinitel délkové teplotní roztlačnosti	α [K ⁻¹]	-	6,0 .10 ⁻⁶	8,5 .10 ⁻⁶	8,5 .10 ⁻⁶	2,5 .10 ⁻⁶	2,5 .10 ⁻⁶	9,0 .10 ⁻⁶	8,0 .10 ⁻⁶	8,0 .10 ⁻⁶
Tepelná kapacita	c [J/(kg.K)]	840	880	1000	1000	1150	1150	1000	840	1300
Faktor difuzního odporu	μ [-]	2,5	4	4	4	9	11	9	6	3
Cena	Kč	45	75	145	145	90	90	50	55	60

Pozn: cena je pouze odhadem za kus o přibližných rozměrech 250x250x150mm

Tab. č. 2 - Vlastnosti vybraných komerčních minerálních materiálů

MATERIÁL		Rockwool						Isover			pěnové sklo	
		Techrock 40	Techrock 60	Techrock 120	Lurock 40 ALS	WM 80	WM 105	Orstech DP 65	Orstech DP 100	Orstech 65	Refaglass	Foamglas
Vlastnost	Označení											
OH	ρ [kg/m ³]	40	60	120	36	80	105	65	100	65	140-150	100-165
Tepelná vodivost	λ [W/(m.K)]	0,040 až 0,209	0,040 až 0,353	0,046 až 0,194	0,043 až 0,190	0,039 až 0,225	0,038 až 0,196	0,037 až 0,264	0,038 až 0,218	0,040 až 0,260	0,055 až 0,075	0,041 až 0,065
Max. teploty použití	t [°C]	340	640	710	620	700	750	560	660	620	430	430
Součinitel délkové teplotní roztlačnosti	α [K ⁻¹]	< 9,0.10 ⁻⁶						< 9,0.10 ⁻⁶			8,5.10 ⁻⁶	9,0.10 ⁻⁶
Tepelná kapacita	c [J/(kg.K)]	840	840	840	840	840	840	800	800	800	850	850
Faktor difuzního odporu	μ [-]	1	1	1	1	1	1	1,3	1,3	1,3	-	-
Cena (pro tl.50mm)	Kč/m ²	99,-	147,-	285,-	153,-	245,-	286,-	248,-	343,-	154,-	cca 1050,-	468,- až 2280,-

1.2. Zásypové hmoty

Jedná se o sypký materiál. V této kapitole je okrajově zmíněn výčet vybraných kameniv, které mohou být použity jako tepelná izolace ve formě zásypové hmoty. Tato varianta je určena především pro vodorovné konstrukce (např. klenby pecí).

1.2.1. Vybraná používaná kameniva s vyšší tepelnou odolností

Keramzit

Barva keramzitu bývá obvykle hnědá, hnědočervená, u některých druhů může být i hnědo šedá. Jedná se o nehořlavý materiál, mrazuvzdorný, málo nasákavý, pevný a odolný proti korozi, plísním a mikroorganismům. Má výborné tepelně-izolační vlastnosti a je mechanicky odolný. Naším největším výrobcem Keramzitu je společnost LIAS Vintířov, který jej prodává pod obchodním názvem Liapor.



Obr.č. 15 - Kuličky keramzitu

Keramzit se vyrábí tepelnou expandací tzv. cyprisových jíílů. Jííly jsou dopraveny na skládku, odkud putují na tzv. hrubou úpravu (drcení a mletí). Po hrubé úpravě, kdy má surovina asi 20 % vody, následuje odležení v odležárně. Posledním úpravářenským článkem je tzv. jemná úprava. Zde dochází, pomocí granulačních talířů a vakuových šnekových lisů s protlačovadlem k tvorbě granulí, které jsou následně vypalovány v rotační peci. K expandaci dochází při teplotě zhruba 1100°C, kdy vznikají lehké keramické kuličky. Vypálené granule jsou následně tříděny na jednotlivé frakce. [24]

Expandovaný vermikulit

Je hořečnato-železnatá slída, která je vyráběna tepelným zpracováním surového vermikulitu. Vermikulit má typické chování při rychlém zahřívání, kdy u teploty cca 350°C dochází k prudkému vypařování vody ze struktury a nad teplotou cca 800 °C dojde k uvolnění skupin (OH)⁻ ze struktury. Toto je provázeno objemovou expanzí šupin za vzniku červovitých až harmonikových makrostruktur. Barva přírodních šupin, kolísající od černé přes různé odstíny šedé až po žlutou,



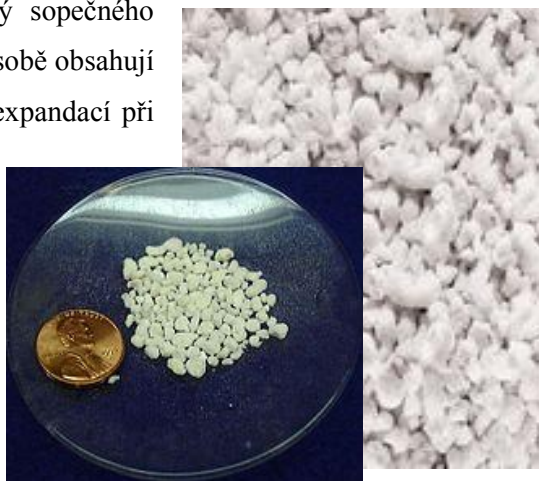
Obr.č. 16 - Expandovaný vermikulit

se expandací mění na zlatou nebo bronzovou. Během expandace vermikulit, díky tlaku vypařující se vody, který působí mezi jednotlivými vrstvami, zvětší objem 8-30x. Maximální velikost zrna je 16mm. Je to látka chemicky inertní, odolná vůči vysokým teplotám, netoxická, bez zápachu a má

dobré tepelně a zvukově-izolační vlastnosti. Používá se na výrobu vermikulitových cihel, desek a tvarových dílců. K nám se dováží z Číny a Brazílie. [25, 26]

Expandovaný perlit

Expandovaný perlit je bílá nebo šedobílá jemně zrnitá hmota, která je vyráběna tepelným zpracováním surového perlitu. Perlit je amorfni křemičitan hlinitý sopečného původu a patří ke kyselým vulkanickým sklům, které v sobě obsahují vnitřně vázanou vodu. Expandovaný perlit se vyrábí expandací při teplotě 900-1300°C, kdy se tepelnou úpravou vyššími teplotami mění vnitřně vázaná voda na páru, a vznikají drobné duté kuličky různých velikostí. Vzniklý tlak způsobuje objemovou expanzi zrn a objem perlitu zvětšuje 5-10x. Maximální velikost zrna je 4 mm. Expandovaný perlit má výborné tepelně a zvukově-izolační vlastnosti při nízké měrné hmotnosti. Je to látka chemicky inertní, nehořlavá, netoxická, nehydroskopická, objemově stálá a má vynikající sorpční vlastnosti. Je odolný proti mrazu, vlhku, mikroorganismům a plísním. Obsahuje velké množství otevřených pórů (cca 25 %) a proto je vysoce nasákavý. Využívá se jako plnivo do lehčených betonů, do tepelně-izolačních omítek a jako sypaná izolace. [19, 27, 28, 29, 30]



Obr.č. 17 - Expandovaný perlit

Expandit

Jedná se o expandovanou břidlici, která už při jejím natěžení obsahuje nadýmající látky. Břidlice mají jemnozrnnou strukturu a laminární texturu. Jsou šedě zbarveny. Jejich objemová hmotnost před expandováním je 1500-1700 kg/m³. Břidlice se předdrcuje a upravuje válcovými drtiči. Dále se pak třídí dle frakcí v rozmezí velikosti zrn 2 až 25 mm. Pak se frakce zvláště vypalují při teplotách 600 až 1400°C. Výpal probíhá nejčastěji v dvoustupňových rotačních pecích a musí být rychlý, aby povrch zrn slinul co nejrychleji. Po vypálení propadá expandit přes vodou chlazený skluz do bubnového chladiče a dále pak do třídírny. Povrch zrn je cihlově červený a uvnitř fialově šedý až tmavohnědý. Zrna mají vysokou pevnost s objemovou hmotností 500 až 800 kg/m³. Nasákavost tohoto kameniva je 13%. Expandit se používá pro výrobu lehkých betonů. [1]

Popílkový agloporit

Je to umělé pórovité kamenivo získané sbalkováním létavých popílků, vznikajících při spalování černého a hnědého uhlí, a spékáním sbalků na aglomeračních roštech nebo v pecích. Neobsahují-li suroviny dostatečné množství spalitelných látek potřebných na aglomeraci, uměle je do vsázky přidáváme. Obsahují-li suroviny více uhelných látek, než je vhodné pro výpal, přidáme jíl, hlíny či

odprašky. Příměs obvykle dávkované vody pro vznik sbalků činí 20 až 30%. Pro přípravu sbalků užíváme nejčastěji granulační bubny nebo talíře, dále pak pásmový lis s děrovaným ústím nebo protlačování kolovými mlýny. Výpal sbalků pak probíhá na agromeračních roštech, v šachtových nebo rotačních pecích nebo speciálními vypalovacími agregáty. Vlastnosti agloporitu jsou značně rozlišné, z důvodů různých surovin a jejich způsobů počátečních úprav. Barva agloporitu bývá šedá, šedomodrá



Obr.č. 18 - Popílkový agloporit (f:8-16mm)

až šedočerná a povrch zrn bývá hnědočervený. Pórovitost zrn se pohybuje okolo 40-65%, nasákavost bývá 8 až 30%. Materiál se používal pro výrobu lehkých betonů, pro dílce velkorozměrové, předpjaté i tepelně izolační. [1]

1.2.2. Vlastnosti vybraných používaných kameniv

Tab. č. 3 - Vlastnosti vybraných používaných kameniv

MATERIÁL		Keramzit	Expandovaný vermikulit	Expandovaný perlit	Expandit	Popílkový agloporit
Vlastnost	Označení					
OH	ρ [kg/m ³]	500-1500	60-200	90-150	500-800	400-1350
Tepelná vodivost	λ [W/(m.K)]	0,09-0,23	0,07	0,05	-	0,12-0,18
Max. teploty použití	t [°C]	1050	700	900	-	-
Součinitel délkové teplotní roztažnosti	α [K ⁻¹]	4-6.10 ⁻⁶	8,5.10 ⁻⁶	2,5.10 ⁻⁶	-	-
Tepelná kapacita	c [J/(kg.K)]	1260	840	850	-	-
Součinitel teplotní vodivosti	a [m ² /s]	1-1,29.10 ⁻⁷	0,13-3,24.10 ⁻⁷	0,16-3,97.10 ⁻⁷	-	-
Faktor difuzního odporu	μ [-]	4-10	3-4	1-4	-	-
Cena za 50kg	Kč	102-112	800-1750	235	-	-

2. NÁVRH VLASTNOSTÍ NAVRHOVANÉHO IZOLAČNÍHO SYSTÉMU

Navrhovaný izolační systém by měl být sestávat z materiálů, které budou vyhovovat podmínkám užití pro konstrukce vykazující vyšší teploty. Systém bude izolovat především konstrukce, jako jsou například průmyslové komíny, pece a kotle. Tudíž vlastnosti kladené na nově vyvíjený tepelně-izolační systém by měly být při návrhu zohledněny. Jedná se především o tepelnou odolnost, součinitel tepelné vodivosti, objemovou hmotnost a objemové změny. Rozhodující bude pro výběr materiálu i jeho cena.

2.1. Tepelná odolnost

Tepelná odolnost, tepelná stabilita, termostabilita - je odolnost materiálu proti porušení při náhlých změnách teploty. U různých materiálů se zjišťuje testy založenými zpravidla na zjišťování změn mechanických vlastností nebo hmotnostních úbytků ochlazením po předchozím ohřevu. [31] Hlavním požadavkem vyvíjeného systému je odolnost materiálů při teplotách 200°C a 500°C. Navrhované tepelně-izolační materiály budou voleny tak, aby odolávali těmto teplotám. Do těchto hraničních teplot by měl materiál zůstat stálý a neměl by vykazovat známky poruch.

2.2. Součinitel tepelné vodivosti

Vyjadřuje schopnost homogenní vrstvy materiálu vést teplo. Je definován jako množství tepla, které musí za jednotku času projít tělesem, aby na jednotkovou délku byl jednotkový teplotní spád. Přitom se předpokládá, že teplo se šíří pouze v jednom směru. Hodnota součinitele tepelné vodivosti se zjišťuje experimentálně a značíme ji λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). Nízká hodnota součinitele tepelné vodivosti znamená, že látka patří mezi tepelné izolanty. Tepelné vodiče mají vysoký součinitel tepelné vodivosti a jedná se především o kovy.

Hranice rozmezí vhodných hodnot součinitele teplotní vodivosti je 0,03 - 0,1 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Spodní hranice hodnot je volena na základě nejnižších hodnot vybraných izolačních materiálů. Horní hranice hodnot byla vybrána z důvodu průzkumu vlastností používaných izolačních materiálů jako maximální hodnota, která by neměla být překročena.

2.3. Objemová hmotnost

Je poměr hmotnosti tělesa k objemu tělesa, neboli hmotnost objemové jednotky materiálu i s dutinami a póry. Je prokázáno, že s objemovou hmotností se mění součinitel tepelné vodivosti. Se zvyšující se objemovou hmotností roste i součinitel tepelné vodivosti. Proto je žádoucí udržet objemovou hmotnost na co možná nejnižších hodnotách. Vhodné rozmezí hodnot stanovíme na

50 – 400 kg.m⁻³, kde je nižší hodnota volena na základě průzkumu objemových hmotností izolačních materiálů a vyšší hodnota je volena jako vhodné maximum.

2.4. Objemové změny

Materiál mění rozměry tělesa v závislosti na změnách teploty. Velké objemové změny nejsou pro náš navrhovaný systém přípustné. Mění-li se rozměry tělesa vlivem teploty, je přípustná pouze minimální roztažnost, při které bude prokázáno, že nemá velký vliv na prostup tepla konstrukcí systému.

Tab. č. 4 - Požadované vlastnosti nového izolačního systému

vlastnost	označení	rozpětí hodnot
maximální teploty použití	t [°C]	500
součinitel tepelné vodivosti	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,03-0,1
objemová hmotnost	ρ [kg.m ⁻³]	50-400

3. TECHNOLOGIE PŘÍPRAVY TEPELNĚ-IZOLAČNÍHO SYSTÉMU

Stále častěji se setkáváme s požadavkem na zajištění maximální úspornosti a ekonomičnosti při výstavbě nových konstrukcí. S rozvojem betonářských technologií tak vzrostla výroba prefabrikovaných dílců.

Prefabrikace označuje hromadnou výrobu stavebních dílců, tzv. prefabrikátů, jedná se o předvýrobu. Je to činnost, která je prováděna ve specializovaných výrobnách.

3.1. Volba prefabrikovaných dílců

Do našeho nově vyvíjeného systému pro dodatečné zateplování volíme prefabrikované dílce a to především z hlediska jejich výhod. Jmenované výhody:

- Kontrola kvality a jednodušší realizování při výrobě v továrně než na staveništi.
- Rychlost výstavby, která vede k výhodnějším investicím a nižší ceně.
- Menší produkce objemu odpadu a jeho jednodušší zpětná recyklace do výrobního procesu.
- Minimalizace výroby na stavbě a minimalizace času stráveného na staveništi např. při nepříznivém počasí.
- Možnost různých tvarových řešení.

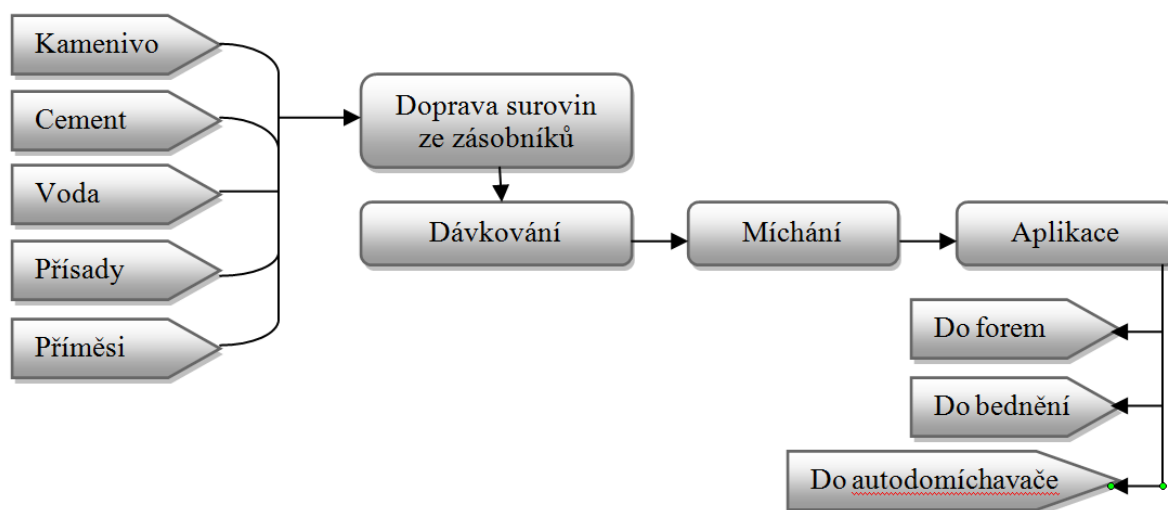
Nevýhodou může být cena dopravy materiálu na staveniště a pracnost při výrobě atypických dílů.

3.2. Vybrané technologie výroby prefabrikovaných dílců

Na počátku technologie výroby se volí vhodná receptura a její následné pomletí a homogenizování směsi. Protože jsme zvolili jako výsledný materiál prefabrikované dílce, je vhodné zvolit způsoby výroby litím do forem.

3.2.1. Technologie výroby klasického betonu

Beton je kompozitní materiál, ve kterém je jako plniva použito zpravidla přírodního kameniva a jako pojiva zpravidla cementu. Dvojnásobné použití slova „zpravidla“ v definici betonu naznačuje, že pod pojmem beton se skrývá pestrá škála materiálů velice rozmanitých vlastností a užitných hodnot. Všem je společné jediné: jsou to hmoty, které jsou vytvářeny jako umělé slepence. Dále běžně přidáváme příměsi (např. především popílek) a přísady (např. plastifikační, provzdušňující, urychlující nebo zpomalující tuhnutí). Tyto složky bývají uskladněny v zásobnících, odkud jsou přepravovány a dávkovány do míchače, kde se vzájemně mísí. Ve výrobních prefabrikovaných dílců jsou pak směsi dány do forem

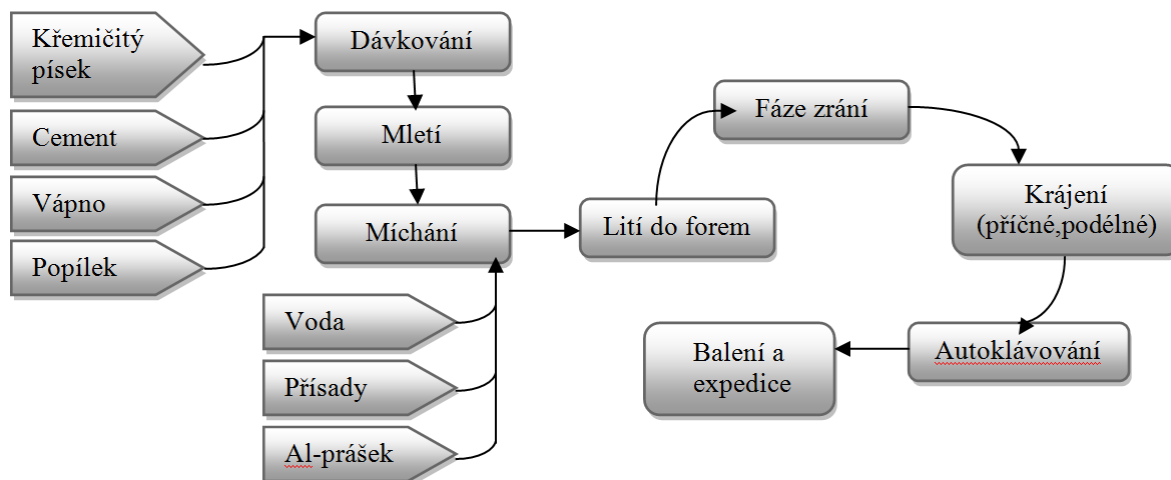


Obr.č. 19 - Zjednodušené schéma technologie výroby klasického betonu

3.2.2. Technologie výroby pórobetonu (obecně)

Patentovaných technologií na výrobu pórobetonu je celá řada, ale v principu jsou všechny stejné a můžeme je obecně charakterizovat. Při výrobě postupujeme tak, že křemičité látky se dle druhu technologie samostatně nebo i společně velmi jemně melou, mísí a homogenizují s páleným vápnem nebo i s cementem a popř. i s dalšími přísadami. Potom se surovinová směs rozmísí obvykle ve speciálních míchačkách s vodou, přerostovým kalem a plynotvornou látkou na tekutou kaši. Směs se odlije do formy, kde zraje. Po zatuhnutí se blok řeže podélně a příčně dle požadovaného tvaru výsledných prvků. Nařezané bloky můžeme poté autoklávovat. Výhodou autoklávování je, že k hydratačním procesům dochází již v autoklávu a proto jsou takto zpracované výrobky tvarově přesné.

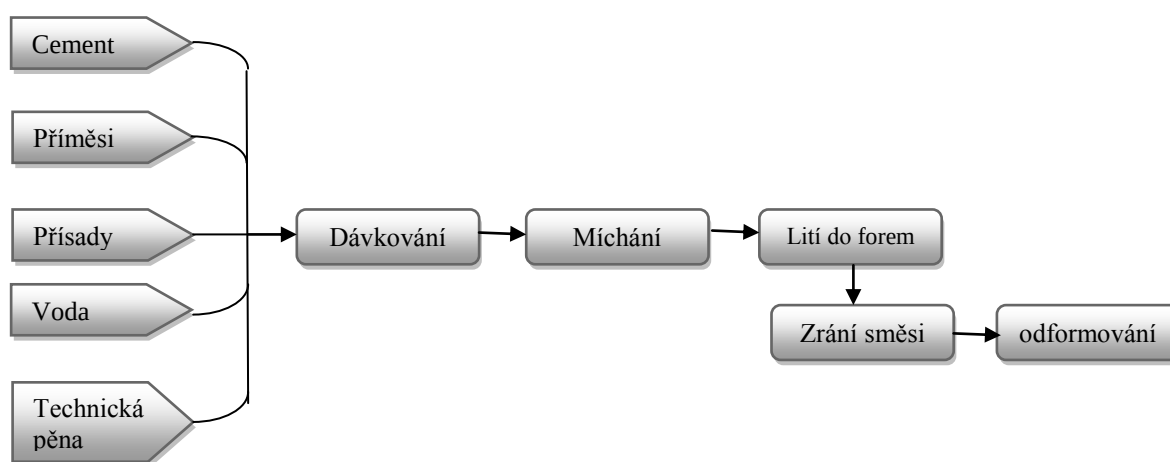
Neautoklávované plynobetony je třeba nechat nejprve dostatečnou dobu vyzrát na skládkách, aby nabyly dostatečnou pevnost a objemově se ustálily.



Obr.č. 20 - Zjednodušené schéma technologie výroby pórobetonu

3.2.3. Výroba pěnobetonu

Pěnobeton je lehký beton s dobrou mechanickou pevností, nízkou tepelnou vodivostí, jednoduchou, vysoce technologickou výrobou a aplikací přímo na stavbě nebo jej můžeme použít jako prefabrikovaný dílec. Je tvořen cementem, vodou, technickou pěnou, příměsí a přísadami. Pěnobeton obsahuje uzavřené vzduchové póry, čímž se výrazně snižuje jeho objemová hmotnost. Vyrobí se technická pěna, která se vmísí podle předem přísně určeného poměru do cementového mléka. Jakmile dojde k procesu tuhnutí, technická pěna zůstane uzavřena v cementovém mléku a vznikne tím malá vzduchová mezera.



Obr.č. 21 - Zjednodušené schéma technologie výroby pěnobetonu

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4. VOLBA VHODNÉHO IZOLAČNÍHO MATERIÁLU (OPTIMALIZACE)

Z výše jmenovaných vybraných materiálů je zapotřebí vybrat ty, které vyhovují požadavkům na nově vyvíjený tepelně-izolační systém. Pro jejich volbu použijeme metodu kvantitativního párového srovnání kritérií. Pro přehlednost výpočtu byly jednotlivé materiály substituovány abecedními písmeny.

Tab. č. 5 - Označení použitých materiálů

Označení	Materiál
A	Rockwool - Techrock 40
B	Rockwool - Techrock 60
C	Rockwool - Techrock 120
D	Rockwool - Lurock 40 ALS
E	Rockwool - WM 80
F	Rockwool - WM 105
G	Isover - Orstech DP 65
H	Isover - Orstech DP 100
I	Isover - Orstech 65
J	Refaglass
K	Foamglas
L	Popílkový beton
M	Keramzitbeton
N	Vermikulitbeton (1:12,5)
O	Vermikulitbeton (1:8)
P	Perlitbeton PTB 300
Q	Perlitbeton PTB 400
R	Pórobeton P2-400
S	Pěnobeton
T	Multipor

Tab. č. 6 - Označení rozhodujících kritérií

č.	Kritérium	Optimum	Značení
1	Tepelná odolnost	Max.	$t [^{\circ}\text{C}]$
2	Součinitel tepelné vodivosti	Min.	$\lambda [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$
3	Objemová hmotnost	Min.	$\rho [\text{kg.m}^{-3}]$
4	Cena	Min.	,- Kč
5	Součinitel délkové teplotní roztažnosti	Min.	$\alpha [\text{K}^{-1}]$
6	Tepelná kapacita	Max.	$c [\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}]$
7	Faktor difuzního odporu	Max.	$\mu [-]$

4.1. Stanovení kritérií a jejich vah

Tab. č. 7 - Metoda kvantitativního párového srovnání kritérií

		1	2	3	4	5	6	7	S_i	R_i	Váha
Tepelná odolnost	1	1	1/2	3	2	4	5	6	360,0	2,3184	0,2423
Součinitel tepelné vodivosti	2	2	1	1	5	6	6	6	2160,0	2,9947	0,3130
Objemová hmotnost	3	1/3	1	1	1/3	4	5	5	11,111	1,4106	0,1474
Cena	4	1/2	1/5	3	1	4	5	5	30,0	1,6256	0,1699
Součinitel délkové teplotní roztažnosti	5	1/4	1/6	1/4	1/4	1	2	2	$1,042 \cdot 10^{-2}$	0,5210	0,0544
Tepelná kapacita	6	1/5	1/6	1/5	1/5	1/2	1	2	$1,333 \cdot 10^{-3}$	0,3884	0,0406
Faktor difuzního odporu	7	1/6	1/6	1/5	1/5	1/2	1/2	1	$2,780 \cdot 10^{-4}$	0,3104	0,0324
									Σ	9,5690	1

4.2. Rozhodovací matice

Tab. č. 8 - Rozhodovací matice optimalizačního výpočtu

kritérium	1	2	3	4	5	6	7
optimum	max	min	min	min	min	max	max
A	340	0,04	40	99	$9,0 \cdot 10^{-6}$	840	1
B	640	0,04	60	147	$9,0 \cdot 10^{-6}$	840	1
C	710	0,046	120	285	$9,0 \cdot 10^{-6}$	840	1
D	620	0,043	36	153	$9,0 \cdot 10^{-6}$	840	1
E	700	0,039	80	245	$9,0 \cdot 10^{-6}$	840	1
F	750	0,038	105	286	$9,0 \cdot 10^{-6}$	840	1
G	560	0,037	65	248	$9,0 \cdot 10^{-6}$	800	1,3
H	660	0,038	100	343	$9,0 \cdot 10^{-6}$	800	1,3
I	620	0,04	65	154	$9,0 \cdot 10^{-6}$	800	1,3
J	430	0,055	140	1050	$8,5 \cdot 10^{-6}$	850	1
K	430	0,041	100	468	$9,0 \cdot 10^{-6}$	850	1
L	1050	0,23	500	45	-	840	2,5
M	1050	0,22	500	75	$6,0 \cdot 10^{-6}$	880	4
N	700	0,081	300	145	$8,5 \cdot 10^{-6}$	1000	4
O	700	0,09	365	145	$8,5 \cdot 10^{-6}$	1000	4
P	900	0,088	300	90	$2,5 \cdot 10^{-6}$	1150	9
Q	900	0,129	400	90	$2,5 \cdot 10^{-6}$	1150	11
R	1050	0,1	400	55	$8,0 \cdot 10^{-6}$	840	6
S	950	0,11	340	50	$9,0 \cdot 10^{-6}$	1000	9
T	1000	0,045	115	60	$8,0 \cdot 10^{-6}$	1300	3
min	340	0,037	36	45	$2,5 \cdot 10^{-6}$	800	1
max	1050	0,23	500	1050	$9,0 \cdot 10^{-6}$	1300	11

4.3. Výpočtová matice

Tab. č. 9 - Výpočtová matice optimalizačního výpočtu

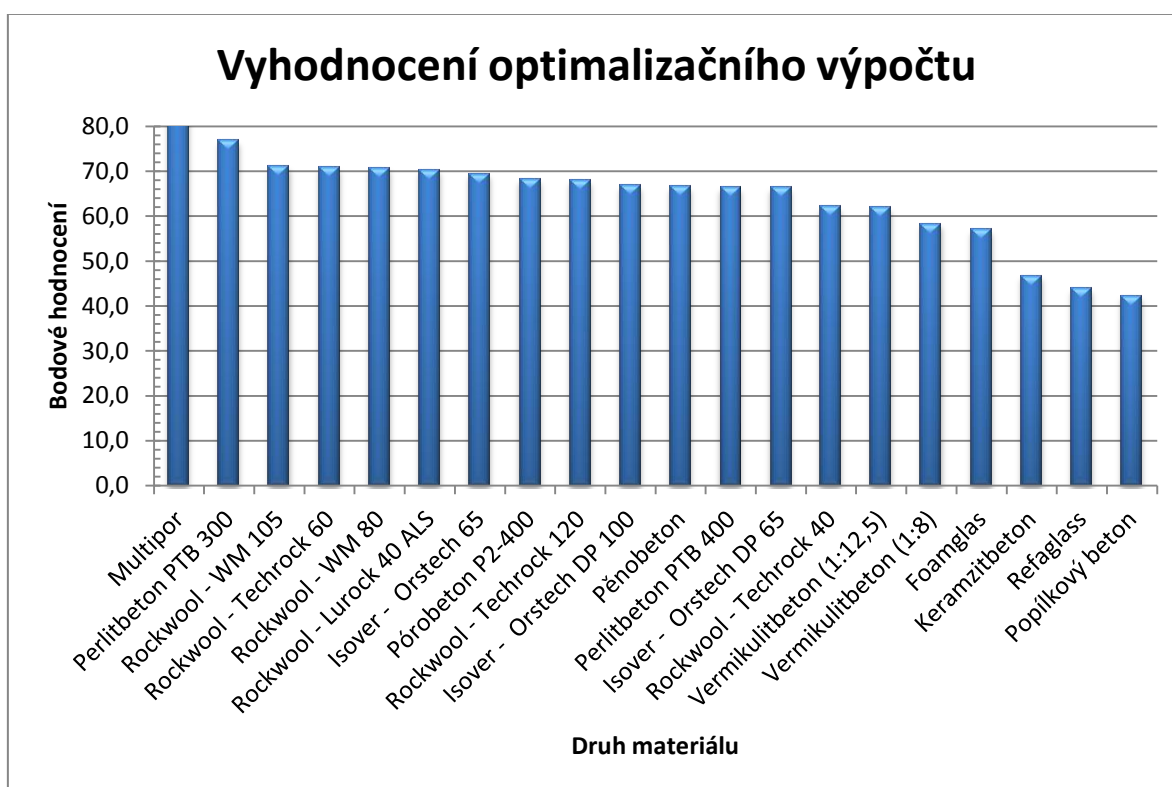
	1	2	3	4	5	6	7	
kritérium	max	min	min	min	min	max	max	Σ
váha	0,2423	0,3130	0,1474	0,1699	0,0544	0,0406	0,0324	1,0000
A	0,000	30,813	14,613	16,077	0,000	0,325	0,000	61,8283
B	10,238	30,813	13,978	15,266	0,000	0,325	0,000	70,6195
C	12,627	29,840	12,072	12,933	0,000	0,325	0,000	67,7964
D	9,555	30,327	14,740	15,164	0,000	0,325	0,000	70,1114
E	12,286	30,976	13,342	13,609	0,000	0,325	0,000	70,5372
F	13,992	31,138	12,548	12,916	0,000	0,325	0,000	70,9184
G	7,508	31,300	13,819	13,558	0,000	0,000	0,097	66,2820
H	10,921	31,138	12,707	11,952	0,000	0,000	0,097	66,8147
I	9,555	30,813	13,819	15,147	0,000	0,000	0,097	69,4322
J	3,071	28,381	11,436	0,000	0,418	0,406	0,000	43,7129
K	3,071	30,651	12,707	9,839	0,000	0,406	0,000	56,6746
L	24,230	0,000	0,000	16,990	0,000	0,325	0,486	42,0308
M	24,230	1,622	0,000	16,483	2,511	0,650	0,972	46,4670
N	12,286	24,164	6,353	15,299	0,418	1,624	0,972	61,1172
O	12,286	22,705	4,289	15,299	0,418	1,624	0,972	57,5928
P	19,111	23,029	6,353	16,229	5,440	2,842	2,592	75,5967
Q	19,111	16,380	3,177	16,229	5,440	2,842	3,240	66,4188
R	24,230	21,083	3,177	16,821	0,837	0,325	1,620	68,0923
S	20,817	19,461	5,083	16,905	0,000	1,624	2,592	66,4827
T	22,524	30,003	12,230	16,736	0,837	4,060	0,648	87,0380

4.4. Vyhodnocení optimalizačního výpočtu

Tab. č. 10 - Vyhodnocení optimalizačního výpočtu

pořadí	označení	materiál	hodnocení
1	T	Multipor	87,0380
2	P	Perlitbeton PTB 300	76,8147
3	F	Rockwool - WM 105	71,0576
4	B	Rockwool - Techrock 60	70,7587
5	E	Rockwool - WM 80	70,6764
6	D	Rockwool - Lurock 40 ALS	70,2506
7	I	Isover - Orstech 65	69,4322
8	R	Pórobeton P2-400	68,2315
9	C	Rockwool - Techrock 120	67,9356

10	H	Isover - Orstech DP 100	66,8147
11	S	Pěnobeton	66,4827
12	Q	Perlitbeton PTB 400	66,4188
13	G	Isover - Orstech DP 65	66,2820
14	A	Rockwool - Techrock 40	61,9675
15	N	Vermikulitbeton (1:12,5)	61,8132
16	O	Vermikulitbeton (1:8)	58,2888
17	K	Foamglas	56,8486
18	M	Keramzitbeton	46,7454
19	J	Refaglass	43,8869
20	L	Popílkový beton	42,1700



Obr.č. 22 - Grafické znázornění vyhodnocení optimalizačního výpočtu

Na základě optimalizačního výpočtu bylo vybráno celkem 10 materiálů, které budou dále uvažovány jako součásti nového tepelně-izolačního systému. Pro kombinaci vrstev lehkého betonu a vláknitých materiálů jsou jako zástupci vybrány tyto materiály:

Zástupce lehkých betonů: Multipor, perlitbeton PTB 300, pórobeton P2-400, pěnobeton a vermikulitbeton (1:12,5) .

Zástupce vláknitých materiálů: Rockwool - WM 105, Techrock 60, WM 80 a Lurock 40 ALS a jako zástupce pěnového skla je zvolen Foamglas.

5. VÝHLEDOVĚ PROVÁDĚNÉ ZKOUŠKY NA IZOLAČNÍM SYSTÉMU

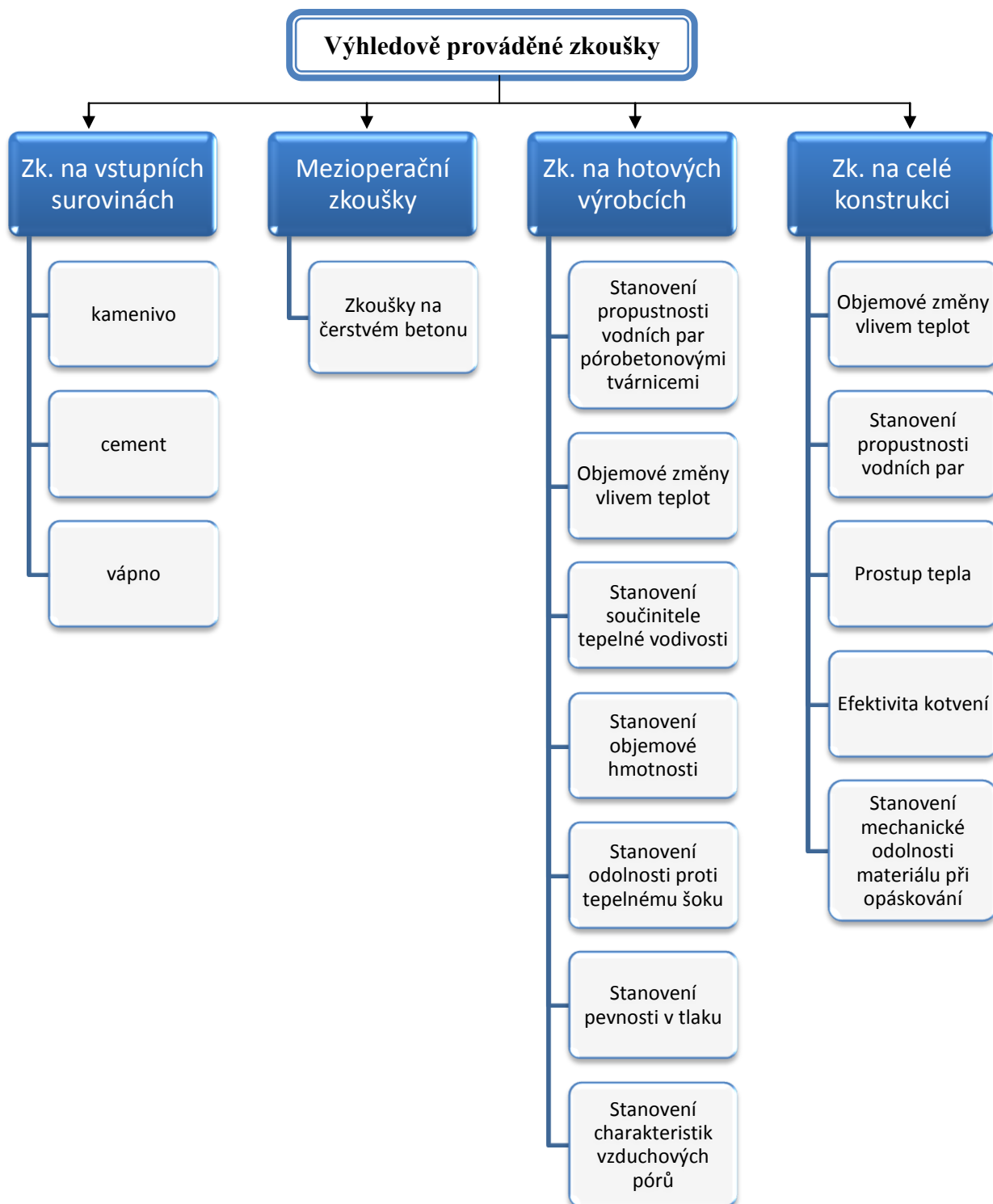
Na základě statických zpracování výsledků zkoušek prováděných v laboratořích na předepsaných zkušebních zařízeních, vzorcích a při předepsaných postupech určujeme hodnoty charakteristických vlastností materiálů. Zkoušíme jednotlivé stavební hmoty a následně i materiály. Před započítím stavebních prací se provádějí průkazní zkoušky, kterými se ověřuje vhodnost materiálu i technologie jejich zpracování pro dosažení požadovaných vlastností.

Zkoušení stavebních materiálů se provádí podle předpisů, které nazýváme technické normy. Mají-li celostátní platnost, říkáme jim státní normy a označujeme je ČSN, pokud platí v rámci určitého odvětví, užívá se pak názvu oborové normy, značíme ON. Má-li norma platnost pouze v jednom podniku, má charakter podnikových norem, označujeme PN. Od roku 1991 dle zákona č.142/1991 Sb., ve znění zákona č.632/1992 Sb., jsou české technické normy vydávány obecně jako dobrovolné. Nejsou tedy závazné a můžeme nebo nemusíme k nim přihlížet. Jen u některých norem jsou stanovena závazná ustanovení, která se pak musí dodržet v celém rozsahu. V současné době je řada českých norem nahrazena evropskými a mezinárodními normami, s označeními ČSN EN a ČSN ISO.

Při práci v laboratořích může být výsledek každé zkoušky ovlivněn řadou činitelů, které je potřeba omezit nebo sjednotit, aby podmínky zkoušení byly stejné. Jedná se především o teplotu prostředí, teplotu užívaných materiálů, vlhkost materiálu i relativní vlhkost vzduchu. Proto se předepisuje provádět zkoušky v normalizovaném prostředí a to při teplotě $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $(65 \pm 5) \%$. Nás budou ale především zajímat vlastnosti materiálů při ztížených teplotních podmínkách.

5.1. Grafické znázornění výhledově prováděných zkoušek

Než nový systém přijde na trh, je potřeba provést základní zkoušky a zjistit tak, zdali vyhovuje požadovaným předpokladům.



Obr.č. 23 - Grafické znázornění výhledově prováděných zkoušek

5.2. Zkoušky na vstupních surovinách

Dodavatelé vstupních surovin udávají většinu jejích vlastností. Proto není třeba zkoušky podrobně popisovat a v této kapitole je uveden pouze výčet možných prováděných zkoušek odkázaných na normy.

- Zkoušky kameniva: *Stanovení zrnitosti síťovým rozbořem dle ČSN EN 933-1*
 Stanovení tvaru zrn : Index plochosti dle ČSN EN 933-3
 Stanovení tvaru zrn : tvarový index dle ČSN EN 933-4
 Stanovení sypané hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného a zhutněného kameniva dle ČSN EN 1097-3
 Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti dle ČSN EN 1097-6
 Stanovení odolnosti kameniva vůči tepelným šokům dle ČSN EN 1367-5 nebo ČSN EN 14617-6 (MODIFIKACE NOREM)
 Stanovení součinitele tepelné roztažnosti dle ČSN EN 14617-11
 Stanovení rozměrové stálosti dle ČSN EN 14617-12
 Stanovení pevnosti dle ČSN EN 14617-15
 Popílek pro výrobu pórobetonu dle ČSN 72 2072-5
- Zkoušky cementu: *Stanovení pevnosti dle ČSN EN 196-1*
 Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti dle ČSN EN 196-3
 Stanovení jemnosti mletí dle ČSN EN 196-6
 Stanovení měrné hmotnosti dle ČSN 72 2113
- Zkoušky vápna: *Stavební vápno: zkušební metody dle ČSN EN 459-2*

5.3. Mezioperační zkoušky

Provádíme na materiálech při jejich výrobě. Jedná se o zkoušky na čerstvé směsi. Výrobci mají vlastní metody zkoušení dle podnikových norem. Jedná se především o zkoušky *konzistence směsi* (rozliti), dále sledujeme *průběh teplot a kynutí směsi*, rozmezí mezi *manipulační a krájecí pevností* v průběhu tuhnutí směsi.

5.4. Zkoušky na hotových výrobcích

Zjišťujeme vlastnosti vyrobeného prvku a posuzujeme tak jeho vhodnost pro užití jako tepelně-izolačního materiálu pro konstrukce vykazující vyšší teploty. Zaměřujeme se především na tyto

vlastnosti vyvíjeného prefabrikátu: nízký součinitel tepelné vodivosti, odolnost vůči vysokým teplotám, nízká objemová hmotnost, minimální objemové změny, a další.

Seznam možných prováděných zkoušek:

- *Stanovení odolnosti proti tepelnému šoku (modifikace norem)*
- *Objemové změny vlivem teplot dle ČSN 731320*
- *Stanovení součinitele tepelné vodivosti dle ČSN 727010 (10 až 14)*
- *Stanovení objemové hmotnosti dle ČSN EN 678 (731351)*
- *Stanovení propustnosti vodních par pórobetonovými tvárnicemi dle ČSN EN 722-15*
- *Stanovení pevnosti v tlaku dle ČSN EN 679 (731352)*
- *Stanovení charakteristik vzduchových pórů dle ČSN EN 480-11*

5.5. Zkoušky na izolačním systému

Zjišťujeme vlastnosti systému jako celku. Výsledky těchto zkoušek budou rozhodující pro vhodnost systému.

Seznam výhledově prováděných zkoušek:

- *Objemové změny vlivem teplot*
- *Stanovení propustnosti vodních par*
- *Prostup tepla či stanovení součinitele tepelné vodivosti*
- *Efektivita kotvení*
- *Stanovení mechanické odolnosti materiálu při opáskování*

6. NÁVRH OKRAJOVÝCH PODMÍNEK

Slouží jako teoretický podklad k návrhu nově vyvíjeného tepelně-izolačního systému. Kapitola se věnuje teoretickému výpočtu tepelného prostupu navrhovaného systému. Výstupem je pak několik nejvhodnějších možných variant.

6.1. Tepelný prostup

Teplo se šíří v libovolném prostředí tam, kde jsou rozdílné teploty, je tedy přenášeno i stěnou, která má na jedné straně vyšší teplotu než na druhé. Vyšší teplotu si můžeme zjednodušeně představit jako rychlejší pohyb molekul látky. Rychlejší molekuly narážejí do pomalejších, tím je rozkmitávají a předávají jim tak energii. Tato energie se přenáší z teplejší strany na studenější a celý proces nazýváme vedení tepla. [32, 33]

6.1.1. Základní způsoby přenosu tepla

- vedením (kondukcí)
- prouděním (konvekci)
- sáláním (radiací)

Nás budou pro naše postupy především zajímat přenosy tepla vedením a prouděním.

Vedení tepla

Vedení uvažujeme především v tuhých látkách, v kapalinách a plynech pouze za určitých podmínek. Vedením rozumíme postupné odevzdávání kinetické energie molekulám tělesa při jejich doteku. Stavební látky mají většinou pórovitou strukturu a v pórech se teplo může šířit jinak než vedením. Přesto v tepelně-technických výpočtech užíváme jevů, vycházejících z vedení tepla. V důsledku tepelné vodivosti látek při snaze vyrovnání různých teplot těles vzniká tok tepla.

Tepelný tok - vyjadřuje výkon přenášený při průchodu tepla danou plochou

$$\phi = \frac{dQ}{d\tau} \quad [\text{W}]$$

kde dQ (J) je teplo, které projde danou plochou za čas $d\tau$ (s).

Hustota tepelného toku - její velikost je rovna tepelnému toku, který prochází jednotkovou plochou kolmou na směr přenosu tepla

$$q = \frac{d\phi}{dS_n} \quad [\text{W/m}^2]$$

kde $d\phi$ je tepelný tok (W), procházející v daném okamžiku zvolenou plochou kolmou na směr průchodu tepla a plošného obsahu dS_n (m^2) plochy.

Pro sdílení tepla vedením zde platí *Fourierův zákon*, který tvrdí, že hustota tepelného toku je úměrná teplotnímu gradientu:

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } T \quad [\text{W/m}^2]$$

kde λ je součinitel tepelné vodivosti ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) a $\text{grad } T$ je gradient teploty T (K).

Teplotní gradient je mírou změny teploty v daném místě. Záporné znaménko ve vzorci poukazuje, že tepelný tok má opačný směr než růst teploty.

Při ustáleném stavu tedy platí:

$$q = \lambda \cdot \frac{\theta_i - \theta_e}{d} \quad [\text{W/m}^2]$$

kde q je hustota tepelného toku (W/m^2)
 λ součinitel tepelné vodivosti ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
 θ_i teplota vnitřní strany konstrukce ($^{\circ}\text{C}$)
 θ_e teplota vnější strany konstrukce ($^{\circ}\text{C}$)
 d tloušťka vrstvy (m)

Rychlost vedení tepla určuje tepelnou vodivost. Dle součinitele tepelné vodivosti tedy můžeme porovnávat tepelné vodivosti látek.

Na základě tohoto součinitele látky dělíme na:

- *tepelné vodiče* - látky s vysokou rychlostí vedení tepla a velkým součinitelem tepelné vodivosti
- *tepelné izolanty* - látky s nízkou rychlostí vedení tepla a malým součinitelem tepelné vodivosti

Z hlediska dynamiky procesu vedení tepla dělíme na:

- *ustálené (stacionární)* - teplotní rozdíl mezi jednotlivými částmi tělesa se v čase nemění
- *neustálené (nestacionární)* - teplotní rozdíly mezi jednotlivými částmi tělesa, mezi kterými se teplo přenáší, se postupně vyrovnávají

Tato práce se zabývá tepelnými izolanty a ustáleným vedením tepla. [32, 16, 34, 35]

Proudění tepla

Uplatňuje se jen u kapalin a plynů. Dochází k pohybu částic, které přitom přenášejí teplo. V pohybujícím se prostředí je přenos tepla složitější než v klidném prostředí. Proudění tepla může být přirozené, kdy zahřátí vzduchu lokálně vyvolá přemísťování částic a vyrovnává se teplota vzduchu,

avšak na úkor vodivosti a přenášení tepla. Intenzita výměny tepla je pak poměrně malá. Naopak u nuceného proudění tepla je pak intenzita výměny tepla větší.

Výměna tepla prouděním mezi povrchem tělesa a plynným prostředím se nazývá přestup tepla. Podél tuhého tělesa, kolem kterého proudí vzduch, vzniká tzv. mezní vrstva. Je to oblast vnějšího proudění, kde se mění spojitě rychlost proudu od hodnoty na povrchu tělesa až na rychlost vnějšího proudu. Vzduch se ve vrstvě pohybuje laminárně (rovnoběžný pohyb ve směru proudu) nebo turbulentně (chaotický pohyb). V laminární vrstvě se teplo šíří vedením a v turbulentní vrstvě je odpor proti přestupu zanedbatelný. [32, 35]

Přestup tepla při proudění je dle Newtonova zákona definován:

$$q_k = h_k \cdot (\theta_s - \theta_a) \quad [\text{W/m}^2]$$

kde q_k je hustota tep. toku proudícího mezi vzduchem a povrchem konstrukce (W/m^2)

h_k součinitel přestupu tepla při proudění ($\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$)

θ_s teplota povrchu konstrukce ($^{\circ}\text{C}$)

θ_a teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)

Bylo vysledováno, že součinitel přestupu tepla prouděním není stálá veličina. Závisí na parametrech charakterizující stav, pohyb vzduchu, tvar a rozměry tělesa apod.

Nejpřesnější vztah pro součinitele přestupu tepla přirozeného proudění odvodil Griffiths a Dawis:

$$h_k = 1,98 \cdot \sqrt[4]{\Delta\theta}$$

kde h_k součinitel přestupu tepla při proudění ($\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$)

$\Delta\theta$ rozdíl teploty vzduchu a povrchu tělesa (K)

Sálání tepla

Jedná se o přenos tepla prostřednictvím elektromagnetických vln, procházejících vzduchem nebo vakuem. S rostoucí teplotou se výrazně zvyšuje. V teorii šíření světla má největší význam infračervené záření, neboť je pohlcováno tělesy a jeho energie se při tom mění v energii tepelnou. Vznik tepelného záření z tepelné energie označujeme pojmem emise. Přeměnu záření v tepelnou energii pojmem absorpce. Tyto jevy jsou vázány na hmotnost tělesa a na vlastnostech zářiče i povrchové plochy. Tepelná energie se tedy při dopadu na těleso z části odráží, zčásti jím prochází a z části je pohlcována.

Zákony sálání tepla udává Kirchhoffův zákon, Planckův zákon, zákon Stefan-Boltzmannův a Lambertův zákon. [54]

6.1.2. Tepelný odpor

Tepelný odpor R ($\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$) je veličina, podle níž se hodnotí tepelně-technické vlastnosti konstrukce. V podstatě nám udává, jak je určitá konstrukce schopna bránit úniku tepla. [35]

Tepelný odpor jednotlivých vrstev vychází ze vzorce:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2.\text{K}/\text{W}]$$

kde R je tepelný odpor vrstvy ($\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$)
 d tloušťka vrstvy (m)
 λ součinitel tepelné vodivosti ($\text{W}.\text{m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

Přestupové odpory:

$$R_i = \frac{1}{h_i} ; R_e = \frac{1}{h_e} \quad [\text{m}^2.\text{K}/\text{W}]$$

kde R_i, R_e jsou přestupové odpory vnitřního a vnějšího povrchu ($\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$)
 h_i, h_e součinitelé přestupu tepla vnitřního a vnějšího povrchu ($\text{W}.\text{m}^{-2}.\text{K}^{-1}$)

Celkový odpor konstrukce pak spočteme vztahem:

$$R_T = R_i + R + R_e \quad [\text{m}^2.\text{K}/\text{W}]$$

kde R_T je celkový odpor vrstev ($\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$)
 R_i, R, R_e jsou odpory jednotlivých vrstev ($\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$)

Pozn.: Při přímém kontaktu zateplovací vrstvy s plochou vykazující vyšší teploty přestupový odpor vnitřního povrchu (R_i) zanedbáváme.

6.1.3. Součinitel prostupu tepla

Je to v podstatě převrácená hodnota tepelného odporu. Značíme U ($\text{W}.\text{m}^{-2}.\text{K}^{-1}$). Čím je hodnota součinitele prostupu tepla nižší, tím jsou tepelně-technické vlastnosti konstrukce lepší. [35]

Hodnotu součinitele prostupu tepla vyjádříme:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [\text{W}.\text{m}^{-2}.\text{K}^{-1}]$$

kde U je součinitel prostupu tepla ($\text{W}.\text{m}^{-2}.\text{K}^{-1}$)
 R_T celkový odpor vrstev ($\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$)

6.1.4. Součinitel tepelné vodivosti

Je jednou z nejdůležitějších veličin při posuzování tepelně-technických vlastností stavebních látek. Vyjadřuje schopnost homogenní vrstvy materiálu vést teplo. Je definován jako množství tepla, které musí za jednotku času projít tělesem, aby na jednotkovou délku byl jednotkový teplotní spád. Přitom se předpokládá, že teplo se šíří pouze v jednom směru. Hodnota součinitele tepelné vodivosti se zjišťuje experimentálně a značíme λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).

Také slouží k rozlišení látek podle schopnosti vést teplo na tepelné izolanty a vodiče. Tepelné izolanty mají nízkou hodnotu λ , což znamená, že špatně vedou teplo (mají nízkou tepelnou vodivost). Tepelné vodiče mají naopak hodnotu λ vysokou a značí tak, že teplo vedou dobře (vysoká tepelná vodivost).

Mezi tepelné izolanty řadíme plyny a materiály, které obsahují větší množství plynných částic (vzduch), pěnové izolace a vláknité izolace. Dobrymi tepelnými vodiči jsou kovy.

Nehybný a suchý vzduch uzavřený mezi póry či vlákna materiálu nejvíce snižuje hodnotu tepelné vodivosti. Tepelná vodivost materiálu závisí na jeho složení, struktuře, pórovitosti, mezerovitosti, vlhkosti, vrstevnatosti, směru tepelného toku a zejména na teplotě.

Se vzrůstající teplotou vzrůstá tepelná vodivost λ . Ta se pak do výpočtu dosazuje v závislosti na střední teplotě. Jde o aritmetický průměr z povrchové teploty konstrukce a povrchové teploty izolace. V praxi se vyskytuje případ, že se výpočet provádí s teplotou okolního vzduchu místo s povrchovou teplotou izolace. [16, 32, 36]

6.1.5. Množství tepla

Množství tepla, které projde materiálem z jedné strany na druhou, je závislé na několika parametrech. Rozhodují:

Plocha stěny (S) - čím je plocha stěny větší, tím větší množství tepla prostoupí.

Tloušťka stěny (d) - čím je silnější, tím hůře se teplo předává prostřednictvím molekul z jedné strany na druhou.

Materiál - rozhodující jsou jeho vlastnosti, především součinitel tepelné vodivosti.

Teplota (t) - přenos tepla závisí na rozdílu teplot povrchu stěny.

Doba (τ) - jak dlouho teplo prochází stěnou. [33]

Tyto závislosti shrneme vztahem:

$$Q = \lambda \cdot \frac{S \cdot \Delta t}{d} \cdot \tau \quad [\text{J}]$$

kde Q je množství tepla (J)

λ součinitel tepelné vodivosti ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

S plocha stěny (m^2)

Δt rozdíl teplot na površích stěny ($^{\circ}\text{C}$)

d tloušťka stěny (m)

τ doba (s)

6.2. Návrh skladby tepelné izolace

Cílem této práce je návrh takové izolační vrstvy na konstrukci, aby množství tepla, které projde materiálem, bylo co nejmenší. Rozhodujícím kritériem je i co nejnížší možná povrchová teplota na povrchové vrstvě izolace. Zvolený materiál musí mít také dostatečnou odolnost vůči vyšším teplotám, měl by být objemově stálý a jeho objemová hmotnost by měla být co nejnížší.

6.2.1. Zatěžovací stavy

Při návrhu tepelných izolací je třeba vzít v úvahu důležité parametry:

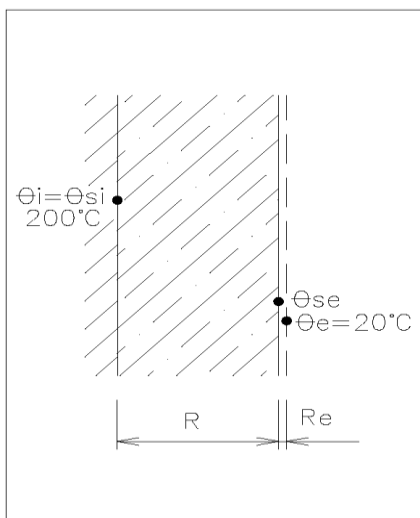
- tepelnou vodivost izolačního materiálu (λ)
- tloušťku izolačního materiálu (d)
- teplotu média (θ_i)
- teplotu okolního vzduchu (θ_e)
- součinitel přestupu tepla (h_e)

Zatěžovací stavy mají za úkol přiblížit, při jakých teplotách bude zatěžována návrhová vrstva tepelné izolace.

6.2.1.1. 1. Zatěžovací stav

Při 1.ZS uvažujeme jako tepelnou izolaci pouze přímý kontakt námi navrženého materiálu z lehkých betonů s konstrukcí vykazující teploty max. 200°C .

Na vnější straně konstrukce uvažujeme teplotu vzduchu 20°C .



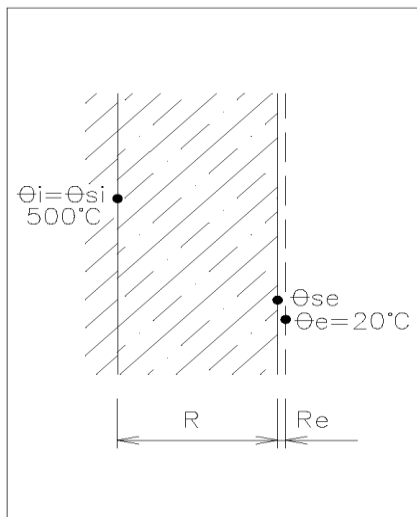
Popis:

- | | |
|---------------|--|
| θ_i | teplota vnitřního vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) |
| θ_{si} | teplota vnitřní strany konstrukce ($^{\circ}\text{C}$) |
| θ_e | teplota vnějšího vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) |
| θ_{se} | teplota vnější strany konstrukce ($^{\circ}\text{C}$) |
| R | tepelný odpor konstrukce ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)
(s návrhem tloušťky (d) a součinitele tepelné vodivosti (λ)) |
| R_e | tepelný odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu konstrukce ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$) |

Obr.č. 24 - 1. Zatěžovací stav

6.2.1.2. 2. Zatěžovací stav

Při 2.ZS uvažujeme jako tepelnou izolaci pouze přímý kontakt námi navrženého materiálu z lehkých betonů s konstrukcí vykazující teploty max. 500°C. Na vnější straně konstrukce uvažujeme teplotu vzduchu 20°C.



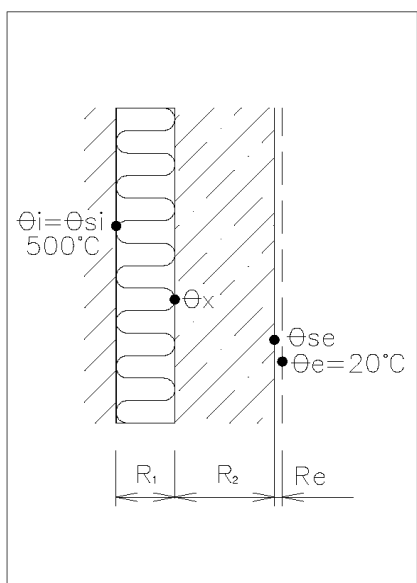
Obr.č. 25 - 2. Zatěžovací stav

Popis:

- θ_i teplota vnitřního vzduchu ($^\circ\text{C}$)
- θ_{si} teplota vnitřní strany konstrukce ($^\circ\text{C}$)
- θ_e teplota vnějšího vzduchu ($^\circ\text{C}$)
- θ_{se} teplota vnější strany konstrukce ($^\circ\text{C}$)
- R tepelný odpor konstrukce ($\text{m}^2.\text{K/W}$)
(s návrhem tloušťky (d) a součinitelem tepelné vodivosti (λ))
- R_e tepelný odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu konstrukce ($\text{m}^2.\text{K/W}$)

6.2.1.3. 3. Zatěžovací stav

Při 3.ZS uvažujeme jako tepelnou izolaci návrh dvou vrstev. První vrstva bude izolační materiál z minerálních vláken, který bude v přímém kontaktu s povrchem konstrukce vykazující teploty max. 500 °C. Druhá vrstva bude sestávat z námi navrženého materiálu z lehkých betonů. Na vnější straně konstrukce uvažujeme teplotu vzduchu 20°C.



Obr.č. 26 - 3. Zatěžovací stav

Popis:

- θ_i teplota vnitřního vzduchu ($^\circ\text{C}$)
- θ_{si} teplota vnitřní strany konstrukce ($^\circ\text{C}$)
- θ_e teplota vnějšího vzduchu ($^\circ\text{C}$)
- θ_{se} teplota vnější strany konstrukce ($^\circ\text{C}$)
- θ_x teplota povrchu izolace ($^\circ\text{C}$)
- R_1 tepelný odpor izolace z min.vláken ($\text{m}^2.\text{K/W}$)
- R_2 tepelný odpor izolace z lehkých betonů ($\text{m}^2.\text{K/W}$)
(s návrhy tloušťek (d) a součinitelem tepelné vodivosti (λ))
- R_e tepelný odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu konstrukce ($\text{m}^2.\text{K/W}$)

6.2.2. Volba tepelně izolačního materiálu

Při výběru vhodného tepelně izolačního materiálu je třeba stanovit požadavky, které jsou na něj kladeny. Stěžejní parametry jsou:

- nízký součinitel tepelné vodivosti: $\lambda \leq 0,1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- odolnost materiálu při vyšších teplotách: $t = 200^{\circ}\text{C}; 500^{\circ}\text{C}$
- nízká objemová hmotnost materiálu: $\rho \leq 350 \text{ kg/m}^3$

V současnosti se používají materiály s předepsanými vlastnostmi, cílem návrhu nového materiálu bude snaha snížit jejich stanovené objemové hmotnosti. [1, 37, 38, 39, 40, 41]

Jako vhodný materiál vyhovující požadavkům volíme:

1/ Lehké betony s pórovitým kamenivem

- Perlitbeton: PTB 300 ($\rho = 300 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 0,088 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- Pěnobeton ($\rho = 340 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 0,11 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- Vermikulitbeton s objemovým míšením: {1:12,5} ($\rho = 300 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 0,081 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

2/ Lehké pórovité betony

- Multopor ($\rho = 115 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 0,045 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- Pórobeton P2 - 400 ($\rho = 400 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 0,1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

3/ Izolační materiál z minerálních vláken

- ROCKWOOL: WM 105 $\rightarrow \rho = 105 \text{ kg/m}^3$;
max. provozní teplota: 750°C ;
min. tl. : $0,05 \text{ m}$;
 $\lambda = 0,038\text{-}0,196 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ($\div 0,098 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- Techrock 60 $\rightarrow \rho = 60 \text{ kg/m}^3$;
max. provozní teplota: 640°C ;
min. tl. : $0,05 \text{ m}$;
 $\lambda = 0,040\text{-}0,254 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ($\div 0,127 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- WM 80 $\rightarrow \rho = 80 \text{ kg/m}^3$;
max. provozní teplota: 700°C ;
min. tl. : $0,05 \text{ m}$;
 $\lambda = 0,039\text{-}0,180 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ($\div 0,090 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- Lurock 40 ALS $\rightarrow \rho = 36 \text{ kg/m}^3$;
max. provozní teplota: 620°C ;
min. tl. : $0,05 \text{ m}$;
 $\lambda = 0,043\text{-}0,190 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ($\div 0,095 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

4/ Izolační materiál z pěnového skla

– FOAMGLAS $\rightarrow \rho = 100 \text{ kg/m}^3$;

bod měknutí: $>700^\circ\text{C}$, max. teplota použití: 430°C

min. tl. : 0,04, 0,06 m

$\lambda = 0,041\text{--}0,069 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ($\approx 0,06 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

- nevyhovuje podmínce odolnosti materiálu pro 500°C

6.2.3. Volba optimální tloušťky izolační vrstvy

Při volbě ideální tloušťky celého systému, je třeba si uvědomit, že by vrstva měla být takové velikosti, aby v závislosti na součiniteli tepelné vodivosti vyhověla požadavkům na teplotu výstupní vrstvy konstrukce.

Pro naše výpočty budeme uvažovat tloušťky 0,08 - 0,20 m.

6.3. Výpočet tepelného prostupu

Aplikace vzorců v teoretickém výpočtu tepelného prostupu tepelně-izolačního systému na základě navržených zatěžovacích stavů.

6.3.1. Užití vzorců

1. Tepelný odpor vrstev:

$$R = \sum Ri \quad [\text{m}^2.\text{K/W}]$$

$$Ri = \frac{di}{\lambda i} \quad [\text{m}^2.\text{K/W}]$$

kde R je tepelný odpor vrstvy ($\text{m}^2.\text{K/W}$)

d je tloušťka vrstvy (m)

λ je součinitel tepelné vodivosti ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

$i \in (1,2,\dots,n)$

2. Přestupový odpor:

$$h_e = 1,98.\sqrt[4]{\Delta\theta} \quad [\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}]$$

kde h_e je součinitel přestupu tepla při proudění ($\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$)

$\Delta\theta$ je rozdíl teploty vzduchu a povrchu tělesa (K)

$$R_e = \frac{1}{h_e} \quad [\text{m}^2.\text{K/W}]$$

kde R_e je přestupový odpor vnějšího povrchu ($\text{m}^2.\text{K/W}$)

h_e je součinitel přestupu tepla vnějšího povrchu ($\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$)

3. Celkový odpor konstrukce:

$$R_T = R + R_e \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$$

kde R_T je celkový odpor vrstev ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)

R, R_e jsou odpory jednotlivých vrstev ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)

4. Hustota tepelného toku:

$$q = \frac{\theta_i - \theta_e}{R_T} \quad [\text{W/m}^2]$$

kde q je hustota tepelného toku (W/m^2)

θ_i je teplota vnitřní strany konstrukce ($^{\circ}\text{C}$)

θ_e je teplota vnější strany konstrukce ($^{\circ}\text{C}$)

R_T je celkový odpor vrstev ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)

5. Výstupní povrchová teplota:

$$\theta_{se} = -q \cdot R + \theta_{si} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

kde θ_{se} je teplota vnějšího povrchu konstrukce ($^{\circ}\text{C}$)

θ_{si} je teplota vnitřního povrchu konstrukce ($^{\circ}\text{C}$)

q je hustota tepelného toku (W/m^2)

R je tepelný odpor vrstvy ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)

6.3.2. Okrajové podmínky

Pro zjištění teoretické výstupní hodnoty na povrchu izolační vrstvy bude rozhodující znát tyto okrajové podmínky:

- teplotu vnitřního vzduchu θ_i [$^{\circ}\text{C}$]
- teplotu vnitřní strany konstrukce θ_{si} [$^{\circ}\text{C}$]
- teplotu vnějšího vzduchu θ_e [$^{\circ}\text{C}$]
- součinitele přestupu tepla při proudění h_e [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
- součinitele tepelné vodivosti λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- tloušťku izolační vrstvy d [m]

Pozn.: Předpokladem pro výpočet je vývin takového izolačního materiálu z lehkých betonů, který navzdory působení vlivu zvýšené teploty nezmění součinitele tepelné vodivosti více než je předpokládaná hodnota $\lambda \leq 0,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. V teoretickém výpočtu tedy zanedbáváme závislost růstu součinitele tepelné vodivosti na teplotě.

6.3.3. Teoretický výpočet povrchových teplot pro různé tloušťky tepelné izolace

Slouží jako orientační zjištění pro porovnání a stanovení nejvhodnějšího tepelně izolačního systému.

Snažíme se dosáhnout nejnižší možné povrchové teploty pro jednotlivé druhy izolačních materiálů.

Dále pomocí teoretických výpočtů zjišťujeme pro jednotlivé zatěžovací stavy výstupní teploty na povrchu vyvíjeného systému v závislosti na různě volených tloušťkách.

6.3.3.1. Pro 1. zatěžovací stav

Při 1.ZS uvažujeme jako tepelnou izolaci pouze přímý kontakt námi navrženého materiálu z lehkých betonů s konstrukcí vykazující teploty max. 200°C. Na vnější straně konstrukce uvažujeme teplotu vzduchu 20°C.

Okrajové podmínky:

teplota vnitřního vzduchu:	$\theta_i = 200^\circ\text{C}$
teplota vnitřní strany konstrukce:	$\theta_{si} = 200^\circ\text{C}$
teplota vnějšího vzduchu:	$\theta_e = 20^\circ\text{C}$
teplota vnější strany konstrukce:	$\theta_{se} = x^\circ\text{C}$
součinitel přestupu tepla při proudění:	$h_{e1} = 1,98 \cdot \sqrt[4]{\Delta\theta} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
součinitel tepelné vodivosti:	$\lambda \leq 0,1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
tloušťka izolační vrstvy:	$d = 0,08 \div 0,20 \text{ m}$

Rozdělení dle druhu izolantu:

I/ Multipor

Tab.č. 11 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 1.zatěžovacího stavu při užití materiálu Multipor

d [m]	$\lambda [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$	R [m ² .K.W ⁻¹] d/λ	R _T [m ² .K.W ⁻¹] R+Re	q [W.m ²] (θ _{ai} -θ _e)/R _T	θ _{se} [°C] (-q) . R + θ _{si}
0,080	0,045	1,77778	1,91566	93,9623	33,0
0,100		2,22222	2,36011	76,2677	30,5
0,120		2,66667	2,80455	64,1814	28,8
0,150		3,33333	3,47122	51,8550	27,2
0,200		4,44444	4,58233	39,2813	25,4

II/ Perlitbeton (PTB 300)

Tab.č. 12 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 1. zatěžovacího stavu při užití Perlitbetonu

d [m]	$\lambda [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$	R [m ² .K.W ⁻¹] d/λ	R _T [m ² .K.W ⁻¹] R+Re	q [W.m ²] (θ _{ai} -θ _e)/R _T	θ _{se} [°C] (-q) . R + θ _{si}
0,080	0,088	0,90909	1,04698	171,9237	43,7
0,100		1,13636	1,27425	141,2597	39,5
0,120		1,36364	1,50152	119,8784	36,5

0,150	0,088	1,70455	1,84243	97,6970	33,5
0,200		2,27273	2,41061	74,6698	30,3

III/ Pórobeton (P2-400)

Tab.č. 13 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 1. zatěžovacího stavu při užití Pórobetonu

d [m]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	R [m ² .K.W ⁻¹] d/ λ	R _T [m ² .K.W ⁻¹] R+Re	q [W.m ²] ($\theta_{ai}-\theta_e$)/R _T	θ_{se} [°C] (-q) . R + θ_{si}
0,080	0,100	0,80000	0,93788	191,9212	46,5
0,100		1,00000	1,13788	158,1882	41,8
0,120		1,20000	1,33788	134,5407	38,5
0,150		1,50000	1,63788	109,8978	35,1
0,200		2,00000	2,13788	84,1954	31,6

IV/ Pěnobeton

Tab.č. 14 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 1. zatěžovacího stavu při užití Pěnobetonu

d [m]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	R [m ² .K.W ⁻¹] d/ λ	R _T [m ² .K.W ⁻¹] R+Re	q [W.m ²] ($\theta_{ai}-\theta_e$)/R _T	θ_{se} [°C] (-q) . R + θ_{si}
0,080	0,110	0,72727	0,86516	208,0546	48,7
0,100		0,90909	1,04698	171,9237	43,7
0,120		1,09091	1,22879	146,4851	40,2
0,150		1,36364	1,50152	119,8784	36,5
0,200		1,81818	1,95607	92,0214	32,7

V/Vermikulitbeton (poměr mísení objemově 1:12,5)

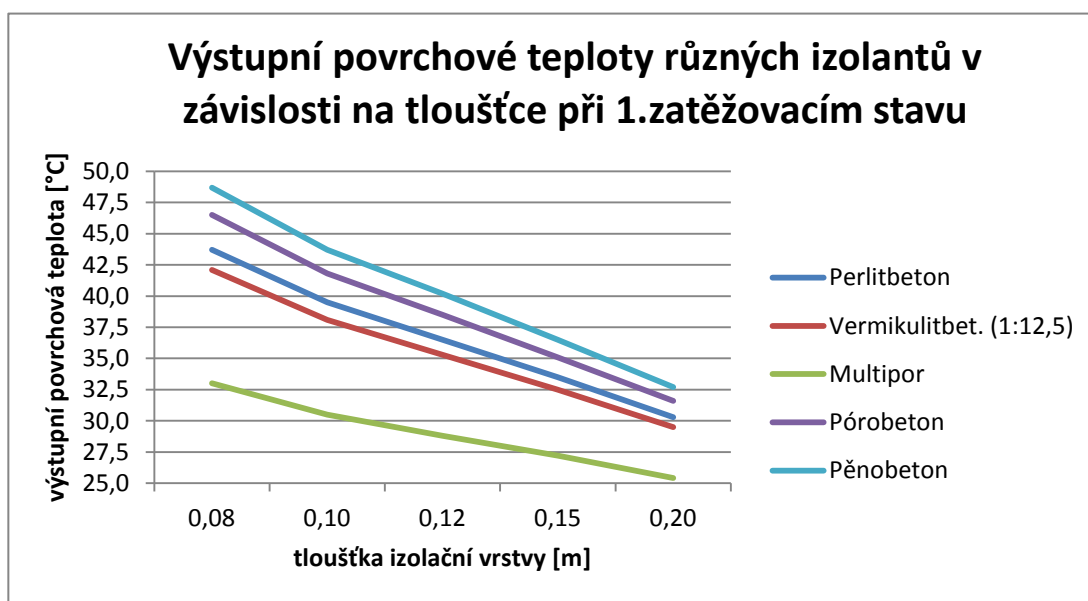
Tab.č. 15 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 1. zatěžovacího stavu při užití Vermikulitbetonu

d [m]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	R [m ² .K.W ⁻¹] d/ λ	R _T [m ² .K.W ⁻¹] R+Re	q [W.m ²] ($\theta_{ai}-\theta_e$)/R _T	θ_{se} [°C] (-q) . R + θ_{si}
0,080	0,081	0,98765	1,12554	159,9233	42,1
0,100		1,23457	1,37245	131,1521	38,1
0,120		1,48148	1,61937	111,1546	35,3
0,150		1,85185	1,98974	90,4642	32,5
0,200		2,46914	2,60702	69,0443	29,5

Výpočtem jsme zjistili:

Tab. č. 16 - Povrchové teploty 1.ZS ve °C s ohledem na vybraný materiál a tloušťku vrstvy

materiál\tloušťka[m]	0,08	0,10	0,12	0,15	0,20
Multipor	33,0	30,5	28,8	27,2	25,4
PTB300	43,7	39,5	36,5	33,5	30,3
PB: P2-400	46,5	41,8	38,5	35,1	31,6
pěnobeton	48,7	43,7	40,2	36,5	32,7
vermikulitbeton 1:12,5	42,1	38,1	35,3	32,5	29,5



Obr.č. 27 - Grafické znázornění izolantů 1. zatěžovacího stavu

6.3.3.2. Pro 2. zatěžovací stav

Při 2.ZS uvažujeme jako tepelnou izolaci pouze přímý kontakt námi navrženého materiálu z lehkých betonů s konstrukcí vykazující teploty max. 500°C. Na vnější straně konstrukce uvažujeme teplotu vzduchu 20°C.

Okrajové podmínky:

teplota vnitřního vzduchu:

$$\theta_i = 500^{\circ}\text{C}$$

teplota vnitřní strany konstrukce:

$$\theta_{si} = 500^{\circ}\text{C}$$

teplota vnějšího vzduchu:

$$\theta_e = 20^{\circ}\text{C}$$

teplota vnější strany konstrukce:

$$\theta_{se} = x^{\circ}\text{C}$$

součinitel přestupu tepla při proudění:

$$h_{e2} = 1,98 \cdot \sqrt[4]{\Delta\theta} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$

součinitel tepelné vodivosti:

$$\lambda \leq 0,1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

tloušťka izolační vrstvy:

$$d = 0,08 \div 0,20 \text{ m}$$

Rozdělení dle druhu izolantu:

I/ Multipor

Tab.č. 17 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 2. zatěžovacího stavu při užití materiálu Multipor

d [m]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	R [m ² .K.W ⁻¹] d/ λ	R _T [m ² .K.W ⁻¹] R+Re	q [W.m ²] ($\theta_{ai}-\theta_e$)/R _T	θ_{se} [°C] (-q) . R + θ_{si}
0,080	0,045	1,77778	1,88568	254,5503	47,5
0,100		2,22222	2,33012	205,9977	42,2
0,120		2,66667	2,77457	172,9999	38,7
0,150		3,33333	3,44123	139,4848	35,1
0,200		4,44444	4,55235	105,4402	31,4

II/ Perlitbeton (PTB 300)

Tab.č. 18 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 2. zatěžovacího stavu při užití Perlitbetonu

d [m]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	R [m ² .K.W ⁻¹] d/ λ	R _T [m ² .K.W ⁻¹] R+Re	q [W.m ²] ($\theta_{ai}-\theta_e$)/R _T	θ_{se} [°C] (-q) . R + θ_{si}
0,080	0,088	0,90909	1,01699	471,9803	70,9
0,100		1,13636	1,24426	385,7701	61,6
0,120		1,36364	1,47154	326,1895	55,2
0,150		1,70455	1,81245	264,8354	48,6
0,200		2,27273	2,38063	201,6275	41,8

III/ Pórobeton (P2-400)

Tab.č. 19 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 2. zatěžovacího stavu při užití Pórobetonu

d [m]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	R [m ² .K.W ⁻¹] d/ λ	R _T [m ² .K.W ⁻¹] R+Re	q [W.m ²] ($\theta_{ai}-\theta_e$)/R _T	θ_{se} [°C] (-q) . R + θ_{si}
0,080	0,100	0,80000	0,90790	528,6921	77,0
0,100		1,00000	1,10790	433,2518	66,7
0,120		1,20000	1,30790	367,0003	59,6
0,150		1,50000	1,60790	298,5259	52,2
0,200		2,00000	2,10790	227,7147	44,6

IV/ Pěnobeton

Tab.č. 20 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 2. zatěžovacího stavu při užití Pěnobetonu

d [m]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	R [m ² .K.W ⁻¹] d/ λ	R _T [m ² .K.W ⁻¹] R+Re	q [W.m ²] ($\theta_{ai}-\theta_e$)/R _T	θ_{se} [°C] (-q) . R + θ_{si}
0,080	0,110	0,72727	0,83517	574,7309	82,0
0,100		0,90909	1,01699	471,9803	70,9
0,120		1,09091	1,19881	400,3971	63,2
0,150		1,36364	1,47154	326,1895	55,2
0,200		1,81818	1,92608	249,2105	46,9

V/Vermikulitbeton (poměr míšení objemově 1:12,5)

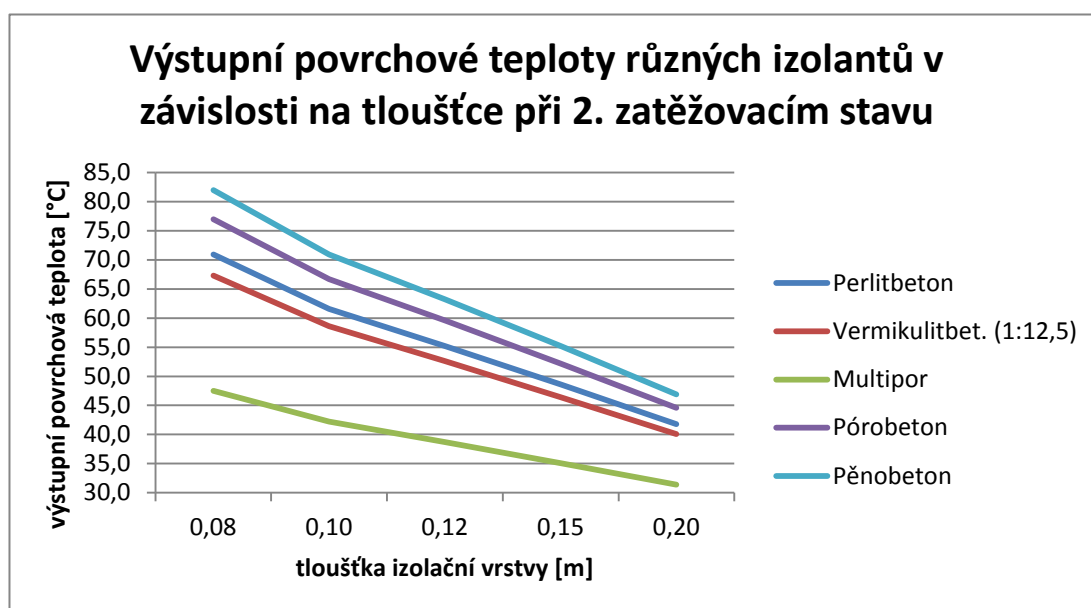
Tab.č. 21 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 2. zatěžovacího stavu při užití Vermikulitbetonu

d [m]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	R [m ² .K.W ⁻¹] d/ λ	R _T [m ² .K.W ⁻¹] R+Re	q [W.m ²] ($\theta_{ai}-\theta_{e}$)/R _T	θ_{se} [°C] (-q) . R + θ_{si}
0,080	0,081	0,98765	1,09556	438,1341	67,3
0,100		1,23457	1,34247	357,5502	58,6
0,120		1,48148	1,58938	302,0041	52,6
0,150		1,85185	1,95975	244,9289	46,4
0,200		2,46914	2,57704	186,2605	40,1

Výpočtem jsme zjistili:

Tab. č. 22 - Povrchové teploty 2.ZS ve °C s ohledem na vybraný materiál a tloušťku vrstvy

materiál\tloušťka[m]	0,08	0,10	0,12	0,15	0,20
Multipor	47,5	42,2	38,7	35,1	31,4
PTB300	70,9	61,6	55,2	48,6	41,8
PB: P2-400	77,0	66,7	59,6	52,2	44,6
pěnobeton	82,0	70,9	63,2	55,2	46,9
vermik.bet 1:12,5	67,3	58,6	52,6	46,4	40,1



Obr.č. 28 - Grafické znázornění izolantů 2. zatěžovacího stavu

6.3.3.3. Pro 3. zatěžovací stav

Při 3.ZS uvažujeme jako tepelnou izolaci návrh dvou vrstev. První vrstva bude izolační materiál z minerálních vláken, který bude v přímém kontaktu s povrchem konstrukce vykazující teploty max. 500 °C. Druhá vrstva bude z lehkých betonů. Na vnější straně konstrukce uvažujeme teplotu vzduchu 20 °C.

Okrajové podmínky:

teplota vnitřního vzduchu:	$\theta_i = 500^\circ\text{C}$
teplota vnitřní strany konstrukce:	$\theta_{si} = 500^\circ\text{C}$
teplota vnějšího vzduchu:	$\theta_e = 20^\circ\text{C}$
teplota vnější strany konstrukce:	$\theta_{se} = x^\circ\text{C}$
součinitel přestupu tepla při proudění:	$h_{e2} = 1,98 \cdot \sqrt[4]{\Delta\theta} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
součinitel tepelné vodivosti:	$\lambda \leq 0,1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
tloušťka izolační vrstvy:	$d = 0,10 \div 0,20 \text{ m}$

Rozdělení dle druhu izolantu:

Pro zjednodušené srovnání volíme kombinaci materiálu s nejvýhodnějšími vlastnostmi a kombinaci materiálu s limitními vlastnostmi v závislosti na požadovaných hodnotách.

Dle druhu izolantu v systému volíme varianty:

- Varianta 1: Rockwool WM 80 + Multipor
- Varianta 2: Rockwool WM 80 + pěnobeton
- Varianta 3: Techrock 60 + Multipor
- Varianta 4: Techrock 60 + pěnobeton

Při porovnávání volby izolantu a tloušťky ze zatěžovacích stavů 1 a 2 shledáváme jako ideální tloušťku systému 0,15 m. A to na základě odhadu ideálních povrchových teplot, ideálních objemových hmotností a zatěžování konstrukce systémem.

Výpočtem jsme zjistili:

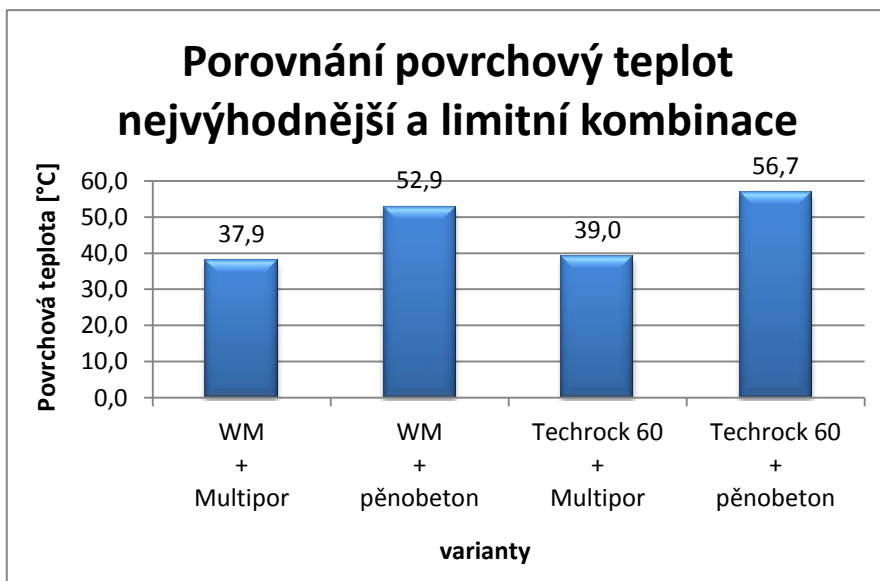
Tab.č. 23 - Výpočet povrchové teploty ve $^\circ\text{C}$ s ohledem na vybranou variantu vrstev pro 3. zatěžovací stav

č. varianty	Materiál	d [m]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	R [m ² .K.W ⁻¹] d/ λ	R _T [m ² .K.W ⁻¹] R ₁ +R ₂ +R _e	q [W.m ²] ($\theta_{ai}-\theta_e$)/R _T	θ_{se} [$^\circ\text{C}$] (-q) . R + θ_{si}
1	WM 80	0,050	0,090	0,55556	2,88568	166,3387	37,9
	Multipor	0,100	0,045	2,22222			
2	WM 80	0,050	0,090	0,55556	1,57255	305,2373	52,9
	pěnobeton	0,100	0,11	0,90909			
3	Techrock 60	0,050	0,127	0,39370	2,72382	176,2229	39,0
	Multipor	0,100	0,045	2,22222			
4	Techrock 60	0,050	0,127	0,39370	1,41069	340,2584	56,7
	pěnobeton	0,100	0,11	0,90909			

Doplňěk: teoretický výpočet teploty na povrchu první vrstvy izolace:

Tab.č. 24 - Teoretický výpočet teploty na povrchu první vrstvy izolace

Materiál	d [m]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	R [m ² .K.W ⁻¹] d/ λ	θ_x [°C] (-q _x) . R _x + θ_{si}
WM 80	0,050	0,090	0,55556	407,5
Techrock 60	0,050	0,127	0,39370	430,5



Obr.č. 29 - Grafické znázornění vybraných variant pro 3.ZS

6.3.3.4. Shrnutí výpočtů

Ve všech zatěžovacích stavech jednoznačně nejnižších výsledných povrchových teplot dosahuje materiál Multipor.

Pro 1. zatěžovací stav, kde teplota na povrchu konstrukce vykazuje 200°C navrhujeme vrstvu Multiporu o tl. 0,12m a pro výstupní teplotu 28,8°C můžeme použít běžnou povrchovou úpravu.

Pro 2. zatěžovací stav, kde teplota na povrchu konstrukce vykazuje 500°C při použití Multiporu o tl. 0,15m., by byla výstupní teplota vrstvy 35,1°C. Pro tohle řešení by bylo vhodné použít povrchovou úpravu, která bude buď teplotně odolnější nebo bude z materiálu, který by výslednou teplotu snížil.

Pro 3. zatěžovací stav, kde teplota na povrchu konstrukce vykazuje 500°C navrhujeme dvě vrstvy izolace o ideální tl. 0,15m. Pro kombinaci vrstev systému volíme minerální vlákna a lehké betony. Nejideálnější variantou se jeví vrstva komerčního materiálu Rockwool WM 80 v kombinaci s Multiporem. Nejnižší povrchové teploty tohoto ZS jsou 38°C, tato možnost tedy vyžaduje odolnější nebo tepelně izolační povrchovou úpravu.

Při výpočtu byl zanedbán vliv teploty na součinitele tepelné vodivosti lehkých betonů, který s rostoucí teplotou stoupá. Pro praktické účely je tedy nutností zjištění této závislosti. Z výpočtů vyplývá, že aby bylo dosaženo povrchových teplot v rozmezí (25 - 35) °C, bylo by potřeba při tloušťce izolačního materiálu (0,10 - 0,15) m zachovat součinitele tepelné vodivosti materiálů $\lambda \leq 0,04 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, a to i s vlivem vyšší teploty působící na materiál. Jelikož lze těchto podmínek stěží dosáhnout, bude potřeba navrhnout lepší a dražší povrchové úpravy nebo do systému přidat další vrstvu izolace, ale s tím i zvětšit tloušťku systému.

7. NÁVRH SKLADBY NOVÉHO TEPELNĚ-IZOLAČNÍHO SYSTÉMU

Vnější tepelně izolační kompozitní systém je ekvivalentem stavebního výrobku a je definován jako sestava součástí. Systém bude složen z těchto součástí:

- tepelně-izolační materiál
- lepicí hmota
- mechanicky připevňovací prostředky
- konečná povrchová úprava

7.1. Volba tepelně izolačního materiálu

Vhodnost skladby systému můžeme rozdělit na konstrukce vykazující povrchové teploty 200°C nebo 500°C. Z předcházejících výpočtů vyplývá:

- **Pro zatěžovací stav 200°C** - Navrhujeme vrstvu Multiporu o tloušťce 0,12 m.
- **Pro zatěžovací stav 500°C** - Navrhujeme vrstvu pouze z Multiporu o tloušťce 0,15 m. Nebo použití dvou vrstev izolace v případech, kdy se bude jednat o tvarově rozmanitější konstrukci. První kontaktní vrstvu bude tvořit komerčně vyráběná izolace na bázi minerálních vláken WM 80 (Techrock 60) a druhou vrstvou bude Multipor o celkové tloušťce souvrství 0,15 m.

7.2. Shrnutí možných variant upevňování systému

Důležitou vlastností každého izolačního systému je i jeho kompaktnost. Na soudržnosti izolačního souvrství je přímo závislá životnost celého systému. Tepelně-izolační systém bude potřeba připevnit ke stávající konstrukci kotle, pece nebo komínu. Předpokladem pro dostatečnou přidrženost izolačního systému je dobrý stav povrchu a jeho soudržnost s podkladem, rozhodující je ovšem i kvalita a způsob kotvení.

7.2.1. Návrh kotvení systému

Je potřeba zvolit vhodné možnosti kotvení. Nás bude zajímat odolnost kotvicích materiálů vůči vyšším teplotám, a zda zvolené kotvicí prvky nenaruší strukturu materiálů nebo konstrukce.

jako možnosti kotvení volíme:

- Hmoždinky, kotvy - kovové
- Lepidla
- Páskování
- Kombinace

Hmoždinky, kotvy - kovové

Hmoždinky představují nejčastěji používané mechanické přípevňovací prostředky. Volíme hmoždinky z kovového materiálu, neboť kov má dostatečnou tepelnou odolnost vůči vyšším teplotám.

Kotvení provádíme pomocí předvrtaného očištěného otvoru v materiálu, do kterého pak vložíme kotvicí prvek a upevníme. Při montáži zvažujeme okrajové a osově vzdálenosti, hloubky vrtů a velikosti jejich průměru.

Jako vhodný materiál doporučujeme použít ocel třídy 11 nebo 12, která je dostupná a cenově výhodná.

Mezi výhody přilnavosti materiálu pomocí kovových hmoždinek můžeme zařadit:

- ukotvení těžších prvků v pevných materiálech

Mezi nevýhody přilnavosti materiálu pomocí kovových hmoždinek můžeme zařadit:

- narušení struktury materiálu nebo konstrukce
- vznik trhlin
- roztažnost kovů
- vyšší součinitel tepelné vodivosti

Vybrané komerčně používané hmoždinky a kotvy

(vhodné pro teploty 200°C i 500°C)

Hmoždinka FISCHER - kovová pro pórobeton FMD

Kovová hmoždinka je z vysoce kvalitní oceli, zinkovaná. Pro bezpečné vedení šroubu je vnitřní geometrie žebrovitá. Vnější ozubení zaručuje vysokou odolnost proti vytažení. Lze použít pro pórobeton (plynobeton). Průměr vrutu činí 6-8 mm a průměr vrtáku 10-12 mm, délku hmoždinky lze u výrobce vyrobit na požadovaný rozměr. [42]



Obr.č. 30 - Hmoždinka FISCHER

Ocelová kotva FISCHER FBN

Svorníková kotva s maticí pro velké zátěže. Nejlépe pro hutné struktury. Průměr vrtané díry 8-16 mm. Připevňovací tloušťka 50-65 mm. Svorníková kotva FBN nabízí díky variabilní užité délce a prodlouženému závitu více možností použití. Při dotahování šestihranné matice se kuželový svorník vtahuje do rozpěrného pásku a ukotví se rozepnutím proti stěně vrtaného otvoru. [43]



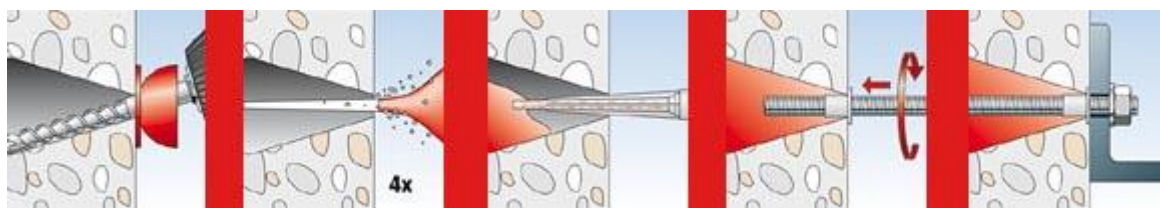
Obr.č. 31 - Ocelová kotva FISCHER FBN

Chemická kotva

Nabízí široké variace kombinace ocelového šroubu s dvousložkovou chemickou maltou. Kotevní šrouby se vyrábí na zakázku pro požadovanou délku šroubu s požadovanou hloubkou kotvení a tloušťkou přípoje. [44]



Aplikace chemické malty do pórobetonu:



Obr.č. 32 - Zobrazení ocelového šroubu a jeho aplikace pro chemickou kotvu

7.2.1.1. Lepidla

Jsou to látky, které nám umožňují přilnutí povrchů pevných látek, a tím dosáhneme pevného spojení materiálů. Náš nově vyvíjený systém bude třeba připevnit na tělesa vykazující teploty až 500°C. Ze zmíněného důvodu budou tedy pro naše účely nejvhodnější lepidla s odolností vůči vysokým teplotám. Dalšími požadavky při výběru vhodného lepidla budou také vzájemná soudržnost použitých materiálů v systému, požadovaná pevnost spoje s ohledem na mechanické namáhání systému, rychlost fixace a těsnost spoje.

Pro kvalitní spojení materiálů bude třeba lepidlo rozetřít po celé ploše povrchu materiálu, který se chystáme k sobě spojit.

Mezi výhody přilnavosti materiálu pomocí lepidel můžeme zařadit:

- snadná montáž
- nenarušení struktury materiálu nebo konstrukce
- estetický vzhled

Mezi nevýhody přilnavosti materiálu pomocí lepidel můžeme zařadit:

- špatná odhadnutelnost porušení lepidla
- životnost lepicího spoje
- demontáž

Vybraná komerčně používaná lepidla s odolností na vyšší teploty

- **Pro teploty s min. odolností 200°C**

Jednosložkové silikonové tmely - LUKOPREN S a UNI

Tmely Lukopren S mají dobrou adhezi k celé řadě materiálů bez spojovacích prostředků, proto se používají k pružnému tmelení a lepení v různých odvětvích. Po vytlačení z obalu zvulkanizují na silikonovou pryž. Silikonové tmely lze použít i při konečné úpravě, vyrábí se v široké paletě barevných odstínů, protože je už nelze dále přetírat jinými nátěrovými hmotami. [45]

Vybrané tmely: LUKOPREN S 9780, LUKOPREN S 9440

Charakteristika:

- tepelná odolnost trvale 250°C
- nízká bobtnavost
- odolnost vůči působení vody, povětrnosti

Vhodný v odvětvích stavebnictví, strojírenství a elektrotechnice.

- **Pro teploty s min. odolností 500°C**

Ceresit CS 38

Je to tmel na anorganické bázi se speciálními zahušťovacími přísadami, který odpařením vody vyschne za vzniku tvrdých spojů bez prasklin a s vysokou teplotní odolností. [46]

Charakteristika:

- Odolává extrémním teplotám až do 1200 °C
- Odolává přímému plameni
- Dobrá přilnavost k většině běžných stavebních materiálů
- Nesmršťuje se
- Neuvolňuje výpary
- Lze jej natírat

Je vhodný pro tyto materiály: Cement, beton, cihly, sklo, železo, ocel, hliník.

H 1000 - Vysokoteplotní keramicko-kovové lepidlo/tmel

H 1000 je vysoce tepelně odolné keramicko-kovové lepidlo/tmel, které se používá k lepení spojů a k opravám na hliníku, litině, oceli a nerez oceli.

Charakteristika:

- Odolává teplotám až do 760 °C
- Účinky H 1000 se zlepšují zvyšující se teplotou
- Je přebarvitelný barvou a lze ho mechanicky opracovávat
- Vytvrzuje při 20°C

Je vhodný pro použití v kosmické technologii a automobilovém, tepelném, elektrárenském, slévárenském a sklářském průmyslu. Typickými aplikačními předměty jsou bojler, vysokoteplotní pece, spalovací prostory, potrubí a jiné. [47]

UNI - FIX 760 - Vysokoteplotní keramicko-kovové lepidlo/tmel

Dvousložkové vysoce teplotně odolné keramicko-kovové lepidlo/tmel. Určené ke spojení, lepení a spárování vysokoteplotně namáhaných dílů.

Charakteristika:

- Odolává teplotám až do 760 °C
- Je přebarvitelný barvou

Je vhodný pro užití na materiály z hliníku, litiny, oceli, nerez oceli. [48]

Grena KLEBEPASTE - lepidlo

Je to univerzální anorganické lepidlo, které při vysokých teplotách neuvolňuje žádné plyny, nebo hořlavé látky. Lepidlo je rozpustné ve vodě. [49]

Charakteristika:

- Odolává teplotám až do 1200 °C

Vhodný pro lepení křbových vložek.

7.2.1.2. Páskování

Obvod systému se pevně zafixuje pomocí vázacích pásků. Spoj pásků může být proveden několika různými způsoby, např. tepelným svářem, frikčním svářem, sponou, průstřihem.

Mezi výhody přilnavosti materiálu pomocí pásků můžeme zařadit:

- nenarušení struktury materiálu nebo konstrukce

Mezi nevýhody přilnavosti materiálu pomocí pásků můžeme zařadit:

- tvárnost pásů

Vybraný komerčně používaný materiál:

Zesílené pásy WAPRO BAND-IT

charakteristika:

- odolnost pásu v tahu až 24900 N (2.490 kg)
- vhodné pro připevňování extrémně těžkých břemen



Obr.č. 33 - Pásy od WAPRO BAND-IT

vhodný materiál:

- **Nerez typ 304**

Velmi kvalitní nerez složený z uhlíku, chromu a niklu. Má výbornou odolnost proti extrémním nepříznivým podmínkám nebo extrémně vysokým teplotám a je velmi dobře tvárný

- **Nerez typ 316**

Velmi kvalitní nerez složený z chromu, niklu a tepelně odolného kovu. Je vhodný do prostředí, které je vystaveno různým koncentrovaným chemikáliím, solím, kyselinám nebo extrémně vysokým teplotám. [50]

7.2.1.3. Kombinace

Kombinací vybraných způsobů lze zajistit lepší soudržnost izolačního souvrství. Z důvodu mechanického poškození vrstvy kotvou, bychom pak zvolili pouze kombinaci lepidla s opáskováním.

7.2.2. Volba kotvení systému

Jako nejméně vhodné kotvení se jeví hmoždinky a kotvy, které přímo zasahují do materiálů. A navíc možný vhodný materiál pro užití této varianty se jeví nevýhodně i pro jeho vlastnost tepelné vodivosti. Zvolíme tedy jednodušší a pro naše účely výhodnější kotvení a to pomocí lepidel nebo kotvení pomocí svařovaných pásů.

Nejpevnější spojení pak vznikne kombinací kotvení lepidly a pásů.

7.3. Konečná povrchová úprava systému

Je posledním aplikačním krokem celého systému. Navrhujeme ji na základě vypočtených povrchových teplot izolačního systému a dále ji můžeme přizpůsobit požadavkům na konkrétní aplikace. Pro naše účely budou použity komerčně vyráběné stěrky na cementové bázi nebo termoizolační stěrky či alternativní materiály.

Uvažujeme 2 možné způsoby povrchových úprav:

- *Tepelně-izolační materiál bude ukotven pomocí páskování a následně bude na jeho povrch aplikován nátěr či stěrka. (Podmínkou je nízká rozpínavost pásů.)*
- *Jako poslední vrstva systému se užije takový materiál, na který již nelze aplikovat stěrku a potřebuje kotvení. A teprve následně bude systém ukotven páskováním.*

Jako vhodná úprava Multiporu se uvádí zpevnění povrchové úpravy perlinkou aplikovanou na prodyšné lepidlo, konečná povrchová úprava je pak úhlednější a systém je zpevněnější, ale i finančně nákladnější.

7.4. Návrh dalších řešení

S rostoucí teplotou izolace rychle roste podíl sálavé složky, což vede k tomu, že tepelně-izolační schopnost, vyjádřená součinitelem tepelné vodivosti, s teplotou znatelně klesá. V předchozích výpočtech byla uvažována pouze alternativa, kdy se součinitel tepelné vodivosti lehkých betonů nemění od požadovaných hodnot. hodnoty pro vláknité materiály byli odvozeny jako průměrné v závislosti na hodnotách tepelné vodivosti uváděné výrobcem. Tedy výsledné výstupní teploty mohou být v praxi podstatně vyšší, proto by bylo vhodné do systému přidat další vrstvu.

Možným řešením by mohla být vrstva na vnější straně systému obsahující:

- hliníkové fólie, plechy, pásy
- termoizolační nátěr
- alternativní (aerogelová izolace, vzduchová mezera, aj.)

Hliníkové fólie, plechy, pásy

Hliníková fólie má charakteristické vlastnosti hliníku, kterými jsou nízká hmotnost, hygienická nezávadnost, chemická stálost na vzduchu a tvárnost. Teplota tavení hliníku je 660°C.

Mezi zástupce komerčně vyráběných výrobků patří:

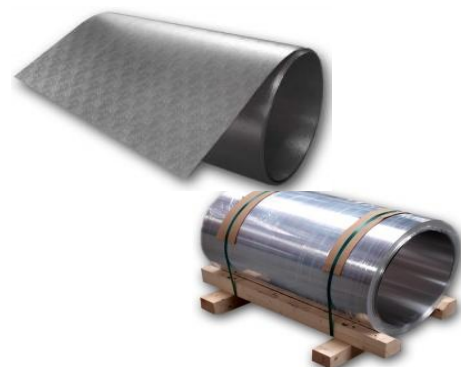
ALUMINIUMSHOP [51]

- Al svitek 0,50 x 1000 mm, přírodní embos

(Jeho chemické složení je Al 99,5%, polotvrdý stav a cena cca 187 Kč za bm (množství do 20 bm)).

- Al svitek 0,60 x 1000 mm, přírodní

(Jeho chemické složení je Al 99,5%, polotvrdý stav a cena od 166 Kč za bm (návinu od 121-190bm)).



Obr.č. 34 - Hliníkové svitky

KERAMET s.r.o. [52]

- Hliníkové plechy a pásy válcované za studena

Efektivních mechanických vlastností hliníkového materiálu je dosaženo kombinací tváření a tepelného zpracování. Dodáváno bez úprav, lakované, embosing.



Obr.č. 35 - Přírodní plechy

Hliníkové fólie mohou do značné míry ovlivnit průběh teplot v systému. Je to však podmíněno volbou vhodné fólie, emisivitou jejího povrchu a umístěním v souvrství systému.

Tepelná izolace Dape - Typ ABA

- Jedná se o bublinkovou fólii opatřenou z obou stran leštěnou hliníkovou fólií. Především se užívá parotěsná tepelná izolace s reflexními účinky. Její velkou nevýhodou je reakce na oheň třídy E (snadno hořlavá). Teplotní odolnost materiálu je až 60°C, ale uvádí se, že při těchto vyšších teplotách se může součinitel tepelné vodivosti zhoršit až o 15%.

Termoizolační nátěr

Zvyšuje tepelnou stabilitu objektu, zamezuje tvorbě plísni a jednoduše se aplikuje.

Mezi zástupce komerčně vyráběných výrobků patří:

TEMP-COAT 101 [53]

Vyrábí se v tekuté formě. Je to průmyslově vyvinutý keramický nátěr na latexové bázi, který výborně působí jako tepelná izolace na potrubích, vodovodech, nádržích, parovodech, chladicích zařízeních, za nízkých i vysokých teplot a taktéž i na stavebních konstrukcích. Nátěr má vynikající přilnavost k povrchům (kovových, betonových, kamenných materiálů) o teplotě od -60 až do 180°C. Cena cca 600 Kč/m².

Vlastnosti: Měrná tepelná kapacita $C_0 = 1,10 \text{ kJ / kg} \cdot ^\circ\text{C}$

Součinitel tepelné vodivosti $\lambda_0 = 0.001 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

Propustnost vodní páry $\mu = 0,02 \text{ mg / m.h.Pa}$

Alternativní materiál

Jako přídatná vrstva izolačního systému by se dala použít stále zkoumaná aerogelová izolace, jejíž náklady na výrobu jsou ale příliš vysoké. Uvádíme ji jen pro srovnání povrchových úprav.

Další možnou úvahou by mohlo být vložení vzduchové mezery a to výrobou atypického prefabrikovaného dílce z Multiporu. A to proto, že součinitel tepelné vodivosti pro suchý vzduch je velice nízký. Pro teploty 200°C je uváděn $\lambda = 0,037 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a pro teploty 500°C je $\lambda = 0,054 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Vzduch patří mezi nejlepší izolanty, pokud je obsažen ve formě drobných pórů, větší

mezery však ve vztahu k tloušťce vyvolávají horší izolační schopnosti. Vzduch jako izolant je výhodný, je-li bráněno proudění vzduchu velkým třením v úzké mezeře, vzduch dále šíří teplo sáláním.

Velký vliv by mohla mít hliníková fólie, ale ta odráží teplo šířící se sáláním (zářením). Její kontaktní užití v systému má význam jen pokud je materiál k němuž přiléhá pro sálání dostatečně prostupný. Teplo šířící se prouděním fólie zastaví. Ale teplo přenášené vedením nikoliv, materiál je totiž výborným vodičem tepla. Problematická je jeho stabilita při vyšších teplotách, v systému by se tedy nejspíše uplatil až jako další vrstva po snížení teploty v systému alespoň na 400°C.

Teoretický přínos přidáných vrstev povrchové úpravy

Tab.č. 25 - Vlastnosti vybraných materiálů povrchových úprav

MATERIÁL	Tloušťka	součinitel tepelné vodivosti	max. teplota použití	cena
	d [m]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	T [°C]	Kč/m ²
Al-fólie (Dape ABA)	0,004	0,0071	60	76
Term. Nátěr (Temp-Coat)	0,001	0,001	180	600
Aerogelová izolace	0,010	0,014	200	840

Tab.č. 26 - Zjištění poklesu teploty po přidání dané vrstvy k Multiporu při podmínkách 200 a 500°C

<i>při $t = 200^{\circ}\text{C}$; na vrstvě Multiporu o tl. 0,10 m s $R=2,2222$ [m².K.W⁻¹]; $\theta_{se}=30,5^{\circ}\text{C}$</i>					
Materiál	R	RT	q	θ_{se}	$\theta_{pov}-\theta_{nov}$
	[m ² .K.W ⁻¹]	[m ² .K.W ⁻¹]	[W.m ²]	[°C]	[°C]
Al-fólie (Dape ABA)	0,56338	2,92347	61,57077	28,5	2,0
Term. Nátěr (Temp-Coat)	1,00000	3,36008	53,57008	27,4	3,1
aerogelová izolace	0,71429	3,07437	58,54857	28,1	2,4
<i>při $t = 500^{\circ}\text{C}$; na vrstvě Multiporu o tl. 0,10 m s $R=2,2222$ [m².K.W⁻¹]; $\theta_{se}=42,2^{\circ}\text{C}$</i>					
Al-fólie (Dape ABA)	0,56338	2,89348	165,89015	37,9	4,3
Term. Nátěr (Temp-Coat)	1,00000	3,33010	144,13978	35,6	6,6
aerogelová izolace	0,71429	3,04439	157,66724	37,0	5,2

Zhodnocení:

Povrchovou teplotu vrstvy Multiporu dále nejlépe snižuje termoizolační nátěr, a to o 3 až 6°C. O něco menších hodnot pak dosahuje aerogelová izolace (2 až 5°C) a Al-fólie Dape ABA (2 až 4°C).

Velkou roli hraje i cena materiálu, proto by nejvhodnější přidaná vrstva mohla být Al-fólie Dape ABA, jejíž nevýhodou je ale parotěsnost.

7.5. Mechanické zatížení konstrukce izolačním systémem

V dnešní době se jako tepelné izolace pro konstrukce zatížené vyšší teplotou používají nejčastěji pěnové sklo a vláknité materiály. Jejich objemové hmotnosti se pohybují do hodnot 165 kg/m^3 . Pro naše účely zvažujeme užití Multiporu nebo kombinaci vrstev Multiporu a vláknitého materiálu. Samotný Multipor se svou objemovou hmotností 115 kg/m^3 je roven doposud užívaným tepelným izolacím a tedy i vyhovuje stávajícím požadavkům zatěžování konstrukcí. Při přidání vrstvy vláknitého materiálu nepřesáhneme hodnoty 200 kg/m^3 .

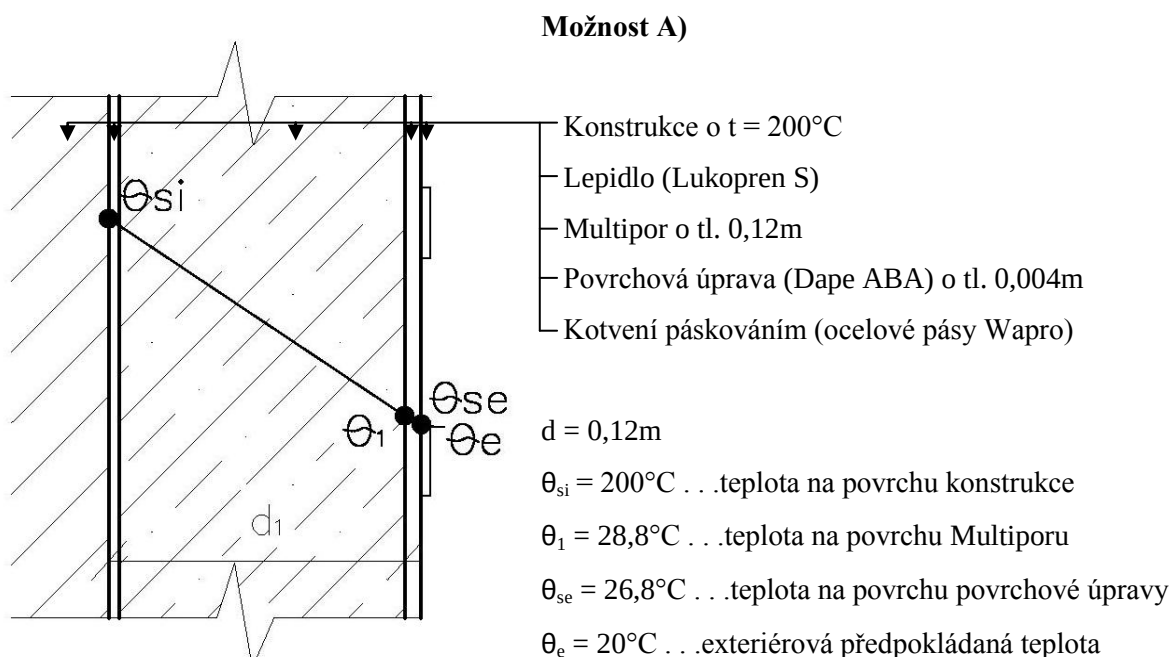
8. VYHODNOCENÍ

Možnosti skladby nového systému

Shrnutí a grafické znázornění vrstev vyvíjeného zateplovacího systému dle předchozích úvah.

Pozn.: Přitom zanedbáváme snížení teplot ve vrstvách lepidla, z důvodu nevýrazných změn hodnot.

- Pro zatěžovací stav 200°C

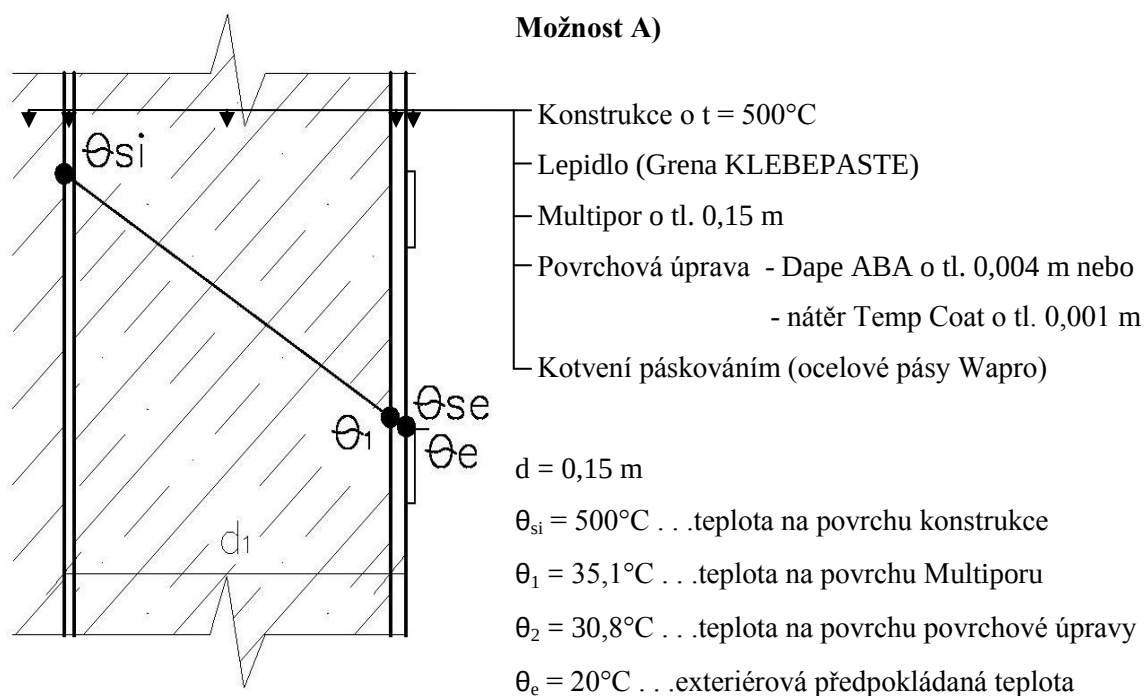


Obr.č. 36 - Skladba nového systému pro
ZS 200°C

Návrh jedné vrstvy izolace Multiporu o tl. $0,12\text{m}$ a povrchové úpravy. Kotvení bude na lepidlo a páskování. Protože jsme zanedbali vliv teploty na součinitele tepelné vodivosti v Multiporu, je zde možnost růstu povrchové teploty systému až o 10°C .

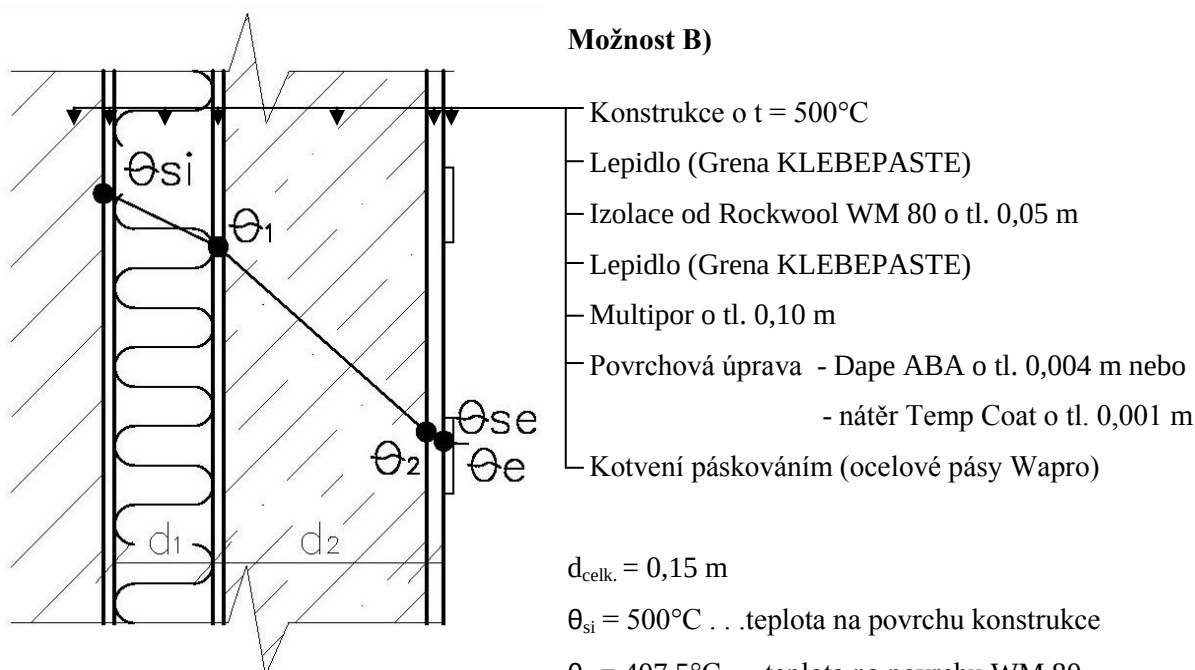
Možnou změnou může být povrchová úprava, kdy Multipor ukotvíme pásy a teprve pak nanese na systém stěrku.

• Pro zatěžovací stav 500°C



Obr.č. 37 - Skladba nového systému pro ZS 500°C (A)

Návrh jedné vrstvy izolace Multiporu o tl. 0,15m a povrchové úpravy. Kotvení bude na lepidlo a páskování. Protože jsme zanedbali vliv teploty na součinitele tepelné vodivosti v Multiporu, je zde možnost růstu povrchové teploty systému až o 20°C. Teplota by pak stoupla na nežádoucí hodnotu. Byla by pak potřeba zvolit dražší způsob povrchové úpravy aby nám povrchová teplota poklesla na únosnou.



Obr.č. 38 - Skladba nového systému pro ZS 500°C (B)

$\theta_3 = 33,6^\circ\text{C}$. . .teplota na povrchu povrchové úpravy

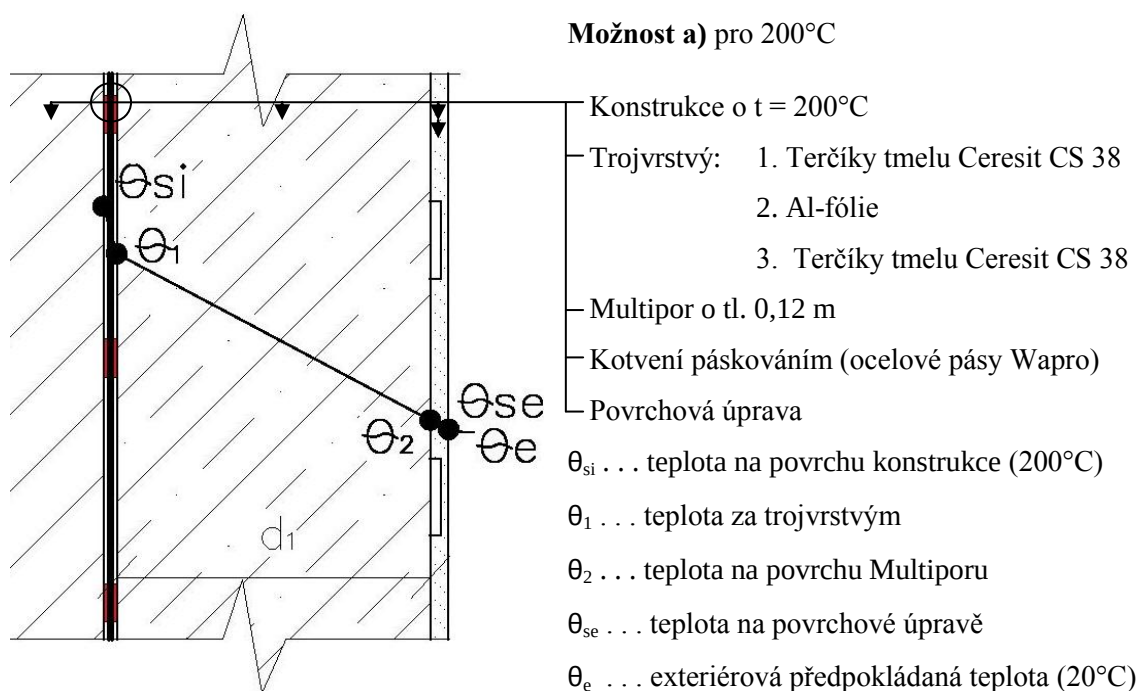
$\theta_e = 20^\circ\text{C}$. . .exteriérová předpokládaná teplota

Návrh dvou vrstev izolace a povrchové úpravy. Nejprve osadíme izolaci od Rockwoolu a na ni Multipor, který na měkčí strukturu vrstvy krásně dosedne. Kotvení bude na lepidlo a páskování. Protože jsme zanedbali vliv teploty na součinitele tepelné vodivosti v Multiporu, je zde možnost růstu povrchové teploty systému až o 20°C . Teplota by pak stoupla na nežádoucí hodnotu. Byla by pak potřeba zvolit dražší způsob povrchové úpravy aby nám povrchová teplota poklesla na únosnou.

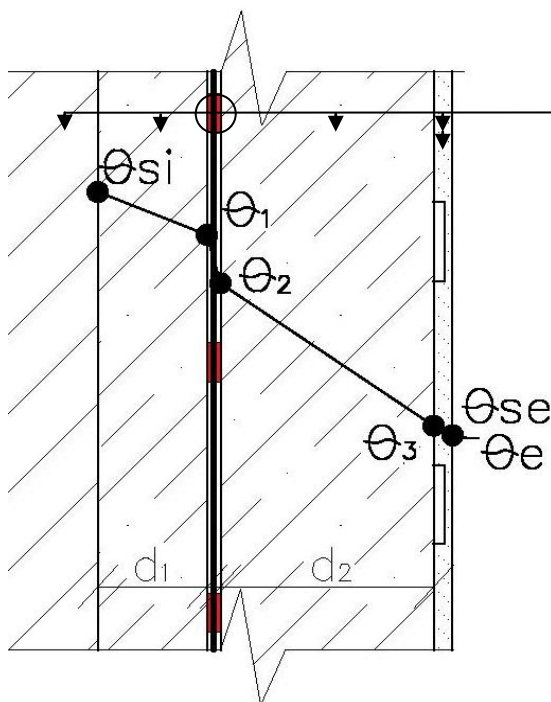
- **Doplňující řešení**

Z předešlých výpočtů je zřejmé, že podmínkou pro užití Multiporu je nutnost zjistit závislost vlivu vyšší teploty na součinitele tepelné vodivosti materiálu. A proto je v našich navrhovaných řešeních možnost teplotního vzrůstu na povrchu systému. Řešením by pak mohli být dražší povrchové úpravy nebo přidání vrstvy alternativního materiálu.

Jak již bylo zmíněno příznivý vliv by mohla mít Al-fólie, která odráží teplo šířící se zářením, nepropouští teplo prouděním, ale je výborný přenašeč tepla vedením. Jako tepelná izolace je tedy podmíněna umístěním v systému, emisivitou povrchu a jeho stabilitou při vyšších teplotách. Podaří-li se nám pomocí lepidla nebo lepící stěrky vytvořit úzké vzduchové mezery okolo Al-fólie, abychom co nejvíce omezili přenos tepla vedením, systém by pak mohl vypadat následovně:



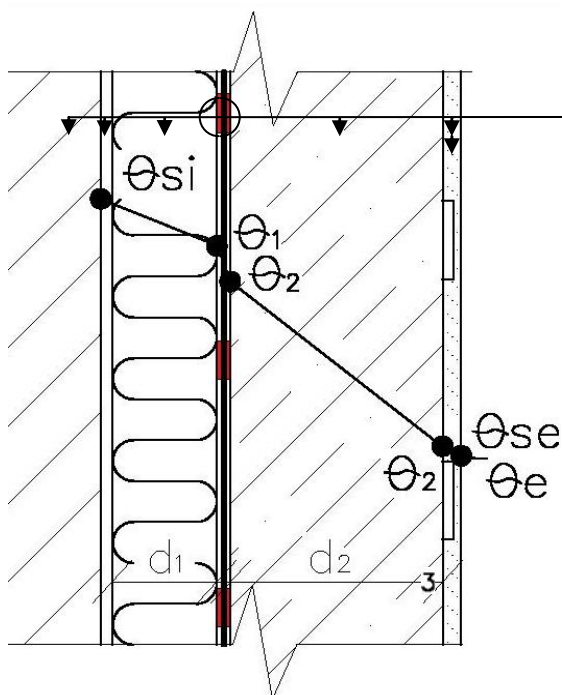
Obr.č. 39 - Skladba nového systému s vložením Al-fólie pro ZS 200°C (a)



Obr.č. 40 - Skladba nového systému s vložením Al-fólie pro ZS 500°C (b)

Možnost b) pro 500°C

- Konstrukce o $t = 500^{\circ}\text{C}$
- Multipor o tl. 0,05 m
- Trojvrstvý:
 1. Terčíky tmelu Ceresit CS 38
 2. Al-fólie
 3. Terčíky tmelu Ceresit CS 38
- Multipor o tl. 0,08 m
- Kotvení páskováním (ocelové pásy Wapro)
- Povrchová úprava
- θ_{si} ... teplota na povrchu konstrukce (500°C)
- θ_1 ... teplota na povrchu Multiporu ($< 400^{\circ}\text{C}$)
- θ_2 ... teplota za trojvrstvým
- θ_3 ... teplota na povrchu Multiporu
- θ_{se} ... teplota na povrchové úpravě
- θ_e ... exteriérová předpokládaná teplota (20°C)



Obr.č. 41 - Skladba nového systému s vložením Al-fólie pro ZS 500°C (c)

Možnost c) pro 500°C

- Konstrukce o $t = 500^{\circ}\text{C}$
- Lepidlo (Grena KLEBEPASTE)
- Izolace od Rockwool WM 80 o tl. 0,05 m
- Trojvrstvý:
 1. Terčíky tmelu Ceresit CS 38
 2. Al-fólie
 3. Terčíky tmelu Ceresit CS 38
- Multipor o tl. 0,08 m
- Kotvení páskováním (ocelové pásy Wapro)
- Povrchová úprava
- θ_{si} ... teplota na povrchu konstrukce (500°C)
- θ_1 ... teplota na povrchu vláknité izolace ($< 400^{\circ}\text{C}$)
- θ_2 ... teplota za trojvrstvým
- θ_3 ... teplota na povrchu Multiporu
- θ_{se} ... teplota na povrchové úpravě
- θ_e ... exteriérová předpokládaná teplota (20°C)

9. ZÁVĚR

Hlavním úkolem této bakalářské práce bylo navrhnout různé varianty skladeb tepelně izolačního systému, který by měl odolávat teplotám 200°C (komíny) a 500°C (kotle, pece). Skladba by měla být založená na využití prefabrikovaných dílců z lehkých betonů a doplněna různými variantami kotvení a popřípadě finální povrchovou úpravou.

V teoretické části jsme se zabývali především charakterizací vybraných průmyslově vyráběných materiálů s izolačními vlastnostmi. Vývoj stavebního průmyslu jde rychle kupředu a výzkumy neustále zdokonalují vlastnosti a odolnost materiálů. Byly vybrány a stručně popsány vhodné zástupci lehkých betonů a vybraná používaná kameniva s vyšší tepelnou odolností. Dále jsme se zabývali popisem komerčně vyráběných zastupitelů lehkých izolačních materiálů, jako jsou vláknité izolace a pěněné silikáty. Dalším krokem v této části bylo stanovit výčet vlastností materiálů a navrhnout vhodné vlastnosti nového tepelně izolačního systému, který má bránit úniku tepla z konstrukcí vykazující vyšší teploty. Použitým materiálem v systému měly být prefabrikované dílce, které je možné vyrábět několika různými technologiemi.

V praktické části jsme nejdříve pomocí optimalizačního výpočtu stanovili vhodnost vybraných používaných materiálů na základě zvolených kritérií. Podle výsledků pak byla vybrána část materiálů, které jsme uvažovali jako součást nového tepelně izolačního systému. Ten bude namáhán konstrukcí především na tepelný šok a mechanickou zátěž při kotvení izolace. Abychom tedy zjistili vhodnost a odolnost je nutné provádět materiálové zkoušky. Kontrolovány budou vlastnosti vstupních surovin, které bývají udávány výrobcem a dodavateli. Zmiňujeme mezioperační zkoušky prováděné v průběhu procesu výroby prvků. A v neposlední řadě vyzkoušet hotové výrobky a jejich spolupůsobení v navrhovaném systému.

Důležitým bodem práce bylo navrhnout skladby systému a zjistit tepelné prostupy konstrukcí v navržené skladbě. Byly stanoveny stěžejní parametry teplotní odolnosti materiálu ($t_{\min} = 500^{\circ}\text{C}$) a jeho součinitel teplotní vodivosti ($\lambda_{\max} = 0,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). Byly navrženy tři různé varianty tepelně-izolačního systému pro tři zatěžovací stavy, včetně vhodné tloušťky a užitých materiálů, které byly výstupem optimalizačního výpočtu. Na základě teoretického výpočtu byly zjištěny výstupní povrchové teploty v závislosti na zvoleném zatěžovacím stavu a na materiálu, z kterého by prefabrikovaný dílec měl být. Jako vhodné materiály pro výpočet byly zvoleny Multipor, perlitbeton, pórobeton, pěnobeton, vermikulitbeton a komerčně vyráběná minerální vlákna s vysokou teplotní odolností. Nejnižších výsledných povrchových teplot v systému dosahoval materiál Multipor. Při výpočtu byl zanedbán vliv teploty na součinitele tepelné vodivosti lehkých betonů, který s rostoucí teplotou stoupá. Pro praktické účely je tedy nutností zjištění této závislosti. Z výpočtů vyplývá, že

pokud bychom chtěli dosáhnout ideálních povrchových teplot (25 - 35°C), bylo by potřeba při tloušťce 0,10 - 0,15 m zachovat součinitele tepelné vodivosti materiálů $\lambda \leq 0,04 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, a to i s vlivem vyšší teploty působící na materiál. Jelikož lze těchto podmínek stěží dosáhnout, bude potřeba navrhnout lepší a dražší povrchové úpravy nebo do systému přidat další vrstvu izolace, ale s tím i zvětšit tloušťku systému. Pokud by tedy skutečné povrchové teploty systému přesahovali 35°C, použijeme na systém termoizolační stěrku nebo Al-fólii Dabe ABA, pokud by skutečné povrchové teploty systému přesáhli 50°C, do systému přidáme další tepelně izolační vrstvu. Možným řešením se jeví vložení Al-fólie. Jako kotvení systému jsme zvolili lepidla a opásání nerezovými pásy.

Přínosem této práce je posuzování vhodnosti prefabrikovaných dílců z lehkých betonů pro tepelně izolační systém a návrh možných skladeb nového tepelně izolačního systému.

10. Použitá literatura

- [1] DROCHYTKA R., MATULOVÁ P., *Lehké stavební látky*, Modul M01, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2006
- [2] DROCHYTKA R., *Lehké stavební látky*, vydání první, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 1993, ISBN 80-214-0514-7
- [3] MATOUŠEK M., *Lehké stavební látky II*, vydání druhé, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 1979, 55-650-79
- [4] <http://www.pozemni-stavitelstvi.wz.cz/>
- [5] <http://www.geopolymery.eu/>
- [6] <http://www.stavebnitechnologie.cz/>
- [7] <http://www.liapor.cz/cz/>
- [8] <http://www.liaporbeton.cz/>
- [9] <http://www.grena.cz/>
- [10] <http://www.perlit.cz/>
- [11] <http://www.ekostyren.cz/>
- [12] <http://www.hplush.cz/>
- [13] <http://www.zatepleni-fasad.eu/>
- [14] <http://www.ytong.cz/>
- [15] <http://www.mpo-efekt.cz/>
- [16] <http://www.nazeleno.cz/>
- [17] <http://www.tepelna-izolace.cz/>
- [18] <http://cs.wikipedia.org/>
- [19] <http://www.ekoporadna.cz/>
- [20] <http://www.anhydritovepodlahy.eu/>
- [21] <http://istavitel.cz/>
- [22] <http://www.foamglas.cz/>
- [23] <http://www.penove-sklo.eu/>
- [24] <http://www.keramzit.cz/>
- [25] <http://www.promatpraha.cz/>
- [26] <http://www.fce.vutbr.cz/>
- [27] <http://www.perlitpraha.cz/>
- [28] <http://www.perlit.cz/>
- [29] <http://www.lbminerals.sk/>
- [30] <http://www.bachl.cz/>
- [31] <http://encyklopedie.vseved.cz/>

- [32] ŠŤASTNÍK, S., *Fyzika stavebních látek*, Modul M01, Fyzikální vlastnosti stavebních materiálů a konstrukcí, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2006
- [33] <http://fyzweb.cz/>
- [34] <http://cs.wikipedia.org/>
- [35] <http://artemis.osu.cz:8080/>
- [36] <http://www.azizolace.cz/>
- [37] <http://www.isover.cz/>
- [38] <http://www.rockwool.cz/>
- [39] <http://www.penove-sklo.eu/>
- [40] <http://www.foamglas.cz/>
- [41] <http://istavitel.cz/>
- [42] <http://www.ha-ve.cz>
- [43] <http://www.fischer-cz.cz>
- [44] <http://www.chemicke-kotvy.cz>
- [45] <http://www.vkloziska.cz>
- [46] <http://www.ceresit.cz/>
- [47] <http://www.hfmarket.cz/>
- [48] <http://www.tersil.cz/>
- [49] <http://www.grenaisol.cz>
- [50] <http://www.wapro.cz>
- [51] <http://www.aluminiumshop.cz>
- [52] <http://www.keramet.cz>
- [53] <http://www.unionbc.cz> (<http://www.tempcoat.com>)
- [54] KUPILÍK, V.: *Termodynamika*, Praha 1987, 162 str., skl. č. 738, 54-005-87, TS 03/05

Seznam obrázků

Obr.č. 42 - Metodika práce

Obr.č. 43 - Schéma variant vybraných vhodných izolačních materiálů

Obr.č. 44 - Struktura hutného mezerovitého betonu

Obr.č. 45 - Struktura mezerovitého lehkého betonu - přirozeně mezerovitá struktura

Obr.č. 46 - Struktura mezerovitého lehkého betonu - napěněná struktura

Obr.č. 47 - Struktura popílkového betonu

Obr.č. 48 - Keramzitbeton a jeho struktura

Obr.č. 49 - Deska z vermikulitu

Obr.č. 50 - Vzorek perlitbetonu

Obr.č. 51 - Vzorek pěnobetonu

Obr.č. 52 - Tvarovka Multiporu
Obr.č. 53 - Minerální vlna
Obr.č. 54 - Skelná vata
Obr.č. 55 - Pěnové sklo
Obr.č. 56 - Kuličky keramzitu
Obr.č. 57 - Expandovaný vermikulit
Obr.č. 58 - Expandovaný perlit
Obr.č. 59 - Popílkový agloporit (f:8-16mm)
Obr.č. 60 - Zjednodušené schéma technologie výroby klasického betonu
Obr.č. 61 - Zjednodušené schéma technologie výroby pórobetonu
Obr.č. 62 - Zjednodušené schéma technologie výroby pěnobetonu
Obr.č. 63 - Grafické znázornění vyhodnocení optimalizačního výpočtu
Obr.č. 64 - Grafické znázornění výhledově prováděných zkoušek
Obr.č. 65 - 1. Zatěžovací stav
Obr.č. 66 - 2. Zatěžovací stav
Obr.č. 67 - 3. Zatěžovací stav
Obr.č. 68 - Grafické znázornění izolantů 1. zatěžovacího stavu
Obr.č. 69 - Grafické znázornění izolantů 2. zatěžovacího stavu
Obr.č. 70 - Grafické znázornění vybraných variant pro 3.ZS
Obr.č. 71 - Hmoždinka FISCHER
Obr.č. 72 - Ocelová kotva FISCHER FBN
Obr.č. 73 - Zobrazení ocelového šroubu a jeho aplikace pro chemickou kotvu
Obr.č. 74 - Pásky od WAPRO BAND-IT
Obr.č. 75 - Hliníkové svitky
Obr.č. 76 - Přírodní plechy
Obr.č. 77 - Skladba nového systému pro ZS 200°C
Obr.č. 78 - Skladba nového systému pro ZS 500°C (A)
Obr.č. 79 - Skladba nového systému pro ZS 500°C (B)
Obr.č. 80 - Skladba nového systému s vložením Al-fólie pro ZS 200°C (a)
Obr.č. 81 - Skladba nového systému s vložením Al-fólie pro ZS 500°C (b)
Obr.č. 82 - Skladba nového systému s vložením Al-fólie pro ZS 500°C (c)

Seznam tabulek

Tab. č. 11 - Vlastnosti vybraných lehkých betonů
Tab. č. 12 - Vlastnosti vybraných komerčních minerálních materiálů
Tab. č. 13 - Vlastnosti vybraných používaných kameniv

Tab. č. 14 - Požadované vlastnosti nového izolačního systému

Tab. č. 15 - Označení použitých materiálů

Tab. č. 16 - Označení rozhodujících kritérií

Tab. č. 17 - Metoda kvantitativního párového srovnání kritérií

Tab. č. 18 - Rozhodovací matice optimalizačního výpočtu

Tab. č. 19 - Výpočtová matice optimalizačního výpočtu

Tab. č. 20 - Vyhodnocení optimalizačního výpočtu

Tab. č. 21 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 1. zatěžovacího stavu při užití materiálu Multipor

Tab. č. 12 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 1. zatěžovacího stavu při užití Perlitbetonu

Tab. č. 13 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 1. zatěžovacího stavu při užití Pórobetonu

Tab. č. 14 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 1. zatěžovacího stavu při užití Pěnobetonu

Tab. č. 15 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 1. zatěžovacího stavu při užití Vermikulitbetonu

Tab. č. 16 - Povrchové teploty 1.ZS ve °C s ohledem na vybraný materiál a tloušťku vrstvy

Tab. č. 17 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 2. zatěžovacího stavu při užití materiálu Multipor

Tab. č. 18 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 2. zatěžovacího stavu při užití Perlitbetonu

Tab. č. 19 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 2. zatěžovacího stavu při užití Pórobetonu

Tab. č. 20 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 2. zatěžovacího stavu při užití Pěnobetonu

Tab. č. 21 - Výpočet pro zjištění povrchových teplot 2. zatěžovacího stavu při užití Vermikulitbetonu

Tab. č. 22 - Povrchové teploty 2.ZS ve °C s ohledem na vybraný materiál a tloušťku vrstvy

Tab. č. 23 - Výpočet povrchové teploty ve °C s ohledem na vybranou variantu vrstev pro 3. zatěžovací stav

Tab. č. 24 - Teoretický výpočet teploty na povrchu první vrstvy izolace

Tab. č. 25 - Vlastnosti vybraných materiálů povrchových úprav

Tab. č. 26 - Zjištění poklesu teploty po přidání dané vrstvy k Multiporu při podmínkách 200 a 500°C

11. Přílohy

Technické informace - Multipor

Technické informace o výrobku Ytong Multipor	
Označení produktu	Ytong Multipor minerální izolační deska Evropská technická registrace ETA-05/0093 Všeobecná stavební registrace Z-23.11-1501
Popis produktu	Masivní minerální, monolitický, tepelněizolační materiál z kalciumpřírodního hydrátu, vápence, písku, cementu, vody a přísady na tvorbu pórů (poréznost > 95 % objemových)
Oblasti použití	Tepelněizolační podhledy na stropy podzemních garáží, sklepů, přejezdů a podjezdů Tepelná izolace pro odvětrávané střechy Tepelněizolační systém pro obvodové konstrukce
Rozměry	600 x 390 mm tloušťka = 50/60/80/100/120/140/160/180/200 mm zvláštní formáty na vyžádání
Tolerance	±2 mm
Hrubá objemová hmotnost	cca 115 kg/m ³
Tepelná vodivost	$\lambda = 0,045 \text{ W/(m.K)}$
Schopnost difuze	difúzně otevřený materiál, faktor difúzního odporu $\mu = 3$
Odolnost vůči tlaku	průměrně $\geq 0,350 \text{ MPa}$
Odolnost vůči tahu	$\geq 0,080 \text{ MPa}$
Deformace	$\leq 1 \text{ mm}$ při 1000 N bodovém zatížení
Absorbce vody	Při krátkodobém namočení podle EN 1609 $W_p = 2,0 \text{ kg/m}^2$ Při dlouhodobém namočení podle EN 12087 $W_{LP} = 3,0 \text{ kg/m}^2$
Sorpční vlhkost	$\leq 6 \%$ hmotnostních při 23 °C a 80 % relativní vlhkosti vzduchu
Ostatní	Stavebně-biologická a mikrobiologická nezávadnost, blokovácí účinek na houby a mikroorganismy, stavební produkt nepoškozující životní prostředí podle AUB - Certifikát-AUB-XEL-10106-D, plně recyklovatelný

Technické informace - Rockwool WM 80

TECHNICKÉ IZOLACE

TECHNICKÝ LIST

WM 80, WM 80 ALU, WM 105

TEPELNĚ IZOLAČNÍ ROHOŽ NA DRÁTĚNÉM PLETIVU

• POPIS VÝROBKU

Rohože z kamenné vlny pojené organickou pryskyřicí, s jednostranně našitým drátěným (ocelovým, pozinkovaným) pletivem. Na přání je možno dodat pletivo v nerezovém provedení. Rohož WM 80 ALU má navíc pod pletivem našitu čistou hliníkovou fólii (ALU).

• OBLAST POUŽITÍ

Rohože WM jsou určeny pro tepelnou, zvukovou a protipožární izolaci trubních vedení, zásobníků, kotlů, průmyslových zařízení, klimatizace a pro protipožární izolace systému PYROROCK kruhového vzduchotechnického potrubí.

• VLASTNOSTI KAMENNÉ VLNY ROCKWOOL

Tepelně izolační schopnosti. Nehořlavost – ochrana proti šíření plamene a požáru. Zvuková pohltivost. Paropropustnost. Rozměrová stálost.

• BALENÍ

Rohože řady WM se dodávají v rolích zabalených do smršťitelné PE fólie, a to ve standardních délkách, popřípadě délkách sjednaných se zákazníkem. Hmotnost jedné role nepřesahuje 20 kg.

ROCKWOOL je zapojen do systému sdruženého plnění povinností zpětného odběru a využití odpadů z obalů „Systém tříděného sběru v obcích EKO-KOM“.

ROZMĚRY, VÝROBNÍ SORTIMENT A BALENÍ

Tloušťka Síťka	(mm)	40	50	60	80	100	120
	(mm)				1000		
WM 80	m ² / role	5	4	3	2,5	2	2
WM 80 ALU	m ² / role	5	4	3	2,5	2	2
WM 105	m ² / role	5	4	3	2,5	2	2

Nestandardní a v tabulce neuvedené rozměry výrobků po dohodě s ROCKWOOL, a. s.

TECHNICKÉ PARAMETRY

Vlastnost	Označení	Hodnota								Jednotka	Norma	
Třída reakce na oheň	—	A1								—	ČSN EN 13501-1	
Závislost tepelné vodivosti λ_m na středové teplotě t_m	teplota	t_m	50	100	150	200	250	300	350	°C	DIN 52612	
	WM 80 (ALU)	λ_m	0,039	0,044	0,050	0,056	0,070	0,083	0,100	W.m ⁻¹ .K ⁻¹		
	WM 105		0,038	0,042	0,049	0,058	0,068	0,080	0,096			
Střední objemová hmotnost	WM 80 (ALU)	ρ_s	80								kg.m ⁻³	ČSN EN 1002
	WM 105		105									
Maximální provozní teplota	WM 80 (ALU)	-	max. 700**								°C	prEN 14706
	WM 105	-	max. 750									
Měrná tepelná kapacita		c_p	840								J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	ČSN 73 0540
Bod tání		t_f	> 1000								°C	DIN 4102
Certifikát	070-022180						TZUS-Praha, Autorizovaná osoba č.204					
Systém řízení jakosti	ISO 9001:2008 – certifikát č.FM 00531						The British Standards Institution (BSI), Londýn					
Systém péče o životní prostředí	ISO 14001:2004 – certifikát č. 0000352						Bureau Veritas Quality International CS (BVQI), s.r.o. Praha					

* Orientační hodnoty λ_m stanoveny výpočtem

** Teplota na vnější straně (na pozinkovaném pletivu) max. +370 °C. Nejvyšší teplota na straně hliníkové fólie nesmí přesáhnout +100 °C.

Informace obsažené v tomto technickém listě vypovídají o vlastnostech výrobků platných v době vydání. Vzhledem k neustálému vývoji materiálů může docházet ke změnám jejich vlastností. Pro aktuální informace kontaktujte obchodní zástupce.

Technické informace - Techrock 60

Rockwool Technical Insulation
ProRox - Industrial insulation

**NOVÝ
NÁZEV**

Starý název: Techrock 60

Popis výrobku

ProRox SL 930^{cz} jsou polotuhé desky z kamenné vlny. Standardní rozměr: 1000x600 mm v balících.

Použití

Desky ProRox SL 930⁰² jsou určeny pro tepelnou a akustickou izolaci vodorovných a svislých prvků, kde se vyžaduje stabilní izolační výrobek, například: stěny nádrže, akustické panely, s maximální provozní teplotou do 560°C. Jsou vhodné na rovné a mírně zakřivené stěny.

Technické parametry

	Vlastnosti výrobku											Norma
Součinitel tepelné vodivosti	T (°C)	50	100	150	200	250	300	350	400	500	560	EN 12667
	λ (W/mK)	0,042	0,049	0,059	0,070	0,085	0,103	0,122	0,147	0,203	0,244	
Maximální provozní teplota	560 °C											EN 14706
Třída reakce na oheň	Euroclass A1											EN 13501-1
Jmenovitá objemová hmotnost	60 kg/m³											EN 1602
Absorpce vody	< 1 kg/m²											EN 1609
Faktor difúzního odporu	μ = 1											EN 14303
Odpor při proudění vzduchu	> 15 kPa.s/m²											EN 29053
Kód výrobku	MW EN 14303-T4-ST(+)-560-WS1											EN 14303