



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

STUDIUM VYUŽITÍ PŘÍRODNÍCH SUROVIN PRO STAVEBNÍ MATERIÁLY

STUDY OF USE OF NATURAL RAW PRODUCTS FOR BUILDING MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dominik Mačak

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. STANISLAV ŠŤASTNÍK,
CSc.

BRNO 2017



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 | Dominik Mačak |
| Název | Studium využití přírodních surovin pro stavební materiály |
| Vedoucí práce | prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc. |
| Datum zadání | 30. 11. 2016 |
| Datum odevzdání | 26. 5. 2017 |

V Brně dne 30. 11. 2016

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

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

PODKLADY A LITERATURA

Chybík, J., Přírodní stavební materiály, GRADA Publishing 2009

Minke G., Friedemann M., Stavby ze slámy, HEL Ostrava 2009

Márton J. a spol., Stavby ze slámených balíků, PB tisk Liberec 2010, ISBN: 978-80-254-6610-0

King, B., Structural Design for Rammed Earth and Straw Bale Architecture: Structural Design for Rammed Earth and Straw Bale Architecture, Moster 2005

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce je věnována využitelnosti přírodních surovin pro použití ve formě stavebních materiálů, které při zabudování do stavby projevují své příznivé fyzikální vlastnosti, zejména nižší materiálovou náročnost při výrobě oproti jiným stavebním materiálům používaných ve stavebnictví, nezanedbatelnou okolností je i jejich rychlá výstavba a rychlá obnovitelnost.

Náplň práce se orientuje na problematiku využití staviv na bázi přírodních surovin, a to:

- i) porovnání užitných vlastností dostupných staviv na bázi přírodních surovin,
- ii) sestavte přehled jejich vlastností v ohledech šíření tepla, akustických vlastností a požární odolnosti při zabudování ve stavebních konstrukcích,
- iii) posuďte předpokládaný vývoj přírodních stavebních materiálů na bázi rostlinných vláken a vymezte jejich potenciál na trhu se stavebními výrobky,
- iv) v rámci praktické části posuďte výpočtové vlastnosti z hlediska zimní i letní tepelné ochrany budov, posuďte zvláště tepelně-izolační a tepelně-akumulační projevy stěn při užití izolantů z rostlinných vláken,
- v) podle dosažených výsledků porovnejte fyzikální projevy stěn při použití komerčních staviv a staviv na bázi rostlinných vláken.

Při vypracování bakalářské práce dbejte zásad platných na FAST VUT Brno; praktická část do 20 % rozsahu; celkový rozsah do 40 stran včetně tabulek a grafů.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

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

prof. RNDr. Ing. Stanislav Štastník, CSc.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

V práci je pojednána problematika využitelnosti přírodních surovin pro použití ve stavebních materiálech, které při zabudování do stavby projevují své příznivé fyzikální vlastnosti, zejména nižší materiálovou náročnost při výrobě oproti jiným stavebním materiálům používaných ve stavebnictví, nezanedbatelnou okolností je i jejich rychlá výstavba a rychlá obnovitelnost. Pomocí numerické simulace, použité v této bakalářské práci, posuzují teplotní komfort v letním a zimním období. Na základě poznatků ze simulačních výpočtů je možné pokračovat v návrhu reálného uspořádání stavebních konstrukcí a návrhu způsobu zabudování těchto materiálů do konstrukcí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přírodní stavební materiály, fyzikální vlastnosti rostlinných vláken, tepelný komfort v interiéru budovy, matematické modelování, životnost tepelných izolací.

ABSTRACT

In this work is processed usefulness of natural materials for use as building material, which when incorporated to make the building expresses its favorable physical properties, particularly lower material consumption at production compared to other building materials used in construction, significant circumstance is their quick construction fast recoverability, calculations made in this thesis assess thermal comfort in summer, winter. Based on simulated calculation can go into the design of the real installation resolving to do the construction.

KEYWORDS

Natural building materials, physical properties of plant fibres, thermal comfort in the interior of the building, mathematical modelling, lifetime of thermal insulation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Dominik Mačák *Studium využití přírodních surovin pro stavební materiály*. Brno, 2017. 59 s.,
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních
hmot a dílců. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 16. 5. 2017

Dominik Mačak

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Poděkovat bych chtěl svým rodičům, Jaroslavu a Ingrid Mačakovým, za podporu po celou dobu studia.

Velké poděkování patří vedoucímu práce, panu prof. RNDr. Ing. Stanislavu Štastníkovi, CSc. za jeho rady, trpělivé vedení, připomínky a také za to, že si i ve svém nabitém programu vždy ochotně na mne udělal čas.

OBSAH

| | |
|---|----|
| Úvod..... | 9 |
| 1 Historie a současnost vybraných přírodních materiálů..... | 12 |
| 1.1 Hlína..... | 12 |
| 1.2 Len..... | 12 |
| 1.3 Konopí..... | 13 |
| 1.4 Juta..... | 14 |
| 1.5 Bavlna..... | 15 |
| 2 Použití staviv na bázi přírodních surovin..... | 16 |
| 2.1 Kámen..... | 18 |
| 2.2 Hlína..... | 18 |
| 2.2.1 Nepálené kusové stavivo..... | 19 |
| 2.2.2 Hlína dusaná do bednění..... | 19 |
| 2.2.3 Vrstvená hlína..... | 20 |
| 2.2.4 Hloubené konstrukce..... | 20 |
| 2.2.5 Hlinoslaměné konstrukce..... | 20 |
| 2.2.6 Omazávky, mazanice..... | 20 |
| 2.2.7 Mazaniny..... | 21 |
| 2.2.8 Malty na zdění..... | 21 |
| 2.2.9 Hrubé omítky..... | 21 |
| 2.2.10 Jemné omítky..... | 22 |
| 2.2.11 Povrchové úpravy v omítce..... | 23 |
| 2.2.12 Pálená hlína..... | 23 |
| 2.3 Dřevo..... | 24 |
| 2.3.1 Dřevo pro konstrukční účely..... | 25 |
| 2.3.2 Dřevo pro doplňkové a kompletační konstrukce..... | 27 |
| 2.3.3 Dřevo jako surovina pro stavební materiály..... | 27 |
| 2.3.4 Výrobky z celulózy a papíru..... | 27 |

| | | |
|------|---|----|
| 2.4 | Korek..... | 27 |
| 2.5 | Ovčí vlna..... | 29 |
| 2.6 | Len..... | 30 |
| 2.7 | Rákos..... | 31 |
| 2.8 | Konopí..... | 32 |
| 2.9 | Bavlna..... | 33 |
| 2.10 | Sláma..... | 33 |
| 3 | Vlastnosti přírodních stavebních materiálů..... | 36 |
| 3.1 | Šíření tepla..... | 36 |
| 3.2 | Akustické vlastnosti..... | 38 |
| 3.3 | Požární odolnost..... | 39 |
| 4 | Předpokládaný vývoj..... | 41 |
| 5 | Experimentální část..... | 44 |
| 5.1 | Výpočtové vlastnosti..... | 44 |
| 5.2 | Porovnání fyzikálních projevů..... | 50 |
| 6 | Závěr..... | 52 |
| | Seznam použitých pramenů a literatury..... | 54 |
| | Seznam tabulek..... | 57 |
| | Seznam obrázků..... | 58 |
| | Seznam použitých zkratk..... | 59 |

Úvod

V současné době je kladen důraz na vývoj perspektivních stavebních materiálů. Trend návrhu domu s použitím přírodních tradičních materiálů poněkud upadl nástupem průmyslové revoluce. Dopomohla tomu i první světová válka, po které došlo k rozmachu motorismu a budování silnic. Tím se otevřela možnost přepravy materiálů (prefabrikátů) i do míst, kam se dříve železnicí nedostaly. Rostoucí migrace obyvatel za prací do měst zapříčinila na mnoha místech chátrání venkova. Obyvatelé zůstávající na venkově sledovali trendy a snažili se svá obydlí přiblížit městskému stylu. Přitom opomíjeli právě přírodní materiály patřící k nejstarším, už od pradávna používaným stavivům.

Úpadku starých technologií dopomohl také rozmach výroby cementu, skla a oceli. Cement jako matrice pro kompozit s kamenivem vytváří beton, který můžeme pro zvýšení pevnosti vyztužit ocelí. Spotřeba cementu postupem let pravděpodobně poroste, avšak nerostné bohatství, díky kterému lze cement vyrábět, bude samozřejmě docházet. Jsem toho názoru, že s cementem a dalšími stavebními materiály z nerostných surovin, by se mělo rozhodně šetřit. U výroby cementu je spalování alternativních paliv možná na první pohled pozitivní přínos, avšak to se podepisuje na kvalitě cementu.

Populace na naší planetě roste a s ní roste i spotřeba energie, která je potřebná i k výrobě stavebního materiálu. Jako vyspělá civilizace se snažíme snižovat dopad lidského počínání na životní prostředí. Činíme tak různými způsoby. Jedním z těchto způsobů je snižování nároků na energetickou náročnost budov. Snažíme se vytvořit dostatečně izolované obálky budov, které nebudou čerpat takové množství energie. Myšlenka je to dle mého názoru správná, avšak by se nemělo zapomínat na množství vázané primární energie, tzv. šedé energie (PEI). Tato energie je spojená již se samotným procesem výroby. Proč tedy nevyužívat přírodních materiálů, které vnímáme v jisté míře jako vedlejší produkt výroby či dokonce jako odpad (zejména v zemědělství). Podpořili bychom tím recyklaci a zároveň přispěli ke snížení PEI. Velkou výhodou přírodních materiálů, v porovnání s materiály syntetickými, je jejich obnovitelnost a snadnější recyklace. Například synteticky vyrobená tepelná izolace pěnový polystyren může být plně nahrazena tepelnou izolací ze lnu, konopí, ovčí vlny

aj. Přírodní materiály vykazují stejné či podobné fyzikální vlastnosti jako tradiční komerční staviva se znatelně menším požadavkem na energii při výrobě, i při následné likvidaci. Nemůžeme přehlédnout fakt, že většina těchto přírodních materiálů dosud neprošla složitým procesem zkoumání a „zušlechtění“ jako například v historii pěnový polystyren. Pokud tyto materiály dostanou patřičnou pozornost, tak dle mého názoru mohou najít široké uplatnění a využití při zakomponování do výstavby pasivních domů či jako součást kompozitu již známého materiálu.

Přírodní materiál nám není cizí, můžeme jej nalézt již ve starých normách. Norma ČSN 1168 vydaná v roce 1939, dělí materiály do dvou skupin, na [1]:

- a) Materiály přírodní, které zahrnovaly nejen kámen, kamenné drti, štěrk, písky, hlíny a dřevo, ale také korek, rákos a dokonce i asfalt,
- b) Materiály umělé, kam patřilo vápno, cement, sádra, kamenné omítkové směsi, škvára, dehet, šedá litina a ocel, výrobky z pálené hlíny, také výrobky cementové, sádrové, litinové, ocelové a jiné.

Mezi přírodní materiály můžeme řadit materiály rostlinného nebo živočišného původu. Tyto materiály můžeme začlenit do třech kategorií a to podle jejich funkce jako:

- konstrukční,
- izolační,
- doplňkové.

Mezi přírodní materiály, které můžeme použít jako konstrukční, řadíme například kámen, hlínu a dřevo.

Izolační materiály všeobecně rozlišujeme takto [2]:

- izolace proti vodě a vlhkosti,
- tepelně izolační materiály,
- akustické izolační materiály,
- speciální izolační materiály.

Přírodní materiály jsou vhodné jako tepelné i akustické izolace. Patří mezi ně například konopí, len, korek, sláma, dřevní hmota nebo ovčí vlna. Ta je sice původu živočišného, ale dá se kategorizovat mezi přírodní materiály.

Významnou vlastností přírodních materiálů je jejich obnovitelnost, příznivý vliv na životní prostředí a také na lidské smysly. Mnoho lidí trpí alergiemi nebo zdravotními indispozicemi, které mohou souviset s materiálem, kterým jsou obklopeni. Prostory z přírodního materiálu mají pozitivní vliv na alergiky zejména tím, jak dobře regulují vlhkost vzduchu v interiéru. Tím přispívají k vytvoření zdravého klimatu a zmírnění alergických obtíží.

Cílem mé práce je poukázat na potenciál využití přírodních materiálů a experimentálním výpočtem doložit, že jsou konkurenceschopné materiálům klasickým. Cenově se mohou lišit, avšak jejich pozitivní vlastnosti tohle, dle mého názoru, kompenzují. Jejich cena by se mohla snížit za předpokladu vyšší poptávky a výroby ve větším objemu.

1 Historie a současnost vybraných přírodních materiálů

Po dlouhá staletí se pro výstavbu obydlí používaly místní materiály. Byly to například suroviny jako hlína, kámen, dřevo. Od této tradice se upustilo, tradiční materiály byly nahrazeny betonem, pěnovým polystyrenem a keramickými cihlami. Pěnový polystyren zažil rozmach po druhé světové válce, kdy do stavebnictví vstoupila chemická výroba. Levná cena pěnového polystyrenu nezahrnuje náklady potřebné na recyklaci, tento problém odsouvá dnešní generace na generace příští. V současnosti se však na starou tradici navazuje spolu se zapojením nových komponentů, kterými jsou například sláma, konopí a další [1].

Při výstavbě domů, zejména těch pasivních, by se nemělo zapomínat ani na environmentální stopu. Tedy kolik energie se například musí vložit do výroby daného prvku, či na jeho dopravu. Přírodní materiály jsou z obnovitelných zdrojů a navíc se jedná o recyklovatelné suroviny, jejich environmentální náročnost je nižší než u komerčních staviv a dosahují plnohodnotných fyzikálních vlastností.

1.1 Hlína

Za nejstarší a nepoužívanější materiál na světě je považována hlína. Nejstarší objevené stavby byly z doby 8000 let před n. l. a to z nepálených cihel na kamenné podezdívce. Nacházíme je na území Mezopotámie, Egypta, Číny nebo Říma. Rozkvět nepálené hlíny začal v 17. století a skončil počátkem 20. století, kdy byla vystřídána cihlářským průmyslem. Hlínu také postupně vytlačily nové stavební materiály a technologie [3].

V České republice nacházíme zmínky o používání nepálené hlíny ve 13. a 14. století. Nepálená hlína se u nás udržela až do dnešní doby, kdy zažívá renesanci [3].

1.2 Len

Tato bylina patří ke starým kulturně pěstovaným rostlinám. Byla známa již v Mezopotámii 6 tisíc let před n. l. Lněná vlákna byla tehdy využívána pro výrobu

tkaniny, síti a provazů. Z Mezopotámie se len rozšířil do Egypta, kde se zdokonalilo nejen jeho pěstování, ale i zpracování. Z Egypta se len dále rozšířil do Persie, poté do oblasti středomoří a Indie. Pěstování lnu se do Evropy rozšířilo pomocí Římanů a Slovanů. V roce 1770 vydala Marie Terezie v Čechách patent o pěstování lnu a předení příze. Světová produkce dlouhého lněného vlákna je dnes nejvíce koncentrována v západní Evropě [2] [4].

V současnosti nastal pokles osevních ploch lnu přádného po celém světě. A to i v západoevropských lnářských velmocích jako jsou Francie, Belgie a Nizozemí. Důvodem je pokles výkupní ceny lnářských surovin na světovém trhu. V roce 2010 Česká republika ukončila pěstování lnu, staletá tradice tímto byla v Českých zemích prakticky ukončena. Dodnes stále dostávají přednost výnosnější plodiny, a to zejména z ekonomických důvodů [5].

1.3 Konopí

Podobně jako len je i konopí prastarou kulturní rostlinou. Konopí se začalo pěstovat v oblasti Střední Asie, Číny a Indie a to do období 3. tisíciletí před n. l. Na evropský kontinent pěstování konopí dorazilo v 7. století před n. l. Na území České republiky a Slovenska se jeho pěstování více rozmohlo na konci 18. století. Ale už na počátku 20. století se jeho pěstování ztelně omezilo z důvodu dovozu levnějších vláken z bavlny. V České republice bylo konopí pěstováno až do roku 1956. V nadcházejících obdobích se konopí pěstovalo pouze na jihu Slovenska, osevní plocha se postupně snižovala a v roce 1988 bylo pěstování ukončeno i zde. Pěstování konopí se v České republice od roku 1995 postupně obnovilo. Avšak už roku 2007 se osevní plochy pětinasobně zmenšily, což vyplývá z dostupných údajů Ministerstva zemědělství ČR. Hlavním důvodem byl, stejně jako u lnu, pokles výkupní ceny konopného vlákna [5].

V současné době jsou hlavními producenty lnu a konopí podle Komise EU z roku 2010 země Francie, Německo, Nizozemsko a Polsko [5].

V České republice má konopí status kriminalizované rostliny, ze které se dají vyrobit psychotropní látky nazývané obecně drogy. I přes tuto pověst, spojenou s neinformovaností, lze technické konopí pěstovat. Musí ale být splněné požadavky

vyplývající ze zákona č. 167/1998 Sb. Dle zákona je zakázáno získávat z konopí konopnou pryskyřici a látky ze skupiny tetrahydrocannabinolů [1].

1.4 Juta

Jedná se o jednoletou rostlinu, o které jsou zmínky už v indickém eposu Mahábhárata a ve Starém zákoně. Existuje záznam z 16. století v Indii, kde chudí občané nosili jednoduché oděvy z jutových tkanin. V roce 1830 byla zaznamenána první strojová výroba jutové příze ve skotském Dundee. Trh s jutou ovládali až do konce 19. století Britové. V roce 2008 pocházelo kolem 60 % světové produkce jutových vláken a textilií z Indie [6].

V současnosti je rostlina rozšířená v tropickém pásu a to v Jižní a Jihovýchodní Asii, Indii, Číně, Bangladéši, Thajsku, Indonésii a dalších zemích. Největším producentem je Indie. Pěstování juty v Evropě a v USA je ojedinělé, spíše výjimečné [6].



Obrázek č. 1 Fotografie jutovníku [7]

1.5 Bavlina

Bavlina se získává z bavlníku, který pochází zejména z plantáží ve střední Asii a na východě Afriky. Dosavadní poznatky svědčí o používání bavlny už před několika tisíci lety. Patří mezi ně nálezy ze 4. tisíciletí před n. l. v Pákistánu nebo 7000 let staré textilie z Egypta či Mexika. Systematické pěstování za účelem prodeje vláken začalo nejspíše v Egyptě. Nejstarší písemná zmínka o exportu je ze 7. století a to z Indie na území dnešního Iráku. Do Evropy se bavlna dostala asi o 200 let později a do Číny v 6. století n. l. V 10. století se rozmohlo pěstování a zpracování bavlny i ve Španělsku [8].

V současnosti je největší producent bavlny Čína, USA, Indie a Pákistán [8].



Obrázek č. 2 Fotografie otevřené tobolečky se zralou bavlnou [8]

2 Použití stávir na bázi přírodních surovin

Použití přírodních materiálů, jinak známých jako materiály z alternativních surovinových zdrojů, má řadu výhod. Tyto výhody jsou důvodem k jejich návratu mezi plnohodnotné stavební materiály. Dají se využít při výstavbě nového objektu, na zateplení stávajícího i pro například interiérové úpravy. Mezi tyto výhody patří zejména:

- a) jedná se o snadno obnovitelné zdroje,
- b) po skončení doby jejich životnosti jsou snadněji recyklovatelné než běžně užívané materiály,
- c) jsou antibakteriální a pomáhají vytvořit příjemnější vnitřní vlhkostní mikroklima důležité pro lidský organismus,
- d) izolační materiály mají vlastnosti srovnatelné s běžně užívanými izolanty,
- e) při dobrém hospodaření představují lokálně dostupné materiály,
- f) pořizovací cena je nižší, jedná se často o vedlejší produkty výroby,
- g) nižší vkládaná energie výroby,
- h) lze s nimi budovat pasivní a nízkoenergetické stavební konstrukce,
- i) nízká zátěž pro životní prostředí.

Nižší vkládanou energii charakterizuje PEI, jedná se o vloženou energii pro výrobu výrobku v MJ.kg⁻¹.

Nízký vliv na přírodní prostředí je vyjádřený parametry GWP (Global Warming Potential), jinak také emise CO₂ a AP (Acidification Potential), jinak také emise SO₂ [1].

Parametr GWP vykazuje emise látek, které přispívají ke skleníkovému efektu. Vyjadřuje množství CO₂ uvolněného během výrobního procesu v kilogramech [1] [9].

Pro parametr AP je srovnávací element SO₂ a jiné oxidy jako například oxid dusíku a amoniak. Je to parametr udávající zasažení přírody průmyslovou výrobou [1] [9].

Následující tabulka č. 1 zobrazuje energetickou náročnost a vliv na životní prostředí vybraných materiálů, které jsou charakterizovány hodnotami PEI, GWP a AP.

Tabulka č. 1 Přehled vybraných klasických a přírodních izolačních materiálů a jejich hodnoty podílu energetické složky PEI a jejich míra na kvalitu životního prostředí parametry GWP a AP [1] [9]

| Izolační materiál | ρ_v [kg.m ⁻³] | PEI [MJ.kg ⁻¹] | GWP [kg CO ₂ ekv.kg ⁻¹] | AP [kg SO ₂ ekv.kg ⁻¹] |
|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---|--|
| Konopné rohože bez PE vláken | 30 | 27,100 | -0,337 | 0,00437 |
| Konopné rohože s PE vlákny | 30 | 31,100 | -0,133 | 0,00539 |
| Lněné rohože bez PE vláken | 30 | 34,000 | 0,121 | 0,00772 |
| Ovčí vlna | 30 | 14,700 | 0,045 | 0,00266 |
| Korek | 120 | 7,100 | -1,230 | 0,00274 |
| Mínerální vlna | 33 | 23,300 | 1,640 | 0,01050 |
| EPS F | 18 | 98,500 | 3,350 | 0,02160 |
| XPS vypěňovaný CO ₂ | 38 | 102,000 | 3,440 | 0,02110 |

Záporná hodnota GWP znázorňuje, že zkoumaný materiál si na sebe za svůj život „vydělal“. Tedy byl přínosem a zpracovával CO₂. Z tabulky výše lze vyčíst, že přírodní materiály mají nižší hodnoty emise skleníkových plynů CO₂ a SO₂. Dále mohou být i méně energeticky náročnější, než například pěnový polystyren.

Mimo uvedené klady mají tyto materiály samozřejmě i zápory, které je nutno uvést. Týkají se však převážně vláknitých materiálů používaných jako tepelné izolace nebo akustické izolace. Negativa se dají shrnout do těchto bodů:

- a) vysoká hořlavost,
- b) nízká odolnost vůči mikrobiologickým činitelům,
- c) nízká odolnost přímému kontaktu s vlhkostí,
- d) vnitřní nestálost.

Vysoká hořlavost, protože organické materiály jsou řazeny obvykle do kategorie reakce na oheň F.

S vyšší vlhkostí a dostatkem kyslíku rostou příznivé podmínky pro rozmnožování plísní a bakterií. Přítomnost plísní lze odhalit ultrafialovým světlem.

Vnitřní nestálost je hlavně u vláken skládajících se z celulózy a hemicelulózy. Při ukončení přísunu živin dochází k přeměně celulózy a hemicelulózy na lignin. V následující tabulce č. 2 je uvedeno chemické složení vláken a také množství celulózy a hemicelulózy obsažené ve vlákně.

Tabulka č. 2 Chemické složení vybraných vláken v % podle [10]

| Složení vlákna | Juta | Len | Konopí | Bavlna |
|----------------|-----------|-----------|-----------|--------|
| Celulóza | 61-71 | 71-75 | 70,2-74,4 | 82,7 |
| Hemicelulóza | 13,6-20,4 | 18,6-20,6 | 17,9-22,4 | 5,7 |
| Lignin | 12.13 | 2,2 | 3,7-5,7 | - |
| Pektin | 0,2 | 2,2 | 0,9 | - |
| Další složky | - | 3,8 | 6,1 | - |
| Vosky | 0,5 | 1,7 | 0,8 | 0,6 |
| Voda | 12,6 | 10 | 10,8 | - |

2.1 Kámen

Jedná se o jeden z nejstarších stavebních materiálů. Má vysokou odolnost proti působení klimatických změn a je trvanlivý. Využívá se jako dekorace a kombinuje se s různými stavebními materiály [11]. Dnes se s nosnou kamennou konstrukcí setkáme zejména při rekonstrukcích.

2.2 Hlína

Hlína je základní stavební materiál pro hliněné stavby a zároveň je důležitou surovinou pro omítky. Hlína se pro stavební účely používala už ve starém Římě. Jako stavební materiál se na území Česka objevila přibližně na přelomu 17. a 18. století. Byla známa všude pro svoji dobrou dostupnost a jako levný doplňkový stavební materiál. Používala se pro výstavbu menších hospodářských objektů jako například prasečích chlívků [12].

V současné době se hlína používá především pálená, a to buď jako střešní krytina, zdící prvky, kanalizační trouby nebo stropní dílce. V České republice má svou tradici a v podstatě se dá z hlíny postavit celý dům. Firmy, které pálením hlíny vytvářejí své produkty, jsou v České republice například Tondach, Wienerberger nebo HELUZ. Od tradičního způsobu používání hlíny se pomalu ustoupilo, avšak zažívá pozvolna svou renesanci. Jedná se totiž o materiál zlepšující vnitřní vlhkostní mikroklima, příjemně působí na psychiku člověka a navíc – prověřený staletími.

Hliněné výrobky, které se ve stavitelství používají tradičním způsobem, můžeme rozdělit do několika druhů [1]:

- Nepálené kusové stavivo,
- Hlína dusaná do bednění,
- Vrstvená hlína, lepenice,
- Hloubené konstrukce,
- Slaměnohliněné konstrukce v kombinaci se dřevem,
- Omazávky,
- Mazaniny,
- Malty a omítky,
- Povrchové úpravy v omítce.

2.2.1 NEPÁLENÉ KUSOVÉ STAVIVO

Jsou dochovány staré domy, které jsou z kusového nepáleného staviva, neomítnuty, a přesto jsou v pořádku, bez poruch. Tento materiál je vhodný do suššího klimatu a do míst, kde nehrozí povodně. Uplatnění nepáleného kusového staviva bylo v interiéru i exteriéru a to pro svislé nosné i nenosné konstrukce. Dochované použití je i při výstavbě kleneb a velkých kopulí [1].

V dnešní době se vyrábí průmyslově, kusové nepálené hlíně se věnuje například cihelna CLAYGAR v Lužici u Šternberka. V nabídce mají stabilizované cihly s cementem nebo cihly pouze z hlíny [1].

Stabilizované hliněné cihly CEB 101, stabilizovány použitím 6 % cementu, jsou určeny pro jednovrstvé obvodové nosné i nenosné zdivo. Výrobky jsou vhodné pro tloušťku zdiva 450 mm s vysokými nároky na tepelnou akumulaci stěny. Tyto výrobky dosahují vyšších pevností oproti nestabilizovaným hliněným cihlám [1].

Nestabilizované hliněné cihly CEB 102 jsou výrobky z hlíny a přírodních písků. Jsou určeny pro omítané nenosné vnitřní příčky tloušťky 140 mm [1].

Války patří mezi nepálené kusové stavivo. Je to směs hlíny a řezanky ze slámy nebo plev. Tato směs je tvarována do bochníku o délce 150 mm až 360 mm, tloušťce od 90 mm do 120 mm a šířce přibližně 200 mm. Do zdi se války kladly šikmo nebo vodorovně. Charakteristické klasové vazby se nazývají „opus spicatum“. Používaly se pro výstavbu stodol a ohradních zdí [1].

2.2.2 HLÍNA DUSANÁ DO BEDNĚNÍ

Tímto tradičním způsobem můžeme stavět stěny nenosné i výplně mezi nosnými konstrukcemi (například dřevěnými). Dnes se tyto konstrukce používají jako estetická

součástí interiéru, dříve se však používaly pro exteriérové účely. Hlína se nejdříve proseje a rozmělní, poté se s přídavkem slámy dusá do dřevěného bednění. Tloušťka dusané vrstvy je 100 mm až 150 mm. Ta se udusá až na 1/3 své tloušťky. Po dosažení výšky bednění se dusat přestane a bednění se zdvihne, pak se pokračuje dále. Výškově se tloušťka stěny snižuje přibližně o 50 mm ve stanovené výšce. Dusat můžeme pneumatickými pěchy, hutnicími válci nebo klasickými ručními pěchy [1].

2.2.3 VRSTVENÁ HLÍNA

Vrstvená hlína nebo také nakládáná hlína, zvaná lepenice, je stará technika. Tato technika se dříve používala pro malé hospodářské stavby. Vrstvená hlína se skládala z hlíny a slámy, která může být nahrazena drobným kamenivem nebo jiným rostlinným materiálem. Hlína se vrstvila bez použití bednění po celém obvodu domu. Příčky se také vrstvily [1].

2.2.4 HLOUBENÉ KONSTRUKCE

Hloubená konstrukce je konstrukce hloubená přímo do hlíny. Dělal se tak nejčastěji vinné nebo jiné sklepy. Hloubily se i prostory k trvalému bydlení například na Ukrajině nebo v Rusku. Po intenzivním zavlhčení půdy může dojít k haváriím. V současné době se tento způsob stavení označuje jako stavba krytá v zemi [1].

2.2.5 HLINOSLAMĚNÉ KONSTRUKCE

Jedná se o konstrukce ze směsi hlíny a slámy používané v kombinaci se dřevem. Omotaná dřevěná tyč hlinoslaměnou směsí se nazývala poval. Takto vzniklý poval či váleček se používal pro hospodářské stropy chlévů a stájí. Povaly se ukládaly i do stěn, pro podlahy se používaly obdélníky z hlíny [1].

2.2.6 OMAZÁVKY, MAZANICE

Omazávky a mazanice byly tvořeny hlinoslaměnou kaší, která se nanášela na nosič omítek, tedy na výplet. Nosná konstrukce ze dřeva byla často u roubených staveb

opatřena hliněnou vrstvou, která zlepšovala požární odolnost. Tloušťka hliněné vrstvy byla přibližně 150 mm. Pro zlepšení přídržnosti mazanice se do trámů zatloukaly dřevěné kolíky, které byly z tvrdého dřeva (například bukového) [1].

2.2.7 MAZANINY

Mazanina je povrchová úprava používaná kromě hliněných domů i u domů zděných. Mazanina se musela pravidelně obnovovat. Pro zlepšení tepelně izolačních vlastností se vymazávalo směsí hlíny a nasekané slámy. Dále se přidávalo kravské lejno, obsahující krátká vlákna zlepšující pevnost a odolnost proti otěru. Stará norma ČSN 1168:1939 v článku 236 definuje několik typů hliněných mazanin [1]:

- a. Půdní obyčejná (pod střechou), která se nanáší v jedné vrstvě a po udusání (zhutnění) se posype jemným pískem; tloušťka hotové mazaniny je obvykle 80 mm,
- b. Půdní s izolační vložkou, která se provádí jako předchozí typ mazaniny, avšak na dřevěnou konstrukci se před jejím nanášením položí vrstva impregnované lepenky (K 200/D podle ČSN EN 1172),
- c. Matová, která se nanáší v několika vrstvách a jejíž poslední vrstva se před dusáním polévá hovězí krví nebo čpavkovou vodou a posype popelem; celková tloušťka hotové mazaniny je obvykle asi 300 mm.

2.2.8 MALTY NA ZDĚNÍ

Hliněnou maltu tvoří směs hlíny, vody, jílu a písku spolu s řezanou slámou nebo obilnými plevy. Maltám pro zdění se v České republice věnuje firma CLAYGAR. Jedná se například o výrobky CLAYGAR CLAYMALT CC 04, kde je přídavek cementu a CLAYGAR CLAYMALT CM 04, který cement neobsahuje. Obě malty mají pevnost v tlaku $f = 3,0$ MPa a pevnost v tahu $f = 1,0$ MPa. Faktor difúzního odporu je $\mu < 10$ [1].

2.2.9 HRUBÉ OMÍTKY

Hrubá omítka, jinak řečeno jádrová, zajišťuje pevnost a stabilitu souvrství. Obsahuje hrubou řezanku, hlínu a písek. Nanáší se rukou nebo zednickou lžící. Konce

konstrukce se nejčastěji zaoblují, lze však udělat i ostré rohy. Jádrou hliněnou omítku je třeba chránit proti dešti, nejlépe přesahem střechy. V ostatních případech je potřebná její častá obnova. Hrubou hliněnou omítku nabízí například firma PICAS a CLAYGAR [1].

Hrubá hliněná omítka PICAS je určena pro vnitřní plochy konstrukcí. Provádí se ve dvou variantách jako hrubá a hrubá s řezankou. Podklad pro jádrou omítku musí být zbavený prachu, nečistot a mastnot. Dále musí být savý, dobře provlhčený a pevný. Míchá se dle předepsaného poměru a nanáší se ručně, popřípadě zednickou lžicí. Při použití hrubé omítky na rákosové rohože nebo na problematických podkladech je vhodné použít ještě jutovou tkaninu [1].

Hrubá hliněná omítka CLAYGAR HH 04 je průmyslově vyráběná z přírodních písků a hlíny bez dalších přísad. V tlaku má pevnost $f = 1,0$ MPa s faktorem difúzního odporu $\mu < 10$. Používá se jako vnitřní jádrou omítka pro zdivo nasákavé [1].

Hrubá hliněná omítka H2a – STANDART je průmyslově vyráběna z přírodních písků a jílové hlíny bez dalších přísad. Tato omítková směs je mírně vlhká. Používá se na vnitřní povrchy, pro omítání nasákavého zdiva nebo jako malta pro zdivo zděné. Po 35 dnech dosahuje pevnosti v tlaku $f = 1,68$ MPa [1].

Hrubá hliněná omítka H2g – KLASIK, je mírně vlhká omítková směs, která je průmyslově vyráběna. Je složena ze slaměné řezanky, jílové hlíny a písku. Používá se jako vnitřní omítka a hodí se pro omítání nasákavého zdiva. Je doporučována jako omítka, omazávka, mazanina a spárovačka při rekonstrukci památkově chráněných budov [1].

2.2.10 JEMNÉ OMÍTKY

Jemná hliněná omítka se nanáší na jádrou omítku a tvoří tím konečnou úpravu celého omítkového souvrství. Před aplikací jemné hliněné omítky se dbá zejména na suchost jádrou omítky. Po nanesení jemné omítky se souvrství opatří prodyšným, difúzně otevřeným nátěrem například z vápenného mléka [1].

Jemná hliněná omítka PICAS, je přírodní omítkou určenou k vnitřnímu použití. Je tvořena hlínou, pískem a organickým vláknem. Použit se dá bez nutnosti další povrchové úpravy. Podklad pro tuto omítku musí být zbaven prachu a nečistot, savý, vyzrálý, pevný a suchý. Pokud se nanáší na beton, opatřuje se rákosovou rohoží, aby

nebyl povrch pro aplikaci příliš hladký. Při aplikaci jemné hliněné omítky PICAS na zdící systémy z pórobetonu je nutné vytvořit povrchovou úpravu například za použití stavebního lepidla a perlínky [1].

Suchá omítková směs CLAYGAR HJ 02 je průmyslově vyráběnou suchou omítkovou směsí, která se skládá z přírodních písků a hlíny bez dalších přísad. Používá se zejména pro omítání nasákavého zdiva. Pevnost v tlaku je $f = 1,0$ MPa. Faktor difúzního odporu je $\mu < 10$ [1].

Hliněná omítka ProCrea[®] se zpracovává manuálně i strojně. Faktor difúzního odporu je $\mu = 10$, tedy se jedná o difúzně otevřený materiál. Používá se jako jemná omítková vrstva nebo jako omítka hrubá. Díky tomu, že je difúzně otevřená, se hodí pro památkově chráněné objekty i novostavby. Podklad musí být zbaven nečistot a ovlhčený [1].

2.2.11 POVRCHOVÉ ÚPRAVY V OMÍTCE

Ojedinelá a lokálně vymezená technika výzdoby stěn s hliněnou omítkou. Vytváří se prsty nebo nástroji v čerstvé omítce. Technika může být lokálně nazývána také těrkování nebo murl. Můžeme ji najít na jižním Vyškovsku. Jedná se o historickou techniku a záleží na majiteli, jestli ji při rekonstrukci nebo pro nový dům použije [1].

2.2.12 PÁLENÁ HLÍNA

Pro stavební účely se pálená hlína využívá již několik tisíc let. Pálená hlína má kořeny v Sumeru a největší rozmach zažila v období Římského impéria. Výrobky se vytvářely volným sušením na slunci a poté výpalem za vysoké teploty v pecích [11].

Pálené cihly mají oproti jiným komerčním materiálům relativně malou energetickou náročnost výroby. Díky neustále se zdokonalující technologii výroby vznikají cihly s výbornými tepelně izolačními vlastnostmi a dobrým difúzním odporem. Spolu s těmito příznivými vlastnostmi se dosahuje i dobrých mechanických vlastností [10].

2.3 Dřevo

Stejně jako nepálená hlína se dá dřevo řadit mezi jedny z nejstarších stavebních materiálů vůbec. Člověk od nepaměti pro výstavbu svých obydlí používal dřevo, hlínu a kámen. Jedny z výhod, které dřevo nesporně má, jsou jeho obnovitelnost, snadná recyklace a opracovatelnost, vysoká pevnost v poměru k hmotnosti a dobré izolační vlastnosti. Jeho využití je široké. Od dekoračních prvků a nábytku až po nosný i nenosný konstrukční materiál [13].

Tím, že je dřevo lehce obnovitelné a má snadnou opracovatelnost, můžeme uvažovat o širší energetické souvislosti výstavby. Pokud si uvědomíme energetické nároky, které přirozeně s výstavbou souvisí a uděláme si obrázek o vkladech energií při výrobě například oceli, cementu, či pálených cihel, můžeme se dle mého názoru dobrat výsledku, že dřevostavba s horší tepelnou vodivostí, na kterou je v dnešní době kladen důraz, může ve finálním důsledku mít mnohem větší úsporu energie. Při pokácení stromů po získání dřeva je totiž rekultivace jednoduchá a s jistými ekologickými benefity [14].

Akustika u dřevěných konstrukcí je bohužel ošemetná. Nemají totiž tak vysokou objemovou hmotnost jako například cihly nebo beton. Velká objemová hmotnost je výhodná pro útlum zvuku a tím i pro akustický komfort [14].

Tepelná akumulace, jinak řečeno schopnost jímat tepelnou energii, se obecně projevuje následovně: pokud je konstrukce chladnější než okolní prostředí, konstrukce teplo přijímá. Pokud má konstrukce naopak teplotu vyšší, sálá z ní teplo do prostoru. Dřevo má dobré tepelně akumuláční vlastnosti, neznámá to ale, že i dobře tepelně izoluje. Avšak dřevo má jako materiál nejoptimálnější poměr mezi tepelnou akumulací a tepelnou izolací. Tyto vlastnosti jsou nejmarkantnější u masivních srubů. U ostatních prvků je zastoupení dřeva příliš malé na to, aby se tepelná akumulace mohla projevit [14].

Dřevo se ve stavebnictví dá charakterizovat podle využití na [15]:

- a) pro konstrukční účely,
- b) pro doplňkové a kompletační konstrukce,
- c) jako surovina pro výrobu dalších stavebních materiálů,
- d) pro výrobky z celulózy a také papíru.

2.3.1 DŘEVO PRO KONSTRUKČNÍ ÚČELY

Používány jsou prvky a výrobky ze surového dřeva jako jsou například trámy, nosníky, fošny, prkna a další. Dále se používá kompozit na bázi dřeva, který využívá menších odpadních částí, jehož produktem jsou pak například dřevovláknité, dřevotřískové, dřevocementové a OSB desky [15].

Dřevovláknité desky jsou vyráběny na bázi dřeva. Jde o moderní materiál, který má nízký difúzní odpor a dobré tepelně izolační vlastnosti. Současně má i dobré mechanické vlastnosti v porovnání s jinými tepelně izolačními materiály. Jako jediný tepelně izolační materiál má i příznivé tepelně akumulaciční vlastnosti, ne však tak velké, jako mají konstrukce ze dřeva. Díky těmto vlastnostem se hodí jako dodatečné zateplení budov, pro tvorbu obvodových plášťů nebo zateplení půdních prostor. Je možné z nich vyrobit i tepelně izolační a akustické izolace do podlah. Dřevovláknité desky jsou oblíbené při tvorbě difúzně otevřených konstrukcí, mnohdy doplněné dalšími difúzně otevřenými materiály, například ovčí vlnou. U dřevovláknitých desek se sleduje zejména jejich chování při vlhkostním zatížení. Sledují a vyhodnocují se u nich tyto parametry [1]:

- a) Difúze, tedy vlastnost definovaná schopností propouštět vodní páru. Závislost této veličiny je na množství vodní páry ve vzduchu, které je vyjádřeno relativní vlhkostí. Tato vlastnost určuje schopnost konstrukce propouštět vodní páru, která je transportována mechanismem difúze a pórové konvekce z prostředí o větším tlaku do prostředí s nižším tlakem. Také spolurozhoduje o míře výskytu kondenzace vodní páry v konstrukcích. Veličina, která popisuje schopnost materiálu propouštět vodní páru difúzí, je faktor difúzního odporu μ . Definuje, kolikrát méně vodní páry za jinak stejných podmínek projde za jednotku času vrstvou daného materiálu v porovnání se stejně silnou vrstvou vzduchu. Nejmenší hodnotu faktoru difúzního odporu má vzduch a to hodnotu 1. To tedy znamená, že čím menší hodnotu faktoru difúzního odporu materiál má, tím snadněji umožňuje vodní páře i ostatním plynům pohyb mechanismem difúze a pórovou konvekcí napříč konstrukcí. Faktor difúzního odporu μ je důležitá vlastnost pro tvorbu tzv. difúzně otevřených konstrukcí. Faktor difúzního odporu

u dřevovláknitých desek se pohybuje v rozmezí $\mu = 5$ až 10 , což platí pro desky s objemovou hmotností vyšší než $\rho = 150 \text{ kg.m}^{-3}$. Faktor difúzního odporu μ se používá ke stanovení ekvivalentní difúzní tloušťky:

$$s_d = \mu \cdot d$$

kde: s_d ekvivalentní difúzní tloušťka [m],
 μ faktor difúzního odporu [-],
 d tloušťka materiál [m].

Ekvivalentní difúzní tloušťka je tloušťka nehybné vrstvy vzduchu v metrech se stejným difúzním odporem, jako je předmětná vrstva materiálu [1].

- b) Míra hydrofobnosti, tedy schopnost odpuzovat vodu. Během skladování a montáže mohou být dřevovláknité desky vystaveny po určitou dobu působení klimatu. Pro tyto případy je důležité, aby vlivem vlhkosti nebobtnaly, nedegradovaly a pokud možno vodu v kapalně fázi i odpuzovaly. Těchto požadavků je možno dosáhnout zabezpečením desek hydrofobizací v hmotě. Některé dřevovláknité desky jsou opatřeny i povrchovou úpravou na bázi přírodního latexu [1].
- c) Schopnost dřevovláknitých desek přijímat (absorbovat) nebo uvolňovat (desorbovat) vodní páru. Tak jako dřevo i dřevovláknité desky vykazují, v porovnání s běžnými izolanty, schopnost pohlcovat vlhkost z ovzduší, což se považuje za absorpční schopnost. Při správném návrhu se tato vlastnost prakticky projeví tak, že průběžně dochází k vyrovnání a stabilizaci vlhkosti v interiéru stavby. Sorpční schopnost je tedy jistou analogií tepelně kapacitních vlastností. Pokud je v interiéru příliš suchého vzduchu, tak vodu ve formě vodní páry uvolňuje (desorbuje). Když je vzduch příliš vlhký, tak ji naopak pohlcuje (absorbuje). Dřevovláknitá deska je schopna pojmout přibližně 12 % až 20 % vlastní hmotnosti, podle stupně hydrofobizace [1].

Dřevovláknité desky Pavatex, pod starým názvem Hofatex, jsou desky vhodné pro zajištění tepelné stability a akustické ochrany nových staveb, dřevostaveb nebo rekonstruovaných konstrukcí. Objemové hmotnosti jsou v rozmezí mezi $\rho = 40 \text{ kg.m}^{-3}$ a $\rho = 240 \text{ kg.m}^{-3}$. Vlákna v deskách jsou pojena ligninem, který je přirozeně obsažen ve dřevě. Je zde k dispozici funkce navazovat jednotlivé desky na

sebe za pomoci pera a drážky. Příznivá je i hodnota součinitele tepelné vodivosti, který se pohybuje v rozmezí $\lambda = 0,038 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a $\lambda = 0,047 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [1].

2.3.2 DŘEVO PRO DOPLŇKOVÉ A KOMPLETAČNÍ KONSTRUKCE

Mezi tyto výrobky patří například výplně dveřních a okenních otvorů, nášlapné vrstvy podlah, truhlářské výrobky, obkladové prvky aj. Patří sem i tzv. šindele, které jsou tradiční historickou střešní krytinou a které nacházejí své uplatnění u rekonstrukcí. U šindele je důležitá metoda zpracování tzv. loupáním, aby nedošlo k porušení vláken dřevní hmoty [15].

2.3.3 DŘEVO JAKO SUROVINA PRO STAVEBNÍ MATERIÁLY

Rozvlákněním dřevní hmoty můžeme získat materiál pro výrobu tepelně a akusticky izolačních desek nebo rohoží. Jsou to výrobky s garantovanou objemovou hmotností, součinitelem tepelné vodivosti, faktorem difúzního odporu, měrné tepelné kapacity, požární odolnosti a dalšími vlastnostmi. Vybrané vlastnosti jsou vypsány výše u dřevovláknitých desek [15].

2.3.4 VÝROBKY Z CELULÓZY A PAPÍRU

Cílem je využívat dřeva jako obnovitelného přírodního zdroje bezzbytku, využívat recyklátů a tím snižovat dopad na životní prostředí.

Celulózová vlákna se vyrábějí systémem suchého rozvláknování a využívají se pro výrobu tepelných a akustických izolací nebo jako přísada do asfaltových směsí. Izolace se může aplikovat zafoukáním do dutin nebo nástřikem [15].

Hospodářství se dřevem je v České republice plně využíváno, není příliš mnoho vedlejších energetických produktů pro výrobu izolačních materiálů.

2.4 Korek

Korek se získává z kůry kmene korkového dubu. Po jeho odřezání opět doroste, což z něj činí plně obnovitelný materiál v řádu desetiletí. Samotná výroba a produkce korku nezatěžuje životní prostředí. Potíž nastává až při expanzi hotového výrobku. Korkový dub nejčastěji roste v jihozápadní a jižní Evropě, nejedná se tedy o tak

exotickou dřevinu, jak by se mohlo na první pohled zdát. Z hlediska stavební činnosti v České republice se korek nedá považovat za lokální materiál, avšak jeho nezpochybnitelné klady tuto skutečnost dle mého názoru plně kompenzují [1].

Korek je považovaný za zdravotně nezávadný materiál. Naopak díky obsahu přírodních pryskyřic není nutné k jeho výrobě používat potenciálně škodlivá chemická lepidla. Díky technologii výroby se v korku neдрží prach (například v podkladní vrstvě podlahy), a je tedy doporučovaný i při prachové alergii. Korek je též odolný vůči roztočům a plísním [1].

Díky své lehkosti a pružnosti vyniká korek snadnou manipulací. Korek se v konstrukci nejčastěji používá jako izolace (tepelná, kročejová, okenní). Korkové rohože se používají jako podklad pod dřevěné podlahy, kde díky své elasticitě zvyšují komfort chůze. Korek lze použít i jako nášlapnou vrstvu podlahy. Pro tento účel se rohože opatřují povrchovou úpravou z vosku, oleje anebo jejich kombinace. V určitých případech lze použít i vodní sklo. Nově se korek používá jako izolace v okenních rámech [1].

Korek lze libovolně tónovat přírodními pigmenty a to jak před lisováním, tak i po něm (hotové desky). Zejména u korkových podlah se cení jeho příjemná pružnost a měkkost. Pocitově se jedná o příjemný, teplý materiál [1].

Po uplynutí doby trvanlivosti jde korek kompostovat, spálit nebo jej použít pro výrobu nového materiálu. Obecně doporučovaná doba trvanlivosti korku je až 50 let [1].

Mezi výhody korku řadíme následující charakteristiky:

- a) snadná obnovitelnost a recyklovatelnost,
- b) obsahuje přírodní pryskyřice, které fungují jako lepidlo,
- c) neдрží prach,
- d) snadno se s ním manipuluje.



Obrázek č. 3 Fotografie korkového dubu a výrobek z něj [16] [17]

2.5 Ovčí vlna

V současnosti je na světě přibližně 1,2 miliard ovcí, převážná část je chována pro maso a mléko. Nejvíce se na chovu podílí Čína a to chovem 171 miliónů ovcí, následuje Austrálie se 103 milióny ovcí. V Evropě žije přibližně 99 miliónů ovcí. Každá ovce vyprodukuje v průměru přibližně 2,5 až 5 kg vlny za rok. Existují plemena, která vyprodukují až 18 kg vlny. Vlna se stříhá jednou až dvakrát ročně a dále se ukládá na celistvé rouno, které je poté rozdělováno do různých kvalitativních tříd. Ovčí vlákno je složeno z 60 % živočišných bílkovinných vláken, 15 % vlhkosti, 10 % tuku, 10 % ovčího potu a 5 % nečistot. Oproti rostlinám je čisté ovčí vlákno složeno z keratinu, pigmentu a chemicky vázané vlhkosti [2].

Vlna nesnižuje stav žádného přírodního zdroje. Je stabilní a vyniká dlouhou životností odhadovanou až na stovky let. Na její výrobu a úpravu se využívá velmi málo energie. Podle zdroje vlny a místa zpracování se může jednat o velmi lokální materiál. Vlivem četného šlechtění ovcí a klesající poptávky po vlně pro textilní výroby vzniká přebytek vlny na trhu. Tím se vlna stává pro stavebnictví velmi levným a dostupným materiálem [1].

Ovčí vlna je považována za zdravotně nezávadný materiál. Používá se převážně jako tepelně izolační materiál. Podle nejnovějších poznatků dokonce dokáže vlna absorbovat nežádoucí látky (např. formaldehyd, ozon) a tím přispívat k čištění ovzduší v místnosti [1].

Ovčí vlna vyniká zejména svou pružností, kterou si zachová po celou dobu své životnosti. Díky ní je s oblibou používána k izolaci špatně přístupných dutin nebo škvír, kde se nijak nedeformuje a slouží svému účelu. Dále se vlna používá k izolaci podlah, stropů a stěn. Vlna do sebe dokáže velmi dobře nasáknout vodu (až 30 % vlastní hmotnosti) bez zhoršení svých tepelněizolačních vlastností. Tuto vodu pak opět postupně uvolňuje, čímž vyrovnává vlhkost v místnosti. Vlna nehoří (zápalná teplota 560 °C), při vysokých teplotách se škvaří [1].

Surovou vlnu je nutné zbavit nečistot, lanolínu a potenciálně i škůdců. Tuto úpravu provádějí specializované firmy v lázni za přidání ekologických prostředků. Takto upravená ovčí vlna je velmi trvanlivý materiál s potenciálem vydržet až stovky let [1].

Souhrnné výhody ovčí vlny jsou:

- a) schopnost samozhášení, vlákna nehoří, ale seškvaří se,
- b) snadná a příjemná manipulace v porovnání s komerčními izolacemi,
- c) bezproblémová recyklovatelnost a snadná manipulace bez ohrožení zdraví lidí,
- d) snadno obnovitelný živočišný surovinový zdroj, patřící do kategorie přírodních materiálů,
- e) vysoká hygroskopie,
- f) nedochází u ní k objemovým změnám.

2.6 Len

Len roste v horských oblastech, kde se většinou mnoha rostlinám nedaří. Při zpracování lnu se životní prostředí téměř nezatěžuje (používá se běžná mechanizace: sklízecí stroje a stroje na zpracování látek). Při jeho zpracování se využívají další suroviny přírodního původu, například bramborový škrob (jako pojivo u lněných izolací) a borité soli. Len se dá po odstranění z konstrukce znovu použít nebo po uplynutí jeho trvanlivosti (obvykle 50 let) spálit, případně zkompostovat [1].

Len je velmi odolná rostlina, při jejímž pěstování nejsou potřeba postřiky ani hnojiva. Odolává plísním i hmyzu. Při manipulaci s lněnými deskami se doporučuje používat ochranná rouška, protože lněný prach je poměrně dusivý [1].

Desky z lněné plsti jsou pružné, tvarově stálé a odolné proti plísním a roztočům. Požární odolnost lnu je bohužel velmi malá. Len se proto ošetřuje různými způsoby. Z ekologického hlediska jsou nejpříznivější borité soli, dále se používá vodní sklo (takto ošetřený len ale už nelze kompostovat) [1].

Len se využívá podobně jako ovčí vlna a to převážně jako tepelná izolace.

V kostce mezi jeho nejlepší vlastnosti patří:

- a) obnovitelnost,
- b) snadná recyklace kompostováním a minimální zátěž životního prostředí,
- c) odolnost proti plísním a hmyzu.

2.7 Rákos

Rákos se obecně vyskytuje po celé zemi v oblastech vodních toků a mokřadů. V Evropě je největším producentem rákosu Maďarsko, Slovensko a Itálie [2].

Vzhledem k tomu, že rákos roste podél řek takřikajíc sám od sebe, dá se považovat za plně obnovitelný a ekologicky šetrný materiál. Roste do výšky 2 až 4 m. Rákos lze plně kompostovat, samozřejmě po odstranění všech kovových (a jiných uměle vyrobených) částí důležitých ke správné funkci rákosových prvků [1].

Není známo, že by rákos vyvolával alergické reakce. Taktéž není nutné při manipulaci s ním používat speciální ochranné pomůcky [1].

Rákos je výrazně tvrdší (a odolnější) než sláma, proto se také v minulosti často používal jako střešní krytina. Může být použit i jako nosič omítky nebo jako tepelná izolace. Dobře přijímá vodu z okolí. Díky této vlastnosti může být použit i jako parozábrana. Rákos je velmi dobře požárně odolný díky vysokému obsahu H_2SiO_3 [1] [2].

Zajímavá je zejména krytina z rákosu zvaná došková, působí velmi estetickým dojmem a ukazuje nám, že každý dům s touto krytinou může působit velmi pohádkově. Došková krytina dodává obydlím specifický ráz. Problém u těchto krytin je zajištění neprůvzdušnosti [1].

Životnosti rákosové krytiny se pohybuje mezi 30 a 50 lety (záleží na správnosti provedení a ošetřování). U izolačních rohoží a nosičů omítek je životnost v podstatě stejná, jako životnost stavby [1].

Charakterizující příznivé vlastnosti rákosu:

- d) obnovitelnost,
- e) snadná recyklace kompostováním a nulová zátěž životního prostředí,
- f) nízké riziko samovznícení.

2.8 Konopí

Konopí velmi rychle roste – z jednoho osetého hektaru lze vyprodukovat až 8 tun stavební suroviny (postačí k zaizolování menšího rodinného domu). Rostliny jsou nenáročné na živiny, mohou se tedy sít i vícekrát za sebou. Díky stavbě rostliny listy konopí zatemňují půdu, tím zamezují růstu plevelů a není potřeba používat k ošetření herbicidy. Taktéž odolávají škůdcům a velmi málo je napadají i jiné choroby, např. plísně [1].

Konopí je rostlina, kterou lze využít bez vzniku odpadu. Konopné vlákno má uplatnění ve výrobě textilních materiálů, krátká a méně hodnotná vlákna jsou využívána jako součást stavebních materiálů s dobrými tepelně a akusticky izolačními vlastnostmi [2].

Konopí nedráždí plíce ani pokožku, nadržuje se v něm prach a odolává škůdcům. Konopné izolace mají příznivé difúzní vlastnosti a díky tomu v místnosti udržují zdravé klima [1].

Konopí skvěle izoluje a těsní stavbu. Jedná se o materiál tvarově stálý, nepodléhající škůdcům a nepadá hořlavý. Používají se celé rohože nebo chuchvalce (foukaná izolace, dotěsnění). Konopné provazce se používají jako těsnění u okenních rámců. Francouzský patentovaný výrobek ISOCHANVRE slouží jako náhrada betonu. Dosahuje jeho pevnosti, zároveň je ale pružnější a až sedmkrát lehčí. Jeho životnost je v podstatě jako životnost stavby [1].

Konopí vyniká těmito vlastnostmi:

- a) odolnost proti škůdcům a plísním,
- b) obnovitelnost a recyklovatelnost, která nezatěžuje životní prostředí,
- c) dobré tepelně izolační a akustické izolační vlastnosti.

2.9 Bavlna

Bavlna se získává z bavlníku. Pěstují se dva druhy bavlníku a to [1]:

- a) bavlník bylinný
- b) bavlník stromový

Tento rostlina má žluté květy, které vyvíjejí tobolek. Tobolky v době zrání pukají a uvnitř těchto tobolek jsou ukryta drobná hnědá semena s osemením krytým 20 mm až 60 mm dlouhými bílými chlupy bavlněného vlákna [1].

Tato vlákna jsou náchylná k napadení plísněmi nebo škůdci, proto se bavlna pěstuje za podpory pesticidů, herbicidů aj., což není přívětivé z pohledu ochrany životního prostředí [1].

Bavlněná vlákna mají dobré izolační vlhkosti a stejně jako ovčí vlna je dobrým regulátorem vlhkosti. Je používána jako tepelně izolační materiál při zateplování budov. Do vnitřních nenosných zdí je bavlna používána jako akustická izolace [1].

Souhrnně má bavlna tyto kladné vlastnosti:

- a) obnovitelnost za předpokladu lepších podmínek pěstování nezatěžujících životní prostředí,
- b) dobré tepelně izolační a akustické izolační vlastnosti,
- c) regulace vlhkosti.

2.10 Sláma

Sláma představuje významný vedlejší energetický produkt výroby pro oblast stavebnictví a to jako alternativní obnovitelný zdroj. Sláma se využívá pro výstavbu svépomocí, nebo tzv. „lowtech“, „low skills“ [15].

Pokud se sláma používá jako izolační materiál, tak záleží na orientaci stébel. Při orientaci stébel vertikálně získáváme součinitel tepelné vodivosti $\lambda_v = 0,046 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a při orientaci horizontálně je hodnota $\lambda_h = 0,060 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [18].

Celulóza je hlavní stavební prvek slámy, která může být strávena například skotem. Předpoklady, že je napadána hlodavci, jsou mylné. Sláma neobsahuje téměř žádné plísně nebo spory.

Sláma se zpracovává do slámokartonových panelů pro systém suché výstavby a to pro příčky, opláštění stěn, stropů aj. Desky jsou lisovány a poté se vkládají například do konstrukce stěn ze dřeva. Slisované desky mohou být opatřeny lepeným kartonem, který může být dále opatřen povrchovou úpravou jako je malba, nátěr, nástřik aj. Ze slámy se vyrábí i slaměné došky pro střešní krytiny [15].

Sláma má obecně vyšší objemovou hmotnost než izolace z konopí. Její součinitel tepelné vodivosti je kolem $\lambda_v = 0,075 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, její výhodou je vysoká hodnota měrné tepelné kapacity c , která je přibližně $2000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [1] [15].

Výhody slámy se dají shrnout takto:

- a) jedná se o obnovitelný zdroj,
- b) dá se jednoduše recyklovat například kompostováním,
- c) vysoká měrná tepelná kapacita.



Obrázek č. 4 Vzhled moderního domu ze slámy [19]

Dům ze slámy nemusí na první pohled vypadat ani přehnaně alternativně, jak by se mohl někdo obávat. Důkazem toho je i tento obrázek č. 4., kde dům z alternativních stavebních materiálů vypadá zcela moderně. Ze slámy se dá stavět i v nízkoenergetickém nebo pasivním standardu, kdy se používá dvojnásobná tloušťka stěny.



Obrázek č. 5 Vyobrazení skladby obvodového pláště s využitím slámy [15]

3 Vlastnosti přírodních stavebních materiálů

3.1 Šíření tepla

Při zohledňování šíření tepla sledujeme hodnotu λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] a měrnou tepelnou kapacitu c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]. Součinitel tepelné vodivosti je vlastnost, která není konstantní. Je charakterizována specificky u každého materiálu a závisí na celé řadě parametrů. Z těchto parametrů jsou nejdůležitější vlhkost a teplota. Součinitel tepelné vodivosti λ vyjadřuje schopnost látky vést teplo kondukcí (vedením) [20].

Při předpokladu homogenního a izotropního tělesa platí pro šíření tepla vedením Fourierův vztah $q = -\lambda \frac{d\theta}{dx}$ v němž platí [21]:

q hustota tepelného toku v kolmém směru na směr tepelného proudění [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]

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

θ teplota [$^{\circ}\text{C}$]

x směr proudění tepelného toku (souřadnice) [m]

V tabulce č. 3 jsou uvedeny základní fyzikální vlastnosti charakteristické pro přírodní izolační materiály. Lze konstatovat, že se součinitel tepelné vodivosti od syntetických izolačních materiálů příliš neliší. Na rozdíl od syntetických izolačních materiálů je faktor difúzního odporu u přírodních izolačních materiálů nižší. Měrná tepelná kapacita je u alternativních materiálů vyšší než u materiálů komerčních.

Tabulka č. 3 Vybrané fyzikální vlastnosti u přírodních stavebních materiálů používaných ve stavebnictví nejen v zemích EU [1]

| Materiál | Součinitel tepelné vodivosti v suchém stavu λ_k [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] | Objemová hmotnost v suchém stavu $\rho_{v,dn}$ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] | Měrná tepelná kapacita v suchém stavu c_{dn} [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] | Suchý / Mokrý faktor difúzního odporu $\mu_{n,d} / \mu_{n,w}$ [-] |
|---------------------|--|--|--|---|
| Len | 0,040 | 20-40 | 1600 | 1 / 2 |
| Technické konopí | 0,040 | 20-25 | 1600 | 1 / 2 |
| Dřevovláknité desky | | | | |
| - pevné | 0,070 | 160-250 | 2000 | 5 / 10 |
| - flexibilní | 0,040 | 40-60 | 2000 | 1 / 2 |
| Kokosová vlákna | | | | |
| - role | 0,050 | 75-80 | 1650 | 1 / 2 |
| - rohože | 0,045 | 120-135 | 1650 | 5 / 10 |
| Korek | | | | |
| - granulát | 0,050 | 55-60 | 1560 | 5 / 10 |
| - desky | 0,058 | 80-500 | 1560 | 5 / 10 |
| Granulát ze žita | 0,050 | 100-120 | 1900 | 2 / 3 |
| Ovčí vlna | 0,040 | 20-25 | 1700 | 1 / 2 |
| Rákos | 0,050 | 190-225 | 1870 | 1 / 2 |
| Mořská tráva | 0,045 | 70-80 | 2000 | 1 / 2 |
| Slaměné balíky | 0,066 | 90-110 | 1800 | 2 / 4 |
| Seno | 0,040 | 30-65 | 2196 | 1 / 2 |

V následující tabulce č. 4 jsou uvedeny základní fyzikální vlastnosti pro hlínu. Vlastnosti hlíny se odvíjejí od míry její vlhkosti. S vyšší vlhkostí má součinitel tepelné vodivosti nižší hodnotu, objemová hmotnost má hodnotu vyšší a roste také měrná tepelná kapacita.

Tabulka č. 4 Přehled fyzikálních vlastností hlín [22]

| Název | Součinitel tepelné vodivosti charakteristický λ_k [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] | Objemová hmotnost $\rho_{v,dn}$ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] | Měrná tepelná kapacita v suchém stavu c_{dn} [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] | Normová hodnota faktoru difúzního odporu μ_n [-] |
|--|--|---|--|--|
| Rostlá půda písčítá a hlinitopísčítá vlhká | - | 2000 | 920 | 2,0 |
| Rostlá půda písčítá a hlinitopísčítá s přirozenou vlhkostí | 0,85 | 1800 | 920 | 1,4 |
| Suchá hlína | 0,45 | 1600 | 750 | 1,5 |

3.2 Akustické vlastnosti

Akustické vlastnosti jsou charakterizovány hodnotami:

- činitel zvukové pohltivosti α [-],
- dynamickou tuhostí s' [$\text{MPa}\cdot\text{m}^{-1}$].

Materiály s porézní strukturou jsou schopny pohltit dopadající akustickou energii. Pokud se šíří zvuk vzduchem, dochází k jeho zředování a zhušťování a tím dochází ke tření molekul v pórech. Třením těchto molekul vzniká teplo. Princip akustické pohltivosti je převod mechanické energie na energii tepelnou. Akustická energie je pohlcována třemi způsoby [23]:

- násobnými odrazy zvukového paprsku v pórech,
- třením vzduchu přenášejícího akustickou energii o stěny pórů,
- přeměnou akustické energie na expanzní práci, periodicky stlačovaný vzduch v pórech.

Činitel zvukové pohltivosti výrazně ovlivňuje vzduchovou neprůzvučnost stavebních konstrukcí. Nabývá hodnot 0 až 1, kdy hodnota 1 značí totální útlum. Proto

by materiály, které jsou používány do akusticky dělicích stavebních konstrukcí, měly dosahovat hodnot totálního útlumu. Dynamická tuhost je zásadní pro hodnocení neprůzvučnosti kročejové. Udává schopnost konstrukce tlumit dynamické kmity vyvolané nárazy či chůzi po podlahové konstrukci [24].

Akustické vlastnosti závisí na objemové hmotnosti a struktuře materiálu. Čím větší objemová hmotnost, tím větší vzduchová neprůzvučnost a akustická pohltivost. Pórovitá struktura materiálu zlepšuje jeho akustické vlastnosti [25].

Z tabulky charakteristických fyzikálních vlastností víme, že materiály samy o sobě nemají velké objemové hmotnosti, ale výrobky z nich už ano. Například EKOPANEL, panel z lisované slámy, má objemovou hmotnost $\rho = 379 \text{ kg.m}^{-3}$ a to při tloušťce 58 mm. Neprůzvučnost jednoduché příčky z tohoto výrobku má hodnotu 33 dB, dvojitá příčka má hodnotu 45 dB [25].

Konopná izolace vykazuje velmi dobré akustické vlastnosti. Díky zvýšené pórovitosti vláken oproti například vláknům skelným [26].

Předchozí výzkum na ústavu THD fakulty stavební VUT v Brně prokázal, že přírodní vláknité materiály dosahují velmi dobrých akustických vlastností, mnohdy lepší než vlákna syntetická. U vzorku technického konopí (směs vláken a pazdeří s vodorovným kladením, pojená bikomponentními vlákny) byl stanoven součinitel zvukové pohltivosti v rozmezí $\alpha = 0,9$ až $\alpha = 0,95$, blíží se k totálnímu útlumu. Dynamická tuhost byla velmi nízká, v rozmezí $s' = 3,3 \text{ MPa.m}^{-1}$ až $s' = 12,47 \text{ MPa.m}^{-1}$ v závislosti na tloušťce materiálu. Jedná se tedy o dynamicky měkký materiál [24].

3.3 Požární odolnost

Požární odolnost se stanovuje různými metodami. Podle nich se pak klasifikuje materiál dle reakce na oheň. Rozeznáváme sedm hlavních úrovní reakce na oheň, kde třída A se dělí na A1 a A2. Do třídy A spadají materiály většinou anorganické s velmi malým podílem organických plniv. Jedná se tedy o materiál nehořlavý. Třídy B, C, D musí být zkoušeny dle ČSN EN ISO 11925-2 A EN 13823. Třída E musí být zkoušena dle ČSN EN ISO 11925-2 a třída F je klasifikována jako organický materiál, který je považován za hořlavý, je tedy bez požadavků na zkoušky.

Rostlinná vlákna jsou převážně tvořena celulórou a jejich rozklad nastává při působení teplot kolem 350 °C. Tato vlákna jsou neošetřená, bez přidání tzv. retardérů

hoření. Řadíme je tedy dle ČSN EN 13 501-1 do kategorie F. Použití tzv. retardéru hoření má za cíl prodloužení času vznícení, snížit množství toxických plynů nebo omezit tepelný výkon. Obvyklými látkami, které lze použít jako tzv. retardér hoření, jsou sloučeniny bóru, dusíku, fosforu či křemíku. Dále můžeme použít roztok uhličitanu sodného nebo vodní sklo [27].

Nehořlavost je dále možno zvýšit lisováním materiálu. Čím méně zůstane v materiálu vzduchu, tím méně kyslíku má oheň k dispozici pro své hoření. Podle potřeby je taky možné do sendvičové konstrukce vložit nehořlavou vrstvu, nebo konstrukci opatřit ochranou omítkou.

4 Předpokládaný vývoj

Takzvaný balíček „20-20-20“, je soubor závazných právních předpisů, které zajistí, aby EU splnila své klimatické a energetické cíle do roku 2020. Balíček stanovuje tři klíčové cíle, a to [28]:

- a) 20% snížení emisí skleníkových plynů (od úrovně z roku 1990),
- b) 20% energie EU z obnovitelných zdrojů,
- c) 20% zlepšení energetické účinnosti.

Systém obchodování s emisemi (ETS) je klíčovým nástrojem EU pro regulaci emisí skleníkových plynů z velkých zařízení v odvětví energetiky a průmyslu, stejně tak i z odvětví letectví. ETS pokrývá přibližně 45 % emisí skleníkových plynů v EU. Cílem EU je snižovat emise v jednotlivých státech, jedná se o emise, které nejsou součástí ETS. Tyto emise představují 55 % celkových emisí EU a jsou to například emise vznikající z [28]:

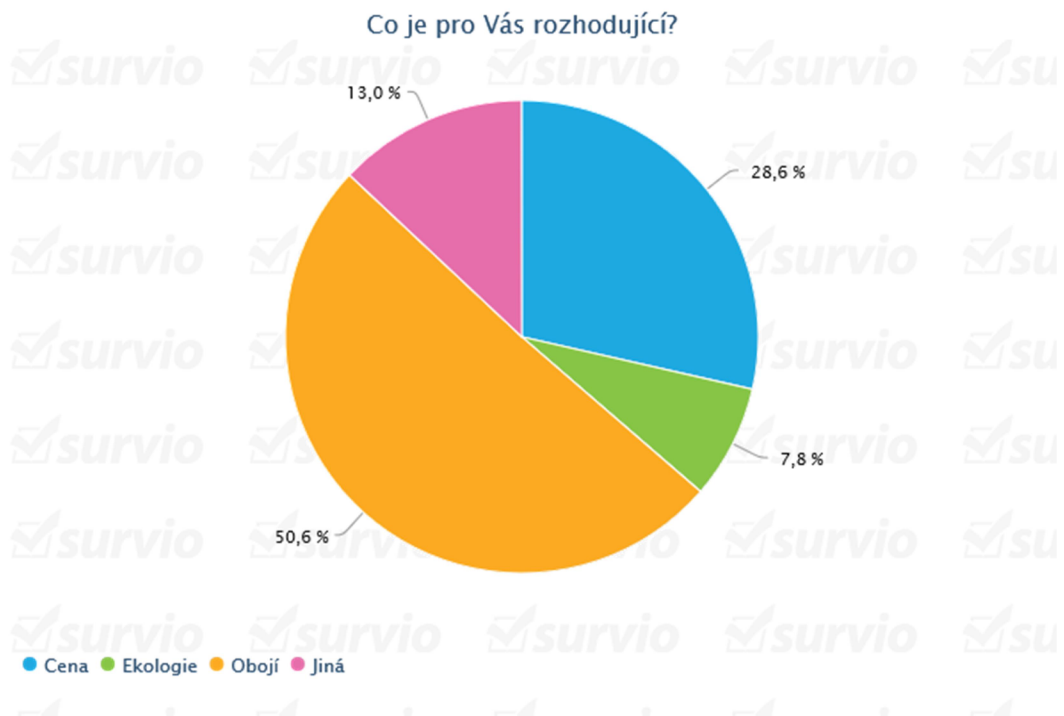
- a) bydlení,
- b) zemědělství,
- c) produkce odpadů,
- d) dopravy (s výjimkou letectví).

S rostoucí populací se zvyšuje i poptávka po bydlení – tedy i po stavebních materiálech. Předpokládám, že míra zastoupení ekologických a snadno recyklovatelných materiálů se bude zvyšovat napříč obory. K tomu dopomáhá i zmiňovaný balíček EU „20-20-20“, který redukuje množství skleníkových plynů způsobených například i výrobou syntetických tepelně izolačních materiálů. Stávající komerční staviva mají většinou omezené surovinové zdroje a jednou budou vyčerpány. Mimo to je jejich recyklace často náročná, neekologická a nerentabilní. Z tohoto důvodu předpokládám, že můžeme čekat obrácení tohoto trendu a naopak vyšší poptávku po těchto přírodních a ekologických alternativách. K tomu, aby bylo využívání alternativních zdrojů surovin pro stavební materiály konkurence schopné na Evropské úrovni je zapotřebí lepší hospodaření například s osevními plochami a samozřejmě

i osvěta mezi odborníky a zákazníky. Místo snížení osevních ploch lnu a konopí, který má v České republice hlubokou tradici, by se osev těchto rostlin měl zvýšit. Dopomoci tomu může například vyšší poptávka po těchto rostlinách jako po stavebním materiálu, nebo určitá forma státní podpory.

Přírodní materiály používané jako tepelné izolace se ne ve všech ohledech vyrovnají komerčním syntetickým izolantům. V současnosti nedosáhneme tak nízkých součinitelů tepelné vodivosti, které jsou zapotřebí pro aplikaci například v mrazírnách nebo ve spalovnách, kde je zapotřebí mít minimální výměnu tepla s okolním prostředím. Avšak pro stavby jako je rodinný dům, bytový dům, občanské stavby aj., je materiál z přírodních stavebních materiálů vhodný, protože má srovnatelné fyzikální vlastnosti. Dále nesmíme opomenout i obnovitelnost, energetickou náročnost při výrobě, produkci skleníkových plynů a jednodušší recyklovatelnost.

Pro lepší představu o potenciálních zákaznících jsem zpracoval menší průzkum trhu. Celkem bylo dotázáno 77 lidí. Jedna z hlavních otázek zjišťovala, jaký stavební materiál by subjekt nejraději zvolil (dřevěný kompozit, keramický kompozit, beton) a kde by do budoucna nejraději bydlel (rodinný dům, bytový dům, samota aj.). Dále jsem zjišťoval, které ze zadaných kritérií (ekologie, cena nebo obojí) je pro dotazované při volbě rozhodující. Převážná většina dotazujících vybrala rodinný dům jako vhodné místo pro bydlení a jako materiál si vybrala cihlářský kompozit nebo dřevěný kompozit. Menšina by se přiklonila k betonu. Při otázce, co u výběru stavebního materiálu rozhoduje, většina dotazovaných zvolila možnost ekologie i cena. Menšina poté samotnou cenu a nejméně dotázaných by na prvním místě zohledňovalo ekologii.



Obrázek č. 6 Rozhodující faktory při výběru stavebního materiálu

Cenově se jeden m² za tepelnou izolaci z pěnového polystyrenu pohybuje okolo 100 Kč [29].

Za jeden m² konopné izolace s jutou zaplatí zákazník přibližně 350 Kč [30].

Cenově si nejsou tyto materiály příliš blízké, avšak tepelná izolace z přírodních vláken má mnohem lepší recyklovatelnost a je méně energeticky náročná na výrobu, čímž je samozřejmě i ekologičtější. I přesto dává většina zákazníků přednost pěnovému polystyrenu, který je cenově levnější. Domnívám se však, že s přibývajícím osvětou bude těchto lidí ubývat. Jako všechno v této době je i přijetí alternativních staviv především otázkou dobrého marketingu a zlepšení obecného povědomí o nich a o jejich výhodách.

5 Experimentální část

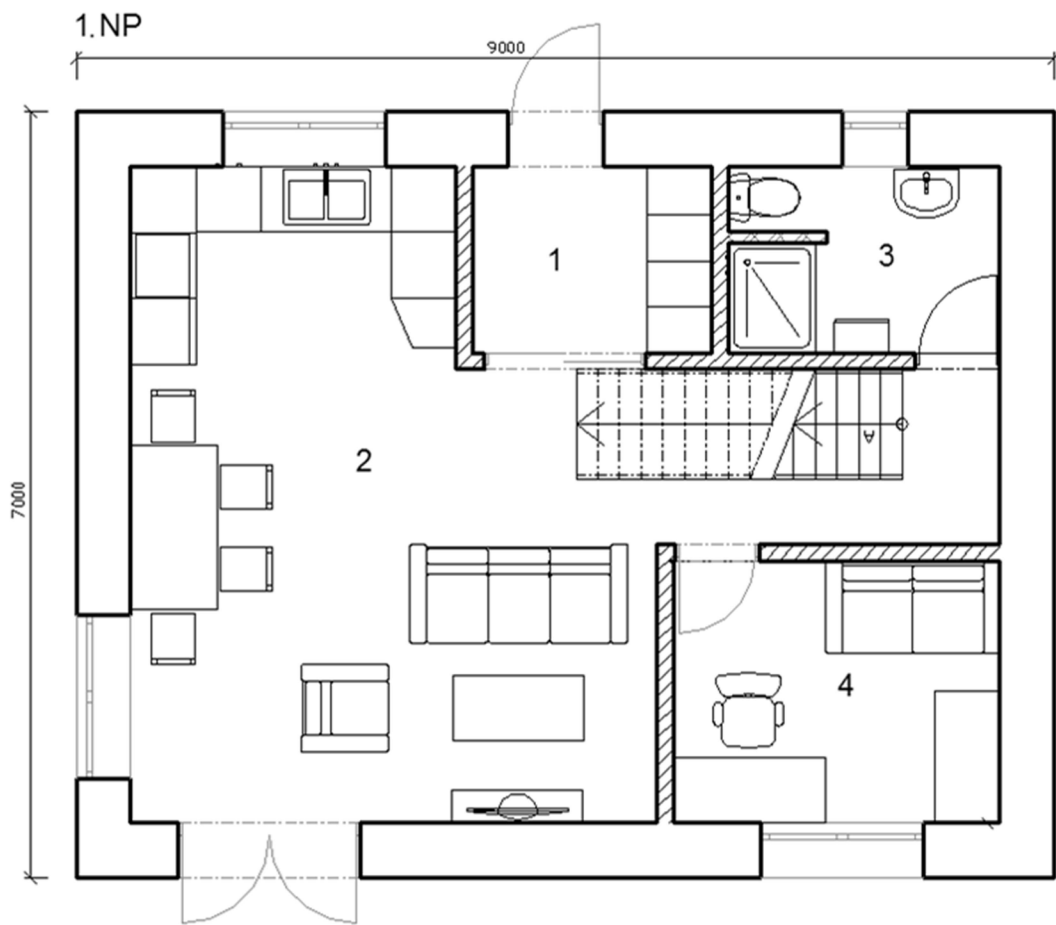
5.1 Výpočtové vlastnosti

Cílem experimentu je porovnání tepelně akumulačních a tepelně izolačních vlastností při použití klasických tepelných izolačních materiálů oproti užití alternativních izolačních materiálů v experimentálním domě. Alternativní surovinové zdroje jsou zejména přírodní, které jsou snadno obnovitelné a některé jsou jako odpadní materiál z průmyslových produkcí, které nalézají uplatnění ve stavebnictví. Tyto materiály by podle předpokladu měly vykazovat srovnatelné tepelné technické vlastnosti v porovnání s klasickými tepelně izolačními materiály, běžně používanými ve stavebnictví. Jedná se pouze o experimentální výpočet, pro zjištění reálného působení by bylo zapotřebí zbudovat reálný objekt a na něm tyto parametry zjišťovat.

Pro tento experiment bylo zapotřebí navrhnout vzorový dům a jeho parametry zanechat do programu. Hodnoty, které byly zapotřebí, jsou m^3 místností, m^2 stěn, oken, dveří a podlah. Dále teplota v místnostech, a zdali jsou vytápěny. Určující je též orientace na světové strany a materiálové složení stěn, podlah a střechy a tím i jejich fyzikální vlastnosti. Tyto fyzikální vlastnosti jsou objemová hmotnost, tloušťka, měrná tepelná kapacita a součinitel tepelné vodivosti. Materiálové složení sloužilo pro skladby stěn, podlah, střechy, které byly nejdůležitější variabilní položkou, ve které se měnil právě experimentálně zkoušený materiál.

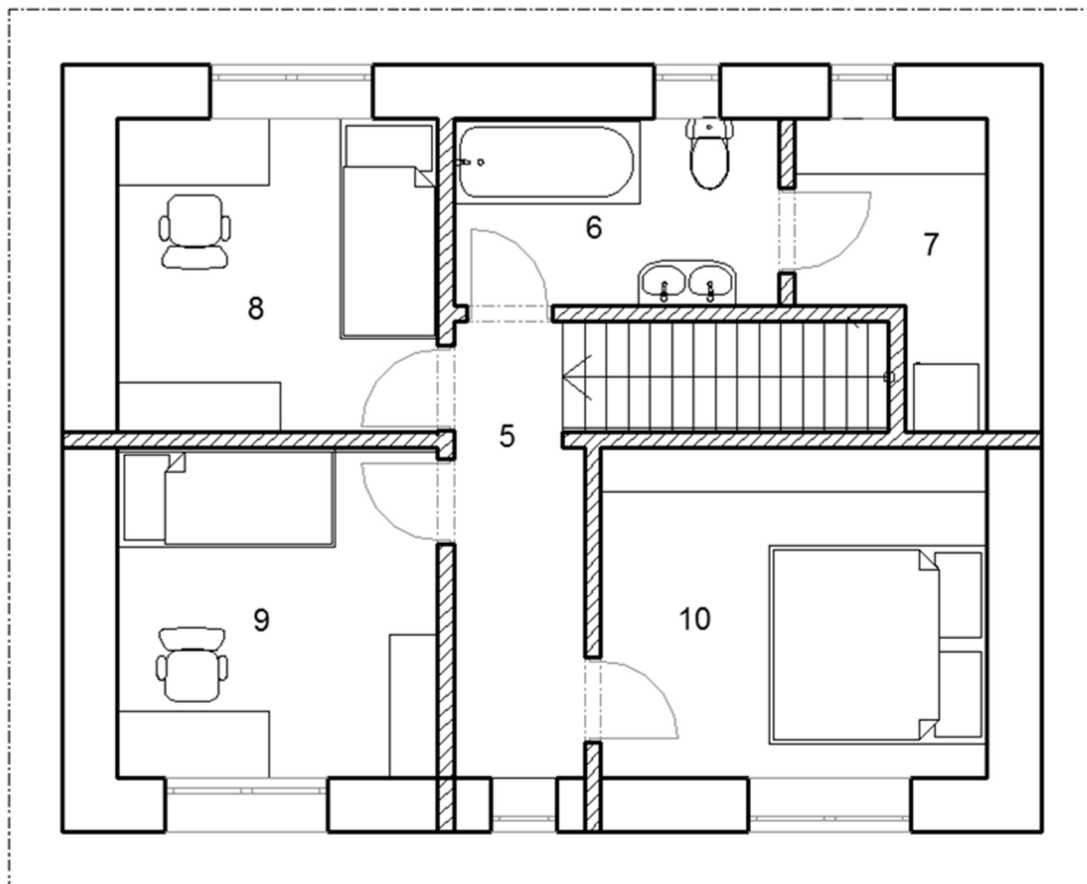
Experimentální dům je schematicky znázorněn na obrázcích č. 7 a 8, pro jeho návrh a základní materiálové uspořádání sloužil katalog Rýmařovské domy, vydán v červnu 2015. Experimentální dům je podobný domu KUBIS 631 na straně 63.

Simulační výpočet znázorňuje chování objektu po dobu jednoho roku. Sleduje teploty místností a potřebné vytápění pro tepelnou stabilitu ve vytápěných prostorech.



Obrázek č. 7 Schéma experimentálního domu 1. NP

2.NP



Obrázek č. 8 Schéma experimentálního domu 2. NP

Tepelně akumulční schopnost můžeme označit jako komfort bydlení. Je to schopnost, při které v letním období nevystoupá teplota v místnosti k mnohem vyšší hodnotě, než je teplota venkovní. Tedy zkoumáme vrcholové píky, které v nastávajících obrázcích uvidíme. Jedná se o maximální teplotu, která byla experimentálně v dané místnosti stanovena k danému dni.

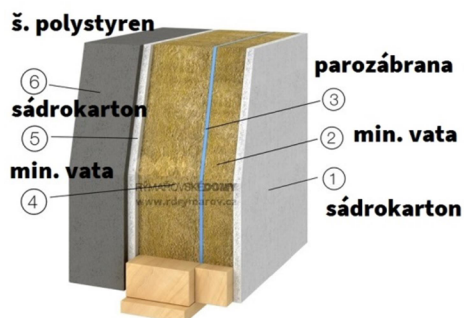
Pro tepelně izolační schopnost objektu zkoumáme spotřebovanou energii potřebnou pro temperování místností na dané teploty. Tuto schopnost porovnáváme s celkovou spotřebou energie, která je orientační a experimentální.

Tabulka č. 5 Seznam místností a legenda barev čar pro následující obrázky

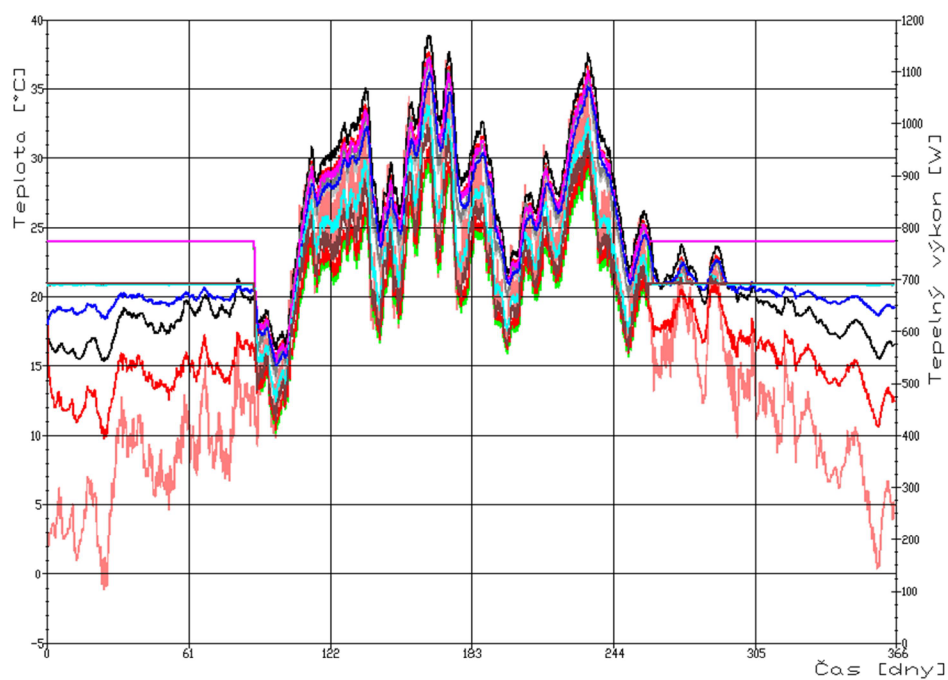
| Číslo | Místnosti | Charakteristická barva |
|-------|---------------------------------|------------------------|
| 1 | Zádveří | červená |
| 2 | Chodba, obývací, kuchyňský kout | hnědá |
| 3 | Koupelna, WC | zelená |
| 4 | Pracovna | světle modrá |
| 5 | Chodba | tmavě modrá |
| 6 | Koupelna, WC | fialová |
| 7 | Komora | černá |
| 8 | Pokoj 1 | šedá |
| 9 | Pokoj 2 | šedá |
| 10 | Ložnice | červená |
| 11 | Půda | oranžová |

V posuzování tepelně akumulční schopnosti pozorují místnost číslo 7, tedy komoru, která má barvu grafu černou. Tato místnost dosahuje nejvyšších teplot v letním období, jak lze vyčíst z následujících obrázků.

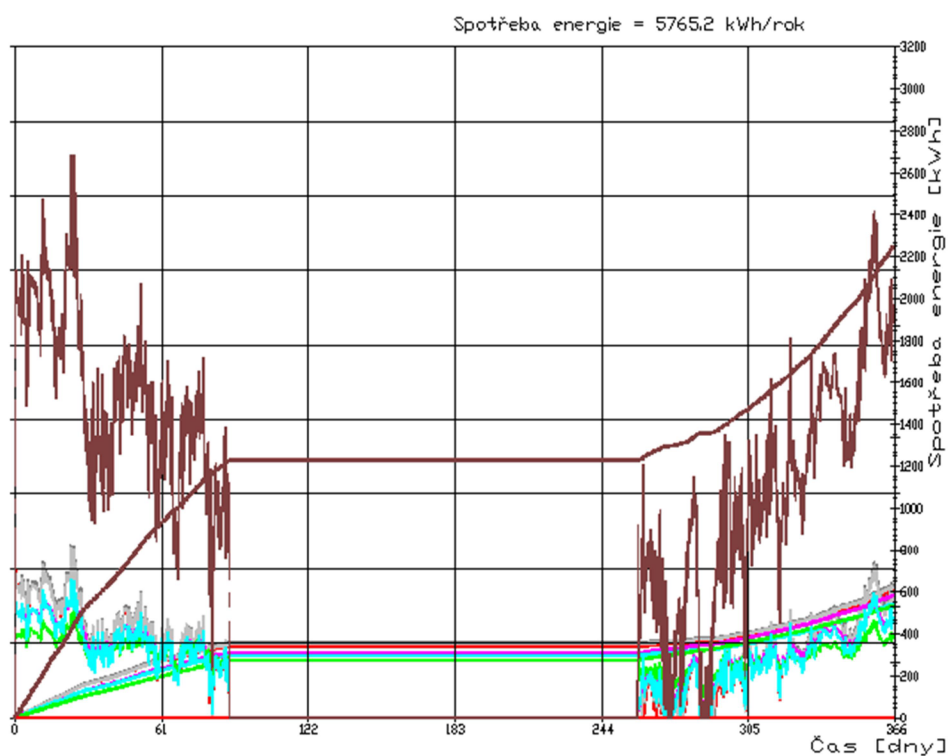
Složení obvodové zdiva pro první experimentální vykreslení teplot a spotřeby je ze šedého polystyrenu, minerální vaty, sádrokartonu a parozábrany.



Obrázek č. 9 Schéma upořádání obvodové stěny RD Rýmařov [31]



Obrázek č. 12 13 Graf průběhů teplot během roku v místnostech pro izolační materiály konopí a slámu



Obrázek č. 14 Graf průběhů spotřeby energie během roku pro izolační materiály konopí a slámu

5.2 Porovnání fyzikálních projevů

Největší tepelně akumulční schopnost vykazují materiály s velkou měrnou tepelnou kapacitou c . Jsou to materiály převážně přírodního původu. Tepelně izolační schopnosti přírodních izolačních stavebních materiálů jsou podobné jako tepelně izolační schopnosti klasických izolačních materiálů. Tento předpoklad potvrdila experimentální část mé práce (jedná se o výsledek patrný z tabulky č. 6).

Tabulka č. 6 Přehled fyzikální vlastnosti vybraných izolačních materiálů podle [26]

| Materiál | Objemová hmotnost [kg.m ⁻³] | Součinitel tepelné vodivosti λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹] | Faktor difúzního odporu μ [-] | Měrná tepelná kapacita c [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹] |
|---------------------|---|--|-----------------------------------|---|
| Konopí | 25 - 42 | 0,038 - 0,040 | 1–2 | 1600 |
| Ovčí vlna | 12,5 - 25 | 0,034 - 0,049 | 1 | 1800 |
| Dřevovláknitá deska | 250 | 0,038 - 0,043 | 5–10 | 1380 |
| Len | 30 | 0,04 | 1 | 1550 |
| Sláma | 90 - 135 | cca 0,05 | 2 | 2000 |
| Celulóza | 30 - 60 | 0,037 - 0,042 | 1–2 | 2000 |
| Korkové desky | 150 | 0,064 | 8–10 | 1880 |
| Pěnový polystyren | 15 - 40 | 0,033 - 0,044 | 40 - 100 | 1500 |
| Minerální vata | 100 - 200 | 0,038 - 0,050 | 1,5 - 3 | 840 |
| Pěnové sklo | 120 - 175 | 0,038 | 70 000 | 840 |

Podle obrázků č. 10 a 12 lze pozorovat úroveň teplotního komfortu podle nejvyšších letních teplot v místnostech posuzovaného domu. Při použití materiálové skladby, a to minerální vaty a pěnového polystyrenu, tak teploty dosahují v létě i přes 40 °C. Naopak při použití materiálové skladby stěn z přírodních materiálů, které v tomto experimentu bylo využito ve skladbě konopí spolu se slámou, tak žádná teplota místnosti nepřesahovala hranici 40 °C. Došlo tedy ke zlepšení tepelně akumulčních poměrů.

Při posuzování tepelně izolačních vlastností pozorujeme hodnotu spotřeby energie pro vytápění místnosti na stanovenou teplotu. Tuto hodnotu lze vyčíst z obrázků č. 11 a 13. Výpočtově bylo předpokládáno, že se šest měsíců v roce v domě nevytápí.

Tabulka č. 7 Přehled spotřeby energie pro posuzované kombinace izolačních materiálů v experimentálním domě

| Kombinace izolačních materiálů | Spotřeba energie [kWh.rok ⁻¹] |
|----------------------------------|---|
| Minerální vata a šedý polystyren | 5496 |
| Sláma a šedý polystyren | 6238 |
| Sláma a konopí | 5765 |
| Sláma | 5736 |
| Konopí | 5669 |

Experimentálním výpočtem jsem zjistil, že spotřeba energie na vytápění je s použitím přírodních materiálů vyšší, což dokazují údaje v tabulce výše. Otázkou je, jakých výsledků bychom dosáhli s návrhem domu více uzpůsobeným pro použití těchto materiálů (skladba stěn a podlah, použitá okna aj.). Nesmíme také opomenout, že přírodní izolační materiály jsou snadno recyklovatelné a jejich výroba není tak energeticky náročná jako výroba klasických izolačních materiálů.

6 Závěr

Přírodní stavební materiály v současné době chápeme jako alternativy k těm běžně vyráběným a užívaným. Cílem bakalářské práce bylo ukázat znatelné výhody, které poskytují přírodní stavební materiály oproti těm klasickým. Těmito výhodami jsou obdobné vlastnosti, některé dokonce i příznivější, než mají klasické materiály, zejména jejich zdravotní nezávadnost a nízký dopad na životní prostředí. Je jen otázkou času, kdy budou přírodní stavební materiály v důsledku vyčerpávání nerostných surovin, používány jako běžné materiály pro stavební účely. Pokud se tak nestane z důvodu docházejícího nerostného bohatství, tak už pro jejich příznivé vlastnosti a pro zvýšený zájem zákazníků o ekologické produkty. K poklidnému přechodu na přírodní stavební materiály je zapotřebí brát v povědomí současný stav společnosti a od základu přehodnotit její přístup k ekologii a k zažitým stereotypům, ke kterým patří například i stavební materiály. Aby mohlo dojít k plošnému rozšíření přírodních stavebních materiálů je tedy zejména zapotřebí zvyšovat osvětu mezi lidmi. Toho lze dosáhnout například i výukou ve školách. Pro uspokojení poptávky po přírodních materiálech je zapotřebí i materiálová základna těchto zdrojů. Bylo by vhodné uvést v platnost legislativu, která by podporovala pěstování například v bakalářské práci zmíněného konopí nebo lnu. Dále zvýšit osevní plochy těchto rostlin, které mají v České republice tradici. Tato opatření by se mohla promítnout i do průmyslu, který tyto rostliny zpracovává. Větší objem zpracované suroviny a vyšší počet výrobků by mohl mít za následek i snížení jejich finální ceny. V celkovém důsledku by tato opatření vedla ke zvýšení objemu surovinové základny, většímu množství výrobků, modernizaci a nižší ceně výsledného materiálu. Tímto způsobem by bylo možné řešit situaci alternativních staviv, neboť klasické materiály mají v současnosti vyšší oporu v legislativě a jsou všeobecně přijímány s větší důvěrou než materiály alternativní.

V experimentální části jsem prokázal příznivější výsledky při zvýšení tepelné akumulaci použitím alternativních izolantů. Zejména vyšší teplotní komfort v interiéru domu za horkých letních dnů, a to díky vyšší hodnotě měrné tepelné kapacity při použití přírodních stavebních materiálů. Při porovnávání tepelně izolačních vlastností je

spotřeba energie pro vytápění u přírodních stavebních materiálů o 200 kWh.rok^{-1} větší než u klasických materiálů.

V současné době se ukazuje, že obvykle nenastávají problémy u domů s tzv. zimní tepelnou ochranou, neboť požadavky na ně jsou vymezeny legislativně a na stavebním trhu je dostupná řada vhodných izolantů, avšak zůstává problém v oblasti tzv. letní tepelné ochrany budov v důsledku přehřívání interiéru nadměrným osluněním budov. Dosažení příznivějších tepelně izolačních vlastností přírodních stavebních materiálů by ovšem nastalo při větší společenské pozornosti a technologickém „zušlechtění“.

Seznam použitých pramenů a literatury

- [1] CHYBÍK, J. *Přírodní stavební materiály*. Praha: Grada Publishing, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [2] HROUDOVÁ, J. *Vývoj a výzkum environmentálně úsporných izolačních materiálů*. Brno, 2013. 192 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Jiří Zach, Ph.D.
- [3] Historie a současnost hliněného stavitelství - 1. část | Ekostavivo. *Ekostavivo | Obchod pro přírodní stavitelství* [online]. Copyright © 2014, Ekostavivo [cit. 16. 05. 2017]. Dostupné z: <<http://www.ekostavivo.cz/historie-a-soucasnost-hlineneho-stavitelstvi-1-cast/>>
- [4] Len – Wikipedie. [online]. [cit. 16. 05. 2017]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Len>>
- [5] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. Situační a výhledová zpráva Obiloviny. Praha [online]. 2011, [cit. 16. 05. 2017]. Dostupný z: <http://eagri.cz/public/web/file/56759/LEN_a_KONOPI_2010.pdf>
- [6] Juta – Wikipedie. [online]. [cit. 16. 05. 2017]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Juta>>
- [7] Jutovník – Wikipedie. [online]. [cit. 16. 05. 2017]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Jutovn%C3%ADk>>
- [8] Bavlna – Wikipedie. [online]. [cit. 16. 05. 2017]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Bavlna>>
- [9] CHYBÍK, J. Dřevěné konstrukce a přírodní izolační materiály. TZB-info [online]. 20. 9. 2010 [cit. 16. 05. 2017]. Dostupné z: <<http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6791-drevene-konstrukce-a-prirodni-izolacni-materialy>>. ISSN 1801-4399.
- [10] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. Rostlinná vlákna: Učební texty Fakulty textilní, Katedra textilních materiálů. Liberec [online]. 2005, [cit. 16. 05. 2017]. Dostupné z: <http://www.kmi.tul.cz/studijni_materialy/data/2013-10-04/08-24-07.pdf>

- [11] atelier | V I Z A G E | vizualizace | architektura | design . *atelier | V I Z A G E | vizualizace | architektura | design* Brno [online]. 2007, [cit. 16. 05. 2017]. Dostupné z: <http://www.vizage.cz/files/prirodni_materialy_2007_cas_web.pdf>
- [12] FROLEC, V., VAŘEKA, J. *Lidová architektura: encyklopedie*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983.
- [13] VAVERKA, J. *Dřevostavby pro bydlení*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2205-4.
- [14] RŮŽIČKA, M. *Stavíme dům ze dřeva*. Praha: Grada, 2006. Profi & hobby. ISBN 80-247-1461-2.
- [15] Stavební materiály na bázi obnovitelných zdrojů surovin | 11-12/07 | časopis Stavebnictví | Expodata Brno. *Časopis stavebnictví | Expodata Brno* [online]. Copyright © 2007 [cit. 16. 05. 2017]. Dostupné z: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/stavebni-materialy-na-bazi-obnovitelnych-zdroju-surovin_N498>
- [16] Korek v metráži | Korek Jelínek . Korek Jelínek [online]. [cit. 15. 05. 2017]. Dostupné z: <<http://www.korek-jelinek.cz/z4973-korek-v-metrazi>>
- [17] [online]. Copyright © 2011 [cit. 16. 05. 2017]. Dostupné z: <<http://www.izolace-info.cz/technicke-informace/zateplovani-obecne-informace/?nid=20192-korek-material-s-vybornymi-izolacnimi-vlastnostmi.html#.WRrjS8akL6R>>
- [18] Minke, G., Friedemann, M.: *Building with Straw – Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Birkhäuser – Publishers for Architecture, Basel, 2005, ISBN 3-7643-7171-4
- [19] Stunning modern house is made from straw bale : TreeHugger. TreeHugger | Your source for green design & living news, commentary and advice [online]. Copyright © 2017 [cit. 15. 05. 2017]. Dostupné z: <<https://www.treehugger.com/slideshows/green-architecture/stunning-modern-house-made-straw-bale/>>
- [20] HALAHYJA, M., CHMÚRNY, I., STERNOVÁ, Z. *Stavebná tepelná technika: tepelná ochrana budov*. Bratislava: Jaga, 1998. ISBN 80-88905-04-4.
- [21] DAVIES, M. G. *Building heat transfer*. Hoboken, NJ: J. Wiley, c2004. ISBN 04-708-4731-X.
- [22] *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin: ČSN 73 0540-3*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

- [23] VAVERKA, J.; KOZEL, V.; LÁDYŠ, L.; LIBERKO, M.; CHYBÍK, J. Stavební fyzika 1, urbanistická stavební a prostorová akustika. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 1998. 343 s. ISBN 80-214-1283-6.
- [24] HROUDOVÁ, J., KOUT, P., a ZACH, J. Komplexní hodnocení vlastností přírodních izolačních materiálů z technického konopí určených do podlah TZB-info [online]. [cit. 15. 05. 2017]. Dostupné z: <<http://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/7290-komplexni-hodnoceni-vlastnosti-prirodnich-izolacnich-materialu-z-technickeho-konopi-urceny-ch-do-podlah>>
- [25] EKOPANEL - slaměný lisovaný panel | E-shop Přírodní stavba. *Přírodní stavba, EKO a BIO materiály* [online]. [cit. 15. 05. 2017]. Dostupné z: <<http://www.prirodnistavba.cz/ekopanel-slameny-lisovany-panel-3426.html>>
- [26] Konopné izolace. *Přírodní stavba, EKO a BIO materiály* [online]. [cit. 15. 05. 2017]. Dostupné z: <<http://www.prirodnistavba.cz/press/11/konopne-izolace.html>>
- [27] SLÍPKOVÁ, A. *Vývoj tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních vláken*. Brno, 2013. 86 s., 6 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Jiří Zach, Ph.D.
- [28] *Climate Action* [online]. [cit. 15. 05. 2017]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en>
- [29] UNIROL PROFI 10 - 100mm, 4500x1200 - Eshop. *Nejlevnější stavba - Eshop* [online]. [cit. 15. 05. 2017]. Dostupné z: <<https://nejlevnejsi-stavba.cz/unirol-profi-10-100mm-4500x1200.html>>
- [30] Konopné izolace s jutou TERMO-KONOPI® Duo rohož100x580x1200 mm | E-shop Přírodní stavba. *Přírodní stavba, EKO a BIO materiály* [online]. [cit. 15. 05. 2017]. Dostupné z: <<http://www.prirodnistavba.cz/konopna-izolace-s-jutou-termo-konopi-duo-rohoz-100x580x1200-mm-4381.html>>
- [31] Schémata stěn a stropů | RD Rýmařov s.r.o.. *Rodinné domy | RD Rýmařov s. r. o.* [online]. Copyright © 2017, RD Rýmařov s.r.o. [cit. 16. 05. 2017]. Dostupné z: <<http://www.rdrymarov.cz/schemata-sten-a-stropu>>

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka č. 1 Přehled vybraných klasických a přírodních izolačních materiálů a jejich hodnoty podílu energetické složky PEI a jejich míra na kvalitu životního prostředí parametry GWP a AP [1] [9] | 17 |
| Tabulka č. 2 Chemické složení vybraných vláken v % podle [10]..... | 18 |
| Tabulka č. 3 Vybrané fyzikální vlastnosti u přírodních stavebních materiálů používaných ve stavebnictví nejen v zemích EU [1]..... | 37 |
| Tabulka č. 4 Přehled fyzikálních vlastností hlín [22] | 38 |
| Tabulka č. 5 Seznam místností a legenda barev čar pro následující obrázky | 47 |
| Tabulka č. 6 Přehled fyzikální vlastnosti vybraných izolačních materiálů podle [26] ... | 50 |
| Tabulka č. 7 Přehled spotřeby energie pro posuzované kombinace izolantů v experimentálním domě..... | 51 |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek č. 1 Fotografie jutovníku [7]..... | 14 |
| Obrázek č. 2 Fotografie otevřené tobolky se zralou bavlnou [8]..... | 15 |
| Obrázek č. 3 Fotografie korkového dubu a výrobek z něj [16] [17]..... | 29 |
| Obrázek č. 4 Vzhled moderního domu ze slámy [19]..... | 34 |
| Obrázek č. 5 Vyobrazení skladby obvodového pláště s využitím slámy [15]..... | 35 |
| Obrázek č. 6 Rozhodující faktory při výběru stavebního materiálu | 43 |
| Obrázek č. 7 Schéma experimentálního domu 1. NP..... | 45 |
| Obrázek č. 8 Schéma experimentálního domu 2. NP..... | 46 |
| Obrázek č. 9 Schéma upořádání obvodové stěny RD Rýmařov [31] | 47 |
| Obrázek č. 10 Graf průběhů teplot během roku v místnostech pro izolační materiály minerální vatu a šedý polystyren..... | 48 |
| Obrázek č. 11 Graf průběhů spotřeby energie během roku pro izolační materiály minerální vatu a šedý polystyren..... | 48 |
| Obrázek č. 12 Graf průběhů teplot během roku v místnostech pro izolační materiály konopí a slámu | 49 |
| Obrázek č. 13 Graf průběhů spotřeby energie během roku pro izolační materiály konopí a slámu | 49 |

Seznam použitých zkratk

| | |
|-----------|--|
| % | Procenta |
| °C | Stupeň Celsia |
| μ | Faktor difúzního odporu |
| α | Činitel zvukové pohltivosti |
| λ | Součinitel tepelné vodivosti |
| θ | Teplota |
| ρ | Objemová hmotnost |
| AP | Primární energie v materiálu |
| aj. | A jiné |
| C | Měrná tepelná kapacita |
| č. | Číslo |
| D | Tloušťka |
| dB | Decibel |
| ETS | Systém obchodování s emisemi |
| EU | Evropská unie |
| F | Pevnost |
| GWP | Potenciál globálního oteplování |
| Kč | Koruna česká |
| kg | Kilogram |
| n. l. | Našeho letopočtu |
| NP | Nadzemní podlaží |
| Obr. | Obrázek |
| OSB | Orientovaně rozprostřené velkoplošné třísky |
| PEI | Potenciál zakyselení životního prostředí |
| q | Hustota tepelného toku v kolmém směru na směr tepelného proudění |
| RD | Rodinný dům |
| s' | Dynamická tuhost |
| s_d | Ekvivalentní difúzní tloušťka |
| Tab. | Tabulka |
| THD | Ústav technologie stavebních hmot a dílců |
| tzv. | Takzvaně |
| VUT | Vysoké učení technické |
| x | Směr proudění tepelného toku |