



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**STUDIUM FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ TEPELNĚ
IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ NA BÁZI PŘÍRODNÍCH
VLÁKEN**

STUDY OF PHYSICAL PROPERTIES OF NATURAL THERMAL INSULATION MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vít Janíček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. STANISLAV ŠŤASTNÍK, CSc.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Vít Janíček
Název	Studium fyzikálních vlastností tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních vláken
Vedoucí práce	prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,

MBA

Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,

MBA

Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Davies, Morris, G., Building Heat Transfer, John Wiley 2004

Chybík, J., Přírodní stavební materiály, Grada publishing Praha 2009

Hagentoft, Carl-Eric, Introduction to building physics, Studentlitteratur Lund 2001

Hens, Hugo S. L. C., Building physics - heat, air and moisture: fundamentals and engineering methods with examples and exercises, Erns & Sohn Berlin 2012

Halahyja, M., Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie, ALFA Bratislava 1986

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Práce se zabývá vlastnostmi tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních vláken při jejich zabudování ve stavbách. Na trhu se stavebními materiály se staviva na bázi přírodních materiálů doposud těžce prosazují, neboť jejich rozvoj nedosáhl takové úrovně, aby ve všech ohledech konkurovala ostatním komerčním stavivům. Přesto v některých parametrech jejich fyzikální vlastnosti předčí ostatní staviva.

V této souvislosti zhodnoťte:

- i) fyzikální vlivy působící na tepelné izolace při zabudování ve stavbách,
- ii) požadavky kladené na materiálové vrstvy tepelných izolantů z hlediska vytváření vhodných mikroklimatických podmínek ve stavbách,
- iii) sestavte přehled fyzikálních vlastností dostupných tepelných izolací na bázi přírodních vláken,
- iv) výpočtově posuďte u vybraných stěnových konstrukcí změnu jejich vlastností při zabudování běžných tepelných izolací a tepelných izolací na bázi přírodních vláken,
- v) zhodnoťte možnosti náhrady klasických tepelných izolací izolacemi přírodními, také poukažte na případná rizika související s používáním těchto materiálů ve stavbách. V této souvislosti nastiňte perspektivy jejich použití ve stavebnictví v ČR podle očekávaného vývoje poznání.

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

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato práce popisuje faktory ovlivňující chování tepelných izolací, požadavky kladené na tepelné izolanty a různé druhy tepelných izolací na bázi přírodních vláken. Cílem této práce je zhodnotit možnost náhrady klasických tepelných izolantů za izolanty přírodní.

KLÍČOVÁ SLOVA

tepelná izolace, přírodní vlákna, tepelně technické vlastnosti, součinitel tepelné vodivosti, součinitel prostupu tepla, fázový posun

ABSTRACT

This thesis describes factors influencing behaviour of thermal insulation, demands placing on thermal insulation and various types of natural thermal insulation materials. The main task in the thesis deals with the possibility of substitution classic thermal insulation for natural thermal insulation.

KEYWORDS

thermal insulation, natural fibres, thermal properties, thermal conductivity coefficient, heat transfer coefficient, phase shift

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Vít Janíček *Studium fyzikálních vlastností tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních vláken*. Brno, 2017. 52 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 24. 5. 2017

Vít Janíček
autor práce

Poděkování

Rád bych poděkoval svým rodičům, kteří mi vytvářeli ideální podmínky ke studiu a byli mi oporou v těžkých chvílích. Můj dík patří také panu prof. RNDr. Ing. Stanislavu Šťastníkovvi, CSc. za ochotu, odborné vedení a cenné rady při zpracování této bakalářské práce.

Obsah

Úvod.....	10
Teoretická část	11
1 Druhy tepelných izolací.....	11
1.1 Materiálové dělení.....	11
1.2 Dělení podle použití	11
1.3 Dělení podle tvaru výrobku.....	11
2 Faktory ovlivňující vlastnosti tepelných izolací.....	12
2.1 Vliv vlhkosti.....	12
2.2 Vliv teploty.....	14
2.3 Vliv objemové hmotnosti	15
3 Požadavky na tepelné izolanty	16
3.1 Tepelně izolační požadavky	16
3.2 Požadavky na dlouhodobou životnost.....	18
3.3 Požadavky na tvarovou stálost	19
3.4 Požadavky na nízkou tepelnou roztažnost	19
3.5 Požadavky na paropropustnost.....	19
3.6 Požadavky akustické	20
3.7 Požadavky na snadnou zpracovatelnost	21
3.8 Požadavky na mechanické vlastnosti	21
3.9 Požadavky na nehořlavost.....	21
4 Přírodní materiály pro výrobu tepelných izolací	22
4.1 Dřevní hmota.....	22
4.2 Konopí.....	23
4.3 Len.....	25
4.4 Ovčí vlna	26
4.5 Korek.....	27
4.6 Rákos.....	29
4.7 Sláma.....	29
4.8 Materiály z dovozu.....	31
4.9 Porovnání přírodních tepelných izolací	33
Praktická část	34
5 Cíl práce.....	34

6	Postup práce.....	34
7	Popis navržených konstrukcí	34
8	Princip výpočtu.....	36
9	Vyhodnocení.....	38
9.1	Čedičová minerální vata.....	38
9.2	Konopná rohož	39
9.3	Slaměná deska	40
9.4	Rohož z ovčí vlny.....	41
9.5	Dřevovláknitá deska.....	42
9.6	Deska z pěnového polystyrenu.....	43
9.7	Porovnání výsledků	44
10	Diskuze zjištěných vlastností posuzovaných stěn	44
	Závěr	47
	Použitá literatura	49
	Seznam obrázků	51
	Seznam tabulek	51
	Seznam grafů	52
	Seznam použitých zkratk	52

Úvod

V poslední době je stále větší poptávka po materiálech vyrobených z recyklovaných materiálů a po materiálech vyrobených z obnovitelných, přírodních zdrojů. Tento trend se nevyhýbá ani stavebnictví, a proto se vynakládá velké úsilí k vymýšlení nových stavebních materiálů vyrobených z těchto surovin a rovněž ke zlepšování požadovaných vlastností již používaných stavebních prvků, pro jejichž výrobu jsou použity recyklované nebo druhotné materiály nebo materiály z obnovitelných přírodních zdrojů. Stále větší popularitu také získávají tepelně izolační materiály na bázi přírodních vláken, kterým se tato práce rovněž věnuje.

Cílem této bakalářské práce je zmapovat fyzikální vlivy, které působí na tepelné izolace zabudované ve stavbách. Dále jsou v práci shrnuty požadavky, které jsou kladeny na tepelné izolanty z hlediska vytvoření vhodných mikroklimatických podmínek ve stavbách. V práci jsou také popsány a uvedeny fyzikální vlastnosti tepelných izolací na bázi přírodních vláken dostupných na našem trhu. Pomocí výpočtů je posouzena změna vlastností konstrukcí s běžnými tepelnými izolacemi a tepelnými izolacemi na bázi přírodních vláken. Nakonec je zhodnocena možnost náhrady běžných tepelných izolací izolacemi na bázi přírodních vláken, jejich výhody a nevýhody a také je proveden odhad použití těchto materiálů v budoucnu.

Teoretická část

1 Druhy tepelných izolací

Tepelné izolace mají za úkol bránit úniku tepla z budovy nebo naopak jeho vniknutí do vnitřních prostor stavby. Proto jsou v našich zeměpisných šířkách, kde dochází k velkým denním a nočním výkyvům teplot stejně jako velkým teplotním rozdílům v letních a zimních obdobích, nezbytnou součástí staveb. Tepelné izolace se dají rozdělovat podle různých kritérií. Nejčastěji se dělí podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny, dále podle použití a způsobu aplikace a také podle tvaru výrobku.

1.1 Materiálové dělení

- **Pěnoplastické látky** – jedná se zejména o pěnové polystyreny, extrudované polystyreny, pěnový polyuretan, ...
- **Vláknité materiály** – v tomto případě jde o skleněná, minerální a syntetická vlákna a izolace na bázi ovčí vlny
- **Pěněné silikáty** – pěnové sklo
- **Minerální materiály** – expandovaný perlit, expandovaný vermikulit, ...
- **Organické materiály** – materiály na bázi dřeva, přírodních vláken, celulózových vláken,...
- **Materiály nové generace** – kalciumsilikáty, vakuové izolace

1.2 Dělení podle použití

- Vnější izolace obvodového pláště
- Izolace střešního pláště
- Vnitřní vodorovné a svislé konstrukce
- Vnitřní izolace obvodového pláště
- Speciální aplikace

1.3 Dělení podle tvaru výrobku

- **Deskové izolace** – izolace s pevným tvarem a stálými výrobními rozměry. Jedná se zejména o polystyrenové izolace a izolace z minerální vaty. Největší využití mají při zateplení obvodového pláště, ale využívají se také na izolaci střešního pláště, podlah, mezistropních prostor, sendvičového zdiva a mnoho dalších.

- **Izolační rohože** – jsou izolace se stálou tloušťkou a šířkou. Prodávají se ve svitcích. Používají se tam, kde nedochází k většímu zatížení tepelné izolace, jako jsou například půdní prostory, izolace střech, sendvičové zdivo, ... Vyrábí se z mnoha materiálů. Mezi nejpoužívanější patří rohože z minerální a skelné vlny. Dále se vyrábějí z konopí, lnu, ovčí vlny, atd.
- **Sypaná izolace** – vyplňuje dutiny v konstrukci nebo se může přidávat do betonových směsí za účelem zlepšení tepelně izolačních vlastností. Pro tento způsob izolace se používá zejména expandovaný perlit, kermzit, expandovaný vermikulit nebo sypaný polystyren.
- **Foukaná izolace** – je druh izolace s poměrně malou tradicí. Jak již název napovídá, tak je do konstrukce aplikována foukáním. To má výhody v tom, že nedochází k produkci nechtěného odpadu vlivem odřezků. Další výhodou je, že výsledná izolace je beze spár, což zlepšuje tepelně izolační vlastnosti konstrukce. Pro tento typ izolace se používá především celulóza, ale také minerální vlna, polystyrén, dřevní hmota a další.

2 Faktory ovlivňující vlastnosti tepelných izolací

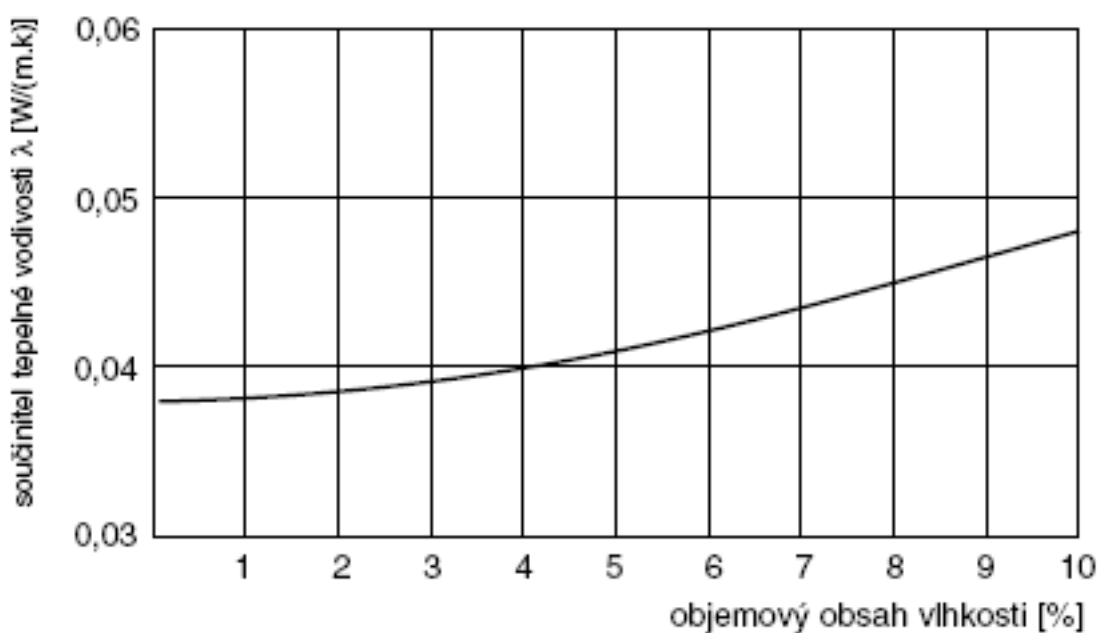
Ať už jsou tepelné izolace situovány v obvodovém plášti budovy nebo jsou použity jako vnitřní zateplení, neustále na ně působí různé vlivy. Mezi nejvýraznější vlivy, které působí na tepelné izolace a ovlivňují jejich tepelně technické vlastnosti, řadíme vlhkost, teplotu a objemovou hmotnost. Dalšími faktory, které ovlivňují tepelné izolace, mohou být například prachové částice obsažené ve vzduchu nebo ozón. Pro názornost bude uveden především vliv vlhkosti, teploty a objemové hmotnosti na součinitel tepelné vodivosti [1].

2.1 Vliv vlhkosti

Velký vliv na součinitel tepelné vodivosti látek má právě vlhkost. Obecně se dá říct, že se vzrůstající vlhkostí dané látky roste i součinitel tepelné vodivosti λ této látky. Proto je snaha zabránit šíření vlhkosti stavebními konstrukcemi, obzvláště pak tepelnými izolacemi. K šíření vlhkosti stavebními konstrukcemi dochází difúzí vodní páry, kdy molekuly vodní páry obsažené ve vzduchu prostupují póry materiálů, dále kapilární vodivostí, kdy díky povrchovému napětí vody a potřebným průměrům kapilárních pórů dochází ke vztlínání vody, a nakonec pomocí konvekce, kdy se vlhký vzduch pohybuje formou proudění. [4], [5]

Zvyšování součinitele tepelné vodivosti s růstem vlhkosti materiálů má na svědomí zčásti vyšší součinitel tepelné vodivosti vody (asi $0,58 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) a zčásti to, že voda přítomná v pórech látky zvětšuje kontaktní plochy v pórech. Součinitel tepelné vodivosti ledu se udává $2,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, z toho plyne, že zamrzlá vlhkost v konstrukci má obzvláště nepříznivý vliv na její tepelně izolační vlastnosti. Přestože se vzrůstající vlhkostí roste i součinitel tepelné vodivosti, tak není tento jev přímoúměrný. Při nižších vlhkostech roste hodnota λ rychleji, ovšem se zvyšující se vlhkostí se tento růst zpomaluje. [1]

Pro názornost je ukázán graf závislosti součinitele tepelné vodivosti na objemové vlhkosti materiálu pro vlhkost v rozmezí 0 – 10 %. Následující graf je vyhodnocením desky EPS s objemovou hmotností $16 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obr. 1: Závislost součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti u EPS [19]

Součinitel tepelné vodivosti λ daného materiálu se stanovuje na vysušených vzorcích, ovšem získané hodnoty se musí nadále upravovat, aby uváděné hodnoty souhlasili s hodnotami, které budou mít látky s předpokládanou vlhkostí zabudované v konstrukcích. [1]

2.2 Vliv teploty

Stejně jako se vzrůstající vlhkostí roste součinitel tepelné vodivosti, tak se také se stoupající teplotou jeho hodnota zvětšuje. Zvýšením teploty konstrukce dochází k většímu přenosu tepla v pórech a k intenzivnějšímu sálání. Naopak se snižující se teplotou součinitel tepelné vodivosti klesá. Toto pravidlo ovšem neplatí pro záporné teploty, kdy dochází ke tvorbě ledu vzniklého z obsažené vlhkosti, který má negativní dopad na hodnoty λ , jak již bylo popsáno dříve. Pro interval teplot od 0 do 100 °C platí vztah:

$$\lambda_t = \lambda_0 \cdot (1 + 0,0025 \cdot t),$$

kde:

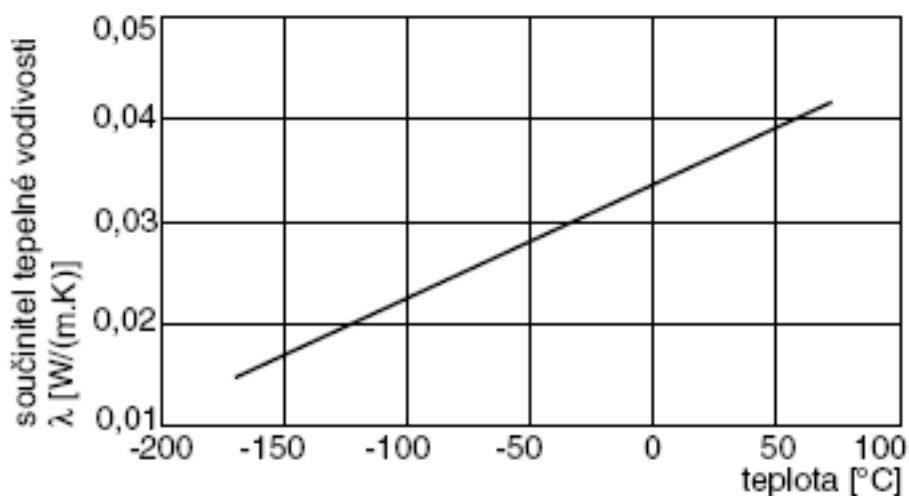
λ_t ...součinitel tepelné vodivosti při dané teplotě [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$],

λ_0 ... součinitel tepelné vodivosti při teplotě 0 °C [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$],

t ...teplota, pro kterou se určuje λ_t [°C]. [1]

Ze vztahu vyplývá, že v uvedeném teplotním intervalu se hodnota součinitele tepelné vodivosti mění jen minimálně, proto se většinou s tímto vlivem při návrhu staveb neuvažuje.

Pro názornost je ukázán graf závislosti součinitele tepelné vodivosti na teplotě pro desky z EPS s objemovou hmotností $20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

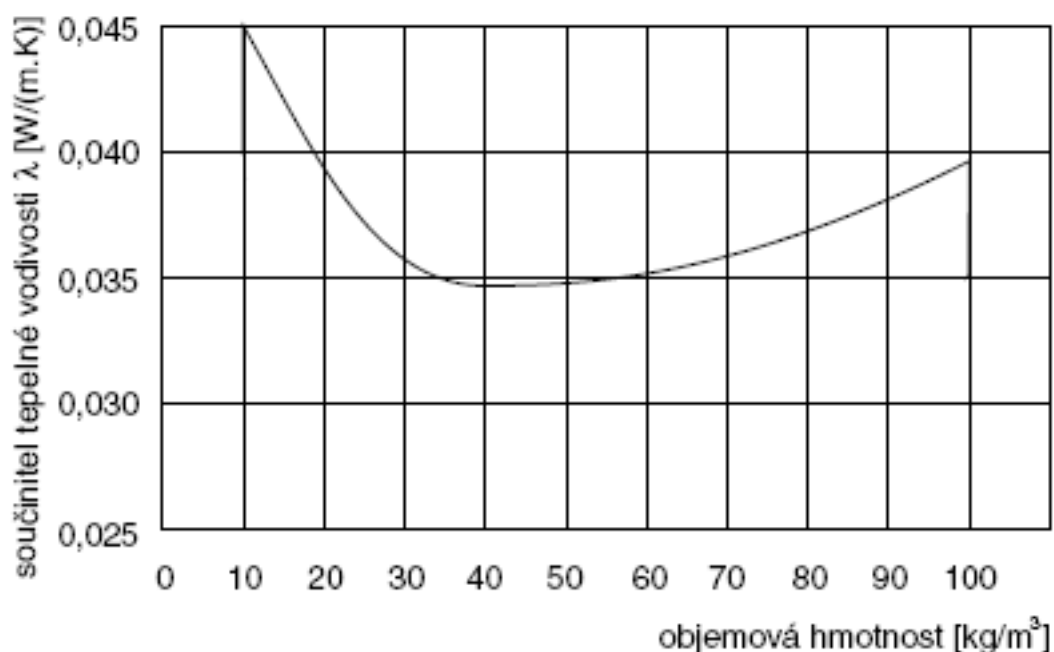


Obr. 2: Závislost součinitele tepelné vodivosti na teplotě [19]

2.3 Vliv objemové hmotnosti

Objemová hmotnost je vyjádřením poměru hmotnosti tělesa k jeho objemu. Většinou se značí řeckým písmenem ρ a jeho její jednotkou je $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Objemová hmotnost izolačního materiálu je ovlivněna základním materiálem izolace a jeho pórovitostí. U tepelně izolačních materiálů většinou převažuje ten jev, že se součinitel tepelné vodivosti λ při zvyšující se objemové hmotnosti nejdříve snižuje a při dosažení určité hodnoty objemové hmotnosti, která je u jednotlivých izolačních materiálů individuální, se tento součinitel naopak zvyšuje. To je způsobeno tím, že při příliš nízké objemové hmotnosti materiálu je jeho struktura velmi pórovitá a je umožněno šíření tepla prouděním. Naopak při příliš vysoké objemové hmotnosti materiálu je struktura izolantu natolik hutná, že dochází ve zvýšené míře k šíření tepla vedením.

Pro názornost bude uveden graf, který popisuje, jak se mění součinitel tepelné vodivosti s měnící se objemovou hmotností izolantu. Tento graf je vyhodnocením hodnot zjištěných na tepelně izolační desce z EPS při teplotě 10 °C.



Obr. 3: Závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti [19]

3 Požadavky na tepelné izolanty

Tepelné izolace se navrhují proto, aby se v místnostech vytvořilo příjemné prostředí, které je přizpůsobeno účelu dané místnosti. Jak už z názvu vyplývá, tak primárním účelem tepelných izolací je udržovat požadovanou teplotu v budově nebo místnosti pokud možno s co nejmenšími teplotními výkyvy a s minimální spotřebou dodatečné energie pro regulaci vnitřní teploty. Proto hlavní požadavky, které jsou na tepelné izolace kladeny, jsou právě tepelně izolační vlastnosti materiálů. Ovšem tepelně izolační materiály jako takové nemusí nutně zastávat pouze tuto svou primární funkci, ale mohou plnit i další funkci v konstrukcích, jakými jsou například zvukově izolační funkce nebo ochrana konstrukcí před namáháním vlivem velkých výkyvů teplot. Také z těchto důvodů jsou na tepelné izolanty kladeny nároky, které ovlivňují budoucí funkčnost těchto materiálů a spolupůsobení s okolní konstrukcí. Tyto požadavky můžeme shrnout jako požadavky na:

- tepelně izolační vlastnosti,
- dlouhodobou životnost,
- tvarovou stálost,
- nízkou tepelnou roztažnost,
- paropropustnost,
- akustiku,
- snadnou zpracovatelnost,
- mechanické vlastnosti,
- nehořlavost. [6]

3.1 Tepelně izolační požadavky

Mezi tepelně izolační požadavky, které se u tepelných izolantů posuzují, patří součinitel prostupu tepla U , součinitel tepelné vodivosti λ a měrná tepelná kapacita c .

Součinitel prostupu tepla vyjadřuje celkovou výměnu tepla mezi dvěma prostředími, která jsou vzájemně oddělena stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými vzduchovými mezerami. Značí se jako U a jeho jednotkou je $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$, která vyjadřuje, kolik tepla projde materiálem, který má plochu $1 m^2$ při teplotním rozdílu $1 K$. Je vyjadřován vztahem:

$$U = \frac{1}{R_T},$$

kde:

U ...součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],

R_T ...odpor konstrukce při prostupu tepla [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$].

Součinitel tepelné vodivosti je jedna z hlavních tepelně technických vlastností, které jsou u tepelně izolačních látek posuzovány. Jedná se o číselné vyjádření, kterým je charakterizována tepelná vodivost látky. Součinitel tepelné vodivosti je definován jako schopnost látky vést teplo, to znamená šířit teplo ze zahřáté části konstrukce do její chladnější části. Značí se řeckým písmenem λ a jeho jednotkou je $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, která vyjadřuje množství tepla, které projde tělesem o rozměru 1 m^3 , jehož jedna strana má teplotu o 1 kelvin vyšší než druhá, za jednotku času. Součinitel tepelné vodivosti se dá matematicky vyjádřit Fourierovou rovnicí:

$$\lambda = \frac{q}{-\text{grad}(\theta)},$$

kde:

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

q ...hustota tepelného toku [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],

$\text{grad}(\theta)$...gradient teploty [$\text{K}\cdot\text{m}^{-1}$].

Hodnoty součinitelů tepelných vodivostí jednotlivých tepelně izolačních materiálů se obvykle pohybují v rozmezí 0,025 až $0,04 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Měrná tepelná kapacita vyjadřuje množství tepelné energie, kterou je potřeba dodat materiálu o definované vlhkosti a hmotnosti 1 kg, aby se teplota daného materiálu zvětšila o 1 K. Značí se jako malé c a jeho jednotkou je $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. K číselnému vyjádření se využívá vzorce:

$$c = \frac{E}{m \cdot \Delta\theta},$$

kde:

c ...měrná tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

E ...tepelná energie (množství převedeného tepla) [J],

m ...hmotnost [kg],

$\Delta\theta$...přírůstek teploty [K]. [7]

Dalším pomocným vyjádřením tepelně izolačních vlastností může být součinitel teplotní vodivosti. Tento součinitel je vyjádřením rychlosti šíření teplotní vlny materiálem. To znamená, že hodnota součinitele teplotní vodivosti materiálu demonstruje jeho schopnost vyrovnávat rozdílné teploty při nepřetržitém vedení tepla. Je závislý na součiniteli tepelné vodivosti, objemové hmotnosti a měrné tepelné kapacitě materiálu. Značí se jako a , jeho jednotkou je $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a vypočítá se podle vztahu:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c},$$

kde:

a ...součinitel teplotní vodivosti [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$],

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

ρ ...hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

c ...měrná tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]. [20]

3.2 Požadavky na dlouhodobou životnost

Velmi důležitou vlastností tepelně izolačních materiálů je také jejich dlouhá doba životnosti, po kterou neztrácejí svůj tvar ani své vlastnosti. Pokud by tepelně izolační materiály disponovaly krátkodobou životností a bylo by nutné je častěji měnit, mělo by to velmi neblahý vliv zejména na ekonomickou stránku provozu budov a také by docházelo ke zvýšenému množství nežádoucích zásahů do konstrukcí. Proto je výhodné

používat takové izolační materiály, které mají vysokou životnost a minimální požadavky na jejich údržbu.

3.3 Požadavky na tvarovou stálost

Tvarová stálost izolačních materiálů je jedním ze základních předpokladů pro správné plnění požadované funkce. Pokud by docházelo k případnému nežádoucímu dotvarování tepelně izolačních materiálů zabudovaných do konstrukcí, mohlo by dojít k tomu, že izolační vrstva by nebyla souvislá, což by mohlo vést ke vzniku tepelných mostů, případně k rozrušení pohledové vrstvy.

3.4 Požadavky na nízkou tepelnou roztažnost

V průběhu roku dochází k velkým teplotním výkyvům, které mohou způsobovat objemové změny materiálů. To může mít negativní dopad na jejich funkci, ale především může docházet vinou tepelné roztažnosti k narušení soudržnosti mezi tepelným izolantem a zbytkem konstrukce. Změnu povrchových teplot fasády ovšem nejvíce ovlivňuje sluneční svit, který dokáže zahřát povrch budovy na velmi vysoké teploty a to zejména v letních měsících. Z těchto důvodů je vhodné, aby tepelně izolační materiály měly tepelnou roztažnost co nejnižší a pokud možno stejnou jako povrchové vrstvy. Čím menší rozdíl mezi jejich tepelnými roztažnostmi bude, tím menší mechanické namáhání od tepelně izolačních materiálů bude působit na povrchové vrstvy zateplovacího systému, a tím méně bude docházet k narušení těchto povrchových vrstev.

3.5 Požadavky na paropropustnost

Tepelně izolační vrstvy by neměly bránit odchodu (vypařování) zkondenzované vodní páry, to znamená, že by měly být paropropustné. Schopnost materiálu propouštět vodní páru je definována jako součinitel difúzní vodivosti.

Součinitel difúzní vodivosti se značí řeckým písmenem δ_p jeho jednotkou je $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} = \text{s}$ a je definován vztahem:

$$\delta_p = \frac{g}{-grad(\rho_v)},$$

kde:

δ_p ...součinitel difúzní vodivosti [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} = \text{s}$],

g ...vektor hustoty ustáleného difundujícího toku vodní páry [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$],

$\text{grad}(\rho_v)$...gradient částečného tlaku vodní páry [$\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1}$].

S paropropustností souvisí i další veličina a tou je faktor difúzního odporu, který vyjadřuje schopnost materiálové vrstvy propouštět vodní páru difúzí. Značí se jako μ a je to bezrozměrná veličina. Číselně se vyjadřuje pomocí vztahu:

$$\mu = \frac{\delta_a}{\delta},$$

kde:

δ_a ...součinitel difúzní vodivosti vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} = \text{s}$],

δ ... součinitel difúzní vodivosti materiálu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} = \text{s}$],

μ ...faktor difúzního odporu [-]. [7], [8]

3.6 Požadavky akustické

Další funkcí, kterou mohou tepelné izolanty disponovat, je jejich zvuková pohltivost, to znamená, že mohou při správném provedení výrazně vylepšit neprůzvučnost konstrukce a tím přispět k prostředí akustické pohody. Tepelně izolační materiály zabudované do dělicích konstrukcí mohou pomoci k zamezení šíření hluku. Hluk je definován jako nežádoucí zvuk, který způsobuje nepříjemný nebo rušivý pocit a může mít škodlivé účinky na lidský organismus.

Neprůzvučnost konstrukcí se dělí na neprůzvučnost vzduchovou a kročejovou. Vzduchová neprůzvučnost je schopnost konstrukce bránit přenosu zvuku, který je šířen prostorem pomocí vzduchu. [9] Kročejovou neprůzvučností je potom myšlena schopnost konstrukce bránit šíření zvuku vyvolaného mechanickým nárazem na konstrukci.

3.7 Požadavky na snadnou zpracovatelnost

Vzhledem ke způsobu aplikace tepelných izolantů na stavební konstrukce je nutné, aby používané izolanty byly snadno opracovatelné, umožňovaly snadné řezání či jiný způsob upravování, aby bylo možno z nich vyrobit dílec jakéhokoliv tvaru a nedocházelo tak ke zbytečné ztrátě času kvůli jejich zpracování, což by vedlo k prodlužování doby výstavby a v konečných důsledcích i k prodražování staveb.

3.8 Požadavky na mechanické vlastnosti

Požadavky na mechanické vlastnosti jsou kladeny především na izolanty deskové. Tyto požadavky jsou směřovány především na pevnost těchto materiálů. Zejména se jedná o pevnost v tahu, v tlaku a ve smyku. Materiály musí přenést požadované napětí, které na ně během užitné doby působí, aby nedocházelo k jejich narušení a tím k omezení jejich vlastností.

3.9 Požadavky na nehořlavost

Izolační materiály by neměly přispívat k šíření požáru, proto by měly být používány materiály s co nejnížší hořlavostí. Izolační materiály se dle normy ČSN EN 13501 – 1 dělí do sedmi tříd reakcí na oheň a to od A1 po F.

Třídy reakce na oheň:

- **F** – Pro tyto výrobky nebyla zjištěna žádná třída a tudíž nemohou být do žádné třídy klasifikovány. V této třídě se vyskytuje například izolační pás z pěnového polyethylénu.
- **E** – Výrobky spadající do této třídy jsou schopny odolávat malému plamenu po krátký časový interval bez významného šíření plamene. Do této třídy se řadí například dřevocementová izolační deska HERATEKTA C-3.
- **D** – Splňuje stejná kritéria, jako jsou pro třídu E, pouze odolává plamenu po delší časový interval a dále s podstatným zpožděním odolává působení tepla od hořícího předmětu. Do této kategorie patří například OSB desky.
- **C** – Splňuje stejná kritéria jako třída D, ale vyhovuje přísnějším požadavkům. Zástupcem této třídy je celulózová izolační deska.
- **B** – Splňuje stejná kritéria jako třída C, ale vyhovuje přísnějším požadavkům. Typickým představitelem této třídy je dřevocementová izolační deska TEKTALAN E-31.

- **A2** – Materiály vyhovují stejným požadavkům jako u třídy B, ovšem významně nepřispívají k šíření plně rozvinutému požáru.
- **A1** – materiály zařazené do této třídy nepřispívají k šíření požáru a to ani plně rozvinutého. Do této třídy patří například minerální vlna nebo pěnové sklo. [21]

4 Přírodní materiály pro výrobu tepelných izolací

Poslední dobou se kladou stále větší požadavky na to, aby se pro výrobu různých výrobků v co největší míře používaly suroviny z obnovitelných zdrojů. Tento trend se nevyhýbá ani stavebnictví a konkrétně tepelným izolacím. Proto v této kapitole budou přiblíženy přírodní suroviny, ze kterých lze vyprodukovat použitelné tepelné izolace. Rovněž budou uvedeny vlastnosti těchto tepelných izolantů. Obecně se tyto materiály dají rozdělit na materiály původu rostlinného a materiály původu živočišného. Primárními surovinami, kterým se tato kapitola bude věnovat, jsou:

- dřevní hmota,
- konopí,
- len,
- ovčí vlna,
- korek,
- rákos,
- sláma,
- materiály z dovozu.

4.1 Dřevní hmota

Desky z dřevních vláken používané jako tepelné izolace jsou poměrně moderní stavební materiál. Mají dobré tepelně izolační vlastnosti a často se používají i jako akustické izolace do podlah. Ovšem vlastnost, kterou nejvíce předčí ostatní tepelně izolační materiály je jejich mechanická odolnost. Vyznačují se vysokými pevnostmi, proto mohou být použity i na poměrně značně namáhaných místech. Díky schopnosti tepelné akumulace těchto desek je jejich použití vhodné pro obvodové pláště budov nebo zateplení půd. Problémem u dřevovláknitých desek je jejich chování

při vlhkostních zatíženích, které mohou způsobovat bobtnání nebo degradaci desek. Nežádoucím vlivům vzniklých působením vlhkosti na desky lze zamezit hydrofobizací dřevní hmoty použité při výrobě nebo povrchovou úpravou desek. [10]



Obr. 4: Fotografie desky Hofatex [22]

Mezi nejběžněji dostupné dřevovláknité desky patří Steico a Hofatex, jejichž vlastnosti jsou porovnány v tabulce Tab. 1.

Tab. 1 Vlastnosti vybraných dřevovláknitých desek [11], [12]

Název	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Faktor difúzního odporu μ [–]	Součinitel teplotní vodivosti a ·10 ⁷ [m ² ·s ⁻¹]
Steico universal	60	270	0,048	2100	5	0,847
Hofatex SysTem	60	210	0,044	2100	5	0,998

4.2 Konopí

Konopí seté je teplomilná rostlina s nízkými nároky na pěstování. Přestože má konopí velmi široké uplatnění, skvělé vlastnosti a v historii bylo hojně užíváno zejména na výrobu lan, plachet a oděvů, v poslední době bylo konopí přehlíženo. Může za to zejména fakt, že z něj lze vyrobit psychotropní látky (drogy). V poslední době se ovšem znovu začíná vracet k jeho pěstování, zvyšuje se jeho produkované množství a stále více se využívá jeho vlastností. Také v oblasti stavebnictví si konopí získává své místo.

Nevyužívá se pouze na výrobu tepelných izolací, kterými se tato práce zabývá, ale také se z něj například dá vyrobit materiál, kdy se konopná drť zvápní, slisuje a ve výsledku slouží jako náhražka betonu. Tento materiál se vyznačuje stejnou pevností jako beton, ale je sedmkrát lehčí, pružnější, lépe odolává přírodním podmínkám a samozřejmě má lepší tepelně izolační vlastnosti. Dále se používá společně s vápnem a cementem jako úprava podlah, stropů a jako omítky.

Tepelné izolace vyrobené z konopí nemají jenom vynikající tepelně izolační vlastnosti, ale také skvěle izolují zvuk, propouští vodní páru, špatně hoří, nepodléhají degradaci vlivem hlodavců a hmyzu, jsou lehké a trvanlivé. Tepelně izolační materiály vyrobené z konopí mohou být ve formě rohoží nebo rolí a používají se pro zateplení podlah, stěn, stropů i střech. K dotěsnění se potom využívá konopných vláken, která se do dutin vkládají ve formě jakýchsi chuchvalců. [10]



Obr. 5: Fotografie desky z konopí [13]

V České republice se výrobou konopných tepelných izolací zabývá především firma CANABEST s výrobním závodem v Břeclavi. Vlastnosti rohože vyrobené firmou CANABEST jsou shrnuty v tabulce Tab. 2.

Tab. 2 Vlastnosti konopných rohoží CANABEST PLUS [13]

Název	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Faktor difúzního odporu μ [–]	Součinitel teplotní vodivosti a ·10 ⁷ [m ² ·s ⁻¹]
CANABEST PLUS	40 – 180	33 – 39	0,040	1600	1,9	6,944

4.3 Len

Len setý je jednoletá rostlina, která dorůstá výšky 1,2 metru a pěstuje se kvůli vláknitému stonku a olejnatým semenům. Jeho pěstování je snadné a nenáročné. Největší a hlavní využití lnu je v textilním průmyslu, ovšem může se využít i na výrobu speciálních druhů papíru nebo izolační materiály používané ve stavebnictví.

Lněné tepelné izolace se používají ve formě sypané, plstě nebo desek. Len sám o sobě má několik nevýhod. Jedná se zejména o to, že lněná vlákna se snadno lámou, jsou snadno hořlavá nebo jejich prašnost. Tyto nežádoucí vlastnosti ovšem lze odstranit při samotné výrobě lněných výrobků. Lněné izolační desky mají tu nevýhodu, že nesmí být zabudovány v konstrukcích, které nejsou trvale odděleny od zemní vlhkosti. Některé izolační desky též nesmějí být zatíženy tlakem, proto je jejich použití značně omezené. Lněné izolační materiály se používají na zateplení vnějších obvodových stěn, šikmých střech, stropů, kde musí být její použití správně konstrukčně provedeno, aby nebyla izolace namáhána tlakem, nebo jako těsnící materiál k vyplnění připojovacích spár mezi rámem a ostěním. [10]



Obr. 6: Fotografie izolace ze lnu [23]

V České republice jsou k dostání lněné tepelné izolace pod názvem NATURIZOL, jejichž vlastnosti jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 3.

Tab. 3 Vlastnosti lněných izolací [14]

Název	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Faktor difúzního odporu μ [–]	Součinitel teplotní vodivosti a ·10 ⁷ [m ² ·s ⁻¹]
NATURIZOL	40 – 140	32	0,039	1550	5,7	7,863

4.4 Ovčí vlna

Zástupcem přírodních materiálů, které se používají pro výrobu tepelných izolací, je ovčí vlna. Ta se převážně používá pro výrobu textilu, ovšem v poslední době se můžeme setkat také s jejím použitím coby izolačním materiálem, což je způsobeno jejím přebytkem a hledáním jejího dalšího využití. Ovčí vlna je stabilní materiál s dlouhou dobou životnosti, je recyklovatelná a zdravotně nezávadná. Disponuje také dobrými tepelně izolačními vlastnostmi, přičemž její součinitel tepelné vodivosti se pohybuje v rozmezí 0,038 – 0,050 W·m⁻¹·K⁻¹. Další její typickou vlastností je její nasákavost, kdy dokáže velmi dobře přijímat vlhkost ze vzduchu. Přestože její nasákavost může dosáhnout až 35 %, na její tepelně izolační vlastnosti to má pouze minimální vliv. Naopak při správném zabudování do konstrukce se díky její schopnosti odevzdávat vlhkost může využít jako regulátor vlhkosti v interiéru. Další kladnou vlastností ovčí vlny je, že nehoří a má samozhášecí schopnost.

Výroba tepelných izolací z ovčí vlny je poměrně snadná a energeticky nenáročná, přesto se před jejich zabudováním do konstrukce musí vlna upravit. V první fázi se praním v roztoku vody, pracího prostředku a sody z vlny odstraní tuky a nečistoty, poté se k ní přidá účinný přípravek, který chrání vlnu před poškozením hmyzem, především moly. Nakonec je technologií kolmého kladení vyráběna samotná izolace.

Tepelná izolace z ovčí vlny může být do konstrukce zabudována jako izolace volně uložená, sypaná nebo ve formě izolačních rohoží a desek. Při používání volně uložených nebo sypaných izolací se musí dávat pozor na to, že samotný materiál může

časem sednout a tím se vytvoří dutina, která již není vyplněna izolací. Před samotným zabudováním by izolace z ovčí vlny neměla být vystavena zvýšené vlhkosti.



Obr. 7: Fotografie rohože z ovčí vlny [15]

V České republice jsou k mání tepelné izolace z ovčí vlny zejména pod názvy Isolena a Naturwool, jejichž vlastnosti jsou uvedeny a porovnány v následující tabulce Tab. 4.

Tab. 4 Vlastnosti izolací z ovčí vlny [15], [16]

Název	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Faktor difúzního odporu μ [–]	Součinitel teplotní vodivosti a ·10 ⁷ [m ² ·s ⁻¹]
Isolena Block	30 – 160	13	0,042	1800	1	17,949
A 500 Naturwool	50	10	0,040	1800	1,5	22,222

4.5 Korek

Korek je odumřelá kůra dubu korkového, který se vyskytuje především na jihovýchodě Evropy, zejména pak v Portugalsku. Korek se dá ve stavebnictví použít ve formě homogenního korku, korkové drtě nebo desky z lisovaného korku. Korek má tu výhodu, že se nesmršťuje, odolává chemickým vlivům a bakteriím, nepropouští kapaliny, netrouchniví a nepodléhá hnilobě. Při zabudování do podlah zvyšuje

kročejovou neprůzvučnost. Na druhou stranu je poměrně hořlavý. Jako tepelné izolace se používá korek ve formě drtě nebo lisovaných desek.



Obr. 8: Fotografie korkové desky [24]

Vlastnosti korkových izolací jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 5.

Tab. 5 Vlastnosti izolací z korku [10]

Název	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Faktor difúzního odporu μ [–]	Součinitel teplotní vodivosti a ·10 ⁷ [m ² ·s ⁻¹]
drť Korková	–	45	0,035	1880	2,5	4,137
Lisovaná korková deska	50	150	0,058	1880	5 – 10	2,057

Vzhledem k poměrně velké vzdálenosti výskytu korkových dubů, malé a pomalé produkci korku se u nás tepelné izolace na korkové bázi používají pouze minimálně, a proto je poměrně obtížné je v našich končinách sehnat.

4.6 Rákos

Rákos je rostlina, která roste především ve střední Evropě na březích stojatých nebo pomalu tekoucích vod a dorůstá výšky 2 – 4 metry. Při sklizni se stébla nejprve suší a poté se pročešou, aby se odstranily suché listy. Rákos patří k tradičním stavebním materiálům a používá se především jako střešní krytina ve formě rákosových došek. Další možností jak využít rákos je použít jej jako nosiče omítek formou rohoží. Rákosu se dá rovněž využít jako tepelně izolačního materiálu a to tak, že se slisuje do desek o tloušťce 30 – 50 mm a sváže drátem.

Produkce rákosu v České republice je poměrně malá a většina vyprodukovaného rákosu je použita na rekonstrukci historických rákosových doškových střech. Používání rákosových desek jako tepelně izolačního materiálu je také z tohoto důvodu minimální. Proto se výrobě rákosových izolačních desek nevěnuje žádná z větších firem a pořídit si ji lze jen u menších producentů. Z tohoto důvodu je poměrně složité uvést hodnoty vlastností rákosových desek. Obecně se však uvádí jejich objemová hmotnost v rozmezí $140 - 180 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a součinitel tepelné vodivosti v rozmezí $0,04 - 0,06 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.



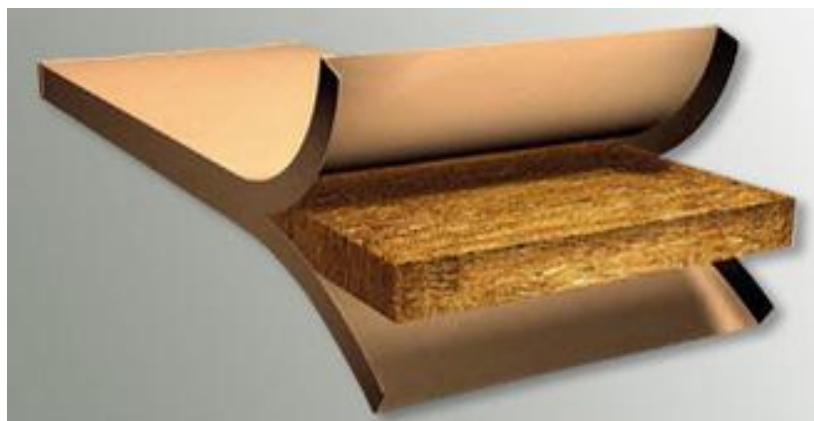
Obr. 9: Fotografie rákosové rohože [25]

4.7 Sláma

Sláma vzniká jako odpadní produkt při pěstování obilnin a již od nepaměti je využívána, mimo jiné i ve stavebnictví, kde byla používána především jako střešní krytina ve formě slaměných došek. Dále byla ve stavebnictví využívána jako těsnicí materiál do spár mezi trámy. V dnešní době se ve stavebním průmyslu sláma znovu začíná objevovat a to nejen jako doplňkový materiál, ale dokonce se ze slaměných

balíků nebo panelů staví celé domy, kdy může být slaměný balík nebo panel použit jako základní stavební prvek. Častější použití je ovšem v kombinaci s tradičními stavebními materiály a to především se dřevem, ale také s betonem nebo keramickými tvarovkami, kdy jsou slaměné balíky nebo panely použity jako obkladový materiál a plní především izolační roli.

Sláma zabudovaná do konstrukce se musí chránit proti vlhkosti. Pokud by sláma byla vystavena vyšší vlhkosti, tak by došlo k vývoji plísní a zvýšení tepelné vodivosti. Vlhkost slámy při zabudování do konstrukce by se měla pohybovat v rozmezí 5 – 15 %. Pro správnou funkci a dlouhodobou životnost slámy musí být ochranný povrchový materiál difúzně otevřený. Velkou nevýhodou slámy je obava z její hořlavosti, ovšem při použití dobře slisovaných slaměných výrobků oheň jenom velmi těžce proniká do hmoty a výrobek ohoří pouze na povrchu. Pokud je ovšem použita sláma sypaná nebo lehce dusná, pak je velmi hořlavá a oheň se šíří velkou rychlostí. Tepelná vodivost slámy je závislá na míře slisování, objemové hmotnosti a vlhkosti výrobku. Uvádí se, že součinitel tepelné vodivosti dobře slisované slámy s objemovou hmotností kolem $90 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ se pohybuje v rozmezí $0,044 - 0,060 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Slaměné výrobky také skvěle pohlcují zvuk, proto jejich použití má pozitivní vliv na akustické vlastnosti budovy. Díky této schopnosti se sláma používá k výstavbě akustických clon na letištích a kolem dálnic. Při použití slaměných výrobků jako nosných prvků se musí počítat s jejich poměrně velkým stlačením a sedáním. Dalším faktorem, který odrazuje před použitím slámy, je obava z napadení biotickými škůdci. Pokud je ovšem sláma dobře slisována, neobsahuje přemíru zbylých zrn a plevele a při výstavbě se příliš neotálí s omítnutím stěn, pak by nemělo k napadení slaměných výrobků škůdci dojít.



Obr. 10: Fotografie Ekopanelu ze slámy [26]

V České republice se výrobě slaměných panelů věnuje firma Ekopanely, která je prodává pod stejným názvem. Vlastnosti těchto panelů jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 6.

Tab. 6 Vlastnosti izolací ze slámy [17]

Název	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Faktor difúzního odporu μ [–]	Součinitel teplotní vodivosti a ·10 ⁷ [m ² ·s ⁻¹]
EKOPANEL 60	60	379	0,099	2000	9,7	1,306

4.8 Materiály z dovozu

Izolace vyrobené z těchto materiálů se v České republice běžně nepoužívají a setkat se s nimi můžeme jen velmi výjimečně, ale pro úplnost jsou zmíněny i v této práci. Jedná se o izolace vyrobené z materiálů, které se u nás neprodukují a musejí se dovážet. Hovoříme zejména o bavlně, jutě a kokosových vláknech.

Bavlna se získává ze semen bavlnovníku, který se pěstuje především ve střední Asii. Bavlna má vynikající nejen tepelně izolační a akusticky izolační vlastnosti, ale také schopnost regulovat vlhkost vnitřního prostředí.



Obr. 11: Fotografie rohože z bavlny [27]

Juta je označení pro textilní vlákno získané z jutovníků, které se pěstují hlavně v tropických oblastech Číny, Vietnamu a Bangladéše. Jedná se o nejlevnější surovinu pro textilní průmysl a používá se pro výrobu jutových pytlů. Tyto pytle jsou po splnění svého primárního určení rozvlákněny a použity pro výrobu tepelných izolací. Takto ekologicky vyrobené izolace disponují příznivými zvukově izolačními vlastnostmi a jejich součinitel tepelné vodivosti se pohybuje okolo hodnoty $0,038 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. [18]



Obr. 12: Izolace z juty [28]

Kokosová vlákna se získávají ze skořápek kokosových ořechů a mohou být používána pro výrobu tepelných a zvukových izolací. Součinitel tepelné vodivosti kokosových izolací se udává v rozmezí $0,043 - 0,045 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Pro výrobu tepelných izolací se také často používá v kombinaci s korkem.



Obr. 13: Izolace z kokosových vláken [29]

4.9 Porovnání přírodních tepelných izolací

V následující tabulce Tab. 7 budou vzájemně porovnány vlastnosti tepelných izolací vyrobených z přírodních vláken, které jsou běžně dostupné na českém trhu.

Tab. 7 Porovnání vlastností přírodních tepelných izolací [10], [11], [13], [14], [15], [17]

Název	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Faktor difúzního odporu μ [-]	Součinitel teplotní vodivosti a ·10 ⁷ [m ² ·s ⁻¹]
Hofatex SysTem (dřevo)	60	210	0,044	2100	5	0,998
CANABEST PLUS (konopí)	40 – 180	33 – 39	0,040	1600	1,9	6,944
NATURIZOL (len)	40 – 140	32	0,039	1550	5,7	7,863
A 500 Naturwool (ovčí vlna)	50	10	0,040	1800	1,5	22,222
Lisovaná korková deska	50	150	0,058	1880	5 – 10	2,057
EKOPANEL 60 (sláma)	60	379	0,099	2000	9,7	1,306

Praktická část

5 Cíl práce

Cílem experimentální části této bakalářské práce je výpočtově zjistit, jak se změni tepelné chování stěny při zabudování různých izolačních materiálů. Na základě těchto zjištěných údajů se posoudí, která z izolací zajistí stěně nejprůzračnější součinitel prostupu tepla, dále která izolace způsobuje nejprůzračnější fázový posun teploty na vnitřní straně stěny a tím přispívá k příhodnějším podmínkám v interiéru budovy a nakonec se zhodnotí, zda je vhodné nahradit klasické tepelné izolace za izolace na přírodní bázi. Součástí praktické části bude také uvedení případných rizik, která se mohou vyskytovat u přírodních izolačních materiálů použitých ve stavbách, a rovněž se provede odhad, jakým směrem se bude ubírat používání těchto materiálů v České republice.

6 Postup práce

Pro výpočet a porovnání vlivu jednotlivých izolačních materiálů na vlastnosti konstrukce bude navrženo složení lehké a těžké stěny. Tyto stěny budou mít stálé složení, ve kterém se bude obměňovat pouze tepelný izolant. Jednotlivé konstrukční vrstvy se i s jejich fyzikálními vlastnostmi vloží do výpočetního programu, který ze zadaných hodnot vypočítá a vynese do grafu pro nás důležitý součinitel tepelného odporu a fázový posun teplotní vlny. Na základě těchto zjištěných údajů se zhodnotí, jak která izolace ovlivňuje vlastnosti navržené konstrukce. Nakonec se provede diskuze vhodnosti použití jednotlivých izolací, případně možnost náhrady klasických tepelných izolantů za izolanty na přírodní bázi a předpoklad vývoje používání přírodních tepelných izolací v České republice.

7 Popis navržených konstrukcí

Jak již bylo zmíněno výše, budou navrženy dva jednoduché stěnové systémy. Tyto dvě konstrukce si rozdělíme na stěnu lehkou a stěnu těžkou. Oba dva stěnové systémy se skládají z pěti vrstev.

Lehkou stěnou je myšlena sádkartonová stěna, která je vyplněna izolantem, a oba její povrchy jsou omítnuty. Tloušťka jednotlivých skladebných vrstev a jejich charakteristiky jsou uvedeny v tabulce Tab. 8.

Tab. 8 Skladba lehké stěny

Sádrokartonová stěna	Tloušťka [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	ρ [kg·m ⁻³]	c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
Omítka	0,002	0,880	1600	840
Sádrokarton	0,0125	0,220	750	1060
Izolace	0,120			
Sádrokarton	0,0125	0,220	750	1060
Omítka	0,002	0,880	1600	840

Těžkou stěnou je označována konstrukce, jejíž nosnou část plní zdivo z cihly plně pálené. Tato stěna se skládá z již zmíněného zdiva, dále izolantu, který je ke zdi přiklopen dřevovláknitou deskou. Oba povrchy této stěny jsou opět omítnuty. Tloušťka jednotlivých skladebných vrstev a jejich charakteristiky jsou uvedeny v tabulce Tab. 9.

Tab. 9 Skladba těžké stěny

Stěna se zdivem z CPP	Tloušťka [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	ρ [kg·m ⁻³]	c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
Omítka	0,01	0,880	1600	840
Zdivo z CPP	0,150	0,800	1800	900
Izolace	0,120			
Dřevovláknitá deska	0,030	0,044	210	2100
Omítka	0,01	0,880	1600	840

Jak už bylo zmíněno výše, v navržených stěnách se bude obměňovat tepelný izolant. Jako referenční tepelný izolant bude použita poměrně často používaná tepelná izolace z čedičové minerální vaty. Postupně se bude vyměňovat za izolace z konopí, slámy, ovčí vlny, dřevní hmoty a pro porovnání také z pěnového polystyrenu. Pro výpočet budou použity přírodní materiály, které byly popsány v teoretické části. Charakteristiky jednotlivých izolantů jsou shrnuty v následující tabulce Tab. 10.

Tab. 10 Výčet izolantů a jejich charakteristiky

Izolant	c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	ρ [kg·m ⁻³]	Poznámka (výrobce, název,...)
Čedičová minerální vata	1150	0,034	75	isover
Konopí	1600	0,040	36	CANABEST PLUS
Sláma	2000	0,099	379	Ekopanel 60
Ovčí vlna	1800	0,044	10	Naturwool A 500
Dřevovláknitá deska	2100	0,044	210	Hofatex
Pěnový polystyren	1270	0,037	15	Isover

8 Princip výpočtu

Použitý výpočetní program využívá k výpočtení součinitele prostupu tepla následující vzorec:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}},$$

kde:

U ...součinitel prostupu tepla [W·m⁻²·K⁻¹],

R_{si} ... odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [m²·K·W⁻¹],

R_{se} ... odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [m²·K·W⁻¹],

d_i ...tloušťka vrstvy konstrukce [m],

λ_i ...součinitel tepelné vodivosti vrstvy konstrukce [W·m⁻¹·K⁻¹].

Pro výpočet fázového posunu je využito těchto pravidel a na sebe navazujících vzorců:

$$s_0 = h_i; U_0 = 1 + 0 \cdot i; V_0 = \frac{1 - i}{\sqrt{2}}$$

$$s_i = \sqrt{\frac{2\pi}{24 \cdot 3600} \cdot \lambda_i \cdot \rho_i \cdot c_i},$$

$$D_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \cdot s_i \cdot \frac{1+i}{\sqrt{2}},$$

$$V_i = \frac{s_{i-1}}{s_i} \cdot V_{i-1} \cdot \cosh(D_i) + U_{i-1} \cdot \sinh(D_i),$$

$$U_i = \frac{s_{i-1}}{s_i} \cdot V_{i-1} \cdot \sinh(D_i) + U_{i-1} \cdot \cosh(D_i),$$

$$\theta_n = \frac{s_n}{h_e} \cdot \frac{1+i}{\sqrt{2}} \cdot V_n + U_n,$$

$$\psi = \frac{24}{2\pi} \cdot \arctg\left(\frac{b}{a}\right) + k \cdot 12$$

kde:

ψ ...fázový posun teplotní vlny [hod],

a, b ... číselně vyjádřené členy v rovnici θ_n ,

k ...konstanta závislá na poloze a, b : $k = 0 \rightarrow a, b$ v 1. kvadrantu,

$k = 1 \rightarrow a, b$ ve 2. 3. kvadrantu,

$k = 2 \rightarrow a, b$ ve 4. kvadrantu,

d_i ... tloušťka vrstvy i [m],

c ... měrná tepelná kapacita materiálu ve vrstvě i [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

ρ_i ...objemová hmotnost materiálu ve vrstvě i [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

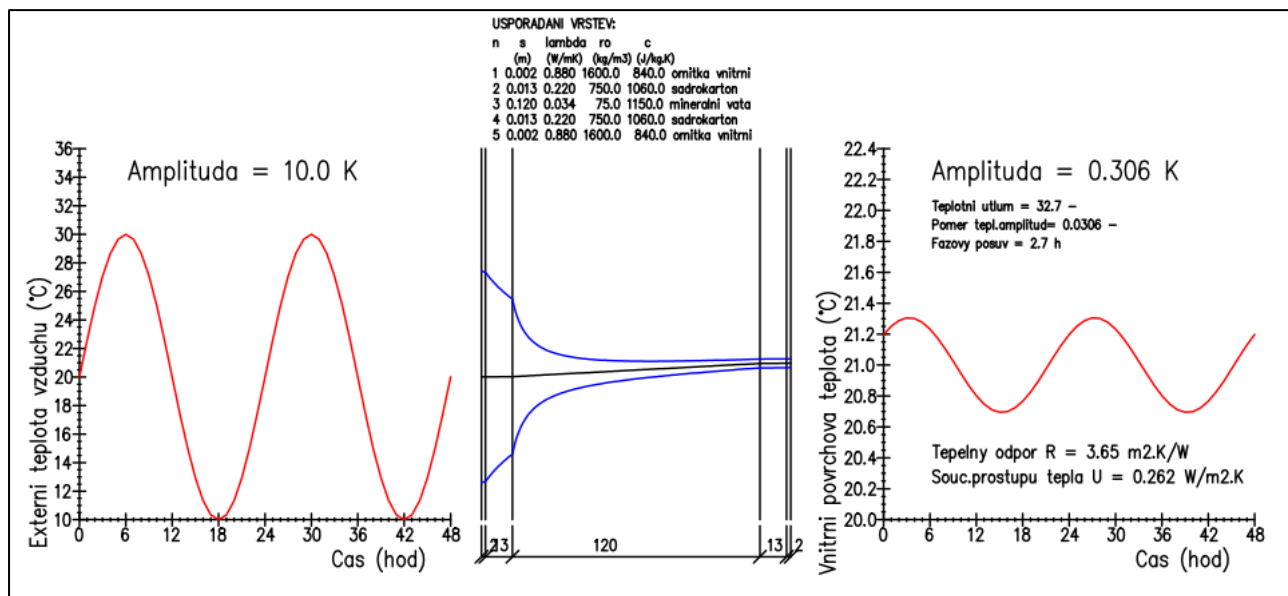
λ_i ...součinitel tepelné vodivosti materiálu ve vrstvě i [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

9 Vyhodnocení

9.1 Čedičová minerální vata

Lehká stěna:

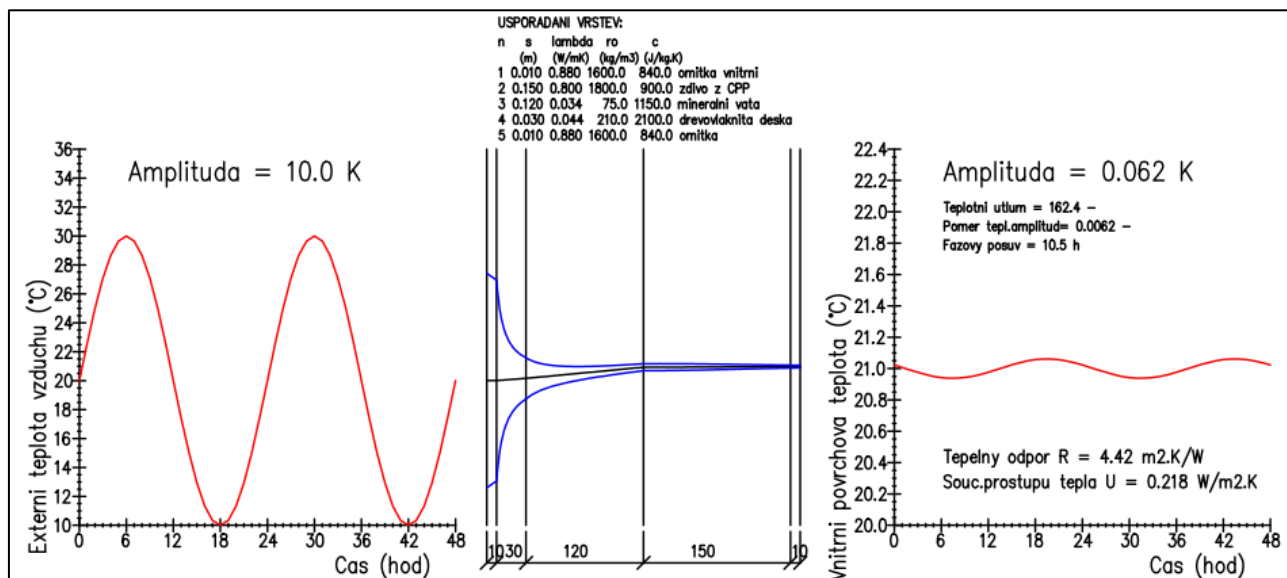
Graf 1: Tepelné chování lehké stěny s minerální vatou



U lehké stěny s minerální vatou použitou jako tepelný izolant činí součinitel prostupu tepla U $0,262 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ a dochází k fázovému posuvu teplotní vlny o 2,7 hodiny.

Těžká stěna:

Graf 2: Tepelné chování těžké stěny s minerální vatou

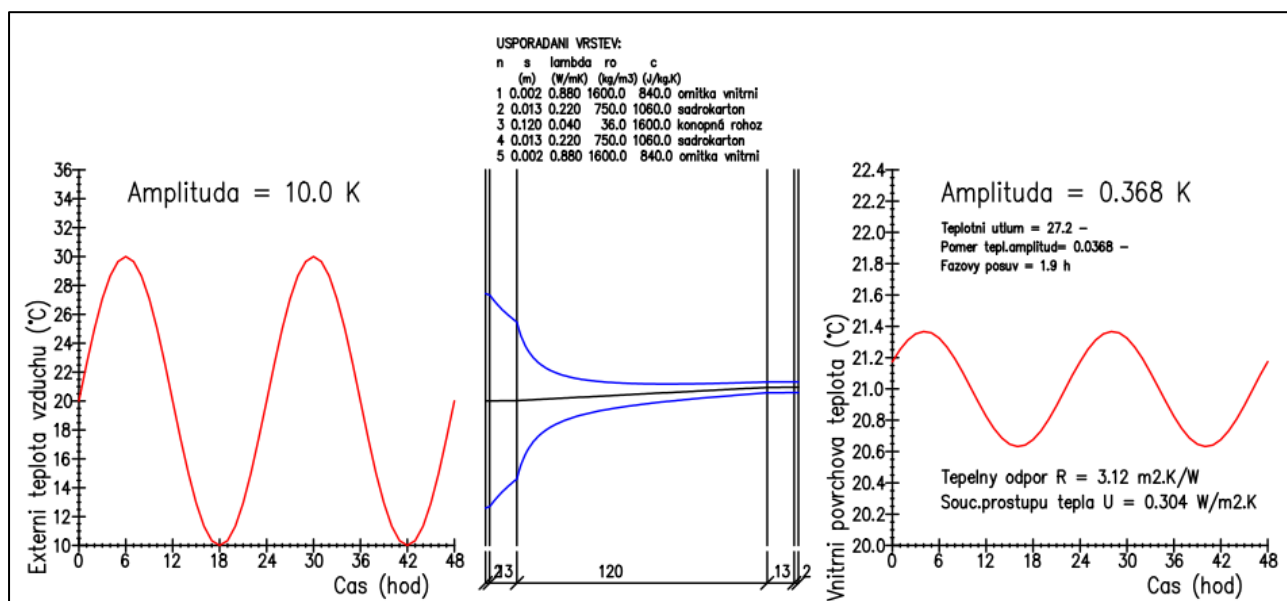


Součinitel prostupu tepla těžké stěny s minerální vatou použitou jako izolant má hodnotu $0,218 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ a maximum teplotní vlny je posunuto o 10,5 hodiny.

9.2 Konopná rohož

Lehká stěna:

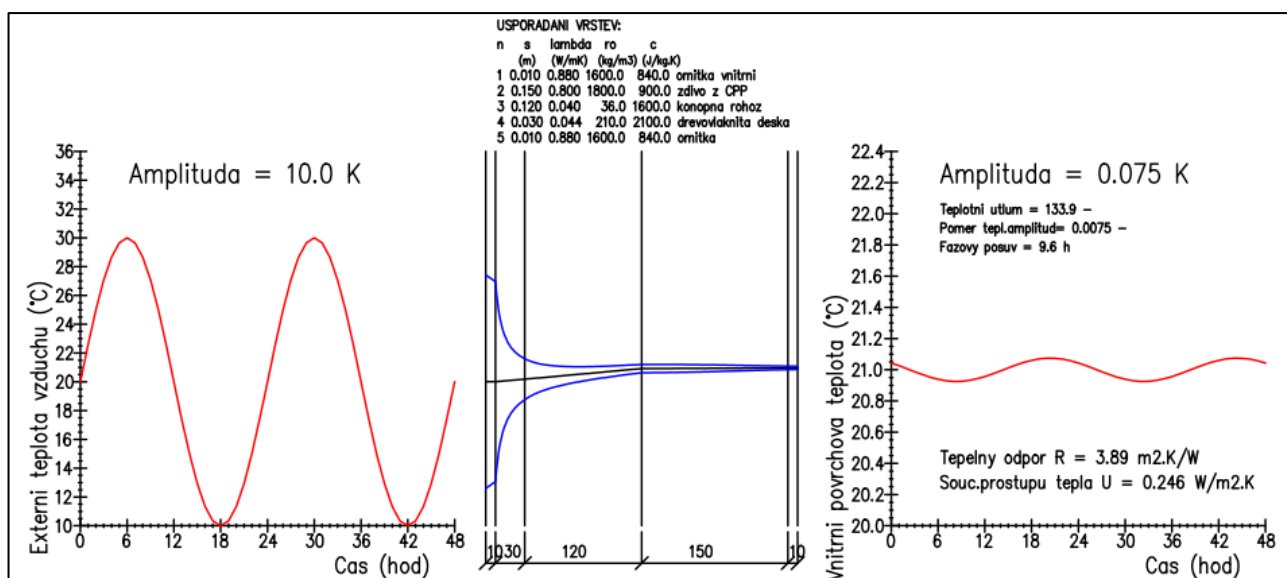
Graf 3: Tepelné chování lehké stěny s konopnou rohoží



Lehká stěna s konopnou rohoží má součinitel prostupu tepla U $0,304 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ a fázový posun teplotní vlny je 1,9 hodiny.

Těžká stěna:

Graf 4: Tepelné chování těžké stěny s konopnou rohoží

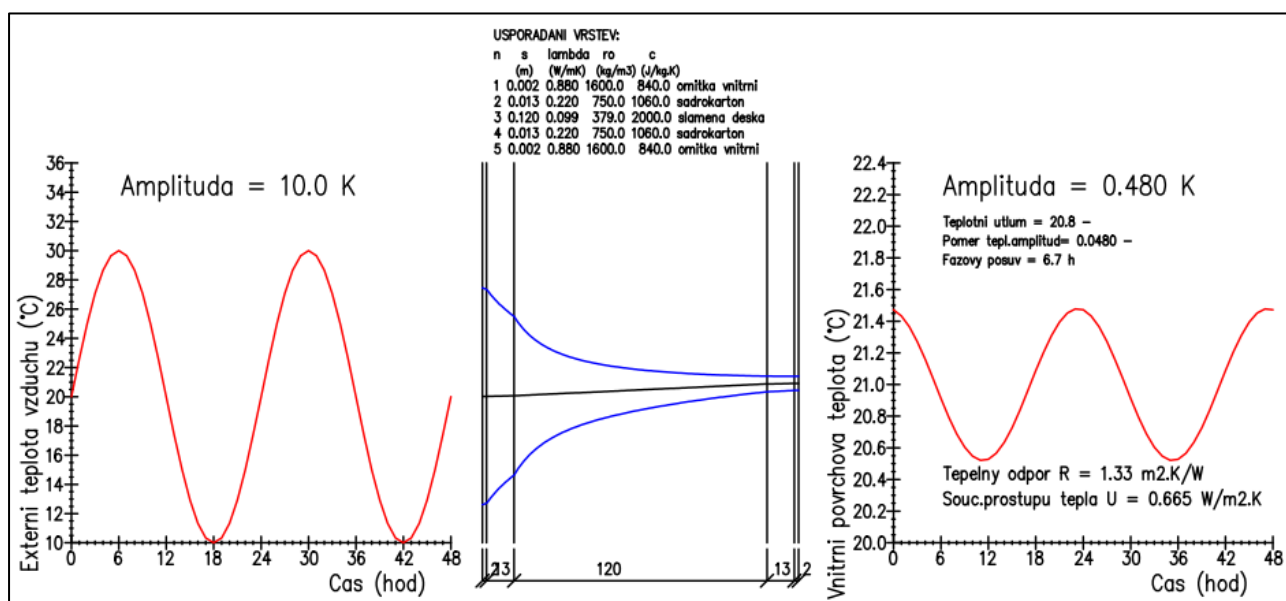


U těžké stěny s izolantem z konopné rohože je hodnota součinitele prostupu tepla $0,246 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ a dochází k fázovému posunu o 9,6 hodiny.

9.3 Slaměná deska

Lehká stěna:

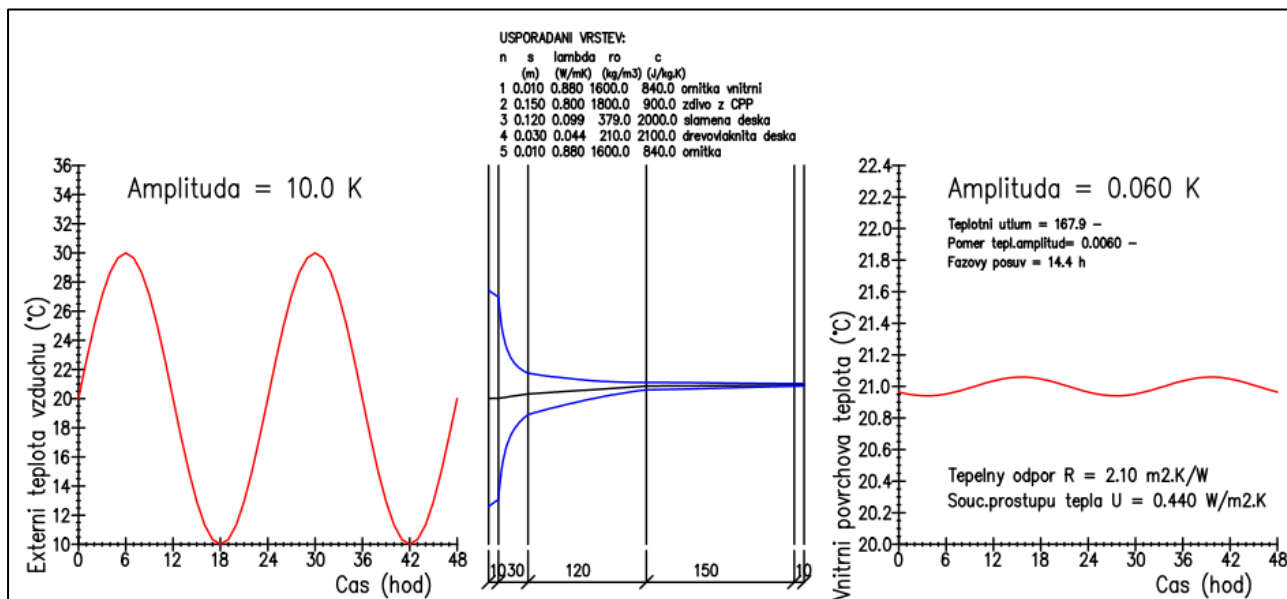
Graf 5: Tepelné chování lehké stěny se slaměnou deskou



U lehké stěny se slaměnou deskou je součinitel prostupu tepla U $0,665 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ a dochází k fázovému posunu teplotní vlny o 6,7 hodiny.

Těžká stěna:

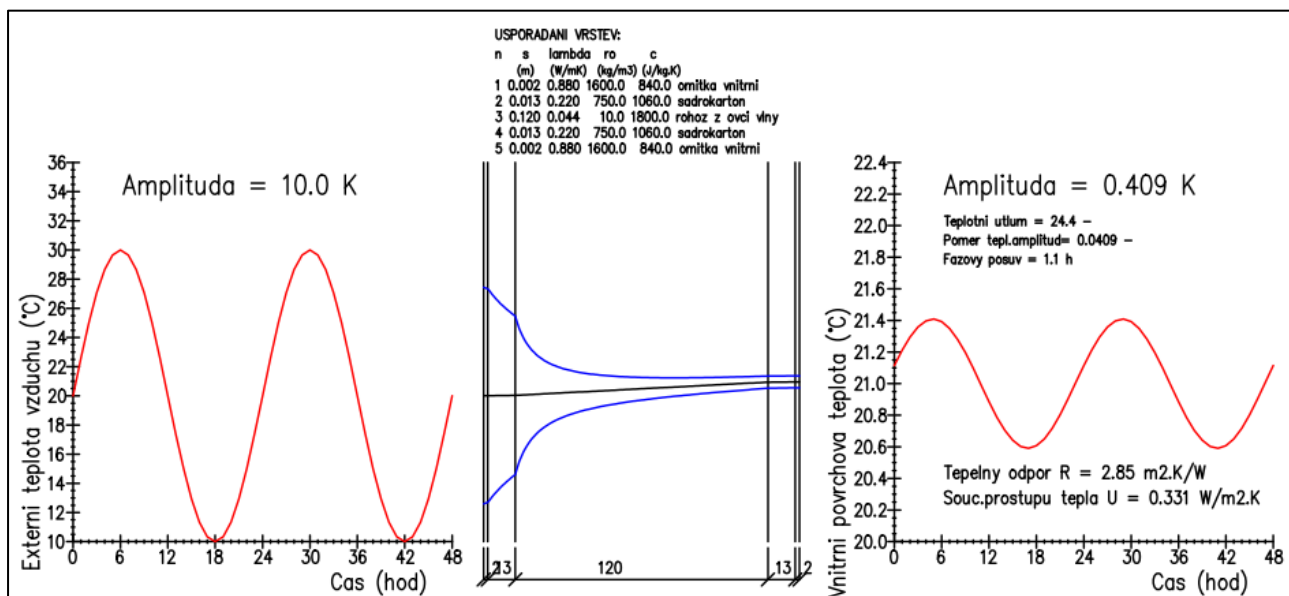
Graf 6: Tepelné chování těžké stěny se slaměnou deskou



Součinitel prostupu tepla těžké stěny se slaměnou deskou disponuje hodnotou $0,440 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ a maximum teplotní vlny je v tomto případě posunuto o 14,4 hodiny.

9.4 Rohož z ovčí vlny

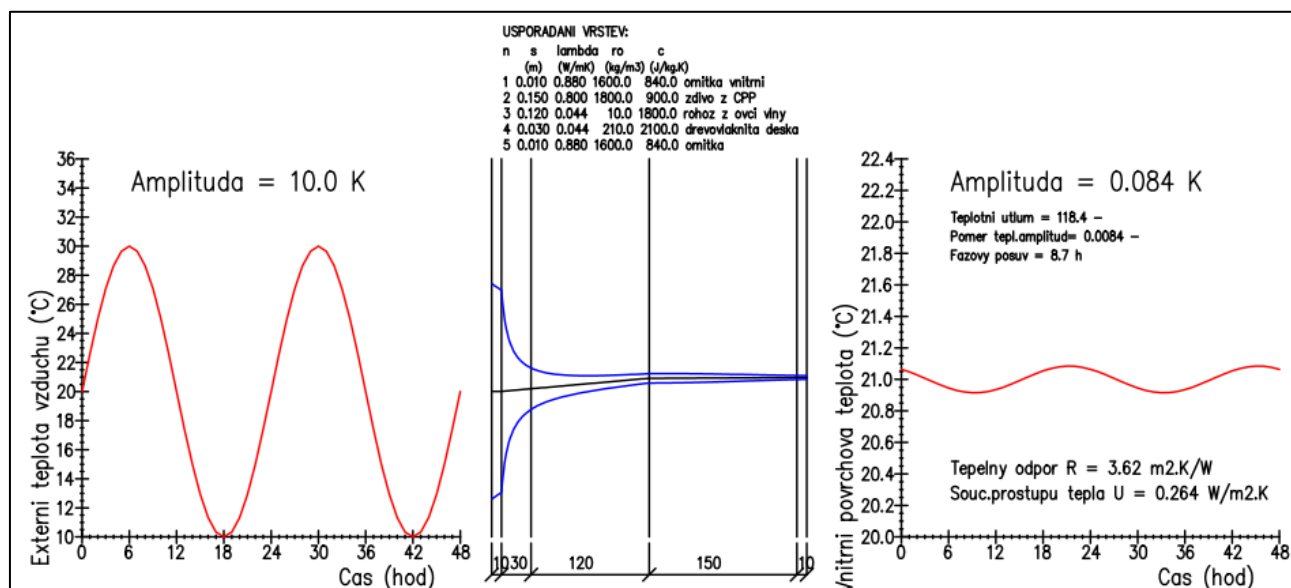
Graf 7: Tepelné chování lehké stěny s rohoží z ovčí vlny



Lehká stěna s rohoží z ovčí vlny disponuje hodnotou součinitele prostupu tepla $U 0,331 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ a fázovým posunem teplotní vlny o 1,1 hodiny.

Těžká stěna:

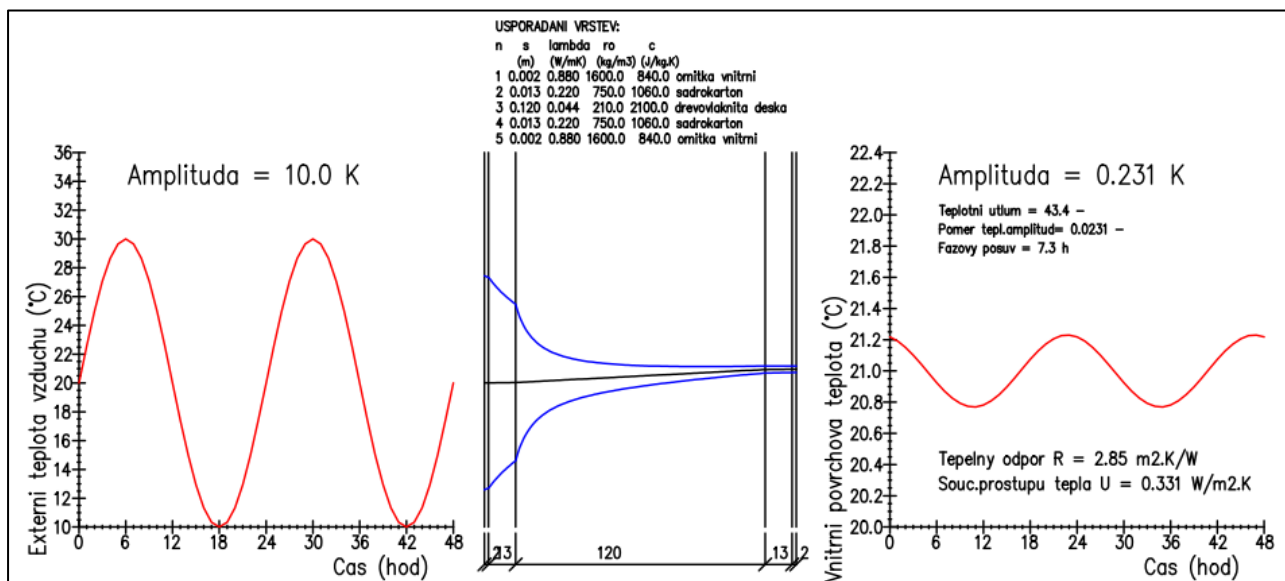
Graf 8: Tepelné chování těžké stěny s rohoží z ovčí vlny



Těžká stěna s rohoží z ovčí vlny použité jako izolant vykazuje hodnotu součinitele prostupu tepla $U 0,264 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ a fázový posun v tomto případě činí 8,7 hodiny.

9.5 Dřevovláknitá deska

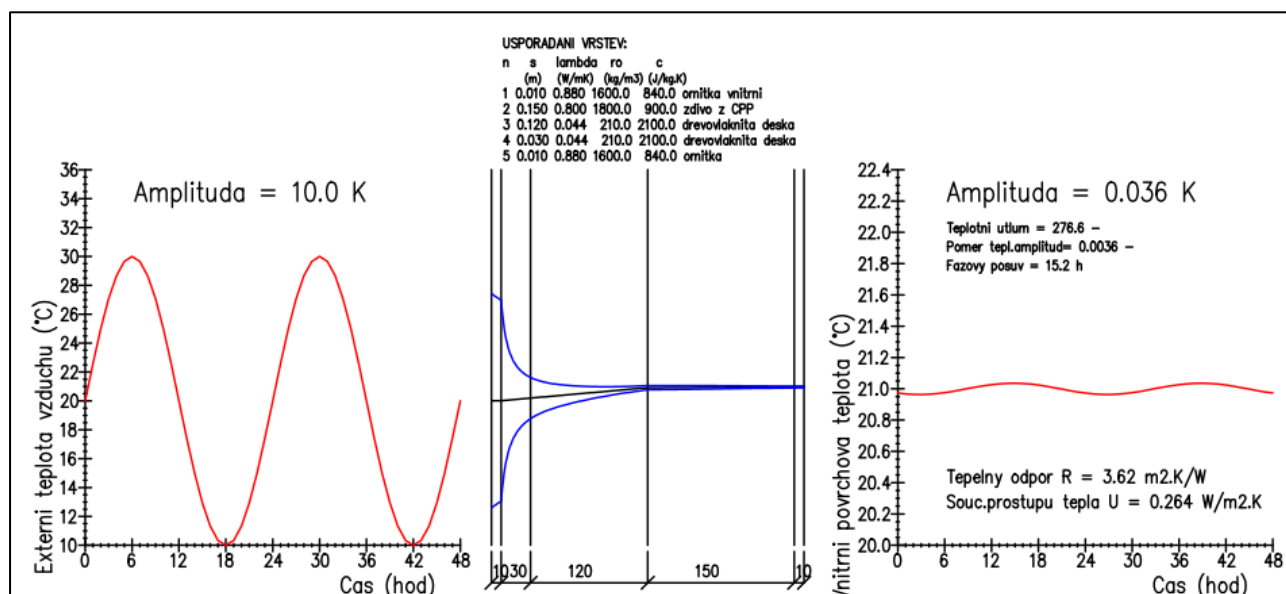
Graf 9: Tepelné chování lehké stěny s dřevovláknitou deskou



U lehké stěny, kde bylo použito jako izolace dřevovláknité desky, činí součinitel prostupu tepla U 0,331 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a dochází k fázovému posunu teplotní vlny o 7,3 hodiny.

Těžká stěna:

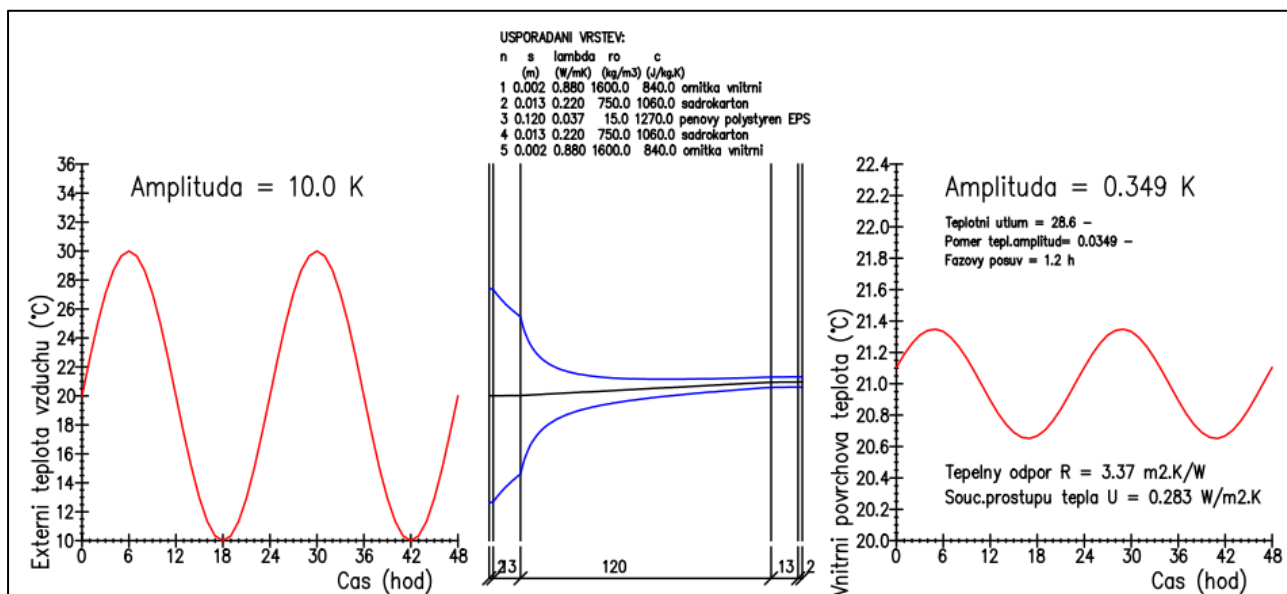
Graf 10: Tepelné chování těžké stěny s dřevovláknitou deskou



Součinitel prostupu tepla těžké stěny s dřevovláknitou deskou vykazuje hodnotu 0,264 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a maximum teplotní vlny je posunuta o 15,2 hodin.

9.6 Deska z pěnového polystyrenu

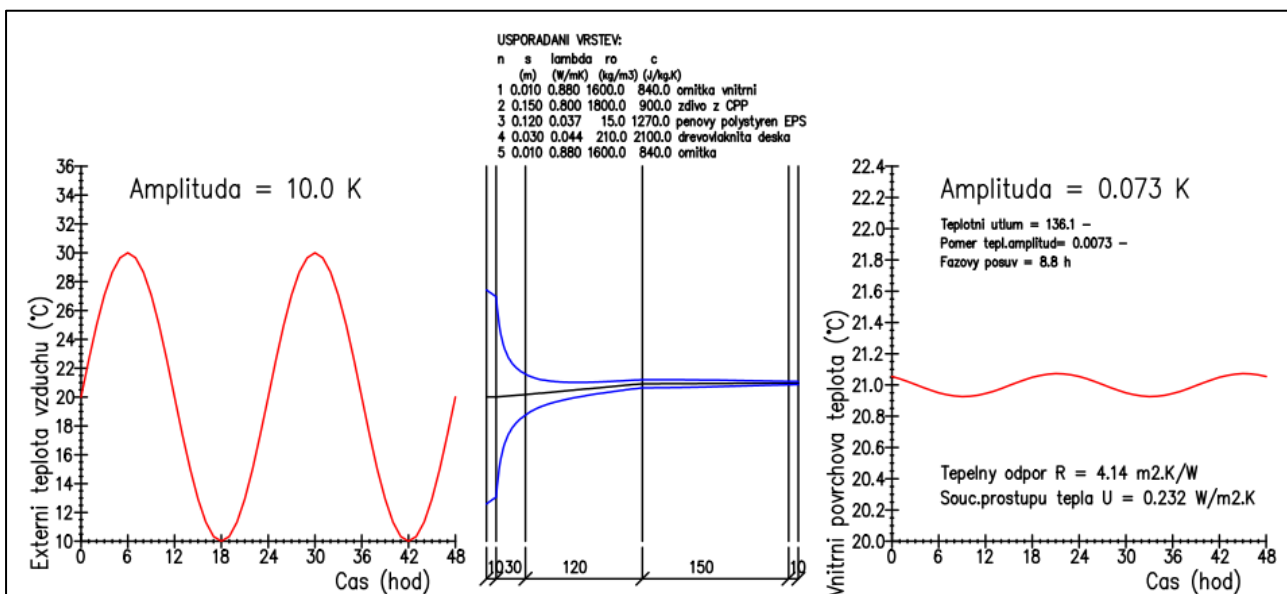
Graf 11: Tepelné chování lehké stěny s deskou z polystyrenu



U lehké stěny s tepelným izolantem z pěnového polystyrenu činí součinitel prostupu tepla U 0,283 W·m⁻²·K⁻¹ a fázový posun teplotní vlny je v tomto případě 1,2 hodiny.

Těžká stěna:

Graf 12: Tepelné chování těžké stěny s deskou z polystyrenu



U těžké stěny s pěnovým polystyrenem je hodnota součinitele prostupu tepla U 0,232 W·m⁻²·K⁻¹ a maximum teplotní vlny je v tomto případě posunuto o 8,8 hodiny.

9.7 Porovnání výsledků

Tab. 11 Porovnání vypočítaných hodnot

Izolant	Lehká stěna		Těžká stěna	
	U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Fázový posun [hodin]	U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Fázový posun [hodin]
Minerální vata	0,262	2,7	0,218	10,5
Konopná rohož	0,304	1,9	0,246	9,6
Slaměná deska	0,665	6,7	0,440	14,4
Rohož z ovčí vlny	0,331	1,1	0,264	8,7
Dřevovláknitá deska	0,331	7,3	0,264	15,2
Polystyrenová deska	0,283	1,2	0,232	8,8

10 Diskuze zjištěných vlastností posuzovaných stěn

Z vypočítaných hodnot, které jsou uvedeny v tabulce Tab. 11, je zřejmé, že lepší vlastnosti vykazuje stěna, kterou jsme nazvali jako stěnu těžkou. To je způsobeno tím, že vrstva cihelného zdiva a dřevovláknitá deska použitá u těžké stěny k přiklopení tepelného izolantu disponuje lepšími tepelně izolačními vlastnostmi, než poměrně tenká vrstva sádkokartonu u lehké stěny. Také díky lepším součinitelům tepelných kapacit u základních vrstev těžké stěny vykazuje tato stěna příhodnější fázové posuny oproti stěně lehké.

Hodnoty součinitele prostupu tepla u stěn s minerální vatou, která byla brána jako referenční izolace, byly $U = 0,262 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ u lehké stěny a $U = 0,218 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ u stěny těžké. Fázový posun u lehké stěny činil 2,7 hodiny a 10,5 hodiny u těžké stěny.

Vůbec nejlepší hodnoty součinitelů prostupu tepla vykazovaly stěny při použití minerální vaty. Ovšem dobrých hodnot bylo dosaženo také při použití pěnového polystyrenu $U = 0,283 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ pro lehkou stěnu a $U = 0,232 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ pro těžkou stěnu a také při použití konopné rohože, kdy u lehké stěny bylo $U = 0,304 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ a u těžké stěny bylo $U = 0,246 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Stejných hodnot bylo dosaženo při použití rohože z ovčí vlny a při použití dřevovláknité desky, a to $U = 0,331 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ pro lehkou stěnu a $U = 0,264 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Nejhorší součinitele prostupu tepla dosahovaly stěny se slaměnou deskou s $U = 0,665 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ pro lehkou stěnu a $U = 0,440 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ pro stěnu těžkou.

Mnohem zajímavější výsledky se vyskytují u fázových posunů teplotních vln. Tyto posuny činily pro referenční stěny s minerální vatou 2,7 hodin u lehké stěny a 10,5 hodiny u těžké stěny. Zatímco stěna s minerální vatou vykazovala nejlepší součinitele prostupu tepla, tak u fázových posunů to neplatí.

Velmi dobré výsledky vykazují stěny se slaměnou deskou. Zatímco při použití tohoto izolačního materiálu vykazovaly stěny nejhorší součinitele prostupu tepla v porovnání s ostatními izolacemi, se svými fázovými posuny 6,7 hodiny u lehké stěny a 14,4 hodiny u stěny těžké patří k nejlepším.

Rovněž velmi dobré hodnoty fázových posunů vykazovaly stěny s dřevovláknitou deskou. Tyto posuny činily u lehké stěny 7,3 hodiny a 15,2 hodiny u těžké stěny. Naprosto opačná situace nastává při použití rohože z ovčí vlny. Zatímco součinitele prostupu tepla měly tyto stěny stejné jako při použití dřevovláknitých desek, fázové posuny v tomto případě vykazují hodnoty 1,1 hodiny u lehké stěny a 8,7 hodiny u těžké stěny, což jsou nejhorší hodnoty fázových posunů.

Velmi špatnými hodnotami fázových posunů disponují také stěny s pěnovým polystyrenem. V tomto případě se jedná o posuny s hodnotami 1,2 hodiny pro lehkou stěnu a 8,8 hodiny pro těžkou stěnu, což jsou jen mírně lepší hodnoty než v případě rohože z ovčí vlny. Za očekáváním zůstaly také stěny s konopnou rohoží, jejichž fázové posuny činily u lehké stěny 1,9 hodiny a 9,6 hodiny u stěny těžké.

Obecně se dá říct, že největší vliv na součinitel prostupu tepla má součinitel tepelné vodivosti izolačního materiálu, zatímco fázový posun teplotní vlny nejvíce ovlivňuje měrná tepelná kapacita v kombinaci s objemovou hmotností tepelně izolačního materiálu. Tyto materiálové charakteristiky ovlivňující zkoumané vlastnosti konstrukcí se u jednotlivých materiálů vyskytují v různých poměrech, a proto dochází k takovým odchylkám vlivu tepelně izolačního materiálu na vlastnosti zkoumaných. Toto nejlépe vystihuje porovnání vlivu rohože z ovčí vlny a dřevovláknité desky, kdy součinitel

prostupu tepla byl při jejich použití v konstrukcích stěn stejný, ovšem hodnoty fázového posunu se výrazně lišily.

Při porovnání zjištěných výsledků se nedá jednoznačně říct, zda je náhrada klasických tepelných izolací za izolace na přírodní bázi vhodná, ale je nutno specifikovat preferovanou funkci tepelného izolantu. Z výsledků je zřejmé, že klasické izolace, jako jsou minerální vata nebo pěnový polystyren, mají lepší vliv na součinitel prostupu tepla, zatímco na fázový posun teplotní vlny mají lepší vliv izolace z přírodních materiálů a to zejména na bázi slámy a dřeva. V této souvislosti je také nutno uvést, že zatímco klasické tepelně izolační materiály mají za sebou poměrně dlouhý vývoj a ve svých počátcích nevykazovaly zdaleka takové vlastnosti, jakých dosahují dnes, tak tepelné izolace na přírodní bázi, v podobě v jaké je známe dnes, neprošly dostatečně dlouhým vývojem, aby dosahovaly takových tepelně izolačních vlastností jako izolace umělé. Proto není vhodné tyto druhy izolací zavrhnout, ale naopak věnovat se jejich dalšímu zdokonalování.

Největšími problémy, které zatím brání masovějšímu používání tepelných izolací na přírodní bázi, jsou zejména horší tepelně izolační vlastnosti oproti klasickým tepelným izolacím. Dále jsou to riziko vzniku plísní, vyšší hořlavost a možnost napadení škůdci při špatném provedení.

Vzhledem k předpokládanému zlepšování vlastností tepelných izolantů na bázi přírodních vláken se dá rovněž předpokládat jejich častější využívání. Dalším faktorem, který může pozitivně ovlivnit používání těchto materiálů, je ekologické smýšlení společnosti, která se poslední dobou stále více zaměřuje na využívání obnovitelných zdrojů a materiálů šetrných k přírodě.

Závěr

V první části této bakalářské práce byly shrnuty druhy tepelných izolací, popsány faktory, které ovlivňují vlastnosti těchto stavebních materiálů, vypsány a rozvinuty požadavky na ně kladené a také byly uvedeny přírodní suroviny, ze kterých je možné tepelné izolace vyrábět. Dále byly podrobněji popsány vlastnosti a možnost použití tepelných izolantů vyrobených z těchto surovin a rovněž byl uveden příklad tepelného izolantu vyrobeného z těchto surovin a dostupného na českém trhu včetně jeho technických parametrů udávaných výrobcem.

V druhé části bakalářské práce bylo pomocí výpočetního programu zjišťováno tepelné chování lehké a těžké stěny definovaných v praktické části při použití různých tepelných izolantů. Konkrétně se jednalo o součinitel prostupu tepla a fázový posun teplotní vlny stěny. Jako tepelný izolant stěn byly použity rohož z minerální vaty, konopná rohož, slaměná deska, rohož z ovčí vlny, dřevovláknitá deska a deska z pěnového polystyrenu.

Nejnižší součinitele prostupu tepla vykazovaly stěny s minerální vatou a stěny s pěnovým polystyrenem. Konkrétně se jednalo o hodnoty $U = 0,262 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ u lehké stěny a $U = 0,218 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ u stěny těžké s minerální vatou a $U = 0,283 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ pro lehkou stěnu a $U = 0,232 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ pro těžkou stěnu s pěnovým polystyrenem. Naopak nejhoršími součiniteli prostupu tepla disponovaly stěny se slaměnou deskou a to s hodnotami $U = 0,665 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ pro lehkou stěnu a $U = 0,440 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ pro stěnu těžkou.

Naprosto odlišná situace nastala v případě porovnávání fázového posunu teplotních vln. V tomto případě se nejpriznivějšími hodnotami mohou pyšnit stěny se slaměnou a dřevovláknitou deskou. U stěn se slaměnou deskou se jednalo o fázový posun 6,7 hodiny pro lehkou a 14,4 hodiny pro těžkou stěnu. Fázové posuny pro stěny s dřevovláknitou deskou nabývaly hodnot 7,3 hodiny pro lehkou a 15,2 hodiny pro těžkou. Naopak k nejhorším fázovým posunům přispělo použití rohože z ovčí vlny a polystyrenové desky, kdy se tyto hodnoty pohybovaly v rozmezí 1,1 – 1,2 hodiny u lehké stěny a 8,7 – 8,8 hodiny u stěny těžké.

Z těchto výsledků se došlo k závěru, že nelze vždy jednoznačně říct, zda je z technického hlediska vhodná náhrada klasických tepelných izolantů za izolanty na

přírodní bázi, ale je nutno specifikovat preferovanou funkci konstrukce. Také se prokázalo, že umělé tepelné izolanty mají lepší tepelně izolační vlastnosti než přírodní izolanty, ovšem tento rozdíl se může v budoucnu z důvodu dalšího vývoje přírodních izolací zmenšovat.

Přes všechny nedostatky, kterými jsou tepelné izolace na přírodní bázi zatíženy, mohou v budoucnu hrát ve stavebnictví významnou roli a to především z důvodu stále sílící náklonnosti společnosti k využívání obnovitelných zdrojů a používání materiálů šetrných k životnímu prostředí.

Použitá literatura

- [1] Halahyja, M., *Stavebná tepelná technika: tepelná ochrana budov*, Jaga group Bratislava 1998
- [2] <http://www.izolace-info.cz/technicke-informace/nazvoslovi-tepelnych-informaci/>, cit. 24. 3. 2017
- [3] <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/311-soucinitel-tepelne-vodivosti>, cit. 24. 3. 2017
- [4] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/643-kapilarita>, cit. 28. 3. 2017
- [5] <http://www.dokaizol.cz/aktuality/jak-muze-vlhkost-cestovat-stavebni-konstrukci-9>, cit. 28. 3. 2017
- [6] Přednáška Materiály pro tepelné izolace dostupná z:
[http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/IZMA/prednaskaVIII_IZMA\(1\).pdf](http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/IZMA/prednaskaVIII_IZMA(1).pdf), cit. 2. 4. 2017
- [7] ČSN 73 0540-2:2011, Tepelná ochrana budov, část 2: Požadavky na stavební konstrukce, ÚNMZ Praha 2011
- [8] <http://www.izolace-info.cz/technicke-informace/fyzikalni-veliciny/?nid=9527-paropropustnost-difuze-a-kondenzace-vodni-pary-i-cast.html#.WJCojVPhDIU>, cit. 2. 4. 2017
- [9] http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_114__neprzvunost.html, cit. 5. 4. 2017
- [10] CHYBÍK, Josef. *Přírodní stavební materiály*. Praha: Grada Publishing, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [11] <http://www.hobra-hofatex.cz/produkty/steny/hofatex-system>, cit. 14. 4. 2017
- [12] <https://dekwood.cz/produkty/steico>, cit. 14. 4. 2017
- [13] <http://www.konopna-izolace.cz/vyrobky/>, cit. 17. 4. 2017
- [14] <http://ekooko.cz/lnena-izolace/>, cit. 17. 4. 2017

- [15] <https://www.naturwool.cz/izolace-z-ovci-vlny/a500-naturwool/>, cit. 23. 4. 2017
- [16] <http://www.isolena.cz/produkty/isolena-block/>, cit. 22. 4. 2017
- [17] <http://www.ekopanely.cz/sluzby-a-produkty/ekopanely/technicke-parametry/>, cit. 25. 4. 2017
- [18] <http://www.prirodnistavba.cz/ekologicka-jutova-izolace-thermo-jute-30x580x1200-mm-7458.html>, cit. 25. 4. 2017
- [19] <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/8482-vlastnosti-expandovaneho-penoveho-polystyrenu-eps>, cit. 29. 4. 2017
- [20] <http://www.izolace-info.cz/technicke-informace/fyzikalni-veliciny/?nid=9174-soucinitel-teplotni-vodivosti-fyzikalni-veliciny-u-tepelne-ochrany-budov.html#.WRHONvnyjIU>, cit. 29. 4. 2017
- [21] http://www.izolace-info.cz/aktuality/?nid=9111-tridy-reakce-na-ohen-u-stavebnich-materialu.html#.WRLg9_mLTIU, cit. 30. 4. 2017
- [22] <http://www.hobra-hofatex.cz/produkty/strechy/hofatex-kombi>, cit. 5. 5. 2017
- [23] <http://ekooko.cz/shop/lnena-izolace-rohoze/>, cit. 5. 5. 2017
- [24] <http://korek24.cz/korkove-desky/30-korkova-deska-5mm.html>, cit. 5. 5. 2017
- [25] <http://www.prirodnistavba.cz/rakosova-rohoz-50x1000x2000-mm-2741.html>, cit. 5. 5. 2017
- [26] <http://www.ekopanely.cz/>, cit. 5. 5. 2017
- [27] <http://www.mygreenshield.com/batt-insulation>, cit. 5. 5. 2017
- [28] <http://www.prirodnistavba.cz/ekologicka-jutova-izolace-thermo-jute-30x580x1200-mm-7458.html#>, cit. 5. 5. 2017
- [29] <http://www.naseinfo.cz/stavby-a-stavebnictvi/horni-stavba/tepelne-izolace/jake-druhy-prirodnich-izolacnich-materialu-pouzit-na-zatepleni-a-izolaci-domu>, cit. 7. 5. 2017

Seznam obrázků

Obr. 1: Závislost součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti u EPS [19]	13
Obr. 2: Závislost součinitele tepelné vodivosti na teplotě [19]	14
Obr. 3: Závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti [19]	15
Obr. 4: Fotografie desky Hofatex [22].....	23
Obr. 5: Fotografie desky z konopí [13].....	24
Obr. 7: Fotografie rohože z ovčí vlny [15]	27
Obr. 8: Fotografie korkové desky [24]	28
Obr. 9: Fotografie rákosové rohože [25]	29
Obr. 10: Fotografie Ekopanelu ze slámy [26].....	30
Obr. 11: Fotografie rohože z bavlny [27]	31
Obr. 12: Izolace z juty [28]	32
Obr. 13: Izolace z kokosových vláken [29]	32

Seznam tabulek

Tab. 1 Vlastnosti vybraných dřevovláknitých desek [11], [12].....	23
Tab. 2 Vlastnosti konopných rohoží CANABEST PLUS [13]	25
Tab. 3 Vlastnosti lněných izolací [14]	26
Tab. 4 Vlastnosti izolací z ovčí vlny [15], [16]	27
Tab. 5 Vlastnosti izolací z korku [10].....	28
Tab. 6 Vlastnosti izolací ze slámy [17].....	31
Tab. 7 Porovnání vlastností přírodních tepelných izolací [10], [11], [13], [14], [15], [17]	33
Tab. 8 Skladba lehké stěny	35
Tab. 9 Skladba těžké stěny	35
Tab. 10 Výčet izolantů a jejich charakteristiky	36
Tab. 11 Porovnání vypočítaných hodnot	44

Seznam grafů

Graf 1: Tepelné chování lehké stěny s minerální vatou.....	38
Graf 2: Tepelné chování těžké stěny s minerální vatou.....	38
Graf 3: Tepelné chování lehké stěny s konopnou rohoží.....	39
Graf 4: Tepelné chování těžké stěny s konopnou rohoží.....	39
Graf 5: Tepelné chování lehké stěny se slaměnou deskou	40
Graf 6: Tepelné chování těžké stěny se slaměnou deskou.....	40
Graf 7: Tepelné chování lehké stěny s rohoží z ovčí vlny.....	41
Graf 8: Tepelné chování těžké stěny s rohoží z ovčí vlny	41
Graf 9: Tepelné chování lehké stěny s dřevovláknitou deskou	42
Graf 10: Tepelné chování těžké stěny s dřevovláknitou deskou	42
Graf 11: Tepelné chování lehké stěny s deskou z polystyrenu.....	43
Graf 12: Tepelné chování těžké stěny s deskou z polystyrenu	43

Seznam použitých zkratk

Tab. ...tabulka

cit. ...citováno