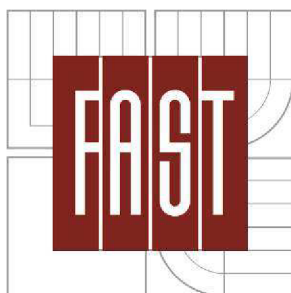


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

## DŘEVOSTAVBY S POUŽITÍM PŘÍRODNÍCH TEPELNÝCH A ZVUKOVÝCH IZOLACÍ

WOODEN BUILDINGS USING NATURAL THERMAL AND ACOUSTIC INSULATION

DISERTAČNÍ PRÁCE  
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

ING. ELENA AMBROŽOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. MIROSLAV SPÁČIL, CSC

BRNO 2015

Prohlášení:

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

V Brně dne .....

.....  
podpis doktoranda



## OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Cíle práce .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Teoretická část – .....</b>	<b>7</b>
	<b>- historie a současnost dřevostaveb .....</b>	<b>7</b>
3.1	Vlastnosti materiálu.....	9
3.1.1	Fyzikální a mechanické vlastnosti.....	9
3.1.2	Tepelně technické vlastnosti.....	14
3.1.3	Technologické vlastnosti dřeva .....	17
3.1.4	Tvrдость dřeva.....	18
3.1.5	Vady .....	18
3.2	Dřevostavby.....	19
3.2.1	Konstrukční ochrana zabudovaného dřeva.....	24
3.3	Dřevostavby v nízkoenergetickém, pasivním a nulovém provedení.....	24
3.4	Dřevostavby z pohledu trvale udržitelného rozvoje .....	26
3.5	Izolace na bázi přírodních materiálů .....	27
<b>4</b>	<b>Praktická část.....</b>	<b>42</b>
4.1	Výběr vzorků pro praktickou část z hlediska tepelně technických a akustických vlastností.....	42
4.2	SWOT analýza jednotlivých materiálů .....	44
4.3	Výběr vzorků .....	55
4.4	Zkušební metody a postupy .....	58
4.5	Stanovení nasákavosti .....	62
4.6	Stanovení součinitele tepelné vodivosti .....	64
4.7	Stanovení závislost součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti.....	69
4.8	Tepelný odpor.....	70
4.9	Aplikace přírodních izolací ve stavebních konstrukcích.....	72
4.10	Aplikace akustických izolací v dřevostavbách.....	87
4.11	Rozbor při aplikaci na stavbě .....	88
4.11.1	Cenový rozbor .....	88
<b>5</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>89</b>
	Seznam použité literatury .....	91
	Seznam příloh.....	92

## Přehled použitých veličin

$d$	..... průměrná tloušťka [mm],
$\rho$	..... objemová hmotnost [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],
$\lambda$	..... součinitel tepelné vodivosti v laboratorních podmínkách [ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ],
$s'$	..... dynamická tuhost [ $\text{MPa}/\text{m}$ ],
$\alpha_w$	..... vážený činitel zvukové pohltivosti [-],
$\mu$	..... faktor difúzního odporu [-],
$W_p$	..... krátkodobá nasákavost při částečném ponoření [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ],
$m$	..... hmotnost zkušebního tělesa v kg,
$V$	..... objem zkušebního tělesa, v $\text{m}^3$ ,
$\rho$	..... objemová hmotnost $\text{kg}/\text{m}^3$ ,
$W_p$	..... krátkodobá nasákavost při částečném ponoření
$A_p$	..... plocha spodního povrchu zkušebního vzorku v $\text{m}^2$
$m_0$	..... počáteční hmotnost
$m_{24}$	..... hmotnost po 24 hodinách ponoření
$R$	..... tepelný odpor [ $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ ]

# 1 Úvod

Při své praxi jsem se setkala s velmi specifickým požadavkem na projekt a následnou rekonstrukci památkově chráněného domu. Jednalo se o roubenku, kde byly od památkářů dané požadavky na zachování skladeb jednotlivých stavebních konstrukcí a původních technologických postupů. U návrhu řešení, jsem zjistila, že je velice málo odborných materiálů, dle kterých by bylo možné provést návrh. Dále chyběl celkový přehled izolací z přírodních vláken a jejich tepelně technických parametrů a možnosti jejich použití. K dispozici nejsou doporučené skladby konstrukcí.

Dalším důvodem proč jsem si vybrala téma dřevostaveb a přírodních izolací je malá informovanost odborné veřejnosti potažmo projektantů o správném návrhu a skladbě konstrukcí dřevostaveb.

V současnosti je navíc celosvětovým trendem ve výstavbě snižování spotřeby energie na vytápění, klimatizaci, popřípadě s provozními zařízeními v budovách a využívání perspektivních a úsporných stavebních materiálů se zanedbatelným negativním dopadem na životní prostředí.

Za pojmem trvale udržitelné výstavby stojí aplikace komplexního přístupu, z něhož vyplyne takové řešení, které bude po celou dobu životnosti vykazovat šetrnost k životnímu prostředí. Z tohoto pohledu se jeví dřevostavby jako ideální řešení. V posledních letech je jim věnována čím dál větší pozornost a to nejen z konstrukčního hlediska. Současně se výzkumné týmy zabývají využíváním přírodních materiálů a recyklací používaných materiálů z různých průmyslových odvětví, které se jeví jako perspektivní a environmentálně úsporné.

Výroba izolačních materiálů z minerálních a skelných vláken, které mají v současnosti nejvyšší zastoupení nejen na českém trhu, je značně surovinově a energeticky náročná. Z toho důvodu je snaha nalézt snadněji dostupné surovinové zdroje. Jako vhodné se jeví využití lokálních přírodních surovinových zdrojů, například lnu, rákosu, konopí, slámy, ovčí vlny, u kterých se předpokládá zpracování s nižší energetickou náročností a menší ekologická zátěž životního prostředí.

Základním předpokladem pro efektivní snižování energie je znalost správných energeticky úsporných návrhů stavebních konstrukcí, používání vhodných stavebních materiálů a používání kvalitních tepelně izolačních materiálů. Toto následně vede ke snižování emisí plynů a prachových částic a tím ke zlepšení životního prostředí.

## 2 Cíle práce

Jak jsem již zmínila v úvodu, chyběly mi podklady pro projektování a návrh řešení skladeb nejen pro dřevostavby a znalost tepelně vlhkostního chování přírodních izolací.

Cílem práce je získání znalostí a poznatků založených na zkouškách a měření, ohledně izolací z přírodních a živočišných vláken, jejich tepelně vlhkostního chování, možnosti použití ve stavebních konstrukcích, náročnost výroby z hlediska spotřeby primární energie a produkce skleníkových plynů.

Poznatky ohledně výše uvedených bodů chci porovnat, tak, abych našla odpověď na otázku, zda jsou izolace ze skelných a minerálních vlastností obecně lepší nežli izolace z vláken přírodních a živočišných. Jedná se o stanovení součinitele tepelné vodivosti, stanovení krátkodobé nasákavosti, změnu tepelně technických parametrů danou vystavení izolace vlhkosti, stanovení závislosti součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti a změna tepelného odporu.

Dále chci zodpovědět otázku, která izolace je lepší z hlediska ekologie a trvale udržitelného rozvoje, dostupnosti na českém trhu a ceny.

Další otázkou, je ekonomická náročnost použití izolací z přírodních vláken ve zvolených stavebních konstrukcích a ekonomická náročnost při použití izolací ze skelných a minerálních vláken.

Poslední je otázka možnosti dalšího možného výzkumu a vývoje izolací z přírodních vláken.

Získané poznatky budou sloužit jako podklad pro projektanty pro návrhy stavebních konstrukcí a pro další výzkum a vývoj, případně pro návrh nástrojů pro environmentální hodnocení budov.

### 3 Teoretická část –

#### - historie a současnost dřevostaveb

Na našem území se dřevo používalo odnepaměti. Vývoj dřevěného stavitelství byl od hliněných valů s dřevěnými přístřešky (starší paleolit), přes kombinaci kamene a dřeva (neolit), následovalo roubení, sruby a hrázděné stavby.



*Obr. 1 Roubená stavba – usedlost v Lubné u Litomyšle*



*Obr. 2 Srubová stavba – rekreační objekt poblíž Nového Jimramova*



**Obr. 3** Hrázděná stavba – stodola v obci Jimramov

Na člověka žijícího v Evropě připadá téměř  $1 \text{ m}^3$  dorůstajícího dříví ročně. Na každou tříčlennou rodinu připadá  $240 \text{ m}^3$  dřeva, ze  $100 - 150 \text{ m}^3$  dřeva lze postavit rodinný dům s životností min 100 let, z dalších  $100 \text{ m}^3$  lze vyrobit nábytek a další potřebné. Tímto způsobem zpracované dřevo lze po uplynutí životnosti recyklovat nebo spálit a vzniklé teplo opět různými způsoby využít. Přitom za dobu životnosti dřevěného domu nám vyroste nový les, který na sebe naváže tuny  $\text{CO}_2$  ( $1 \text{ m}^3$  dřeva váže až  $250 \text{ kg CO}_2$ ) [35].

Česká Republika zaujímá 4. místo v zásobě dřeva na 1 hektar ( $245,8 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) a rozloha lesů je 33,5% území našeho státu. Ročně se vytěží něco mezi 14 – 15 mil.  $\text{m}^3$  a roční přírůstek je asi 18 mil.  $\text{m}^3$  [35].

Zatímco v Česku tvoří podíl staveb na bázi dřeva na bytové výstavbě jen 2 %, v ostatních zemích je to daleko více, viz tabulka 3.1.1. Celkové využití dřeva ve stavebnictví u nás a ve světě viz tabulka 3.1.2.

**Tabulka 3.1.1** - Podíl staveb na bázi dřeva na bytové výstavbě [12, 35]

Česko	2 %
Německu	20 %
Rakousko, Švýcarsko	22 %
Velká Británie	15 %
Skotsko	50 %
Finsko, Norsko, Dánsko	přes 90 %
USA	50 %
Kanada	80 %



**Tabulka 3.1.2 - Celkové využití dřeva ve stavebnictví [35]**

Česko	méně než 3 %
Německo, Rakousko	20 %
Rakousko, Švýcarsko	10 %
Velká Británie	15 %
Skotsko	50 %
Finsko, Norsko, Dánsko	70 %
USA	65 %
Kanada	přes 80 %

### **3.1 Vlastnosti materiálu**

Dřevo má velmi dobré statické vlastnosti. Stavba buňky a její pórovitá struktura mají hlavní zásluhu na vynikajících stavebně-fyzikálních vlastnostech dřeva. Má vysokou pevnost při minimální hmotnosti, vysokou pružnost. Podmínkou je však jeho správné použití (anizotropní materiál - v každém směru vláken má odlišné vlastnosti). Je odolné vůči kyselinám a zásadám.

Elektrostaticky se nenabíjí. Je elektricky neutrální. Zároveň patří do skupiny neradioaktivních materiálů, tedy neprodukuje žádné škodlivé látky. Dřevo jako stavební materiál můžeme zařadit mezi antistatické materiály. Nenabíjí se statickou elektřinou a tak se nevíří prach v místnosti. To ocení zvláště lidé trpící alergiemi.

Absorbuje škodlivé civilizační produkty a neutralizuje vliv geopatogenních zón. Vzhledem ke svému povrchu má vysoké hygroskopické (vyrovnávání vlhkosti) a adsorpční vlastnosti. Dřevo jako hygroskopický materiál neustále vyrovnává svou vlhkost s vlhkostí okolního vzduchu. Na rozdíl od zděných staveb je dřevěná srubová stěna, přesněji samotné dřevo schopno uložit ve svých buněčných a mezibuněčných prostorech relativně velké množství vody, to znamená, že je schopno z vlhčího vzduchu přijmout vlhkost a naopak do suššího prostoru tuto vlhkost opět vrátit. Tímto působí dřevěná srubová stěna jako výborný přírodní regulátor vlhkosti [5].

#### **3.1.1 Fyzikální a mechanické vlastnosti**

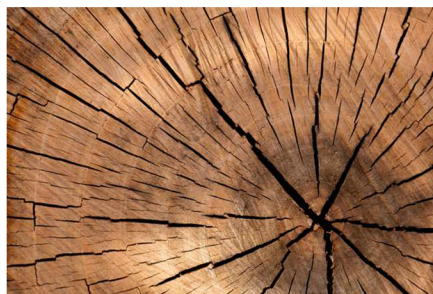
Barva - charakterizuje vzhled dřeva. Dřevo má schopnost některé světelné paprsky pohlcovat a některé odrážet. Pro charakteristiku barvy dřeva se používá číselného označení tří základních ukazatelů: tónu, čistoty a světlosti. Nejjednodušším způsobem určení barev dřeva je porovnávání barev v atlasu nebo lze barvy měřit speciálními přístroji - kolorimetry.

Zbarvení dřeva je způsobeno látkami uloženými v buněčných dutinách nebo v buněčných stěnách - barviva, trísloviny, pryskyřice. Barvu ovlivňuje ovzduší a ultrafialové paprsky slunečního spektra. Dřevo šedne nebo tmavne. Barva se mění i při napadení dřeva houbami [5].

Lesk - projevuje se schopností dřeva směrově odrážet tok světelných paprsků. Tuto schopnost mají dřeňové paprsky, které na radiálním řezu vytvářejí větší plošky (javor, dub, jilm, buk, akát).

Intenzita lesku dřeva závisí především na druhu osvětlení a hladkosti povrchu. Většině měkkých listnáčů lesk zcela chybí.

Textura - kresba, která se objeví na povrchu dřeva po jeho rozřezání. Je podmíněna především dřeňovými paprsky, letokruhy, póry, potom leskem, barvou a typem řezu. Dřevo jehličnanů má méně výraznou texturu, dřevo listnáčů se složitější stavbou má rozmanitější a výraznější texturu.



*Obr. 4 Textura dřeva [35]*

Vlhkostí dřeva rozumíme podíl obsahu vody v něm. Podíl ostatních složek dřeva označujeme souhrnným názvem sušina. Dřevo je materiálem hygroskopickým. Má tendenci uchovávat svoji vlhkost v rovnovážné poloze a ta je závislá na vlastnostech (zejména vlhkosti a teplotě) okolí. Protože uvedené vlastnosti okolí jsou proměnné, mění se i vlhkost dřeva. Na vlhkosti dřeva závisí hodně jeho dalších vlastností, a proto by při určování jejich hodnot neměl chybět ani údaj o vlhkosti. Ztrácí-li dřevo vlhkost, sesychá (zmenšuje své rozměry). V případě, že dřevo navlhá, absorbuje do sebe vlhkost ze svého okolí, bobtná (své rozměry zvětšuje). Střídavému sesychání a bobtnání se říká pracování dřeva.

Vlhkost = množství vody ve dřevě vyjádřené jako % z celkové hustoty dřeva.

Vlhkost absolutní - množství vody ve dřevě vyjádřené v % z hmotnosti absolutně suchého dřeva.

Vlhkost relativní - množství vody ve dřevě vyjádřené v % z hmotnosti dřeva vlhkého.

Dle Eurokódu 5 jsou stupně namáhání vlhkostí definovány následovně:

Třída použití 1 je charakterizována vlhkostí dřevěných konstrukčních materiálů odpovídající teplotě 20°C a relativní vlhkostí okolního vzduchu překračující 65% pouze po několik týdnů v roce, např. ve vytápěných a ze všech stran uzavřených budovách.

Třída použití 2 je charakterizována vlhkostí dřevěných konstrukčních materiálů odpovídající teplotě 20°C a relativní vlhkostí okolního vzduchu překračující 85% pouze po několik týdnů v roce, např. u zastřešených otevřených staveb.

Třída použití 3 je charakterizována klimatickými podmínkami vedoucími k vyšší vlhkosti než ve třídě 2, např. u konstrukcí vystavených povětrnosti.



**Tabulka 3.1.3 – Rovnovážné vlhkosti dřevěných konstrukčních materiálů**

	1	2	3	4
1	Třída použití	1	2	3
2	Vlhkost dřeva	5 až 15% <sup>a</sup>	10 až 20% <sup>b</sup>	12 až 24%
<sup>a</sup> U většiny jehličnatých druhů dřeva není v třídě použití 1 překročena střední rovnovážná vlhkost 12%. <sup>b</sup> U většiny jehličnatých druhů dřeva není v třídě použití 2 překročena střední rovnovážná vlhkost 20%.				

Typickou veličinou, která se s vlhkostí mění, je hustota. Hustota běžně používaných druhů dřeva pohybuje se od 800 kg.m<sup>-3</sup> (smrk, borovice) do 1100 kg.m<sup>-3</sup> (švestka, habr) v syrovém stavu. Při vlhkosti  $w = 13\%$  (procentuální podíl hmotnosti vlhkosti ve vzorku a hmotnosti celého vzorku - vlhkosti a sušiny) od 480 kg.m<sup>-3</sup> (smrk, borovice) do 800 kg.m<sup>-3</sup> (švestka, habr). Numericky nebo pomocí grafů lze hustotu přepočítávat pro různé vlhkosti. To je důležité například při projekci nejrůznějších konstrukcí. V případě extrémně nepříznivých podmínek se může hmotnost navržené konstrukce zvýšit či snížit až o desítky procent [5, 8, 12].

Propustnost dřeva pro vodu - voda se ve dřevě pohybuje systémem kapilár a mikrokapilár (dutiny buněk, ztenčeniny v membránách). Propustnost vody dřevem závisí na druhu, umístění v kmeni a směru vláken. Největší propustnost je ve směru vláken. Listnaté stromy propouštějí více vody než jehličnany. Propustnost dřeva pro vzduch se zvyšujícím tlakem zvětšuje.

Odpor proti difúzi vodní páry je relativně vysoký. Na změnu vlhkosti vzduchu v místnosti reaguje dřevěná stěna pomalu, ale dlouhodobě s vyrovnávacím účinkem. Srubové stavby udržují neustále relativní vlhkost mezi 45 a 60%, při které je nejnižší výskyt škodlivých organismů a částic v ovzduší. Všeobecně je známa skutečnost, že kvalita klimatu uvnitř bytového prostoru je závislá na celkové výměně vzduchu. Na rozdíl od zděných domů je srubová stěna difúzně otevřená a neustále vzduch uvnitř místností filtruje a čistí. Plyny, výpary a nepříjemné zápachy se v něm zachytávají [5, 8, 12].

#### Hustota dřeva

Vlastnosti jednotlivých druhů dřevin výrazně závisejí na jeho hustotě. Ovlivněny jsou zejména pevnost, tvrdost, otěr, opracovatelnost a schnutí. Druhy s nižší hustotou jsou měkčí, méně pevné a mají menší životnost. Velmi těžké druhy (tj. druhy dřevin s vysokou hustotou) vykazují velmi vysokou míru pevnosti, tvrdosti a přirozené životnosti.

**Tabulka 3.1.4 - Hustota dřeva [18]**

<b>kg/m<sup>3</sup> při 12 - 15% vlhkosti</b>	
velmi lehké	do 350
lehké	350 - 450
mírně středně těžké	450 - 575
středně těžké	575 - 725
těžké	725 - 900
velmi těžké	nad 900

**Pevnost dřeva**

Pevnost jednotlivých druhů dříví může být hodnocena pomocí různých kritérií, včetně tuhosti, pevnosti v tlaku, pevnosti v tahu, pevnosti v ohybu a odolnosti vůči nárazu. Pevnost závisí na druhu dříví, jakosti (přítomnosti vad) a obsahu vlhkosti. Klasifikace je pouze informativní a není určena k účelům výpočtu meze pevnosti a namáhání při zpracování. Jsou-li používány způsoby vrstvení - např. při výrobě překližek, lamel, vrstvených materiálů apod. - jsou vlastnosti jako pevnost obvykle zlepšovány, neboť vliv vad je tak minimalizován.

**Tabulka 3.1.5 – Modul pružnosti dřeva [22]**

<b>modul pružnosti N/mm<sup>2</sup></b>	
velmi vysoká	19 a více
vysoká	14 - 19
střední	11 - 14
středně nízká	9 - 11
nízká	méně než 9

Pevností se nazývá způsobilost materiálu vzdorovat vnějším silám (omezeně i vnitřním). Na rozdíl od jiných materiálů jsou všechny mechanické vlastnosti dřeva, tedy i pevnost, ovlivňovány směrovou nestejnorodostí (anizotropií) a četnými odchylkami od normální anatomické stavby. Dřevo ve směru vláken má výrazně větší pevnost než ve směru příčném. Při stejné hmotnosti by např. dřevo namáhané na tah ve směru vláken mělo pevnost odpovídající pevnosti kujné oceli. Důvod je prostý – základním stavebním materiálem je celulóza, která je vzhledem k vláknitosti v podélném směru velmi pevná [5, 22].

Ve směru kolmém na vlákna je pevnost dřeva 10x až 50x nižší. Je však také rozdíl mezi pevností příčnou (radiální) a tečnovou (tangenciální). Při radiálním namáhání v tahu má dřevo lepší pevnost. Způsobují to buňky dřeňových paprsků, jejichž podélná osa je kolmá na osu kmene. S pevností v tlaku je tomu opačně, tam letní část letokruhů tvoří jakési zpevňovací sloupky [5, 22].

Mechanické vlastnosti dřeva jsou ovlivňovány i dalšími činiteli: dřevo s vyšší teplotou má pevnost menší (příčinou je plastifikace ligninu), stejně tak vlhčí dřevo má mechanické vlastnosti horší než dřevo suché (voda snižuje mezimolekulární tření). Pevnost ovlivňují také suky. Tím, že jsou dřevem, jehož vlákna probíhají kolmo, snižují rozdíly pevnosti dřeva mezi směrem podélným a příčným. Podobně jako suky působí také vlnité letokruhy, vlnitá vlákna, nadměrná točitost a další odchylky od běžné stavby dřeva [5, 22].

#### Pevnost v tahu

Pevnost v tahu se u dřeva vyznačuje především velkými rozdíly ve směru podélném a příčném. V podélném směru má dřevo tahovou pevnost až 250 MPa – příčně radiálně pevnost 8 až 10 MPa, příčně tangenciálně 5 až 8 MPa. Vysoká tahová pevnost ve směru podélném nebývá dostatečně využívána pro výrazně nižší pevnosti ostatní. Proto se dřevo tam, kde je to třeba, vrství křížově [5, 8].

#### Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku ve směru vláken je proti pevnosti v tahu asi 2,5x menší, zatímco v příčném směru je tlaková pevnost srovnatelná s pevností v tahu. Na tlak je dřevo namáháno často, mez jeho pevnosti v tlaku se však překračuje většinou pouze při jeho zpracování, zvláště při lepení a upínání [5, 8].

#### Pevnost ve smyku

Pevnost ve smyku vykazuje dřevo tehdy, jestliže vnější síla působí tak, jakoby chtěla posunout jednu část stejného materiálu po druhé. Také tuto pevnost silně ovlivňuje směrová nesejnorodost dřeva. Proti předchozím pevnostem však největší smykovou pevnost vykazuje dřevo ve směru příčném (kolmém) na vlákna. Vlákna dřeva se totiž snadněji smykou po sobě než příčně. Příčné usmyknutí je téměř nemožné, protože je přitom dřevo namáháno na tlak příčně na vlákna a tato pevnost je proti smykové napříč vláken podstatně nižší. Na smyk jsou především namáhány konstrukční spoje [5, 8].

#### Pevnost v ohybu

Na ohyb jsou namáhány vazníky, trámce a převážná část střešních konstrukcí. U nábytku jsou to spojnice noh stolu, židlí, police. Dřevo vykazuje ve směru vláken velmi vysokou pevnost, ve směru příčném však až překvapivě nízkou. Je třeba počítat s tím, že na rozdíl od předchozích druhů pevností je pevnost v ohybu ovlivňována i délkou namáhaného předmětu (nosníku) [5, 8].

#### Houževnatost (rázová pevnost)

Houževnatost neboli rázová pevnost dřeva je odolnost proti nárazům a náhlým zatížením. Požaduje se především u sportovního náradí, lodí, žebříků. Proti rázovému namáhání je dřevo odolné, zvláště má-li dlouhá a zprohýbaná vlákna; rázová pevnost dřeva je však značně snižována vadami, jako jsou trhliny, hniloba, zapaření [5].

#### Sesychání dřeva

Čerstvé dříví má poměrně vysoký obsah vody. Při vysychání ztrácí dříví mnoho vlhkosti a trvá tak dlouho, dokud není dosažena vlhkost dřeva odpovídající vlhkosti okolního vzduchu. Při odevzdávání (a příjmu) vlhkosti se za určitých předpokladů mění objem a tvar. Materiál sušený na vzduchu v oblastech s mírným

podnebím dosahuje řádově 18 - 20% vlhkosti. Mnoho způsobů konečného zpracování vyžaduje umělé vysušení dřeva v sušárně, aby se vlhkost dále zredukovala [5, 22].

Hodnoty celkového sesychání v základních směrech u jednotlivých nepoužívanějších dřevin jsou velmi odlišné. Ve směru tangenciálním je sesychání nejvýraznější 3 - 6%. Oproti tomu je téměř zanedbatelné sesychání ve směru podélném asi 0,3%. Objemové sesychání je asi 12 - 15%.

**Tabulka 3.1.6 – Sesychání dřeva [22]**

Sesychání z čerstvého stavu do stavu 12% vlhkosti		
	Tangenciální %	Radiální %
velmi malé	méně než 2,5	méně než 1,0
malé	2,5-4,0	1,0-2,0
střední	4,0-5,5	2,0-3,0
velké	více než 5,5	více než 3,0

#### Výhřevnost

Závisí na jeho vlhkosti, protože všechna voda ve dřevě obsažená se při spálení odpaří. Na tuto přeměnu vody (kapalné) na páru se spotřebuje část energie vzniklá spálením sušiny. Výhřevnost sušiny se u všech druhů dřev pohybuje od 17,5 MJ.kg<sup>-1</sup> do 22 MJ.kg<sup>-1</sup>. Při běžné vlhkosti (w = 25%) klesá tato výhřevnost na hodnoty kolem 15 MJ.kg<sup>-1</sup>. Teplota vznícení, tj. nejnižší teplota, na kterou se musí dřevo zahřát, aby se samovznítlo, je mezi 330 a 470°C, ale bod vzplanutí, tj. nejnižší teplota, při níž se ve dřevě vyvine tolik plynů, že se vzduchem vytvoří směs, která se přiblížením k plameni vznítí, je pouze 180 až 275°C [5].

#### Zvukové vlastnosti

Zvuková vodivost - charakterizuje rychlost šíření zvuku ve dřevě. Rychlost je tím větší, čím je nižší hustota materiálu a větší jeho pevnost. U jednotlivých druhů dřev je rozdílná a závisí také na směru vláken - ve směru vláken nejrychlejší. Ultrazvukem lze zjistit skryté vady ve dřevě [8].

Zvukoizolační vlastnosti - dřevo má schopnost oslabovat akustický tlak jím procházejícího zvuku. Patří sem průnik zvuku dřevem a jeho pohlcování [5, 8].

Rezonanční schopnost dřeva - dřevo má schopnost zesilovat zvuk bez zkreslení tónu. Letokruhy musí být souměrně rozloženy, dřevo nesmí mít suky ani jiné vady. Velmi dobré akustické vlastnosti má dřevo, které je dlouhou dobu uskladněné [5].

### **3.1.2 Tepelně technické vlastnosti**

Suché dřevo je výborný tepelný izolant. Teplotní roztažnost dřeva závisí na druhu dřeva a jeho hustotě a je rozdílná ve směru napříč a podél vláken. Celkově je zanedbatelná. Dřevo, stejně jako každá jiná látka, je schopno teplo akumulovat. Hmotnost absolutně suchého tělesa je hmotností dřevní substance, proto *c* nezávisí na druhu dřeva ani na hustotě. Pro absolutně suché dřevo při teplotě 0°C je průměrná hodnota měrného tepla udávána 1,45 kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Měrné teplo závisí na teplotě a vlhkosti dřeva.

**Tabulka 3.1.7** – Vliv druhu dřeva a vlhkosti dřeva na měrné teplo [30]

Druh dřeva	Měrné teplo dřeva $c$ ( $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )					
	při vlhkosti dřeva $w$					
	0%	5%	10%	20%	30%	100%
smrk	1,35	1,51	1,63	1,80	2,18	2,80
borovice	1,41	1,54	1,66	1,87	2,33	2,80
dub	1,45	1,59	1,67	1,91	2,37	2,79
buk	1,46	1,60	1,71	1,92	2,41	2,83

Přenos tepla ve dřevě se uskutečňuje kondukcí, konvekcí a radiací. Koeficient tepelné vodivosti je závislý opět na směru vláken. Ve směru napříč vláken je dřevo relativně dobrým tepelným izolátorem. Na dobrých tepelně izolačních vlastnostech dřeva se podílí jeho značná pórovitost, a výsledkem je odolnost konstrukčních dřevěných prvků vůči ohni. Dlouhá doba potřebná ke změně teploty v objemu dřeva společně s měrným teplem činí ze dřeva materiál vhodný pro silné obvodové zdi. Tepelná vodivost dřeva závisí na hustotě a vlhkosti dřeva.

**Tabulka 3.1.8** – Tepelná vodivost  $\lambda$  vybraných materiálů [30]

Materiál	Koeficient tepelné vodivosti $\lambda$ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )
dřevo kolmo ( $w=12\%$ )	0,12-0,18
dřevo    ( $w=12\%$ )	0,25-0,45
dřevní substance kolmo	0,44
dřevní substance	0,88
vzduch	0,024
voda	0,59
cihla	0,70
beton	0,93

Vliv faktorů na difúzi tepla ve dřevě má jak jsem výše uvedla anatomická stavba dřeva, hustota a vlhkost. Vliv anatomické struktury se projevuje rozdílnou tepelnou a teplotní vodivostí v podélném a příčném směru. Hodnoty koeficientu teplotní vodivosti se ve směru radiálním a tangenciálním příliš neliší. Naopak vliv

hustoty na tepelnou a teplotní vodivost je zcela odlišný. Se zvyšující se hustotou tepelná vodivost  $\lambda$  roste, ale teplotní vodivost  $a$  naopak klesá. Rozdílný průběh závislostí je dán rozdílnými hodnotami tepelné a teplotní vodivosti vzduchu a dřevní substance. Průměrná hodnota koeficientu tepelné vodivosti dřevní substance  $\lambda_s = 0,600 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $\lambda_{\text{vzduchu}} = 0,026 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . S rostoucí hustotou dřeva roste podíl dřevní substance a klesá podíl vzduchu v daném objemu dřeva a tím i zákonitě roste tepelná vodivost  $\lambda$ . Teplotní vodivost vzduchu je až 100 krát větší než teplotní vodivost dřevní substance (suchý vzduch je téměř dokonalý tepelný izolant), proto je i závislost na hustotě dřeva opačná.

Závislost tepelné a teplotní vodivosti na vlhkosti dřeva je znázorněna na obr. Průběh obou veličin je obdobný jako při závislosti na hustotě, v případě tepelné vodivosti  $\lambda$  roste, u teplotní vodivosti  $a$  naopak klesá. Teplotní vodivost  $a$  klesá zvláště nad mezí hygroskopie, teplotní vodivost vody je mnohem nižší než vzduchu (cca 150x).

**Tabulka 3.1.9** – Příklady tepelně-fyzikálních charakteristik vybraných druhů dřev [30]

Druh dřeva - směr	Teplota T (°C)	Vlhkost w (%)	Hustota $\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> )	Měrné teplo c (kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	Tepelná vodivost $\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	Teplotní vodivost $10^7 a$ (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )
smrk - L	20	12	390 ... 467	1,55 ... 2,28	0,229 ... 0,339	3,77 ... 4,95
- R	20	12	390 ... 467	1,55 ... 2,28	0,133 ... 0,157	1,56 ... 1,74
- T	20	12	390 ... 467	1,55 ... 2,28	0,113 ... 0,132	1,49 ... 1,52
javor - L	20	10	608	1,92	0,300	2,43
- R	20	10	608	1,92	0,180	1,40
- T	20	10	608	1,92	0,180	1,38
jasan - L	20	10	702	1,92	0,360	2,43
- R	20	10	702	1,92	0,180	1,20
- T	20	10	702	1,92	0,170	1,16

### 3.1.3 Technologické vlastnosti dřeva

#### Obrobitelnost

Souborné označení pro vlastnosti, které umožňují řezání, dlabání, broušení, hoblování, pilování, škrábání atd. Snazší obrábění je obrábění ve směru vláken, jakýkoli odklon vyvolává obtíže. Platí to především o obrábění sukovitého dřeva nebo dřeva se zvlněnými nebo jinak deformovanými vlákny.

Vliv na obrobitelnost dřeva má také jeho vlhkost. Vlhké dřevo se obtížně řeže, hobluje a piluje, přestože klade menší rezný odpor.

Obrobitelnost dřeva ovlivňuje také jeho zdravotní stav. Dřevo poškozené houbami bývá sice měkkší, a přesto se nedá obrábět s požadovanou čistotou [5].

#### Štípatelnost

Schopnost dřeva dělit se na části ve směru vláken. Nejsnadněji se štípá dřevo s pravidelnou stavbou a vniká-li nástroj do čelného dřeva v radiálním směru (ve směru dřeňových paprsků). Dobře štípatelný je smrk, jedle, borovice, buk, dub, lípa, ořešák. Špatně se štípe habr, bříza, akát, jilm, švestka, třešeň.

Dřevo štípáme hlavně tehdy, je-li třeba získat výřez kmene s vlákny probíhajícími důsledně ve směru podélné osy obráběného kusu. Souběžný průběh vláken s osou výřezu nelze zajistit řezáním [8].

#### Ohýbatelnost (plastičnost)

Je založena na schopnosti dřeva poměrně lehce se deformovat při působení ohybového momentu. Mírou ohýbatelnosti je velikost poloměru oblouku, do kterého je ještě možné dané těleso ohnout bez porušení. Ohýbatelnost se zvyšuje plastifikací dřeva - pařením nebo vařením dřeva [25].

Rozlišujeme ohýbatelnost – plastičnost dřeva v tahu, tlaku, ohybu apod. Technologicky je nejdůležitější plastičnost v ohybu, využívaná průmyslově při výrobě ohýbaného sedacího nábytku. Plastičnost je závislá především na obsahu vlhkosti a teplotě dřeva. Dřevo vlhčí a teplejší je také ohebnější. Nově nabytý tvar si dřevo uchová po opětovém vysušení a ochlazení, kdy znovu získá původní tuhost. Plasticitu lze zvýšit také působením alkalických látek, např. ponořením dřeva do amoniakové vody. Je to však proces dlouhodobý, proto se takto plastifikují jen tenké dýhy. Na rozdíl od úpravy vodou nebo teplem zůstává dřevo již trvale plastické a může se ohýbat např. jako plech [25].

Dřevo listnatých dřevin se ohýbá lépe než u dřevin jehličnatých. Dobře se ohýbá např. dřevo dubové, jasanové, bukové a březové. Ohýbatelnost pozitivně ovlivňují dlouhá vlákna s minimálním odklonem od podélné osy, rovnoměrná stavba letokruhů a vlhkost dřeva [25].

#### Způsobilst spojování

Dřevo se spojuje čepy, ozuby, svlaky, péry apod., anebo kovovými spojovacími prostředky (hřebíky, vruty). Spoje lze provádět přímo, anebo zajišťovat lepidly.

Také při spojování dřeva záleží na směru jeho vláken. Spoje na čepy, ozuby, kolíčky lze provádět jen ve dřevě čelném (koncovém), v němž naopak hřebíky a vruty drží velmi málo [25].

### Způsobilost úspěšného dokončení povrchu

Rostlé dřevo se při úpravě povrchu chová různě. U některých druhů snadno dosáhneme hladkého, rovného povrchu, jiné při sebevětší snaze vykazují povrch málo hladký a chlupatý. Nejvíce ovlivňuje tuto vlastnost hustota dřeva a průběh vláken. Dřevo hustší, stejnoměrnější struktury a s rovně uloženými vlákny vytváří ušlechtlejší plochu, která se také snadněji dokončuje a leští [8].

### 3.1.4 Tvrдость dřeva

Tvrдость dřeva je odpor, který klade dřevo nástroji při obrábění. Mimořádně důležitá je tato vlastnost zvláště při ručním obrábění. Dřevo není materiál homogenní, není tedy ve všech místech a směrech stejně tvrdý: letní část letokruhu je tvrdší než jarní, hustší dřevo je tvrdší než řídké. Tvrдость čelná (síla působící na čelně přerézaná vlákna) je podstatně vyšší než podél vláken.

Dřevo je podle tvrdosti rozděleno do 6 tříd tvrdosti viz tabulka 3.1.10.

**Tabulka 3.1.10 - Tvrдость dřeva [8]**

<b>Tvrдость</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Druh</b>
1.tvrдость	0 – 350 (velmi měkká)	smrk, borovice, limba, jedle, topoly, vrby, lípy
2.tvrдость	351 - 500 (měkká)	modřín, douglaska, kleč, jalovec, bříza, olše, vrba jíva, střemcha, teak
3.tvrдость	501 - 650 (středně tvrdá)	kaštan jedlý, platan, jilmy, líska
4.tvrдость	651 - 1000 (tvrdá)	dub, ořešák, javor, třešeň, jabloň, jasan, buk, hrušeň, švestka, akát, habr
5. tvrдость	1001 - 1500 (velmi tvrdá)	dřín, svída, ptačí zob, dub pýřitý, zimostráz
6. tvrдость	nad 1501 (neobyčejně tvrdá)	<b>eben cejlonský, africký grenadil, duajak a jiné exotické dřeviny</b>

### 3.1.5 Vady

Ve dřevě dochází též k nežádoucím změnám vlivem koroze. V tomto případě je koroze míněna každá nežádoucí změna tělesa počínající na jeho povrchu účinkem chemických nebo fyzikálně chemických činitelů. Ke změnám dochází působením atmosféry (odvětrávání, borcení, praskání, uvolňování ze spojů), působením chemikálií (bobtnání, rozklad, rozvláknování). Celkově je ale dřevo vůči chemikáliím poměrně odolné. Proti slabším roztokům kyselin a solí je dokonce odolnější než litina nebo ocel [5, 8].

Například při použití dřevěných trámů coby ochranného rámu v pařících jamách ve výrobním závodě Dyas v Uherském Ostrohu, vydržely trámy dvojnásobek toho co kolejnice, které byly instalované před nimi. Voda z paření obsahuje směs



kyselin (pH 3,4), které při teplotě cca 90°C dokázali v několika málo měsících zcela degradovat kolejnice (ocel s vysokým obsahem uhlíku).

### Ochrana dřeva

- impregnace, ochranné nátěry a napouštění, vysoušení

Impregnací značně prodlužujeme životnost dřeva – až čtyřikrát. Účinnost impregnace závisí na konzervační schopnosti ochranné látky a na způsobu impregnace. Impregnace se provádí dle požadavku na dřevo kreosotováním (železniční pražce), dehtovými oleji, kyanováním, burnetováním.

Ochranné nátěry (obsahují antracenové oleje nebo fermež) se provádějí zejména u tesařských konstrukcí, např. zárubní, stropních trámů atd.

Vysoušení dřeva přirozené nebo umělé. Výhodou umělého je značné zkrácení doby potřebné k vysoušení.

### Likvidace dřevokazného hmyzu

K likvidaci se používají insekticidní prostředky např. Lignofix, Pregnolit, Katrit. Dalším způsobem je likvidace dřevokazného hmyzu horkým vzduchem. Před samotnou aplikací prostředku je nutné dřevo mechanicky očistit a zbavit poškozených částí.

### Likvidace dřevokazných hub

Speciální prostředek proti dřevomorce je Lignofix Super a Bochemit. Prostředky se aplikují na čisté dřevo bez plísní, dle návodu od výrobce. Dalším způsobem je likvidace pomocí mikrovlnné technologie, která využívá elektromagnetické vlnění o frekvenci 2450 Hz. Tuto metodu lze použít i pro hubení dalších dřevokazných škůdců.

## **3.2 Dřevostavby**

Počátky staveb ze dřeva je možné doložit od střední doby kamenné v podobě pozůstatků přístřešků a stanových obydlí, která si lovci budovali ze dřeva, kůry, kůží a kostí ulovených zvířat. V mladší době kamenné už má konstrukce domu svislé stěny a konstrukčně oddělenou střechu. Stavby měly stěny vyplétané proutím, které bylo zamazáno z obou stran hlínou. Postupně se tyto stěny nahradily kulatinou a vznikly tak první stavby srubové. Kulatina se postupem času nahradila hraněnými nebo polohraněnými profily a zdokonalovali se rohové spoje. Tento způsob stavění se používá dodnes.

Počátkem 12. století v oblasti středního Porýní se objevily konstrukce hrázděné. Konstrukční systém hrázděné stavby tvoří kombinace dřevěných trámových prvků, které vytvářející celistvou nosnou kostru, jež je nejčastěji vyplněna hliněnou mazaninou plněnou slámou, tento způsob byl později vytlačen cihelným zdivem nebo v některých případech kamenným zdivem.

### Konstrukční systémy

Dnešní způsoby stavění dřevostaveb se vyvinuly ze staveb srubových a staveb hrázděných. Podle těchto způsobů vznikly stavby z tyčových prvků a stavby masivní.

Dnes už dřevěné stavby nemají nic společného s těmi předchozími. Neomezují se na obytné domy či halové konstrukce. Dřevěné stavby učinily skok od

čisté řemeslné práce k výrobním procesům polotovarů a přesné, rychlé montáži na staveništi.

Současná etapa rozvoje dřevěných konstrukcí započatá na přelomu 70. a 80. let našeho století se vyznačuje používáním stále novějších materiálů a konstrukčních prvků na bázi dřeva, vykazujících vysoké parametry pevnosti a dále vývojem nových spojovacích prostředků, které umožňují provádět ty nejnáročnější spoje konstrukčních prvků.

Předpoklady pro širší využití dřeva na stavební konstrukce jsou vytvářeny i tím, že jsou formulovány stále dokonalejší metodiky pro navrhování dřevěných konstrukcí a metody nedestruktivního zjišťování užitečných vlastností dřeva a materiálů na jeho bázi.

V současnosti se dřevo používá při stavbách rodinných domů, hotelů, motorestů, stavbách kulturních, sportovních či církevních a na inženýrské konstrukce typu stožárů a lávek. Dřevo se též hodně používá na zemědělské a průmyslové stavby, především proto, že je materiálem odolným v chemicky agresivním prostředí.

Konstrukce vychází z typu dřevostavby. Mohou být montované ze sendvičových panelů, z fošen, z hranolů, skeletové z trámů, nebo srubové či roubené.

#### Montované dřevostavby ze sendvičových panelů

Dnes patří mezi nejoblíbenější typ dřevostaveb z důvodu jednoduchosti realizace, ceny a vzhledu. Tento typ dřevostavby v mnoha případech nelze rozeznat zvenku ani zevnitř od zděné stavby.

Stavební prvky - stěny, krovy, vnitřní příčky, schody i další jsou připravovány ve výrobě a na staveništi se pouze montují dohromady. Panely se montují na dřevěnou nosnou konstrukci. Panelové prefabrikáty nebo také sendviče nebo dřevomoduly jsou dřevěnými nosnými rámy z hranolů, ve kterých je mezi dvěma vrstvami desek uložena tepelná izolace. Alternativu tvoří europanely, sendviče lepené z OSB desek bez rámu z hranolů s izolací samozhášecího polystyrenu.

Ze sendvičových panelů se u montovaných dřevostaveb vytvářejí i vnitřní stěny všech typů, tj. od těch nejběžnějších, které oddělují místnosti, po instalační stěny, u nichž je kladen velký důraz na požární odolnost a akustickou izolaci, stejně jako podlahy, stropy či střechy dřevostaveb.

Výhodou montovaných sendvičových dřevostaveb je nízká cena, rychlost realizace. Možnost výstavby v průběhu celého roku.

Nevýhodou je úzká nabídka tohoto typu dřevostaveb. Většinou se jedná o typové domy, doprava velkých stavebních dílů a potřeba jeřábu na místě stavby.



**Obr. 5** Montovaná dřevostavba [37]

Konstrukce z fošen či hranolů – sloupková konstrukce

Sloupková nebo rámová konstrukce, jedná se o tradiční systém, hodně rozšířený a postupem času zdokonalený. Ve srovnání se sendvičovou konstrukcí dřevostaveb je daleko variabilnější a pro projektanty nebo architekty kreativnější.

Nosnou konstrukci dřevostavby tvoří dřevěná tyčová kostra a plášť, který kostru usazenou do obdélníkového rámu stabilizuje. Plášť tvořený z desek na bázi dřeva přenáší vodorovné zatížení, tyčový skelet vyrovnává zatížení svislé.

Přesně nařezané fošny nebo hranoly jednotného profilu se pomocí hřebíků a plechových spojek spojí a postaví se skelet. Do něj se vloží izolační materiál a stěny se z vnitřku i z vnějšku opláští dřevovláknitými deskami, překližkou nebo sádkokartonem. Pro tento typ konstrukce jsou typické malé vzdálenosti mezi jednotlivými sloupkovými prvky a jejich relativně malý průměr.

Výhodou této konstrukce je rychlost a snadnost výstavby a vzhled. Je možné realizovat nízkoenergetické nebo pasivní domy.

Nevýhodou je pracnost, náročnost, delší doba výstavby a oproti montovaným dřevostavbám vyšší cena.



**Obr. 6** Sloupková konstrukce [44]

### Skeletový systém z trámů

Pro tento konstrukční typ je charakteristická mohutná nosná konstrukce tvořená z dřevěných tyčových prvků velmi často z lepeného dřeva. Používá se především při stavbě průmyslových objektů, sportovních hal a vícepodlažních objektů.

Nosnou konstrukcí je skelet, obvodový plášť je nenosný, pouze chrání a vyplňuje.

Skeletový systém z trámů má pět typů konstrukce: sloup a dvojitý nosník, dvojitý sloup a nosník, sloup a přilehlý nosník, nosníky uložené na sloupech a vidlicový sloup. Sloupy a trámy po dostavění objektu hrají roli i ve vnitřním členění interiéru, proto se nechávají viditelné [12, 24].

Výhodou tohoto systému je velká kompoziční volnost a možnost variabilního řešení půdorysu, vhodnost pro vícepodlažní dřevostavby, odolnost vůči vysokému zatížení, jednoduchá eventuální přístavba a v neposlední řadě i příjemné prostředí vnitřku domu díky viditelným trámům [6, 12].

Nevýhodou náročnost na provedení tesařských spojů, finančně náročnější.



**Obr. 7** Skeletový systém z lepeného lamelového dřeva [19]

### Roubenky a sruby

Nejstarší typ konstrukce dřevostaveb, hojně rozšířené, velice oblíbené i dnes.

Nosnou konstrukci tvoří stěny, které vytvářejí tuhou kostru. Instalace se vedou vnitřkem stěn, kde jsou izolovány. V případě dodržení postupů našich předků, není nutná ani povrchová úprava proti škůdcům a hnilobě.

Výhodou je odolnost vůči vlhkosti a vodě.

Nevýhodou je nízká tepelná setrvačnost, vyšší cena, náročnost na údržbu. Nejsou vhodné jako vícepatrové stavby.





*Obr. 8 Novostavba roubenky, obec Kadov*

#### Panelová konstrukce z masivu

Jedná se o novou stavební technologii. Nosnou konstrukci stěn a stropů tvoří panely z masivu připravené ve výrobě. Stěny z masivního dřeva vzájemným skládáním, vrstvením a lepením můžou vytvářet různé tvary objektu. Výsledkem je, že celá stěna, popř. strop, je tvořena jen masivním dřevem. Tepelně-izolační vrstva je z bezpečnostních důvodů dávána z vnějšku konstrukce.

Díky své pevnosti jsou montované dřevostavby z masivu vhodné jako vícepatrové budovy, včetně bytových domů. V porovnání s roubenými stavbami mají lepší izolační vlastnosti a mají moderní vzhled [6].

Výhodou masivních stěn je vyšší trvanlivost a lépe vyrovnávají rozdíly teplot. Možnost využití u staveb pasivních domů.

Nevýhodou je vyšší náročnost na řemeslné provedení, transport dílců, potřeba těžké mechanizace na stavbě a jsou oproti ostatním výše jmenovaným systémům dražší [6, 12].



*Obr. 9 Panelová konstrukce z masivu [39]*

### **3.2.1 Konstrukční ochrana zabudovaného dřeva**

Před chemickou ochranou dřeva by měly být upřednostňovány následující konstrukční zásady zajišťující ochranu zabudovaného dřeva.

Výběr správného druhu dřeviny pro jednotlivé části konstrukcí. Dřevěné prvky musíme chránit před vlhkostí nejenom v hotové konstrukci, ale i v průběhu skladování, přepravy a montáže.

Již při návrhu stavby, je nutné myslet, že dřevěné prvky nesmí být v přímém kontaktu se zeminou a s odšťikující dešťovou vodou. Konstrukce, které jsou vystaveny vlhkosti, musejí být odvětrané. Skladba obvodového pláště dřevostavby musí být navržena tak, aby nedocházelo ke kondenzaci vodních par uvnitř konstrukce a následně nedošlo ke zvýšení vlhkosti dřevěných prvků. Toto by mělo za následek nárůst deformací nosných prvků ze dřeva nad hodnotu danou statickým výpočtem.

### **3.3 Dřevostavby v nízkoenergetickém, pasivním a nulovém provedení**

Základní princip energeticky efektivního domu vychází z myšlenek: „teplo, které z budovy neunikne, není zapotřebí doplňovat“ a „i to malé množství tepla obsažené v odpadním vzduchu, které z budovy uniká, lze efektivně zhodnotit ve prospěch domu“ [1].

#### *Nízkoenergetické domy*

Tímto se označují budovy s potřebou tepla na vytápění do 50 kWh/m<sup>2</sup> a rok.

Oproti ostatním domům mohou mít potřebu tepla až několikanásobně nižší. Nízkoenergetické domy jsou z hlediska potřeb energií a úsilí o úspory energie mezistupněm mezi běžnou výstavbou - stávajícími budovami s nezateplenou obálkou,

a pasivními domy. Postupem času se dá předpokládat, že nahradí současnou výstavbu a investoři budou muset deklarovat nízkou energetickou náročnost novostaveb.

Kvalita zateplení obálky budovy (fasády), střechy, stěn pod úrovní terénu a podlahy v nejnižším vytápěném podlaží nejvíce ovlivňuje potřebu tepla na vytápění. Dále je důležitá kvalita oken a dveří. Součinitele prostupu tepla výše jmenovaných konstrukcí by měly odpovídat alespoň doporučeným hodnotám dle ČSN 73 0540 – 2 Tepelná ochrana budov, část 2: Požadavky.

Hlavním požadavkem u nízkoenergetických domů, aby se co největší vnitřní objem (A) vměstnal do co nejmenšího povrchu obvodového pláště (V),  $(A/V)$ . Čím horší je poměr, tím musí být součinitel prostupu tepla lepší, v absolutní hodnotě co nejnižší. [1, 10]

Chceme-li dosáhnout co nejnižší potřeby tepla na vytápění, ať už nízkoenergetických nebo pasivních domů, musíme vytvořit jednoduchý tvar domu bez výklenků, balkonů, lodžii a dalších architektonických prvků zvětšujících ochlazovaný povrch stavby.

Hlavní fasáda domu musí být orientována na jih a umísťují se zde velké prosklené plochy, minimálně stíněné, pro maximální získání sluneční energie.

Parametrů nízkoenergetických domů dnes není problém dosáhnout například při rekonstrukcích a revitalizacích panelových domů. V případě rekonstrukcí a revitalizací je však pro dosažení očekávaných úspor energie nezbytná i nová regulace otopné soustavy a zdroje tepla.

Při dosahování co nejnižší potřeby tepla na vytápění by se měly uplatnit i obnovitelné a alternativní zdroje energie, zejména termické solární kolektory pro přípravu teplé vody.

### Pasivní domy

Pasivní dům lze definovat jako koncept pro dosažení nejvyšší tepelné pohody při nízkých nákladech. Při cca 10% vícenákladech dostáváme o 90% energeticky účinnější domy, než je stávající výstavba.

Hlavní podstatou pasivního domu je, aby se vytápěl pomocí slunečního záření a zpětným získáváním vnitřního tepla. Pasivní dům má spotřebu tepla  $5 - 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})^*$  na metr čtvereční vytápěné plochy, měrný tepelný příkon maximálně  $10 \text{ W}/\text{m}^2$ . Vzduchotěsnost obálky domu do  $n_{50} = 0,60 \text{ h}^{-1}$ . Celková primární energie na vytápění, přípravu TUV, větrání a domácí spotřebu při standardním provozu do  $120 \text{ kWh}/\text{m}^2$  rok. Spotřeba tepla před rokem 1980 se snížila do letošního roku z 200 až  $300 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  na 15 až  $35 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  u nízkoenergetických a pasivních domů [10].

Musí být provedena tepelná izolace, pro dosažení co nejnižších tepelných ztrát a vyloučení vlivu tepelných mostů. Tloušťka tepelné izolace obvodových stěn musí být v rozmezí od 25 cm do 45 cm (při  $\lambda = 0,04 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ). Obvodový plášť musí mít hodnotu  $U$  okolo  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  a hodnota průvzdušnosti musí být  $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$ . Střecha musí mít tepelnou izolaci tloušťky od 25 – 55 cm a dosahovat tak hodnot  $U$  mezi  $0,07 - 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Pasivní dům musí mít vysoce účinné mechanické zařízení k zpětnému získávání tepla. Výplně otvorů musí mít vynikající tepelně izolační vlastnosti zasklení, součinitel prostupu tepla celým oknem nesmí překročit hodnotu  $U_w = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  [10].

---

\* U nás se za energeticky pasivní dům považuje takový, který má potřebu tepla na vytápění  $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ , viz TNI 73 0329 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov c velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy. ÚNMZ, září 2010.

U pasivních domů hrají významnou úlohu vnitřní tepelné zisky (elektronika, svítidla).

Systémem nuceného větrání s rekuperací tepla z odváděného vzduchu a zařízením pro dohřev vzduchu v období velmi nízkých venkovních teplot, lze krýt bez použití otopné soustavy nízkou energetickou potřebu budovy.

Mezi doporučené standardy lze zařadit využití energeticky úsporných spotřebičů, dále přehřev venkovního vzduchu v zemním výměníku tepla (na teplotu  $\geq 8$  °C), aktivní využití solární energie pro vytápění a ohřev teplé vody a nadprůměrné využívání pasivních solárních zisků (reálné pokrytí až 40 % zbytkové potřeby tepla) [10].

### Nulové domy

Dům s téměř nulovou spotřebou energie vychází z požadavků kladených na pasivní domy. Potřeba tepla pro vytápění je menší než 5 kWh/(m<sup>2</sup>.a).

Velký důraz se klade na kvalitu obálky budovy. Běžnou součástí nulových domů jsou např. solární panely, fotovoltaické panely nebo kombinace obou těchto systémů.

Dnes jsou již navrhovány energeticky nezávislé domy a plusenergetické domy. U těchto objektů zůstávají požadavky na konstrukci stejné jako u energeticky pasivních domů a jsou kladeny vysoké požadavky na technické zařízení (fotovoltaické systémy, fototermitické systémy) [7].

## **3.4 Dřevostavby z pohledu trvale udržitelného rozvoje**

Filozofie trvale udržitelného rozvoje v oblasti stavebnictví spočívá v používání materiálů a stavebních konstrukcí s dlouhou životností, zdravotně nezávadných a ekologicky šetrných po celý životní cyklus. Dřevostavby a stavby na bázi dřeva, proto představují jednu z možností, jak toho dosáhnout.

Dřevostavby, umožňují při optimálních nákladech a minimálním poškozování životního prostředí výstavbu jak rodinných domů, tak i veřejných budov a bytových domů. Problém u nás znamenají požární předpisy, vyhlášky a normy, které v našem prostředí prakticky neumožňují výstavbu vícepodlažních budov. Dalším problémem je neznalost projektantů problematiky dřevostaveb a používání přírodních izolací.

Jak jsem již výše uvedla, dřevo jako stavební materiál, případně surovina pro výrobu dalších stavebních materiálů splňuje požadavky trvale udržitelného rozvoje. Zvýšení využívání dřeva ve stavebnictví přispěje k redukci emisí CO<sub>2</sub>, jednak snížením spotřeby neobnovitelných zdrojů, jednak zvýší ukládání CO<sub>2</sub> v lesích a výrobcích ze dřeva. V případě použití 1 m<sup>3</sup> dřeva, který obsahuje 1 tunu CO<sub>2</sub> ušetříme další tunu emisí vznikajících při výrobě ať již cihel nebo betonu.

Již v projekční fázi musí být v úvahu brán vliv na globální životní prostředí (potenciál globálního oteplování - GWP, potenciál ničení ozonu - ODP, potenciál tvorby ozonu - POCP, potenciál okyselování prostředí - AP, potenciál eutrofizace prostředí EP, rizika pro místní životní prostředí, udržitelná těžba materiálů, užití certifikovaných materiálů), dále čerpání zdrojů (potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů, celková primární energie a podíl obnovitelných zdrojů primární energie, spotřeba pitné vody a čištění odpadních vod, využití půdy), použití materiálů (spotřeba neobnovitelných materiálových zdrojů, míra využití obnovitelných zdrojů, recyklovatelnost použitých stavebních materiálů, odpady a nakládání s nimi),



náklady a výnosy životního cyklu (náklady spojené s budovou během životního cyklu, náklady na přizpůsobení budovy pro jiný účel užívání). Certifikační systémy vyhodnocující míru udržitelnosti budovy,

Hodnocení dřevostaveb a staveb obecně z pohledu trvale udržitelného rozvoje můžeme provádět několika metodami, které se vyvíjejí už asi 20 let. Nejvíce známá je Metoda posuzování životního cyklu (Metoda LCA - Life Cycle Assessment). Podstatou metody je určení materiálových a energetických toků směrem dovnitř (těžba surovin, výroba stavebních materiálů, doprava), v průběhu (provoz) a směrem ven ze systému (likvidace, případně recyklace) [28].

### **3.5 Izolace na bázi přírodních materiálů**

Vzhledem ke stále rostoucím cenám energie, snižujícím se zásobám nerostných surovin, je nutné zabývat se vývojem a výrobou ekologických a energeticky méně náročných stavebních materiálů. Na jedné straně se snažíme vyvíjet energeticky pasivní domy, na druhé straně k jejich stavbě využíváme energeticky náročných materiálů, které jsou zdraví škodlivé.

Izolační materiály díky svým jedinečným vlastnostem umožňují výrazně snížit energetickou spotřebu budov a tím nepřímo i exhalace způsobené topením, případně chlazením, do ovzduší. Při jejich výrobě však musí být dodrženy principy udržitelnosti. Aplikace, včetně řešení jejich recyklace, musí splňovat taktéž charakter udržitelnosti. Při výstavbě, případně při rekonstrukci je nutné brát zřetel mimo jiné i na kvalitu vnitřního prostředí, která výrazně ovlivňuje zdraví člověka.

Izolace z přírodních vláken ne vždy musejí mít větší tloušťku oproti materiálům z minerálních nebo skelných vláken, pro dosažení stejných hodnot součinitele prostupu tepla. Mezi jejich výhody patří propustnost pro vodní páry, hygroskopičnost a kapilarita. Zlepšují kvalitu vnitřního prostředí a lze je použít i do konstrukcí s vyšším výskytem kondenzace. Jsou vhodné do dřevěných rámových konstrukcí, střešních konstrukcí a lehkých ocelových konstrukcí. Další výhodou je jejich vysoká měrná tepelná kapacita. Vyšší hustota a struktura může poskytovat dobré akustické vlastnosti.

Použití a kotvení, řezání izolačních produktů z přírodních vláken je stejné jako u izolací ze skelných a minerálních vláken. Při manipulaci s nimi se nemusí používat ochranné pomůcky, materiály nejsou toxické a dráždivé.

Nevýhodou izolací z přírodních vláken je vyšší cena, většina výrobků je dovážena a jedná se o zakázkovou výrobu. V současné době tvoří cca 1% celkového objemu trhu. Přírodní surovina se sklízí jedenkrát do roku a v případě vyčerpání zásob je nutné ji dovážet, čímž se výroba prodražuje.

Výroba materiálů z dřevních vláken, celulózy, ovčí vlny, konopí a lnu, zanechává nižší uhlíkovou stopu a materiály jsou zdravotně nezávadné. Mohou oproti izolacím ze skelných a minerálních vláken pomáhat při regulaci relativní vlhkosti v interiérech. Tyto materiály se navíc vyznačují i delší životností a na konci jejich životnosti je lze snadno kompostovat.

Zaměřila jsem se na rostliny a dřeviny, které mají mnohonásobné využití a jejichž zbytky, které se nevyužijí např. v potravinářském, farmaceutickém nebo textilním průmyslu lze využít pro výrobu izolačních stavebních materiálů. Další výhodou těchto surovin je místní dostupnost.

### Len (*Linum usitatissimum*)

Jedná se o domácí, obnovitelnou užitkovou rostlinu, původem z Asie, ale pěstoval se již ve starém Egyptě. U nás se pěstoval již po staletí, zejména v podhorských oblastech. Len je odolná jednoletá plodina, lze ji pěstovat bez použití hnojiv. Sklizeň lnu je možná za 100 dní po zasetí. Při relativně nízkém vstupu, poskytuje vysoké výnosy.

Lněná semena mají vícenásobné použití, jednak v potravinářském, farmaceutickém, textilním, automobilovém (např. brzdové a spojkové obložení, dveřní výplně a další) a stavebním průmyslu.

Stavba lněného stonku se skládá ze dřene, lněných vláken a dřevnaté vrstvy. Po chemické stráce se lněné vlákno skládá z 80% celulózy, hemicelulózy, dále ligninu vosků, tuků a pektinů. Vlákno je žluté, lesklé a hladké. Vlákna jsou pevná v tahu, málo elastická.

Lněná vlákna se získávají máčením ve vodě, rosením nebo chemicky. Zpracování lnu na stavební vláknité hmoty se provádí následovně: syrové rostliny se usuší, následně máčí (pro snadnější oddělení vláken od pazdeří) a opět suší. Třením, potíráním a vohlováním se získají jemná vlákna. Ta se zplstí na textilních strojích, vzniknou tenké pásy rouna, které se navrství do požadované tloušťky. Přitom se v tekuté formě na vlákna nanáší škrobové lepidlo 10%, a boritá sůl 10%, případně amonné soli a při následném sušení se pevně spojují s vlákny. Výsledkem je pružná, tvarově stálá, žáru a plísním odolná izolační deska [9, 11, 39].

Kvalita lněného vlákna a jeho tepelně technické, mechanické i fyzikální vlastnosti jsou závislé na podmínkách při růstu, uskladnění a zpracování.



**Tabulka 3.4.1 - Izolační vlastnosti materiálu**

	<b>Materiál</b>	<b>Součinitel tepelné vodivosti <math>\lambda</math> [ W/m.K]</b>
Izolační materiály	Lněná izolace	0,039
	Dřevo kolmo k vláknům ( $w = 12\%$ )	0,120 - 0,180
	Izolace z kamenné vaty	0,035
	Izolace ze skelné vaty	0,036 – 0,041
	Izolace z pěnového polystyrenu	0,039
Stavební materiály	Plná cihla	0,700
	Beton prostý	1,230 – 1,360

Len, resp. lýková vlákna mají porézní strukturu a vykazují nízkou objemovou hmotnost. V pórech se nachází vzduch, který má nižší hodnotu součinitele tepelné vodivosti než základní hmota. Hodnota součinitele tepelné vodivosti je závislá na rozmístění a tvaru pórů na jejich umístění a na vlhkosti. Díky celulóze jsou vlákna schopna absorpce a desorpce vlhkosti. Se zvyšující se vlhkostí se zvyšuje pevnost a urychluje možné chemické a biologické napadení materiálu (nad 60%) a při nízkém obsahu vlhkosti (pod 20%) vlákna křehnou a jsou lámavá.

Z hlediska akustiky se mohou lýková vlákna stát plnohodnotnou alternativou k minerálním izolacím. Jak jsem již uvedla výše, mají lýková vlákna porézní a vláknitou strukturu a vykazují tak dobré hodnoty činitele zvukové pohltivosti  $\alpha$ . Dále vykazují vyšší dynamickou tuhost  $s'$  [MPa/m] a napětí při 10% deformaci, která je charakteristickou pro kročejovou neprůzvučnost vodorovných konstrukcí.

Ve stavebnictví se zkouší využití lněných vláken v podobě izolačních desek, cemento-vláknitých desek, vláken jako armovacích prostředků, suchá maltovinová směs atd. Izolace jsou ve formě plsti, desek nebo volně sypané. Mají dobré izolační vlastnosti viz tabulka č. 3.4.1.

Lněná izolace je odolná vůči alkáliím, hnilobě, napadení hmyzu a plísním. Podíl lněných vláken ve výrobcích závisí na oblasti použití. Pohybuje se od 85% v deskách, zbylých 15% jsou přísady, například recyklovaná textilní vlákna, soli. Izolační rohože obsahují i 100% lněných vláken.

Nevýhodou je hořlavost materiálu. Pro větší odolnost proti ohni se při výrobě izolací přidávají sloučeniny amoniaku, boraxu nebo vodního skla. Kvůli lámavosti lnu se mohou přidávat podpurná polyesterová vlákna.

Další nevýhodou je možnost napadení vláken mikrobiologickými činiteli k čemuž přispívá zvýšená vlhkost, přítomnost kyslíku a hodnota pH.

Výrobky jsou ve formě desek, rohoží nebo provazců. Užití při izolaci obvodových, střešních, stropních konstrukcí a do podlah pro útlum kročejového zvuku. Není vhodné použití do vlhkých prostor případně do venkovního prostředí (zateplení soklu apod.)

Testy dle nezávislého ekologického a certifikačního institutu prokázaly odhadovanou životnost na nejméně 75 let.

Len a výrobky z něj jsou snadno kompostovatelné, lze je snadno spálit bez škodlivých produktů (popel z pazdeří a odpadní voda z máčení jsou vhodné k hnojení). Výrobky ze lnu jsou u nás prodávány pod názvem Termolen, Heraflax, Isoflachs [3, 39]. Otázkou je potřeba hnojiv, herbicidů a pesticidů při pěstování, v případě jejich používání je nutno zahrnout do životního cyklu, čímž se zvýší zátěž životního prostředí.

Oproti běžné izolaci ze skelné vaty je dražší, viz tab. 4.1. Energetická náročnost výroby podobná jako u konopí.

### Konopí seté (*Cannabis sativa*)

Konopí seté je odolná, nenáročná, teplomilná rostlina. Dorůstá do výšky 3 – 4m. Stonky jsou pevné, vnitřní kůra je vláknitá. Lze ji celou dobře zužitkovat, jak na vlákno, papír, olej, palivo, tak i na nábytek. Sklizeň je možná 2x do roka. Je bohatá na buničinu, ze které je možné vyrobit konopný ethanol.

Konopná vlákna jsou odolná vůči působení tepla, světla, vody a povětrnostních vlivů. Obsah vlákniny v rostlině je asi 25%, zbytek tvoří pazdeří. Struktura a vlastnosti lýkových vláken jsou stejné jako u lnu.

Konopné pazdeří je velmi savé, má mnoho kysličníku křemičitého, kterého se využívá ve stavebnictví. Konopné hurdy projdou po smíchání s vápnem procesem mineralizace, kterému se někdy říká „petrifikace“ (přeměna v kámen).

Ve Francii se konopné hurdy používají jako hlavní stavební materiál pro stavbu domů. Směs konopí, vody, vápna, cementu a písku je tekutá jako beton, stejně tuhne a stává se odolná vůči plísním a hmyzu. Výsledný materiál, je mnohonásobně lehčí než beton a nabízí dobrou tepelnou i zvukovou izolaci. Směs tuhne během několika hodin, zatímco proces petrifikace pokračuje. Směs může být lita jako podlaha nebo jako zeď mezi desky překližky. Jeden druh materiálu zde nahradí několik vrstev běžných stavebních materiálů: cihly nebo beton, parozábranu, izolaci a sádkokarton. Nátěr vápnem je vše, co je potřeba udělat zevnitř nebo zvenku stavby. Jiná možnost ochrany při vnitřním použití je jednoduché voskování nebo lakování, které zvýrazní korkovou strukturu materiálu [3].



**Tabulka 3.4.2 - Izolační vlastnosti materiálu**

	<b>Materiál</b>	<b>Součinitel tepelné vodivosti <math>\lambda</math> [ W/m.K]</b>
Izolační materiály	Konopná izolace	0,040
	Dřevo kolmo k vláknům ( $w = 12\%$ )	0,120 - 0,180
	Izolace z kamenné vaty	0,035
	Izolace ze skelné vaty	0,036 – 0,041
	Izolace z pěnového polystyrenu	0,039
Stavební materiály	Plná cihla	0,700
	Beton prostý	1,230 – 1,360

Stavební Isochanvre slouží jako náhražka betonu a vyrábí se zvápněním a slisováním konopných stonků. Je stejně pevný jako beton, ale sedmkrát lehčí a pružnější, odolává přírodním podmínkám a také lépe izoluje. Na rozdíl od betonu Isochanvre díky své pružnosti nepraská, a také není toxický. Snadno se s ním pracuje a staví.

V Německu se vyrábějí jílovo-konopné cihly. Cihly jsou složeny ze 75% jílu a 25% konopného pazdeří. Objemová hmotnost těchto cihel je  $600 \text{ kg/m}^3$  až  $800 \text{ kg/m}^3$ , pevnost v tlaku 0,6 MPa. Jejich součinitel tepelné vodivosti má hodnotu 0,17 W/(m. K). Cihly se používají pro vnitřní nenosné zdivo. Ke zdění se používá hlíno-konopná malta. Součinitel tepelné vodivosti malty má hodnotu 0,35 W/(m.K). Pevnost v tlaku dosahuje 0,8 MPa, objemová hmotnost  $1000 \text{ kg/m}^3$  [46].

Na postavení menšího rodinného domu postačí hektarová sklizeň technického konopí, ze kterého se vyrobí až 8 tun plnohodnotného stavebního materiálu. V Evropě již bylo z tohoto materiálu postaveno několik stovek domů.

Další trend testuje německá firma TEXBIS, která pro stěny i podlahy používá nepálené cihly, lisované z rozdrčených konopných stonků a hlíny.

V Německu firma Termo-Hanf vyrábí termoizolační konopné rohože. U nás je vyrábí firma Canabest. Konopné rohože mají výhodu, že neobsahují žádné látky zatěžující životní prostředí, jsou plně recyklovatelné, hodí se na izolaci střech, zdí i podlah. Mají také dobré difúzní vlastnosti umožňující optimální prostup vlhkosti a zajišťující ideální zdravé klima v místnostech. Navíc neobsahují žádné bílkoviny, takže jsou současně absolutně bezpečné proti napadení škůdci a nepodléhají hnilobě. Tyto izolační desky se skládají z 82 - 85% konopných vláken, 10 - 15% bikomponentních vláken a 3 - 5% uhličitanu sodného jako ohnivzdorné ochrany. Novinkou je nahrazení bikomponentních vláken kukuřičným škrobem [43].

Konopná vlákna se také využívají jako náhrada skelné vaty. Vlákna ošetřená ohnivzdornou látkou se jednoduše nastříkají mezi stěny. Na rozdíl od izolace ze skelné vaty však tato konopná izolace nedráždí plíce ani pokožku [3].

Z konopí je možno rovněž vyrábět umělé hmoty, které dokáží plně nahradit plasty vyráběné z ropných nebo uhelných produktů a jsou ekologicky nezávadné, protože se dají jako odpad lehce recyklovat. Jejich výhodou je také jejich zdravotní nezávadnost a nevyvolávají alergické reakce. Z těchto plastů lze vyrobit instalační materiály potřebné při stavbě domu, které se jinak běžně dělají z PVC jako například potrubí a kolena. Konopí se již odedávna používalo jako podklad pod koberce a dají se z něj vyrábět lité podlahy, podlahové krytiny i nátěrové hmoty či nábytek. Z konopí se dá v podstatě postavit celý dům, a ještě jej zařídit většinou potřebného vybavení.

**Tabulka 3.4.3** - Oblasti zpracování konopných krátkých vláken v rámci EU v roce 2000 [9]

Oblast odbytu	Přijatá produkce v t
Výroba buničiny pro papírny	100
Výroba speciální buničiny	24 882
Jednouúčelové díly pro automobilový průmysl	1 770
Jednouúčelové díly pro ostatní průmysl	120
Stavební a izolační materiály	1 095
Geotextilie a textilie pro specifické zemědělské účely	234
Výroba šňůr a lan (tradiční využití)	150
Ostatní	280

Objemová hmotnost konopné izolace  $\rho = 24 \text{ kg/m}^3$  až  $100 \text{ kg/m}^3$ . Tepelná vodivost se pohybuje v rozmezí  $\lambda = 0,040 \text{ W/(m. K)}$  až  $0,042 \text{ W/(m. K)}$ . Vážený součinitel zvukové pohltivosti 0,95 [17, 39].

Oproti běžné kamenné izolaci je izolace s použitím BiCo vláken o cca 19% dražší, s použitím kukuřičného škrobu o 62,5% dražší. Spotřeba primární energie na výrobu  $\text{m}^2$  100 mm izolace je 1,6 MJ/kg. Produkce  $\text{CO}_2$  3,8 kg  $\text{CO}_2 \text{ equ./kg}$ .



### Rákos obecný (*Phragmites australis*)

V minulosti se tato rostlina dorůstající do 1 – 4 m, hojně používala na krytinu střech a měla tradici. Poslední střechy se realizovaly ještě v 60. letech našeho století. Bohužel s nástupem moderních střešních krytin, toto řemeslo vymřelo a zkušenosti a potřebnou zručnost již dnes nikdo nemá.

Rostliny se vyskytují v mělkých bažinatých vodách, kde tvoří souvislý hustý porost. Rostlina se sklízí v zimě, kdy působením mrazu dochází k vytvrzování stvolů. Z rostlin se uvážou snopy, které se následně suší cca měsíc v kuželech. Následně proběhne vytrídění dle jednotlivých tlouštěk stébel. Největší stébla se využijí pro dekorační rohože. Středně silná stébla pro rohože pod omítku a další výrobky z rákosu.



Technické využití rákosu je široké, lze jej využít jako podkladu pod omítku, na desky, rohože, střešní krytinu, tepelně izolační desky, nebo výrobu celulózy.

V porovnání se slámou se stébla rákosu vyznačují větší pevností, větším objemem a delší trvanlivostí. Rákos nepodléhá biologickému rozkladu. Díky vysokému obsahu kyseliny křemičité je značně snižené riziko samovznícení. Při stlačení několika vrstev se zvyšuje požární odolnost. Tohoto je možné využít v izolačních deskách v kombinaci s dalšími přírodními materiály, na zateplení fasád, popřípadě pro zateplení krovů.

**Tabulka 3.4.4 - Izolační vlastnosti materiálu**

	<b>Materiál</b>	<b>Součinitel tepelné vodivosti <math>\lambda</math> [ W/m.K]</b>
Izolační materiály	Rákosová izolace	0,042 – 0,06
	Dřevo kolmo k vláknům ( $w = 12\%$ )	0,120 - 0,180
	Izolace z kamenné vaty	0,035
	Izolace ze skelné vaty	0,036 – 0,041
	Izolace z pěnového polystyrenu	0,039
Stavební materiály	Plná cihla	0,700
	Beton prostý	1,230 – 1,360

Nejznámější jsou rákosové rohože jako nosič hliněných omítek u nesavých konstrukcí. Další největší využití je na střešní krytiny s dvojitou funkcí (střešní krytina a tepelná izolace). Střecha s touto krytinou navíc dobře akusticky izoluje. Toto je způsobeno tím, že jednotlivá stébla rozdělená tzv. kolénkem jsou v podstatě krátkými kapilárami, v nichž je uzavřen vzduch.

Vhodné je použití i jako kontaktní izolace pro difúzně otevřené konstrukce.

Objemová hmotnost rákosu  $\rho = 140 \text{ kg/m}^3$  až  $180 \text{ kg/m}^3$ .

Tepelná vodivost se pohybuje v rozmezí  $0,042 \text{ W/(m. K)}$  až  $0,06 \text{ W/(m.K)}$  [3].



## Sláma

Jde o odpadní materiál organického původu. Sláma je produkt vznikající při pěstování obilí. V současné době zažívá určitou renesanci. Na stavbu domů se slaměné balíky začaly používat před 100 lety. Sláma jako izolace se používá již několik staletí (skladování na půdě domů). Dále se sláma používala na střechy, jako střešní krytina – došky a dále se dávala do nepálených cihel tzv. vepřovic.

Sláma má nízkou tepelnou vodivost. Spolu s vláknitým charakterem mají výrobky z ní relativně nízkou tepelnou vodivost. Naopak materiály na bázi slámy poskytují dobré zvukově izolační vlastnosti, jak vzduchové neprůzvučnosti tak i akustické pohltivosti. Tyto vlastnosti jsou závislé na struktuře a objemové hmotnosti konkrétního typu použitého materiálu.

Vzduchová neprůzvučnost oboustranně omítnuté stěny hliněnou omítkou  $R'w = 46$  dB. To je více než neprůzvučnost oken ( $R'w = 32-37$  dB), ale méně než masivní stěna  $R'w = 50$  dB [27].

Neupravená sláma je citlivá na vlhkost. V případě dlouhodobého vystavení účinkům nadměrné vlhkosti může dojít k degradaci působením bakterií, plísní nebo hub.

Vlhkost by neměla dlouhodobě překročit 20%. Z tohoto důvodu je nezbytné dobře oddělit od všech zdrojů vlhkosti vrstvu slámy a uzavřít ji omítkou nebo jinou souvislou materiálovou vrstvou, která zároveň omezí hořlavost. Použití slaměných balíků se doporučuje z výše uvedených důvodů spíše pro malé stavby [3, 27].

Nevýhodou slámy je její hořlavost, která musí být snižována retardéry hoření. Požární odolnost konstrukce se zvýší pomocí nehořlavé povrchové úpravy například omítkou nebo obkladem. Ohnivzdornost stěny s oboustranným dřevěným bedněním a hliněnou omítkou je 90 minut.



*Obr. 10 Slaměné balíky [39]*

**Tabulka 3.4.5 - Izolační vlastnosti materiálu**

	<b>Materiál</b>	<b>Součinitel tepelné vodivosti <math>\lambda</math> [ W/m.K]</b>
Izolační materiály	Izolace ze slámy	0,102
	Dřevo kolmo k vláknům ( $w = 12\%$ )	0,120 - 0,180
	Izolace z kamenné vaty	0,035
	Izolace ze skelné vaty	0,036 – 0,041
	Izolace z pěnového polystyrenu	0,039
Stavební materiály	Plná cihla	0,700
	Beton prostý	1,230 – 1,360

Slaměné balíky lze klást jako tvárnice či cihly. Jedná se o tzv. stěnový systém. Balíky mají nosnou funkci. Se základy i spolu navzájem jsou spojeny dřevěnými kolíky a nahoře mají ztužující věnec, který je upevněn k balíkům i základům dřevěnými tyčemi a kovovými nebo polyetylenovými třmeny. Otvory jsou umístěny v konstrukčních rámech, které jsou připevňovány k balíkům kolíky v průběhu zdění. Tento konstrukční systém je omezen rozměrově (maximální délka zdi bez výztuže je 6m) a plocha otvorů nesmí přesáhnout 50% z plochy stěny.

Více se používá při stavbách domů kombinace stěnového a skeletového systému, kdy se nejprve postaví dřevěný skelet a výplň slámou následně zajistí celkovou prostorovou tuhost budovy. Výhodou je, že střecha je postavena dříve než slaměné stěny a chrání tak před deštěm.

Lze dobře zlikvidovat nebo zkompostovat. Cena této izolace je nízká 10 – 25 Kč, jelikož se jedná o odpadní materiál bez dalšího využití.

Dalším zpracování slámy dostaneme slaměné desky nebo tzv. ekopanely. Hlavní surovinou pro výrobu je pšeničná sláma. Jádro ekopanelu se lisuje ze slámy za vysokého tlaku a teploty. Neobsahuje žádná pojiva a nátěry, přidávají se přísady na ochranu proti hlodavcům a zlepšující vlastnosti panelů. Jádro je polepeno recyklovanou lepenkou. Lepidlo je nanášeno v tenko vrstvě a vyhovuje nejpřísnějším hygienickým normám. Ekopanely lze plně recyklovat. Všechny materiály používané při výrobě desek jsou 100% recyklovatelné, hygienicky nezávadné, ekologicky čisté a mají svůj původ v obnovitelných přírodních surovinách. Ekopanely mají v porovnání se sádkokartonem vyšší mechanickou odolnost. Snese i zavěšení až 75 kg zátěže, oproti sádkokartonu, který unese pouze 50 kg. Příčky z ekopanelů váží v průměru 23 kg/m<sup>2</sup>, v případě použití sádrovláknitých desek se dostáváme na váhu 27 kg/m<sup>2</sup> a o 15% vyšší náklady. Spotřeba elektrické energie na výrobu 1 m<sup>2</sup> ekopanelu je přibližně 2,5 kW [27].

Ekopanely se používají na nenosné části konstrukcí, např. na podlahy, stropní podhledy, nenosné příčky a opláštění veškerých typů dřevostaveb. Dále se dá využít jako ztraceného bednění. Díky zvýšeným tepelně akumulacím schopnostem slaměných panelů je vhodná aplikace do obytného podkroví.

Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,102 \text{ W/(m.K)}$ , objemová hmotnost  $\rho = 398 \text{ kg/m}^3$ . Cena 1 m<sup>2</sup> ekopanelu je 280,-Kč [27].



**Obr. 10** Novostavba domu ze slámy s roubením, obec Podlesí

## Ovčí vlna

Ovčí vlna patří mezi přírodní materiály. Jedná se o odpadní materiál.

Její zpracováním se nesnižuje množství žádného přírodního zdroje. Surovina pochází z živých ovcí.

Ovčí vlna se používala především v textilním průmyslu. Postupně její využití klesalo a dnes se celosvětově zpracují pouze 3% (1,3 miliónů tun) z celkového objemu. Zbytek produkce je likvidován.

V posledních letech, jak stoupala poptávka po přírodních stavebních materiálech se začal tento odpadní materiál využívat a z ovčí vlny se začala vyrábět izolace ve formě plstí, pásů a rouna.



*Obr. 11 Vypraná ovčí vlna [16]*

Délka vláken je od 100 do 200 mm a jemnost je 14–50  $\mu\text{m}$  (podle plemene). Na 1 m<sup>2</sup> 10 cm tlusté izolační rohože se spotřebuje ovčí rouno z 2 ovcí. Vlákno tvoří pigment, keratin a voda. Z prvků má největší podíl uhlík (50%), kyslík a dusík (40%) [3]. Vlněná vlákna se řadí mezi keratinová. Keratin je základní složkou vlasů, chlupů a nehtů. Jedná se o bílkovinu, řadí se mezi skleroproteiny.

Výroba izolace z ovčí vlny je jednoduchá, energeticky nenáročná a šetrná k životnímu prostředí. Rouno je nutné zbavit nečistot (potu, tuku, které tvoří cca. 15 – 50 %). Jakmile je vlna vysušená, zpracovává se na mykacím stroji. Tímto procesem jsou všechna vlákna spouštěna ve stejném směru. Tato mimořádně tenká vrstva mykaných, vlněných vláken je mnohokrát vrstvena, aby se dosáhlo požadované tloušťky a kompaktní soudržnosti. Jsou tři technologie zpracování. První je technologie vodorovného kladení mykaného ovčího rouna bez použití pojiva. Druhou je technologie kolmého kladení mykaného vlákna, za použití BiCo (dvousložkové bikomponentní vlákno složené ze dvou polymerů) vlákna. V prvním případě se jedná o 100% přírodní monokomponentní produkt. Třetí způsob zpracování je plstnatění. Ve všech třech případech zpracování se jedná o ekologický proces, při kterém nevzniká žádný odpad. Životnost výsledného produktu dlouhá. V průběhu použití si vlna udržuje stálou tloušťku, objem a elasticitu.

Vlna, jako živočišné vlákno, patří mezi materiály, které jsou náchylné k biologické degradaci. Největší nepřítel vlny je mol šatní. Proti tomuto škůdci se musí materiál chránit chemickými přípravky – Molantinem SP, roztokem močoviny nebo soli. Molantin SP je 10% roztok fotostabilního syntetického pyretroidu – permethrinu, dráždí pokožku, toxický pro vodní organismy, nevýhodou je nízká životnost, jelikož se odpařuje (některé zdroje uvádějí životnost do 10 let, jiné, že nebyla měřena) [37].

Močovina, používá 3% roztok. Jedná se o organickou sloučeninu uhlíku, dusíku, kyslíku a vodíku ((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO). Zdravotní nezávadnost je při 3% roztoku zanedbatelná. Životnost takto ošetřené ovčí vlny nebyla měřena [42].

Roztok soli (na bázi titanu a fluoru) vyvinula pro ošetření rakouská společnost Isolena. Jedná se o anorganickou sůl, která se chemicky naváže na molekuly bílkoviny aminokyselin [34].

Výhodou tohoto přípravku je, že se díky chemické reakci nerozpouští ve vodě, nesublimesuje a nevyplavuje se. Trvanlivá ochrana proti molům (po několikerém



vyprání vzorků a následnému vystavení molům nedošlo v průběhu 6 měsíců k napadení).

**Tabulka 3.4.6 - Izolační vlastnosti materiálu**

	<b>Materiál</b>	<b>Součinitel tepelné vodivosti <math>\lambda</math> [ W/m.K]</b>
Izolační materiály	Izolace z ovčí vlny	0,035-0,045
	Dřevo kolmo k vláknům ( $w = 12\%$ )	0,120 - 0,180
	Izolace z kamenné vaty	0,035
	Izolace ze skelné vaty	0,036 – 0,041
	Izolace z pěnového polystyrenu	0,039
Stavební materiály	Plná cihla	0,700
	Beton prostý	1,230 – 1,360

Vlastnosti izolace z ovčí vlny:

Objemová hmotnost se dle typu zpracování může pohybovat od  $13 \text{ kg.m}^{-3}$  do  $30 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Hořlavost, řadí se (dle DIN 4102 – část 1.) do třídy B2. Ovčí vlna je nehořlavá, má samozhášecí schopnost. Její samozápalná teplota je zhruba  $560^\circ\text{C}$  (některé zdroje uvádějí  $570^\circ - 600^\circ\text{C}$ ). K hoření potřebuje vyšší koncentraci kyslíku (Limiting Oxygen Index (LOI = 25.2)) [3, 24].

Vlákno taje bez zkapalnění a při hoření nevznikají žádné toxické plyny. Vlna hoří pomalu a je snadno uhasitelná. Pro snížení hořlavosti lze aplikovat přibližně 2% retardéru hoření „HCA ITC“. Mezinárodní normy však izolace splňuje i bez této úpravy.

Součinitel tepelné vodivosti je závislý na pórovitosti materiálu, respektive na jeho objemové hmotnosti. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti udávané výrobcem jsou v tab. 4.1.

Tepelná kapacita ovčí vlny je cca  $1270 \text{ J/(kg.K)}$ .

Výhodou ovčí vlny je její hygroskopičnost. Ovčí vlna reguluje vlhkost vzduchu v místnosti, díky schopnosti navázat na sebe vodu. Uvádí se množství vody až 35% vlastní váhy bez ztráty izolačních vlastností. Vlhkost je vstřebána přímo vlákny a následně je uvolněna.

Faktor difuzního odporu

Pohybuje se v rozmezí 1 a 2. Jedná se o prodyšný izolační materiál. Při použití ovčí vlny je vhodné použít parobrzdy ke zpomalení průniku vodní páry. Pro srovnání: EPS má tuto hodnotu cca 70 a asfaltová hydroizolace cca 10 000.

Akustické vlastnosti, díky rozdílné jemnosti vláken ( $14 - 40 \mu\text{m}$ ) a speciální technice plstění dosahují produkty kročejevého útlumu  $\Delta L_w = 21 \text{ dB}$  [3].

Vlna si zachovává po celou dobu životnosti pružnost. Vlnu lze použít i na neutralizaci formaldehydu ve vzduchu. Keratin obsažený ve vláknech neutralizuje

formaldehyd. Při chemické reakci se škodliviny navážou právě na tyto molekuly keratinu, který je dokáže neutralizovat.. Vzduch se tak čistí od prachu, pylů, cigaretového kouře a dalších. Po výměně vlny se takto ošetřený materiál dá zkompostovat [43].

Vlna je odolná proti plísním, pro hlodavce je nestravitelná.

Zátěž pro životní prostředí

Primární energie z obnovitelných zdrojů – PEIne 8,77 MJ.kg<sup>-1</sup>.

Potenciál globálního oteplování GWP 0,244 kg.CO<sub>2</sub> equ. .kg<sup>-1</sup>.

Potenciál okyselování prostředí AP 0,0034 kg.SO<sub>2</sub> equ. .kg<sup>-1</sup>. [32]

Cena izolace z ovčí vlny se pohybuje od 65,-Kč/m.

## Dřevo

Dřevo má velmi dobré statické vlastnosti. Stavba buňky a její pórovitá struktura mají hlavní zásluhu na vynikajících stavebně-fyzikálních vlastnostech dřeva. Má vysokou pevnost při minimální hmotnosti, vysokou pružnost. Je odolné vůči kyselinám a zásadám [5, 8].

Absorbuje škodlivé civilizační produkty a neutralizuje vliv geopatogenních zón. Vzhledem ke svému povrchu má vysoké hygroskopické a absorpční vlastnosti.

Dřevo jako hygroskopický materiál neustále vyrovnává svou vlhkost s vlhkostí okolního vzduchu. Na rozdíl od zděných staveb je dřevěná srubová stěna, přesněji samotné dřevo schopno uložit ve svých buněčných a mezibuněčných prostorech relativně velké množství vody, to znamená, že je schopno z vlhčího vzduchu přijmout vlhkost a naopak do suššího prostoru tuto vlhkost opět vrátit. Tímto působí dřevěná srubová stěna jako výborný přírodní regulátor vlhkosti [12]. Lepší hygroskopické vlastnosti u dřevovláknitých desek jsou dány vázáním molekul vody mezi řetězci celulóзовých a hemicelulóзовých molekul a tvorbou vodíkových můstků, jak uvádí ve svém výzkumu F. Runkel.

Suché dřevo je výborný tepelný izolant. Jeho měrná tepelná vodivost závisí na vlhkosti a hustotě. Tepelná vodivost dřeva má velký význam při stavbě obytných budov. Vhodným využitím dřeva lze efektivně nahradit jiné materiály. S rostoucí vlhkostí se ale izolační vlastnosti dřeva zhoršují (při vlhkosti  $w = 25\%$  má stejné řezivo tepelnou vodivost o polovinu větší, při  $w = 50\%$  je tepelná vodivost více než dvojnásobná). Další výhodou dřeva je, že se nemusí počítat s jeho tepelnou roztažností (při teplotách nad  $0^{\circ}\text{C}$ ). Při zvýšení teploty totiž dřevo ztrácí vlhkost a sesychá [12].

Ze dřeva se kromě jiného vyrábí dřevovláknité desky. Jsou vyráběné z jemných dřevěných vláken ze syrového měkkého dřeva za působení páry a vysoké teploty. Vláknata jsou spojena látkami obsaženými v samotném dřevě, ligninu a hemicelulózy, zajišťujícími hydrofobizaci desek ve hmotě. Vyráběné desky se lisují vysokým tlakem na tloušťku 2-6 mm s objemovou hustotou  $800 - 1150 \text{ kg/m}^3$  tzv. sololity a tlakem nižším na tl. 6 - 100 mm s izolačními vlastnostmi. Desky mají ve stavebních konstrukcích víceúčelové použití a plní současně několik stavebně fyzikálních funkcí.

Předností dřevovláknitých izolačních materiálů je vysoká odolnost v tlaku, vysoká schopnost akumulace tepla a absorpce vodní páry. Díky posledním dvěma vlastnostem, příznivě ovlivňují vnitřní mikroklima. Dřevní vlákno má nízký součinitel tepelné vodivosti, vysokou specifickou tepelnou kapacitu, objemovou hmotnost a nízký faktor difúzního odporu [30].

Akustické vlastnosti dřevovláknitých desek dosahují kročejového útlumu  $\Delta L_w = 17 \text{ dB}$  [30].

**Tabulka 3.4.7 - Izolační vlastnosti materiálu**

	<b>Materiál</b>	<b>Součinitel tepelné vodivosti <math>\lambda</math> [ W/m.K]</b>
Izolační materiály	Dřevovlákn	0,039-0,049
	Dřevo kolmo k vláknům ( $w = 12\%$ )	0,120 - 0,180
	Izolace z kamenné vaty	0,035
	Izolace ze skelné vaty	0,036 – 0,041
	Izolace z pěnového polystyrenu	0,039
Stavební materiály	Plná cihla	0,700
	Beton prostý	1,230 – 1,360

Parametry tepelné izolace HOFATEX Therm jsou: objemová hmotnost  $150 \text{ kg/m}^3$ , součinitel tepelné vodivosti  $0,039 - 0,049 \text{ W/(m.K)}$  [30].

Cena dřevovláknitých desek se pohybuje dle typu a tloušťky od  $149,-\text{Kč/m}^2$  do  $613,-\text{Kč/m}^2$  [30].

## 4 Praktická část

Cílem práce je získání znalostí a poznatků založených na zkouškách a měření, ohledně izolací z přírodních a živočišných vláken, jejich tepelně vlhkostního chování, možnosti použití ve stavebních konstrukcích, náročnost výroby z hlediska spotřeby primární energie a produkce skleníkových plynů.

### 4.1 Výběr vzorků pro praktickou část z hlediska tepelně technických a akustických vlastností

V tabulce 4.1 jsou uvedeny základní tepelně technické a izolační vlastnosti izolací z přírodních vláken a ze skelných a minerálních vláken. Dále jsou v tabulce zahrnuty hodnoty potřeby energií nutné pro výrobu, emisní faktor CO<sub>2</sub> a SO<sub>2</sub> vznikající při výrobě. Hodnoty jsou převzaty od výrobců jednotlivých materiálů a je v nich zahrnuto vše od osiva až po výrobu finálního výrobku.

Součinitele tepelné vodivosti mají přírodní izolace o trochu horší než izolace ze skelného a minerálního vlákna.

Činitel zvukové pohltivosti je srovnatelný u izolací z lněných, konopných vláken a ovčí vlny. U celulózy dosahuje nejnižších hodnot – 0,8. U izolací ze skelných vláken a z minerálních vláken je činitel roven 1.

Faktor difúzního odporu, který udává kolikrát je příslušný materiál méně propustný pro vodní páru než pro vzduch, je srovnatelný u izolací z ovčí vlny, skelných a minerálních vláken. Vyšší je u celulózy (1,5 W/(m<sup>2</sup>K)), a nejvyšší u dřevovláknitých a lněných izolací (5,0 a 5,7 W/(m<sup>2</sup>K)). Tohoto se využívá u difúzně otevřených konstrukcí.

Izolace ze skelných a z minerálních vláken vykazují oproti izolacím z přírodních vláken lepší požární odolnost. U přírodních izolací se požární odolnost zvyšuje přidáváním retardantů hoření, většinou sody.

Energetická náročnost výroby je mnohdy srovnatelná. Nejnižší je u izolací z celulózy, následuje ji izolace z ovčí vlny.

Emise CO<sub>2</sub> jsou nízké u přírodních izolací a to z důvodu fotosyntézy u rostlin, případně dřevin.

Vyšší emise SO<sub>2</sub> vykazuje výroba izolací ze skelných a minerálních vláken. Dáno nutností roztavit primární suroviny.

Cena izolací z přírodních vláken je oproti izolacím ze skelných a minerálních vláken vyšší. Je to dáno cenou suroviny a vyššími náklady na výrobu. Výjimkou je sláma, která je odpadním materiálem, proto je její cena nízká.



Materiál	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m.K)]	Faktor difúzního odporu $\mu$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	Objem. hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Činitel zvukové pohltivosti $\alpha$	Měrná akumul. energie Q kJ/m <sup>3</sup>	Třída reakce na oheň dle EN 13501-1 a dle DIN 4102-1 <sup>2</sup>	PEI MJ/kg/m <sup>2</sup>	kg CO <sub>2</sub> ekv./kg/m <sup>2</sup>	gSO <sub>2</sub> ekv./kg/m <sup>2</sup>	Cena Kč/m <sup>2</sup> 1**
Lněná izolace Naturizol	0,039	5,700	32,000	0,950	49,600	B2	31,538	0,218	0,005	248,-
Konopná izolace Basic	0,042	1,900	24,000	0,950	38,400	B2 <sup>2</sup>	31,100	-0,674	0,005	220,-
Konopná izolace Plus	0,040	1,900	36,000	0,950	57,600	B2 <sup>2</sup>	31,100	-0,674	0,005	290,-
Izolace z ovčí vlny Premium	0,038	1,000	20,000	0,950	30,900	B1	14,700	0,244	0,003	417,-
Izolace z ovčí vlny Klemmfilz	0,038	1,000	30,000	0,950	34,400	B1	14,900	0,284	0,003	487,-
Sláma	0,050	2,000	70,000	-	-	B2 <sup>2</sup>	27,100	-0,377	0,004	20,- 2****
Izolace z minerální vaty Rockwool Rockmin	0,035	1,000	40,000	1,000	32,000	A1	23,300	1,640	0,010	86,-
Izolace ze skelné vaty Rotaflex Super	0,040	1,000	22,000	1,000	18,500	A1	49,800	2,260	0,016	128,-
Celulóza Tempelan	0,039	1,500	45,000	0,800	90,000	B1	7,030	-0,907	0,003	670,-***
Dřevovláknitá deska Hofatex	0,039 – 0,049	5,000	150,000	-	315,000	B2	14,395	-0,804	0,004	437,-

**Tabulka 4.1 - Porovnání vlastností vybraných izolací o tloušťce 100mm**

\*\* Cena izolace tl. 100mm. Ceníkové ceny platné pro rok 2013. V ceně není zahrnuto DPH.

\*\*\* Cena je za m<sup>3</sup>.

\*\*\*\* Cena za balík slámy.

## 4.2 SWOT analýza jednotlivých materiálů

Pro získání komplexního přehledu o jednotlivých materiálech jsem použila SWOT analýzu.

U každé izolace jsem napsala její silné a slabé stránky. Dále jsem napsala možné příležitosti a rizika – hrozby. Jednotlivé body jsem ohodnotila a přiřadila jejich důležitost - váhu.

- U Silných stránek a Příležitostí jsem použila kladnou stupnici od 1 do 5 s tím, že 5 znamená nejvyšší spokojenost a 1 nejnižší spokojenost.
- U Slabých stránek a Hrozeb jsem použila zápornou stupnici od -1 (nejnižší nespokojenost) až -5 (nejvyšší nespokojenost).

Následně jsem hodnocení vynásobila vahou a sečetla slabé a silné stránky a příležitosti a rizika – hrozby. Tyto dvě hodnoty jsem odečetla, čímž jsem dostala konečnou bilanci toho, jak si která izolace stojí. Výsledky viz níže.

<b>Lněná izolace Naturizol</b>					
<i>Silné stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Příležitosti</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
odpadní materiál	0,1	3	dotace na surovinu	0,1	3
obnovitelné zdroje	0,15	5	zdravotní nezávadnost	0,2	5
využití místních zdrojů	0,15	5	zdravé bydlení	0,1	3
nízký součinitel tepelné vodivosti	0,1	5	příznivé podmínky na trhu	0,1	4
difúzně otevřené konstrukce	0,15	4	podpora zemědělské výroby	0,1	2
nízká zátěž životního prostředí	0,2	5	výzkum	0,15	4
recyklovatelnost	0,15	5	jedinečný výrobek	0,25	5
<b>celkem</b>		<b>4,65</b>	<b>celkem</b>		<b>4,05</b>
<i>Slabé stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Rizika</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
hořlavost	0,1	-2	legislativa	0,2	-3
citlivost na vlhkost	0,15	-3	sezónnost suroviny	0,4	-4
povědomí odborné veřejnosti	0,2	-3	strojní zařízení	0,4	-3
distribuce	0,25	-5			
cena	0,3	-5			
<b>celkem</b>		<b>-4</b>	<b>celkem</b>		<b>-3,4</b>
		<b>0,65</b>			<b>0,65</b>
					<b>1,3</b>

<b>Konopná izolace Canabest</b>					
<i>Silné stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Příležitosti</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
odpadní materiál	0,1	4	dotace na surovinu	0,1	3
obnovitelné zdroje	0,15	5	zdravotní nezávadnost	0,2	5
využití místních zdrojů	0,15	5	zdravé bydlení	0,1	3
nízký součinitel tepelné vodivosti	0,1	5	příznivé podmínky na trhu	0,1	4
difúzně otevřená konstrukce	0,15	4	podpora zemědělské výroby	0,1	2
nízká zátěž životního prostředí	0,15	5	výzkum	0,15	4
široká oblast použití	0,1	5	jedinečný výrobek	0,25	5
recyklovatelnost	0,1	5			
<b>celkem</b>		<b>4,75</b>	<b>celkem</b>		<b>4,05</b>
<i>Slabé stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Rizika</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
hořlavost	0,1	-2	legislativa	0,1	-3
citlivost na vlhkost	0,15	-2	sezónnost suroviny	0,4	-4
povědomí odborné veřejnosti	0,2	-3	zájem investorů o výrobu	0,2	-2
distribuce	0,25	-3	kvalita produktu	0,3	-3
cena	0,3	-5			
<b>celkem</b>		<b>-3,35</b>	<b>celkem</b>		<b>-3,2</b>
		<b>1,4</b>			<b>0,85</b>
					<b>2,25</b>

<b>Izolace z ovčí vlny Isolena</b>					
<i>Silné stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Příležitosti</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
odpadní materiál	0,1	5	dotace na surovinu	0,1	3
obnovitelné zdroje	0,15	5	zdravotní nezávadnost	0,2	5
využití místních zdrojů	0,15	5	zdravé bydlení	0,1	4
nízký součinitel tepelné vodivosti	0,1	5	příznivé podmínky na trhu	0,1	4
hygroskopičnost	0,4	5	podpora zemědělské výroby	0,1	1
nízká zátěž životního prostředí	0,1	5	výzkum	0,15	4
			jedinečný výrobek	0,25	5
<b>celkem</b>		<b>5</b>	<b>celkem</b>		<b>4,05</b>
<i>Slabé stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Rizika</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
hořlavost	0,1	-2	legislativa	0,2	-3
biologická degradace	0,35	-3	zájem investorů o výrobu	0,3	-2
povědomí odborné veřejnosti	0,3	-3	kvalita produktu	0,5	-3
distribuce	0,25	-3			
<b>celkem</b>		<b>-2,9</b>	<b>celkem</b>		<b>-2,7</b>
		<b>2,1</b>			<b>1,35</b>
					<b>3,45</b>

<b>Sláma</b>					
<i>Silné stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Příležitosti</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
odpadní materiál	0,1	5	dotace na surovinu	0,1	1
obnovitelné zdroje	0,15	5	zdravotní nezávadnost	0,2	5
využití místních zdrojů	0,15	3	zdravé bydlení	0,1	3
nízký součinitel tepelné vodivosti	0,1	1	příznivé podmínky na trhu	0,25	3
difúzně otevřené konstrukce	0,15	4	podpora zemědělské výroby	0,1	1
nízká zátěž životního prostředí	0,2	5	výzkum	0,25	3
recyklovatelnost	0,15	5			
<b>celkem</b>		<b>4,15</b>	<b>celkem</b>		<b>2,25</b>
<i>Slabé stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Rizika</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
hořlavost	0,2	-5	legislativa	0,5	-4
citlivost na vlhkost	0,2	-5	sezónnost suroviny	0,5	-2
povědomí odborné veřejnosti	0,15	-3			
distribuce	0,15	-3			
cena	0,1	-1			
omezené způsoby použití	0,2	-5			
<b>celkem</b>		<b>-3,9</b>	<b>celkem</b>		<b>-3,0</b>
		<b>0,25</b>			<b>-0,75</b>
					<b>-0,5</b>

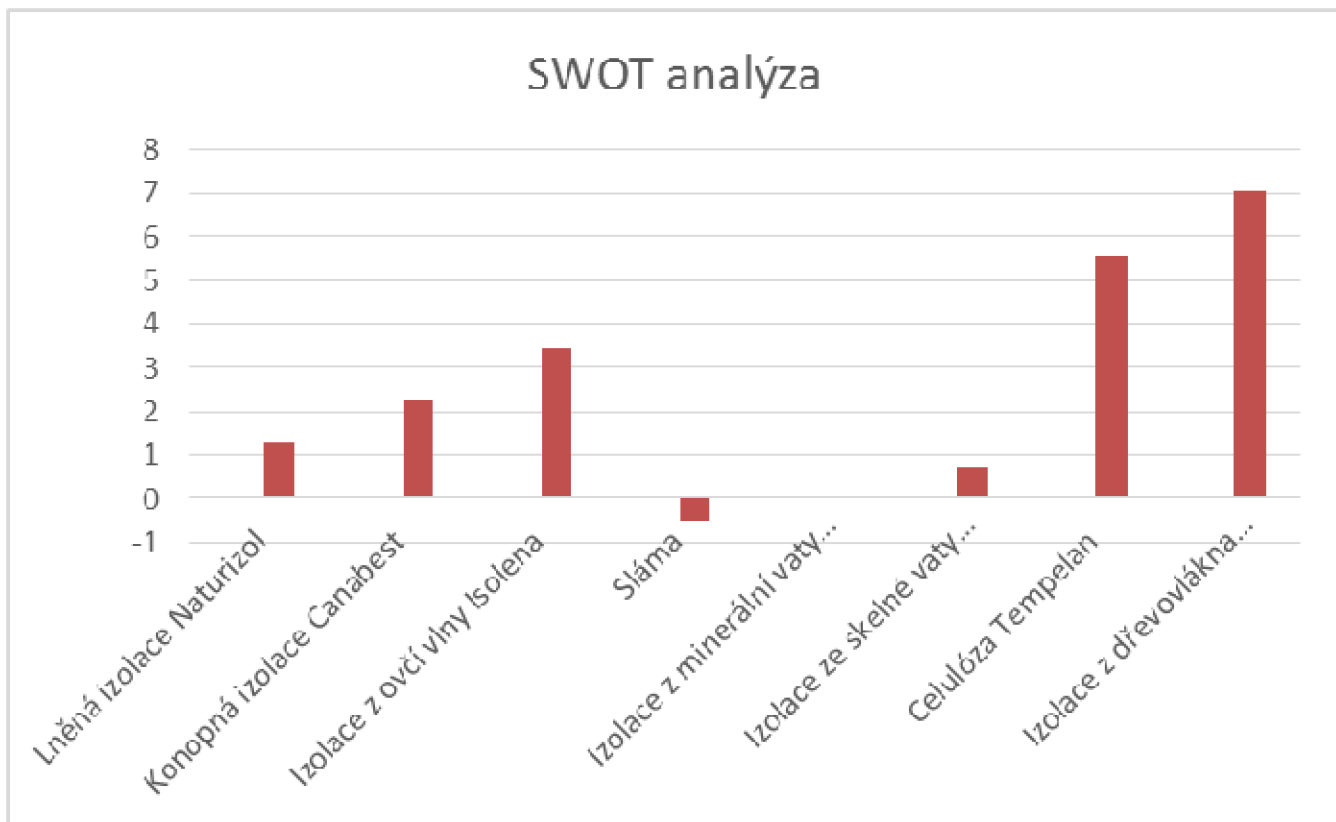
<b>Izolace z minerální vaty Rockwool Rockmin</b>					
<i>Silné stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Příležitosti</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
nehořlavost	0,1	5	výzkum	1	4
využití místních zdrojů	0,1	5			
nízký součinitel tepelné vodivosti	0,2	5			
cena	0,2	5			
distribuce	0,1	5			
široké povědomí	0,3	5			
<b>celkem</b>		<b>5</b>	<b>celkem</b>		<b>4</b>
<i>Slabé stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Rizika</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
vysoká zátěž životního prostředí	0,2	-5	energetická náročnost	1	-4
zdravotní závadnost při aplikaci	0,3	-5			
recyklovatelnost	0,3	-5			
neobnovitelné zdroje	0,2	-5			
<b>celkem</b>		<b>-5</b>	<b>celkem</b>		<b>-4</b>
		<b>0</b>			<b>0</b>
					<b>0</b>



<b>Izolace ze skelné vaty Rotaflex Super</b>					
<i>Silné stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Příležitosti</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
nehořlavost	0,25	5	výzkum	1	4
využití místních zdrojů	0,15	5			
nízký součinitel tepelné vodivosti	0,1	5			
cena	0,2	5			
distribuce	0,15	5			
široké povědomí	0,15	5			
<b>celkem</b>		<b>5</b>	<b>celkem</b>		<b>4</b>
<i>Slabé stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Rizika</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
vysoká zátěž životního prostředí	0,25	-3	energetická náročnost	1	-4
zdravotní závadnost při aplikaci	0,3	-5			
recyklovatelnost	0,2	-5			
neobnovitelné zdroje	0,25	-4			
<b>celkem</b>		<b>-4,25</b>	<b>celkem</b>		<b>-4</b>
		<b>0,75</b>			<b>0</b>
					<b>0,75</b>

<b>Celulóza Tempelan</b>					
<i>Silné stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Příležitosti</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
využití místních zdrojů	0,1	5	zdravotní nezávadnost	0,25	5
obnovitelné zdroje	0,1	5	zdravé bydlení	0,1	3
nízký součinitel tepelné vodivosti	0,15	5	příznivé podmínky na trhu	0,25	3
difúzně otevřené konstrukce	0,15	4	výzkum	0,4	4
vysoká měrná akumulární energie	0,3	4			
nízká zátěž životního prostředí	0,1	5			
recyklovatelnost	0,1	5			
<b>celkem</b>		<b>4,55</b>	<b>celkem</b>		<b>3,9</b>
<i>Slabé stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Rizika</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
hořlavost	0,25	-5			
citlivost na vlhkost	0,2	-4			
povědomí odborné veřejnosti	0,15	-1			
distribuce	0,2	-1			
cena	0,1	-3			
omezené možnosti použití	0,1	-5			
<b>celkem</b>		<b>-2,9</b>	<b>celkem</b>		<b>0</b>
		<b>1,65</b>			<b>3,9</b>
					<b>5,55</b>

<b>Izolace z dřevovláknna Hofatex UD</b>					
<i>Silné stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Příležitosti</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
využití místních zdrojů	0,1	5	zdravotní nezávadnost	0,35	5
obnovitelné zdroje	0,1	5	zdravé bydlení	0,1	3
nízký součinitel tepelné vodivosti	0,1	3	příznivé podmínky na trhu	0,15	3
difúzně otevřené konstrukce	0,1	4	výzkum	0,2	4
vysoká měrná akumulární energie	0,15	5	jedinečný výrobek	0,2	5
zvukoizolační vlastnosti	0,15	5			
nízká zátěž životního prostředí	0,1	5			
široká oblast použití	0,1	5			
recyklovatelnost	0,1	5			
<b>celkem</b>		<b>4,7</b>	<b>celkem</b>		<b>4,3</b>
<i>Slabé stránky</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>	<i>Rizika</i>	<i>Váha</i>	<i>Hodnocení</i>
hořlavost	0,1	-1			
citlivost na vlhkost	0,1	-1			
povědomí odborné veřejnosti	0,35	-1			
distribuce	0,2	-2			
cena	0,25	-4			
<b>celkem</b>		<b>-1,95</b>	<b>celkem</b>		<b>0</b>
		<b>2,75</b>			<b>4,3</b>
					<b>7,05</b>



**Graf 1 - SWOT analýza**

Z výsledků analýzy SWOT vyplývá, že nejlepší je izolace z dřevovlákn Hofatex UD u níž převládají silné stránky a příležitosti nad slabými stránkami a riziky. Nicméně je nutné zlepšit povědomí odborné veřejnosti, dostupnost na trhu a nalézt úspory ve výrobě, tak aby se cena pro zákazníka stala přijatelnější. Za ní následuje celulóza Tempelan, která taktéž vykazuje silné stránky a příležitosti, ale i tady je bych doporučovala zaměřit se ve vývoji na snížení hořlavosti a rozšíření možnosti použití. S mírným odstupem následují izolace z ovčí vlny a z konopí. U těchto dvou materiálů platí opět to co u výše uvedených izolací. Pro zvýšení investorů o zavedení výroby by byla vhodná investiční pobídka od státu, která by se týkala vhodných lokalit s vyšší nezaměstnaností, jako je například Okres Jeseník nebo Okres Žďár nad Sázavou. U slámy je nutné potlačit slabé stránky a rizika, například změnou legislativy.

### 4.3 Výběr vzorků

Na základě porovnání tepelně technických vlastností a výsledků SWOT analýzy jsem vybrala následující vzorky:

**Canabest Basic Natur** (vzorek č. 1), **Canabest Plus Natur** (vzorek č. 2)– výrobce CANABEST, s.r.o., desky.

Tepelné izolační desky vyrobené z konopných vláken (85-87 %) s příměsí pojivých vláken (BiCo 10-12%) a roztoku sody jako ochrany proti hoření a plísním (3-5%).

Jedná se o pružné rohože, složené z jemných vláken, drobných jakoby třísek (pazdeří) a světlých velice jemných polyesterových vláken. Vláknata jsou na sebe kladena křížem v cca 5mm vrstvách.

Manipulace s izolacemi je poměrně snadná. Výrobek Basic je stlačitelný, měkký, poddajný. Rohož Plus Natur je méně stlačitelná, tužší. Obě desky jsou na omak hrubé. Těžce se řežou.

Doporučené použití rohoží výrobcem je do střešních konstrukcí, jako tepelná izolace vložena mezi krokve, v dřevostavbách jako izolace stěn a stropních konstrukcí. Vhodné pro použití v difúzně otevřených konstrukcích.

Rozměry rohoží 1200 x 600mm, maximální tloušťka 120mm.

Výrobce doporučuje chránit před vlhkem, skladovat v suchém prostředí a instalovat suchý materiál, tak, aby se nezanášela do konstrukce nežádoucí vlhkost.

Často používané materiály u „zdravých domů“, na zateplení stěn a střešních konstrukcí. Tepelná a zvuková izolace pro použití do podlah, stěn, stropů a krovů.

Technický list viz příloha č.2.

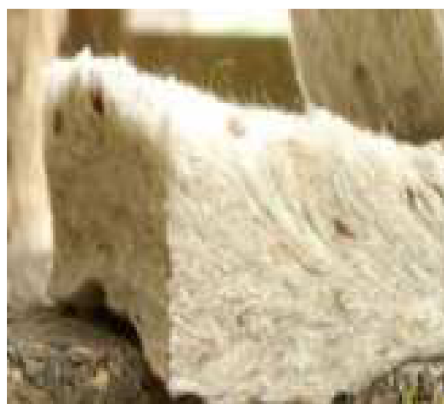
Technická data uváděná výrobcem:

Objemová hmotnost: 24 kg/m<sup>3</sup> a 36 kg/m<sup>3</sup>. Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ ): 0,042 W/(m.K) a 0,040 W/(m.K). Množství přijímaného tepla 56 kJ.

**Isolena Premium** (vzorek č. 3), **Isolena Klemmfilz** (vzorek č. 4) – výrobce Isolena Naturfaservlies GmbH, izolační pásy.

Izolační pásy ze střížní ovčí vlny, ošetřené proti molům speciálním solným roztokem, bez bikomponentních pojiv.

Vláknata jsou keratinová, jemná, jsou na sebe kladena křížem. Celek pak tvoří kompaktní pás. Rohože jsou elastické, snadno a poměrně hodně stlačitelné. Práce s izolací je velice příjemná, lze ji dostat stlačenou i do hůře přístupných míst, které následně vyplní. Rohože se velice špatně řežou, lepší je je po částech stříhat. Na dotek je izolace velice příjemná.



Dodává se v rolích a vzhledem ke svým hygrokopickým a hydrofobním vlastnostem nejsou speciální požadavky na uskladnění. Tloušťka izolace do 300mm, maximální šířka 1200mm, délka maximálně 4000mm, závisí na tloušťce.

Vhodné pro použití k izolaci střeš, podlah, do dřevostaveb jako izolace všech konstrukcí. Lze použít do difúzně otevřených konstrukcí a do míst se zvýšenou možností výskytu kondenzátu.

Používá se nejčastěji u dřevostaveb pro zateplení stěn a střešních konstrukcí.

Technická data uváděná výrobcem:

Objemová hmotnost: 20 kg/m<sup>3</sup> a 30 kg/m<sup>3</sup>. Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ ): 0,0385 W/(m.K) a 0,0350 W/(m.K). Množství přijímaného tepla 35,2 kJ.

**Rockwool Rockmin** (vzorek č. 5)- výrobce ROCKWOOL, a.s., izolační desky.

Měkká a lehká deska z kamenné vlny pojené organickou pryskyřicí, v celém objemu hydrofobizovaná.

Minerální vlákna v desce jsou na sebe kladena v plátech. Pružná, stlačitelná, na dotek ne moc příjemná. Při stlačení se uvolňují prachové částice. Desky lze snadno řezat zalamovacím nožem. Práce s tímto materiálem je celkem snadná. Je vhodné mít rukavice a respirátor. Při nadýchání se prachových částic se objeví nepříjemné škrábání v dýchacích cestách.



Izolační desky jsou určeny pro stavební tepelné a protipožární izolace pro podlahy, stropy, dělicí stěny, příčky, podhledy a další bez mechanického zatížení izolační výplně. Vhodné pro použití do difúzně otevřených konstrukcí. Vodoodpudivá a odolná proti vlhkosti a alkáliím. Dodává se v balících v rozměrech 610-625mm (závisí na tloušťce desky) a délkách 1000mm. Lze skladovat ve venkovním prostředí, nemusí být chráněno před povětrnostními vlivy.

Jeden z velice často používaných izolačních materiálů, jak střešních konstrukcí tak i podlah a stropů. Cenově i jinak dostupný.

Technický list viz příloha č. 3.

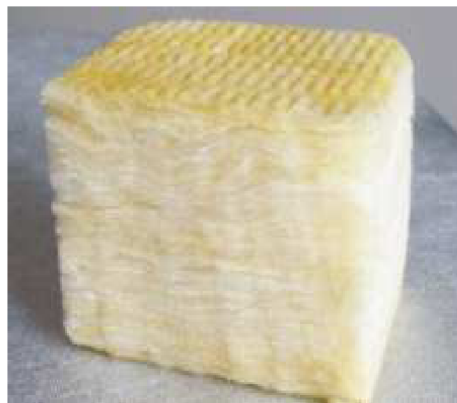
Technická data uváděná výrobcem:

Objemová hmotnost: 35 kg/m<sup>3</sup>. Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ ): 0,039 W/(m.K).

**Rotaflex Super TP 01** (vzorek č. 6) - výrobce UNION LESNÍ BRÁNA, a.s., izolační pásy.

Izolační pásy ze skelné vaty.

Tepelná a zvuková izolace do nezatížených konstrukcí, např. do podlah na dřevěných polštářích, zavěšených stropů a pro zvýšení tlumení zvuku v dutinách půdních prostorů (zlepšení tepelné a zvukové pohody), pro nepochozí izolaci stropů neobytných posledních podlaží. Materiál je hydrofobizován a





má velmi dobré difúzní vlastnosti.

Lehce stlačitelné rohože. Manipulace je snadná. Dají se lehce řezat zalamovacím nožem. Po doteku zůstávají na pokožce jemné třísky, které vyvolávají svědění. Při manipulaci se vhodné mít rukavice a respirátor, pro zamezení vniknutí jemných prachových částic do dýchacího ústrojí.

Vhodné i k izolaci šikmých střech a obytných kontejnerů. Akustických a tepelných vlastností lze využít pro technická a stavební zařízení jako pohltivou výplň podhledů a střešních plášťů.

Jeden z velmi často používaných materiálů na zateplení střešních konstrukcí a podlah.

Technická data uváděná výrobcem:

Objemová hmotnost: 12 kg/m<sup>3</sup>. Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ ): 0,039 W/(m.K).

**Hofatex UD** (vzorek č. 7) - výrobce Smrečina Hofatex, a.s., izolační desky.

Dřevovláknitá deska hydrofobizovaná parafinem. Deska je po obvodě opatřena perm a drážkou. Je vyráběna v tloušťkách 18, 22, 35, 52, 60, 80 a 100mm. Rozměr desek je 580 x 2500mm pro tloušťky do 60mm a pro tloušťka nad 60mm v rozměru 580 x 1750mm.

Jedná se o tuhou, málo ohebnou desku, sestávající se z jemných vláken, které byly za působení teploty a tlaku slisována. Pro zlepšení voděodolnosti je zde přidán parafín.

Manipulace s deskami je poměrně jednoduchá, dají se poměrně snadno řezat zalamovacím nožem (při tloušťce materiálu do max. 20mm), případně pilkou na dřevo či elektrickými pilami. Kotvení ke konstrukcím mechanicky, pomocí šroubů, hřebíků apod..

Na dotek je deska hladká a příjemná.

Použití pro zateplení do střech, podlah a na fasády, případně jako akustická izolace do příček. Vhodná do difúzně otevřených konstrukcí. Nevhodná pro použití ve vlhkém prostředí, např. pro izolaci základových konstrukcí. Desky při použití ve venkovním prostředí, např. jako obklad fasád, je nutné chránit před povětrnostními vlivy. Desku je možné opatřit tenkovrstvou omítkou. Při užití desek na střešních konstrukcích mohou sloužit jako pojistná hydroizolace či dočasné bednění bez zatížení sněhem a zároveň jako tepelná izolace.

Poměrně často užívaná materiál do podlahových konstrukcí a na bednění střech. U dřevostaveb se často používá místo dřevotřískových desek.

Skladování desek doporučuje výrobce v suchém prostředí a chránit proti vlhkosti a povětrnostním vlivům.

Technická data uváděná výrobcem:

Objemová hmotnost: 260 kg/m<sup>3</sup>. Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ ): 0,049 W/(m.K).



**Konopno-rákosová izolace** (vzorek č. 8) – výrobce CANABEST, s.r.o., desky.

Zkušební vzorek vyráběný na zakázku pro stavební firmu.

Složení konopné pazdeří cca 42% a rákosové vlákno cca 42% s příměsí pojivých polyesterových vláken 10-12% a roztoku sody 3-5% jako ochrany proti hoření a plísním.

Vyrobeno na zakázku pro stavební firmu pro zateplení fasád. Jsou zde spojeny tepelně technické vlastnosti obou surovin. Rákos zlepšuje jak pevnost tak i požární odolnost, tudíž odpadá nutnost kombinace s požárními pásy kolem chráněné požární únikové cesty a mezi okny a ve vyšších patrech. Tato izolace je ve fázi testování a ověřování jejich technických parametrů státním zkušebním ústavem.

Jedná se o tužší desku, sestávající se hrubších nadrcených rákosových štěpek, jemných konopných a polyesterových vláken. Deska je méně stlačitelná.



#### 4.4 Zkušební metody a postupy

Testování vlastností vybraných vzorků spočívalo ve stanovení objemové hmotnosti dle ČSN EN 1602 Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení objemové hmotnosti. Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření dle ČSN EN 1609 (72 7053) Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření. Tato evropská norma specifikuje zařízení a postupy pro simulaci nasákavosti vody způsobené deštěm po dobu 24 h během stavebních prací.

Nasákavost je schopnost materiálu přijímat vodu při jeho úplném ponoření pod vodní hladinu. Ovlivňuje ji mikroskopická struktura. Materiály s uzavřenými póry jsou nasákavé málo nebo vůbec. Materiály s póry otevřenými jsou snadno nasákavé a tím se zvyšuje jejich tepelná vodivost.

Dále jsem stanovila součinitele tepelné vodivosti, následně jejich změnu po zkoušce nasákavosti a u vzorků konopného a ovčího vlákna závislost součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti.

##### Zkušební tělesa:

- Hranoly čtvercového průřezu a stranách (200±1) mm, tloušťka 100 mm je shodná s tloušťkou původního výrobku.
- 6 zkušebních těles. Zkoušené vzorky byly odebrány z jednotlivých balení, vždy 10 cm od kraje desek nebo pásů.
- Zkušební tělesa byla kondicionována po dobu nejméně 10 hodin při (23±2) °C a relativní vlhkosti vzduchu (50±5)%.

##### Zkušební podmínky:

- Teplota 23±2 °C, relativní vlhkost vzduchu 50±5 %.

### Zkušební postup:

- Stanovení objemové hmotnosti dle ČSN EN 1602. Změření lineárních rozměrů zkušebních těles podle EN 12085. Výpočet objemu zkušebních těles. Zvážení zkušebních těles s přesností 0,5 %.

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

m ..... hmotnost zkušebního tělesa v kg

V ..... objem zkušebního tělesa, v m<sup>3</sup>

ρ ..... objemová hmotnost kg/m<sup>3</sup>

- Podstata zkoušky krátkodobé nasákavosti: zkušební vzorek se umístí na dobu 24 hodin spodní stranou do vody a měří se jeho změna hmotnosti. Přebytečná voda ulpívající na povrchu, která nebyla absorbována zkušebním vzorkem se podle metody A odstraní odkapáním. Pro stanovení nasákavosti jsem použila metodu A (odkapání přebytečné vody).

Počáteční hmotnost, m<sub>0</sub>, zkušebního vzorku se stanoví jeho zvážením s přesností 0,1 g. Pro zkoušku se polovina zkušebních vzorků umístí největší povrchovou plochou směrem nahoru, druhá polovina se umístí stejnou plochou směrem dolů. Zkušební vzorek se vloží do prázdné vodní nádržky a zatíží tak, aby po doplnění vodou zůstal částečně ponořen. Opatrně se přileje voda do nádržky, až spodní část zkušebního vzorku je ponořena (10 ±2) mm pod hladinou vody. Zajistí se, aby hladina zůstala v průběhu zkoušky stálá. Po 24 hodinách se zkušební vzorek vyjme a nechá se odkapat po dobu (10 ±0,5) min. Poté se zkušební vzorek opět zváží a stanoví se hmotnost m<sub>24</sub>.

Metoda A:

$$W_p = \frac{m_{24} - m_0}{A_p}$$

W<sub>p</sub> krátkodobá nasákavost při částečném ponoření

A<sub>p</sub> plocha spodního povrchu zkušebního vzorku v m<sup>2</sup>

m<sub>0</sub> počáteční hmotnost

m<sub>24</sub> hmotnost po 24 hodinách ponoření

- Stanovení součinitele tepelné vodivosti pomocí přístroje Izomet 2104. Měření na jednotlivých vzorcích před zkouškou krátkodobé nasákavosti a po následném vysušení, jehlou Probe API 210402.

### Zkušební zařízení

- Pomůcky a přístroje použité pro měření: Izomet 2104, přesná váha KERN Sušárna Memmert UN30, hrotový vlhkoměr, nádržka, závaží, podložka.

### ***Izomet 2104***

Přístroj měří pomocí jehlové nebo plošné sondy součinitele tepelné vodivosti, měrnou objemovou tepelnou kapacitu a součinitel teplotní vodivosti.



**Obr. 12** Přístroj Isomet 2104

### **Základní charakteristika**

ISOMET 2104 je přenosný měřicí přístroj pro přímé měření termofyzikálních vlastností široké škály materiálů.

### **ÚDAJE**

Měření Rozsahy:

	Tepelná Vodivost	Objem tepelná kapacita	Teplota
Jehla Probe API 210402	0,035-20 W/mK	$4.0 \times 10^{-6}$ - $1.5 \times 10$ Jm <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>	-20 ° C - + 70 ° C

Přesnost:

	Měření Rozsah	Přesnost
Tepelná Vodivost:	0,015 až 0,050 W/mK	5% z měřené hodnoty + 0,003 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
	0,050 až 0,70 W/mK	5% z měřené hodnoty + 0,001 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
	0,70-6,0 W/mK	10% z hodnoty
Objem. tepelná kapacita:	$4.0 \times 10^{-6}$ - $4.0 \times 10$ Jm <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>	15% z hodnoty + $1 \times 10^3$ Jm <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
Teplota:	-20 ° C - + 70 °	1 ° C

### **PRINCIP PROVOZU**

Přístroj měří na nestacionárním principu tepelnou a teplotní vodivost materiálů s nízkou tepelnou vodivostí, t.j. v intervalu 0,015 – 2,000 W/m. K. K měření slouží 2 vpichovací jehlové sondy a 1 sonda povrchová (příložná). Jako u všech

dynamických metod měření tepelných veličin, přesnost měření je i zde poměrně nízká – odchylka proti metodám stacionárním činí až 15%.

Přesnost ovlivňující faktory:

Z ovlivňujících faktorů může mít nejvýznamnější vliv na měření:

- Kvalita tepelného kontaktu měřicí sondy a měřený předmět
- Kolísání teploty
- Konečné rozměry měřeného vzorku materiálu
- Nehomogenita měřeného vzorku materiálu
- Anizotropie měřeného vzorku materiálu
- Vlhkosti měřeného vzorku materiálu.

#### ***Přesná váha KERN***

KERN KB 10000-1N - 10kg při odečítatelnosti 0,1g, rozměr vážících misek v rozměrech: 170×150 mm.

#### ***Sušárna Memmert UN30***

Sušicí komora umožňuje regulaci teploty v rozsahu +25 °C až 300 °C (bez regulace vlhkosti).

#### ***Hrotový vlhkoměr***

Pro měření vlhkosti dřeva a stavebních materiálů. Odporové měření vlhkosti dle ČSN EN 13183-2:2002. Rozsah: 4,0..100,0 % váhových procent, inter. teplota - 25..+50 °C. Přesnost: dřevo 0,2 % váhových procent, stavební materiály 0,2 % váhových procent. Měřicí sondy V313.

## 4.5 Stanovení nasákavosti

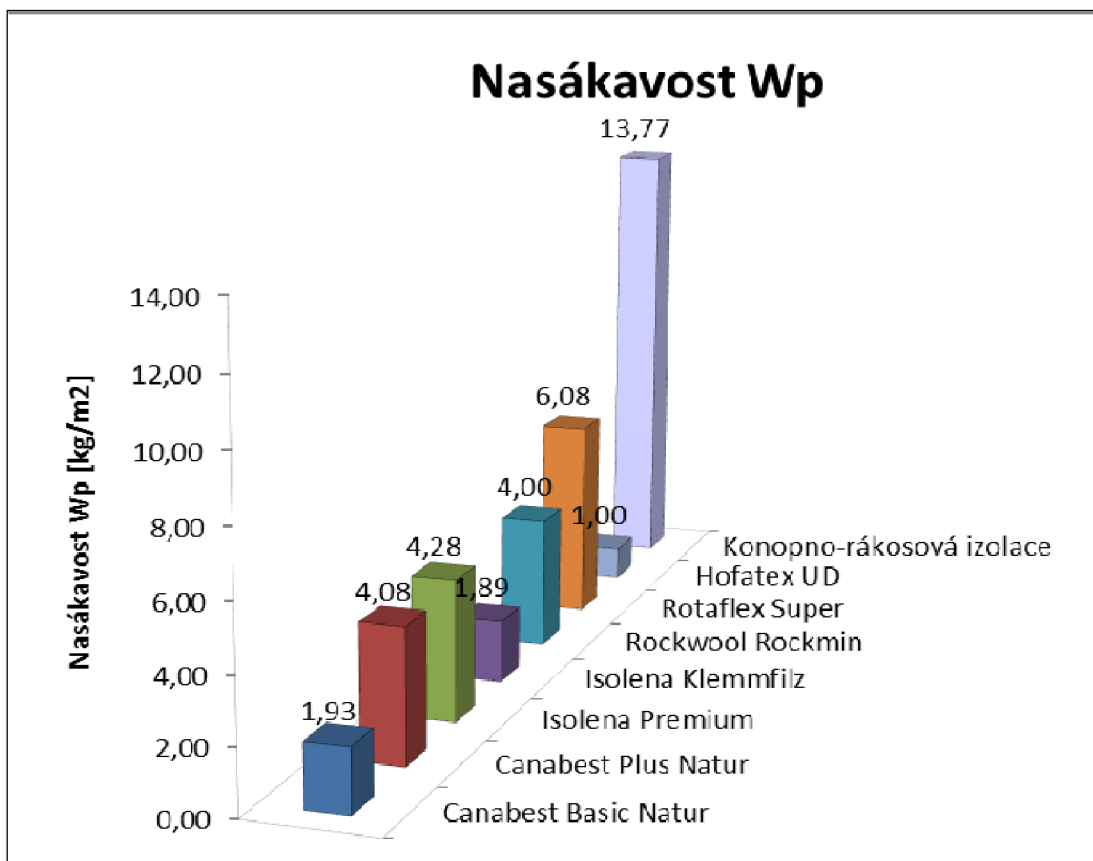
Stanovení dle ČSN EN 1609 (727053) Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření. Použití metody A.

**Tabulka 4.5.1** - Dílčí výsledky měření krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření

vz.č.	Název	wp1	wp2	wp3	wp4	wp5	wp6
1	Canabest Basic Natur	1,85	1,91	1,93	2,13	1,98	1,83
2	Canabest Plus Natur	4,10	4,18	4,10	4,13	3,88	4,08
3	Isolena Premium	4,19	4,54	4,30	3,98	4,28	4,40
4	Isolena Klemmfilz	1,90	1,81	1,84	2,03	1,85	1,95
5	Rockwool Rockmin	4,03	3,96	4,03	3,95	4,05	4,00
6	Rotaflex Super	6,08	5,98	6,10	6,10	6,10	6,14
7	Hofatex UD	1,00	1,03	1,00	0,97	1,00	1,03
8	Konopno-rákosová izolace	13,63	13,78	13,78	13,73	13,90	13,80

**Tabulka 4.5.2** - Dílčí výsledky měření krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření

vz.č.	Název	Střední hodnota
1	Canabest Basic Natur	1,93
2	Canabest Plus Natur	4,08
3	Isolena Premium	4,28
4	Isolena Klemmfilz	1,89
5	Rockwool Rockmin	4,00
6	Rotaflex Super	6,08
7	Hofatex UD	1,00
8	Konopno-rákosová izolace	13,77
Nejistota měření krátkodobé nasákavosti $u_w = \pm 0,03 \text{ kg/m}^2$		



**Graf 2** - Stanovení nasákavosti  $W_p$ , střední hodnota

Ze změřených výsledků nasákavosti, vyplývá, že čím je vyšší objemová hmotnost, tím vyšší je nasákavost daného materiálu. Vyšší objemová hmotnost materiálu je současně spojena i s vyššími výrobními náklady z důvodu vyšší spotřeby suroviny. U dřevovláknitých desek Hofatex UD, které mají vysokou objemovou hmotnost je nasákavost materiálu naopak nízká.

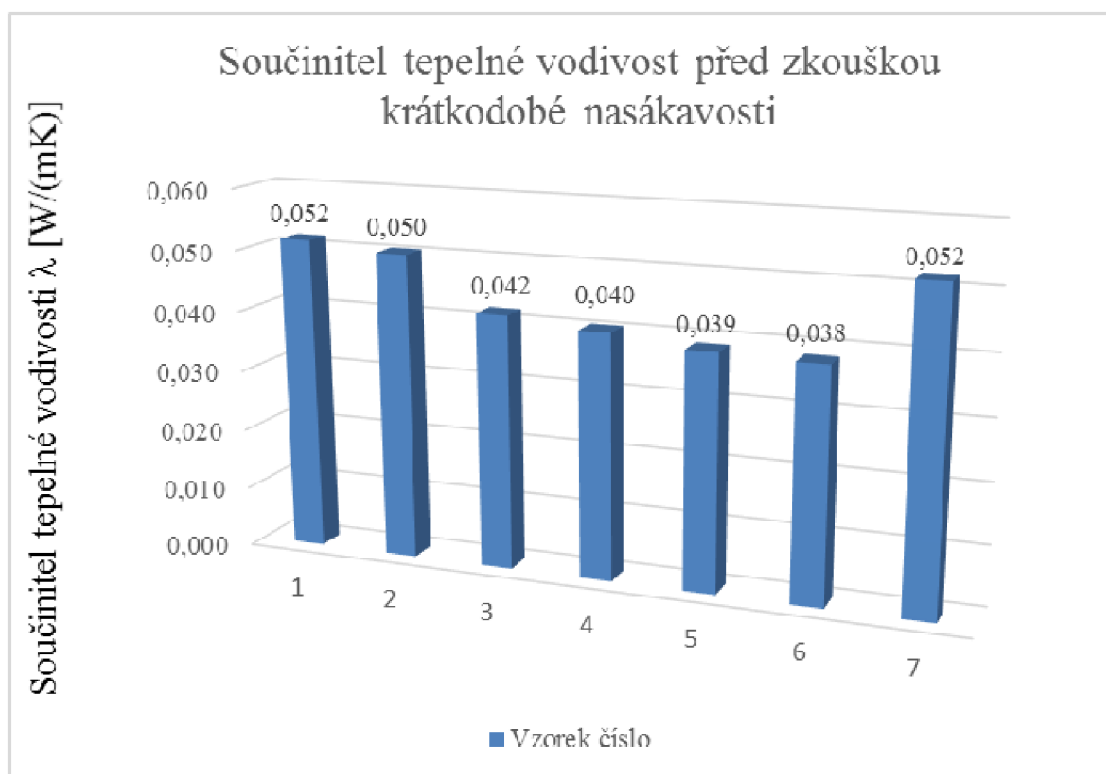


## 4.6 Stanovení součinitele tepelné vodivosti

Naměřená hodnota součinitele tepelné vodivosti je hodnota statisticky vyhodnocená z naměřených hodnot. Naměřená hodnota je vázaná na stanovené referenční podmínky při měření a stavu vlhkosti výrobku, viz zkušební podmínky.

**Tabulka 4.6.1** – Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  – před zkouškou krátkodobé nasákavosti

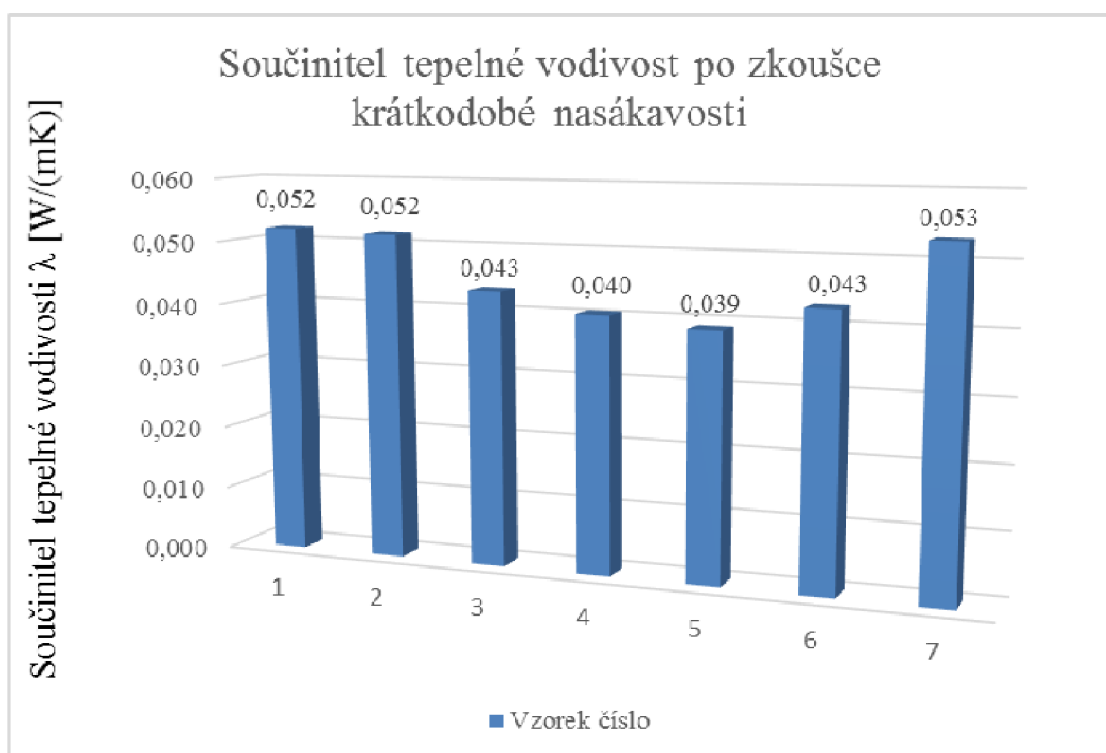
Vzorek číslo	Název	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	$\lambda$
1	Canabest Basic Natur	0,052	0,052	0,051	0,052	0,052	0,052	<b>0,052</b>
2	Canabest Plus Natur	0,051	0,050	0,051	0,051	0,050	0,050	<b>0,050</b>
3	Isolena Premium	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	<b>0,042</b>
4	Isolena Klemmfilz	0,041	0,040	0,041	0,040	0,040	0,041	<b>0,040</b>
5	Rockwool Rockmin	0,039	0,039	0,038	0,039	0,039	0,039	<b>0,039</b>
6	Rotaflex Super	0,038	0,039	0,039	0,038	0,039	0,038	<b>0,038</b>
7	Konopno-rákosová izolace	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	<b>0,052</b>



**Graf 3** - Součinitel tepelné vodivosti před zkouškou krátkodobé nasákavosti

**Tabulka 4.6.2** – Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  – po zkoušce krátkodobé nasákavosti a vysušení na původní hmotnost

Vzorek číslo	Název	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	$\lambda$
1	Canabest Basic Natur	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	<b>0,052</b>
2	Canabest Plus Natur	0,052	0,051	0,051	0,052	0,052	0,052	<b>0,052</b>
3	Isolena Premium	0,043	0,044	0,044	0,043	0,044	0,043	<b>0,043</b>
4	Isolena Klemmfilz	0,041	0,041	0,040	0,041	0,040	0,040	<b>0,040</b>
5	Rockwool Rockmin	0,038	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	<b>0,039</b>
6	Rotaflex Super	0,043	0,042	0,043	0,043	0,043	0,043	<b>0,043</b>
7	Konopno-rákosová izolace	0,054	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	<b>0,053</b>

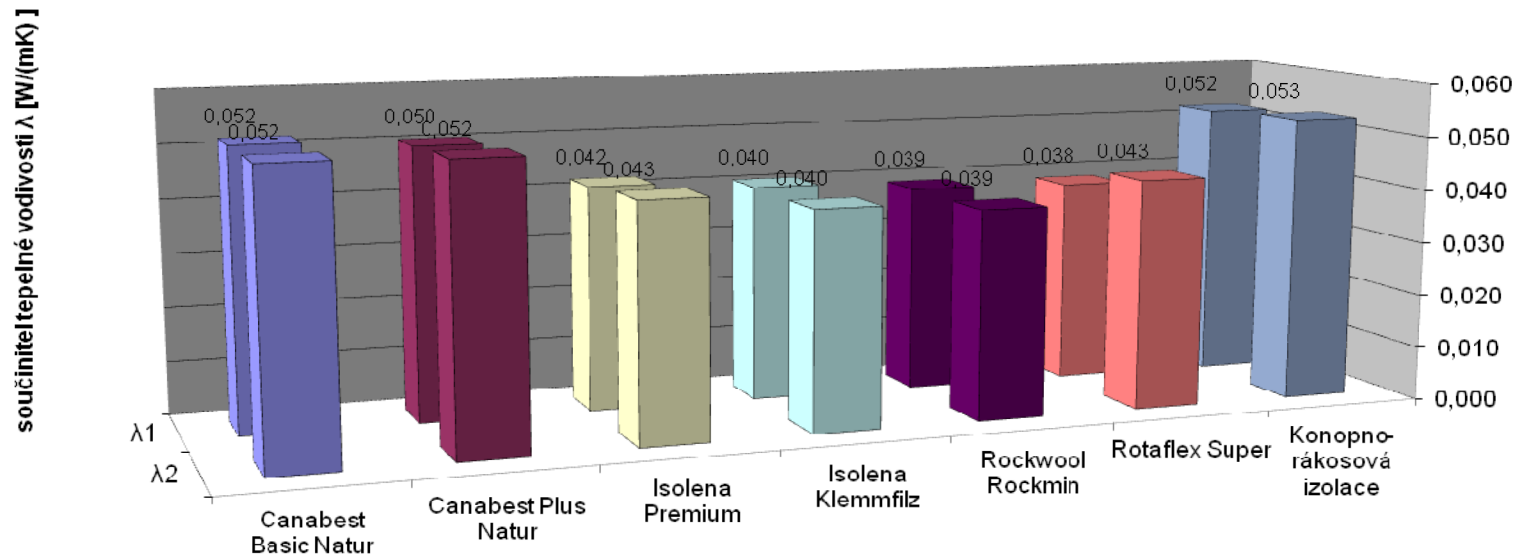


**Graf 4** - Součinitel tepelné vodivosti po zkoušce krátkodobé nasákavosti

**Tabulka 4.6.3** – Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  – srovnání průměrných hodnot před a po zkoušce krátkodobé nasákavosti

Vzorek číslo	Název	$\lambda_{\text{před}}$	$\lambda_{\text{po}}$
1	Canabest Basic Natur	0,051	0,052
2	Canabest Plus Natur	0,050	0,051
3	Isolena Premium	0,041	0,043
4	Isolena Klemmfilz	0,040	0,040
5	Rockwool Rockmin	0,038	0,038
6	Rotaflex Super	0,038	0,042
7	Konopno-rákosová izolace	0,051	0,053
Nejistota měření součinitele tepelné vodivosti $\lambda = \pm 0,01 \text{ W/(mK)}$			

## Změna součinitele tepelné vodivosti $\lambda$ před a po zkoušce krátkodobé nasákavosti



**Graf 5** - Změna součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  před a po zkoušce krátkodobé nasákavosti  
 $\lambda_1$  ..... průměrný součinitel tepelné vodivosti vzorku před ponořením  
 $\lambda_2$  ..... průměrný součinitel tepelné vodivosti vzorku po ponoření a následném vysušení

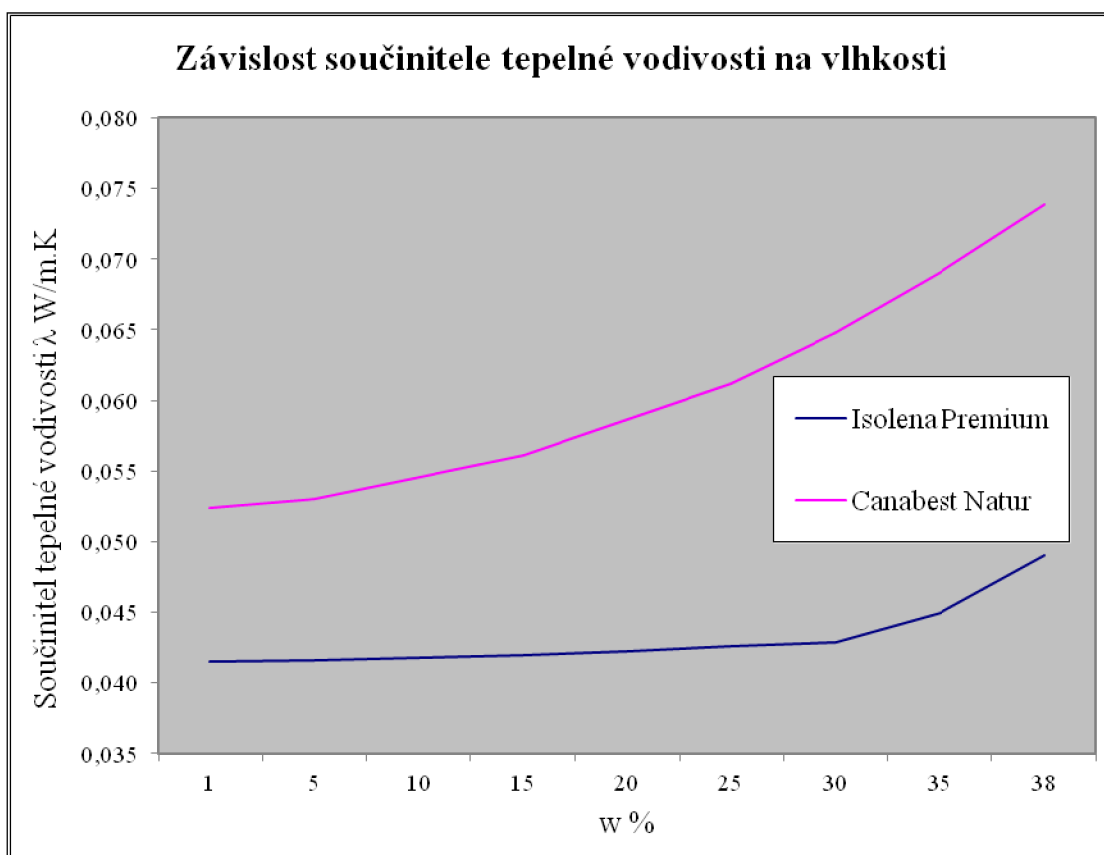
V grafu č.5 je znázorněna změna součinitele tepelné vodivosti před a po 24 hodinové zkoušce nasákavosti a následném vysušení na původní vlhkost. U vzorků Canabest Basic, Isolena Klemmfalz, Rockwool Rockmin se součinitel tepelné vodivosti nezměnil. U vzorku Rotaflex Super se součinitel tepelné vodivosti snížil. U vzorků Rockwool Rockmin a u konopno-rákosové izolace se nepatrně snížil. Rozdíl je zanedbatelný. Může být způsobeno chybou měření.

Většina vzorků si zachovala tvarovou stálost, pouze vzorky ze skelných vláken se zkouškou nasákavosti znehodnotily.

## 4.7 Stanovení závislost součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti

Pro stanovení vztahu mezi součinitelem tepelné vodivosti a vlhkosti bylo použito přístroje Izomet a digitálního vlhkoměru. Naměřené hodnoty byly následně přeneseny do grafu, který ukazuje růst součinitele tepelné vodivosti ( $\lambda$ ) v závislosti na zvyšující se vlhkosti ( $w$ ).

Měření probíhalo na 6 vzorcích o rozměrech 200 x 200mm, tloušťky 100 mm, při teplotě 23°C a relativní vlhkosti vzduchu 50%. Jednalo se o výrobky firmy Isolena – Isolena Premium a firmy Canabest – Canabest Natur. Vzorky byly namočené a následně sušeny. Postupně probíhalo měření digitálním vlhkoměrem a měření součinitele tepelné vodivosti přístrojem Izomet.



**Graf 6** – Závislost součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti – vzorky Isolena Premium a Canabest Natur

Z výsledků měření plyne, že izolace z ovčí vlny dokáže absorbovat určité procento kapalné vlhkosti bez snížení schopnosti tepelně izolovat až do 35% vlhkosti hmotnosti vzorku. Oproti tomu Canabest Natur je schopen izolovat do 20% vlhkosti hmotnosti vzorku.

## 4.8 Tepelný odpor

Tepelný odpor konstrukce vyjadřuje tepelně izolační vlastnosti konstrukce. Pro skladbu, kde je možné uvažovat jednorozměrné šíření tepla, tepelný odpor  $R$  [ $m^2 \cdot K/W$ ] vypočítá ze vztahu:

$$R = d / \lambda \quad [m^2 \cdot K/W]$$

kde  $R$ ....tepelný odpor

$d$ .....tloušťka izolace [m]

$\lambda$ .....součinitel tepelné vodivosti materiálu [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

Tloušťka izolace na vzorcích před zkouškou krátkodobé nasákavosti 0,1m. po zkoušce se změnila pouze u vzorků Rotaflex Super.

**Tabulka 4.8.1** – Průměrné hodnoty tepelného odporu

Č.	Vzorek	d m	$\lambda_1$ W/m.K	$R_1$ $m^2 \cdot K/W$
1	Canabest Basic Natur	0,100	0,052	1,923
2	Canabest Plus Natur	0,100	0,050	2,000
3	Isolena Premium	0,100	0,042	2,380
4	Isolena Klemmfilz	0,100	0,040	2,500
5	Rockwool Rockmin	0,100	0,039	2,564
6	Rotaflex Super	0,100	0,038	2,631
7	Konopno-rákosová izolace	0,100	0,052	1,923

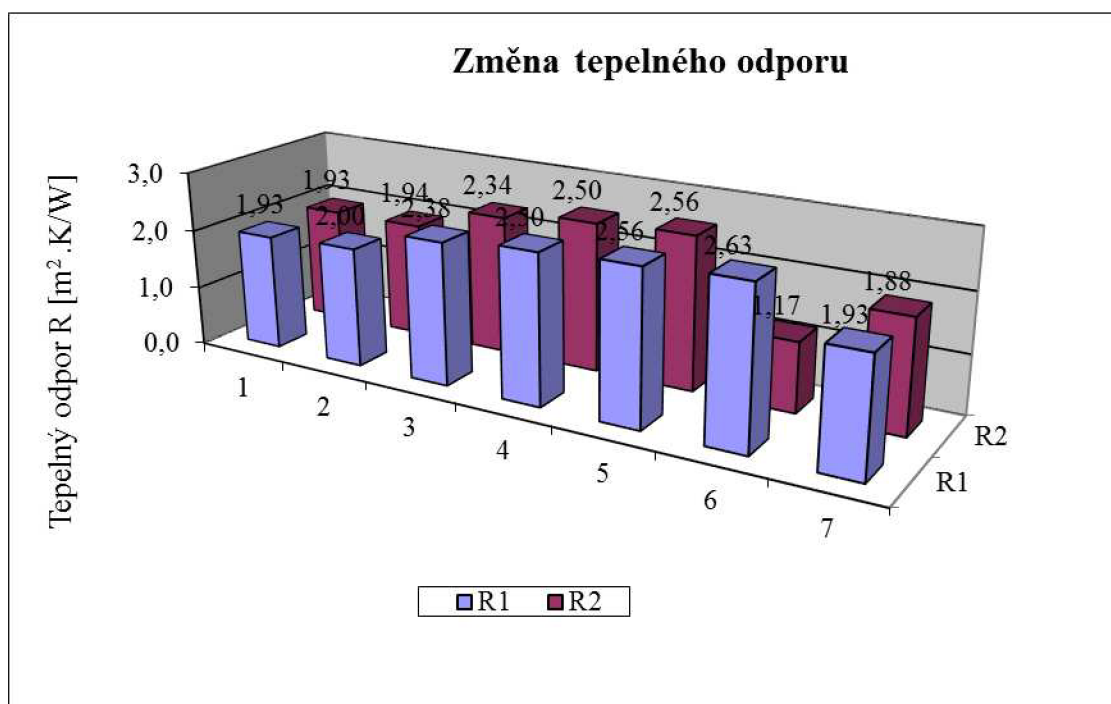
**Tabulka 4.8.2** – Průměrné hodnoty změny tepelného odporu

Č.	Vzorek	d m	$\lambda_2$ W/m.K	$R_2$ $m^2 \cdot K/W$
1	Canabest Basic Natur	0,100	0,052	1,923
2	Canabest Plus Natur	0,100	0,052	1,923
3	Isolena Premium	0,100	0,043	2,325
4	Isolena Klemmfilz	0,100	0,040	2,500
5	Rockwool Rockmin	0,100	0,039	2,564
6	Rotaflex Super	0,050	0,043	1,162
7	Konopno-rákosová izolace	0,100	0,053	1,886



**Tabulka 4.8.3 – Změna tepelného odporu**

	<b>R1</b>	<b>R2</b>
Canabest Basic Natur	1,93	1,93
Canabest Plus Natur	2,00	1,94
Isolena Premium	2,38	2,34
Isolena Klemmfilz	2,50	2,50
Rockwool Rockmin	2,56	2,56
Rotaflex Super	2,63	1,17
Konopno-rákosová izolace	1,93	1,88



**Graf 7 – Změna tepelného odporu**

Změna tepelného odporu se projevila u vzorků z minerálních a skelných vláken a u vzorků z konopno-rákosové izolace.

## 4.9 Aplikace přírodních izolací ve stavebních konstrukcích

Analýzu aplikace izolací a jejich vlastností jsem provedla na typizovaném rodinném domě, jehož základní parametry – velikost podlahové plochy, odpovídají parametrům nejčastěji se vyskytujících novostaveb.

### Krátký popis domu:

Středně velký rodinný dům o dvou nadzemních podlažích a o zastavěné ploše 123 m<sup>2</sup>, obestavěný prostor 824 m<sup>3</sup>, užitná plocha 168 m<sup>2</sup>, střecha plochá, zatravněná.

V 1.NP je ze závětrí vstup do zádveří a z něj následně do haly, kde je schodiště.

Z haly je vstup do komory, na WC, do šatny a do obývacího pokoje s jídelnou a kuchyňským koutem.

Přes šatnu je vstup do technické místnosti.

Do 2. NP je vstup ze schodiště. Z chodby je vstup do skladu, koupelny, dvou dětských pokojů a ložnice s šatnou.

Dům je navržen v nízkoenergetickém standardu.

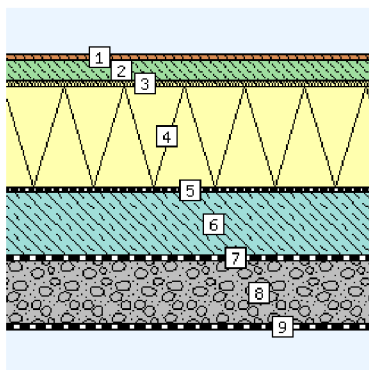
Cena stavby na klíč 3,3 mil. Kč, ostatní parametry viz příloha č.1 [41].

Níže jsou jednotlivé stavební konstrukce domu – podlaha na terénu, obvodová stěna, střešní konstrukce a vnitřní příčka. Jedná se o nejčastěji se vyskytující skladby. V jednotlivých tabulkách jsou uvedeny tepelně-technické parametry jednotlivých materiálů uváděné příslušnými výrobci v technických listech výrobků a následně vypočetla prostup tepla konstrukcí a jejich ekologickou zátěž. V těchto konstrukcích jsem zaměnila tepelnou izolaci za tepelnou izolaci z přírodních vláken a provedla opět výpočty prostupu tepla konstrukcí a ekologickou zátěž.

### Skladba 1a

#### Základová deska

- tepelná izolace XPS

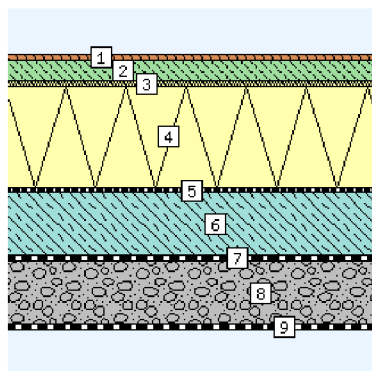


Č.v.	Vrstva	<i>d</i> <i>m</i>	<i>ρ</i> [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>λ</i> W/mK	<i>R</i> m <sup>2</sup> K/W	PEI neobnovitel'ný MJ/m <sup>2</sup>	GWP kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	AP kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
1	Dřevěné parkety	0,010	1 650,00	0,160	0,063	28,800	1,440	0,018
2	Cementový potěr	0,050	2 000,00	0,130	0,385	13,118	0,395	0,003
3	Polyethylenová fólie	0,010	70,00	0,050	0,200	88,133	2,857	0,012
4	XPS-G	0,240	32,00	0,042	5,714	93,560	4,205	0,016
5	Asfaltový pás s Al fólií	0,004	1 100,00	0,230	0,017	51,202	1,582	0,009
6	ŽB Základová deska	0,150	2 400,00	1,430	0,105	1,140	0,128	0,000
7	Lepenka	0,000	500,00	0,170	0,002	14,248	0,953	0,006
8	Násyp z kameniva	0,150	1 800,00	0,700	0,214	28,800	1,440	0,018
<i>R<sub>si</sub> / R<sub>se</sub> =</i>				<i>0,170 / 0,000</i>				
<b>Konstrukce celkem</b>		<b>0,614</b>	<b>9 552,00</b>		<b>6,700</b>			
PEI neobnovitel'ný MJ/m <sup>2</sup>			<b>319,000</b>					
GWP100 kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>			<b>12,999</b>					
AP kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>			<b>0,082</b>					

## Skladba 1b

### Základová deska

- tepelná izolace dřevovláknitá deska WF-T

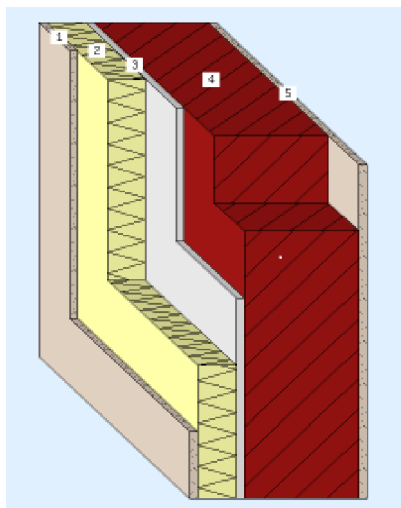


Č.v.	Vrstva	$d$ $m$	$\rho$ $[kg/m^3]$	$\lambda$ $W/mK$	$R$ $m^2K/W$	PEI neobnovitelný MJ/m <sup>2</sup>	GWP kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	AP kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
1	Dřevěné parkety	0,010	1 650,00	0,160	0,063	28,800	1,440	0,018
2	Cementový potěr	0,050	2 000,00	0,130	0,385	13,118	0,395	0,003
3	Polyethylenová fólie	0,010	70,00	0,050	0,200	88,133	2,857	0,012
4	Dřevovláknitá deska WF-T	0,240	250,00	0,057	4,211	14,395	-0,804	0,004
5	Asfaltový pás s Al fólií	0,004	1 100,00	0,230	0,017	51,202	1,582	0,009
6	ŽB Základová deska	0,150	2 400,00	1,430	0,105	1,140	0,128	0,000
7	Lepenka	0,000	500,00	0,170	0,002	14,248	0,953	0,006
8	Násyp z kameniva	0,150	1 800,00	0,700	0,214	28,800	1,440	0,018
$R_{si} / R_{se} =$				$0,170 / 0,000$				
Konstrukce celkem		<b>0,614</b>	<b>770,000</b>	<b>9</b>	<b>5,196</b>			
PEI neobnovitelný MJ/m <sup>2</sup>			<b>239,835</b>					
GWP100 kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>			<b>7,990</b>					
AP kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>			<b>0,070</b>					

## Skladba 2a

### Obvodové nosné zdivo

- zateplení obvodového zdiva pomocí EPS

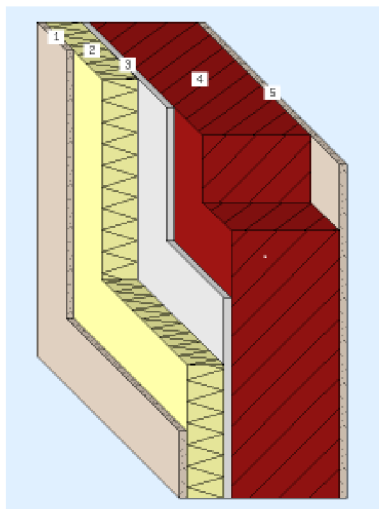


Č.v.	Vrstva	$d$ <i>m</i>	$\rho$ <i>[kg/m<sup>3</sup>]</i>	$\lambda$ <i>W/mK</i>	$R$ <i>m<sup>2</sup>K/W</i>	PEI neobnovit el'ný MJ/m <sup>2</sup>	GWP kg CO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup>	AP kg SO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup>
1	Venkovní silikátová omítka, vyztužená armovací sítí	0,005	1 800,00	1,050	0,005	13,297	0,650	0,0035
2	Tepelná izolace -EPS	0,100	15,00	0,040	2,500	98,895	4,169	0,0149
3	Lepidlo	0,001	1 800,00	1,000	0,001	4,070	0,341	0,0009
4	Nosné zdivo VPC kvádr	0,290	2 200,00	1,300	0,223	1,246	0,070	0,0002
5	Vápenocementová omítka	0,015	1 800,00	1,050	0,014	1,364	0,156	0,0003
$R_{si} / R_{se} =$				$0,100 / 0,040$				
<b>Konstrukce celkem</b>		<b>0,411</b>	<b>7 615,00</b>		<b>2,737</b>			
<b>PEI neobnovitelný MJ/m<sup>2</sup></b>			<b>118,872</b>					
<b>GWP100 kg CO<sub>2eq</sub>/m<sup>2</sup></b>			<b>5,386</b>					
<b>AP kg SO<sub>2eq</sub>/m<sup>2</sup></b>			<b>0,020</b>					

## Skladba 2b

### Obvodové nosné zdivo

- zateplení obvodového zdiva pomocí konopných desek NAPOROwall

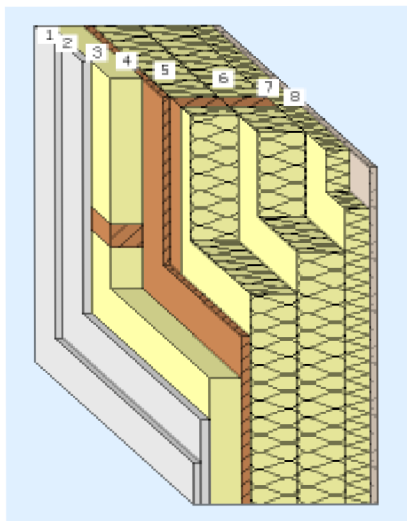


Č.v.	Vrstva	$d$ $m$	$\rho$ $[kg/m^3]$	$\lambda$ $W/mK$	$R$ $m^2K/W$	PEI neobnovitelný $MJ/m^2$	GWP kg $CO_{2eq}/m^2$	AP kg $SO_{2eq}/m^2$
1	Venkovní silikátová omítka, vyztužená armovací sítí	0,005	1 800,00	1,050	0,005	13,297	0,650	0,00350
2	Tepelná izolace - konopné desky NAPOROwall	0,100	90,00	0,042	2,381	14,700	-0,674	0,00361
3	Lepidlo	0,001	1 800,00	1,000	0,001	4,070	0,341	0,00095
4	Nosné zdivo VPC kvádr	0,290	2 200,00	1,300	0,223	1,246	0,070	0,00024
5	Vápenocementová omítka	0,015	1 800,00	1,050	0,014	1,364	0,156	0,00036
$R_{si} / R_{se} =$		$0,250 / 0,040$						
<b>Konstrukce celkem</b>		<b>0,411</b>	<b>7 690,00</b>		<b>2,624</b>			
<b>PEI neobnovitelný <math>MJ/m^2</math></b>						<b>34,677</b>		
<b>GWP100 kg <math>CO_{2eq}/m^2</math></b>						<b>0,543</b>		
<b>AP kg <math>SO_{2eq}/m^2</math></b>						<b>0,009</b>		

## Skladba 2c

### Obvodové nosné zdivo

- řešení obvodového zdiva jako dřevostavby, zateplení obvodového zdiva pomocí lněných desek NATURIZOL

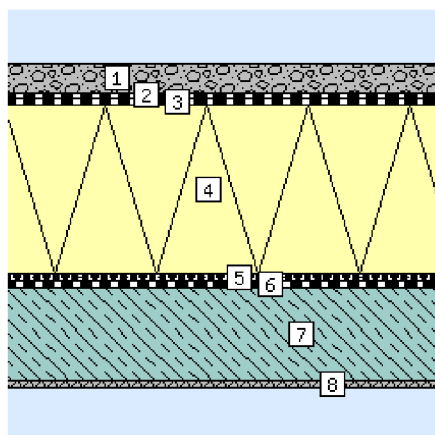


Č.v	Vrstva	$d$ m	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ W/mK	$R$ m <sup>2</sup> K/W	PEI neobnovitel'ný MJ/m <sup>2</sup>	GWP kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	AP kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
1	Venkovní silikátová omítka, vyztužená armovací sítí	0,005	1 800,00	1,050	0,005	13,297	0,650	0,0035
2	Dřevovláknitá deska	0,060	130,00	0,046	1,304	14,395	-0,804	0,0040
3	Lněná izolace vložená mezi dřevěné sloupky	0,120	-	0,043	2,791	34,053	-1,281	0,0064
4	Lněná izolace vložená mezi dřevěné sloupky	0,120	-	0,043	2,791	34,053	-1,281	0,0064
5	OSB deska	0,018	650,00	0,130	0,138	8,556	-1,151	0,0021
6	Izolace z ovčí vlny, Isolena Optimal vložená mezi dřevěné laťování	0,080	-	0,043	1,860	19,742	0,537	0,0041
7	Sádrokarton	0,025	1 125,00	0,400	0,063	5,440	0,087	0,0014
$R_{si} / R_{se} =$		$0,250 / 0,040$						
<b>Konstrukce celkem</b>		<b>0,248</b>	<b>3 705,000</b>		<b>4,857</b>			
<b>PEI neobnovitelný MJ/m<sup>2</sup></b>			<b>81,088</b>					
<b>GWP100 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup></b>			<b>-1,158</b>					
<b>AP kg SO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup></b>			<b>0,018</b>					



### Skladba 3a

#### Střešní konstrukce - zateplení



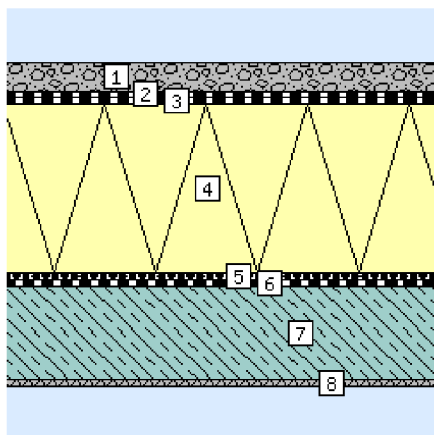
pomocí tepelné izolace EPS

Č.v.	Vrstva	$d$ $m$	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ W/mK	$R$ m <sup>2</sup> K/W	PEI neobnovitelný MJ/m <sup>2</sup>	GWP kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	AP kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
1	Násyp z kameniva 16/32mm	0,060	1 650,00	0,700	0,086	28,800	1,440	0,018
2	Separáční vrstva - geotextílie PP	0,002	900,00	-	-	13,118	0,395	0,003
3	Tepelná izolace -EPS s nakaširovaným asfalt.pásem	0,350	1 310,00	0,042	8,333	1 434,680	53,708	0,280
4	Hydroizolace - asfaltové pásy	0,008	1 280,00	0,230	0,034	449,680	10,208	0,064
5	ŽB stropní konstrukce	0,200	2 400,00	1,430	0,140	637,872	76,582	0,252
6	Vápenocementová omítka	0,010	2 000,00	0,990	0,010	28,080	2,754	0,010
		$R_{si} / R_{se} =$		$0,100 / 0,040$				
<b>Konstrukce celkem</b>		<b>0,630</b>	<b>9 540,000</b>		<b>8,483</b>			
<b>PEI neobnovitelný MJ/m<sup>2</sup></b>				<b>2 592,230</b>				
<b>GWP100 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup></b>				<b>145,086</b>				
<b>AP kg SO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup></b>				<b>0,627</b>				

### Skladba 3b

#### Střešní konstrukce

- zateplení pomocí tepelné izolace Termokonopí Premium

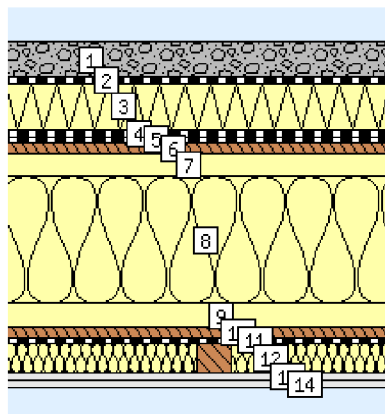


Č.v.	Vrstva	$d$ $m$	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ W/mK	$R$ m <sup>2</sup> K/W	PEI neobnovitel'ný MJ/m <sup>2</sup>	GWP kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	AP kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
1	Násyp z kameniva 16/32mm	0,060	1 800,00	0,700	0,086	28,800	1,440	0,018
2	Separáční vrstva - geotextílie PP	0,002	900,00	-	-	13,118	0,395	0,003
3	Hydroizolace - asfaltové pásy	0,008	1 280,00	0,230	0,034	449,680	10,208	0,064
4	Tepelná izolace -Termokonopí Premium	0,350	40,00	0,042	8,333	28,679	0,077	0,005
5	Hydroizolace - asfaltové pásy	0,008	1 280,00	0,000	-	449,680	10,208	0,064
6	ŽB stropní konstrukce	0,200	2 400,00	1,430	0,140	637,872	76,582	0,252
7	Vápenocementová omítka	0,010	2 000,00	0,990	0,010	28,080	2,754	0,010
$R_{si} / R_{se} =$		0,100 / 0,040						
<b>Konstrukce celkem</b>		<b>0,630</b>	<b>8 420,00</b>		<b>8,483</b>			
<b>PEI neobnovitelný MJ/m<sup>2</sup></b>			<b>1 186,229</b>					
<b>GWP100 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup></b>			<b>91,456</b>					
<b>AP kg SO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup></b>			<b>0,352</b>					

### Skladba 3c

#### Střešní konstrukce

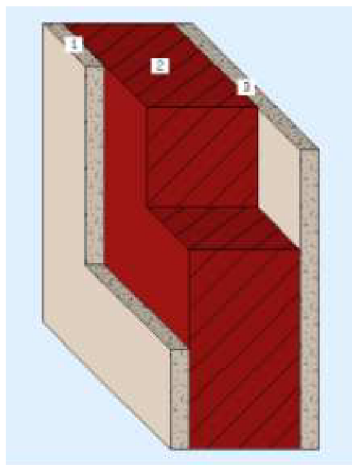
- návrh s využitím dřevěných konstrukčních prvků s max. využitím izolací z přírodních vláken



Č.v.	Vrstva	<i>d</i> <i>m</i>	<i>ρ</i> [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>λ</i> W/mK	<i>R</i> m <sup>2</sup> K/W	PEI neobnovitelný MJ/m <sup>2</sup>	GWP kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	AP kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
1	Násyp z kameniva 16/32mm	0,060	1 800,000	0,700	0,086	28,800	1,440	0,018
2	Separáčnı vrstva - geotextılie PP	0,001	900,000	-	-	13,118	0,395	0,003
3	Dřevovláknitá deska WF-T	0,080	250,000	0,057	1,404	14,395	-0,804	0,004
4	Hydroizolace PE	0,002	980,000	0,500	0,004	69,764	2,096	0,007
5	Separáčnı vrstva - geotextılie PP	0,002	600,000	-	-	85,988	2,825	0,008
6	OSB deska	0,018	650,000	0,130	0,138	8,556	-1,151	0,002
7	Izolační pásy z ovčí vlny vložené mezi dřevěné laťování	0,040	-	0,036 0,130	1,111 0,130	19,742 8,556	0,537 -1,151	0,004 0,002
8	Izolační pásy z ovčí vlny vložené mezi krokve	0,220	-	0,036 0,130	6,111 1,692	19,742 8,556	0,537 -1,151	0,004 0,002
9	Izolační pásy z ovčí vlny vložené mezi dřevěné laťování	0,040	-	0,036 0,130	1,111 0,130	19,742 8,556	0,537 -1,151	0,004 0,002
10	OSB deska	0,018	650,000	0,130	0,138	8,556	-1,151	0,002
11	Parotěsnıcí fólie PE	0,002	980,00	0,500	0,004	84,668	2,633	0,010
12	Izolační pásy z ovčí vlny vložené mezi dřevěné laťování	0,050	-	0,036 0,130	1,388 0,384	19,742 8,556	0,537 -1,151	0,004 0,002
13	Sádrokarton	0,025	1 125,00	0,400	0,063	5,440	0,087	0,001
<i>R<sub>si</sub> / R<sub>se</sub> =</i>		<i>0,100 / 0,040</i>						
<b>Konstrukce celkem</b>		<b>0,558</b>	<b>7 935,000</b>	<b>13,894</b>				
<b>PEI neobnovitelný MJ/m<sup>2</sup></b>				<b>432,477</b>				
<b>GWP100 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup></b>				<b>5,692</b>				
<b>AP kg SO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup></b>				<b>0,080</b>				

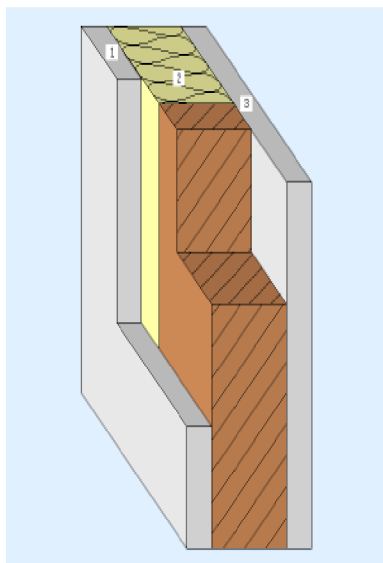
### Skladba 4a

Vnitřní příčka – cihelné zdivo



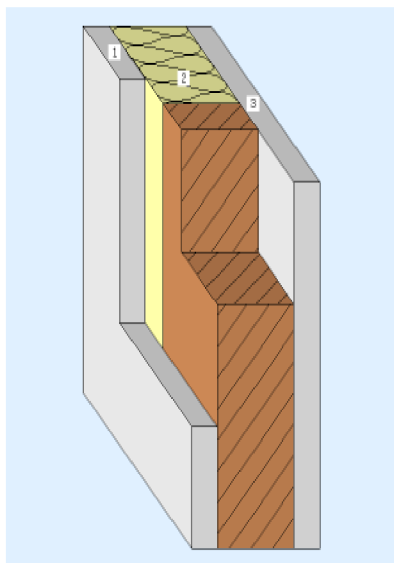
Č.v.	Vrstva	$d$ $m$	$\rho$ $[kg/m^3]$	$\lambda$ $W/mK$	$R$ $m^2K/W$	PEI neobnovitelný $MJ/m^2$	GWP kg $CO_{2eq}/m^2$	AP kg $SO_{2eq}/m^2$
1	Vápenocementová omítka	0,015	1 600,00	0,780	0,019	0,308	0,650	0,0035
2	Pálená cihla	0,115	800,00	0,340	0,338	2,296	0,182	0,0005
3	Vápenocementová omítka	0,015	1 600,00	0,780	0,019	0,308	0,650	0,0035
<b>Konstrukce celkem</b>		<b>0,145</b>	<b>4 000,000</b>		<b>0,377</b>			
<b>PEI neobnovitelný <math>MJ/m^2</math></b>						<b>2,912</b>		
<b>GWP100 kg <math>CO_{2eq}/m^2</math></b>							<b>1,482</b>	
<b>AP kg <math>SO_{2eq}/m^2</math></b>								<b>0,007</b>

**Skladba 4b**  
**Vnitřní příčka**



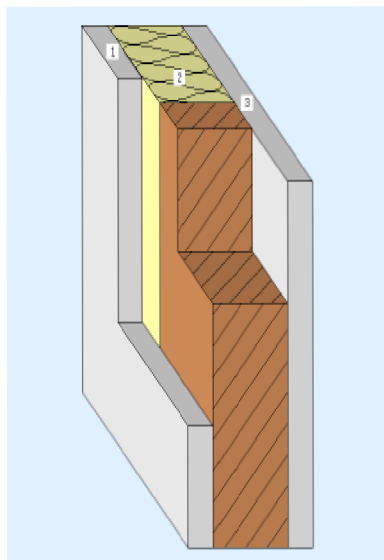
Č.v.	Vrstva	$d$ m	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ W/mK	$R$ m <sup>2</sup> K/W	PEI neobnovitelný MJ/m <sup>2</sup>	GWP kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	AP kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
1	Sádrokarton	0,010	1 125,000	0,400	0,025	13,297	0,650	0,004
2	Izolace Rockwool Klemmrock vložená mezi dřevěné sloupky	0,120	40 475	0,035 0,120	3,428 1	21,362 2,515	1,93 -1,499	0,014 0,000
3	Sádrokarton	0,010	1 125,000	0,400	0,025	4,070	0,341	0,001
<b>Konstrukce celkem</b>		<b>0,140</b>	<b>2 743,00</b>		<b>3,208</b>			
<b>PEI neobnovitelný MJ/m<sup>2</sup></b>			<b>41,244</b>					
<b>GWP100 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup></b>			<b>1,422</b>					
<b>AP kg SO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup></b>			<b>0,019</b>					

**Skladba 4c**  
**Vnitřní příčka**



Č.v.	Vrstva	$d$ <i>m</i>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ W/mK	$R$ m <sup>2</sup> K/W	PEI neobnovitel'ný MJ/m <sup>2</sup>	GWP kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	AP kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
1	Sádrokarton	0,010	1 125,000	0,400	0,025	13,297	0,650	0,004
2	Izolace Isolena Klemmfiltz vložená mezi dřevěné sloupky	0,120	30 475	0,036 0,120	2,325 0,833	19,7 2,515	2,15 -1,499	0,004 0,000
3	Sádrokarton	0,010	1 125,000	0,400	0,025	4,070	0,650	0,004
<b>Konstrukce celkem</b>		<b>0,140</b>	<b>2 743,000</b>		<b>3,208</b>			
<b>PEI neobnovitelný MJ/m<sup>2</sup></b>			<b>39,582</b>					
<b>GWP100 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup></b>			<b>1,951</b>					
<b>AP kg SO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup></b>			<b>0,012</b>					

**Skladba 4d**  
**Vnitřní příčka**



Č.v.	Vrstva	$d$ m	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ W/mK	$R$ m <sup>2</sup> K/W	PEI neobnovitelný MJ/m <sup>2</sup>	GWP kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>	AP kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
1	OSB deska	0,010	650,000	0,130	0,077	8,560	-1,150	0,002
2	Izolace Isolena Klemmfilz vložená mezi dřevěné sloupky	0,120	30 475	0,036 0,120	2,325 0,833	19,7 2,515	-0,804 -1,499	0,004 0,000
3	OSB deska	0,010	650,000	0,130	0,077	8,560	-1,150	0,002
<b>Konstrukce celkem</b>		<b>0,140</b>	<b>1 793,00</b>		<b>3,312</b>			
<b>PEI neobnovitelný MJ/m<sup>2</sup></b>						<b>39,335</b>		
<b>GWP100 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup></b>							<b>-4,603</b>	
<b>AP kg SO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup></b>								<b>0,009</b>

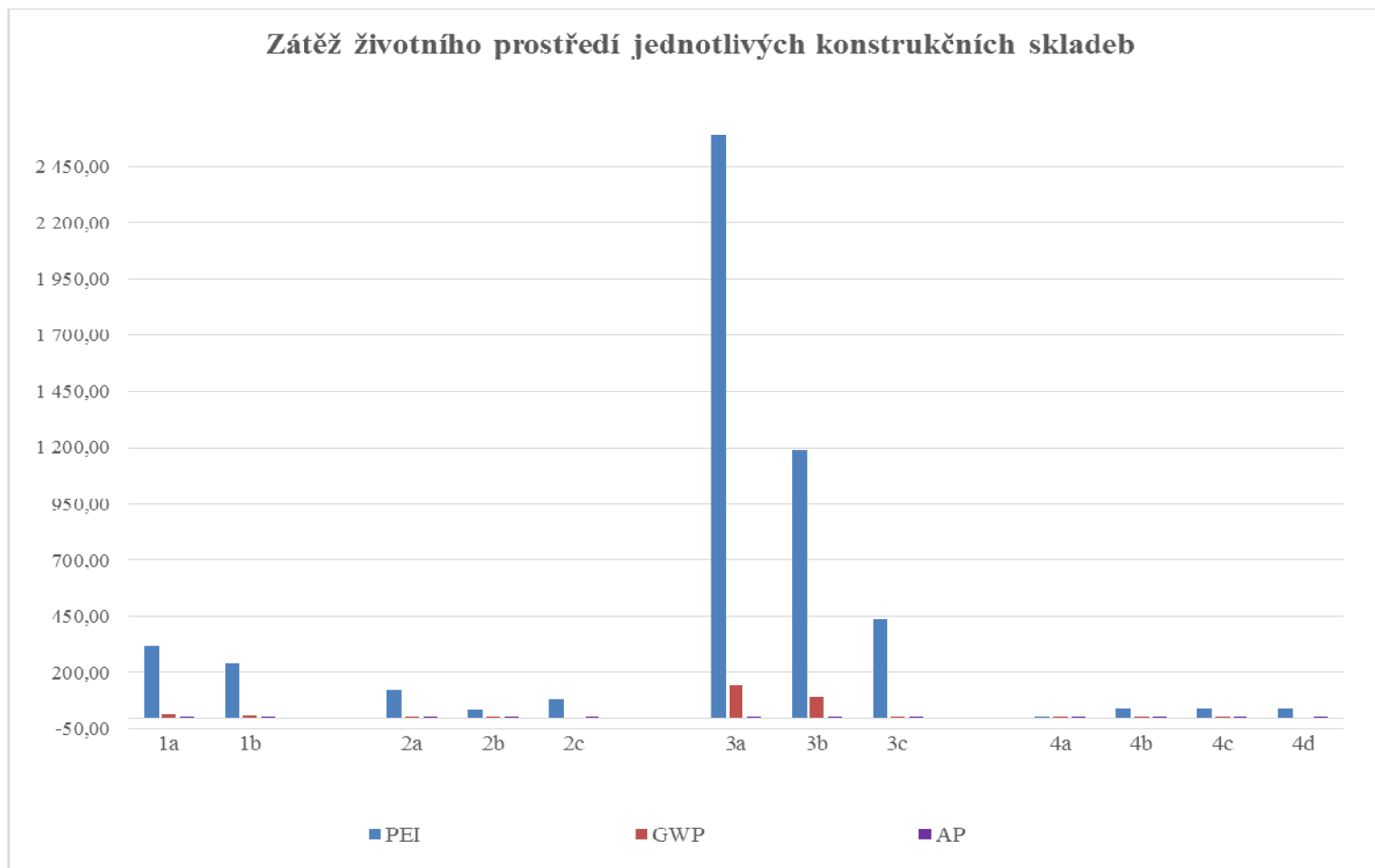


#### 4.9.1 Dílčí závěr

Pokud srovnáme jednotlivé skladby viz. tab. 4.9.1, vidíme, že u skladby 1 – základové desky, v případě použití izolací z přírodních vláken snížíme ekologickou zátěž min o 15% u spotřeby primární energie, 38% u indexu GWP a o 25% u indexu AP. Jedná se již o nezanedbatelné hodnoty. Celkové srovnání všech skladeb je patrné v grafu 8.

**Tabulka 4.9.1** – Zátěž životního prostředí jednotlivých konstrukčních skladeb

	<b>PEI MJ/m<sup>2</sup></b>	<b>GWP CO<sub>2</sub> eq /m<sup>2</sup></b>	<b>AP SO<sub>2</sub> eq /m<sup>2</sup></b>
Skladba 1a	319	12,999	0,082
Skladba 1b	239,835	7,99	0,07
Skladba 2a	118,872	5,386	0,02
Skladba 2b	34,677	0,543	0,009
Skladba 2c	81,088	-1,158	0,018
Skladba 3a	2592,23	145,086	0,627
Skladba 3b	1186,229	91,456	0,352
Skladba 3c	432,477	5,692	0,08
Skladba 4a	2,912	1,482	0,007
Skladba 4b	41,244	1,422	0,019
Skladba 4c	39,582	1,951	0,012
Skladba 4d	39,335	-4,603	0,009



**Graf 8 – Zátěž životního prostředí jednotlivých konstrukčních skladeb**

Materiálové hodnoty PEI, GWP a AP jsou převzaty z databáze Baubook.

## 4.10 Aplikace akustických izolací v dřevostavbách

Pro zabránění negativního působení hluku z okolního prostředí na lidský organismus je nutné dodržet normativní a předpisové požadavky a to zejména Nařízení vlády č. 148/2006 a ČSN 73 0532 „Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků - Požadavky. U desek pro konstrukci lehkých příček a stropních podhledů je důležitá ohybová tuhost, pro pružné podložky dynamická tuhost a v případě požadavku na pohlcování nebo tlumení zvuku odpor proti proudění vzduchu. Při samotném návrhu jednotlivých skladeb konstrukcí je nutná znalost fyzikálních vlastností výrobků.

Platí obecné pravidlo, že čím větší plošná hmotnost daného prvku, tím lepší zvukově izolační vlastnosti. Použití dřevovláknitých desek se proto přímo nabízí. Dřevovláknité desky mají vyšší plošnou hmotnost než stejně tlusté desky z minerálně vláknitých izolací. Tím je i dána lepší zvukově izolační schopnost.

Pro izolaci kročejového hluku jsou vhodné dřevovláknitých desek např. STEICO-therm, u kterých výrobce deklaruje dynamickou tuhost pro tloušťku 21/20mm 50MN/m<sup>3</sup> a pro tloušťku 31/30 30MN/m<sup>3</sup>. U izolací z minerálních vláken doporučených do podlah pro zlepšení kročejové neprůzvučnosti např. STEPROCK ND deklaruje výrobce dynamickou tuhost pro tloušťky 30mm 20MN/m<sup>3</sup>.

Pro stanovení přesných hodnot kročejové a vzduchové neprůzvučnosti je nutné navrhnout konstrukci a na ní následně provést měření a výpočet dle normových požadavků.

## 4.11 Rozbor při aplikaci na stavbě

### 4.11.1 Cenový rozbor

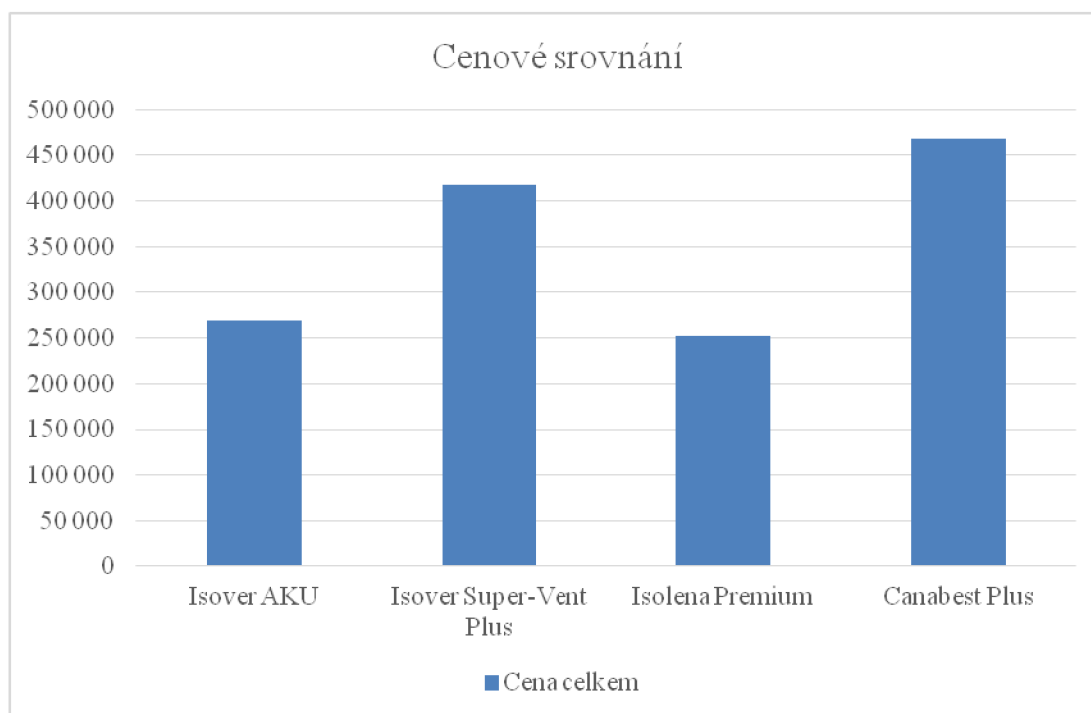
Enviromentální zhodnocení použití tepelně izolačních materiálů ze skelných, minerálních a přírodních vláken jsem uvedla výše. V rámci kompletní analýzy uvedu na příkladu výše uvedeného rodinného domu výpočet ekonomické náročnosti u obvodové stěny.

Složení stěny: - viz skladba 2 obvodové stěny

*Cena tepelné izolace:*

*minerální plst (Isover AKU)..... 672,0,- Kč/m<sup>2</sup>. Cena celkem 269.809,- Kč.*  
*skelná plst (Isover Super-Vent Plus)..... 1.040,0,- Kč/m<sup>2</sup>. Cena celkem 417.560,- Kč.*  
*ovčí vlna (Isolena Premium)..... 630,0,- Kč/m<sup>2</sup>. Cena celkem 252.945,- Kč.*  
*Konopí (Canabest Plus) .....1.160,0,- Kč/m<sup>2</sup>. Cena celkem 465.740,- Kč*  
[22, 33, 32, 42].

Uvedené ceny jsou dle ceníků pro rok 2013 a jsou bez DPH.



**Graf 9 – Cenové srovnání**

## 5 Závěr

Z analýzy tepelně technických vlastností izolací ze skelných, minerálních a přírodních vláken vyplývá, že jsou plně srovnatelné. Nejlepší izolací v komplexním hodnocení je dřevovláknitá izolace Hofatex UD. Celulóza v komplexním hodnocení dopadla jako druhá nejlepší izolace. Jelikož není ve formě desek ani pásů, nebyla dále zkoumána, stejně jako sláma. Vzorky lněné izolace nebyly k dispozici.

Po provedení a vyhodnocení výsledků měření krátkodobé nasákavosti izolací ze skelných, minerálních a přírodních vláken, můžu konstatovat, že byla prokázána vzájemná souvislost vyšší objemové hmotnosti a s tím spojené vyšší nasákavosti materiálu. Toto, ale nebylo prokázáno u dřevovláknitého vzorku. Zde je nasákavost konstantní a je rovna 1. Nejhůře v měření krátkodobé nasákavosti dopadl vzorek konopno-rákosové izolace.

Stanovení součinitele tepelné vodivosti před zkouškou krátkodobé nasákavosti ukázalo, že nejlepších hodnot dosahuje izolace Rotaflex Super a Rockwool Rockmin. Horších hodnot dosáhly izolace z konopného vlákna a konopno-rákosových vláken. Součinitel tepelné vodivosti po 24 hodinové zkoušce krátkodobé nasákavosti a následném vysušení na původní hmotnost, se nejvíce změnil u izolace ze skelných vláken. Vzorky této izolace vykázali i změnu tloušťky a to o 1/2 tj. na 50mm. U ostatních vzorků z přírodních vláken (Canabest Basic, Isolena Premium, Isolena Klemmfilz) se součinitel tepelné vodivosti nezměnil.

Co se týká tvarové stálosti jednotlivých vzorků po zkoušce krátkodobé nasákavosti, můžu konstatovat, že většina vzorků si zachovala tvarovou stálost, pouze vzorky ze skelných vláken se zkouškou nasákavosti znehodnotily a to na cca 1/2 původní tloušťky.

Ze zkoumání závislosti součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti, vyplývá, že izolace z ovčí vlny Isolena Premium dokáže tepelně izolovat až do cca 35% vlhkosti hmotnosti vzorku. Oproti tomu Canabest Natur je schopen izolovat do cca 15% vlhkosti hmotnosti vzorku. Tohoto může být využito u konstrukcí, kde dochází vlivem difúze vodních par ke zvýšené kondenzaci. V takovém případě je vhodné použití izolace z ovčí vlny, která ji v případě poklesu okolní vlhkosti může předat do okolního prostředí.

Tepelný odpor před a po zkoušce krátkodobé nasákavosti se nejvíce změnil u vzorků ze skelných vláken. U ostatních vzorků zůstal se nezměněn, nebo se snížil.

Analýza environmentálního zatížení životního prostředí ukázala na konstrukcích podlahy, obvodových stěn a střešních konstrukcích, že již nahrazení izolace ze skelných nebo z minerálních vláken, izolacemi z přírodních nebo živočišných vláken, sníží spotřebu energie a produkce CO<sub>2</sub>.

Ekonomická náročnost použití izolací z přírodních a živočišných vláken není ve srovnání s ostatními izolacemi až tak zásadní. Nejvyšší je u izolace z konopných vláken.

Když shrnu jednotlivé poznatky komplexně, jsou izolace z přírodních a živočišných vláken srovnatelné s izolacemi ze skelných a minerálních vláken. Při použití jednotlivých izolací je nutné zaměřit se na oblast použití a navrhnout nejvhodnější izolaci. Například z hlediska útlumu zvuku jsou vhodné dřevovláknité desky, které mají lepší dynamickou tuhost než izolační desky doporučené coby akusticko-izolační.

Obecně jsou izolace z přírodních vláken dražší. To je dáno menším objemem výroby, nedostatkem suroviny z místních zdrojů a i náklady na výrobu (umořování nákladů spojených s pořízováním nových výrobních linek, atesty materiálů atd.).

Co se týká zátěže na životní prostředí jsou přírodní izolace jednoznačně lepší. Recyklace a likvidace přírodních izolací taktéž nezatěžuje přírodní prostředí. Klasické izolace se sice dají recyklovat ve výrobním cyklu, ale svoz zbytků ze staveb zpět do výrobních podniků prakticky neexistuje a i zde by se muselo počítat s dopravou, která by zvýšila zátěž životního prostředí.

V neposlední řadě jsou přírodní izolace zdravotně nezávadné a lze s nimi pracovat bez ochranných pomůcek (např. rukavice, respirátory). S klasickými izolacemi se musí pracovat v rukavicích, ochranném pracovním oděvu a s respirátorem.

Co se týká možností výzkumu, je třeba se zaměřit na jednotlivé stavební konstrukce a jejich chování při určitých tepelně vlhkostních podmínkách a celkovou součinnost jednotlivých materiálů. Vývoj by měl směřovat ke zlepšení tepelných parametrů a ke zlepšení požárních vlastností.

Dalším krokem v oblasti trvale udržitelné výstavby by mělo být zavedení hodnocení ekologické zátěže. Na základě tohoto hodnocení by investoři mohli být zvýhodňováni.

## Seznam použité literatury

- [1] FEIST W., KLIEN J.: Nízkoenergetický dům. Úspory energie v bytové výstavbě budoucnosti. HEL, Ostrava, 1994.
- [2] HUDEC, M.: Pasivní rodinný dům. Proč a jak stavět. Grada Publishing, a.s., Praha, 2008. ISBN 978-80-247-2555-0.
- [3] CHYBÍK, J.: Přírodní stavební materiály. Grada Publishing, a.s., Praha, 2009. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [4] JOSTEN, E., REICHE, T., WITTCHEN, B.: Dřevo a jeho obrábění. Grada Publishing, a.s., Praha, 2010, 333 s. ISBN 978-80-247-2961-9.
- [5] KAFKA, E.: Dřevařská příručka 1 + 2. SNTL Praha, 1989, 986 s. ISBN 80-03-00009-2.
- [6] KOLB, J.: Dřevostavby. Systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Grada Publishing, a.s., Praha, 2008. ISBN 978-80-247-2275-7.
- [7] KRAPMEIER, H. – DRÖSSLER, E.: CEPHEUS – Wohnkomfort ohne Heizung. CEPHEUS – Living Comfort without Heating. Wien: Springer Verlag, 2001. ISBN 3-211-83720-5.
- [8] KROFTA, J. a kol.: Stavitelství II. Díl. SNTL Brno, 1957.
- [9] MOUDRÝ, J., STRAŠIL, Z.: Alternativní plodiny. Jihočeská univerzita, České Budějovice, 1996. ISBN 80-7040-198-2.
- [10] NAGY, E.: Nízkoenergetický a energeticky pasivní dům. Bratislava: JAGA GROUP, 2009. ISBN 978-80-8076-077-9.
- [11] SVOBODA, L.: Stavební hmoty. 1. vydání. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-8076-007-1.
- [12] VAVERKA, J., HAVÍŘOVÁ, Z., JINDRÁK, M., a kol.: Dřevostavby pro bydlení. Grada Publishing, a.s., Praha, 2008. ISBN 978-80-247-2205-4.
- [13] ČSN EN 1602 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení objemové hmotnosti.
- [14] ČSN EN 1603 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení rozměrové stability za určených teplotních a vlhkostních podmínek.
- [15] ČSN EN 1609 (727053) Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření. Červen 1998.
- [16] ČSN EN 12085 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení lineárních rozměrů zkušebních těles.



- [17] ČSN EN 1995-1-1 (731701) Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [18] ČSN 73 0532 „Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků - Požadavky.
- [19] ČSN 73 0540 – 2 Tepelná ochrana budov, část 2: Požadavky.
- [20] [www.asb.sk](http://www.asb.sk)
- [21] [www.beskydskeovce.cz](http://www.beskydskeovce.cz)
- [22] [www.canabest.cz](http://www.canabest.cz)
- [23] [www.cewood.cz](http://www.cewood.cz)
- [24] [www.csiro.au/files/files/p9z9.pdf](http://www.csiro.au/files/files/p9z9.pdf)
- [25] [www.drevenastavba.cz](http://www.drevenastavba.cz)
- [26] [www.drevo.celyden.cz/vady-dreva/chemicka-koroze-dreva/](http://www.drevo.celyden.cz/vady-dreva/chemicka-koroze-dreva/)
- [27] [www.ekopanely.cz/vlastnosti.html](http://www.ekopanely.cz/vlastnosti.html)
- [28] [www.envimat.cz/metodika/lca/](http://www.envimat.cz/metodika/lca/)
- [29] [www.enviweb.cz](http://www.enviweb.cz)
- [30] [www.hofatex.eu](http://www.hofatex.eu)
- [31] <https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/index.pl?cast=9182;lang=cz>
- [32] [www.isolena.cz](http://www.isolena.cz)
- [33] [www.isover.cz](http://www.isover.cz)
- [34] [www.insowool.cz](http://www.insowool.cz)
- [35] [www.konstrukce.cz/clanek/jak-dale-se-drevem-ceske-republiky/](http://www.konstrukce.cz/clanek/jak-dale-se-drevem-ceske-republiky/)
- [36] [www.lesycr.cz](http://www.lesycr.cz)
- [37] [www.lh-shop.cz/-doc/pv-molantin.pdf](http://www.lh-shop.cz/-doc/pv-molantin.pdf)
- [38] [www.montovanédomy.cz](http://www.montovanédomy.cz)
- [39] [www.naturbauhof.de/downloads/flachshaus\\_planungsmappe.pdf](http://www.naturbauhof.de/downloads/flachshaus_planungsmappe.pdf)
- [40] [www.novatop-system.cz](http://www.novatop-system.cz)
- [41] [www.projecthouse.cz](http://www.projecthouse.cz)
- [42] [www.rockwool.cz](http://www.rockwool.cz)
- [43] [www.sheepwoolinsulation.ie/why\\_wool/default.asp](http://www.sheepwoolinsulation.ie/why_wool/default.asp)
- [44] [www.slamák.info](http://www.slamák.info)
- [45] [www.tbf-drevostavby.cz](http://www.tbf-drevostavby.cz)
- [46] [www.thermo-hanf.de](http://www.thermo-hanf.de)

## Seznam příloh

Příloha č. 1 - Katalogový list RD Hill, PROJECTHOUSE s.r.o.

Příloha č. 2 - Katalogový list Canabest Plus

Příloha č. 3 - Katalogový list Rockwool Rockmin

Příloha č. 4 - Katalogový list Rotaflex Super