

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**



**Tepelně-technické vyhodnocení a optimalizace skladby  
podlahy s využitím stříkané PUR izolace.**

Diplomová práce

**Autor: Bc. Martin Kajaba**

**Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Petr Horáček**

2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Kajaba

Dřevařské inženýrství

Název práce

**Tepelně-technické vyhodnocení a optimalizace skladby podlahy s využitím stříkané PUR izolace.**

Název anglicky

**Thermal-technical evaluation and optimization of the floor, using sprayed polyurethane insulation foam.**

---

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je návrh podlahového systému sloupkové dřevostavby založené nad terénem s tepelnou izolací na bázi stříkané PUR pěny a stanovení tepelně-technických vlastností této konstrukce v porovnání s konvenčním systémem podlah z využitím crawl space.

### Metodika

Práce bude zpracována v následující struktuře:

- 1) Úvod do problematiky se zahrnutím cca 20-ti referencí
- 2) Formulování cílů práce a případně hypotéz
- 3) Sestavení metodiky experimentální části práce
- 4) Experimentální část – využití modelování tepelně vlhkostních toků v navrženém řešení  
- laboratorní stanovení tepelné vodivosti pomocí teplé desky a teplé skříně
- 5) Shrnutí výsledků a diskuze (porovnání výsledků s dostupnými referencemi)
- 6) Závěr

## Doporučený rozsah práce

50-60 stran včetně strany titulní a příloh

## Klíčová slova

crawl space, podlahová konstrukce dřevostavby, tepelná vodivost PUR pěny, difuze vodních par

---

## Doporučené zdroje informací

ČSN EN ISO 6946. Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda

ČSN 73 0540. Tepelná ochrana budov. Část 1-4

Dřevěné konstrukce podle eurokódu 5. Vyd. 1. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004, 401 s. ISBN 80-867-6913-5

Francesco Asdrubali, Francesco D'Alessandro, Samuele Schiavoni, A review of unconventional sustainable building insulation materials, Sustainable Materials and Technologies, Volume 4, 2015, ISSN 2214-9937

CHMÚRNÝ, I. Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Bratislava, Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3

KOLB, Josef. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. 2., aktualiz. vyd. v České republice. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2011, 317 s. ISBN 978-80-247-4071-3

KOLDINSKÁ, K. – ŠTEFKO, M. Sociální reformy ve střední Evropě – cesta k novému modelu sociálního státu?. Praha: Auditorium, 2011. ISBN 978-80-87284-14-8

KUKLÍK, P. – REINPRECHT, L. – ŠTEFKO, J. – BRAUNŠTEINOVÁ, Z. Dřevěné stavby : konstrukce, ochrana a údržba. Bratislava: Jaga, 2009. ISBN 978-80-8076-080-9

SCHUNCK, Eberhard. Atlas střech: šikmé střechy. 4. vyd. (nové zpracování). Bratislava: Jaga group, 2003, 449. ISBN 80-889-0558-3

TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 195 s. ISBN 978-80-247-3832-1

---

## Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FLD

## Vedoucí práce

prof. Dr. Ing. Petr Horáček

## Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 23. 4. 2019

**doc. Ing. Milan Gaff, PhD.**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 23. 4. 2019

**prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.**

Děkan

V Praze dne 23. 04. 2019

---

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Tepelně-technické vyhodnocení a optimalizace skladby podlahy s využitím stříkané PUR izolace.“ Vypracoval samostatně pod vedením prof. Dr. Ing. Petr Horáček a použil jsem prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 11/1998 Sb. O vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 18.4.2019

---

Bc. Martin Kajaba

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Dr. Ing. Petru Horáčkovi za pomoc a příkladné vedení diplomové práce, podporu při zpracování vlastního tématu a pomoc při orientaci ve zvolené problematice.

Dále bych také chtěl poděkovat rodině, partnerce a bratrovi za všeobecnou podporu.

Bc. Martin Kajaba

## Abstrakt

Práce pojednává o návržení konstrukce podlahy s využitím stříkané polyuretanové pěny. Vrstvy navržené skladby jsou: OSB deska, PUR s uzavřenou strukturou buněk, PUR s otevřenou strukturou buněk, OSB deska (ze strany exteriéru do interiérové strany). Tepelně technické vlastnosti navržené skladby jsou určeny z měření v teplé skříni. Vyhodnocení základních charakteristik této konstrukce je dle normy ČSN 73 0540. Konstrukce jsou následně optimalizovány zakomponováním vrstev a změnou tloušťky vrstev izolačních materiálů. Energeticky nejvýhodnější se jeví navržená konstrukce podlahy optimalizovaná o 150 mm vrstvu extrudovaného polystyrenu a 60 mm vrstvy anhydritu.

Klíčová slova: PUR izolace, průlezový prostor, teplá skříň, podlahová konstrukce dřevostavby, tepelná vodivost

## Abstract

The thesis deals with the design of the floor structure using sprayed polyurethane foam. Layers of the proposed composition are: OSB board, PUR closed cell structure, PUR open cell structure, OSB board (from exterior to interior side). The thermal properties of the proposed composition are determined from measurements in a hot-box. The evaluation of the basic characteristics of this structure is according to the standard ČSN 73 0540. The structures are subsequently optimized by adding the layers and changing the thickness of the layers of insulation materials. The most advantageous design is the floor structure optimized by adding 150 mm extruded polystyrene layer and 60 mm anhydrite layer.

Keywords: PUR insulation, crawl space, hot-box, floor structure of wooden buildings, thermal conductance

# Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíle .....	10
3	Literární rešerše.....	11
3.1	Dřevostavby v ČR .....	11
3.2	Zakládání crawl space .....	13
3.2.1	Soklový základ.....	15
3.2.2	Venkovním vzduchem větraný průlezný prostor.....	15
3.2.3	Průlezný prostor větraný vnitřním vzduchem.....	16
3.2.4	Nevětraný průlezová prostor .....	16
3.3	Úvod do tepelně technických vlastností .....	16
3.3.1	Sdílení tepla .....	17
3.3.2	Tepelný odpor.....	19
3.3.3	Objemová hmotnost .....	19
3.3.4	Měrná tepelná kapacita .....	20
3.4	Normové požadavky na konstrukce .....	21
3.5	Tepelná izolace .....	21
3.6	Minerální izolace .....	24
3.6.1	Kamenná izolace .....	24
3.6.2	Skelná izolace .....	26
3.7	Stříkaná izolace .....	27
3.7.1	Pěna s uzavřenou strukturou buněk.....	28
3.7.2	Pěna s otevřenou strukturou buněk.....	29
3.8	Aplikace polyuretanové pěny .....	30
3.9	Ořezávání pěny.....	33

4	Metodika .....	35
4.1	Výroba vzorků .....	35
4.2	Měření veličin .....	40
4.3	Měřicí přístroje .....	41
4.3.1	HOT-BOX .....	41
5	Výsledky.....	45
5.1	Měření vzorků .....	45
5.2	Optimalizace skladby dle tloušťky polystyrenu.....	48
5.3	Optimalizace skladby dle tloušťky PUR pěny.....	55
6	Diskuze .....	62
7	Závěr.....	65
8	Zdroje.....	66



# 1 Úvod

Polyuretanová izolace patří do skupiny stříkaných izolací, které můžeme rozdělit na pěnu s otevřenou strukturou buněk a pěnu s uzavřenou strukturou buněk. PUR pěna se vyrábí smícháním dvou složek – isokyanátu a polyolů. PUR pěna je hojně využívána ve výstavbě sloupkových dřevostaveb. Její hlavní výhodou je minimalizace tepelných mostů v blízkosti nosné konstrukce.

V rámci této práce je využívána teplá skříň k vyhodnocení tepelně technických vlastností navržené konstrukce podlahy sloupkové dřevostavby založené formou průlezného prostoru. Podlaha je složena z vrstev těchto materiálů: OSB deska, PUR pěna s uzavřenou strukturou buněk, PUR pěna s otevřenou strukturou buněk a OSB deska. U takto navržené konstrukce jsou měřeny povrchové teploty a práce vykonaná k udržení konstantní teploty v interiéru. Tato měření vedou ke zjištění a odvození tepelně technických vlastností navržené konstrukce podlahy. Součinitel tepelné vodivosti je určen z hodnot měření v teplé skříni podle Fourierova zákona o vedení tepla. Takto získané hodnoty součinitele tepelné vodivosti jsou porovnány s hodnotou výpočtu, které udává norma ČSN 73 0540.

Zakomponováním dalších vrstev materiálů (EPS, anhydrit) a změnou parametru, tloušťky izolace některé z vrstev skladby, je počítán a vyhodnocován součinitel prostupu tepla pro optimalizovanou konstrukci. Optimalizace je spočítána pro požadované hodnoty, doporučené hodnoty pro pasivní budovy a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla. Pro jednotlivé optimalizované skladby je vytvořena simulace toku energie přes tepelné mosty dané nosnou konstrukcí. Simulováno je také rozložení teplot ve skladbě, což určuje chování nejslabších míst konstrukce z pohledu prostupu tepla. Snižování energetické náročnosti budov je nezbytnou součástí při jejich navrhování.

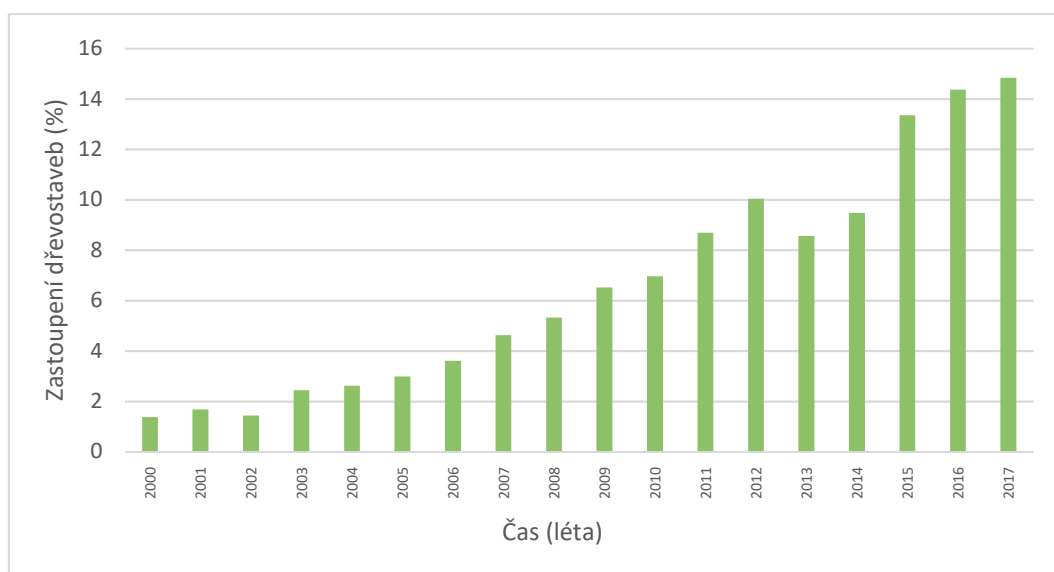
## 2 Cíle

Hlavním cílem diplomové práce je navržení podlahové konstrukce sloupkové dřevostavby s použitím stříkané polyuretanové pěny, její tepelně-technické vyhodnocení a navržení optimalizace sklady pro použití v nízkoenergetickém a pasivním standartu. Cílem je také odpovědět na otázky týkající se této konstrukce, především jakých hodnot součinitele prostupu tepla dosáhneme při měření panelu pomocí teplé skříně. Čím se tyto hodnoty liší od hodnot vypočítaných? Jaké je rozložení teplot v podlahové konstrukci po dobu měření? Který z materiálů je nejvýhodnějším optimalizačním prostředkem pro konstrukci podlahy? Jakou mírou ovlivňují tepelné mosty optimalizované konstrukce dle normových výpočtů? Který ze způsobů optimalizace je vhodnější pro dosažení požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla, doporučených hodnot součinitele prostupu tepla a pasivních hodnot součinitele prostupu tepla?

### 3 Literární rešerše

#### 3.1 Dřevostavby v ČR

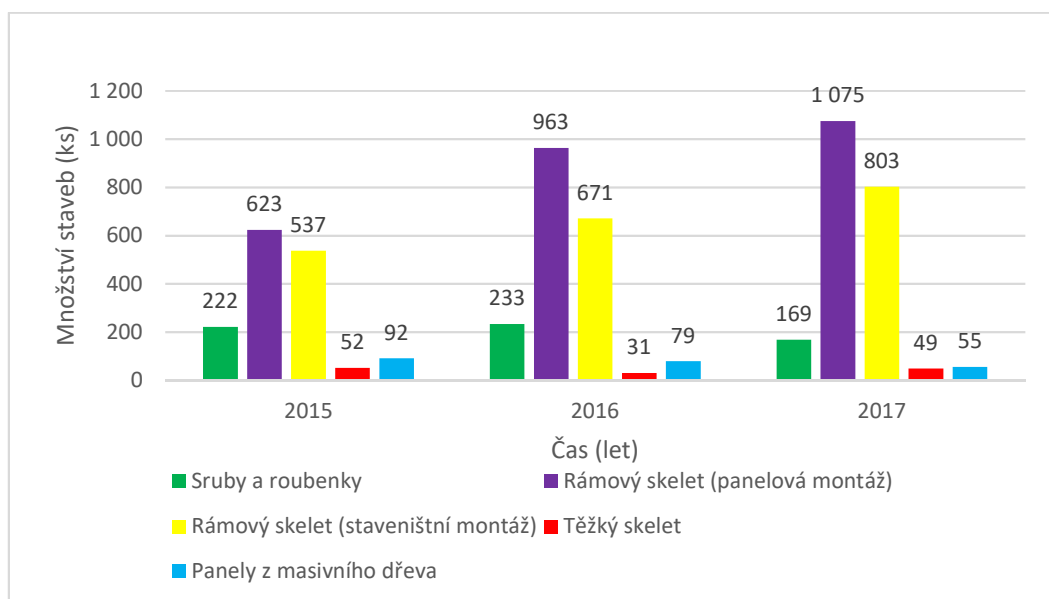
Popularita dřevostaveb je rok od roku vyšší, jejich množství na českém trhu roste. Vyplývá to ze statistiky dokončených staveb podle svíslé nosné konstrukce. Tento trend, který se začíná projevovat v posledním desetiletí, lze vidět na obr. č. 1. Velký podíl na tomto trendu má podpora a výzkum na přelomu 80. a 90. let, kdy došlo k velkému rozvoji v této oblasti, a i dnes se aplikují provedené výzkumy (Kolb, 2008). I když dnešní trendy již nemají mnoho společného s historickou výstavbou po technické stránce a už vůbec po stránce architektonického zpracování. Díky technologickému rozvoji se nemusíme omezovat pouze na rodinné domy, ale můžeme realizovat i více podlažní objekty, ty mohou díky svým parametrům překonat stavby z klasických materiálů (Vaverka, 2008).



**Obr. č. 1** Graf: Zastoupení dřevostaveb na českém trhu od roku 2000 do roku 2017. (Český statistický úřad, 2018)

Dřevostavby můžeme dělit například podle nosné konstrukce. Můžeme zde zařadit sruby a roubenky, rámový skelet (panelovou a staveništní montáž), těžký skelet a panely z masivního dřeva. (Kolb, 2008) (Obr. č. 2.) Toto rozdělení, které je uváděné statistiky není úplně přesné. Dále bychom sem zde mohli zařadit skeletové, Ballon-frame a Platform-frame. U dřevostaveb začal Český statistický úřad uvádět i druh

stavěných konstrukcí. Množství dokončených dřevostaveb dělených podle konstrukce je uvedeno v následujícím grafu (obr.č.3). Můžeme z něj vyčíst, že nejvýznamnější na českém trhu jsou stavby rámovým skeletem s panelovou montáží a staveništní montáží. Ty mají až 87 % podíl na českém trhu dřevostaveb. Roubenky na trhu zaujímají 8 %, a stavby s těžkým skeletem 2 % a dřevostavby, které jsou postaveny z masivních panelů zabírají 3 % na trhu. (Český statistický úřad, 2018)

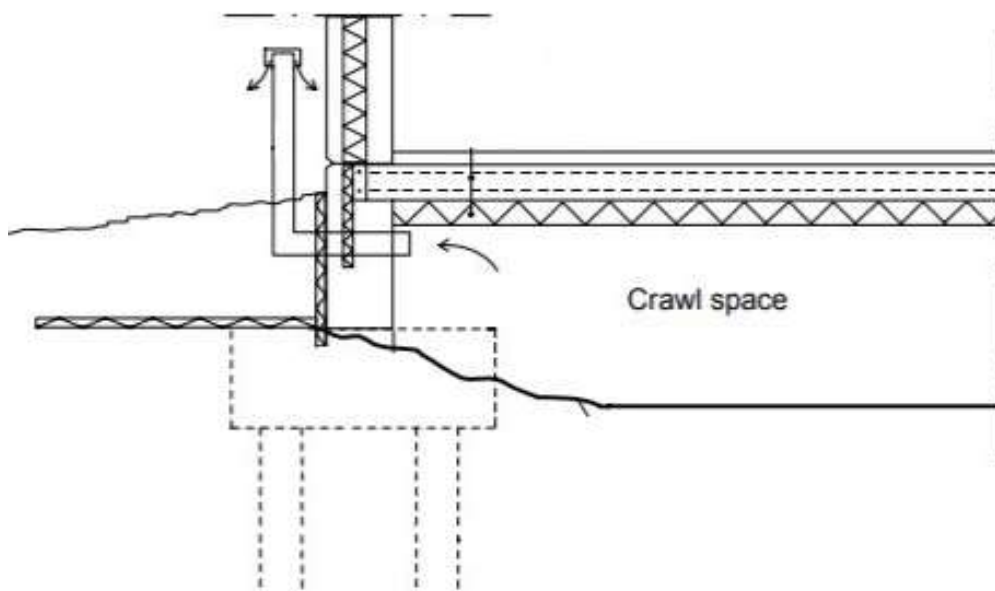


**Obr.č.2.** Graf: Zastoupení dřevostaveb na českém trhu od roku 2000 do roku 2017. (Český statistický úřad, 2018)

Dřevostavby jsou stavby, jejichž základní konstrukce je sestavena ze dřeva. Jsou to především srubové, hrázděné, sloupkové, skeletové, stavby z masivního dřeva nebo také Ballon-frame a Platform-frame. Ovšem nejde pouze o skladbu stěny, o skladbu podlahy, střechy nebo otvorů. Toto vyplývá z hodnot statistického úřadu. Pro tyto konstrukce norma uvádí požadované hodnoty součinitele prostupu tepla a doporučené hodnoty pro pasivní domy.

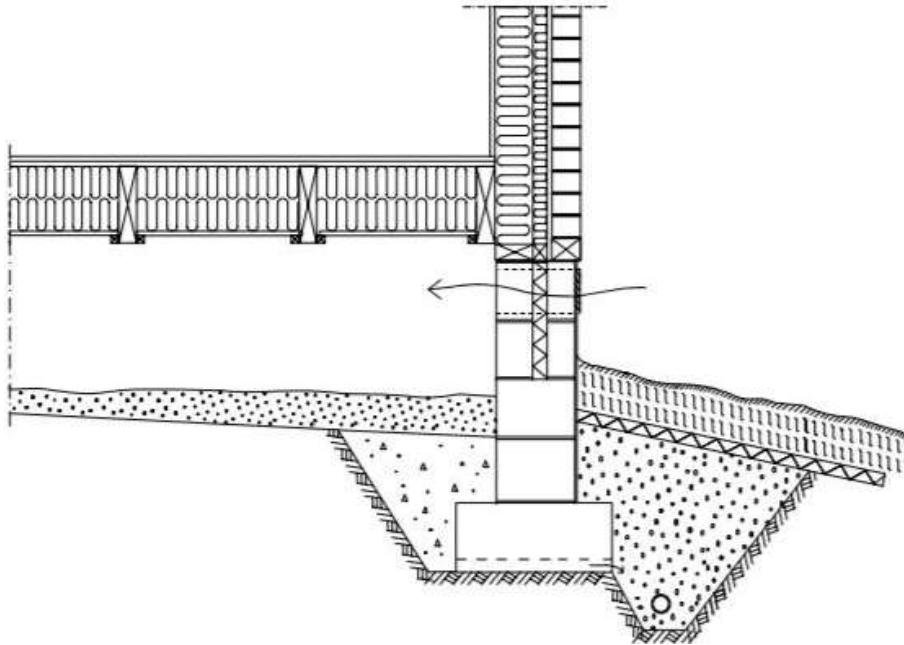
### 3.2 Zakládání crawl space

Zakládání formou průlezného prostoru je běžně používané technické řešení zakládání pozemních konstrukcí v zahraničí. Tato forma založení se často potýká s problémem vlhkosti, což lze ale vyřešit správným větráním. Základový prostor pod domem může být také ponechán neventilovaný, za předpokladu, že je vlhkostní izolace precizně zpracována. (Åberg, 1990) Větráný základový prostor může být také „teplý“, tzn. bez izolací podlahy a je zde mechanicky ventilovaný odpadní vzduch budovy. Tato řešení však vzhledem k vysokým vlhkostním a tepelně izolačním nárokům nejsou často používána. Nejčastěji používaným řešením je vzduchem větráný základový prostor. Otázkou zde je, jak lze dosáhnout přijatelných vlhkostních podmínek ve vzduchem větráných prostorech základů. Ve Finsku se využívají dva typy zakládání s průlezným prostorem. První typ zakládání je zobrazen na obr. č. 3. Tato konstrukce je obvyklá převážně ve nedřevěných, kancelářských a průmyslových budovách stavěných často sendvičovými prvky a deskami s dutým jádrem. Tato konstrukce je typickou pro založení na pilotech.



**Obr. č. 3** Založení průlezného prostoru na pilotech (Kurnitski, 2000)

Druhý typ zakládání (obr. č. 4) se používá v menších domech, které jsou často ze dřeva. Tento druh průlezného prostoru by se dal popsat relativně chladným větráním. Podlaha je zde dobře izolována. (Kurnitski, 2000)



**Obr. č. 4** Založení průlezného prostoru na pilotech (Kurnitski, 2000)

U základových systémů s průlezným prostorem a základovou deskou se doporučuje řádné zateplení v úrovni podlahy. U základové desky je izolace umístěna po obvodu konstrukce. V případě betonových desek založených formou průlezného prostoru se předpokládá nižší přenos tepla do zeminy, protože je vzduchový prostor pod podlahou poměrně malý. Toto má za následek menší změnu teploty mezi zemí a interiérem. (Xu, 2005)

Mezi výhody tohoto typu zakládání patří oddělení stavby od působení zemní vlhkosti a radonu. V tomto prostoru je jednodušší vedení ležatých rozvodů, jejich kontrola a opravy. Další výhodou je zvýšená bezpečnost budovy při zaplavení. Nevýhodou v případě špatně řešeného větrání je nebezpečí tvorby plísní, hniloby dřeva šíření roztočů hmyzu hlodavců, zbahnění a růst vegetace. Ke snižování vlhkosti a omezení rizika rosení v létě je důležité dodržení postupů při projektování. Větrací otvory musí být umístěny tak, aby byly poblíž stropu větraného prostoru, v blízkosti rohů

a tak, aby se využily směry větru. Důležitý parametrem je výška průlezového, která by měla být alespoň 0,6 m. Vhodnější výška je uváděna 0,9 m, z důvodu usnadnění oprav v tomto prostoru. Instalační rozvody je vhodné umístit tak, aby nebránili proudění vzduchu. Hladký povrch podhledu stropu zajišťuje minimální odpor prostupujícímu vzduchu. V případě rozsáhlejších staveb je nutné podpořit rychlost větrání například využitím komínového efektu či ventilačními turbínami. Nezbytným požadavkem je pak opatření větracích otvorů sítkami proti hmyzu a zabránění vniknutí hlodavců. (Šála, 2013)

Průlezný prostor jsou rozděleny do pěti různých typů. Zde zařazujeme soklový základ, venkovním vzduchem větraný průlezný prostor, vnitřním vzduchem větraný průlezový prostor a nevětraný průlezný prostor. (Åberg, 1995)

### **3.2.1 Soklový základ**

Soklový základ je otevřený prostor pod podlahou budovy, která je položena na patkách nebo na pilotech. Obvykle zde bývají dřevěné nebo betonové panely a podlaha bývá izolována podobným způsobem jako stěny. Podlaha budovy je odlišným typem konstrukce vzhledem k ostatním vnějším povrchům především v případě, kdy není vystavena přímému odběru tepla. Prostředí pod budovou je srovnatelné s okolním prostředím. (Burke, 2005)

### **3.2.2 Venkovním vzduchem větraný průlezný prostor**

Existuje mnoho variant průlezného prostoru větraného venkovním vzduchem, ale většina má podobné vlastnosti. Jednou z těchto vlastností je přítomnost kameniva pokrytého polyethylenovou vrstvou. Kamenivo zde slouží jako drenáž. Větrání je umístěno ve stěnách průlezného prostoru a může být podpořeno mechanickým odsáváním. Podlaha je u tohoto řešení tepelně izolována. Některé úpravy tohoto řešení zahrnují položení izolace na vrstvu polyethylenu, izolaci na spodní straně podlahových trámů, izolované vnější betonové stěny, systém ventilované podlahy anebo odvlhčovací zařízení pro odstranění přebytečné vlhkosti vzduchu. (Burke, 2005)

### **3.2.3 Průlezný prostor větraný vnitřním vzduchem**

Průlezný prostor je navržen jako další teplá plocha domu a slouží jako další místnost. Nejsou zde žádné průduchy do vnějšího prostředí. Jelikož je prostor považován za místnost, není zde třeba izolace podlahy. Celý prostor je izolován neorganickou izolací na zemi. Stěny prostoru bývají izolovány buď z vnější či interiérové strany. Prostor má vlastní větrání, které extrahuje veškerý vnitřní vzduch přes průlezný prostor. (Ådberg, 1995)

### **3.2.4 Nevětraný průlezový prostor**

Nevětraný průlezový prostor je podobný prostoru větranému vnitřním vzduchem. Tento typ založení průlezového prostoru je velice vzácný. Ke konstrukci je zde použit beton, jelikož relativní vlhkost dosahuje vyšší úrovně než 75 %. Je zde důležité používat anorganické materiály, jelikož využití organických vede k problémům s plísní. V případě použití organických materiálů je zapotřebí odvlhčovacího zařízení. (Burke, 2005)

## **3.3 Úvod do tepelně technických vlastností**

Ve vyspělých zemích Evropské unie dosahuje spotřeba energií v budovách 20-40% celkové spotřeby, což představuje vyšší spotřebu energie než průmysl a doprava. (Peréz-Lombard, 2008)

Nařízení, které by vedlo k razantním úsporám energií, je častým tématem politických fór. Evropský parlament vyzval Evropskou komisi o navržení závazných požadavků pro budovy s nutností vytápění či chlazení. Svým usnesením navrhli závazné požadavky, dle kterých by veškeré stavby od roku 2011 měly být postaveny podle norem pro pasivní domy nebo obdobných norem pro bytové domy. Při tomto současně konstatovali, že ne všechny země splnily požadavky vyjádřené ve směrnici o energetické náročnosti budov. Tato směrnice ovšem nestanovila žádná kritéria, jen uložila povinnost hodnotit energetickou náročnost budov. (Tywoniak, 2008)

Metodika uvedená v ČSN 73 0540 umožňuje podrobně stanovit materiálové charakteristiky. Mezi ty patří objemová hmotnost, součinitel



tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita a součinitel tepla průsvitných konstrukcí. (Kulhánek, 2006)

### 3.3.1 Sdílení tepla

Existují celkem tři základní druhy přenosu tepla. Vedení tepla neboli kondukce je forma přenosu energie hmotným prostředím, jehož objemové elementy zůstávají v klidu. Teplo se zde přenáší z míst o vyšší teplotě do míst s nižší teplotou. Druhý způsob je konvekce neboli proudění tepla. Je to jev, který je zajišťován objemovými elementy vykonávající translační pohyb. Proudění je vázáno na látkové prostředí. Probíhá tedy pouze v tekutinách, a to především důsledkem tepelné roztažnosti molekul. Díky tepelné roztažnosti klesá hustota látky, ohřívána část tekutiny ve vodním sloupci stoupá a chladná část s vyšší hustotou je nucena klesat. Posledním jevem je záření neboli sálání tepla. To lze charakterizovat jako vyzařování anebo příjem tepla. K přenosu tohoto druhu tepla není zapotřebí hmotného prostředí. Přenos tepla je zde zajišťován elektromagnetickým zářením. Pokud je tento přenos zprostředkováván infračerveným zářením nazývá se tento přenos tepla sálání.

Nejvýznamnějším z těchto tří jevů je vedení tepla. To je popisováno Fourierovým zákonem ve tvaru:

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \nabla \vartheta \quad [1]$$

kde  $\vec{q}$  je vektor hustoty tepelného toku, který vyjadřuje množství tepla, které proteče jednotkovou plochou za jednotku času. Teplotní pole v tělese můžeme popisovat izotermickými plochami, které se zapisují ve tvaru:

$$\vartheta(x, y, z, t) = \textit{konstantní} \quad [2]$$

Fourierův zákon jinými slovy popisuje, že vektor hustoty tepelného toku v izotropním prostředí má stejný směr. Má pak ale opačnou orientaci než vektor gradientu, kolmý v daném bodě teplotního pole na izotermickou plochu. Části gradientu teploty jsou dané parciálními derivacemi teploty podle prostorových souřadnic:

$$\nabla\vartheta = \left(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z}\right) \quad [3]$$

Derivace jsou kladnými ve směru rostoucí teploty. Teplo má tendenci se šířit od vyšších teplot k nižším. Koeficient  $\lambda$  nazýváme koeficientem tepelné vodivosti. Jeho jednotkou je  $W.m^{-1}.K^{-1}$ . Důležitým tvarem Fourierova zákona je integrovaná rovnice:

$$\frac{Q}{St} = \lambda \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1}, \quad [4]$$

kteřá popisuje vedení tepla v hranolu v případě, kdy teplota není funkcí času, a zároveň boční stěny hranolu jsou tepelně izolovány. Stacionární tvar se může použít například na výpočet spotřeby tepla na vytopení místnosti. (Požgaj, 1993)

Výše uvedená formulace Fourierova zákona platí pro jednorozměrné teplotní pole a ustálený teplotní stav. Avšak druhý Fourierův zákon popisuje vztah mezi časovou a místní změnou teploty. Toto se týká neustáleného neboli časově proměnného teplotního pole v trojrozměrném prostoru. Druhý Fourierův zákon zní:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad [5]$$

Kde  $T$  je teplota [ $^{\circ}C$ ],  $t$  je čas [s],  $x, y, z$  jsou souřadné osy trojrozměrného prostoru,  $\lambda$  je součinitelem tepelné vodivosti [ $Wm^{-1}K^{-1}$ ] a  $\rho$  je objemová hmotnost materiálu [ $kgm^{-3}$ ] a měrná tepelná kapacita [ $Jkg^{-1}K^{-1}$ ]

Jedním ze základních fyzikálních zákonů, užívaných při výpočtech proudění je Newtonův zákon, který popisuje hustotu tepelného toku při proudění.

$$q_c = h_c(T_i - T_{si}) \quad [6]$$

Kde  $q_c$  je hustota tepelného toku při proudění [ $Wm^{-2}$ ],  $h_c$  je součinitelem přestupu tepla při proudění [ $Wm^{-2}K^{-1}$ ],  $T_i$  je vnitřní teplota vzduchu [ $^{\circ}C$ ],  $T_{si}$  je teplotou vnitřního povrchu konstrukce [ $^{\circ}C$ ] (Kulhánek, 2006)

### 3.3.2 Tepelný odpor

Na povrchu stavební konstrukce v mezní vrstvě dochází k výměně tepla mezi konstrukcí a okolním prostředím. Tuto výměnu tepla nazýváme přestupem tepla a dochází k ní jak na vnitřním, tak na vnějším povrchu. (Kulhánek, 2006)

Na zjištění tepelného odporu lze použít metodu výpočtu pomocí povrchových teplot. Tepelný odpor konstrukce se skládá ze tří hodnot, z tepelného odporu konstrukce a dvou okrajových podmínek. Použijeme pro to následující vztah:

$$R = R' + Re + Ri, \quad [7]$$

$$R' = \frac{T_1 - T_2}{\bar{q}}, \quad [8]$$

$$Re = \frac{1}{\lambda_e}, \quad Ri = \frac{1}{\lambda_i}, \quad [9]$$

kde  $R$  je tepelný odpor  $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ ,  $R'$  tepelný odpor vrstvy,  $Re$  a  $Ri$  reciproké koeficienty přestupu tepla,  $T_1$  teplota v interiéru,  $T_2$  teplota v exteriéru,  $\lambda_e$ ,  $\lambda_i$  koeficienty přestupu tepla tenkého vzduchového filmu v bezprostřední blízkosti konstrukce. (Peng, 2008)

Hodnota součinitele přestupu tepla  $\lambda_e$  je v zimním období  $23 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ , pro zimní období v nadmořské výšce nad  $1000 \text{ m}$   $30 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ , v letním období  $15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Hodnota součinitele přestupu tepla  $\lambda_i$  je určena směrem tepelného toku: nahoru  $8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ , dolů  $6 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ , a vodorovně  $15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . (Kulhánek, 2006)

### 3.3.3 Objemová hmotnost

Pro přesné stanovení výpočtové hodnoty objemové hmotnosti materiálu, která respektuje reálný vlhkostní stav materiálu lze použít vztah:

$$\rho_v = 0,01\rho_d(100 + w_n), \quad [10]$$

kde  $\rho_v$  je výpočtová hodnota objemové hmotnosti materiálu  $[\text{kg.m}^3]$ ,  $\rho_d$  je normová hodnota objemové hmotnosti materiálu v suchém stavu stanovena z tabulky normových, charakteristických a výpočtových fyzikálních veličin

stavebních materiálů. V tabulce č. 1. jsou příklady hodnot  $\rho_d$ .  $w_n$  je normová hmotnostní vlhkost materiálů, stanovená ze vztahu:

$$w_n = w_{ch} + z_2 + z_3, \quad [11]$$

kde  $w_{ch}$  je charakteristická hmotnostní vlhkost materiálu, stanovená z tabulky,  $z_2$  je součinitelem materiálu, dle tabulek. A  $z_3$  je součinitelem zabudování materiálu do stavební konstrukce.

**Tab. č. 1** Normové hodnoty objemové hmotnosti (Kulhánek, 2006)

Materiál	$\rho_d$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$u_{ch}$	$z_2$	$z_3$
Minerální vata (DEKWOOL G035 r)	15	2	2	1
Minerální vata (ISOVER WOODSIL)	37	1	2	1
Stříkaná s otevřenou strukturou buněk pěna (PUREX NG – 0810NF)	35	1,1	4	1
Stříkaná pěna uzavřenou strukturou buněk (PUREX NG – 0428)	35	3	4	1
Foukaná izolace (CLIMATIZER PLUS)	27	1		1

### 3.3.4 Měrná tepelná kapacita

Udává množství tepla, které je nutné dodat 1 kg materiálu, aby se ohřál o 1 K. Lze ji rozdělit na měrnou, ta je vztažena na hmotnost látky [J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]. A na objemovou, která se vztahuje m<sup>3</sup> látky [J.m<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup>]. Měrnou tepelnou kapacitu pak můžeme definovat jako množství tepla dQ, které je za potřebí pro zahřátí 1 kg dané látky o 1 K. (Medek, 1987):

$$c_x = \frac{1}{m} \left( \frac{dQ}{dT} \right)_x. \quad [12]$$

Jestliže se při ohřívání zvětšuje objem látky, koná látka rozpínáním práci, pro kterou je nutné dodat tepelnou energii. U pevných a kapalných látek je tepelná energie natolik malá, že se ve výpočtech nezohledňuje. Tepelná kapacita je závislá především na vlhkosti a teplotě. Závislost lze vyjádřit jednoduchým směšovacím vztahem:

$$c = \frac{c_0 + c_v w}{1 + w}, \quad [13]$$

kde  $c$  je měrná kapacita vlhkého materiálu,  $c_v$  je měrná tepelná kapacita vody (4182 J/kgK při 20 °C),  $w$  je absolutní vlhkost materiálu [kg.kg<sup>-1</sup>].

### 3.4 Normové požadavky na konstrukce

V roce 2011 byly vydány požadované a doporučené hodnoty součinitele tepla pro budovy s převažující návrhovou teplotou 18 až 22 °C. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 2.

**Tab. č. 2** Normové hodnoty součinitelů tepla

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/m <sup>2</sup> K]		
	Požadované hodnoty $U_{n,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Podlaha a stěna temperovaného prostoru	0,85	0,6	0,45 až 0,30

### 3.5 Tepelná izolace

Tepelná izolace je materiál nebo kombinace materiálů, které při správném použití snižují rychlost proudění tepla vedeném konvekcí a zářením. Tedy zpomalují tok tepla do budovy nebo z budovy v důsledku dobré tepelné odolnosti. (ASHRAE, 2000) Tepelně izolační materiály odolávají tepelnému

toku, a to pomocí nesčetných mikroskopických mrtvých buněk, které mají vzduchu zamezit v pohybu. Samotný izolační materiál nezajišťuje tepelný odpor, ale vzduch zachycený uvnitř něj. Vytvoření malých buněk uvnitř tepelné izolace má za úkol minimalizaci šíření tepla radiací. To způsobuje, že infračervené záření je rozptýleno nebo absorbováno. Nicméně se vzrůstající velikostí buněk se obvykle zvyšuje působená radiace. Jenomže izolační materiály na bázi vzduchu obvykle nepřekročí izolační vlastnosti nehybného vzduchu. Nicméně, polymerní pěny jakými jsou například polystyren a polyuretan, využívají místo vzduchu fluorovaný uhlovodík. Ten je těžší než vzduch, což zvyšuje tepelný odpor. Proto interakce tří druhů přenosu tepla určuje celkovou účinnost izolace. A je reprezentovaná tepelnou vodivostí. Lze použít velké množství materiálů jakými jsou například minerální vlna, pěna a další izolační materiály. Dobře izolovaná budova prostřednictvím úspory energie snižuje negativní dopad skleníkových plynů na životní prostředí. (Aditya, 2017)

Průtok páry a absorpce vlhkosti jsou kritičtější v izolaci otevřené buněčné struktury než ve izolaci s uzavřenou buněčnou strukturou. Retardéry par jsou běžně používané pro zabránění pronikání vlhkosti do izolace zatížené nízkou teplotou. (Mohammad, 2004)

Anorganické izolační materiály jsou vyrobeny z neobnovitelných materiálů z dostupných zdrojů. Některými anorganickými izolačními materiály jsou minerální vlna, perlit, provzdušňované bloky, pěnové sklo. Na druhou stranu organické izolační materiály pocházejí z přirozené vegetace a obnovitelných zdrojů jakými jsou dřevitá vlna, celulóza, expandovaná pryž, dřevní vlákna, ovčí vlna atd. (Crane, 2011)

Zájem o organické izolační materiály roste vzhledem jejich obnovitelnosti, recyklovatelnosti, netoxicitě, šetrnosti k životnímu prostředí a vyžadují velmi malé množství výrobní techniky.

Tepelná vodivost je základní charakteristika izolačních materiálů. Součinitel tepelné vodivosti určuje schopnost materiálů přenášet teplo. Součinitel tepelné vodivosti se využívá při návrhu a posuzování stavebních

konstrukcí a budov, především pro výpočty součinitele prostupu tepla, tepelného odporu konstrukce, celkové energetické bilance budovy atd. Součinitel tepelné vodivosti roste s objemovou hmotností. V těchto výpočtech se ovšem dosazuje s konstantní hodnotou, ve skutečnosti však nemá stálou hodnotu, neboť je závislá na teplotě, tlaku, vlhkosti, stlačení, struktuře látky, pórovitosti atd. Uváděnými hodnotami součinitele tepelné vodivosti jsou například:

$\lambda_D$  – deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti

$\lambda_{10}$  – naměřená hodnota součinitele tepla při teplotě 10 °C

$\lambda_k$  – charakteristická hodnota součinitele tepelné vodivosti

$\lambda_U$  – výpočtová hodnota součinitele tepelné vodivosti

$\lambda_R$  – deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti podle DIN 4108

K výpočtům je vhodné používání součinitelů tepelné vodivosti, které pochází z relevantních zdrojů. Kterými jsou především hodnoty od výrobců, které jsou zjištěné akreditovanou státní laboratoří. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti, které jsou uvedeny v knihovných výpočetních programů se mohou značně lišit. Ve dvou případech byl zjištěn rozdíl více jak 15 % mezi hodnotou uvedenou výrobcem a hodnotou v knihovně materiálů. (Šubrt, 2011) Hodnoty některých součinitelů tepelné vodivosti jsou uvedeny v tabulce č. 2.

**Tab. č. 3 Izolační vlastnosti materiálů**

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/m <sup>2</sup> K]	Deklarovaná hodnota tepelného odporu při tloušťce 200 mm R [m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> ]	Měrná tepelná kapacita c [Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
Minerální vata (DEKWOOL G035 r)	0,035	5,714	1030
Minerální vata (ISOVER WOODSIL)	0,035	5,714	800
Stříkaná s otevřenou strukturou buněk pěna (PUREX NG – 0810NF)	0,038	5,263	-
Stříkaná pěna uzavřenou strukturou buněk (PUREX NG – 0428)	0,026	7,692	-
Foukaná izolace (CLIMATIZER PLUS)	0,038	6,052	2020

### 3.6 Minerální izolace

Minerální izolace je vyrobená z vláken skelných nebo minerálních. Je to ekologický izolační materiál a pochází z přírodních zdrojů. Má výborné tepelně izolační vlastnosti, je nehořlavý a také účinně zabraňuje šíření požáru. Mezi nejznámější výrobce a dodavatele kamenné vlny jsou společnosti Isover, Knauf, Rockwool, Dektrade. A mezi výrobce skelné vaty jsou společnosti Knauf, Ursa a Union Lesní Brána. A mezi výrobce foukané izolace jsou Knauf, Machstav.

#### 3.6.1 Kamenná izolace

Kamenná izolace je vyráběna rozvlákněním čediče, bazaltu či gabra za vysokých teplot a poté se formuje do desek nebo rohoží. Vyrábí se ve dvou základních variantách. Jako rohože, které se používají pro nezatížené stavební izolace jako jsou půdní prostory. Tuhé desky se používají pro zatížené izolace stavebních konstrukcí, provětrávaných fasád, jako výplňové izolace do rámových dřevostaveb, šikmých střech atd. Desky, které mají hustotu nad 100 kg/m<sup>3</sup> lze použít na izolaci podlah. Kamenná



vlna je nehořlavá a využívá se pro konstrukce se zvýšenými požadavky na požární bezpečnost, řadí se do třídy reakce na oheň A1. Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,035 - 0,045 \text{ W/mK}$ . Hustota kamenné izolace se pohybuje okolo  $30 \text{ až } 100 \text{ kg/m}^3$ .



**Obr.č.5** Čedičová minerální vlna

Dále se dá kamenná izolace používat jako rozvlákněný materiál a může se aplikovat jako veškeré foukané izolace, a to potrubím hnaným vzduchem. Výhodou je její rychlá aplikace výborně se hodí pro použití na zateplení nevyužívaných půdních prostor. Rozvlákněná má trochu horší součinitel tepelné vodivosti, který se pohybuje kolem  $\lambda = 0,040 - 0,050 \text{ W/mK}$ . A třída reakce na oheň A1. Hustota foukané kamenné izolace se pohybuje okolo  $30 \text{ až } 100 \text{ kg/m}^3$ .



**Obr.č.6** Čedičová foukaná izolace

### 3.6.2 Skelná izolace

Skelná vlna se vyrábí jak z nového skla, tak i recyklací a rozvlákněním obalového skla. Roztavené sklo je rozfoukáváno na vlákna a formováno do desek a rohoží. Používá se především jako izolace mezi krokve, do stropů, podhledů, a i provětrávaných fasád. Je nehořlavý a řadí se do třídy reakce na oheň A1. Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,030 - 0,045 \text{ W/mK}$ . Hustota skelné vlny se pohybuje okolo  $15 \text{ až } 35 \text{ kg/m}^3$ .



**Obr.č.7** Skelná minerální izolace

Rozvlákněná skelná vlna se vyrábí z nového nebo recyklovaného obalového skla. Do materiálu není nutné použití příměsí ani pojiva. Oproti kamenné foukané vlně má skelná vlna nižší hustotu. Je nehořlavý a řadí se do třídy reakce na oheň A1. Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,035 - 0,045 \text{ W/mK}$ . Hustota skelné vlny se pohybuje okolo  $35 \text{ kg/m}^3$ .

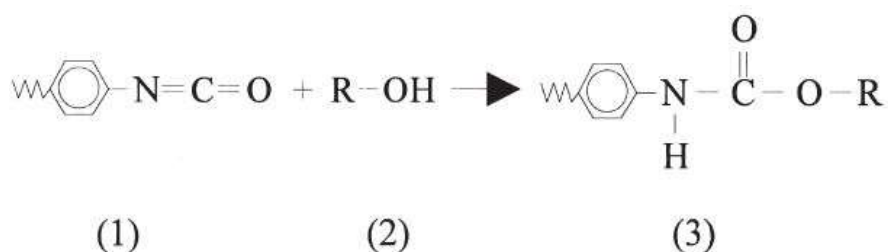


**Obr.č.8** Skelná minerální izolace

### 3.7 Stříkaná izolace

Stříkané izolace na bázi polyuretanové pěny jsou výrobkem z ropy. Na jejich aplikaci jsou nutné speciální přístroje. Stříkanou izolaci lze rozdělit na pěnu s otevřenými buňkami a na pěnu s uzavřenými buňkami. Výhodou je 100% vyplnění izolovaných prostor. Jedná se o dvousložkový materiál. Pro směšování složek je nutné použití správné teploty a vhodného poměru směsi. Důležitý je také tlak, který je vyvíjen přístrojem na stříkání této izolace. Pro pěnu s uzavřenou strukturou buněk i pro pěnu s otevřenou strukturou buněk se používá stejná látka a tou je isokyanát. (Kumaran, 1990)

První složkou polyuretanové pěny jsou polyoly, což jsou aromatické nebo alifatické polyestery, nebo mohou být použity polyethery. PUR pěny se často připravují z polyolové směsi. Isokyanáty jsou další přísadou pro PUR pěny jsou to například di-fenylmethan-di-isokyanát (PMDI), anebo méně častý toluen-di-isokyanát (TDI). Vzhledem k příznivějším fyziologickým vlastnostem se v současné době pro stříkání PUR pěn používá častěji PMDI. Základní reakce probíhá dle schématu:



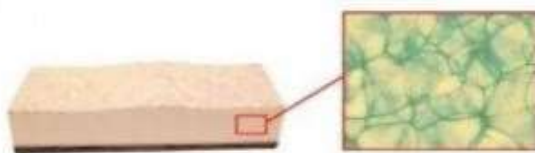
**Obr.č.9** Uretan a jeho základní reakce. 1 – polyisokyanát, 2 – polyol, 3 – polyuretan (Demhartet, 1997)

Dvousložkové systémy pro výrobu tuhých a polotuhých polyuretanových pěn nástřikovou metodou pomocí speciálních vysokotlakých zařízení. Systémy se vyznačují nízkou hodnotou součinitele prostupu tepla mezi izolačními materiály používanými ve stavebnictví. PUR pěny jsou jak pro interiérové použití, tak pro exteriérové. Tento systém umožňuje provedení rychlé a bezespárové vrstvy izolace. ([www.polychem-systems.com.pl](http://www.polychem-systems.com.pl))

### 3.7.1 Pěna s uzavřenou strukturou buněk

Pěna s uzavřenou strukturou buněk je vysoce kompaktní izolací, je to dáno především nezávislou pěnovou strukturou. To umožňuje spojovat bez vzájemného napojení bublinové buňky. Minimalizace bublin a vstříkávání zpevňovacích plynů mají tendenci produkovat tenčí vrstvy tepelné izolace. Toto bylo aplikováno výrobními technologiemi v posledním desetiletí. Výsledkem těchto výrobních postupů bylo dosaženo ekvivalentních hodnot součinitele tepelné vodivosti jako u kamenné a skelné vlny. A lze tak touto izolací dosáhnout ekvivalentního výkonu. Tato pěna se ovšem nedá použít k přerušení tepelných mostů, neboť je nutné ji stříkat do rámové konstrukce. (Fujimoto, 2009) Což ji předurčuje k využití pro dřevostavby. Při výběru materiálu pro akustickou izolaci by měla být hustota materiálu zvažována, jelikož má vliv na zvukotěsné schopnosti. To udává vztah mezi hustotou, tloušťkou buněčné stěny a velikostí vytvořené buňky. Čím vyšší hustota tím menší je buňka a buněčná stěna. (Yu, 2007)

Uzavřená pěna se především vyznačuje tím, že zabraňuje pronikání vlhkosti. Hodí se na použití do střešních konstrukcí plochých střech, do podlahových konstrukcí, stěn, jak dovnitř, tak vně. Uzavřené pěny: PUREX NG-0428, IZOPIANOL 03/35N, EKO HARD atd.



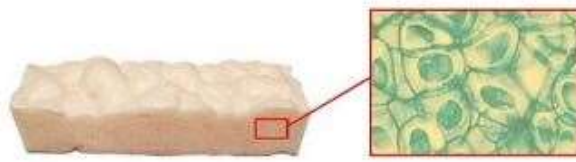
**Obr.č.10** Polyuretanová pěna s uzavřenou strukturou buněk.

Je nutné dodržovat jisté zásady dané výrobcem. Například u pěny PUREX NG-0428 je nutné udržovat suroviny při teplotě 40–45 °C. Teplota povrchu musí být v rozmezí 15–40 °C a teplota okolí 15–30 °C. Ovšem lze stříkat i za nižší teploty okolí, ale musí se podle toho korigovat teplota suroviny. Dalším důležitým faktorem je zkušenost zaměstnance, který se stříkání věnuje. V případě amatéra se může stát, že bude trávit celé dny

čistěním stříkací pistole, která se v nezkušných rukou zanesou každou cca každou hodinu. To je dáno především zteřelým těsněním. Správně zaškolený personál je schopný zvýšit výtěžnost látek i rychlost práce. Doporučený nástřik vrstvy pěny 20–40 mm. Pěna degraduje UV zářením, v případě venkovního použití je nutné pěnu zajistit vrstvou odolnou UV záření.

### **3.7.2 Pěna s otevřenou strukturou buněk**

Jedná se o dvousložkový surovinový systém určený k vytváření polotuhé polyuretanové pěny. Pro nástřik se doporučuje použití speciálních vysokotlakých nástrojů. Je vhodná pro izolování stěn, stropů podlah, podkroví s ohledem na svou otevřenou buněčnou strukturu musí být aplikována tak aby nebyla izolace mechanicky zatížena a aby nepřijímala vlhkost, a nepůsobily na ni atmosférické podmínky. Pěnu je také nutné zajistit proti působení UV záření. Před aplikací suroviny je nutné složku řádně zamíchat. Doporučená teplota suroviny při aplikaci je 40-65 °C, teplota okolí 5-30 °C a teplota povrchu 5-40 °C. Tyto zásady jsou pro PUR pěnu PUREX NG-0810NF. Doporučené hodnoty teplot jsou vždy uvedeny v technickém listu, který je dobré si nastudovat, aby nevznikaly zbytečné chyby při nástřiku. V případě měkké pěny je značným problémem vlhkost postříkovaného povrchu, má-li povrch zvýšenou vlhkost nad 18 %. Může se stát, že pěna nebude držet na podkladu, což se v případě postřiku stropu se to může jevit jako problém. V případě nástřiku velkého množství suroviny se může stát, že při reakci pára nebude mít kam odcházet a vytvoří velké bubliny, které nejsou jednoduše zjištělné. Musí se celá stavba projít a překontrolovat každou nastříkanou plochu vytáhnout pěnu, ve které se objevují výrobní vady a veškerá vadná místa zapravit. Proto je u tohoto typu pěny lepší stříkat po malých vrstvách a postupně pěnu pomalu vrstvit.



**Obr. č. 11** Polyuretanová pěna s otevřenou strukturou buněk

### **3.8 Aplikace polyuretanové pěny**

Polyuretanová pěna se aplikuje stříkáním. Aby bylo stříkání uskutečněno je zapotřebí nemalého zařízení. Složky pěny se dodávají v barelech. Na obr. 12 je zobrazen přístroj na stříkání směšování pěny.



**Obr. č. 12** Reactor E-20 Směšovací zařízení

K přístroji je nutné zakoupit také hadici, pistol, a pumpy. Hadice se vyrábí speciálně pro použití se směšovacím zařízením a vyrábí se v délkách 25 a 50 m. Jsou opatřeny vyhřevným odporovým drátem toto je nutné, aby nebyl způsoben pokles teploty tedy růst viskozity, a to ovlivňuje kvalitu pěny. Hadice jsou proto taky zaizolovány, aby byl minimalizován prostup tepla

stěnou hadice. Vždy je jedna hadice určena pro složku „A“ a pro složku „B“. složky se nesmí promíchat nikde jinde než v pistoli. Proto jsou na hadici pro izokyanát jiné fitinky než pro hadice pro pryskyřici. To je čistě proto, aby se zabránilo prohození těchto hadic. Hadice jsou opatřeny také konektorem pro vyhřívání a je zde také pneumatická hadice pro vedení vzduchu do stříkací pistole. Tento svazek hadic je obalen ještě ochranou tkaninou, aby se zamezilo jejich poškození.



**Obr. č. 13** Vyhříváné hadice ([www.graco.com](http://www.graco.com))

Pumpy jsou určeny pro čerpání surovin z barelů. Prodávají se v sadě společně s „vracečka“ pro vracení suroviny do barelu. „vracečka“ je nepostradatelnou součástí této sady jinak by nebylo možné zahřívát surovinu v barelu. Ke směšovacímu zařízení Reactor je nutné zakoupit dvě sady. Označení každé sady je nutností, aby nedošlo k prohození. V případě že se povede prohodit tyto sady je možné pumpy vyčistit, což je ovšem velmi nákladné. K čerpání je použit pneumatický píst. Pumpy jsou navrženy tak aby byly bezúdržbové. Vraccčka má za úkol vracet materiál do barelu a zároveň vzduch, aby pumpa nebyla zbytečně zatížena.



**Obr. č. 14** Pumpa suroviny ([www.graco.com](http://www.graco.com))

Aplikační pistol je komponentem s největší mírou údržby. Snadné čištění hlavy pistole, přes rychloupínací pouzdro, umožňuje snadnou výměnu směšovacích komor bez nářadí. Z důvodu snadnějšího rozebírání je na hlavě pistole ručně utahovatelné přední víčko. (Graco.com) Informace od výrobce a praxe se může lišit, je třeba vybrat správnou strategii. Buď můžete nakupovat drahé těsnění od firmy Graco a čistit pistol pokaždé, co se začne lehce ucpávat. To nevyžaduje výměnu drahých těsnění při každém čištění. Anebo můžete používat levná těsnění a pistol čistit jednou za dva týdny, přičemž je nutno vyměnit kompletně všechna těsnění, což je výhodnější řešení a znamená méně prostojů. Tento postup však vyžaduje každodenní stříkání, aby v pistoli nekrystalizovaly suroviny. V případě prvního řešení se nevyměňují tak často těsnící sady. Těsnění se opotřebovávají čištěním. Čistič leptá těsnění, což způsobí, že v průběhu 30-50 čištění těsnění steří. Správné vyčištění trysky od isokyanátu vyžaduje její umístění na 1-2 minuty do čističe. Ovšem, když je tepleji a necháte jej tam o něco déle, čistič začne gelovatět reakcí s izokyanátem.





**Obr. č. 15** Stříkací pistol Fusion Air Purge ([www.graco.com](http://www.graco.com))

### **3.9 Ořezávání pěny**

Důležitým krokem po nastříkání pěny do konstrukce je také ořezávání pěny. V ČR se zatím nerozmožily přístroje určené k ořezávání pěny, avšak v tomto ohledu je americký trh již více rozvinutý. A nabízí řešení jako jsou pneumatické frézy, pneumatické pily nebo elektrické pily na ořez pěny. Elektrické pily, které jsou určeny pro ořez pěny jsou upravenou verzí šavlové pily, kterou vyrábí firma MILWAUKEE pod výrobním názvem SAWZALL®. Úpravou této pily se zabývá firma SPRAY FOAM SYSTEMS. Upravenou verzi šavlové pily nazývají SFS FoamZall FoamSaw a ve zobrazena na obr. č. 16. Pila je osazena speciálními čelistmi, které udrží 91,44 cm dlouhý nůž na ořezávání pěny s otevřenou strukturou buněk. Také je dodávána s nožem na ořez pěny s uzavřenou strukturou buněk, který je 76,2 cm dlouhý. ([www.sprayfoamsystems.com](http://www.sprayfoamsystems.com)).

Další firma, která se zabývá úpravou pily od MILWAUKEE je firma SUPER SHEAR. Tato šavlová pila je velice podobná pile od SFS. Avšak liší se délkou nožů a offsetovou převodovkou. Ta je opatřena nožem o délce 68,58 cm na ořezávání pěny s otevřenou strukturou buněk, a nožem o délce 45,72 cm určeného pro ořezávání pěny s uzavřenou strukturou buněk.



**Obr. č. 16** SFS FoamZall FoamSaw, Super Shear Foam saw  
[www.sprayfoamsystems.com](http://www.sprayfoamsystems.com)

Další možností jsou pneumatické pily, které jsou vyráběny jsou si velice konstrukčně podobné. První z nich je HUSTLER PNEUMATIC 22“, tyto pily jsou především určeny na ořezávání pěny s otevřenou strukturou buněk. Délka nože u této pily dosahuje 55,88 cm a vyžaduje kompresor, který jehož tlak dosáhne min. 6,5 bar. Druhá pila je od stejného výrobce Je prodávána pod názvem PU SAW 36“, ta je osazena 58,42 cm dlouhým nožem a je určena na ořezávání pěny měkké. Vyžaduje stejný tlak vzduchu jako první pila. Tyto pily jsou zobrazeny na obr. č. 17:



**Obr. č. 17** HUSTLER PNEUMATIC 22“, PU SAW 36“  
[www.demandproducts.com](http://www.demandproducts.com)

Dalším nástrojem, který používá na opracování pěny jsou frézy. Ty jsou určeny k opracování pěny s obojí strukturou. Jde o upravenou řetězovou pilu od Firmy MAKITA, která je opatřena frézovací hlavicí. Avšak nevýhodou této frézy je nepořádek a použití vysavače je nevyhnutelné.

Fréza je zobrazena na obr. č. 18. vyrábí se ve dvou provedeních v délce 52,07 cm a v délce 69,85 cm. Jde o výrobek firmy SPRAY FOAM SYSTEMS dostupné pod názvem SFS PROCUTTER.



Obr. č. 18 SFS PROCUTTER ([www.sprayfoamsystems.com](http://www.sprayfoamsystems.com))

## 4 Metodika

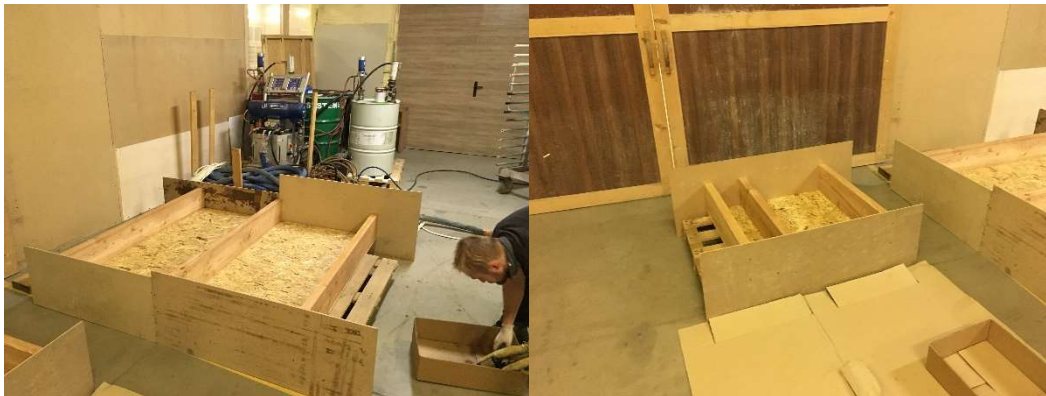
### 4.1 Výroba vzorků

Na výrobu vzorků byly použity modřínové fošny o původním průřezu 220 x 57 mm. Ty byly vysušeny na vlhkost okolo 12 % a následně ohoblovány na průřez 200 x 50 mm a zakráčeny na délku 1700 mm a 900 mm. Následně byly jednostranně spojeny pomocí hřebíků s OSB deskou 18 mm. Jak lze vidět na obr. č. 19.



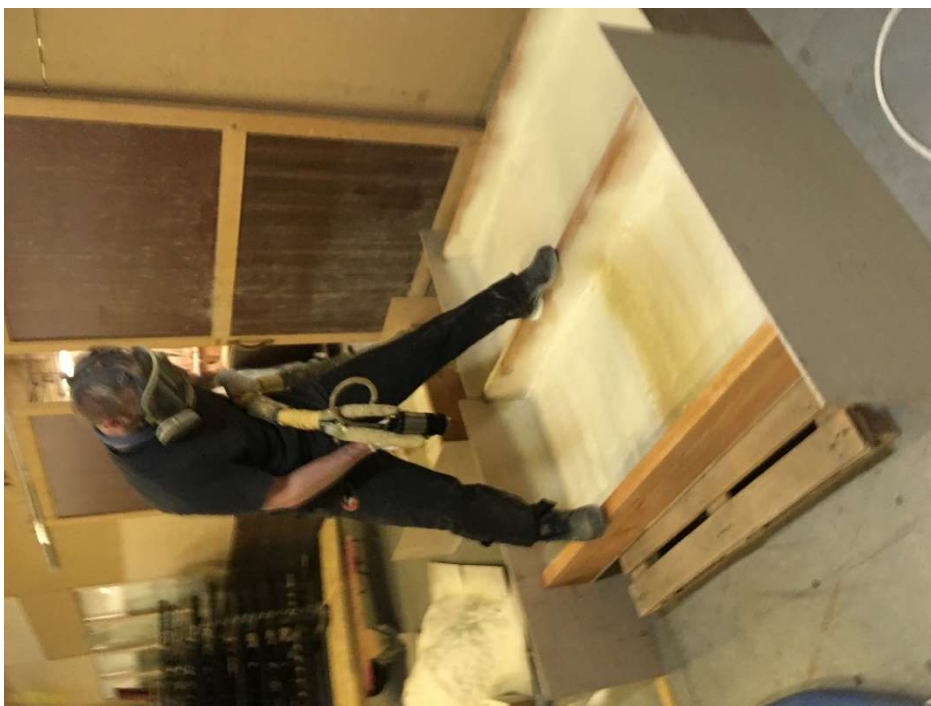
Obr. č. 19 Vzorky před nástřikem PUR pěny.

Vzorky byly následně přemístěny k nánosu pěny s uzavřenou strukturou buněk. Stříkání probíhalo za pokojové teploty pomocí zařízení na stříkání pěny Reaktor E-20. Bylo nutné vyjmout pumpu z barelu se surovinou, která je určena pro výrobu pěny s otevřenou strukturou buněk a vložit ji do barelu se surovinou pro výrobu pěny s uzavřenou strukturou buněk. Následně je nutné připravit vzorky na stříkání pěny. To znamená zakrytí bočních stran, aby pěna nevypěnila přes vzorek a nemusela se zbytečně ořezávat. To bylo uskutečněno odpadovými sololitovými deskami a překližkovými deskami. Lze vidět na obr. č. 20.



**Obr. č. 20** Příprava vzorků pro stříkání pěny

Po výměně suroviny je nutné vystříkat obsah hadic mimo vzorky abychom si byli jisti, že opravdu nanese pěnu s uzavřenou strukturou buněk. Stříkání započneme nástřikem pěny s uzavřenou strukturou buněk. Při stříkání je nutné dodržet postupné vrstvení pěny a nanášení malých vrstev. Je dobré nechat nastříkanou pěnu nabobtnat a nechat ji vyzrát. Na obr. č. 21 je zobrazeno nanášení pěny s uzavřenou strukturou buněk.



**Obr. č. 21** Stříkání pěny s uzavřenou strukturou buněk



**Obr. č. 22** Vzorky s nánosem cca 3 cm pěny s uzavřenou strukturou buněk

Po nastříkání pěny je nutné opětovné vyjmutí pumpy z barelu se surovinou pro výrobu pěny s uzavřenou strukturou buněk a vložení pumpy do barelu se surovinou pro výrobu pěny s otevřenou strukturou buněk. Následuje nucené vystříkání pěny z hadic abychom si byli jisti, že stříkáme pouze pěnu s otevřenou strukturou buněk. Na obrázku č. 23 můžeme vidět stříkání pěny s otevřenou strukturou buněk.



**Obr. č. 23** Stříkání pěny s otevřenou strukturou buněk.

Při stříkání pěny s otevřenou strukturou buněk je dobré stříkat po malých vrstvách. V případě, že nastříkáme velké množství látky najednou, v látce se mohou objevit velké vzduchové bubliny, což je dáno únikem horké páry ze spodní části pěny. Pára nemá kudy uniknout do okolního prostředí a utvoří velkou bublinu pod další vrstvou pěny. Tomuto jevu je dobré předejít, aby v izolaci nevznikal přenos tepla sáláním. Je tedy nutné stříkat po malých vrstvách. Na obrázku č. 24 můžeme vidět dokončené stříkání pěny s otevřenou strukturou buněk na vzorcích. Na větším vzorku můžete vidět na jedné straně koncový povrch pěny, když jej nastříká člověk, který je již zkušený v tomto oboru.



**Obr. č. 25** Dokončené stříkání pěny do vzorků.



**Obr. č. 26** Přesah pěny

Na obrázku č. 26 můžeme pozorovat, jak pěna přesahuje výšku modřínových fošen. Je nutné ji teda vyrovnat do požadované výšky. Nejdříve se očistí fošny, na to lze použít třeba dláto. Jakmile jsou fošny očištěny lze použít šavlovou pilu SUPERSHEAR nebo FOAMZALL. Tyto nástroje však nejsou určeny pro český trh a dají se pořídit jen na americkém trhu. Z toho důvodu jsme donuceni poradit si jinak, pro tento účel jsme vyrobili ruční pilu. Na výrobu této pily stačilo opracovat dva bukové hranolky, stará šatní tyč o délce jeden metr, provaz a pilový list z pásové pily. Opracování sice není ideální, ale dostačující pro náš účel. Tuto pilu

s opracovaným povrchem můžeme vidět na obrázku č. 27. Pilový list je upnut cca pod 135°. To umožňuje ořezávání jak stěn, tak podlah. Po ořezání pěny jsme zaklopili vzorky OSB deskou o tloušťce 22 mm.



**Obr. č. 27** Pila pro ořezávání pěny

#### **4.2 Měření veličin**

Součinitele tepelné vodivosti můžeme měřit přímými nebo nepřímými metodami. Základem těchto metod je rozložení teploty neboli teplotního pole v měřeném vzorku materiálu. Podle způsobu vytváření teplotního pole ve vzorku rozlišujeme metody stacionární a nestacionární. Při stacionární metodě je po celou dobu měření tepelný výkon konstantní. Při nestacionární metodě se tepelný výkon mění. Stacionární metody jsou spolehlivější, jednodušší a dobře se kontrolují. Dosažení ustáleného stavu je ovšem časově náročné, především při měření malých vzorků. Při měření vlhkých vzorků může dojít ke zkreslení tepelné vodivosti z důvodů redistribuce vlhkosti.



### 4.3 Měřicí přístroje

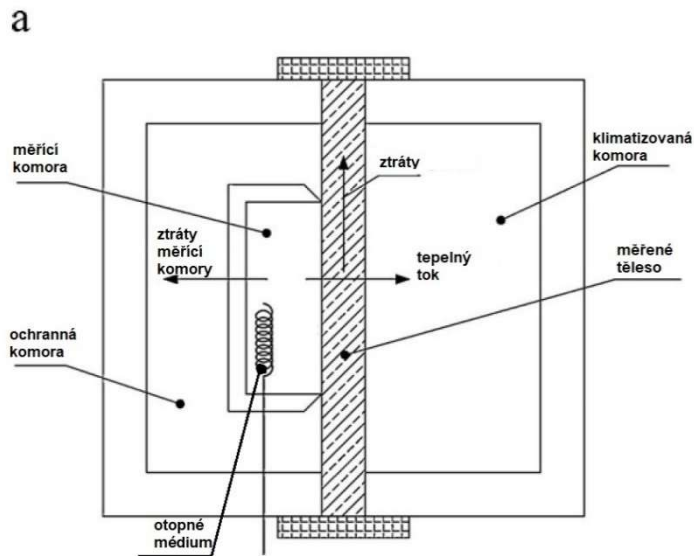
Mezi přístroje pro měření součinitele tepelné vodivosti řadíme např. přístroje HOT-BOX, HOT-PLATE. Přístroje vyhodnocují součinitele tepelných vlastností pomocí měření jiných vlastností. Pokud jsou k dispozici teploty povrchu teplé i studené strany.

#### 4.3.1 HOT-BOX

V dnešní době jsou hot-boxy spolehlivými nástroji pro různé druhy měření. Jejich historie se ovšem datuje k prvním pokusům ze 70. let. J.R. Mumaw (Mumaw, 1974) používal toto zařízení k testování velkých a silně tepelně odolných částem stěn. Tento přístroj, v oblasti testování nehomogenních materiálů vyvolal rozruch. Již v roce 1979 vytvořil Klems obecné pokyny pro stavbu Hot-boxů. (Klems, 1979) Také navrhnul postup pro hodnocení tepelných ztrát z teplé komory. Zejména zdůraznil myšlenku, že přenos tepla přes stěny tohoto zařízení, musí být stanoven s velkou přesností. I přes to že jsou dobře zaizolovány. Za tímto účelem zavedl kalibrační protokol pro měření tepelné disperze.

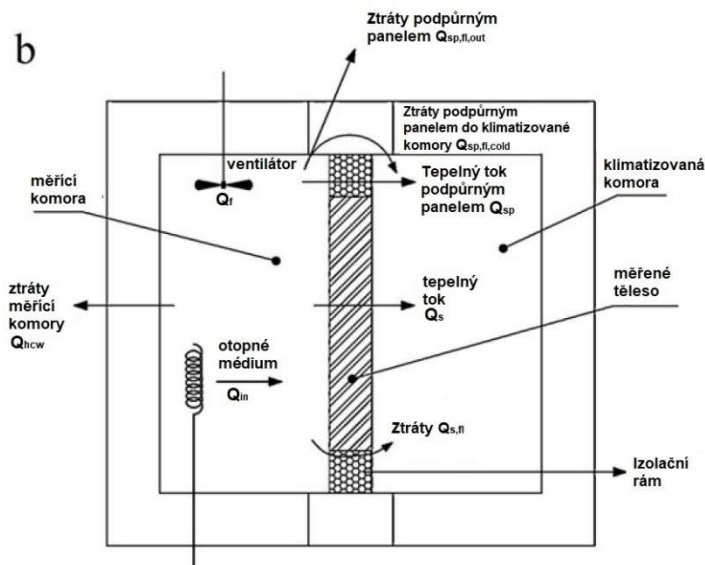
Existují různé pokyny pro konstrukční kritéria. Podle standard EN ISO 8990 a ASTM C1363-05 je vzorek umístěn mezi dvě místnosti. V místnostech je rozdílná teplota, ale v obou místnostech konstantní. Tepelný odpor vzorku získáme měřením energie použité pro udržování teplé komory v konstantní teplotě. Ruská standarda GOST 266.02. 1-99 využívá dvě metody. První metoda je podobná prvním dvěma zmíněným standardům. Druhá metoda je charakterizována rozdílnými teplotami ve stacionárních podmínkách. Izolační vlastnosti vzorku jsou vyhodnoceny z měření tepla a teplotních rozdílů mezi teplými a studenými komorami. Tepelné senzory musí být umístěny v různých pozicích vzorku, především v oblastech s homogenními vlastnostmi. Ovšem podmínkou tohoto postupu je definování části vzorku, kde se nachází konstantní teplota a zároveň toto místo nesmí být ovlivňováno okolním přenosem tepla. (Asdrubali, 2011)

Existuje několik konstrukčních typů hot-boxů. Hlídaná teplá skříň navíc obsahuje ochranný box se senzory a otopným médiem. V ochranné komoře a měřicí komoře je nutné udržovat stejnou teplotu kvůli snížení ztrát. Tepelné ztráty nejsou tak velké a není nutná korektura výsledků.



**Obr. č. 28** Hlídaná teplá skříň (Asdrubali, 2011)

Druhá konstrukce není opatřena ochranou skříňí toto nám dovoluje používat větší vzorky. Nicméně celý přístroj musí být umístěn v kontrolovaném prostředí.



**Obr. č. 29** Kalibrovaná teplá skříň (Asdrubali, 2011)

Ve Spojeném království se používá třetí typ konstrukce. Nazývá se „Edge Guarded hot-box“. Tato konstrukce je mezi kalibrovanou a hlídanou. (Gatland, 1997) Systém využívá plošné vyhřívání stěn skříně.



**Obr. č. 30** Hlídaná teplá skříň (Asdrubali, 2011)

V případě že jsou známy teploty povrchu teplé (měřící) a klimatizované komory je nutné začít zpracování dat získáním tepelné vodivosti  $U$  [ $W/m^2K$ ]. dále byl také měřen výkon otopného média. Data byly sbírány po dobu 14 dní. Na vzorku byla umístěny čidla na devíti pozicích na každé straně. Teploty byly shromažďovány pomocí sběrnice do laboratorního počítače. Hodnoty teplot každé strany byly sumarizovány a zprůměrovány, aby byla získána průměrná teplota povrchu na teplé a klimatizované straně. Dalšími sbíranými hodnotami byly hodnoty výkonu otopného média. Byly získány hodnoty výkonu ze sběrnice a z wattmetru. Jelikož je sběrnice zapojena do obvodu až za termostat. Tímto je tedy zkeslená hodnota vykonané práce. Je tedy nutné využít data z wattmetru, který je zapojen do obvodu před termostatem.

Pro vyhodnocení dat bylo využito I. Fourierova zákona ve tvaru:

$$\frac{Q}{St} = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}, \quad [14]$$

z níž byl vyjádřen koeficient tepelné vodivosti  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{\frac{Q}{St} \Delta x}{\Delta T} \quad [15]$$

Měřením byla získána hodnota tepelného toku, což odpovídá vztahu  $Q/t$ . Počítány byly teploty v různých vzdálenostech  $x$  od povrchu teplé strany, které byly dosazeny do vzorce Fourierova zákona ve tvaru:

$$\frac{Q}{St} = \lambda \frac{T - T_2}{x - x_2}, \quad [16]$$

Z níž byla vyjádřena teplota  $T$ :

$$T = \frac{\frac{Q}{St}}{\lambda} (x - x_2) + T_2 \quad [17]$$

Kde  $x$  je tloušťkou konstrukce,  $x_2$  je vzdáleností od povrchu konstrukce a  $T_2$  je teplotou povrchu klimatizované strany.

## 5 Výsledky

V rámci praktické části je navržena konstrukce podlahy za využití stříkané izolace. Jako první byla zvolena běžně používaná konstrukce. V konstrukci podlahy jsou začleněny OSB desky, EPS polystyren, anhydrid, polyuretanová pěna s otevřenou a polyuretanová pěna s uzavřenou strukturou buněk. Následně je tato konstrukce postupně optimalizována.

### 5.1 Měření vzorků

Měření konstrukce podlahy probíhalo po dobu 14 dní bez přerušení. Materiály použité v této konstrukci jsou uvedeny v tab. č. 4.

**Tab. č. 4** Měřená skladba SP1<sub>z</sub>

Materiál	$\lambda$ [W/mk]	d [m]	R [m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> ]	Zdroj
OSB	0,13	0,022	0,1692	DEK
OSB	0,13	0,018	0,1384	Dek
Dřevo – Modřín	0,18	0,200	1,1111	ČSN 73 0540-3
PUR s uzavřenou strukturou buněk	0,026	0,030	1,1538	Polychem
PUR s otevřenou strukturou buněk	0,038	0,170	4,4736	Polychem

### Výpočet prostupu tepla dle Fokina:

$$R_A = R_{OSB} + R_{PURZ} + R_{PURO} + R_{OSB}$$

$$R_A = 5,9352 \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \text{ (bez tepelného mostu)}$$

$$R_B = R_{OSB} + R_D + R_{OSB}$$

$$R_B = 1,4188 \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \text{ (tepelný most)}$$

$$A_A = 0,575 \cdot 1,7 = 0,9775 \text{ m}^2$$

$$A_B = 0,05 \cdot 1,7 = 0,0850 \text{ m}^2$$

$$A = 0,625 \cdot 1,7 = 1,065 \text{ m}^2$$

$$R_i = 0,17 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}, R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$f_a = \frac{A_a}{A} = \frac{0,9775}{1,0625} = 0,92, \quad f_b = \frac{A_b}{A} = \frac{0,085}{1,065} = 0,0800,$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{f_a}{R_a} + \frac{f_b}{R_b} = 4,7305 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$R' + R_i + R_e = 4,9405 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

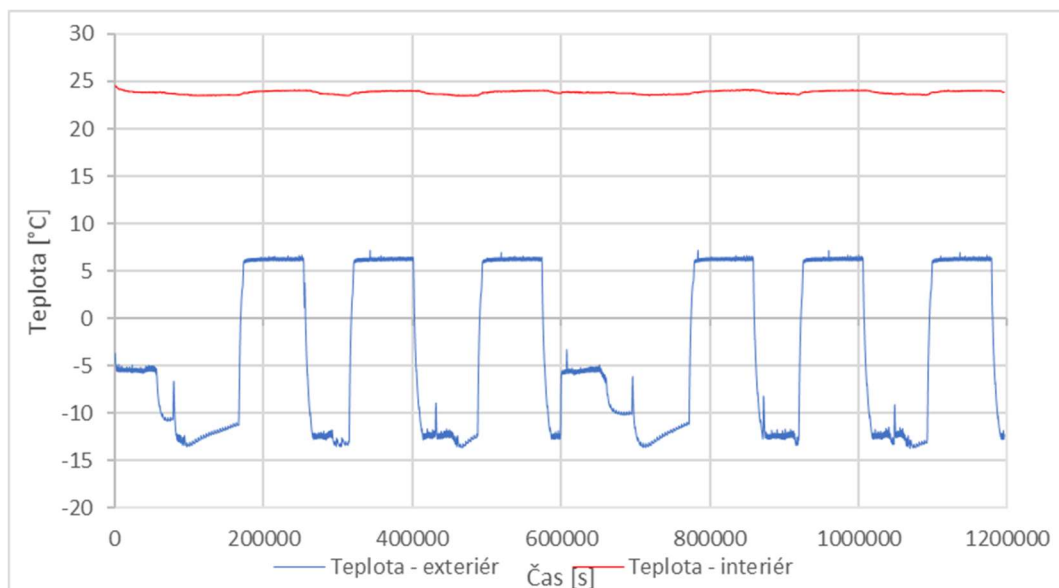
$$R'' = R_{OSB} + R_{EKV} + R_{OSB} = 1,4950 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$\frac{1}{R_{EKV}} = \frac{f_a}{R_3 + R_4} + \frac{f_b}{R_2}, R_{EKV} = 4,2466 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

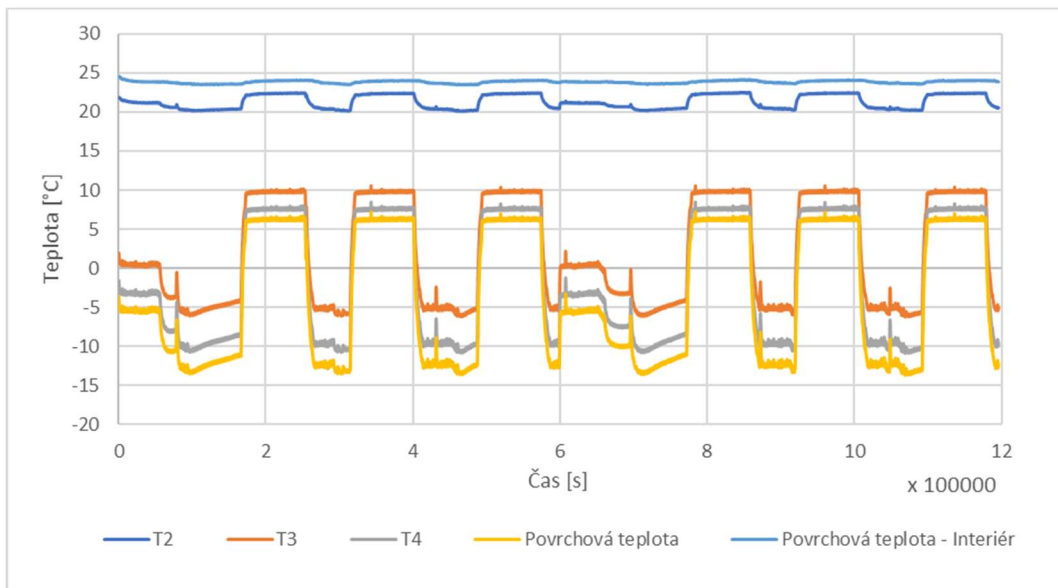
$$R = \frac{(R' + 2R'')}{3} = 4,2866 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$U = \frac{1}{R} = 0,2220 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla dle Fokina je rovna 0,2200 W/m<sup>2</sup>K. Průběh teplot měřeného cyklu je zobrazený na obr. č. 31. Zatímco na teplé straně je udržována konstantní teplota, na studené straně jsou výrazné změny teploty. Což znamená, že v konstrukci probíhá ustálený jednosměrný tepelný tok. Difuze tepla probíhá z míst s vyšší teplotou do míst s nižší teplotou.

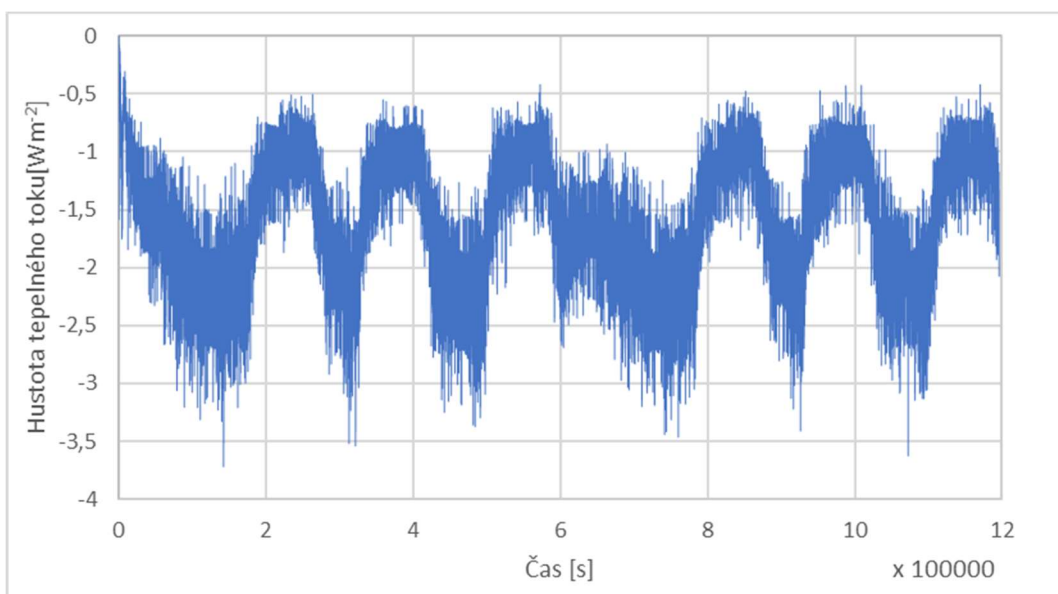


**Obr. č. 31** Graf průběhu průměrných teplot při měření



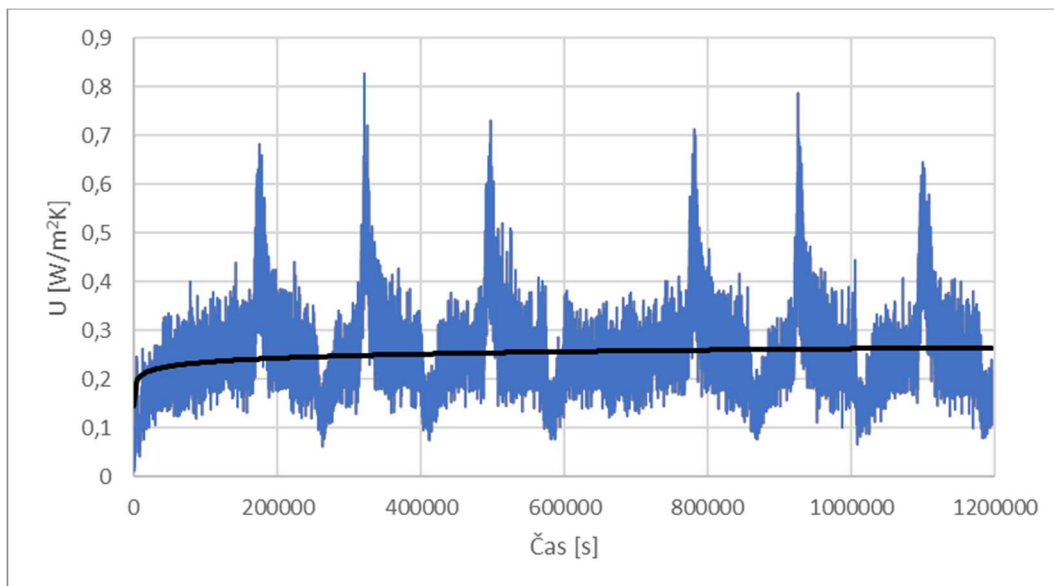
**Obr. č. 32** Graf průběhu teplot v konstrukci

Na obr. č. 32 je zobrazen graf průběhu teplot v konstrukci. T2 je křivkou teploty 22 mm pod povrchem, tj. bod mezi OSB deskou a pěnou s otevřenou strukturou buněk. T3 je křivkou teploty, která je mezi pěnou s otevřenou strukturou buněk a pěnou s uzavřenou strukturou buněk. T4 je křivkou teploty mezi pěnou s uzavřenou strukturou buněk a mezi OSB deskou.



**Obr. č. 33** Graf průběhu hustoty tepelného toku při měření

Hustota tepelného toku (obr. č. 33) je dána především rozdílem teplot na povrchu teplé strany a povrchu studené strany. Tento rozdíl je hlavním ukazatelem tepelného toku. Průměrná hustota tepelného toku je  $-1,58 \text{ Wm}^{-2}$ . Na grafickém znázornění lze vidět (obr. 33), že se jedná o jednosměrný tepelný tok.



**Obr. č. 34** Graf Součinitele prostupu tepla

Na obr. č. 34 je znázorněno chování součinitele prostupu tepla v čase. Vrcholy křivek znázorňují nejvyšší rozdíl teplot, a tedy největší tok tepla. Vrcholy symbolizují maximální možný tok tepla přes konstrukci, teplo je zde vedeno tepelnými mosty. Z Grafu lze dále vyčíst, že hodnota součinitele prostupu tepla není konstantní hodnotou, jelikož tepelný tok je závislý na gradientu teplot a tím je dáno, že mění svou orientaci. A Tedy že hodnota součinitele prostupu tepla je proměnná.

## 5.2 Optimalizace skladby dle tloušťky polystyrenu

Navržená konstrukce podlahy je nehomogenní konstrukce, tvoří se zde tepelné mosty. Pro výpočet je nutné zvolit správný postup. Hodnoty potřebné pro výpočty jsou uvedeny v tab. č. 5.



**Tab. č. 5** Navržená běžně používaná skladba v praxi SP1<sub>n</sub>

Materiál	$\lambda$ [W/mk]	d [m]	R [m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> ]	Zdroj
Anhydrit	1,2	0,060	0,05	Anhydritové podlahy
EPS 100	0,037	0,000	0	Stavebniny Vala
OSB	0,13	0,022	0,1692	DEK
OSB	0,13	0,018	0,1385	DEK
Dřevo – Modřín	0,18	0,20	1,1111	ČSN 73 0540-3
PUR s uzavřenou strukturou buněk	0,026	0,030	1,1538	Polychem
PUR s otevřenou strukturou buněk	0,038	0,170	4,4736	Polychem
Celková tloušťka		0,300		

Přenos tepla přes podlahu probíhá více směry. Norma ale připouští pouze dva rovnoběžné prostupy tepla přes konstrukci. První je prostup přes místo tepelného mostu a druhý je přes izolaci. Dle Fokina jsou tyto hodnoty vztaženy na plochu, kterou ovlivňují.

Výpočet součinitele prostupu tepla dle Fokina:

$$R_A = R_{OSB} + R_{PURZ} + R_{PURO} + R_{OSB} + R_{EPS} + R_{AN}$$

$$R_A = 5,9852 \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \text{ (bez tepelného mostu)}$$

$$R_B = R_{OSB} + R_D + R_{OSB} + R_{EPS} + R_{AN}$$

$$R_B = 1,4688 \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \text{ (tepelný most)}$$

$$A_A = 0,575 \cdot 1,7 = 0,9775 \text{ m}^2$$

$$A_B = 0,05 \cdot 1,7 = 0,0850 \text{ m}^2$$

$$A = 0,625 \cdot 1,7 = 1,065 \text{ m}^2$$

$$R_i = 0,17 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}, R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$f_a = \frac{A_a}{A} = 0,92, \quad f_b = \frac{A_b}{A} = 0,08,$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{f_a}{R_a} + \frac{f_b}{R_b} = 4,8036 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$R' + R_i + R_e = 5,0136 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

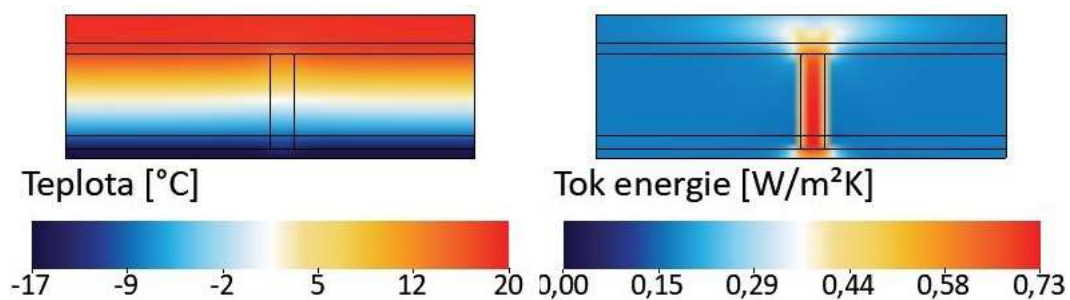
$$R'' = R_1 + R_{EKV} + R_5 + R_6 + R_7 = 4,6043 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$\frac{1}{R_{EKV}} = \frac{f_a}{R_2} + \frac{f_b}{R_3 + R_4}, R_{EKV} = 4,2466 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$R = \frac{(R' + 2R'')}{3} = 4,7407 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$U = \frac{1}{R} = 0,2109 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Požadovaná hodnota  $U_N$  dle ČSN 73 0540-2 = **0,24 W/m<sup>2</sup>K**



**Obr. č. 35** Simulace rozložení teploty a toku energie optimalizované konstrukce (ARCHICAD)

Navržená konstrukce vyhovuje požadovaným hodnotám prostupu tepla. Rozložení teploty v konstrukci a tok energie přes tepelný most je graficky znázorněn na obr. 35. Abychom dosáhli doporučených hodnot součinitele prostupu tepla a zároveň zachovali stejné konstrukční materiály nabízíme vám úpravu tloušťky materiálů. Zakomponováním polystyrenu přerušíme tepelný most, který probíhá přes nosný rám a anhydrit až na povrch podlahy.

**Tab. č. 6** Optimalizace navržené podlahy s doporučeným součinitelem prostupu tepla  $SP1_{rec}$

Materiál	$\lambda$ [W/mk]	d [m]	R [ $m^2KW^{-1}$ ]	Zdroj
Anhydrit	1,2	0,06	0,05	Anhydritové podlahy
EPS 100	0,037	0,06	2,4324	Stavebniny Vala
OSB	0,13	0,018	0,1385	DEK
OSB	0,13	0,022	0,1692	DEK
Dřevo – Modřín	0,18	0,200	1,1111	ČSN 73 0540-3
PUR s uzavřenou strukturou buněk	0,026	0,030	1,1538	Polychem
PUR s otevřenou strukturou buněk	0,038	0,170	4,4737	Polychem
Celková tloušťka		0,39		

### Výpočet součinitele prostupu tepla dle Fokina

$$R_A = R_{OSB} + R_{PURZ} + R_{PURO} + R_{OSB} + R_{EPS} + R_{AN}$$

$$R_A = 7,6068 \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \text{ (bez tepelného mostu)}$$

$$R_B = R_{OSB} + R_D + R_{OSB} + R_{EPS} + R_{AN}$$

$$R_B = 3,0904 \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \text{ (tepelný most)}$$

$$A_A = 0,575 \cdot 1,7 = 0,9775 \text{ m}^2$$

$$A_B = 0,05 \cdot 1,7 = 0,0850 \text{ m}^2$$

$$A = 0,625 \cdot 1,7 = 1,065 \text{ m}^2$$

$$R_i = 0,17 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}, R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$f_a = \frac{A_a}{A} = 0,92, \quad f_b = \frac{A_b}{A} = 0,0800$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{f_a}{R_a} + \frac{f_b}{R_b} = 6,8106 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$R' + R_i + R_e = 7,0206 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

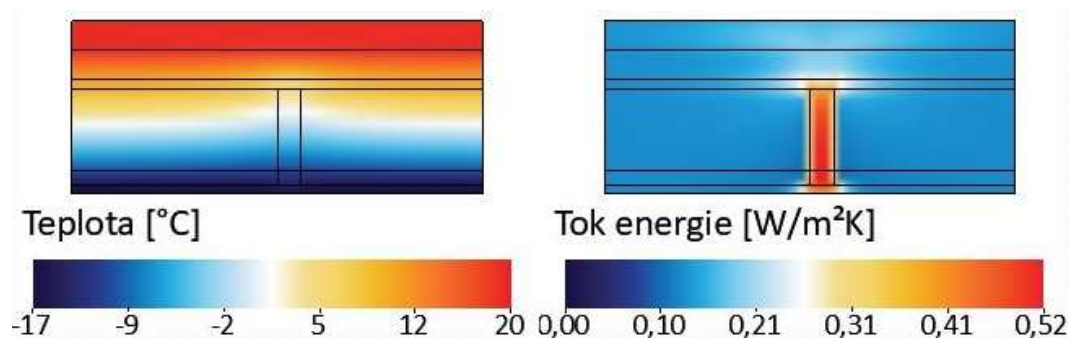
$$R'' = R_1 + R_{EKV} + R_5 + R_6 + R_7 = 6,2259 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$\frac{1}{R_{EKV}} = \frac{f_a}{R_3 + R_4} + \frac{f_b}{R_2}, R_{EKV} = 4,2466 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$R = \frac{(R' + 2R'')}{3} = 6,4908 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$U = \frac{1}{R} = 0,1541 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Požadovaná hodnota  $U_N$  dle ČSN 73 0540-2 = **0,24 W/m<sup>2</sup>K** a doporučená hodnota  $U_{rec}$  dle ČSN 73 0540-2 = **0,20 W/m<sup>2</sup>K**.



**Obr. č. 36** Simulace rozložení teploty a toku energie optimalizované konstrukce pro doporučené hodnoty (ARCHICAD)

Optimalizovaná konstrukce splňuje požadované i doporučené hodnoty. Tedy  $U_n$  a  $U_{rec} > U$ . Toto snížení součinitele prostupu tepla je zapříčiněno zakomponováním polystyrenu pod anhydrit. Přerušením tepelného mostu snížíme součinitel prostupu tepla. Na obr. č. 36 lze vidět, jak velký dopad má tepelný most na tok energie. Abychom dosáhly dalšího snížení součinitele prostupu tepla jsme nuceni dále zvýšit tloušťku vrstvy polystyrenu, což je zřejmé z tab. č. 7.

**Tab. č. 7** Optimalizace navržené podlahy v pasivním standartu SP1<sub>pas</sub>

Materiál	$\lambda$ [W/mk]	d [m]	R [m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> ]	Zdroj
Anhydrit	1,2	0,06	0,058	Anhydritové podlahy
EPS 100	0,037	0,15	4,0541	Stavebniny Vala
OSB 18, 22	0,13	0,022	0,1692	DEK
OSB 18, 22	0,13	0,018	0,1384	DEK
Dřevo – Modřín	0,18	0,2	1,1111	ČSN 73 0540-3
PUR s uzavřenou strukturou buněk	0,026	0,03	1,1538	Polychem
PUR s otevřenou strukturou buněk	0,038	0,17	4,4736	Polychem
Celková tloušťka		0,45		

**Výpočet součinitele prostupu tepla dle Fokina**

$$R_A = R_{OSB} + R_{PURZ} + R_{PURO} + R_{OSB} + R_{EPS} + R_{AN}$$

$$R_A = 10,0476 \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \text{ (bez tepelného mostu)}$$

$$R_B = R_{OSB} + R_D + R_{OSB} + R_{EPS} + R_{AN}$$

$$R_B = 5,5312 \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \text{ (tepelný most)}$$

$$A_A = 0,575 \cdot 1,7 = 0,9775 \text{ m}^2$$

$$A_B = 0,05 \cdot 1,7 = 0,0850 \text{ m}^2$$

$$A = 0,625 \cdot 1,7 = 1,065 \text{ m}^2$$

$$R_i = 0,17 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}, R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$f_a = \frac{A_a}{A} = 0,92, \quad f_b = \frac{A_b}{A} = 0,08$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{f_a}{R_a} + \frac{f_b}{R_b} = 9,4315 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$R' + R_i + R_e = 9,6415 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

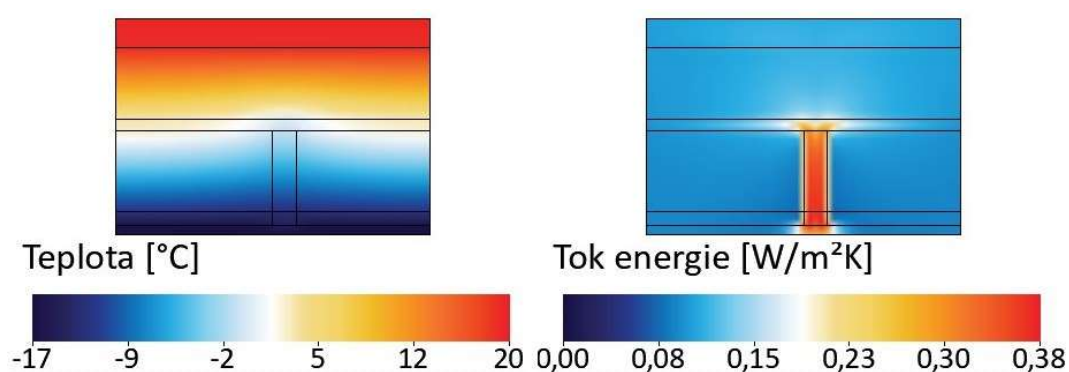
$$R'' = R_1 + R_{EKV} + R_5 + R_6 + R_7 = 8,6667 \text{ m}^2 \text{KW}^{-1}$$

$$\frac{1}{R_{EKV}} = \frac{f_a}{R_2} + \frac{f_b}{R_3 + R_4}, R_{EKV} = 4,2466 \text{ m}^2 \text{KW}^{-1}$$

$$R = \frac{(R' + 2R'')}{3} = 8,9916 \text{ m}^2 \text{KW}^{-1}$$

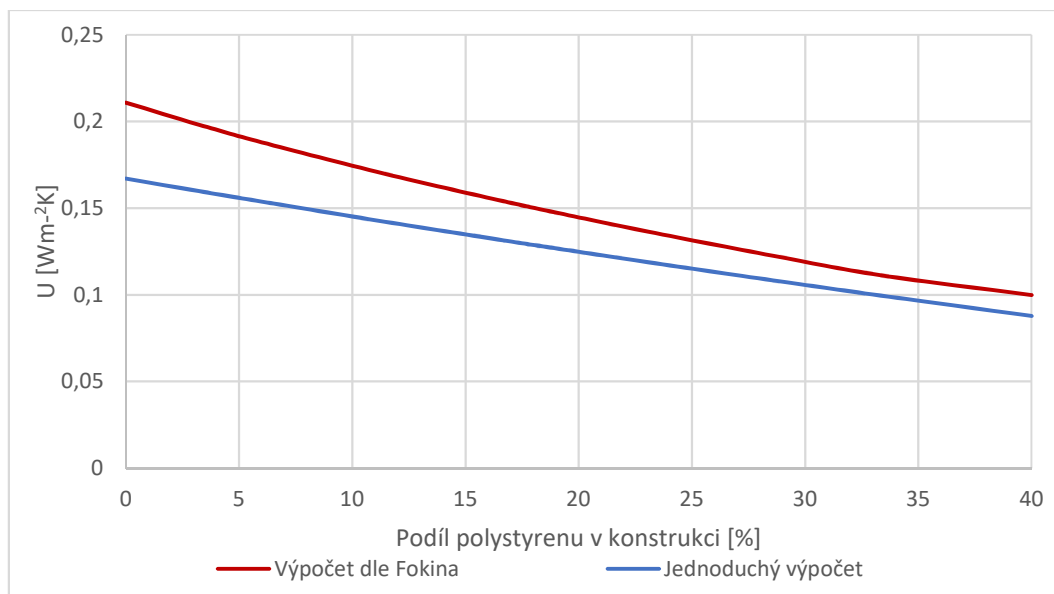
$$U = \frac{1}{R} = 0,1112 \text{ W/m}^2 \text{K}$$

Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla v pasivního standartu  $U_{pas}$  dle ČSN 73 0540-2 = **0,15 W/m<sup>2</sup>K**.



**Obr. č. 37** Simulace rozložení teploty a toku energie optimalizované konstrukce v pasivním standartu (ARCHICAD)

Při zvýšení tloušťky polystyrenu na 150 mm konstrukce vyhovuje pro použití u pasivních budov. Při shromáždění většího množství hodnot můžeme vytvořit graf závislosti dopadu tepelného mostu na odpor konstrukce. Na obr. č. 38 je zobrazeno, jak účinek tepelného mostu klesá se zvyšující se tloušťkou vrstvy polystyrenu.



**Obr. č. 38** Snížení účinků tepelných mostů důsledkem změny podílu polystyrenu v konstrukci

### 5.3 Optimalizace skladby dle tloušťky PUR pěny

**Tab. č. 8** Navržená konstrukce s minimálním součinitelem prostupu tepla SP2<sub>n</sub>

Materiál	$\lambda$ [W/mk]	d [m]	R [m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> ]	Zdroj
Anhydrit	1,2	0,06	0,05	Anhydritové podlahy
EPS 100	0,037	0,09	2,4324	Stavebniny Vala
OSB 18, 22	0,13	0,022	0,1692	DEK
OSB 18, 22	0,13	0,018	0,1385	Dek
Dřevo – Modřín	0,18	0,2	0,3888	ČSN 73 0540-3
PUR s uzavřenou strukturou buněk	0,026	0,03	1,1538	Polychem
PUR s otevřenou strukturou buněk	0,038	0,04	1,05263	Polychem
Celková tloušťka		0,46		

$$R_A = R_{OSB} + R_{PURZ} + R_{PURO} + R_{OSB} + R_{EPS} + R_{AN}$$

$$R_A = 4,9966 \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \text{ (bez tepelného mostu)}$$

$$R_B = R_{OSB} + R_D + R_{OSB} + R_{EPS} + R_{AN}$$

$$R_B = 3,1790 \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \text{ (tepelný most)}$$

$$A_A = 0,575 \cdot 1,7 = 0,9775 \text{ m}^2$$

$$A_B = 0,05 \cdot 1,7 = 0,0850 \text{ m}^2$$

$$A = 0,625 \cdot 1,7 = 1,065 \text{ m}^2$$

$$R_i = 0,17 \text{ m}^2 \text{KW}^{-1}, R_e = 0,04 \text{ m}^2 \text{KW}^{-1}$$

$$f_a = \frac{A_a}{A} = 0,92, \quad f_b = \frac{A_b}{A} = 0,08$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{f_a}{R_a} + \frac{f_b}{R_b} = 4,7781 \text{ Wm}^{-2} \text{K}^{-1}$$

$$R' + R_i + R_e = 4,9881 \text{ m}^2 \text{KW}^{-1}$$

$$R'' = R_1 + R_{EKV} + R_5 + R_6 + R_7 = 4,3961 \text{ m}^2 \text{KW}^{-1}$$

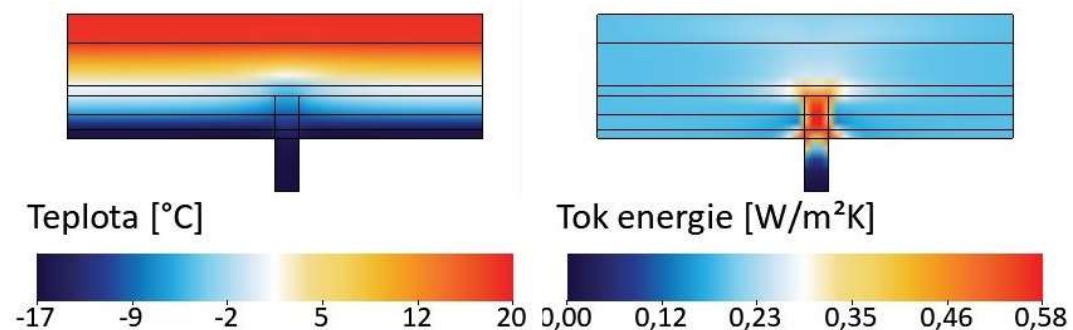
$$\frac{1}{R_{EKV}} = \frac{f_a}{R_2} + \frac{f_b}{R_3 + R_4}, R_{EKV} = 1,6060 \text{ m}^2 \text{KW}^{-1}$$

$$R = \frac{(R' + 2R'')}{3} = 4,3961 \text{ m}^2 \text{KW}^{-1}$$

$$U = \frac{1}{R} = \mathbf{0,2177 \text{ W/m}^2 \text{K}}$$

Požadovaná hodnota  $U_n$  dle ČSN 73 0540-2 = **0,24 W/m<sup>2</sup>K**

Součinitel prostupu tepla konstrukce vyhovuje požadovaným hodnotám dle ČSN 73 0540-2. Nosná konstrukce je vyplněna pěnou částečně. Optimalizace zde probíhá změnou tloušťky pěny, která se jeví jako druhou nejvíce ovlivňující izolací v konstrukci.



**Obr. č. 39** Simulace rozložení teploty a toku energie konstrukce splňující požadované hodnoty (ARCHICAD)



Pro optimalizaci na úroveň doporučených hodnot zvětšíme vrstvu izolace na tloušťku rámu. Tloušťka vrstvy polyuretanové pěny s otevřenou strukturou buněk dosáhne tloušťky 100 mm (viz tabulka č. 10).

**Tab. č. 10 Optimalizovaná konstrukce pro doporučené hodnoty SP<sub>2rec</sub>**

Materiál	$\lambda$ [W/mk]	d [m]	R [m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> ]	Zdroj
Anhydrit	1,2	0,06	0,05	Anhydritové podlahy
EPS 100	0,037	0,09	2,4324	Stavebniny Vala
OSB	0,13	0,022	0,1692	DEK
OSB	0,13	0,018	0,1385	DEK
Dřevo – Modřín	0,18	0,22	1,2222	ČSN 73 0540-3
PUR s uzavřenou strukturou buněk	0,026	0,03	1,1538	Polychem
PUR s otevřenou strukturou buněk	0,038	0,1	2,6316	Polychem
Celková tloušťka		0,39		

$$R_A = R_{OSB} + R_{PURZ} + R_{PURO} + R_{OSB} + R_{EPS} + R_{AN}$$

$$R_A = 6,5775 \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \text{ (bez tepelného mostu)}$$

$$R_B = R_{OSB} + R_D + R_{OSB} + R_{EPS} + R_{AN}$$

$$R_B = 3,5123 \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \text{ (tepelný most)}$$

$$A_A = 0,575 \cdot 1,7 = 0,9775 \text{ m}^2$$

$$A_B = 0,05 \cdot 1,7 = 0,0850 \text{ m}^2$$

$$A = 0,625 \cdot 1,7 = 1,065 \text{ m}^2$$

$$R_i = 0,17 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}, R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$f_a = \frac{A_a}{A} = 0,92, \quad f_b = \frac{A_b}{A} = 0,08$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{f_a}{R_a} + \frac{f_b}{R_b} = 6,1467 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

$$R' + R_i + R_e = 6,3567 \text{ m}^2 \text{ KW}^{-1}$$

$$R'' = R_1 + R_{EKV} + R_5 + R_6 + R_7 = 5,6165 \text{ m}^2 \text{ KW}^{-1}$$

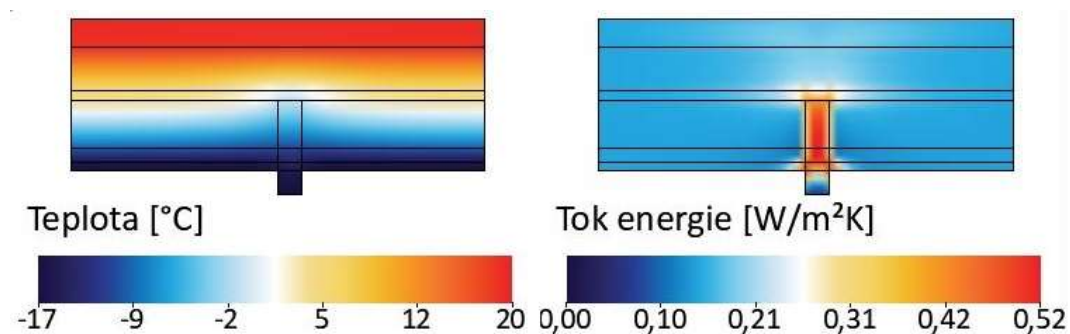
$$\frac{1}{R_{EKV}} = \frac{f_a}{R_2} + \frac{f_b}{R_3 + R_4}, R_{EKV} = 2,8264 \text{ m}^2 \text{ KW}^{-1}$$

$$R = \frac{(R' + 2R'')}{3} = 5,8633 \text{ m}^2 \text{ KW}^{-1}$$

$$U = \frac{1}{R} = 0,1706 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Požadovaná hodnota  $U_n$  dle ČSN 73 0540-2 = **0,24 W/m<sup>2</sup>K**

Součinitel tepelné vodivosti této konstrukce je dostačující pro splnění doporučených hodnot  $U_{rec}$ . Hodnota doporučených hodnot je 0,2 W/m<sup>2</sup>K. Na obr. č. 36 je znázorněn průběh teplot v konstrukci a tok energie tepelným mostem.



**Obr. č. 40** Simulace rozložení teploty v konstrukci a toku energie konstrukce splňující doporučené hodnoty (ARCHICAD)

Pro optimalizaci této konstrukce na úrovni polyuretanové pěny s otevřenou strukturou buněk změňme její tloušťku na 170 mm (viz. tabulka č. 11).

**Tab. č. 11 Optimalizace konstrukce pro pasivní standart SP2<sub>pas</sub>**

Materiál	$\lambda$ [W/mk]	d [m]	R [m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> ]	Zdroj
Anhydrit	1,2	0,06	0,05	Anhydritové podlahy
EPS 100	0,037	0,09	2,4324	Stavebniny Vala
OSB	0,13	0,022	0,1692	DEK
OSB	0,13	0,018	0,1385	DEK
Dřevo – Modřín	0,18	0,34	1,8889	ČSN 73 0540-3
PUR s uzavřenou strukturou buněk	0,026	0,03	1,1538	Polychem
PUR s otevřenou strukturou buněk	0,038	0,17	4,4737	Polychem
Celková tloušťka		0,39		

$$R_A = R_{OSB} + R_{PURZ} + R_{PURO} + R_{OSB} + R_{EPS} + R_{AN}$$

$$R_A = 8,4177 \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \text{ (bez tepelného mostu)}$$

$$R_B = R_{OSB} + R_D + R_{OSB} + R_{EPS} + R_{AN}$$

$$R_B = 3,9012 \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \text{ (tepelný most)}$$

$$A_A = 0,575 \cdot 1,7 = 0,9775 \text{ m}^2$$

$$A_B = 0,05 \cdot 1,7 = 0,0850 \text{ m}^2$$

$$A = 0,625 \cdot 1,7 = 1,065 \text{ m}^2$$

$$R_i = 0,17 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}, R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$f_a = \frac{A_a}{A} = 0,92, \quad f_b = \frac{A_b}{A} = 0,08$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{f_a}{R_a} + \frac{f_b}{R_b} = 7,7041 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$R' + R_i + R_e = 7,9141 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$R'' = R_1 + R_{EKV} + R_5 + R_6 + R_7 = 7,0367 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

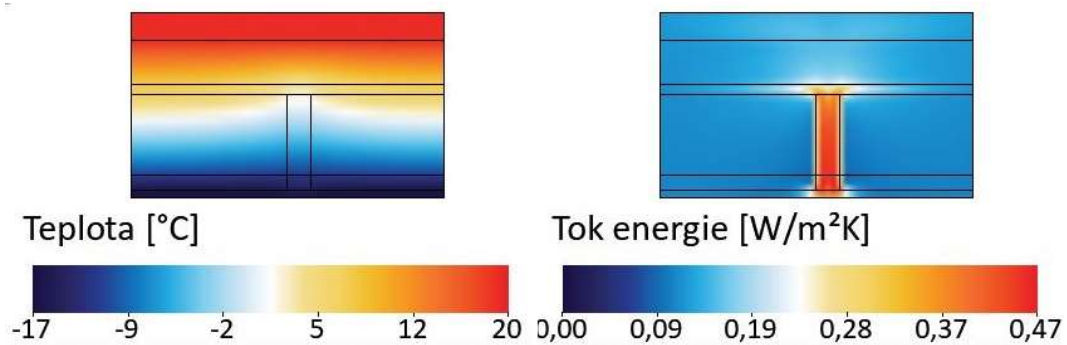
$$\frac{1}{R_{EKV}} = \frac{f_a}{R_2} + \frac{f_b}{R_3 + R_4}, R_{EKV} = 4,2466 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

$$R = \frac{(R' + 2R'')}{3} = 7,3292 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$$

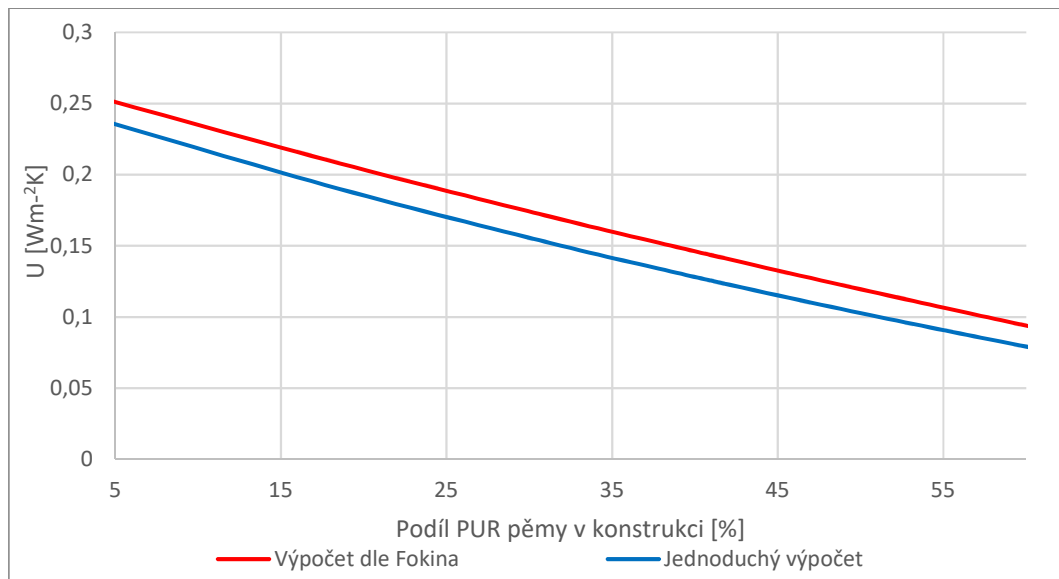
$$U = \frac{1}{R} = 0,1364 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Požadovaná hodnota  $U_{\text{pas}}$  dle ČSN 73 0540-2 = **0,15 W/m<sup>2</sup>K**

Optimalizací tloušťky nosného rámu konstrukce bylo dosaženo konstrukce, která se splňuje požadované hodnoty pro použití v pasivní budově. Na obr. č. 41 je zobrazeno rozložení teplot v konstrukci a tok tepla tepelným mostem.



**Obr. č. 41** Simulace rozložení teploty v konstrukci a toku energie splňující doporučené hodnoty pro pasivní domy (ARCHICAD)



**Obr. č. 42** Graf vlivu tepelného mostu na optimalizace konstrukce prostřednictvím optimalizace polyuretanové pěny.

Z grafu na obr. č 42 lze vidět, že s rostoucím podílem PUR pěny v konstrukci klesají v součinitel prostupu tepla rovnoběžně. To znamená že se nemění účinek tepelných mostů na konstrukci se změnou tloušťky izolace

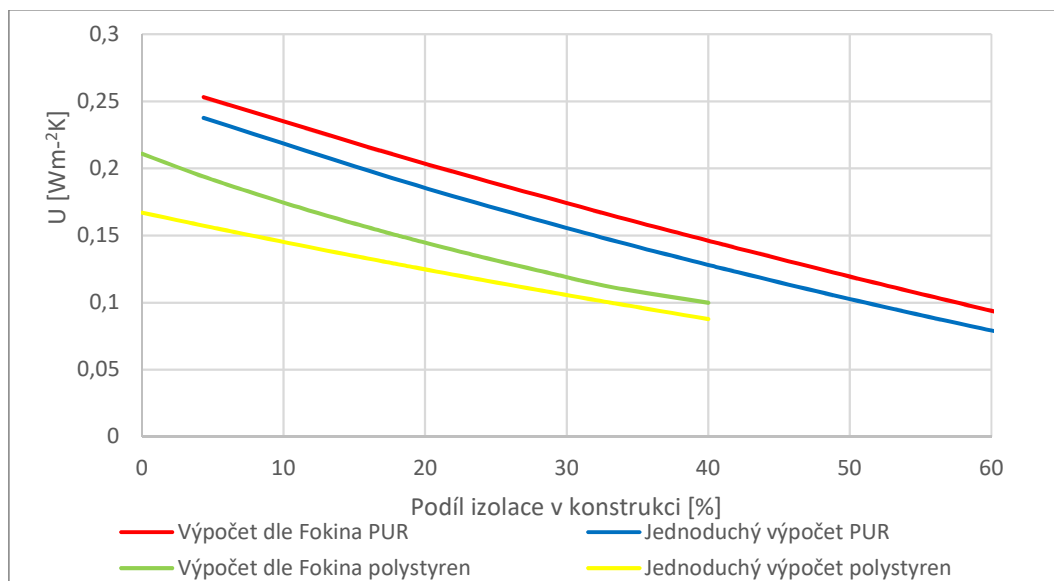
## 6 Diskuze

Byla navržena základní skladba podlahy pro dřevostavby založené s průlezným prostorem. Skladba SP1<sub>z</sub> byla navržena vrstvami OSB, polyuretanovou pěnou s uzavřenou strukturou buněk, polyuretanová pěna s otevřenou strukturou buněk a OSB. Tato skladba byla podrobena měření v teplé skříni. Měření probíhalo po dobu 14 dní bez přerušení. Na jedné straně byla udržována konstantní teplota a na studené straně byla řízena teplota v rozmezí od -14 °C do 6 °C. Měřily se zde povrchové teploty vzorku a výkon potřebný k zajištění konstantní teploty v teplé komoře. Hlavním cílem tohoto testu bylo zjištění součinitele prostupu tepla skladby podlahy. Výpočtová hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540 je  $0,2220 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ , průměrná naměřená hodnota je  $0,2521 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Rozdíl těchto hodnot je minimální a byl způsoben průniky kolem vzorku, jehož utěsnění nemuselo být provedeno dostatečně. Dalším důvodem může být místo rozřezání vzorku, které vzniklo kvůli transportu. Očekávání však bylo, že součinitel prostupu tepla dosáhne lepší hodnoty, než jsou hodnoty výpočtové. Podle mého názoru by výpočty, podle kterých se tyto konstrukce posuzují, odpovídat horším vlastnostem v porovnání s reálnými. Měřená skladba podlahy nedosahuje požadovaného součinitele prostupu tepla sama o sobě, právě z tohoto důvodu je nutné k základní konstrukci přidat vrstvy. Z průběhu hustoty tepelného toku při měření víme, že vedení tepla probíhalo jedním směrem. V reálných podmínkách je třeba počítat s obousměrným vedením tepla a především s tím, že teplo je vedeno podle rozdílu teploty. Pro stacionární vedení tepla je počítáno se zachováním energie, tzn. že tok tepla, který vstupuje do konstrukce ji také opouští, a zároveň se nemění v čase. Ovšem v případě použití dřeva v konstrukci je nutné počítat také s akumulací energie. Akumulaci energie uvažuje nestacionární vedení tepla, jako takové uvažuje i s výměnou tepla mezi jednotlivými částmi tělesa nejen ve směru toku tepla. V 1D se počítá pouze s vedením tepla jedním směrem. Při výpočtech jednotlivých detailů, použijeme 2D model, který umí počítat výpočtové PC programy. V praxi by bylo možné zavést zhoršující koeficienty co týká použití různých metod

kotvení izolací. V návaznosti na tuto práci by bylo zajímavé propočítat, jaký důsledek bude mít tento rozdíl na energetickou bilanci celé budov. Dále by stálo za to změřením této konstrukce pomocí horké desky, a následné změřením jednotlivých vrstev. Tímto měřením bychom ověřili koeficienty tepelné vodivosti jednotlivých materiálů. Vyhodnocení vlastností při aplikaci PUR pěny při nevhodné vlhkosti podkladu. Dále by bylo vhodné pokračovat s měřením většího množství vzorků, a určení zhoršujícího koeficientu pro materiály na bázi polyuretanové pěny.

Skladby byly optimalizovány tloušťkou izolačních materiálů. Konstrukce SP1<sub>n</sub> splnila požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla, která je 0,2109 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>, bez použití polystyrenu. Požadovaná hodnota je 0,2400 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. Optimalizace skladby SP2<sub>n</sub> byla provedena v rovině polyuretanové pěny. Vrstva polyuretanové pěny s otevřenou strukturou buněk byla snížena na 4 cm, v tomto případě dosahuje hodnoty součinitele prostupu tepla 0,2177 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. Kromě výpočtu byla také provedena simulace rozložení teplot v konstrukci pomocí simulace tepelných mostů v programu ARCHICAD. Při porovnání grafického znázornění rozložení teplot a toku pro energie pro skladby SP1<sub>n</sub> a SP2<sub>n</sub>, se jeví lepším řešením optimalizace SP2<sub>n</sub>. V této skladbě podlahy je přerušen tepelný most. Pro dosažení doporučených hodnot už je zapotřebí použití polystyrenu. Při použití 6 cm vrstvy polystyrenu EPS 100 dosáhneme bezproblémově na doporučené hodnoty, a dokonce se přiblížíme součiniteli prostupu tepla pro pasivní domy. Po dosazení EPS do optimalizace SP1<sub>rec</sub> jsme dosáhli součinitele prostupu tepla 0,1541 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. Konstrukce SP2<sub>rec</sub> dosahuje hodnoty součinitele prostupu tepla pouze 0,1706 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. V případě doporučených hodnot je vhodnější zvolit konstrukci SP1<sub>rec</sub>, neboť dosahuje lepší hodnoty součinitele prostupu tepla. Ze simulace vyplývá, že na přestupu tepla mezi pěnou s otevřenou strukturou buněk a OSB desky jsou již kladné hodnoty teploty v tomto bodě. Tato skladba je optimální pro využití v nízkoenergetických budovách. Tyto skladby byly dále optimalizovány do pasivního standartu SP1<sub>pas</sub> a SP2<sub>pas</sub>. Součinitel prostupu tepla skladby SP2<sub>pas</sub> je 0,1364 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup> a skladby SP1<sub>pas</sub> 0,1112 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. Skladby jsou

téměř stejné, jediný rozdíl je v tloušťce polystyrenu pod anhydridem. Hlavní roli při výběru skladby, by zřejmě hrála spíše ekonomická stránka věci. Polystyren v konstrukci SP2<sub>pas</sub> o tloušťce 90 mm stojí 155 Kč/m<sup>2</sup>, polystyren v konstrukci SP1<sub>pas</sub> o tloušťce 150 mm stojí 260 Kč/m<sup>2</sup>. Tepelné mosty ovlivňují konstrukce optimalizované tloušťkou polystyrenu z 15 %. Konstrukce optimalizované tloušťkou stříkané izolace jsou teplenými mosty ovlivněny z 13 %.



**Obr. č. 43** Graf optimalizací součinitele prostupu tepla na podílu izolace v konstrukci

V grafu je zobrazeno, jak optimalizace PUR pěny nemění vzdálenost mezi křivkami. Nemění se totiž tloušťka polystyrenu, a proto nedochází ke změně v tepelném mostu. Optimalizace dle polystyrenu oproti tomu nemění tloušťku PUR izolace, pouze upravuje tloušťku polystyrenu, z čehož můžeme usoudit, že nejvhodnějším postupem je zachování tloušťky PUR pěny v rámu a následně pouze měnit tloušťku polystyrenu pod vrstvou anhydridu.



## 7 Závěr

V rámci práce byla navržena konstrukce podlahy. Z výsledků měření, které probíhalo po dobu 14 dnů v teplé skříni, byl stanoven součinitel prostupu tepla  $0,2521 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla je  $0,220 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Rozdíl těchto hodnot je důsledkem toku tepla přes netěsnosti. Měřená konstrukce nedosahuje požadovaných hodnot, je nutné ji optimalizovat. Optimalizací bylo navrženo celkem 6 konstrukcí o izolacích různé tloušťky. Pro splnění požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla byly navrženy dvě skladby  $\text{SP1}_n$  a  $\text{SP2}_n$ . Z nichž skladba  $\text{SP1}_n$  má lepší hodnoty součinitele tepelné vodivosti. V rámci toku energie je výhodnější přerušení tepelného mostu, které bylo provedeno u skladby  $\text{SP2}_n$ . Při optimalizaci skladby, v úrovni doporučených hodnot byly navrženy skladby  $\text{SP1}_{\text{rec}}$  a  $\text{SP2}_{\text{rec}}$ . U skladby  $\text{SP1}_{\text{rec}}$  bylo dosaženo lepší hodnoty součinitele

prostupu tepla. Při optimalizaci skladby v rámci pasivních budov byly navrženy dvě skladby pouze s rozdílnou tloušťkou polystyrenu. Skladba SP1<sub>pas</sub> dosahuje součinitele 0,1112 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>.

## 8 Zdroje

VAVERKA, Jiří. *Dřevostavby pro bydlení*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2205-4.

GATLAND, et al. *A wall and edge guarded hot box for thermal transmittance measurements*. In: *Insulation Materials: Testing and Applications*, 3rd Volume. ASTM International, 1997.

ASDRUBALI, F. 2011. *Thermal transmittance measurements with the hot box method: Calibration, experimental procedures, and uncertainty analyses of three different approaches*. *Energy and Buildings*. Červenec 2011, stránky 1618-1626.

MUMAW, JR. *Calibrated Hot Box: An Effective Means for Measuring Thermal Conductance in Large Wall Sections*. 1974. ASTM International. stránky 193-211.

KLEMS, J.H. 1979. A calibrated hotbox for testing window systems? Construction, Calibration, and measurements on prototype high-performance windows. 1979.

NARDI, I, et. al. *U-value assessment by infrared thermography: A comparison of different calculation methods in a Guarded Hot Box*. Energy and Buildings. 2016, Sv. 122, stránky 211-221.

PÉREZ-LOMBARD. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*. 2008, stránky 394-398.

SNOW, F. J. American Society Of Heating, Refrigeration, And Air Conditioning Engineers (ASH RAE) Thermographic Standard 101 P. In: *Thermal Infrared Sensing Applied to Energy Conservation in Building Envelopes*. International Society for Optics and Photonics, 1982. p. 94-99

AL-HOMOUD, Mohammad S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and environment*, 2005, 40.3: 353-366.

CRANE A, et. al. Stafford Area Save Your Energy Project: Choosing between insulation materials. 2011 Dostupné z WWW: <<http://www.staffordarea.saveyourenergy.org.uk/what/>>

KYMÄLÄINEN, H. R., et. al. Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations. *Building and environment*, 2008, 43.7: 1261-1269.

ČSN EN 14064. *Tepelně izolační výrobky pro stavby – Výrobky z foukané minerální vlny vyráběné in-situ*, Praha :Český normalizační úřad, 2010, 44 s.

ČSN EN 13162+A1. *Tepelně izolační výrobky pro budovy - Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW) – Specifikace*, Praha :Český normalizační úřad, 2016, 44 s.

XU, Xu, et al. Modeling and simulation on the thermal performance of shape-stabilized phase change material floor used in passive solar buildings. *Energy and Buildings*, 2005, 37.10: 1084-1091.

PAVELEK, M. Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6.

MEDEK, Jaroslav, Miloš MOLÁČEK a Josef UHEREK. Experimentální práce. Brno: Ediční středisko VUT, 1987, 114 s.

FUJIMOTO, Hiroya. High thermal insulation technology contributing to residential energy saving. NISTEP Science & Technology Foresight Center, 2009.

YU, H. J., et al. *Sound insulation property of Al-Si closed-cell aluminum foam bare board material*. Transactions of nonferrous metals society of China, 2007, 17.1: 93-98.

GRACO Inc. *Řešení pro manipulaci s kalpalinami: izolační pěna* [online]. Minneapolis : Graco inc, Autorská práva © 2019 • Graco Inc. • Všechna práva vyhrazena [20.04.2019]. Dostupné z WWW: <[www.graco.com/cz/cs.html](http://www.graco.com/cz/cs.html)>.

SFS FoamZall FoamSaw - Spray Foam Insulation Trimming Foam Saw w/ 36" Open Cell Blade - Spray Foam Systems. *Spray Foam Systems | #1 Source for Spray Foam Equipment* [online]. Copyright © 2017 Spray Foam Systems, LLC. All Rights Reserved. [cit. 20.04.2019]. Dostupné z WWW:<<https://www.sprayfoamsys.com/product/sfs-foamzall-foamsaw-spray-foam-insulation-trimming-foam-saw-w-open-cell-blade/>>

DEMAND PRODUCTS - Soft Polyurethane Saw. *Demand Products - Demand Products* [online]. Copyright © 2018, Demand Products, Inc., Alpharetta, GA USA [cit. 20.04.2019]. Dostupné z WWW:< <https://www.demandproducts.com/OWA/Product/MarketingCatalog?Level=001CONSTRU&Level=03SPRAYFOA&Level=SAWSPOLYPL&Level=SAWS&Level=SAWPNEUMA&PathDesc=construction-themeing-spray-foam-tools-saws-poly-planers-foam-saws-soft-polyurethane-saw>>

SALMON, D. *Thermal conductivity of insulations using guarded hot plates, including recent developments and sources of reference materials*. Measurement Science and Technology, 2001, 12.12: R89.

- BURKE, S. Advantages and risks associated with crawl space foundations. In: *7th Nordic Building Physics Symposium*. The Icelandic Building Research Institute, 2005. p. 757-764.
- KULHÁNEK, F. et. al. *Stavební fyzika 20 - Stavební tepelná technika*. Praha: ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03408-9.
- PENG, C, et. al. . *In situ measuring and evaluating the thermal resistance of building construction*. Energy and Buildings, 2008, 40.11: 2076-2082.
- Kurnitski, J. (2019). *Humidity control in outdoor-air-ventilated crawl spaces in cold climate by means of ventilation, ground covers and dehumidification /*. ResearchGate | Share and discover research [online]. Copyright © [cit. 20.04.2019]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Jarek\\_Kurnitski/publication/35740873\\_Humidity\\_control\\_in\\_outdoor-air-ventilated\\_crawl\\_spaces\\_in\\_cold\\_climate\\_by\\_means\\_of\\_ventilation\\_ground\\_covers\\_and\\_dehumidification/links/579b2d7808ae2e0b31b35361/Humidity-control-in-outdoor-air-ventilated-crawl-spaces-in-cold-climate-by-means-of-ventilation-ground-covers-and-dehumidification.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jarek_Kurnitski/publication/35740873_Humidity_control_in_outdoor-air-ventilated_crawl_spaces_in_cold_climate_by_means_of_ventilation_ground_covers_and_dehumidification/links/579b2d7808ae2e0b31b35361/Humidity-control-in-outdoor-air-ventilated-crawl-spaces-in-cold-climate-by-means-of-ventilation-ground-covers-and-dehumidification.pdf)
- KUMARAN, M. K.; BOMBERG, M. T. *Thermal performance of sprayed polyurethane foam insulation with alternative blowing agents*. Journal of Thermal Insulation, 1990, 14.1: 43-57.
- ŠUBRT, R. *Tepelné mosty: pro nízkoenergetické a pasivní domy : 85 prověřených a spočítaných stavebních detailů*. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-4059-1.
- ADITYA, L., et al. *A review on insulation materials for energy conservation in buildings*. Renewable and sustainable energy reviews, 2017, 73: 1352-1365.
- ASHRAE, ASHRAE Handbook. HVAC systems and equipment. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta*, 2000.

ÅBERG, Olle. Kryprumsgrunder. Statens råd för byggnadsforskning, 1995.

ŠÁLA, J. *Problematika provětrávaného prostoru založení energeticky efektivních dřevostaveb*. TZB-info [online]. [cit. 20.04.2019]. Dostupné z WWW: <<http://www.stavba.tzb-info.cz/drevostavby/10387-problematika-provetravaneho-prostoru-zalozeni-energeticky-efektivnich-drevostaveb>>

TYWONIAK, J. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2061-6.

KOLB, J. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2275-7.

Bytová výstavba, stavební povolení a stavební zakázky - časové řady | ČSÚ. Český statistický úřad | ČSÚ [online]. [cit. 20.04.2019]. Dostupné z: WWW<[https://www.czso.cz/csu/czso/bvz\\_cr](https://www.czso.cz/csu/czso/bvz_cr)>

POŽGAJ, A. et al. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava: Príroda, 1993. ISBN 80-07-00600-1.

*Tepelná ochrana budov: komentář k ČSN 73 0540*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008. ISBN 978-80-87093-30-6.

Profesjonalista w przemyśle poliuretanów - Polychem Systems Sp. z o.o.. *Profesjonalista w przemyśle poliuretanów - Polychem Systems Sp. z o.o.* [online]. [cit. 20.04.2019]. Dostupné z WWW<<http://www.polychem-systems.com.pl>>

ISOVER produkty: nabízí nejširší sortiment tepelných, zvukových a protipožárních izolací.. *ISOVER: tepelné izolace, zvukové izolace a protipožární izolace* [online]. Copyright © 2019 [cit. 20.04.2019]. Dostupné z WWW:< <https://www.isover.cz/produkty>>

Naše kompletní služby | Izolace Nejedlý. *Izolace Nejedlý | Izolace Nejedlý* [online]. Dostupné z WWW: <<https://www.isolace-nejedly.eu/nase-kompletni-sluzby/>>

Minerální vata DEKWOOL G 039r role 100 mm (9800x1200 mm) |  
Stavebniny DEK. *Stavebniny DEK* [online]. Copyright © 2019 DEK a.s. [cit.  
20.04.2019]. Dostupné z  
WWW: <<https://www.dek.cz/produkty/detail/1456101830-dekwool-g-039r-100mm-11-76m2-role/4488>>

PODLAHOVÝ POLYSTYREN EPS 100 - Eshop. *STAVEBNINY LEVNĚ -  
HELUZ, PORFIX, POROTHERM, TONDACH, KM BETA, DITON -  
Eshop* [online]. [cit. 20.04.2019]. Dostupné z WWW: <<https://stavebniny-levne.cz/podlahovy-polystyren-eps-100-2.php>>