



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VNĚJŠÍ TEPELNÉ IZOLACE A JEJICH ENERGETICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

EXTERNAL THERMAL INSULATIONS AND THEIR ENERGY-ECONOMIC ASSESSMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUBOMÍR SOPŮŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Doc. Ing. MICHAL JAROŠ, Dr.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lubomír Sopůšek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vnější tepelné izolace a jejich energeticko-ekonomické hodnocení

v anglickém jazyce:

External thermal insulations and their energy-economic assessment

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Základní podmínkou nízkých energetických nároků budov je dostatečná tepelná izolace obvodového pláště, která v zimě snižuje spotřebu energie na vytápění, v létě pak na případnou klimatizaci. V současnosti se používají různé zateplovací systémy, které se liší materiálem i tloušťkou izolace. Jejich volba se řídí řadou kritérií (např. technologií instalace, cenou, požárními hledisky atd.). Výsledkem je pak různá velikost energetických úspor.

Cíle bakalářské práce:

Zpracujte přehled současných zateplovacích systémů, porovnejte je z hlediska různých kritérií a proveďte základní energeticko-ekonomický rozbor. Uveďte příklady aplikací s hodnocením jejich přínosu.

Seznam odborné literatury:

Jícha, M.: Přenos tepla a látky. Skripta FSI VUT. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2001.
Vaverka, J. a kol.: Stavební tepelná technika a energetika budov. Vysoké učení technické v Brně, 2006.

Chmúrny, I.: Tepelná ochrana budov. Jaga group, Bratislava, 2003.

Vyhláška ze dne 18. června 2007 o energetické náročnosti budov. Sbírka zákonů č. 148/2008, s. 1855-1879.

Internetový portál TZB-info (www.tzb-info.cz).

Další internetové, časopisecké a jiné zdroje dle vlastního výběru studenta.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 25.11.2013

L.S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je popis současných tepelně izolačních materiálů z hlediska energetického a následné porovnání z hlediska nákladů na jejich pořízení. Součástí je také způsob montáže a výčet výhod a nevýhod jednotlivých materiálů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Teplo, izolace, tepelné ztráty, zateplení

ABSTRACT

The aim of this bachelor theses is description of current thermal insulating materials by energetic aspect and subsequent comparison of the costs of acquisition. There is also included method of assessment and list of advantages and disadvantages of each material.

KEYWORDS

Heat, insulation, heat loss, thermal insulation

Bibliografická citace

SOPŮŠEK, L. *Vnější tepelné izolace a jejich energeticko-ekonomické hodnocení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 30 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Michal Jaroš, Dr..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Doc. Ing. Michala Jaroše Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 30. května 2014

.....

Lubomír Sopůšek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Doc. Ing. Michalu Jarošovi Dr. za věcné a odborné připomínky, rady, doporučení a za trpělivost při konzultacích při vypracovávání této bakalářské práce.

Obsah

Obsah	8
Úvod.....	9
1 Přenos tepla	10
1.1 Kondukce (vedení)	10
1.2 Konvekce (proudění).....	10
1.3 Radiace (záření, sálání)	11
2 Druhy tepelných izolací.....	13
2.2 Dělení dle materiálu	13
2.2.1 Pěnový (expandovaný) polystyren (EPS).....	13
2.2.2 Vytlačovaný (extrudovaný) polystyren (XPS)	14
2.2.3 Pěnový polyuretan (PUR)	14
2.2.4 Pěnové sklo.....	14
2.2.5 Minerální a skelná izolace (skelná a minerální vata)	15
2.2.6 Expandované horniny	15
2.2.7 Celulóza	16
2.2.8 Sláma	16
2.2.9 Konopí	16
2.2.10 Fyzikální vlastnosti tepelné izolačních materiálů	17
3 Zateplovací systémy	18
3.1 Zateplovací systémy Isover	18
3.2 Zateplovací systémy TERMO-KONOPI	20
3.3 Zateplovací systémy ROCKWOOL.....	21
3.4 Zateplovací systémy FOAMGLAS	22
4 Porovnání zateplovacích systémů.....	23
5 Závěr	26
Seznam použitých zdrojů	27
Seznam použitých zkratk a symbolů	30

Úvod

Již od pradávna se člověk snaží zahřát. Je to přirozená reakce vyvinutá nejen u člověka, ale i u zvířat, které k tomuto účelu mají srst, která brání ztrátám tepla a slouží i k ochraně před dalšími vnějšími vlivy. Člověk jako tvor, v porovnání se srstí zvířat, prostosrstý musí hledat jiné způsoby ochrany před těmito vlivy. Pro ochranu před ztrátou tepla se již desetitisíce let používá oblečení, neboli vrstvení látek na povrch lidského těla. Avšak pro vnitřní prostory je takový přístup nepohodlný a od jistého počtu vrstev společensky méně přijatelný, a tak je pro zmírnění ztrát třeba hledat jiný přístup, a sice navýšení teploty okolí, což s sebou nese jistá úskalí.

Pro zvýšení vnitřních teplot budov je potřebný zdroj tepla, kterým po většinu lidské historie byl oheň, ten ale může být nebezpečný jak z hlediska škod materiálních, tak z hlediska škod na lidském zdraví a životech, a to jak přímo, např. z hlediska popálenin vlivem žáru, tak i nepřímo, např. otrava vdechnutím spalin, kvůli čemuž se toto spalování paliv přesunuje mimo obývané objekty pod kontrolu pracovníků vyučených k tomuto účelu.

Samotný výhřev avšak nestačí, teplo je třeba v místnostech a budovách udržet, k tomuto účelu stavíme domy z různých stavebních materiálů, ze dřeva, betonu (železobetonu), hlíny, pálených i nepálených cihel, v dřívějších dobách kameny, a spousta dalších materiálů, které mají nejen z tepelného hlediska různé vlastnosti.

Při použití stavebních materiálů s ne zcela dobrými tepelně izolačními vlastnostmi je třeba unikům tepla zabránit jinými způsoby, a podobně jako si naši prapředci začali na sebe oblékat více vrstev oblečení se i my snažíme „obléci“ naše budovy do jejich oblečení – izolačních materiálů, které taktéž brání unikům tepla, ale i chrání povrch budov před povětrnostními a dalšími vlivy. Použití takových materiálů je ale třeba pečlivě zvážit, jak z hlediska vzhledu budov, který je zajisté pro mnoho lidí důležitý, ale především z hlediska jeho funkčnosti a ceny, která je vždy až na prvním místě.

V této práci se tedy na začátku budeme zabývat základními způsoby přenosu tepla, abychom věděli, jak se nám teplo přenáší, a jak tedy můžeme snížit ztráty tepla. Následně se dozvíme o materiálech používaných pro zateplení budov, jaké jsou jejich fyzikální vlastnosti důležité pro naši oblast zájmu, na co je třeba si dát při jejich výběru pozor a s čím počítat do budoucna. Poté bude následovat výběr dnes používaných systémů, upřesnění fyzikálních parametrů, určení způsoby montáže a v jaké formě jsou dodávány. Po tomto kroku bude následovat porovnání nákladů na montáž jednotlivých izolací, a na konec proběhne zhodnocení, jehož cílem je určit, která izolace má nejmenší náklady na ušetření tepelné energie.

1 Přenos tepla

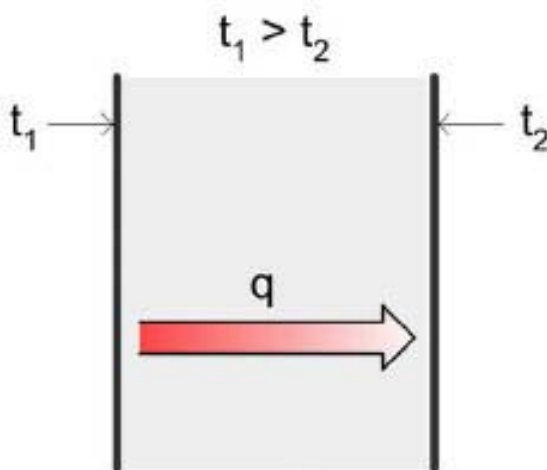
Pro pochopení problematiky ztrát tepla je třeba znát principy a způsoby přenosu tepla. Přenos tepla je popsán především tepelným tokem. Jde o veličinu, která definuje, kolik tepelné energie je přeneseno za jednotku času, přičemž tento přenos probíhá od částic s vyšší energií k částicím s nižší energií.

V současné době rozeznáváme tři způsoby přenosu tepla.

1.1 Kondukce (vedení)

Jde o přenos energie mezi částicemi. Může jít o molekuly (plyn, kapalina) či atomy (tuhé látky). K vedení tepla dochází díky pohybu elektronů mezi pevně fixovanými, nepohybujícími se molekulami tuhé látky či pohybem molekul u látek kapalných a plyných. Pouze v případě existence teplotního gradientu (rozdílu teplot) dochází k přenosu tepla, a sice ve směru klesající teploty. Tento přenos významně ovlivňuje tloušťka materiálu d , rozdíl teplot na jednotlivých stranách tohoto materiálu ΔT , velikost plochy S a taktéž součinitel tepelné vodivosti λ . Vztah pro ustálený tepelný tok $\dot{Q}$ je pak popsán následujícím vztahem, který vychází z Fourierova zákona [1] [2]:

$$\dot{Q} = \frac{S \cdot \lambda \cdot \Delta T}{d} [W]$$



Obr.1: Kondukce [3]

1.2 Konvekce (proudění)

Jde o mechanismus, při kterém je tepelný tok přenášen především mezi povrchem tělesa (v našem případě budovy) a okolní tekutinou (v našem případě vzduchem). Směr proudění závisí na teplotách tělesa a tekutiny.

K uskutečnění tohoto přenosu je třeba dvou mechanismů, tím prvním je náhodný pohyb molekul, neboli difuze, což je nazýváno KONdukci. Druhým mechanismem je pohyb tekutiny z makroskopického hlediska, neboli kolektivní pohyb velkého množství molekul, což nazýváme adVEKCE. Pojem konvekce pak vznikl pouhým spojením částí názvů těchto mechanismů, protože přenos energie je dán superpozicí těchto dvou mechanismů.

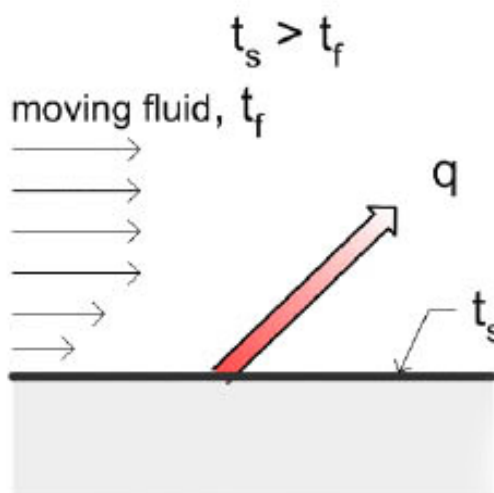
Dle geometrie soustavy rozlišujeme konvekci při proudění vnitřním, ke které dochází např. u proudění v trubkách, kanálech, válcích spalovacích motorů, zkrátka tam, kde je kapalina „uvězněna“ stěnami, a na konvekci při proudění vnějším, např. u obtékání trubek zvenčí,

obtékání lopatek turbín, karoserie automobilů, a co nás zajímá nejvíce – u obtékání povrchu budov.

Konvekci rozlišujeme na dva základní druhy. Tím prvním je konvekce přirozená, kde hnací silou je objemová změna způsobena teplotními rozdíly a je v podstatě mimo naši kontrolu, protože je dán povahou tekutiny. Druhým druhem je konvekce nucená, při které uvádíme tekutinu do pohybu umělým vyvoláním (např. ventilátorem) a je zcela pod naší kontrolou. Tento druh konvekce má pro nás větší význam, neboť nachází uplatnění při celé řadě technologických procesů jako je např. chlazení jaderných reaktorů či domácí klimatizace.

Tepelný tok $\dot{Q}$ u konvekce je ovlivněn rozdílem teplot obtékaného tělesa T a okolního tekutiny T_f , dále pak plochou tělesa S a součinitelem přenosu tepla α , který je velmi významně ovlivněn faktory při konvekci, jako jsou vlastnosti tekutiny, tvar obtékaného tělesa, rychlost proudění a mnoho dalších, a proto jej není jednoduché určit. Vztah pro výpočet tepelného toku je pak určen následujícím vztahem [1] [2]:

$$\dot{Q} = S \cdot \alpha \cdot (T - T_f) [W]$$



Obr.2: Konvekce [3]

1.3 Radiace (záření, sálání)

Jde o vyzařování (emitaci) tepelné energie z povrchu tělesa či z tekutin ve formě elektromagnetického záření. Toto vyzařování probíhá u každého tělesa s teplotou vyšší než 0 [K]. Tento druh přenosu tepla nevyžaduje přímý styk dvou prostředí či těles, avšak vyžaduje přímé „vizuální spojení“ zjednodušeně řečeno musí být z povrchu jednoho tělesa (tekutiny) vidět na povrch druhého tělesa (tekutiny).

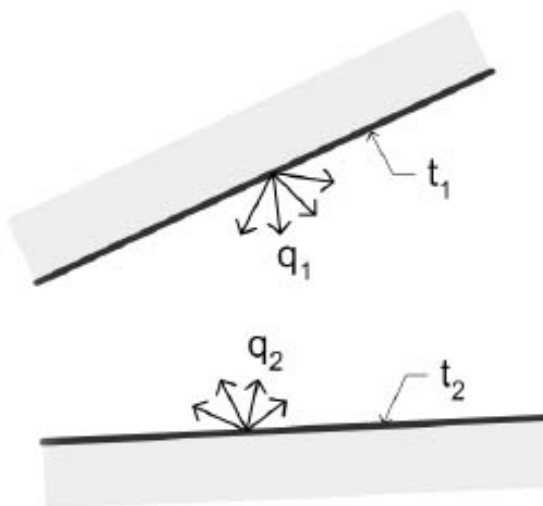
Přenos tepla probíhá oběma směry, a výsledný tok závisí pouze na tom, které těleso vyzáří více tepelné energie

Celková zářivost tělesa E_0 je dána Stefan-Boltzmannovou konstantou o hodnotě přibližně $\sigma = 5,67 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}]$, čtvrtou mocninou absolutní teploty tělesa T . Při výpočtu zářivosti reálného tělesa je nutno ještě finální vztah vynásobit emitancí ε , která udává, jaký podíl teoretické vyzážené energie ideálního zářiče, který je pojmenován jako absolutně černé těleso, skutečné těleso vyzařuje. Při zvážení všech těchto faktorů se pak zářivost vypočítá následujícím vztahem:

$$E_0 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 [W \cdot m^{-2}]$$

Pro výpočet předané energie při záření je nutné nejen zvážit, kolik energie vyzáří samotné zářící těleso, ale také, kolik energie toto těleso přijme ze svého okolí, v takovém případě nepočítáme se čtvrtou mocninou teploty tělesa, ale s rozdílem čtvrtých mocnin tělesa T a teploty okolí T_{∞} . Tok tepla je pak určen vztahem [1] [2]:

$$E_0 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_{\infty}^4) [W \cdot m^{-2}]$$



Obr.3: Radiace [3]

2 Druhy tepelných izolací

Tepelné izolace neboli materiály s nízkou tepelnou vodivostí, je možné dělit dle více kritérií: dle použití, dle materiálu. Tím základním je dle jejich použití především na stavební, topenářské a průmyslové, přičemž každá z těchto kategorií má rozdílné požadavky na odolnost vůči teplotám, mechanickému a chemickému poškození, čemuž odpovídá i rozsah používaných materiálů. Nadále se budu zabývat pouze izolacemi stavebními [4].

Rozdělení stavebních tepelných izolací je možné dle prostředí, které izolujeme. Takto můžeme izolovat základy budovy od ztrát do okolní půdy, vnější stěny budov od atmosféry, či navzájem místnosti a podlaží budov. Tepelné izolace je taktéž možné kombinovat např. s izolacemi akustickými, což je žádoucí u kanceláří, sálů kin a divadel či poslucháren škol [5].

Tepelné izolace se nadále dělí dle použitého materiálu.

2.2 Dělení dle materiálu

V současné době je moderní dělit vše dle původu na přírodní a umělé. Totéž platí u dělení materiálů tepelných izolací. Důvody jsou prosté, jednak jsou tyto materiály dostupné, dají se nalézt na mnoha místech světa a ve velké míře a taky jde o snížení zátěže životního prostředí. Jsou to taktéž nejstarší používané tepelné izolační materiály, především jde o seno, slámu či lišejníky. Později, přibližně v polovině šedesátých let minulého století, se začaly používat plasty, používaly se především ve spodních částech budov, dnes jsou ale používány hojně a jde o ty nejpoužívanější tepelné izolační materiály. [6]

Existuje pestrá škála materiálů tepelných izolací, od těch nejpoužívanějších až po ty zřídka užívané, následuje výběr těch více používaných, při kterém bylo využito zdrojů [4] [6] [8] [9] [10].

2.2.1 Pěnový (expandovaný) polystyren (EPS)

Jedná se o nejznámější materiál tepelné izolace. Používá se ve formě bloků, které jsou lepeny, popř. mechanicky kotveny, na budovy či zřídka jako plnivo lehčených betonů či omítek ve formě sypaných kuliček. Jde o levný a dobře tepelné izolující materiál, ale akustická izolace tohoto materiálu je jeho slabou stránkou, stejně tak jeho schopnost propouštět vodní páru (difuzní odpor). Mezi běžné využití patří zateplení obvodových stěn, střech, podlah a vnitřních konstrukcí. Je to hořlavý materiál, ale je dodáván jako samozhášivý.



Obr.4: Expandovaný polystyren [7]

2.2.2 Vytlačovaný (extrudovaný) polystyren (XPS)

Jde o dražší materiál než EPS a je náchylný na UV záření, avšak má vyšší pevnost v tahu, nižší nasákavost a hůře vede teplo. Dodává se ve formě desek s polodrážkou či hranou, používá se při izolaci soklů, základů či obrácených střech (tepelná izolace je umístěna nad vodotěsnou izolací). I tento materiál je hořlavý, proto je nutné použití zpomalovačů hoření



Obr.5: Polystyren XPS [6]

2.2.3 Pěnový polyuretan (PUR)

Jde buď o měkkou PU pěnu (molitan), tvrdé desky různých tvarů (PUR) či o stříkanou izolační pěnu. Používají se pro izolaci plochých střech, stavebních detailů, obvodů okenních rámců, střech, stěn, či spár a těžko přístupných míst. Má dobré tepelně izolační vlastnosti, dobře přiléhá k povrchům, má vysokou pevnost v tahu, malou nasákavost a je odolná vůči plísním a houbám. Nevýhodou je nerovnoměrná tloušťka, nerovný povrch a poměrně vysoká cena.



Obr.6: Pěnový polyuretan PUR s povrchovou hliníkovou fólií [6]

2.2.4 Pěnové sklo

Pomocí práškového uhlí napěněná sklovina. Má vysokou pevnost při nízké hustotě a díky uzavřeným pórům těsní vodu a páru. Je to materiál nehořlavý a odolává teplotám od -

260°C do 430°C. Používá se jako izolace bazénů, saun, pochozí teras a střech, izolace komínů, obvodových zdí atd.



Obr.7: Pěnové sklo [10]

2.2.5 Minerální a skelná izolace (skelná a minerální vata)

Jsou to levné tepelně izolační materiály, které mají vhodné vlastnosti, jde o odolnost vůči vysokým teplotám, což brání požáru, menší difuzní odpor, což dovoluje páře pronikat izolací a budově tak „dýchat“, izolace je pružná, a tak ji lze lehce upravit do požadovaného tvaru a taktéž ji lze použít jako akustickou izolaci. Nevýhodou je vyšší energetická náročnost výroby, což v době trendů šetření energiemi je trnem v oku některých zákazníků, a také zdravotní rizika při manipulaci s touto izolací, ostrá a tenká vlákna dráždí kůži, oči a při vdechnutí plíce, proto je doporučeno při manipulaci používat rukavice a respirátor. Při styku s vlhkostí ztrácí své vlastnosti, a tak nejsou vhodné do prostor s vysokou vlhkostí.



Obr.8: Minerální vata je u nás především využívána k izolaci střech[4]

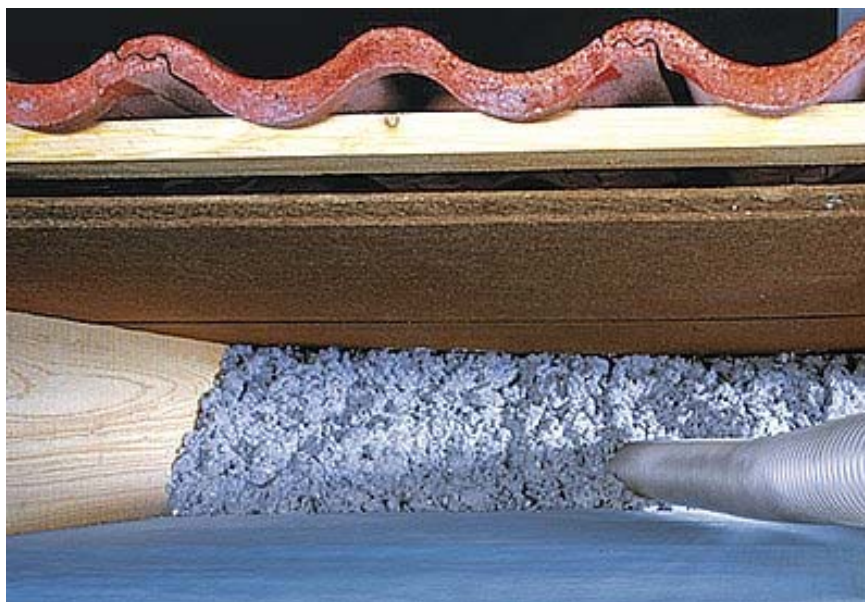
2.2.6 Expandované horniny

Používají se jako volné sypaná izolace aplikované formou zásypů či příměsí v betonu a omítkách. Jde především o perlit, amorfni křemičitan hlinitý, ze kterého se vyrábějí drobné duté

zrna zahřátím na 900-1300 °C, což jej nutí expandovat. Tento materiál je stálý, nehořlavý, netoxický, lehký, nehnije a není napadán škůdci, ale je jen nutno upravit, aby byl schopen odolávat vlhkosti.

2.2.7 Celulóza

Jedná se o starý papír, který je nadrcen a namlet a poté aplikován foukáním či sypáním do dutin, přičemž je vhodné hmotu ztuhnout při použití v šikmých a vertikálních plochách, jelikož materiál si sedá. Používá se především v dřevostavbách a pasivních domech i přes jeho horší tepelné izolační vlastnosti.



Obr.9: Foukáním celulózy lze vyplnit i hůře dostupné dutiny [4]

2.2.8 Sláma

Jako tepelně izolační materiály jsou používány též lisované balíky či desky slámy, které mohou být povrchově upraveny. Díky způsobu výroby vzniká velké vnitřní pnutí, které izolaci dodává ochranu proti škůdům a částečně i proti požáru. Kvůli větším vláknům má trochu horší tepelně izolační vlastnosti, které jsou ovšem vyvažovány nízkou cenou a recyklovatelností.

2.2.9 Konopí

Konopí je hojně používané jako technický materiál, jeho pěstování je totiž málo náročné na péči, roste rychle (ve srovnání s dřevinami), nepožaduje chemický postřik, redukuje CO₂ a zachovává kvalitní půdu. Jsou vyráběny jako rouno, ve formě desek i jako sypaná či foukaná izolace. Konopí je schopno vázat vlhkost, není náchylné na napadení škůdci či hnilobou, mají dobrou protipožární odolnost a propouštějí páru. Tepelná vodivost je srovnatelná s expandovaným polystyrenem.



Obr.10: Desky z technického konopí [7]

2.2.10 Fyzikální vlastnosti tepelné izolačních materiálů

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda = [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	Difuzní odpor $\mu = [-]$	Porovnatelná tloušťka při stejném tepelném odporu ($R = 2,5(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$) [cm]	Energetická náročnost výroby
EPS	0,04	20-100	10	Vysoká
XPS	0,03	80-200	7,5	Velmi vysoká
Polyuretan	0,03	30-100	7,5	Vysoká
Minerální a skleněné vlákno	0,04	1-2	10	Nízká
Pěnové sklo	0,04	Parotěsné	10	Velmi vysoká
Kerazmit	0,085	3	21	Velmi vysoká
Perlit	0,06	1-4	15	Nízká
Vermikulit	0,07	3-4	18	-
Dřevěná vlna	0,1	3-6	25	Vysoká
Dřevěná vlákna	0,04	4-9	10	Vysoká
Celuóza	0,04	1,5	10	Nízká
Kokosová vlákna	0,05	1-2	13	Nízká
Korek	0,05	1,5-30	13	Vysoká
Ovčí vlna	0,04	1-2	10	Nízká
Konopí	0,04	1	10	Nízká
Len	0,04	1	10	Nízká
Bavlna	0,04	1-2	10	-

Tab.1: Fyzikální vlastnosti tepelně izolačních materiálů [8]

3 Zateplovací systémy

Pro aplikaci tepelné izolace na povrch budovy je třeba použít různé způsoby přichycení na povrch stěny. K tomuto účelu je možné přilepit izolaci ke stěně pomocí lepící hmoty či ji přikotvit mechanicky pomocí hmoždinek. Protože jsou tepelně izolační materiály většinou nepříliš odolné, ať již vůči mechanickým vlivům či vlivům počasí, bývají tyto materiály ještě chráněny výstužnou vrstvou tvořenou sítěkovací hmotou a výstužnou tkaninou (perlínka), na což je následně aplikována omítka [11].

3.1 Zateplovací systémy Isover

Firma Isover je největší výrobce izolačních materiálů u nás působících, a nabízejí izolace tepelné, akustické a protipožární. Z tepelně izolačních materiálů používají polystyrén, a to jak expandovaný (EPS), tak extrudovaný (XPS), a minerální, skleněné a čedičové, vlákna [12].

Izolace Isover www.isover.cz	Konstrukce	Součinitel prostupu tepla U Tloušťka tepelné izolace d ¹⁾	NÁKLADOVÉ OPTIMUM (Doporučené hodnoty)		TÉMĚŘ NULOVÉ DOMY (Doporučené hodnoty pro pasivní domy)	
			rekonstrukce ²⁾	novostavby ¹⁾	téměř nulové budovy ³⁾	multi-komfortní dům ⁴⁾
	Střešní plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně Strop s podlahou nad venkovním prostorem	U (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	0,16.....0,16		0,15.....0,10	
		d (mm)	260.....260		280.....430	
	Střešní strmá se sklonem nad 45°	U (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	0,20.....0,19		0,18.....0,12	
		d (mm)	210.....220		240.....350	
	Strop pod nevytápěnou půdou (se střešou bez tepelné izolace)	U (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	0,20.....0,18		0,15.....0,10	
		d (mm)	210.....240		280.....430	
	Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	U (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	0,40.....0,35		0,30.....0,20	
		d (mm)	100.....120		140.....210	
	Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	U (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	0,50.....0,44		0,38.....0,25	
		d (mm)	80.....90		110.....170	
	Stěna vnější těžká Stěna k nevytápěné půdě (se střešou bez tepelné izolace) těžká	U (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	0,25.....0,22		0,18.....0,12	
		d (mm)	170.....190		240.....350	
	Stěna vnější lehká Stěna k nevytápěné půdě (se střešou bez tepelné izolace) lehká	U (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	0,20.....0,19		0,18.....0,12	
		d (mm)	210.....220		240.....350	
	Stěna mezi sousedními budovami	U (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	0,70.....0,60		0,50.....0,50	
		d (mm)	60.....70		80.....80	
	Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	U (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	0,30.....0,26		0,22.....0,15	
		d (mm)	140.....160		190.....280	
	Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině	U (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	0,60.....0,53		0,45.....0,30	
		d (mm)	70.....80		90.....140	

Obr.11: Orientační tloušťky izolací v konstrukcích dle katalogu Isover [13]

Firma Isover nabízí polystyrenové zateplovací desky z polystyrenu expandovaného (EPS) i extrudovaného (XPS), do následujícího srovnání byly vybrány desky z expandovaného polystyrenu Isover EPS 70F. Na stěny se umísťují pomocí systému ETICS, což jsou vnější kontaktní zateplovací systémy s mechanickým kotvením a doplňkovým lepením. Tyto izolace mají hodnotu součinitele tepelné vodivosti $\lambda=0,039 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ [14].



Obr.12: Tepelná Izolace Isover EPS 70F [14]

Dále byla do srovnání vybrána izolace z extrudovaného polystyrenu Synthos XPS Prime 30 L. Tato izolace je ve formě desek vznikajících během lisování a zpěňování. Má nízkou hustotu a jemnou strukturu pěny. Obsahuje těž prostředek zabraňující vzplanutí, čímž zlepšuje protipožární bezpečnost. Součinitel tepelné vodivosti má rozsah $\lambda=0,035-0,038 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ [15].



Obr.13: Tepelná izolace Synthos XPS Prime 30 L [15]

Do srovnání jsme si taktéž vybrali izolaci z minerální vaty s podélným vláknem Isover TF Profí, montované na soudržný a pevný podklad stěny lepením a mechanickým kotvením, se součinitelem tepelné vodivosti o velikost $\lambda=0,036 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ [16].



Obr.14: Tepelné izolace Isover TF Profi [16]

3.2 Zateplovací systémy TERMO-KONOPI

Společnost IZOLACE KONOPI s.r.o. dováží do České a Slovenské republiky izolace z technického konopí od roku 2008 bavorské firmy Hock GmbH. & Co. KG, která má zkušenosti s výrobou takové izolace od roku 1999, čemuž předcházely dva roky výzkumu použití technického konopí po zlegalizování pěstování tohoto materiálu v sousední Spolkové republice Německo [17].

Firma má v nabídce trojici izolací z technického konopí. Jsou jimi TERMO-KONOPI DUO, PLUS a PREMIUM které jsou prodávány ve formě desek i rolí, což umožňuje jejich ohyb, a izolaci i stěn složitějších tvarů. Montáž může být prováděna vkládáním jednotlivých desek mezi kovové sloupky a následné vložení parobrzdy a připevnění jílové desky. Tyto izolace se vyznačují součinitelem tepelné vodivosti o velikosti $\lambda=0,040 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ [18].



Obr.15: TERMO-KONOPI DUO ve formě desek a role [18]

3.3 Zateplovací systémy ROCKWOOL

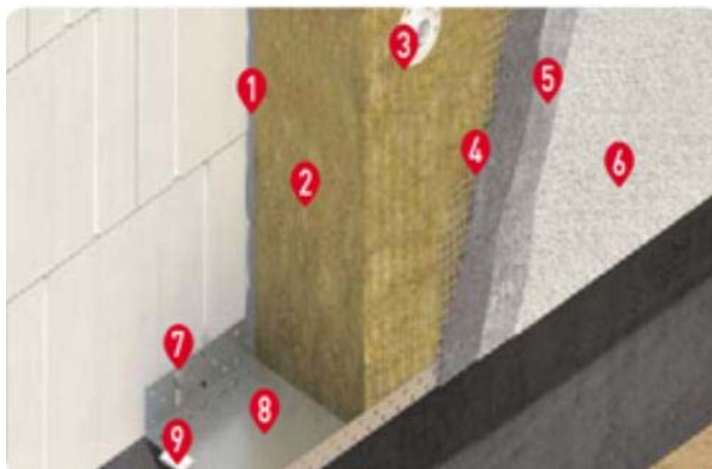
Společnost ROCKWOOL, a.s. začala na českém trhu působit v roce 1993. Patří do skupiny ROCKWOOL, což je přední světový výrobce izolace z kamenné vaty, které jsou určeny pro izolaci tepelnou, akustickou či protipožární pro obytné budovy, průmyslové objekty, nákupní centra a technické instalace. Všechny izolace z kamenné vaty se vyznačují nízkým součinitelem tepelné vodivosti, nehořlavostí, což zvyšuje požární bezpečnost, a snížením přenosu hluku skrze zdi. Společnost dodává izolace ve formě desek, rolí a izolačních pouzder na potrubí. [19]

Jako první produkt této firmy byla vybrána kamenná izolace Frontrock MAX E, která se používá na tepelnou izolaci staveb, současně ale snižují akustickou zátěž, a zvyšují protipožární bezpečnost. Jedná se o dvouvrstvou izolaci ve formě desky, na jejímž povrchu je tvrdá vrstva o tloušťce 20mm, při montáži směřovaná ven od fasády, což zvyšuje odolnost vůči mechanickému namáhání. Na stěny se umísťují pomocí systému ETICS, což jsou vnější kontaktní zateplovací systémy s mechanickým kotvením a doplňkovým lepením. Vyznačuje se součinitelem tepelné vodivosti o velikost $\lambda=0,036 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ [20].



Obr.16: Tepelná izolace z kamenné vaty ROCKWOOL [20]

Dalším vybraným produktem je kamenná izolace Fasrock, což je opět izolace ve formě desky, která kombinuje protipožární, akustickou a tepelnou izolaci a je montována systémem ETICS, tedy mechanicky kotvena s doplňkovým lepením. Obsahuje vlákna orientovaná převážně rovnoběžně s povrchem desky. Pro tuto izolaci je součinitel tepelné vodivosti závislý na tloušťce desky, pro desku o tloušťce $d < 40 \text{ mm}$ má součinitel tepelné vodivosti hodnotu $\lambda=0,041 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, pro desky o tloušťce $d \geq 40 \text{ mm}$ je $\lambda=0,039 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ [21].



Obr.17: Montáž izolace Fasrock: 1) lepidlo, 2) izolace Fasrock či Frontrock, 3) kotvicí prvek, 4) základní vrstva (stěrková hmota s výstužnou sítí), 5) penetrační nátěr, 6) strukturovaná omítka, 7) kotvicí prvek soklové lišty, 8) soklová lišta, 9) spojka soklové lišty [21]

Jako další produkt firma Rockwool nabízí izolaci Fasrock LL, která se od izolace Fasrock liší orientací vláken převážně kolmo k povrchu desky, což umožňuje jejich ohyb a tak izolovat i zaoblené stěny. Tuto izolaci je možno montovat celoplošným lepením s možností doplňkového kotvení. Součinitel tepelné vodivosti je $\lambda=0,041 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ [22].

3.4 Zateplovací systémy FOAMGLAS

Jako oficiální zástupce výrobce pěnového skla FOAMGLAS působí v České republice odborný velkoobchod AZ FLEX, a.s. Tato společnost byla založena v roce 1993 a zaměřuje se také na kompletní technický servis včetně poradenství a školení. V roce 1997 se začala rozšiřovat i do dalších zemí, a od té doby má pobočky v Polsku, na Slovensku, v Maďarsku a Rumunsku. V současnosti působí jako přední firma v oboru technických izolací a působí na odborných veletrzích v celé Evropě [23].

Vybraným produktem této firmy jsou desky FOAMGLAS WALL BOARD W+F, což jsou desky z pěnového skla, které jsou vhodné pro fasády, stěny a podhledy či vnitřní izolace s přízdívkou a jsou schopny těsnit vodu, jsou odolné proti chemickým vlivům, díky nehořlavosti zvyšují požární bezpečnost a mají stálý tvar. Součinitel tepelné vodivosti je nejvýše $\lambda=0,038 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ [24].



Obr.18: Pěnové sklo FOAMGLAS WALL BOARD W+F [24]

4 Porovnání zateplovacích systémů

Jednotlivé systémy budou porovnány následovně. Bude zvolena hodnota tepelného odporu $R=d/\lambda$ [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$], který vyjadřuje míru proti úniku tepla konstrukcí o ploše 1 m^2 při rozdílu teplot 1 K , následně bude tato hodnota vynásobena součinitelem tepelné vodivosti λ pro každou vybranou izolaci, čímž získáme minimální tloušťku izolačního materiálu. Poté budou zjištěny ceny jednotlivých izolací za 1 m^2 [25].

Při pohledu na zvolené izolace vidíme, že součinitel tepelné vodivosti se pohybuje kolem hodnoty $\lambda=0,040 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, což spolu s tloušťkou vzorové izolace $d=100 \text{ mm}$ bude tvořit základ pro požadovanou hodnotu tepelného odporu $R=2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Následně vypočteme minimální požadovanou tloušťku $d_p=R/\lambda$ [m]. Při výpočtu požadované tloušťky si musíme dát pozor na izolaci Fasrock, která má různý součinitel tepelné vodivosti v závislosti na tloušťce izolace. U izolací, u kterých je uveden rozsah součinitele tepelné vodivosti, je tloušťka počítána z horní meze rozsahu (tj. izolace lépe vede teplo), aby byl daný tepelný odpor zaručen, ze stejného důvodu jsou tloušťky izolace zaokrouhleny na nejbližší vyšší tloušťku dodávaných desek, není-li požadovaná tloušťka dodávána

Izolační systém	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Vypočtená tloušťka $d_p=R/\lambda$ [mm]	Cena izolace za 1 m^2 dané tloušťky
Isover EPS 70F	0,039	97,5	$d=100 \text{ mm}$ 252,89 Kč [14]
Synthos XPS Prime 30 L	0,038	95	$d=100 \text{ mm}$ 544,50 Kč [15]
Isover TF Profi	0,036	90	$d=100 \text{ mm}$ 532,40 Kč [16]
TERMO-KONOPI DUO	0,040	100	$d=100 \text{ mm}$ 350,90 Kč [18]
Frontrock MAX E	0,036	90	$d=100 \text{ mm}$ 217,80 Kč [26]
Fasrock	0,041 pro $d < 40 \text{ mm}$	102,5	NE
	0,039 pro $d \geq 40 \text{ mm}$	97,5	$d=100 \text{ mm}$ 272,30 Kč [27]
Fasrock LL	0,041	102,5	$d=120 \text{ mm}$ 250,47 Kč [28]
FOAMGLAS WALL BOARD W+F	0,038	95	NE $d=100\text{mm}$ 1165,67 Kč [29]

Tab.2: Porovnání izolačních systémů z hlediska nákladů při stejném tepelném odporu

Z tabulky je patrné, které izolace samotné vycházejí draž a které levněji. Je také vidět, že izolace Fasrock vyrábějící se ve dvou rozsazích tloušťky vyhovuje zadaným parametrům pouze v rozsahu vyšším, který je schopen lépe izolovat teplo. Také je patrný veliký cenový rozdíl při použití materiálu z pěnového skla Foamglas Wall Board W+F, který je cca dvakrát dražší, než druhý nejdražší materiál – minerální vata Synthos XPS Prime 30 L, a více než pětkrát dražší, než materiál nejlevnější – kamenná vata Frontrock MAX E.

K nákladům na izolaci je ovšem nutné připočíst náklady na montáž, to znamená použití lepidla, stěrčovací hmoty, kotvicích hmoždinek, výstužné tkaniny (perlinky) a omítky.

Jako první začneme s hmoždinkami, kterých se na 1 m² spotřebuje dle uspořádání, podkladového materiálu a množství lepidla od 4 do 16 kusů. Cena hmoždinek se pak pohybuje dle materiálu hmoždinky, průměru talíře, provedení (narážecí či šroubovací), délky a materiálu trnu od 1,3 Kč za kus po 98,5 Kč za kus, což odpovídá prodražení 1 m² zateplení o 5,3 Kč až 1575 Kč, což přesahuje cenu samotných izolací i několikanásobně [30].



Obr.19: Taliřová hmoždinka s plastovým trnem Alsta Classic 10x200 [30]

Protože je na trhu enormní množství stěrkových a lepicích hmot, tak jsem si vybral hmotu Extherm Fix U universal, která je vhodná pro lepení a stěrkování tepelných izolačních desek z expandovaného (EPS) i extrudovaného (XPS) polystyrenu a taky fasádních desek z minerální vaty s příčným i podélným vláknem. Cena za 1 kg hmoty je 6,2 Kč, která se míchá s vodou, ale vzhledem k ceně kohoutkové vody kolem 8 haléřů za litr, který vystačí na 4 kg hmoty, můžeme toto drobné zdražení, vzhledem k ceně izolací, zanedbat. Spotřeba a cena hmoty na stěrkování a lepení 1 m² jednotlivých izolací je 3,5+3,5 kg, tj. 43,7 Kč, pro polystyrén, 5+5 kg, tj. 62,4 Kč, pro minerální vatu s příčným vláknem a 5+7 kg, tj. 74,9 Kč, pro minerální vatu s podélným vláknem [31] [32].



Obr.20: Obal vybraného lepidla a stěrkové hmoty [31]

Při stěrkování je nutné svrchní vrstvu izolace vyztužit mřížkovou tkaninou, neboli perlinkou, kvalita a správná aplikace této tkaniny má totiž významný vliv na životnost celé izolace. Cena perlinky se pohybuje dle textury mřížky a materiálu tkaniny od 12,6 Kč do 50 Kč za 1 m² s tím, že je nutné připočítat drobné zdražení kvůli stylu nanášení perlinky, kdy se musí navazující kusy překrývat o alespoň 100 mm, což přináší zdražení tohoto prvku o přibližně 10% ceny tkaniny [33].



Obr.21: Textura fasádní a pancéřové perlinky firmy Vertex [33]

Vrchní vrstva izolace je tvořena omítkou, pro naše porovnání byla vybrána ručně zpracovatelná omítka Baumit Manu 1 s cenou 3,07 Kč/kg. Tloušťka omítky je volena 10 mm, na což bude spotřebováno 16 kg hmoty na 1 m², při ceně za tuto plochu 49,12 Kč. Spotřeba vody je přibližně stejná jako u lepidla a stěrkovací hmoty, tudíž je její cena zanedbatelná [34].

Pro porovnání cen 1 m² izolací z minerální vaty a polystyrenu bylo použito osm kusů talířových hmoždinek s plastovým trnem Alsta Classic 10x200 pro podkladové materiály z betonu, plných cihel, tvárnic vápencových a z lehčeného betonu, mezerovitého lehčeného betonu a pórobetonu v celkové ceně 22,56 Kč, mřížková tkanina Extherm sklotextilní síťovina 165g v ceně 17,61 Kč za m² s navýšením 10% na přesahy. Omítka, lepidlo a stěrkovací hmota bude použita z předchozího výčtu [30] [33].

Izolační systém	Cena izolace za 1 m ² dané tloušťky	Cena hmoždinek	Cena lepidla a stěrkovací hmoty	Cena mřížkové tkaniny	Cena omítky	Celková cena
Isover EPS 70F	252,89 Kč	22,56 Kč	43,70 Kč	19,37 Kč	49,12 Kč	387,64 Kč
Synthos XPS Prime 30 L	544,50 Kč	22,56 Kč	43,70 Kč	19,37 Kč	49,12 Kč	679,25 Kč
Isover TF Profi	532,40 Kč	22,56 Kč	62,40 Kč	19,37 Kč	49,12 Kč	685,85 Kč
Frontrock MAX E	217,80 Kč	22,56 Kč	62,40 Kč	19,37 Kč	49,12 Kč	371,25 Kč
Fasrock	272,30 Kč	22,56 Kč	62,40 Kč	19,37 Kč	49,12 Kč	425,75 Kč
Fasrock LL	250,47 Kč	22,56 Kč	74,90 Kč	19,37 Kč	49,12 Kč	416,42 Kč

Tab.3: Porovnání celkových nákladů na 1 m² vybraných izolací

Z výčtu celkových nákladů vyplývá, že nejlevnější izolací je kamenitá vlna Frontrock MAX E, avšak izolace z expandovaného polystyrenu Isover EPS 70F není o moc dražší. Na opačném konci se nachází izolace Isover TF Profi z minerální vlny s cenou o 84 % nárůsem oproti nejlevnější izolaci a opět tady není velký rozdíl oproti druhé nejdražší izolaci Synthos XPS Prime 30 l z extrudovaného polystyrenu. Ceny jsou pouze za izolaci a další materiály potřebné k její montáži, neobsahují cenu úpravy povrchů, malbu či montážní nářadí a náčiní, například cenu za pronájem lešení, protože tyto náklady se můžou při různých stavbách velmi výrazně lišit.

5 Závěr

Úkolem této práce byl sestavit přehled současných tepelně izolačních systémů a jejich porovnání z energeticko-ekonomického hlediska. K tomu účelu byly napřed popsány způsoby přenosu tepla, po čemž následoval popis fyzikálních vlastností, oblasti využití, výhod a nevýhod tepelně izolačních materiálů. Následně byly vybrány některé tepelné izolační systémy, popsána jejich montáž a upřesněny jejich vlastnosti. Na závěr byly jednotlivé systémy porovnány z hlediska nákladů na pořízení samotných tepelně izolačních materiálů a posléze i na montáž vybraných systémů.

Při porovnání byly některé náklady zanedbány a jiné záměrně vypuštěny, neboť jejich nákladnost je velmi specifická a záleží na mnoha jiných faktorech

Seznam použitých zdrojů

- [1] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 192 s. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [2] JÍCHA, Miroslav. *Přenos tepla a látky: Určeno pro posl. fak. strojní*. 2. vyd. Brno: VUT, 1989, 183 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1062-0.
- [3] STRAUBE, John. BUILDING SCIENCE CORPORATION. BSD-011: Thermal Control in Buildings: Building Science Information [online]. 07.11.2006 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.buildingscience.com/documents/digests/bsd-011-thermal-control-in-buildings/>
- [4] Tepelné izolace.cz - Druhy izolace [online]. © 2014 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.tepelneizolace.cz/content/view/29/45/>
- [5] DOKONALÁ IZOLACE.CZ. Tepelná izolace domu [online]. [2014] [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.dokonalaizolace.cz/>
- [6] DAŇKOVÁ, Dana a Jiří HEJHÁLEK. VEGA S.R.O. Tepelné izolace – přehled, materiály, druhy, způsoby použití: Stavebnictví3000.cz [online]. 24. 02. 2009 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tepelne-izolace-prehled-materialy-druhy-zpusoby-po/>
- [7] DR. ING. MILADA ČERNÁ. Stavby Milada Černá [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.stavby-cerna.cz/zateplovani/>
- [8] VAVERKA, Jiří. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 2006. ISBN 80-214-2910-0.
- [9] MURTINGER, Karel. XBIZON, s. r. o. Tepelné izolace: Polystyren, Minerální vata a další: Nazeleno.cz [online]. 02. 03. 2010 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/stavba/izolace-2/tepelne-izolace-polystyren-mineralni-vata-a-dalsi.aspx>
- [10] ISTAVITEL.CZ. Stavba, rekonstrukce a bydlení: rady, tipy, diskuze, firmy [online]. 11. 04. 2009 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: http://istavitel.cz/clanek/izolace/tepeln-izolace/zkladn-pehled-tepeln-izolanch-materil_80
- [11] Zateplovací systémy [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://dektrade.cz/produkty/vypis/13-zateplovaci-systemy>
- [12] DIVIZE ISOVER, Saint-Gobain Construction Products CZ a.s. O nás: ISOVER [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/o-nas>
- [13] SEDLÁČEK, Karel. DIVIZE ISOVER, Saint-Gobain Construction Products CZ a.s. [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/zateplovaci-systemy-zasady-spravneho-navrhovani>
- [14] DIVIZE ISOVER, Saint-Gobain Construction Products CZ a.s. Isover EPS 70F [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/isover-eps-70f>

- [15] DIVIZE ISOVER, Saint-Gobain Construction Products CZ a.s. Synthos XPSPrime 30 L [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/synthos-xps-prime-30-l>
- [16] DIVIZE ISOVER, Saint-Gobain Construction Products CZ a.s. Isover TF Profi [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/isover-tf-profi>
- [17] IZOLACE KONOPÍ CZ, s.r.o. O firmě [online]. © 2011 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.konopi-izolace.cz/o-nas>
- [18] IZOLACE KONOPÍ CZ, s.r.o. TERMO-KONOPÍ DUO 100x580x1200 mm [online]. © 2011 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.konopi-izolace.cz/produkt/termo-konopi-duo-100x580x1200-mm>
- [19] ROCKWOOL, a.s. O společnosti [online]. © 2012 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.rockwool.cz/o-spolecnosti/ceska-republika/o-spolecnosti>
- [20] ROCKWOOL, a.s. Frontrock MAX E [online]. © 2012 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.rockwool.cz/produkty-a-reseni/u/1334/stavebni-izolace/frontrock-max-e>
- [21] ROCKWOOL, a.s. ZATEPLENÍ VNĚJŠÍ OBVODOVÉ STĚNY IZOLACÍ S PODÉLNÝMI VLÁKNY FASROCK [online]. © 2012 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.rockwool.cz/produkty-a-reseni/u/5727/fasady-kontakti/zatepleni-vnejsi-obvodove-steny-izolaci-s-podelnymi-vlakny-fasrock>
- [22] ROCKWOOL, a.s. Fastrock LL [online]. © 2012 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.rockwool.cz/produkty-a-reseni/u/1342/stavebni-izolace/fasrock-ll>
- [23] AZ FLEX, a.s. O nás [online]. © 2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.azflex.cz/o-nas.html>
- [24] FOAMGLAS. FOAMGLAS® WALL BOARD T4+ [online]. 1. 11. 2013 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://www.foamglas.cz/katalogy/pds_wallboard_w+f_cz_2013.pdf
- [25] IZOLACE-INFO. Výpočet prostupu tepla, součinitel tepelné vodivosti a prostupu tepla [online]. © 2013 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.izolace-info.cz/technicke-informace/vypocet-prostupu-tepla/>
- [26] A-Z IZOLACE S.R.O. Frontrock Max E [online]. Copyright 2013 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.azizolace.cz/frontrock-max-e-2-p-62543>
- [27] NETSYNERGY A.S. Rockwool Fasrock [online]. 2006-2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.stavbaonline.cz/rockwool-fasrock.html>
- [28] RAJSTAVITELU.CZ. Rockwool Fasrock LL - 4 až 8 [online]. © 2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.rajstavitelu.cz/p/543/rockwool-fasrock-ll-4-az-8-palet-cena-za-1-m?variant%5B50%5D=476>
- [29] IZOLACE-INFO. FOAMGLAS® WALLBOARD [online]. © 2013 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.izolace-info.cz/katalog/penove-sklo/foamglas/?purl=735121-izolacni-deska-z-penoveho-skla-foamglas-wallboard-t4>

[30] PREMIANT CZ, v.o.s. Talířové hmoždinky [online]. © 2008 - 2012 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.e-zatepleni.cz/94-4/talirove-hmozdinky.php>

[31] PREMIANT CZ, v.o.s. Extherm Fix U universal - lepicí a stěrková hmota [online]. © 2008 - 2012 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.e-zatepleni.cz/73-2-1036-0/extherm-fix-u-universal-lepici-a-sterkova-hmota.php>

[32] XBIZON, s.r.o. Cena vody 2014: Regionální společnosti jsou levnější průměrně o 5 % [online]. © 2010-13 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/cena-vody-2014/>

[33] PREMIANT CZ, v.o.s. Mřížkové tkaniny [online]. © 2008 - 2012 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.e-zatepleni.cz/92-5/mrizkove-tkaniny.php>

[34] PREMIANT CZ, v.o.s. Baumit Manu 1 - ručně zpracovatelná [online]. [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.e-zatepleni.cz/710-2-442-0/baunit-manu-1-rucne-zpracovatelna.php>

Seznam použitých zkratk a symbolů

ZKRATKA	JEDNOTKA	POPIS
d	m	tloušťka materiálu
d_p	m	požadovaná tloušťka izolace
E_0	$W\ m^2$	zářivost tělesa
$\dot{Q}$	W	tepelný tok
R	$W/(m^2\ K)$	tepelný odpor
S	m^2	obsah plochy
T	K	teplota zářícího či obtékaného tělesa
T_f	K	teplota obtékající tekutiny
T_∞	K	teplota okolí
α	$Wm^{-1}K^{-1}$	součinitel přenosu tepla
ΔT	K	rozdíl teplot
ε	-	emitance
λ	$Wm^{-1}K^{-1}$	součinitel tepelné vodivosti
μ	-	difuzní odpor
σ	$Wm^{-2}K^{-4}$	Stefan-Boltzmannova konstanta
CO ₂		Oxid uhličitý
EPS		Expandovaný polystyren
PU		Polyuretan
PUR		Polyuretan
XPS		Extrudovaný polystyren