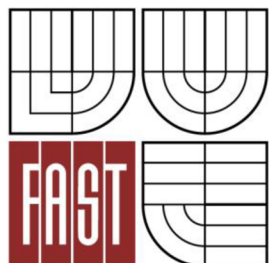




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

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

MOŽNOSTI VYUŽITÍ PUR PĚN PRO VÝSTAVBU ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ S INTEGROVANOU TEPELNOU IZOLACÍ

POSSIBILITIES OF UTILIZATION OF PUR-FOAMS FOR MASONRY STRUCTURES WITH
INTEGRATED THERMAL INSULATION CONSTRUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN KALINA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.

BRNO 2014



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 | Jan Kalina |
| Název | Možnosti využití PUR pěn pro výstavbu zděných konstrukcí s integrovanou tepelnou izolací |
| Vedoucí bakalářské práce | Ing. Jiří Zach, Ph.D. |
| Datum zadání bakalářské práce | 30. 11. 2013 |
| Datum odevzdání bakalářské práce | 30. 5. 2014 |

V Brně dne 30. 11. 2013

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

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

Podklady a literatura

- [1] Pytlík, P.: Cihlářství. - VUT Brno, CERM, s.r.o. Brno, 1995
- [2] Pytlík, P, Vlastnosti a užití stavebních výrobků, VUTIUM, Brno 1998
- [3] Matoušek, M., Lehké stavební látky II, SNTL, Praha 1985
- [4] Šťastník, S., Zach, J., Stavební akustika a zvukoizolační materiály, CERM, Brno 2002
- [5] Šťastník, S., Zach, J., Zkoušení izolačních materiálů, CERM, Brno 2002

Zásady pro vypracování

Cílem práce bude návrh technologie výstavby zděných konstrukcí pomocí PUR pěny, která bude představovat zároveň integrovanou tepelnou izolaci. Jedná se o provedení rešerše v oblasti montážních PUR pěn na trhu v ČR z pohledu ceny, a také výsledných vlastností. Na základě rešerše budou vybrány vhodné typy pěn, na kterých bude provedeno laboratorní stanovení klíčových vlastností (tepelně izolační, mechanické vlastnosti) a bude navržena technologie jednoduché výstavby zděné konstrukce pomocí vybrané PUR pěny a keramických zdicích prvků s vysokým podílem velkoobjemového děrování.

Předepsané přílohy

.....

Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se věnuje problematice PUR pěn pro výstavbu zděných konstrukcí s integrovanou tepelně izolační vrstvou. Hlavní důraz je v práci zaměřen na využití jednokomponentních PUR pěn pro vyplňování velkoobjemových dutin keramických zdících tvarovek.

V praktické části bakalářské práce je dále popsána výroba zkušebních vzorků vybraných PUR pěn a zkoušky, které byly na vzorcích provedeny. Cílem bylo vybrat PUR pěnu, která se nejlépe hodí jako integrovaná tepelná izolace do zděných konstrukcí.

V závěru práce je vyhodnocení zkoušek, porovnání výsledků zkoušek. A doporučení vhodné PUR pěny.

Klíčová slova

PUR pěna, zdící prvek, integrovaná tepelná izolace.

Abstract

The bachelor thesis deals with the issue of PUR foams for the construction of masonry structures with integrated thermal insulation layer. The main emphasis of the work focuses on the use of the one-component PUR foam for filling high-volume bulk ceramic masonry blocks.

In the practical part of the bachelor thesis there is further described manufacture of test specimens of selected PUR foams and tests that were performed on samples. The aim of the bachelor thesis was selecting of PUR foam that is the best suited as an integrated thermal insulation in masonry structures.

In conclusion there is the evaluation of tests, the comparison of test results and the recommendation of appropriate PUR foam.

Keywords

PUR foam, masonry element, integrated thermal insulation.

Bibliografická citace VŠKP

KALINA, Jan. *Možnosti využití PUR pěn pro výstavbu zděných konstrukcí s integrovanou tepelnou izolací*. Brno, 2014. XX s., YY s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Jiří Zach, Ph.D.

Prohlášení:

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

V Brně dne 2.5.2014

.....
podpis autora
Jan Kalina

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP

Prohlášení:

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

V Brně dne 2.5.2014

.....
podpis autora
Jan Kalina

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jiřímu Zachovi, Ph.D., za vedení, poskytnuté rady a věnovaný čas při zpracování.

Obsah

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | ÚVOD | 11 |
| 2 | TEORETICKÁ ČÁST | 12 |
| 2.1 | Izolační materiály | 12 |
| 2.2 | Požadavky na tepelnou ochranu budov | 13 |
| 2.2.1 | Šíření tepla konstrukcí | 13 |
| 2.2.1.1 | Nejnižší povrchová teplota | 13 |
| 2.2.1.2 | Součinitel prostupu tepla | 15 |
| 2.3 | Polyuretanová (PUR) pěna | 15 |
| 2.3.1 | Historie | 15 |
| 2.3.2 | Výroba | 16 |
| 2.3.3 | Měkký lehčený polyuretan | 17 |
| 2.3.4 | Tvrký lehčený polyuretan | 18 |
| 2.3.5 | PIR pěna | 19 |
| 2.3.6 | Termoplastické polyuretany | 19 |
| 2.3.7 | Trubičkové PUR pěny | 19 |
| 2.3.8 | Využití PUR pěn | 20 |
| 2.4 | Zděné konstrukce | 20 |
| 2.4.1 | Dělení zdících prvků | 21 |
| 2.4.1.1 | Pálené zdící | 21 |
| 2.4.1.2 | Vápenopískové zdící prvky | 24 |
| 2.4.1.3 | Betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem | 24 |
| 2.4.1.4 | Pórobetonové tvárnice | 25 |
| 2.4.1.5 | Zdící prvky z umělého kamene | 26 |
| 2.4.1.6 | Zdící prvky z přírodního kamene | 26 |
| 2.5 | Zdící prvky s integrovanou tepelnou izolací | 26 |
| 2.6 | Zdící prvky v kombinaci s PUR pěnou | 30 |
| 2.6.1 | Zdění na PUR pěnu | 30 |
| 2.6.2 | Injektáž PUR pěny do zděné konstrukce | 31 |
| 3 | PRAKTICKÁ ČÁST | 32 |
| 3.1 | Metodika řešení | 32 |
| 3.2 | Prováděné zkoušky a měření | 32 |
| 3.3 | Postup zkoušek a měření | 33 |
| 3.3.1 | Stanovení tloušťky | 33 |
| 3.3.2 | Stanovení lineárních rozměrů | 33 |
| 3.3.3 | Stanovení objemové hmotnosti | 33 |
| 3.3.4 | Stanovení součinitele tepelné vodivosti | 34 |
| 3.3.5 | Stanovení pevnosti v tlaku tepelně izolačních výrobků | 34 |
| 3.3.6 | Stanovení dlouhodobé nasákavosti při úplném ponoření | 36 |
| 3.4 | Použité zkušební vzorky PUR pěn | 37 |
| 3.4.1 | Vytváření vzorků z PUR pěn | 38 |
| 3.5 | Měření a zkoušky | 39 |
| 3.5.1 | Měření tloušťky, lineárních rozměrů a stanovení objemové hmotnosti | 39 |

| | |
|--|----|
| 3.5.2 Stanovení součinitele tepelné vodivosti..... | 41 |
| 3.5.3 Stanovení pevnosti v tlaku tepelně izolačních materiálů při 10 % deformaci..... | 43 |
| 3.5.4 Stanovení dlouhodobé nasákavosti..... | 44 |
| 4 ZÁVĚR..... | 46 |
| Použitá literatura | 50 |
| Seznam obrázků | 53 |
| Seznam rovnic..... | 53 |
| Seznam grafů..... | 54 |
| Seznam tabulek..... | 54 |

1 ÚVOD

Bakalářská práce pojednává o možnostech použití PUR pěn v oblasti výroby zděných prvků a následné výstavby zděných konstrukcí. V práci jsou popsány zděcí prvky dle současných platných norem ČSN EN 771- (1-6). Následně jsou uvedeny požadavky na tepelnou ochranu budov dle normy ČSN 73 0540-2. Velká pozornost je věnována polyuretanovým pěnám, jejich složení, výrobě a použití.

PUR pěny od svého vynalezení ve 30. letech 20. století si našly cestu z armádních a vědeckých laboratoří do většiny průmyslových odvětví. V současném stavebním průmyslu zabírají velký rozsah použití a jsou jeho neopomenutelnou součástí. V dnešních dnech bychom si práci na stavebním díle bez nich jen těžko dovedli představit.

Poslední desítky let je ve znamení šetření energií, šetření po ekonomické stránce i z hlediska ochrany životního prostředí. Stavební konstrukce musí, dle vyhlášky 268/2009 ve znění pozdějších předpisů splňovat řadu požadavků a jedním z nich je právě „ochrana před zimou a teplem“ neboli tepelná ochrana budov dle normy ČSN 73 0540. Proto se při výstavbě stavebních konstrukcí využívají různé izolační materiály, které zajišťují kvalitní tepelně izolační vlastnosti konstrukce.

Aktuálním trendem je snaha vyvíjet nové nebo modifikovat běžné stavební materiály s nejlepšími tepelně izolačními vlastnostmi pro dosažení nejvyšších energetických úspor.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Izolační materiály

Izolační materiály jsou stavební hmoty, které mají za úkol ochraňovat stavební dílo a průmyslová zařízení před účinky vody nebo vlhkosti, zabraňují ztrátám tepla a pronikání chladu. Měli by odstraňovat rušivé účinky hluků a otřesů, chránit před působením nežádoucích vlivů např. chemických látek a ohně. Izolační materiály mají široké uplatnění ve všech druzích staveb (bytová, občanská, průmyslová) [3].

Význam izolačních materiálů pro stavebnictví je velký a neustále roste s ohledem na nové metody stavění, úsporná řešení stavebních konstrukcí a dílců, rychlý rozvoj průmyslové výroby s narůstáním nepříznivých vlivů (hlučnost, exhalace) zvyšování požadavků na kvalitu bydlení, životního prostředí a pracovního prostředí [3].

Je nutné zdůraznit, že závady v provedení izolace se mohou objevit záhy po dokončení stavebního díla nebo po delší době. Většina izolačních materiálů se využívá k ochraně stavebního díla, a proto se označují jako stavební izolace [3].

Dle charakteru účinků (podle funkce), které mohou nepříznivě působit na stavební dílo a kterým mají stavební izolace zamezit nebo aspoň snížit, dělíme izolační materiály na tyto skupiny:

- proti vodě a vlhkosti – tzv. hydroizolační materiály
- proti ztrátám tepla a proti chladu – tzv. tepelně izolační materiály
- proti šíření hluku a proti otřesům – tzv. zvukoizolační a antivibrační materiály
- pro speciální účely – např. účinky škodlivého radioaktivního záření, vlivy chemických látek nebo protipožární ochranu apod. [3].

V následující kapitole se budeme zabývat požadavky na tepelnou ochranu budov.

2.2 Požadavky na tepelnou ochranu budov

Požadavky na tepelnou ochranu budov vycházejí z požadavku vyhlášky 268/2009 ve znění vyhlášky 20/2012, dále vyhlášky 78/2013 a jsou podrobně definovány v ČSN 73 0540-2. Dodržení tepelně technických požadavků zajišťuje prevenci před vznikem tepelně technických vad a poruch staveb. Dále pak zajišťuje tepelnou pohodu uživatelů, ochranu zdraví a zdravých životních podmínek a požadovaný stav vnitřního prostředí pro užívání a nízkou hodnotu energetické náročnosti. Dodržení tepelně technických požadavků se vyžaduje po dobu ekonomicky přiměřené životnosti konstrukcí a budov, při jejich běžné údržbě a při působení běžně předvídatelných vlivů [24].

Požadavky, které norma definuje, jsou v oblasti šíření tepla konstrukcí, šíření vlhkosti konstrukcí, tepelné stability místností a šíření vzduchu konstrukcí a budovou. Pro zděné konstrukce jsou nejdůležitější požadavky na šíření tepla v konstrukci a šíření vlhkosti v konstrukci.

2.2.1 Šíření tepla konstrukcí

U šíření tepla zděných konstrukcí jsou nejdůležitější parametry součinitele prostupu tepla a nejnižší vnitřní povrchové teploty.

2.2.1.1 Nejnižší povrchová teplota

Stavební konstrukce a samotné styky stavebních konstrukcí s konstrukcemi v prostorech s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu menší nebo rovnou 60% musí v zimním období vykazovat při návrhových podmínkách v každém místě teplotní faktor f_{RSI} [-], dle vztahu [24]:

$$f_{RSI} \geq f_{RSI,N}$$

teplotní faktor se stanoví:

$$f_{RSI} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_{ai} - \theta_e} = 1 - \frac{\theta_{ai} - \theta_{si}}{\theta_{ai} - \theta_e}$$

$$f_{RSI,N} = f_{RSI,cr}$$

kde:

$f_{Rsi,cr}$... kritický teplotní faktor vnitřního povrchu

θ_{si} ... návrhová nejnižší vnitřní povrchová teplota [°C]

θ_e ... návrhová teplota vnějšího vzduchu [°C]

θ_{ai} ... návrhová teplota vnitřního vzduchu [°C].

Prostory s relativní vlhkostí větší než 60% musí splňovat výše uvedené požadavky v oblasti vnitřní povrchové teploty. Navíc musí být zajištěno zabránění vzniku a růstu plísní jiným způsobem než pomocí požadované vnitřní povrchové teploty [24].

Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu se stanoví dle rovnice:

$$f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{237,3 + 2,1\theta_{ai}}{\theta_{ai} - \theta_{ex}} * \frac{1}{1,1 - \frac{17,269}{\ln\left(\frac{\varphi_{i,r}}{\varphi_{si,cr}}\right)}}$$

kde:

$f_{Rsi,cr}$... kritický teplotní faktor vnitřního povrchu [-]

θ_{ex} ... návrhová teplota vnějšího vzduchu [°C]

θ_{ai} ... návrhová teplota vnitřního vzduchu [°C]

$\varphi_{i,r}$... relativní vlhkost vnitřního vzduchu pro stanovení požadavku na nejnižší povrchovou teplotu konstrukce [%]

$\varphi_{si,cr}$... kritická vnitřní povrchová vlhkost [80%] [24]

Pozn: $\varphi_{si,cr}$ neplatí pro u výplní otvorů

2.2.1.2 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] je celková výměna tepla v ustáleném stavu mezi dvěma prostředími vzájemně oddělených stavebních konstrukcí o určitém tepelném odporu R [24].

$$U = \frac{1}{R}$$

R ... odpor konstrukce při prostupu tepla [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] [24].

Vytápěné budovy s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i \leq 60\%$ musí mít dle normy ČSN 73 0540-2 součinitel prostupu tepla U takový, aby splňoval:

$$U \leq U_N$$

U_N ... požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] viz tabulka č. 3 z normy ČSN 73 0540-2 [24].

2.3 Polyuretanová (PUR) pěna

2.3.1 Historie

V roce 1937 dal teoretický základ k výrobě polyuretanů Otto Bayer. Jejich význam stoupl, když se ukázalo, že polyuretany lze vyrábět v nejrůznějších tvarech – tzv. hmoty šité na míru [1].

V roce 1940 A.Höchtlen a W. Droste zjistili, že některé polyestery při styku s diizokyanáty nadouvají, vlivem vznikajícího oxidu uhličitého. Toto zjištění je vedlo k vývoji lehčených polyuretanů. V dnešní době se jejich výroba zvětšila na takovou míru, že 75% vyráběného toluendiizokyanátu se zpracovává na tyto výrobky [1].

Do polyuretanové pěny se občas používala nadouvadla, která vytvořila méně hustou pěnu. Tato pěna měla lepší vstřebávání energie (odpružení) nebo tepelnou izolaci. Kolem roku 1990, kdy se ukázalo, že používání nadouvadla poškozuje ozónovou vrstvu. Vznikl Montrealský protokol, který omezoval použití nadouvadla obsahující chlór např. trichlorfluormetan. Do konce 90. let byly široce používané

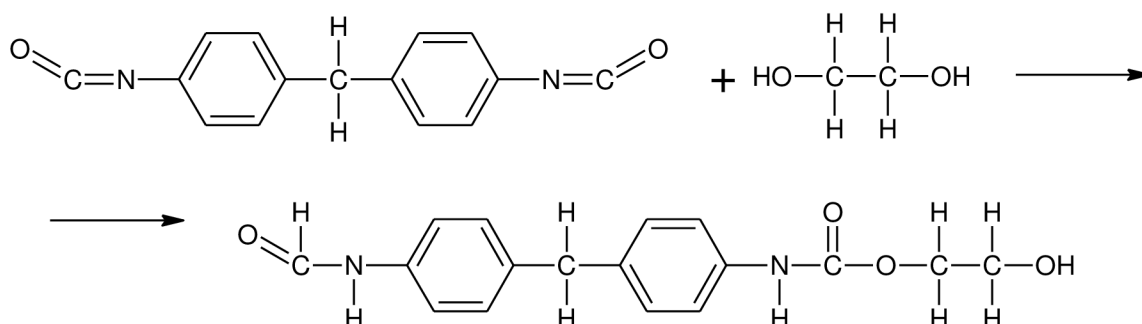
v EU a v Severní Americe nadouvadla jako oxid uhličitý, pentan, 1,1,1,2-tetrafluoretan (HFC-134a) a 1,1,1,3,3-pentafluorpropan (HFC-245fa), ačkoliv v mnoha rozvojových zemích se chlorové nadouvadla stále používaly [7].

V roce 2007 byla globální spotřeba polyuretanových surovin vyšší než 12 milionů tun, průměrná roční míra růstu je asi 5%. V roce 2012 byla spotřeba polyuretanových surovin okolo 15,3 milionů tun [8].

2.3.2 Výroba

Polyuretany získáváme pomocí adiční polymerace polyizokyanátů s vícemocnými alkoholy. Vzniklé polyuretany, svými vlastnostmi a strukturou se nejvíce podobají polyamidům. Jsou ale méně navlhavé než polyamidy [1].

Potřebné izokyanáty, důležité k výrobě polyuretanů se vyrábí fosgenací primárních aminů. V marketingu bývají izokyanáty označovány různými obchodními názvy [1].



Rovnice č. 1 – Vznik polyuretanu

Místo glykolů se používají často více molekulární (molekulová hmotnost 400 až 6 000) sloučeniny s koncovými hydroxylovými skupinami např. polyestery a polymery či přírodní látky (ricinový olej). Díky těmto látkám se sníží i spotřeba drahého diizokyanátu [1].

Lineární polyestery nebo málo rozvětvené polymery se střední molekulovou hmotností, obsahující 32 až 60 hydroxylových skupin, jsou ideální pro měkké polyuretanové lehčené výrobky. Při výrobě tvrdých lehčených polyuretanových výrobků se osvědčily polymery s malou molekulovou hmotností a s krátkými rozvětvenými řetězci, které obsahují 300 až 1 000 hydroxylových skupin [1].

V dnešní době se při polymeraci polyuretanů užívá množství katalyzátorů (např. metyldietanolamin, alkalické soli kyseliny mléčné, octové, hydroxid barnatý, fosforečnan sodný, atd.), či oproti tomu zpomalovačů (chceme-li prodloužit zpracovatelnost polyuretanů), stabilizátorů, změkčovadel (např. dibutylftalát), antibiotik, retardérů hoření (např. difenylester kyseliny fosforečné), barviv a plniv (u elastomerů zvětšují tvrdost a pevnost, u pěnových výrobků snižují jejich cenu a zjemňují jejich strukturu) [1].

U lehčených polyuretanů a jejich výrobě se přidávají různé emulgátory, stabilizátory a regulátory vlastností vytvářené pěny (např. alkoholáty vícemocných kovů zmenšují velikost pórů, přídavek silikonových olejů naopak zvětšuje velikost pórů nebo stearáty zajišťují stejnoměrnou strukturu) [1].

U výroby lehčených polyuretanů má velký význam uvolňování oxidu uhličitého. Vyvoláme jej pomocí přídavku vody nebo působením krystalové vody (např. přídavkem boraxu). Expandační účinek oxidu uhličitého zvýšíme přídavkem některých lehce těkavých látek (aceton, metylalkohol, monofluortrichlórmetan atd.) Do polyuretanových směsí se občas přidávají látky zmenšující tření (grafit, silikonové oleje) nebo voňavky [1].

2.3.3 Měkký lehčený polyuretan

Pro výrobu měkkého lehčeného polyuretanu se využívají různé kontinuální postupy. Nejpoužívanější postup je postup jednostupňový. Při tomto postupu se současně vyvíjí oxid uhličitý a probíhá i síťování polymeru. Důležité je přesné smíchání všech tří složek (diizokyanát, polypol a voda) v přesně vypočítaném poměru. Jako urychlovače se používají terciální aminy (např. N, N-dimetylbenzylamin). Tyto urychlovače mají za následek urychlení průběhu síťování i vznik oxidu uhličitého, který nastává během pár vteřin po zamíchání směsi [1].

U dvoustupňového postupu, který se využívá ve speciálních případech, se nejdříve smíchá polypol s diizokyanátem a následně se směs předpolymeruje, aby určitá část izokyanátových skupin nezreagovala. Následně se přidává voda a daná směs se dotvrzuje a vylehčuje [1].

V krátké době se směs napění a začne tvrdnout. Výrobní stroje produkují pásy až 2 m široké a 50 cm tlusté (molitan) [1].

Vlastnosti výrobků z měkčeného lehčeného polyuretanu mohou být různorodé. V důsledku toho lze jen všeobecně říci, že mají póry převážně otevřené a objemová hmotnost bývá asi 20 až 45 kg.m⁻³. Pokud na polyuretanové výrobky působí ultrafialové záření, dochází u výrobků na povrchu ke žloutnutí až hnědnutí (zejména při použití polyéterů) [1].

Měkký lehčený polyuretan lze pomocí elektricky ohřívaných drátů řezat na menší dílce nebo fólie tloušťky 0,5 až 2 mm či různé profily či desky. Jde jej snadno stříhat, svářet teplem i vysokou frekvencí nebo sešívát, ale nejen mezi sebou, ale i s dalšími materiály [1].

2.3.4 Tvrdý lehčený polyuretan

U tvrdých lehčených polyuretanů je důležité, aby mohlo dobře proběhnout požadované větší zesilování. Proto se vychází ze směsí, obsahující velké množství izokyanátů (asi 70% celkové váhy směsi) a sloučenin obsahující větší množství hydroxylových skupin. Projevuje se to ve struktuře zkracováním řetězců a jejich vzájemným propojováním. Mezi nejpoužívanější látky patří -difenylmetan 4,4 diizokyanát. Dále pak např. étery nebo estery. Přidávají se různé katalyzátory, emulgátory, retardéry hoření, stabilizátory a další různé přídavky měnící strukturu s vlastnostmi výrobku. Jen v některých případech se přidávají plniva [1].

Tvrdé lehčené polyuretany se vyrábí jednostupňově nebo dvoustupňově. U dvoustupňového procesu se při přidávání vody ve druhém stupni přidávají halogenalkany (např. monofluortrichlórmetan). Lití se provádí buď do otevřených, nebo uzavřených forem. Často se formy naplňují stříkáním. Hmoty stříkané jsou lehčí než hmoty nalévané. Lze je snadno vytvářet přímo na stavbě. Čehož se využívá při vyplňování špatně dostupných dutin v konstrukcích, u kterých vyžadujeme dobré tepelně izolační vlastnosti. Vlastnosti tvrdých lehčených polyuretanových hmot mohou být velmi různé. Informativně je lze uvést takto: [1]

| Objemová hmotnost [kg.m ⁻³] | Pevnost v tlaku / napětí při 10% deformaci [N.mm ⁻²] | Součinitel tepelné vodivosti [W.m ⁻¹ .K ⁻¹] |
|---|--|--|
| 10 | 0,03 - 0,05 | 0,020 |
| 30 | 0,18 - 0,24 | 0,022 |
| 50 | 0,3 - 0,5 | 0,025 |
| 100 | 0,8 - 1,2 | 0,031 |
| 200 | 1,5 až 3,0 | 0,032 |

Tabulka č. 1 – Vlastnosti polyuretanu [1]

2.3.5 PIR pěna

Polyisokyanát, označovaný také jako PIR, polyiso nebo ISO se obvykle vyrábí ve formě pěny a využívá se jako tuhá tepelná izolace. Chemické složení polyisokyanátu je podobné polyuretanu (PUR). Liší se v tom, že podíl methylenchloridu difenyl diisokyanátu (MDI) je vyšší a polyester-polyol odvozený se používá při reakci namísto polyetherpolyolu. Liší se také používaná aditiva a katalyzátory. [10] Typická hodnota tepelné vodivosti PIR pěn je 0,022 W·m⁻¹·K⁻¹ [11].

PIR pěny se využívají například pro výrobu předvolovaného potrubí, které se používá pro větrání, vytápění a klimatizace. Další použití pro PIR pěny jsou průmyslové a komerční izolace potrubí [11].

2.3.6 Termoplastické polyuretany

Jsou to polyuretany, které se svými vlastnostmi velmi podobají některým termoplastům např. polyamidům. Mají lineární řetězce, zpracovávají se na vlákna, fólie a na vstřikovací hmoty. Zmíněné polyuretany neodolávají trvalému působení horké vody, silných kyselin a oxidujících látek. Můžeme je vystavit teplotám do 80 až 100°C [1].

2.3.7 Trubičkové PUR pěny

Trubičkové pěny se od ostatních pěn liší tím, že se aplikují přímo z tuby pomocí trubičky. Je to druh montážní pěny a je vhodný pro vyplňování hlubokých dutin, větších spár nebo k montáži rámců oken a dveří.[20] Dále se dá použít pro montáže a těsnění betonových studničních skruží, těsnění rozvodných, revizních a kontrolních šachet [21].

2.3.8 Využití PUR pěn

Měkké lehčené polyuretany se využívají v spotřebním průmyslu (např. oděvy, galanterie, obuv) a nábytkářství (např. polštáře, matrace), ale i ve stavebním průmyslu. Využívají se k utěšňování dilatačních spár, dveřních a okenních netěsností [1].

Dnes se lehčené polyuretany využívají k tepelné izolaci, vyplňování různých dutých profilů (např. kovové okenní rámy) nebo k balení lehce rozbitelných předmětů. Občas se využívá otevřených pórů těchto hmot k filtraci vzduchu např. u klimatizace v bytech nebo dopravních prostředcích či při výrobě pracovních ochranných masek. Dále se využívají při provádění zvukové izolace (např. uzavírání strojů, které vydávají velký hluk, nebo izolace proti kročejovému hluku) apod. Velmi velké uplatnění našly tyto hmoty při omezování chvění a nárazů (motory, pneumatická kladiva), při leštění nebo samotném čištění různých předmětů a zařízení [1].

Polyuretany lze použít jako ložiska, ozubená kola, pružné spojky, součástky pro pračky a mycí stroje, ventily, potrubí nebo různé sedačky či protézy [1].

2.4 Zděné konstrukce

Zdivo můžeme rozdělit podle konstrukce na zdivo obvodové a zdivo vnitřní. Dle druhu materiálu označujeme zdící prvky: betonové, cihelné, pórobetonové, vápenopískové, křemelinové, sádrové, tvárnice s izolační vložkou, tvárnice pro bezmaltové (suché) zdění nebo tvárnice tvořící ztracené bednění [6].

U zdiva se řeší v první řadě jeho mechanické vlastnosti. Jedná-li se o obvodové zdivo, řešíme dále i jeho pevnost a dotlačování při zatížení. Tepelná vodivost je staticky závislá na objemové hmotnosti zdiva. Zvýšené požadavky na tepelný odpor u obvodových stěn konstrukcí budov, vyžadují zvláštní řešení skladby obvodových stěn z hlediska tepelně izolačních vlastností. Důvodem toho vznikají nové tvary nebo dodatečné izolační vložky.[2].

2.4.1 Dělení zdících prvků

2.4.1.1 Pálené zdící

Pálené zdící prvky podle ČSN EN 771-1 se jedná o produkty cihlářského průmyslu a podle umístění zdiva ve stavební konstrukci můžeme rozdělit na prvky pro vnější nosné obvodové zdivo, nosné zdivo, nenosné (výplňové) zdivo a režné (lícové) zdivo [18].

Pálené zdící prvky můžeme rozdělit na 2 skupiny:

- skupina prvků LD:

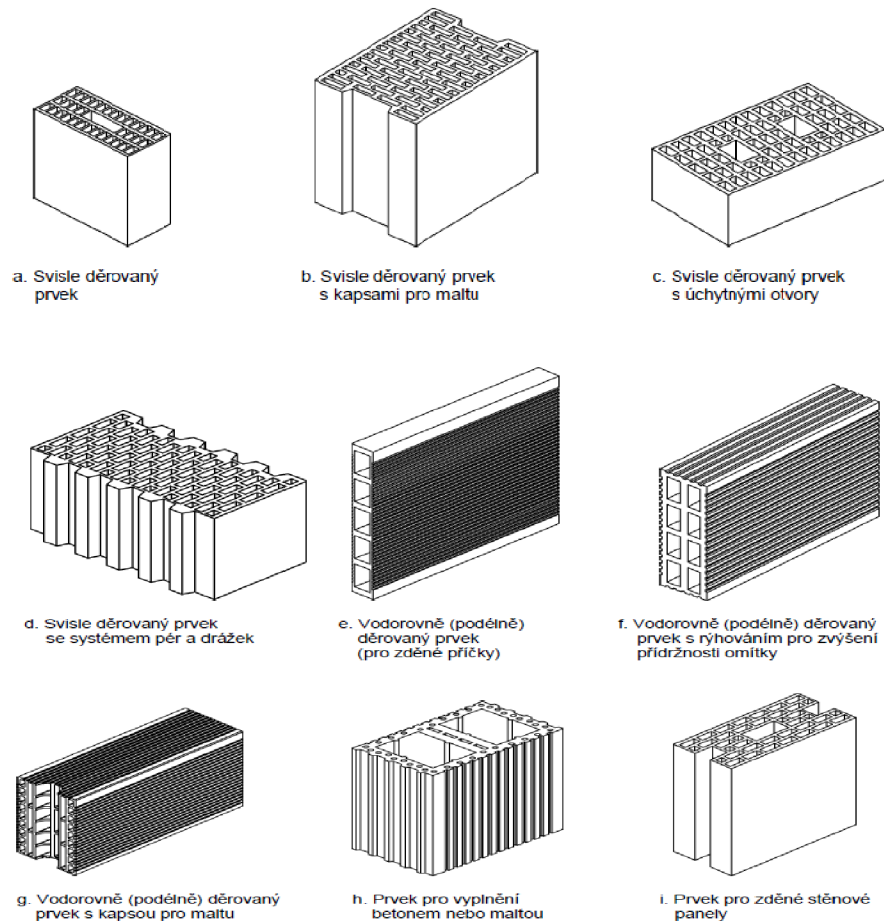
prvky s objemovou hmotností menší než 1000 kg/m^3 – použití v chráněném zdivu

- skupina prvků HD:

a) všechny pálené zdící prvky – použití v nechráněném zdivu

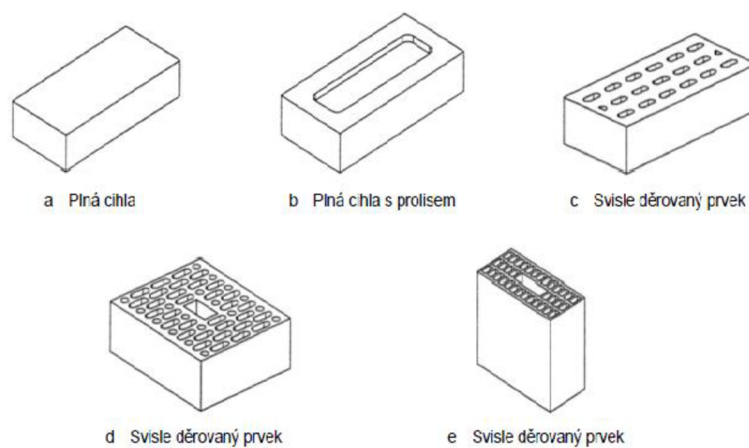
b) prvky s objemovou hmotností větší než 1000 kg/m^3 – použití v chráněném zdivu [19].

Pálené zdicí prvky LD



Obrázek č. 1 – Příklady zdicích prvků LD [12]

Pálené zdicí prvky HD



Obrázek č. 2 – Příklady zdicích prvků HD [12]

Použití pálených zdících prvků

Pálené zdící prvky mají rozmanité způsoby použití a každý z nich vyžaduje, aby byly specifikovány úrovně jejich vlastností. Některé způsoby použití jsou tradiční a související specifikace jsou uvedeny v normách nebo v tradičních pravidlech osvědčených pracovních postupů. Tato pravidla mají lokální charakter vlivem podnebí, stavebních tradic, dostupných stavebních materiálů, tradic údržby apod. Jednotlivé způsoby použití jsou:

- **Obyčejné zdivo:** Zdivo použité uvnitř nebo vně budovy, u něhož se nepožaduje atraktivní vzhled. Může nebo nemusí být nosné.
- **Chráněné zdivo:** Zdivo, které je chráněno proti pronikání vody. Může se jednat o zdivo větších stěn, které je chráněno dostatečnou vrstvou omítky, obkladem nebo může být vnitřní svislá vrstva dutinové stěny nebo vnitřní stěna. Může nebo nemusí být nosné.
- **Omítané zdivo:** Jedná se o zdivo použité uvnitř nebo vně budovy, které je opatřeno venkovní nebo vnitřní omítkou. Může nebo nemusí být nosné.
- **Tepelně izolační zdivo:** Zdivo, které plní v plném rozsahu tepelněizolační funkci vnější stěny nebo k plnění této funkce významně přispívá. Zdivo je tvořeno převážně z vysoce děrovaných pálených zdících prvků. Může nebo nemusí být nosné.
- **Neomítané (lícové, režné) zdivo:** Zdivo použité uvnitř nebo vně budovy, u něhož se požaduje atraktivní vzhled. Je provedeno z atraktivních pálených zdících prvků s použitím běžné technologie zdění a s úpravou maltových spár, která je v souladu s použitými zdícími prvky. Může nebo nemusí být nosné.
- **Zdivo pro inženýrské stavby:** Jedná se o zdivo použité v inženýrských stavbách, např. drenážních soustavách, opěrných zdech apod., v nichž se používají pálené zdící prvky s vysokou úrovní trvanlivosti, pevností v tlaku a nízkou úrovní nasákavosti.
- **Zdivo nosných konstrukcí:** Zdivo použité uvnitř nebo vně budovy, které kromě účinků od vlastní tíhy je namáháno účinky dalších zatížení. Toto zdivo může být lícové, obyčejné, omítané nebo zdivem pro inženýrské stavby. Toto zdivo může být také odolné vůči účinkům zemětřesení.

Ve spojitosti s výše uvedenými způsoby použití může zdivo uplatnit své další vlastnosti:

- požární odolnost
- zvukově izolační vlastnosti
- tepelněizolační vlastnosti

Zdící prvky musí být dostatečně trvanlivé, aby odolávaly účinkům prostředí, a aby zachovaly provozní a konstrukční celistvost budovy [12].

2.4.1.2 Vápenopískové zdící prvky

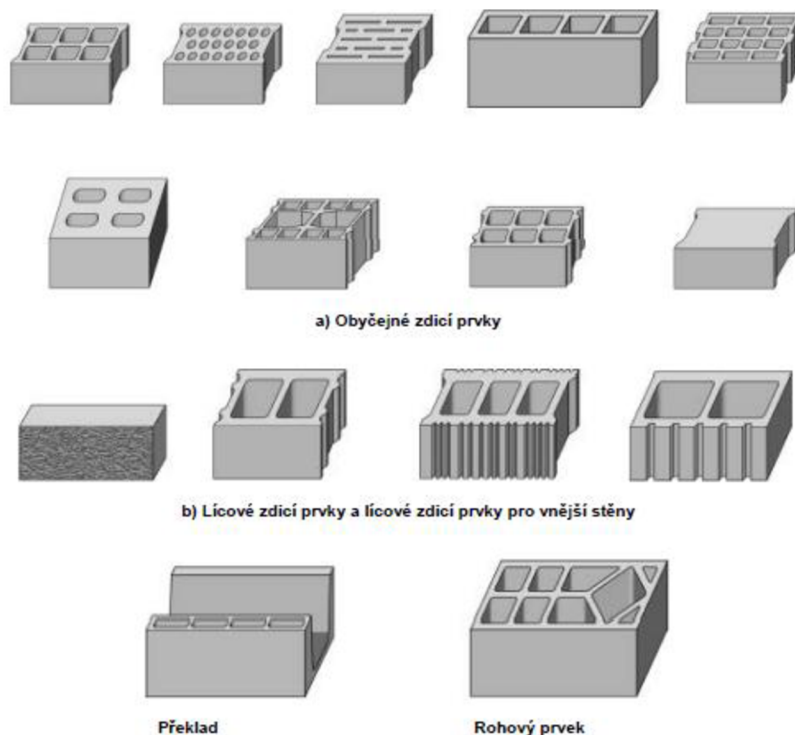
Materiál a výroba

Vápenopískové zdící prvky se vyrábějí podle ČSN EN 771-2 ze směsi vápna a přírodních křemičitých materiálů (písku, drceného nebo nedrceného křemičitého šterku nebo horniny nebo jejich směsi). Prvky jsou vytvrzovány vysokotlakou párou. Výroba vápenopískových zdících prvků ze směsi, ve které převládají jiné křemičité materiály, je přípustná, pokud tyto materiály nemají negativní vliv na vlastnosti těchto prvků. Výskyt takového materiálu musí být deklarován [13].

2.4.1.3 Betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem

Betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem se využívají pro všechny druhy stěn včetně dutinových, pro vnější vrstvy komínů, pro příčky, opěrné zdi a podzemní stěny. Tvárnice mohou tvořit ochranu proti ohni nebo plnit funkci tepelné či zvukové izolace [19].

Případy různých tvarů betonových tvárnic:



Obrázek č. 3 – Příklady různých tvarů betonových tvárnic [14]

2.4.1.4 Pórobetonové tvárnice

Materiál a výroba

Pórobetonové tvárnice se vyrábí za použití pojiv, jako jsou cement a/nebo vápno, spolu s jemným silikátovým materiálem. Látkou, která vytváří póry a vodou vytvrzovány vysokotlakou párou v autoklávech. Suroviny jsou společně promíseny a nalaty do forem, kde směs zvětší svůj objem a ustálí se ve tvaru desky. V následném postupu je deska rozřezána na tvárnice určených rozměrů a ty jsou vytvrzeny.

Ve výrobním procesu se smějí použít tyto materiály kombinované s vhodnými přísadami a činidly:

- silikátový materiál
- cement
- vápno
- voda
- látka vytvářející póry [15]

2.4.1.5 Zdicí prvky z umělého kamene

Prvky z umělého kamene jsou určeny pro rezné zdivo a nechráněné zdivo nosných a nenosných konstrukcí pozemních a inženýrských staveb. Stěny ze zdicích prvků z umělého kamene mohou plnit funkci ochrany proti ohni, funkci tepelné nebo zvukové izolace [19].

2.4.1.6 Zdicí prvky z přírodního kamene

Přírodní kámen a je přírodní produkt, který se získává pomocí těžby v dolech nebo v lomech. Ve výrobním procesu se dále upravuje do podoby zdicích prvků. Za přírodní kámen považujeme následující skupiny materiálů:

- Magmatické horniny: horniny vzniklé ochlazováním a tuhnutím magmatu, např. čedič, granit, diorit, porfyr.
- Sedimentární horniny: horniny, které vznikly usazováním (obvykle ve vodě) a zpevňováním organických a anorganických částic, např. vápenec, pískovec, travertin.
- Metamorfované horniny: přeměněné horniny vzniklé působením tepla a/nebo tlaku na původní horniny, např. břidlice, rula, mramor, kvarcit [17].

2.5 Zdicí prvky s integrovanou tepelnou izolací

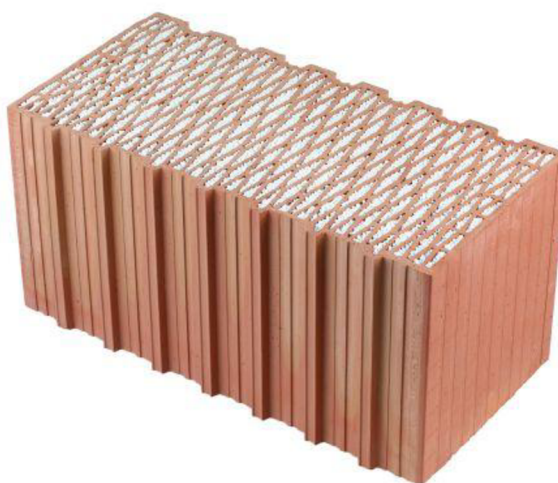
V posledních letech se objevuje na trhu spousta zdicích prvků, které obsahují integrovanou tepelnou izolaci. Následně jsou uvedeny jedny z nejpoužívanějších zdicích prvků s integrovanou tepelnou izolací.

Jednou z nejznámějších je keramická tvarovka s velkými dutinami plněná minerální vlnou. Vyrábí ji firma Wienerberger. Tyto cihly jsou určeny pro výstavbu nízkoenergetických a pasivních domů, pro jednovrstvé obvodové zdivo s vysokou tepelnou izolací bez potřeby dalšího zateplení fasády. Minerální vlna skrytá uvnitř cihel není náchylná na mechanické poškození a neohrozí ji ani ptáci, hmyz nebo povětrnostní vlivy [36].



Obrázek č. 4 – Keramická tvarovka plněná minerální vlnou [36]

Dále se zmíníme o keramické tvarovce s vnitřní polystyrenovou izolací, kterou vyrábí firma HELUZ. Při stavění z těchto cihel není potřeba dům dodatečně z vnější strany izolovat. A přitom stavba splní standard pasivního domu [37].



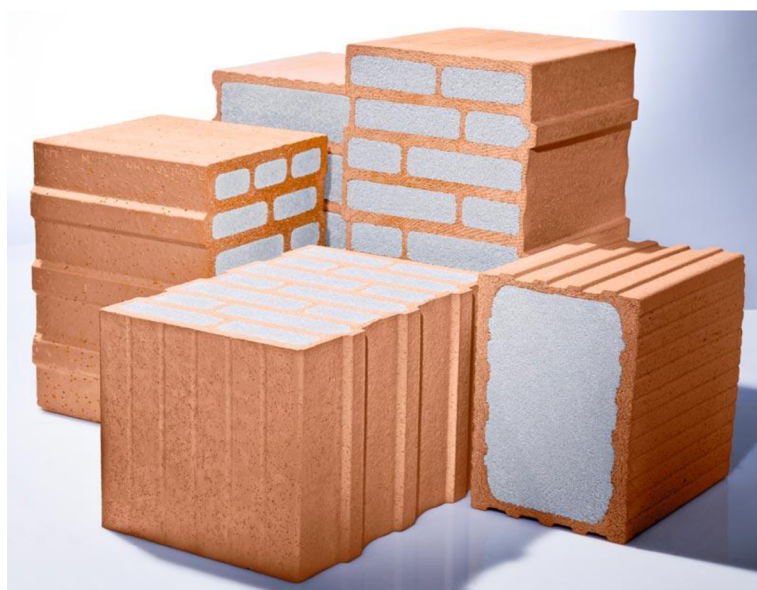
Obrázek č. 5 – Keramická tvarovka plněná polystyrénem [37]

Další je keramická tvarovka plněná perlitem, která se využívá při zdění na betonový základ. Na rozdíl od ostatních zdících tvarovek plněných integrovanou tepelnou izolací se v tomto případě tepelná izolace aplikuje do tvarovky přímo na stavbě (viz obrázek č. 6) [37].



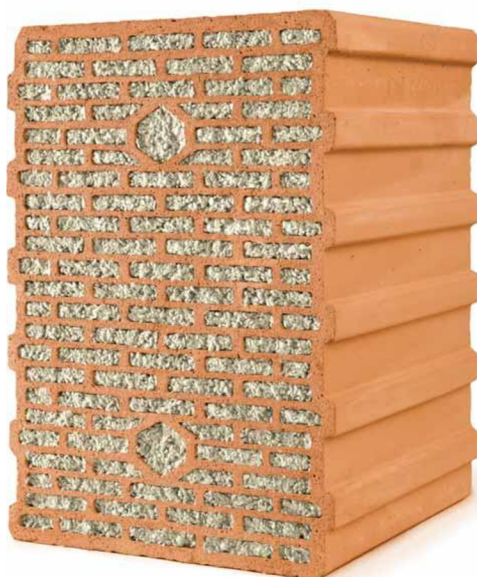
Obrázek č. 6 – Keramická tvarovka plněná perlitem [37]

Perlitem je plněna i keramická tvarovka POROTON vyrábějící se v Německu. Na rozdíl od výše zmíněné tvarovky se nevyplňuje na stavbě, ale perlit je aplikován do zdíci tvarovky přímo ve výrobním závodě.



Obrázek č. 7 – Keramická tvarovka plněná perlitem [41]

Mezi keramické tvarovky plněné integrovanou tepelnou izolací se řadí keramická tvarovka CORISO s malými dutinami plněná ovčí vlnou, která je vyráběná také v Německu.



Obrázek č. 8 – Keramická tvarovka plněná ovčí vlnou [40]

Od roku 2007 je na českém trhu k dostání tepelné zdivo GT HOTBLOK. Skládá se z keramzitu, písku, cementu a dutiny jsou plněné polystyrénem [42].



Obrázek č. 9 – Tepelné zdivo GT HOTBLOK [42]

Jako poslední bychom uvedli tvarovky Durisol, které se vyrábějí z dřevní štěpky (až 90 % objemu, k níž se přidává cement, voda a další komponenty). Obvodové tvarovky o tloušťce 37,5 cm obsahující integrovanou tepelnou izolaci (polystyren Neopor) [38].



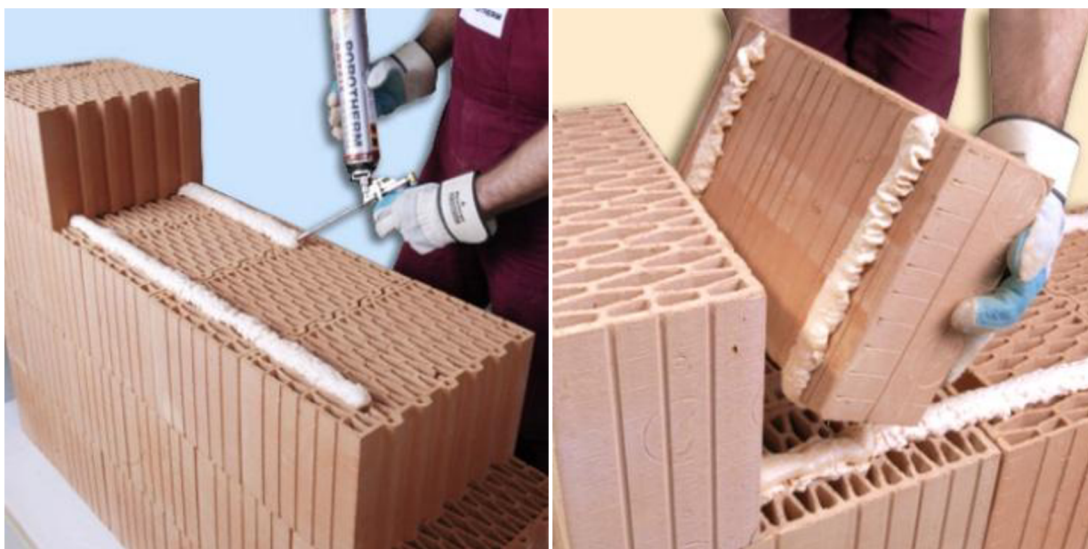
Obrázek č. 10 – Dřevní štěpka s polystyrénem [38]

2.6 Zdící prvky v kombinaci s PUR pěnou

V posledních letech se ve stavitelství začala používat PUR pěna nejenom k izolaci spár, oken a dveří. Začala se využívat, jako integrovaná tepelná izolace ve zdivu, kdy se pomocí injektáží vpravuje přímo do samotného zdiva nebo se využívá k samotnému zdění.

2.6.1 Zdění na PUR pěnu

Při zdění broušených cihel se řady cihel pevně spojují zdící pěnou například pěna DRYFIX. Díky tomuto způsobu je možné zdít i v zimní období do -5°C . Tato metoda eliminuje možné tepelné mosty v ložných spárách. Po 20 minutách dochází k vysokým pevnostem, díky velmi pevnému slepení. [39]



Obrázek č. 11 – Zdící metoda POROTHERM DRYFIX [39]

2.6.2 Injektáž PUR pěny do zděné konstrukce

Jedna z variant využití PUR pěny ve zděné konstrukci je injektáž. Tato metoda se hojně využívá ve Spojených státech amerických. Postup aplikace PUR pěny do konstrukce ukazuje následující schéma obrázků. Obrázek č. 1 znázorňuje předvrtané otvory ve zděné konstrukci. Na obrázku č. 2 je vidět aplikace PUR pěny pod tlakem. Obrázek č. 3 ukazuje otvory po vyplnění PUR pěnou. Přebytek pěny se odstraní a na 4. obrázku je vidět, jak jsou otvory zbavené přebytečné PUR pěny a vyplněné morterem. Obrázek č. 5 ukazuje, jak vypadá budova po montáži [35].



Obrázek č. 12 – Schéma injektáže PUR pěny do zděné konstrukce [35]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem práce je porovnání a vyhodnocení různých vzorků PUR pěn, které by se daly využít, jako integrovaná tepelná izolace do zděných konstrukcí pro zlepšení jejich tepelně izolačních vlastností. Cílem je vybrat vhodnou PUR pěnu, při jejíž aplikaci do zděné konstrukce, by zděná konstrukce dosahovala optimálních tepelně izolačních vlastností.

3.1 Metodika řešení

Praktická část bakalářské práce byla rozdělena do 2 částí. V první části práce byly z vybraných PUR pěn vyrobeny zkušební vzorky. PUR pěny byly aplikovány do speciálně upravených forem o rozměrech 300x300x50mm, Po naplnění forem a vytvrzení, byla přebytečná PUR pěna ořezána, vzorek vyjmut z formy a následně označen.

Ve druhé části práce byly stanoveny základní fyzikální, tepelně izolační a mechanické vlastnosti na vytvořených vzorcích PUR pěn. Po stanovení všech vlastností u všech druhů PUR pěn následovalo vyhodnocení.

3.2 Prováděné zkoušky a měření

Po aplikaci pěny do forem a následného odformování, bylo na vytvořených vzorcích provedeno následující měření a zkoušení:

- stanovení tloušťky (viz kapitola 3.3.1)
- stanovení lineárních rozměrů, (viz kapitola 3.3.2)
- stanovení objemové hmotnosti, (viz kapitola 3.3.3)
- stanovení součinitele tepelné vodivosti, (viz kapitola 3.3.4)
- stanovení pevnosti v tlaku tepelně izolačních materiálů při 10 % deformaci, (viz kapitola 3.3.5)
- stanovení dlouhodobé nasákavosti při úplném ponoření vzorků, (viz kapitola 3.3.6).

3.3 Postup zkoušek a měření

3.3.1 Stanovení tloušťky

Stanovení tloušťky bylo provedeno v souladu s ČSN EN 823: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení tloušťky [25]. Podstatou zkoušky je změření vzdálenosti mezi tvrdým, rovinným, referenčním povrchem, na kterém je umístěn zkušební vzorek a přítlačnou deskou, která volně spočívá na horním povrchu zkušebního vzorku.

Zkušební vzorek se položil na rovinnou základní desku, aby měřená plocha byla v dotyku se základní deskou. Přítlačná deska se umístila na zkušební vzorek při vyvinutí celkového tlaku $50 \pm 1,5$ Pa nebo 250 ± 5 Pa. Tloušťka zkušebního vzorku byla změřena v milimetrech.

3.3.2 Stanovení lineárních rozměrů

Stanovení lineárních rozměrů bylo provedeno v souladu s ČSN EN 12085: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – stanovení lineárních rozměrů zkušebních těles [26].

Lineární rozměry zkušebních vzorků se měřily pomocí zařízení, které dosahovalo požadovaného stupně přesnosti. Vybralo se posuvné měřidlo, které se následně přikládalo ke zkušebnímu vzorku dotykovými plochami, aby nedošlo k deformování povrchu zkušebního vzorku.

3.3.3 Stanovení objemové hmotnosti

Stanovení objemové hmotnosti bylo provedeno v souladu s ČSN EN 1602: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení objemové hmotnosti [27]. S pomocí výše uvedeného posuvného měřidla a číselníkového úchylkoměru se naměřily rozměry pro stanovení objemu. Následným zvážením vzorků byla zjištěna jeho hmotnost. Tyto hodnoty se dosadily do vzorce pro výpočet objemové hmotnosti ρ_v [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], který se stanoví, jako podíl hmotnosti a objemu zkušebního vzorku:

$$\rho_v = \frac{m}{V}$$

kde:

m ... hmotnost zkušební vzorku [kg];

V ... objem zkušební vzorku [m^3].

3.3.4 Stanovení součinitele tepelné vodivosti

Stanovení součinitele tepelné vodivosti bylo provedeno na deskových vzorcích o rozměrech 300x300 mm, v souladu s ČSN EN 12667 Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku. Pro stanovení hodnoty součinitele tepelné vodivosti byla zvolena metoda měřidla tepelného toku dle ČSN 72 7012-3 a ISO 8301 [29].

Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu je založen na stacionární metodě desky. Měření se provádí pomocí přístroje Lambda 2300 Holometrix. Zkušební vzorek byl umístěn mezi dvě desky vytápěné na rozdílnou teplotu, kde je sledována hustota tepelného toku na definované ploše, dále teplotní spád mezi deskami a tloušťka zkušební vzorku. Všechna měření se prováděly při teplotě + 10°C a teplotním spádu 10K.

3.3.5 Stanovení pevnosti v tlaku tepelně izolačních výrobků

Stanovení pevnosti v tlaku u vzorků o rozměrech 150x150 mm, bylo provedeno v souladu s ČSN EN 826: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – zkouška tlakem [30]. Tlaková síla působila danou rychlostí kolmo na větší rovnoběžné povrchy pravoúhlého zkušební vzorku ve tvaru kvádrů. Stanovila se maximální síla, kterou zkušební vzorek přenesl. Zdali, maximální hodnota síly odpovídala deformaci menší než 10 %, byla síla označena, jako pevnost v tlaku. Následně se udávala příslušná deformace. Pokud nebylo zjištěno žádné porušení před dosažením 10% deformace, vypočítalo se napětí v tlaku při 10 % deformaci. Hodnota se uvedla jako napětí v tlaku při 10 % deformaci.

Tlačené plochy zkušební vzorku byly umístěny centricky mezi rovnoběžné desky zatěžovacího stroje. Zkušební vzorek se zatížil počátečním tlakem 250 ± 10 Pa. Zkušební lis je stlačován pomocí pohyblivé desky zatěžovacího stroje konstantní rychlostí 0,1 d za minutu, kde d je tloušťka vzorku v milimetrech. Pokračovalo se ve zkoušce, až k dosažení meze tečení. Takto byla stanovena

pevnost v tlaku nebo se docílilo poměrného stlačení 10 % a tím pádem se mohlo určit napětí v tlaku při 10 % deformaci.

Pevnost v tlaku σ_m [kPa] vyjádříme dle vztahu:

$$\sigma_m = \frac{10^3 * F_m}{A_0}$$

kde:

F_m ... největší síla [N];

A_0 ... počáteční průřez zkušební vzorku [mm²].

Poměrné stlačení ε_m v procentech, se stanovilo dle:

$$\varepsilon_m = \left(\frac{X_m}{d_0} \right) * 100$$

kde:

X_m ... přetvoření deformace při maximální síle [mm];

d_0 ... počáteční tloušťka zkušební vzorku [mm].

Napětí při 10 % deformaci σ_{10} [kPa] se určilo dle:

$$\sigma_{10} = \frac{10^3 * F_{10}}{A_0}$$

kde:

F_{10} ... síla odpovídající 10 % poměrného stlačení [N]

A_0 ... počáteční průřez zkušební vzorku [mm²]

Modul pružnosti v tlaku E [kPa] se určilo podle:

$$E = \sigma_e \frac{d_o}{X_e}$$

$$\sigma_e = \frac{10^3 * F_e}{A_0}$$

kde:

F_e ... síla na konci zóny smluvní elastické deformace [mm]

X_e ... přetvoření při síle F_e [mm]

3.3.6 Stanovení dlouhodobé nasákavosti při úplném ponoření

Stanovení dlouhodobé nasákavosti bylo provedeno v souladu s ČSN EN 12087: Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – stanovení dlouhodobé nasákavosti při ponoření [31].

Dlouhodobá nasákavost při úplném ponoření (metoda 2) se stanovila změřením změny hmotnosti zkušební vzorku, který byl kompletně ponořen do vody po dobu 28 dní.

Počáteční hmotnost m_0 zkušební vzorku se stanoví zvážení na nejbližší 0,1g. Zkoušený vzorek se uložil do prázdné nádrčky a zatížil tak, aby po doplnění vody zůstal kompletně ponořen ve vodě. Následně se přilila voda do nádrčky, až byl horní povrch zkušební vzorku ponořen (50 ± 2) mm pod hladinou vody.

Po 28 dnech byl zkušební vzorek vyjmut a nechal se odkapat po dobu ($10 \pm 0,5$) min. Následovně se zkušební vzorek opět zvážil a stanovila se jeho hmotnost m_{28} . Dlouhodobá nasákavost se vypočítala z níže uvedeného vztahu a zaokrouhlí se na 0,1 [kg.m⁻³]:

$$w_{lt} = \frac{m_{28} - m_0}{V} * \frac{100}{\rho_w}$$

kde:

m_0 ... počáteční hmotnost zkušební vzorku [kg]

m_{28} ... hmotnost zkušební vzorku po 28 dnech úplného ponoření [kg]

V ... počáteční objem zkušební vzorku [m^3]

ρ_w ... hustota vody, uvažuje se hodnotou 1000 [$kg \cdot m^{-3}$]

3.4 Použité zkušební vzorky PUR pěn

Při výběru vzorků zkušebních PUR pěn jsme se zaměřili na výrobky od výrobců, kteří nejsou na tuzemském trhu rozšířeny v oblasti maloobchodu, ale jsou užívány většími specializovanými firmami a nabízeny v oblasti velkoobchodu. Dva druhy PUR pěn jsou od slovinského výrobce TKK, jedna od německé firmy Berner a 3 vzorky od švýcarské firmy Rathor AG.

Druhy PUR pěn:

1. celoroční pěna (TKK)
2. nízkoexpanzní pěna (TKK)
3. FOMO 1k var. 1 (Rathor AG)
4. FOMO 1K var. 3 (Rathor AG)
5. FOMO 2K var. 4 (Rathor AG)
6. zvuková izolace (Berner)

Z výše uvedených pěn se vyrobily 3 a více vzorů od každé pěny. Na vzorcích následovalo měření.

| Druh PUR pěny | | Popis a využití PUR pěny |
|---------------|---|--|
| 1 | TEKAPUR pistolová pěna celoroční (All Season) | Celoroční pěna má vynikající přilnavost na většinu stavebních materiálů. Výhoda je celoroční použití a to aplikaci i při -10°C, ovšem objem vypěněné pěny je menší |
| 2 | TEKAPUR PU - pěna pistolová nízkoexpanzní | Nízkoexpanzní pistolová pěna se ve stavebnictví využívá k vyplňování, vestavování, těsnění, izolování, lepení a montování. Po aplikaci má minimální expanzi. |
| 3 | FOMO 1K var. 1 | Experimentálně namíchaná PUR pěna od firmy Rathor AG |
| 4 | FOMO 1K var. 3 | Experimentálně namíchaná PUR pěna od firmy Rathor AG |
| 5 | FOMO 2K var. 4 | Experimentálně namíchaná PUR pěna od firmy Rathor AG |
| 6 | Berner - Zvukově izolační pěna do spár | Zvukově izolační pěna má vynikající tvarovou stabilitu, akustické a tepelně izolační vlastnosti srovnatelné s minerální vatou, korkem nebo sklolaminátem. |

Tabulka č. 2 – Přehled použitých PUR pěn [33], [34]

3.4.1 Vytváření vzorků z PUR pěn

Při výrobě vzorků PUR pěn jsme používali speciálně vyrobené dřevěné formy, které měly ve stěnách otvory se šrouby. Pomocí těchto šroubů se forma upínala, aby nedocházelo k rozpínání pěny. Navíc byly ve stěnách formy vyvrtané malé otvory o průměru 1,5 mm. Tyto otvory sloužily k lepšímu přívodu vzduch k aplikované PUR pěně, aby došlo k jejímu lepšímu vytvrzení.

Před aplikací PUR pěny do formy se nejdříve na vnitřní strany stěn formy umístil navlhčený filtrační papír, pro lepší odformování formy a zlepšení kvality struktury pěny.

Pěna byla takto ve formě ponechána minimálně 24 hodin, aby došlo k dokonalému vytvrzení pěny. Následně byla přebytečná pěna odříznuta a následovalo povolení šroubů a odformování vzorku PUR pěny. Po vyjmutí z formy byl vzorek označen a připraven k měření a zkoušení.



Obrázek č. 13 – Obrázky forem

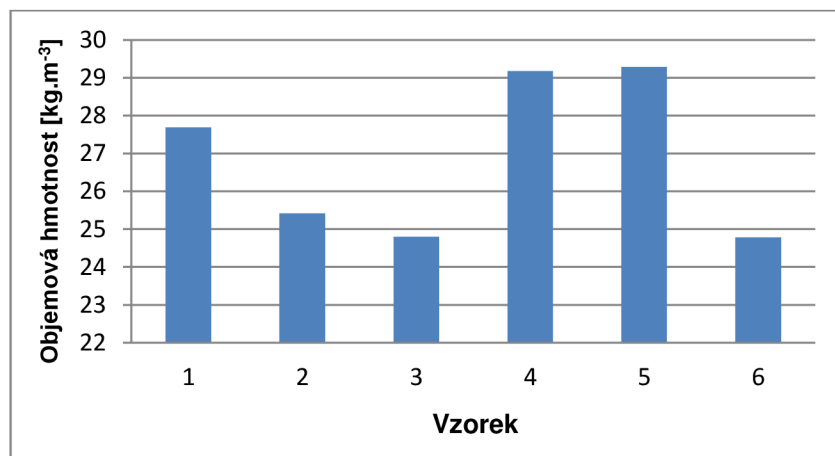
3.5 Měření a zkoušky

3.5.1 Měření tloušťky, lineárních rozměrů a stanovení objemové hmotnosti

Měření tloušťky dle ČSN EN 823, měření lineárních rozměrů dle ČSN EN 12085 a stanovení objemové hmotnosti dle ČSN EN 1602 bylo stanoveno podle uvedených norem. Měření bylo prováděno po odformování vzorků na vzorcích o rozměrech 300x300x50 mm, které byly připraveny a popsány v kapitole 3.4.1. Naměřené a stanovené hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce. Počet různých vzorků pěn se liší z důvodu omezeného množství daného druhu PUR pěny.

| Číslo vzorku | <i>a</i> [mm] | <i>b</i> [mm] | <i>c</i> [mm] | <i>V</i> [m ³] | <i>m</i> [g] | ρ_v [kg.m ⁻³] |
|--------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 1-1 | 297 | 297 | 48,03 | 0,0042 | 110,93 | 26,2 |
| 1-2 | 298 | 300 | 45,31 | 0,0041 | 114,40 | 28,2 |
| 1-3 | 298 | 300 | 47,81 | 0,0043 | 122,90 | 28,8 |
| 1-4 | 298 | 300 | 47,82 | 0,0043 | 118,24 | 27,7 |
| 1-5 | 297 | 300 | 48,36 | 0,0043 | 118,91 | 27,6 |
| 1 | 297,6 | 299,4 | 47,47 | 0,0042 | 117,08 | 27,7 |
| 2-1 | 298 | 300 | 46,15 | 0,0041 | 101,58 | 24,6 |
| 2-2 | 293 | 296 | 45,27 | 0,0039 | 102,95 | 26,2 |
| 2-3 | 297 | 300 | 47,89 | 0,0043 | 109,02 | 25,5 |
| 2-4 | 298 | 300 | 48,73 | 0,0044 | 110,06 | 25,3 |
| 2 | 296,5 | 299,0 | 47,01 | 0,0042 | 105,90 | 25,4 |
| 3-1 | 297 | 300 | 48,24 | 0,0043 | 111,38 | 25,9 |
| 3-2 | 297 | 300 | 48,36 | 0,0043 | 109,46 | 25,4 |
| 3-3 | 292 | 298 | 47,80 | 0,0042 | 107,40 | 25,8 |
| 3-4 | 298 | 299 | 50,35 | 0,0045 | 105,22 | 23,5 |
| 3-5 | 299 | 300 | 49,61 | 0,0045 | 104,20 | 23,4 |
| 3 | 296,6 | 299,4 | 48,87 | 0,0043 | 107,53 | 24,8 |
| 4-1 | 297 | 300 | 49,33 | 0,0044 | 120,52 | 27,4 |
| 4-2 | 299 | 299 | 49,07 | 0,0044 | 135,43 | 30,9 |
| 4-3 | 300 | 300 | 48,88 | 0,0044 | 132,39 | 30,1 |
| 4-4 | 298 | 300 | 49,15 | 0,0044 | 125,02 | 28,5 |
| 4-5 | 298 | 299 | 49,20 | 0,0044 | 127,40 | 29,1 |
| 4 | 298,4 | 299,6 | 49,13 | 0,0044 | 128,15 | 29,2 |
| 5-1 | 298 | 300 | 50,58 | 0,0045 | 129,92 | 28,7 |
| 5-2 | 300 | 300 | 50,01 | 0,0045 | 136,92 | 30,4 |
| 5-3 | 299 | 300 | 49,54 | 0,0044 | 127,55 | 28,7 |
| 5 | 299,0 | 300,0 | 50,04 | 0,0045 | 131,46 | 29,3 |
| 6-1 | 293 | 300 | 48,95 | 0,0043 | 108,70 | 25,3 |
| 6-2 | 296 | 300 | 48,46 | 0,0043 | 105,02 | 24,4 |
| 6-3 | 296 | 296 | 48,33 | 0,0042 | 100,10 | 23,6 |
| 6-4 | 298 | 300 | 48,30 | 0,0043 | 105,92 | 24,5 |
| 6-5 | 298 | 300 | 47,75 | 0,0043 | 103,95 | 24,4 |
| 6-6 | 292 | 295 | 46,50 | 0,0040 | 106,25 | 26,5 |
| 6 | 295,5 | 298,5 | 48,05 | 0,0042 | 104,99 | 24,8 |

Tabulka č. 3 – Stanovené hodnoty pro tloušťku, lineární rozměry a objemovou hmotnost



Graf č. 1 – Přehled naměřených hodnot objemové hmotnosti u jednotlivých zkušebních vzorků PUR pěn

Z hodnot uvedených v tabulce č. 3 a z grafu č. 1 je patrné, že objemová hmotnost u zkoušených vzorků PUR pěn je zhruba stejná a pohybuje se v rozmezí od 24 do 30 kg·m⁻³. Nejvyšší hodnotu zaznamenaly pěny FOMO 1K var. 3 a FOMO 2K var. 4.

3.5.2 Stanovení součinitele tepelné vodivosti

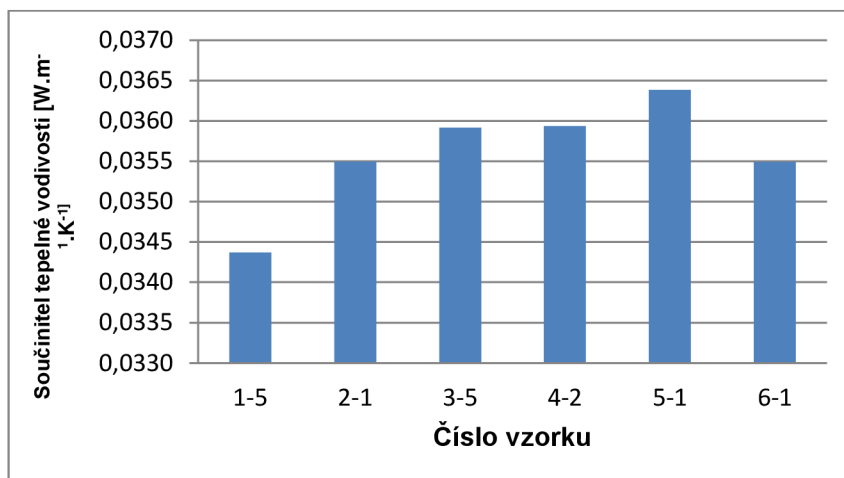
Součinitel tepelné vodivosti byl stanoven v souladu s ČSN EN 12667. Pro stanovení hodnoty součinitele tepelné vodivosti byla zvolena metoda měřidla tepelného toku podle ČSN 72 7012-3 a ISO 8301. Od každého druhu PUR pěny byl vybrán reprezentativní vzorek (o průměrné objemové hmotnosti), na kterém bylo provedeno měření. Výsledky měření jsou uvedeny v následující tabulce.

| Číslo vzorku | m | a | b | t | ρ_v | λ_1 | λ_2 | λ_3 | $\lambda_{průměr}$ |
|--------------|-------|------|-----|--------|-----------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|--------------------|
| [-] | [g] | [mm] | | | [kg.m ⁻³] | [W.m ⁻¹ .K ⁻¹] | | | |
| 1-5 | 118,0 | 300 | 301 | 50,132 | 26,1 | 0,0343 | 0,0345 | 0,0343 | 0,0344 |
| 2-1 | 98,9 | 298 | 302 | 49,536 | 22,2 | 0,0355 | 0,0356 | 0,0354 | 0,0355 |
| 3-5 | 102,9 | 300 | 298 | 49,502 | 23,3 | 0,0358 | 0,0360 | 0,0360 | 0,0359 |
| 4-2 | 143,1 | 299 | 300 | 49,285 | 32,4 | 0,0360 | 0,0359 | 0,0359 | 0,0359 |
| 5-1 | 128,4 | 296 | 300 | 50,022 | 28,9 | 0,0363 | 0,0365 | 0,0363 | 0,0364 |
| 6-1 | 107,3 | 300 | 295 | 48,357 | 25,1 | 0,0355 | 0,0354 | 0,0355 | 0,0355 |

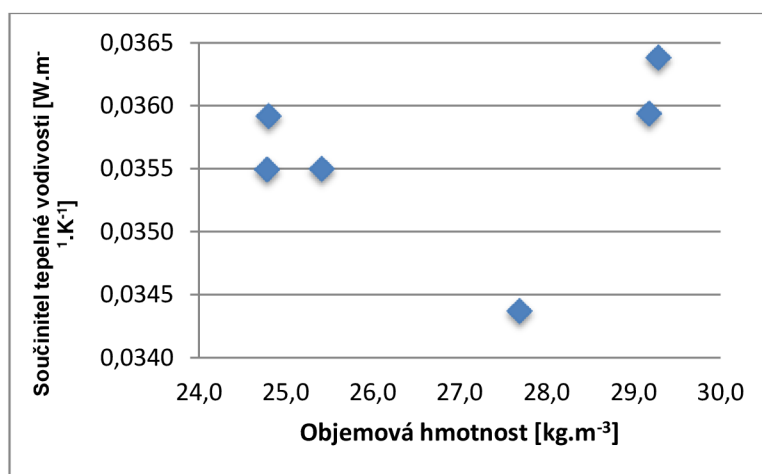
Tabulka č. 4 – Stanovení součinitele tepelné vodivosti

U zkušebních vzorků byly zjištěny změny v objemové hmotnosti (ve srovnání s hodnotami uvedených v tabulce č. 3). Tato skutečnost je způsobena dotvarováním vzorků, dále reakcí zbytkové nezreagované pěny se vzdušnou

vlhkostí. Vzorky při stanovení objemové hmotnosti (tabulka č. 4) byly měřeny a váženy v krátké době po odformování. Stanovení součinitele tepelné vodivosti nastalo až o několik dní později.



Graf č. 2 – Stanovení součinitele tepelné vodivosti



Graf č. 3 – Vliv objemové hmotnosti na součinitel tepelné vodivosti

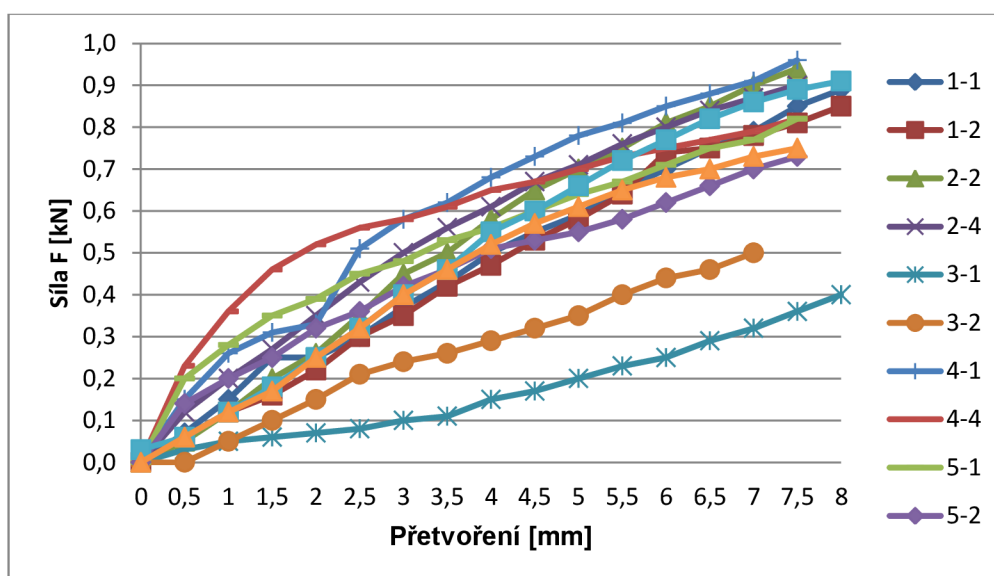
Z grafu lze vyčíst, že nejnižší hodnotu součinitele tepelné vodivosti vykazuje vzorek 1-5. Je to pěna TEKAPUR pistolová pěna celoroční od slovinského výrobce TKK, která měla hodnotu součinitele tepelné vodivosti $0,0344 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Naopak nejvyšší hodnotu dosáhla pěna FOMO 2K var. 4, která měla hodnotu $0,0364 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Z grafu č. 3 je patrné, že u daných zkušebních vzorků nelze definovat závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti.

3.5.3 Stanovení pevnosti v tlaku tepelně izolačních materiálů při 10 % deformaci

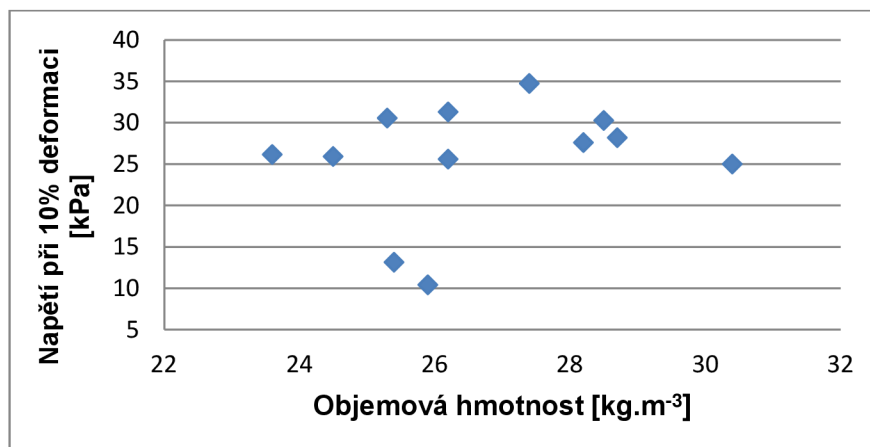
Stanovení pevnosti v tlaku při 10% deformaci bylo provedeno podle ČSN EN 826. Měření bylo provedeno na vzorcích tvaru desky o rozměrech 150x150 mm. Naměřené hodnoty můžeme nalézt v níže uvedené tabulce. Z naměřených hodnot byl dále proveden výpočet modulu pružnosti v tlaku dle výše uvedené normy ČSN EN 826.

| Číslo vzorku | <i>a</i> [mm] | <i>b</i> [mm] | <i>t</i> [mm] | ρ_v [kg.m ⁻³] | <i>F</i> ₁₀ [kN] | σ_{10} [kPa] | σ_{10} průměr [kPa] | <i>E</i> [kPa] |
|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|----------------|
| 1-1 | 148,0 | 147,7 | 46,27 | 26,2 | 0,56 | 25,618 | 26,62 | 235,48 |
| 1-2 | 149,0 | 138,5 | 48,68 | 28,2 | 0,57 | 27,619 | | 250,62 |
| 2-2 | 149,5 | 149,5 | 47,76 | 26,2 | 0,70 | 31,313 | 30,94 | 251,03 |
| 2-4 | 148,9 | 149,4 | 45,87 | 25,3 | 0,68 | 30,576 | | 232,03 |
| 3-1 | 146,8 | 150,2 | 40,23 | 25,9 | 0,23 | 10,433 | 11,80 | 91,25 |
| 3-2 | 157,8 | 154,1 | 44,06 | 25,4 | 0,32 | 13,160 | | 113,25 |
| 4-1 | 148,3 | 149,4 | 49,19 | 27,4 | 0,77 | 34,751 | 32,52 | 266,40 |
| 4-4 | 150,2 | 151,7 | 48,45 | 28,5 | 0,69 | 30,281 | | 217,94 |
| 5-1 | 149,4 | 149,5 | 48,91 | 28,7 | 0,63 | 28,201 | 26,61 | 224,41 |
| 5-2 | 148,2 | 148,3 | 48,62 | 30,4 | 0,55 | 25,020 | | 201,82 |
| 6-3 | 151,3 | 146,5 | 43,54 | 23,6 | 0,58 | 26,170 | 26,05 | 223,47 |
| 6-4 | 150,5 | 146,0 | 45,37 | 24,5 | 0,57 | 25,937 | | 193,55 |

Tabulka č. 5 – Stanovení pevnost v tlaku při 10% deformaci



Graf č. 4 – Pracovní diagram zkušebních vzorků



Graf č. 5 – Závislost objemové hmotnosti na napětí při 10% deformaci

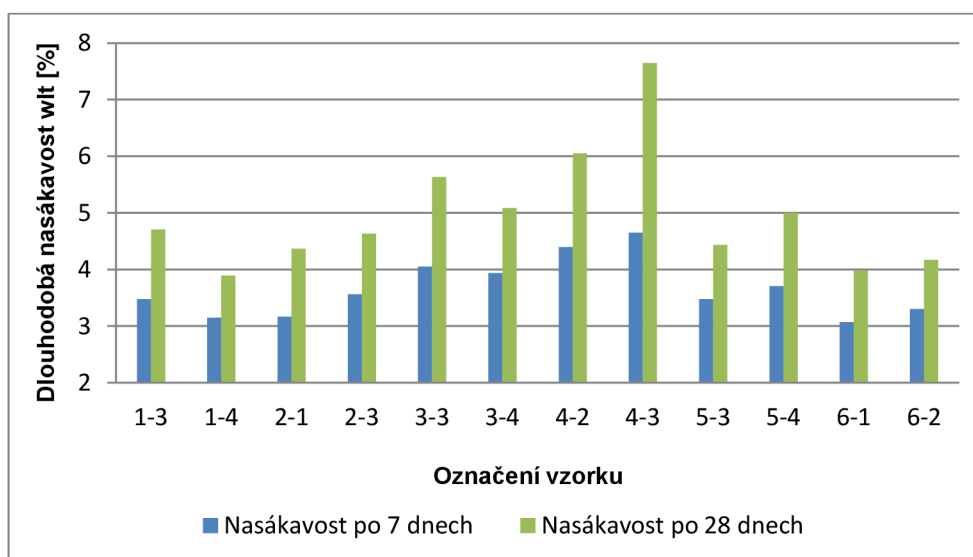
Nejlepší mechanické vlastnosti z pohledu napětí při 10% deformaci vykazovala pěna č. 4-1, kde se jedná o pěnu FOMO 1K var. 3, která měla hodnotu napětí při 10% deformaci 34,75 kPa. Naopak nejnižší hodnoty dosahovaly vzorky číslo 3-1 a 3-2, kde se jedná o pěnu FOMO 1K var. 1. Následně byl z naměřených hodnot sestaven graf závislosti objemové hmotnosti na pevnosti v tlaku při 10% deformaci. Z grafu je patrné, že mezi objemovou hmotností a napětím při 10% deformaci není prokazatelná závislost.

3.5.4 Stanovení dlouhodobé nasákavosti

Stanovení dlouhodobé nasákavosti bylo provedeno dle ČSN EN 12087. Byla použita metoda č. 2, kde se nasákavost stanoví měřením změny hmotnosti zkušební vzorku, který je zcela ponořen do vody po dobu 28 dní. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

| Označení vzorku | t | a | b | V | m_0 | m_7 | m_{28} | w_{17} | w_{lt} |
|-----------------|-------|--------|--------|-------------------|-------|-------|----------|----------|----------|
| [-] | [mm] | | | [m ³] | [g] | | | [%] | |
| 1-3 | 46,67 | 149,54 | 149,21 | 0,0010 | 30,24 | 66,42 | 79,25 | 3,47 | 4,71 |
| 1-4 | 44,01 | 146,44 | 150,71 | 0,0010 | 28,24 | 58,84 | 66,06 | 3,15 | 3,89 |
| 2-1 | 45,91 | 147,91 | 149,05 | 0,0010 | 24,95 | 56,99 | 69,20 | 3,17 | 4,37 |
| 2-3 | 50,66 | 149,54 | 148,39 | 0,0011 | 28,67 | 68,71 | 80,75 | 3,56 | 4,63 |
| 3-3 | 37,71 | 147,16 | 151,30 | 0,0008 | 28,11 | 62,16 | 75,43 | 4,06 | 5,64 |
| 3-4 | 38,17 | 146,12 | 148,99 | 0,0008 | 27,22 | 59,98 | 69,50 | 3,94 | 5,09 |
| 4-2 | 48,59 | 145,09 | 148,91 | 0,0011 | 30,37 | 76,53 | 93,91 | 4,40 | 6,05 |
| 4-3 | 48,94 | 150,25 | 146,17 | 0,0011 | 31,79 | 81,77 | 114,00 | 4,65 | 7,65 |
| 5-3 | 48,62 | 149,58 | 149,49 | 0,0011 | 35,46 | 73,27 | 83,70 | 3,48 | 4,44 |
| 5-4 | 49,33 | 150,94 | 151,09 | 0,0011 | 35,84 | 77,58 | 92,14 | 3,71 | 5,00 |
| 6-1 | 42,57 | 147,39 | 146,66 | 0,0009 | 24,11 | 52,34 | 60,80 | 3,07 | 3,99 |
| 6-2 | 41,25 | 145,24 | 143,42 | 0,0009 | 23,90 | 52,28 | 59,76 | 3,30 | 4,17 |

Tabulka č. 6 – Stanovení dlouhodobé nasákavosti při úplném ponoření



Graf č. 6 – Dlouhodobá nasákavost při úplném ponoření

Měřením se dokázala přímo úměrná závislost času na množství absorbované vody. Z grafu lze vyčíst nasákavost jednotlivých vzorků pěn a zároveň i porovnání 7 denní a 28 denní nasákavosti. Nejvyšší hodnotu nasákavosti, jak po 7 dnech, tak po 28 dnech měly vzorky č. 4-2 a 4-3. Jedná se o PUR pěnu od firmy FOMO a to FOMO 1K var. 3. Naopak nejnižší nasákavost vykazují vzorky od druhu pěny č. 1 a 6, kde se jedná u vzorku č. 1 o pěnu TEKAPUR pistolová pěna celoroční od slovinského výrobce TKK a u vzorku č. 6 o pěnu Berner - Zvukově izolační pěna do spár od německého výrobce Berner.

4 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo najít vhodnou PUR pěnu, která by se hodila pro výstavbu zděných konstrukcí s integrovanou tepelnou izolací. V rámci praktické části práce byly vybrány PUR pěny, které nejsou rozšířeny v oblasti maloobchodu, ale jsou užívány většími specializovanými firmami a nabízeny v oblasti velkoobchodu. Jednalo se o trubičkové PUR pěny od výrobců TKK, Rathor AG a Berner.

Při vytváření vzorků PUR pěn, kdy se pěna aplikovala do forem, občas docházelo především v rozích formy k neúplnému vyplnění formy.

| Druh PUR pěny | ρ_v [kg.m ⁻³] | $\lambda_{průměr}$ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹] | $\sigma_{10\text{ průměr}}$ [kPa] | w_{lt} [%] |
|---------------|-----------------------------------|---|--------------------------------------|-----------------|
| Celoroční | 27,7 | 0,0344 | 26,62 | 4,30 |
| Nízkoexp. | 25,4 | 0,0355 | 30,94 | 4,50 |
| FOMO var. 1 | 24,8 | 0,0359 | 11,80 | 5,36 |
| FOMO var. 3 | 29,2 | 0,0359 | 32,52 | 6,85 |
| FOMO var. 4 | 29,3 | 0,0364 | 26,61 | 4,72 |
| Berner | 24,8 | 0,0355 | 26,05 | 4,08 |

Tabulka č. 7 – Souhrn výsledných hodnot

Ideální PUR pěna by měla mít následující vlastnosti, co nejnižší objemovou hmotnost, nejnižší součinitel tepelné vodivosti, nejnižší nasákavost a nejvyšší hodnotu napětí při 10% deformaci.

Vzhledem k tomu, že hodnocení výsledků u PUR pěn bylo nutné provést v oblasti více kritérií, byla pro celkové vyhodnocení použita metoda profesní multikritériální optimalizace (multikritériálního srovnání). V následující tabulce jsou uvedeny kritéria a naměřené hodnoty u jednotlivých PUR pěn.

| KRITÉRIUM | ROZMĚR | MAX - MIN | Celor. | Nízkoexp. | FOMO var. 1 | FOMO var. 3 | FOMO var. 4 | Berner |
|--------------------------------------|-------------------|-----------|--------|-----------|-------------|-------------|-------------|--------|
| 1. objemová hmotnost | kg/m ³ | min | 27,7 | 25,4 | 24,8 | 29,2 | 29,3 | 24,8 |
| 2. souč. tep. vodivosti | W/m*K | min | 0,0344 | 0,0355 | 0,0359 | 0,0359 | 0,0364 | 0,0355 |
| 3. pevnost v tlaku při 10% deformaci | kPa | max | 26,62 | 30,94 | 11,80 | 32,52 | 26,61 | 26,05 |
| 4. nasákavost | % | min | 4,30 | 4,50 | 5,36 | 6,85 | 4,72 | 4,08 |

Tabulka č. 8 – Souhrn kritérií a výsledků [43]

Pro jednotlivá kritéria byl proveden výpočet váhy. Pro tento výpočet byla použita metoda profesionálního hodnocení. Jednotlivým kritériím na základě jejich významu byly přiřazeny body v rozmezí 1 – 4 (více je lépe). Toto hodnocení vyplývalo z významu jednotlivých vlastností PUR pěn z pohledu jejich využití v oblasti zdiva s integrovanou tepelnou izolací. Nejvyšší význam byl kladen na tepelně izolační a mechanické vlastnosti a nižší význam byl přisouzen objemové hmotnosti a nasákavosti.

| Kritérium | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| Hodnota | 1 | 4 | 4 | 1 |
| Váha f_i | 0,1 | 0,4 | 0,4 | 0,1 |

Tabulka č. 9 – Váha kritérií [43]

Po přiřazení hodnot k jednotlivým kritériím následoval výpočet matice a součet jednotlivých hodnot vah u daných druhů PUR pěn.

| Číslo kritéria | Váha f_i | Celor. | Nízkoexp. | FOMO var. 1 | FOMO var. 3 | FOMO var. 4 | Berner |
|----------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 0,1 | 3,6 | 8,7 | 10 | 0,2 | 0 | 10,0 |
| 2 | 0,4 | 40,0 | 18,0 | 10 | 10,0 | 0 | 18,0 |
| 3 | 0,4 | 28,6 | 37,0 | 0 | 40,0 | 28,6 | 27,6 |
| 4 | 0,1 | 9,2 | 8,5 | 5,4 | 0 | 7,7 | 10,0 |
| Σ | 1,0 | 81,4 | 72,2 | 25,4 | 50,2 | 36,3 | 65,6 |

Tabulka č. 10 – Výpočet matice a celkové váhy [43]

Z vypočtených hodnot vyplývá, že nejvhodnější PUR pěny jsou TEKAPUR pistolová pěna celoroční (All Season), jako druhá se umístila pěna TEKAPUR pěna pistolová nízkoexpanzní a jako třetí pěna Berner zvukově izolační pěna do spár. Z výše uvedeného pokusu jsme vyloučili pěnu TEKAPUR pistolová pěna

nízkoexpanzní, z důvodu vzniku velkých vzduchových kapes. Mezi nejhorší PUR pěny se zařadily pěny FOMO 1K var. 1 a FOMO 2K var. 4.

Na základě výsledků optimalizace se vybraly 2. nejlepší PUR pěny (TEKAPUR pistolová pěna celoroční a TEKAPUR PU - pěna pistolová nízkoexpanzní), které se následně aplikovaly do keramické tvarovky s velkými dutinami. Před aplikací samotné pěny bylo nutné stěny dutin tvarovky navlhčit, aby se z nich odstranily nečistoty a byla podpořena expandace pěny. Následně se aplikovala PUR pěna do dvou třetin výšky dutiny a nechala se naexpandovat. Po 48 hodinách se přebytečná pěna uřezala a povrch tvarovek byl začištěn.



Obrázek č. 14 – Celoroční pěna aplikovaná do keramické tvarovky (vzorek č. 1)



Obrázek č. 15 – Nízko expanzní pěna aplikovaná do keramické tvarovky (vzorek č. 2)

Při pokusu aplikace 2. vybraných PUR pěn (TKK – Celoroční, TKK – Nízko expanzní) do keramické tvarovky s velkými dutinami. Došlo u celoroční pěny k nepřilnutí ke stěnám keramické tvarovky a navíc po několika dnech i k smrštění samotné pěny uvnitř dutiny. Působením zřejmě vzdušné vlhkosti, ale pěna nabyla na objemu a vyplnila otvory. Tento proces byl vidět po 1. - 2. měsíci. Kdyby se chtěly vyrábět keramické tvarovky s integrovanou izolací, kde by byla použita TKK – Celoroční, bylo by za potřebí odležení výrobků minimálně na měsíc.

U nízko expanzní pěny se naopak po odřezání přebytečných částí pěny, objevily velké vzduchové kapsy (viz obrázek č. 15). Z tohoto výsledku lze vyvodit, že pěna není nevhodná pro aplikaci do keramických tvarovek s velkými dutinami. U nízko expanzní pěny by se dalo předejít vzduchovým kapsám, snížením množství nadouvadla ve složení samotné pěny.

Porovnáním výsledků zkoušek všech PUR pěn se nejlépe jeví pěny TEKAPUR pistolová pěna celoroční a pěna Berner - Zvukově izolační pěna do spár, které bych doporučil použít, jako integrovanou tepelnou izolaci pro zděné konstrukce.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DROCHYTKA, Rostislav. *Plastické látky ve stavebnictví*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1998, 122 s. ISBN 80-214-1148-1.
- [2] PYTLÍK, Petr. *Cihlářství*. Brno: CERM, 1995, 264 s. ISBN 80-214-0612-7.
- [3] PŘIBYL, František. *Stavební hmoty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1989, 189 s. ISBN 80-214-1064-7.
- [4] LACH, Vladimír. *Keramika*. 3. vyd. Brno: Nakladatelství VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0332-2.
- [5] NOVÁK. *Nauka o materiálech 10: stavební materiály I*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1997, 178 s. ISBN 80-010-1619-6.
- [6] PYTLÍK, Petr. *Stavební materiály v pozemních stavbách*. Brno: CERM, 1995. ISBN 80-858-6714-1.
- [7] Feske, Bert (October 2004). "The Use of Saytex RB-9130/9170 Low Viscosity Brominated Flame Retardant Polyols in HFC-245fa and High Water Formulations". Polyurethanes Expo 2004. Las Vegas, NV: Alliance for the Polyurethane Industry Technical Conference. p. 309. Retrieved 2007-08-01.
- [8] Ceresana, Market Study: Polyurethanes and Isocyanates, July 2013, <http://www.ceresana.com/en/market-studies/plastics/pur-isocyanates>
- [9] CDC - NIOSH Science Blog - Help Wanted: Spray Polyurethane Foam Insulation Research
- [10] Building Science Corporation (January 2007). "Guide to Insulating Sheathing". p. 6.
- [11] Celotex GA4000. [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.celotex.co.uk/products/ga4000>
- [12] ČSN EN 771-1 ed. 2. Specifikace zdicích prvků – Část 1: Pálené zdicí prvky. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [13] ČSN EN 771-2 ed. 2. Specifikace zdicích prvků - Část 2: Vápenopískové zdicí prvky. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [14] ČSN EN 771-3 ed. 2. Specifikace zdicích prvků - Část 3: Betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem. Praha: Český normalizační institut, 2011.

- [15] ČSN EN 771-4 ed. 2. *Specifikace zdicích prvků - Část 4: Pórobetonové tvárnice*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [16] ČSN EN 771-5 ed. 2. *Specifikace zdicích prvků - Část 5: Zdicí prvky z umělého kamene*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [17] ČSN EN 771-6 ed. 2. *Specifikace zdicích prvků - Část 6: Zdicí prvky z přírodního kamene*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [18] Současné pálené zdicí prvky pro vnější obvodové zdivo a jejich použití. In: [Http://www.asb-portal.cz/](http://www.asb-portal.cz/) [online]. 2010. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobyky/cihly-tvarnice/soucasne-palene-zdici-prvky-pro-vnejsi-obvodove-zdivo-ajejich-pouziti>
- [19] Stavební materiály Keramické stavební materiály, nepálené zdicí materiály, silikátové střešní krytiny. TRINNER. [online]. Dostupné z: <http://www.kme.zcu.cz/download/predmety/175-sm-05b-zdiciprvky.pdf>
- [20] SOUDAL: stavební chemie. [online]. Dostupné z: <http://www.soudal.cz/>
- [21] Den Braven. [online]. Dostupné z: <http://www.denbraven.cz>
- [22] ČSN 73 0540 -1. *Tepelná ochrana budov - část 1: Terminologie*. Praha: ČNI, 2005
- [23] ČSN 73 0540 -2. *Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky*. Praha: ÚNMZ, 2011
- [24] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: ČNI, 2011.
- [25] ČSN EN 823. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení tloušťky*. Praha: ČNI, 2013.
- [26] ČSN EN 12085. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení lineárních rozměrů zkušebních těles*. Praha: ČNI, 2013.
- [27] ČSN EN 1602. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení objemové hmotnosti*. Praha: ČNI, 2013.
- [28] ČSN EN 12667. *Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku - Výrobky o vysokém a středním tepelném odporu*. Praha: ČNI, 2001.
- [29] ČSN 72 7012 – část 3: *Metoda měřidla tepelného toku, metoda desky*. Praha: ČNI, 2004 + ISO 8301

- [30] ČSN EN 826. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Zkouška tlakem*. Praha: ČNI, 2013.
- [31] ČSN EN 12087. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení dlouhodobé nasákavosti při ponoření*. Praha: ČNI, 2013.
- [32] Rumel, Ivo. *Vývoj pokročilých zdicích materiálů s integrovanou tepelnou izolací*. Brno, 2013. 101 s. Diplomová práce.
- [33] Polyuretanové pěny TEKAPUR / PURPEN. [online]. Dostupné z: http://www.okentes.cz/inshop/Layout/Pages/___pdf/Katalog2013/130.pdf
- [34] [online]. Dostupné z: <http://www.hiric-shop.cz/berner-zvukove-izolacni-pena-do-spar-baleni-750ml-cena-za-ks/d-75529/>
- [35] [online]. Dostupné z: http://www.jenseninsulation.com/srvc/service_CoreFoam.aspx
- [36] [online]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/rodinne-domy-z-cihel-porotherm-t-profi-plnenych-mineralni-vatou/>
- [37] [online]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/stavba/stavebni-material/cihlovy-pasivni-dum-udrzi-prijemne-klima-v-lete-i-v-zime-3.aspx>
- [38] [online]. Dostupné z: <http://bydleni.tiscali.cz/dum/rodinne-domy/10398.html>
- [39] [online]. Dostupné z: <http://www.wienerberger.cz>
- [40] [online]. Dostupné z: <http://www.unipor.de/>
- [41] Schlagmann. [online]. Dostupné z: <http://www.schlagmann.de/>
- [42] [online]. Dostupné z: <http://www.zlaty-dum.cz/>
- [43] PYTLÍK, Petr. *Vlastnosti a užití stavebních výrobků*. Brno: VUTIUM, 1998, 399 s. ISBN 80-214-1123-6.

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek č. 1 – Příklady zdicích prvků LD [12]..... | 22 |
| Obrázek č. 2 – Příklady zdicích prvků HD [12] | 22 |
| Obrázek č. 3 – Příklady různých tvarů betonových tvárnic [14]..... | 25 |
| Obrázek č. 4 – Keramická tvarovka plněná minerální vlnou [36]..... | 27 |
| Obrázek č. 5 – Keramická tvarovka plněná polystyrénem [37]..... | 27 |
| Obrázek č. 6 – Keramická tvarovka plněná perlitem [37] | 28 |
| Obrázek č. 7 – Keramická tvarovka plněná perlitem [41] | 28 |
| Obrázek č. 8 – Keramická tvarovka plněná ovčí vlnou [40]..... | 29 |
| Obrázek č. 9 – Tepelné zdivo GT HOTBLOK [42]..... | 29 |
| Obrázek č. 10 – Dřevní štěpka s polystyrénem [38] | 30 |
| Obrázek č. 11 – Zdicí metoda POROTHERM DRYFIX [39] | 30 |
| Obrázek č. 12 – Schéma injektáže PUR pěny do zděné konstrukce [35]..... | 31 |
| Obrázek č. 13 – Obrázky forem..... | 39 |
| Obrázek č. 14 – Celoroční pěna aplikovaná do keramické tvarovky (vzorek č. 1) | 48 |
| Obrázek č. 15 – Nízko expanzní pěna aplikovaná do keramické tvarovky (vzorek č. 2)..... | 49 |

SEZNAM ROVNIC

| | |
|--|----|
| Rovnice č. 1 – Vznik polyuretanu | 16 |
|--|----|

SEZNAM GRAFŮ

| | |
|---|----|
| Graf č. 1 – Přehled naměřených hodnot objemové hmotnosti u jednotlivých zkušebních vzorků PUR pěn | 41 |
| Graf č. 2 – Stanovení součinitele tepelné vodivosti | 42 |
| Graf č. 3 – Vliv objemové hmotnosti na součinitel tepelné vodivosti | 42 |
| Graf č. 4 – Pracovní diagram zkušebních vzorků | 43 |
| Graf č. 5 – Závislost objemové hmotnosti na napětí při 10% deformaci | 44 |
| Graf č. 6 – Dlouhodobá nasákavost při úplném ponoření | 45 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tabulka č. 1 – Vlastnosti polyuretanu [1] | 19 |
| Tabulka č. 2 – Přehled použitých PUR pěn [33], [34] | 38 |
| Tabulka č. 3 – Stanovené hodnoty pro tloušťku, lineární rozměry a objemovou hmotnost | 40 |
| Tabulka č. 4 – Stanovení součinitele tepelné vodivosti | 41 |
| Tabulka č. 5 – Stanovení pevnost v tlaku při 10% deformaci | 43 |
| Tabulka č. 6 – Stanovení dlouhodobé nasákavosti při úplném ponoření | 45 |
| Tabulka č. 7 – Souhrn výsledných hodnot | 46 |
| Tabulka č. 8 – Souhrn kritérií a výsledků [43] | 47 |
| Tabulka č. 9 – Váha kritérií [43] | 47 |
| Tabulka č. 10 – Výpočet matice a celkové váhy [43] | 47 |

SEZNAM ZKRATEK

| | |
|-----|--------------------|
| ČSN | česká státní norma |
| EN | evropská norma |
| PUR | polyuretan |
| PIR | polyisokyanát |