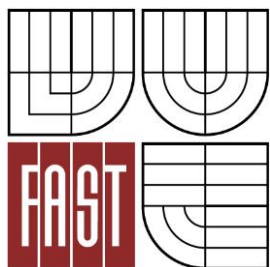




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

ANALÝZA ROZSAHU POŠKOZENÍ SUCHÝCH PODLAH V PŘÍPADĚ VLHKOSTNÍ HAVÁRIE

DAMAGE EXTENT ANALYSIS OF DRY FLOORS IN CASE OF A FLOOD

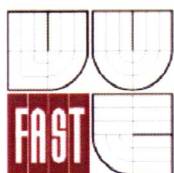
DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN ŠÍR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DAVID BEČKOVSKÝ, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště Ústav pozemního stavitelství

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. Jan Šír

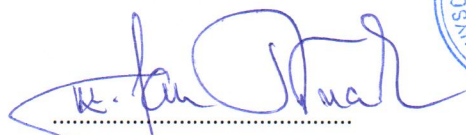
Název Analýza rozsahu poškození suchých podlah v případě vlhkostní havárie

Vedoucí diplomové práce Ing. David Bečkovský, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2015

Datum odevzdání diplomové práce 15. 1. 2016

V Brně dne 31. 3. 2015


.....
prof. Ing. Milošlav Novotný, CSc.
Vedoucí ústavu


- 29 -


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

Podklady a literatura

Katalogy a odborná literatura. Předpis č. 62/2013 Sb. - Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb. Předpis č. 499/2006 Sb. - Vyhláška o dokumentaci staveb. Předpis č. 20/2012 Sb. - Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. Předpis č. 268/2009 Sb. - Vyhláška o technických požadavcích na stavby. Předpis č. 398/2009 Sb. - Vyhláška o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb. Platné ČSN, příp. další podklady...

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

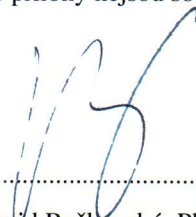
Zadání VŠKP: Analýza rozsahu poškození suchých podlah v případě vlhkostní havárie

Cíl práce: Rámcové cíle práce jsou měření parametrů stavebních konstrukcí a studium procesů v nich probíhajících. Přesné stanovení cílů bude dohodnuto s vedoucím práce na základě odborné rozpravy v průběhu řešení teoretické části práce. Textová i výkresová část bude zpracována s využitím výpočetní techniky (v textovém a grafickém editoru). Výkresy budou opatřeny jednotným popisovým polem a k obhajobě budou předloženy složené do desek z tvrdého papíru potažených černým plátnem s předepsaným popisem se zlatým písmem.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



.....
Ing. David Bečkovský, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na analýzu rozsahu poškození suchých podlah v případě vlhkostní havárie. V první části se zabývá problematikou namáhání budov z pohledu stavební fyziky, skladbou podlahy a její návazností na konstrukce dřevostaveb. Ve druhé části popisuje zkoušení třech experimentálních vzorků podlah při simulované vlhkostní havárii. Zkoumá a hodnotí chování a způsob šíření unikající vody a vliv působení vlhkosti na materiály.

Klíčová slova

Podlaha, vlhkost, vlhkostní havárie

Abstract

The thesis is focused on analysis of damage extent of dry floors in case of a flood. In the first part it deals with problems of buildings' stress factors in the point of view of building physics, floor composition and its connection to constructions of timber houses. In the second part it describes testing of three experimental floor samples during simulated flood. It examines and evaluates the behavior and the way of spreading of the leaking water and the effect of moisture on the materials.

Key words

Floor, moisture, flood

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Jan Šír *Analýza rozsahu poškození suchých podlah v případě vlhkostní havárie*. Brno, 2016. 97 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Ing. David Bečkovský, Ph.D.

Prohlášení:

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

V Brně dne 6. 1. 2016

Jan Šír

podpis autora

Bc. Jan Šír

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Davidu Bečkovskému, Ph.D. za cenné rady, připomínky a za pomoc při realizaci experimentu. Tato diplomová práce byla zpracována s využitím infrastruktury Centra AdMaS.

OBSAH

A – TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ÚVOD	12
1.1 Současnost a pokrok	12
1.2 Udržitelný vývoj ve stavitelství	12
2 NAMÁHÁNÍ BUDOV	14
2.1 Tepelná technika	14
2.1.1 Nejnižší povrchová teplota	15
2.1.2 Součinitel prostupu tepla	15
2.1.3 Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy	17
2.2 Původ vlhkosti ve stavebních konstrukcích	17
2.2.1 Podoby vody působící na stavební objekty	18
2.2.2 Charakteristika vzniku vlhkostního namáhání staveb	18
3 PODLAHY	21
3.1 Podlahy obecně – jednotlivé vrstvy a jejich funkce	21
3.2 Podlahové systémy dle technologie provádění	28
3.2.1 Podlahové systémy – suché technologie	28
3.2.2 Podlahové systémy – mokré technologie	29
3.3 Filosofie návrhu podlahy	30
3.3.1 Stanovení oblasti použití a nároků na navrhovanou podlahu	30
3.3.2 Výběr tepelného izolantu	31
3.3.3 Upřesňující kritéria při návrhu podlahy	36
4 DŘEVOSTAVBY	37

B – PRAKTICKÁ ČÁST.....	41
5 VLHKOST VE STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍCH.....	42
5.1 Negativní projevy vlhkosti a jejich řešení	42
5.1.1 Zděné konstrukce.....	42
5.1.2 Konstrukce dřevostaveb.....	44
5.2 Monitoring vlhkosti dřevostaveb	46
5.2.1 Moisture Guard	47
5.2.2 Další systémy pro monitoring vlhkosti.....	49
5.3 Havárie rozvodů instalací	50
6 EXPERIMENT	53
6.1 Cíle experimentu.....	53
6.2 Metodika experimentu	54
6.3 Konstrukce a skladba vzorků.....	55
6.3.1 Konstrukce OSB vany	55
6.3.2 Skladba podlahy.....	56
6.4 Způsob máčení.....	64
6.4.1 První varianta – ocelové kohouty	64
6.4.2 Druhá varianta – plastová kapátka.....	65
6.5 Fáze experimentu.....	66
6.5.1 První fáze experimentu	66
6.5.2 Druhá fáze experimentu.....	67
6.5.3 Třetí fáze experimentu	69
7 VÝSLEDKY EXPERIMENTU.....	70
7.1 Prostředky k dosažení cílů a vyhodnocování výsledků	70
7.1.1 Nářadí.....	70

7.1.2 Přístroje.....	70
7.2 Poškození po první fázi experimentu.....	70
7.2.1 Podlaha A.....	70
7.2.1 Podlaha B.....	72
7.2.1 Podlaha C.....	77
7.3 Poškození po druhé fázi experimentu.....	79
7.3.1 Podlaha A.....	79
7.3.2 Podlaha C.....	83
7.4 Poškození po třetí fázi experimentu.....	85
7.5 Materiálové charakteristiky odebraných vzorků.....	87
7.5.1 Hmotnostní vlhkost.....	87
7.5.2 Součinitel tepelné vodivosti.....	88
8 ZÁVĚR.....	90
8.1 Charakter šíření vody.....	90
8.2 Charakter poškození jednotlivých materiálů.....	91
8.3 Praktické závěry.....	92
Seznam použitých zdrojů.....	93
Seznam použitých symbolů a zkratek.....	96

A – TEORETICKÁ ČÁST

- Úvod
- Namáhání budov
 - Podlahy
- Dřevostavby

1 ÚVOD

1.1 Současnost a pokrok

Žijeme v době pokroku. Svět kolem nás se mění a vyvíjí závratnou rychlostí. Co platilo včera, už nemusí platit dnes a těžko, jen velmi těžko odhadovat, co přijde zítra. Rozvoj je patrný ve všech sférách naší společnosti. Denně se setkáváme s novými technologiemi, s novými výrobky a materiály i s novými službami. Podíváme-li se na kterékoliv průmyslové odvětví, zjistíme, že se za poslední roky výrazně zdokonalilo a posunulo. Oborem, který v tomto směru rozhodně není výjimkou a ve kterém jsou důsledky pokroku a rychlého rozvoje technologií velmi patrné, kde se opravdu každý den objevují nová technologická a konstrukční řešení, nové materiály nabízející nové možnosti využití a nové a dokonalejší výrobky, je stavitelství.

Stavby jsou nedílnou součástí života lidí. Už dávno neslouží jen jako ochrana před nepřízní počasí a střecha nad hlavou. Současné trendy a styl života způsobují, že v budovách trávíme většinu svého času. Pracujeme v nich, bydlíme i spíme. S tím, jak rychlý je pokrok v oblasti průmyslu, se také velmi rychle rozšiřují a otevírají možnosti novým řešením. Ty nabízejí způsoby, jak naše obydlí lépe přizpůsobit lidským potřebám, jak zkvalitnit prostředí uvnitř budov, ale také jak udělat výstavbu i užívání staveb ekonomičtější a podobně. Dalším neméně důležitým motivátorem a hybnou silou pokroku je schopnost konkurovat se svými produkty na trhu. V dnešní době už není problém dopravovat materiály a výrobky na větší vzdálenosti a vyměňovat si informace v zanedbatelném čase, což zvyšuje nároky na kvalitu, ale i na cenu výrobků.

1.2 Udržitelný vývoj ve stavitelství

Technologický pokrok opravdu nabízí mnohé nové možnosti. Otázkou ale zůstává, jakým způsobem bychom se měli v současnosti a v budoucnu snažit stavět? O co bychom měli usilovat, co by mělo být cílem vývoje a kterým směrem bychom se při navrhování a výstavbě moderních novodobých budov měli ubírat? Spolu s pokrokem na Zemi také přibývá lidí a ubývá neobnovitelných přírodních zdrojů. Proto by se moderní způsob uvažování, a to nejenom ve stavitelství, měl více ohlížet na dopady průmyslové výroby na životní prostředí. Měli bychom se více zamýšlet nad používanými materiály

a technologiemi, snažit se zapojit takové materiály, jejichž užívání nezatěžuje tolik přírodu, které jsou snáze recyklovatelné a jejich užíváním nevznikají těžko odbouratelné odpady.

V posledních letech můžeme ve stavitelství pozorovat snahy o užívání „alternativních“ přírodních produktů na místo tradičních výrobků, jakými jsou například keramické zdicí prvky nebo v poslední době hojně užívaný a poněkud kontroverzní polystyren. Jedná se především o materiály na přírodní bázi – bloky ze slámy, konopí, hliněné omítky, tepelné izolace z dřevovláknů nebo z ovčí vlny a mnohé další. Významným materiálem, který sice není ve stavitelství nový, ale nabízí řadu výhod a je ekologicky šetrný a snadno obnovitelný, je dřevo. Druhou významnou skupinou materiálů, které nabízí řešení pro ekologickou a trvale udržitelnou výstavbu, jsou recykláty. Opět se můžeme setkat s mnoha podobami výrobků tohoto druhu. Nejčastěji ovšem s recyklovanými plasty, které mohou opět zastupovat řadu výrobků. Na trhu se objevují pevné konstrukční prvky ale i materiály podobné vlně, používané například jako tepelné izolanty, k akumulaci vlhkosti, drenáži a podobně.

Kromě použitých materiálů a nových výrobků k šetrnosti staveb a snaze o udržitelný rozvoj přispívá také technické vybavení budov a jejich užívání. Každý dům či jiná stavba za provozu spotřebovává energii na vytápění popřípadě chlazení, větrání, osvětlení, ohřev teplé užitkové vody, provoz elektrických spotřebičů a podobně. Použitím modernějších technologií se sice možná o něco zvyšuje pořizovací cena takového domu, z dlouhodobějšího hlediska se ale jedná o investici návratnou. A kromě ekonomických výhod pro jednotlivce skýtá takovéto řešení mnohé přínosy také ekologické pro celou společnost i pro další generace. Společně s vybavením domu se na spotřebě podílí i způsob užívání. I při zachování relativně vysokého komfortu při užívání staveb se dá pouhým přemýšlením při běžných činnostech a „lepší morálkou“ ještě mnoho ušetřit. Mělo by být cílem nastavit legislativní i jiné motivační podmínky tak, aby se budoucí investoři při výstavbě i uživatelé ubírali právě tímto směrem.

2 NAMÁHÁNÍ BUDOV

Budovy jsou namáhány mnoha různými faktory a je třeba je navrhovat tak, aby všechna působící zatížení přenesly a po dobu plánované životnosti dokázaly plnit požadované funkce. Hlavním faktorem, působícím na stavební objekty, je bezesporu statické zatížení. Je nezbytné, aby stavby toto zatížení prostřednictvím nosných konstrukcí přenesly od horních částí až do základů a do únosného podloží. Se statickým zatížením souvisí i mechanická odolnost, kterou je rovněž potřeba u staveb v přiměřené míře zajistit. Další nezbytnou součástí je splnění podmínek pro bezpečné užívání staveb. Je třeba navrhovat dostatečně vysoké zábradlí stejně jako schodiště v určitém sklonu. Bezpečnost se dále musí zajistit i v případě požáru a je nezbytné navrhovat budovy v souladu se souborem pravidel požární bezpečnosti. Budovy, zejména ty obývané, musí vyhovovat z hlediska ochrany zdraví, zdravých životních podmínek, ochrany proti hluku, negativních projevů vlhkosti a podobně. Dalším významným faktorem, který je třeba při návrhu staveb zohlednit, je ochrana tepla a tepelná technika.

2.1 Tepelná technika

Tepelná technika byla vždy nedílnou součástí fungování budov. V minulosti ale byla do jisté míry přehlížena, obvodové konstrukce se budovaly na základě zkušenosti a upřednostňovala se hlavně statická funkce. Nikdo se do hloubky nezajímal o to, jak a kolik by se dalo ušetřit zdokonalením tepelně izolačních vlastností obálky budovy, lepším využitím solárních zisků, použitím efektivnějších zdrojů vytápění a podobně. V dnešní době je ovšem toto téma velmi aktuální, diskutované a moderní výstavba, výrobky i materiály směřují ve velké míře k co nejlepším tepelně technickým řešením a vlastnostem. Tato situace je dána, jak jsem již zmiňoval výše, právě tlakem společnosti na ekonomičtější i ekologičtější způsoby i novými technologiemi a moderními materiály. Z hlediska tepelně technického posouzení budovy uvažujeme tři zásadní kritéria, a to nejnižší povrchovou teplotu, součinitel prostupu tepla a průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy.

2.1.1 Nejnižší povrchová teplota

Prostřednictvím povrchové teploty se stanovuje, zda stavební konstrukce v navržené skladbě vyhoví požadavku, aby na jejím vnitřním povrchu nemohlo dojít ke kondenzaci vzdušné vlhkosti a posléze k dalším negativním jevům, jako je vznik hniloby a růst plísní. Aby bylo možno toto posoudit, provádí se výpočet tzv. teplotního faktoru vnitřního povrchu f_{Rsi} dle následujícího vztahu:

$$f_{Rsi} = 1 - \frac{\theta_{ai} - \theta_{si}}{\theta_{ai} - \theta_e} \quad (1)$$

kde

f_{Rsi}	- teplotní faktor vnitřního povrchu	(-)
θ_{ai}	- teplota vzduchu v interiéru	(°C)
θ_e	- teplota vzduchu v exteriéru	(°C)
θ_{si}	- vnitřní povrchová teplota	(°C)

Tento vypočtený teplotní faktor se následně porovnává s kritickým teplotním faktorem, pro který platí, že při dosažení právě jeho hodnoty je konstrukce ohrožena zmíněnou kondenzací vzdušné vlhkosti. Kritický teplotní faktor se počítá z rovnice s přirozeně-logaritmickou závislostí vztahu na návrhové a kritické vnitřní vlhkosti bezprostředně u vnitřního povrchu konstrukce. [1]

2.1.2 Součinitel prostupu tepla

Základní tepelně technickou charakteristikou každého materiálu je jeho součinitel tepelné vodivosti. Značí se λ a vyjadřuje množství tepla, které projde za jednotku času jednotkou plochy homogenního materiálu o jednotkové tloušťce, jejíž stěny mají jednotkový rozdíl teplot. Je tedy žádoucí, aby tepelné izolanty měly tento součinitel tepelné vodivosti co nejnižší. Hodnoty dnes používaných tepelných izolantů se pohybují kolem 0,035 W/m·K, ale mohou se dostat i níže, jak na vybraných příkladech ukazuje tabulka 1:

Tabulka 1 – Součinitele tepelné vodivosti vybraných tepelných izolantů

MATERIÁL	SOUČINITEL TEPELNÉ VODIVOSTI λ (W/m•K)*
Polystyrén EPS	0,037
Polystyrén EPS + grafit	0,031
Polystyrén XPS	0,032
Minerální vata	0,038
Dřevovlákn	0,040
Polyisokyanurát	0,022

*Je nutno poznamenat, že hodnoty v tabulce 1 jsou hodnoty vybraných druhů tepelných izolantů a že různí výrobci uvádějí různé hodnoty. Tyto jsou zpravidla uváděny jako deklarované, na základě série měřených hodnot podle ČSN EN 12667. Při tepelně technických výpočtech je nutné neuvažovat s laboratorními podmínkami, ale počítat se skutečnými podmínkami zabudování na stavbě a tedy hodnotu adekvátně zvýšit.

Když kromě součinitele tepelné vodivosti uvážíme ještě tloušťku daného materiálu a zohledníme přestup tepla na vnitřním a na vnějším povrchu konstrukce, dostaneme jeho celkový tepelný odpor R , a to z rovnice 2:

$$R = R_{si} + \sum_1^i \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se} \quad (2)$$

kde

R	- celkový tepelný odpor konstrukce	$(m^2 \cdot K/W)$
R_{si}	- tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně	$(m^2 \cdot K/W)$
R_{se}	- tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně	$(m^2 \cdot K/W)$
d_i	- tloušťka i -té vrstvy konstrukce	(m)
λ_i	- součinitel tepelné vodivosti i -té vrstvy konstrukce	$(W/m \cdot K)$

respektive jeho obrácenou hodnotu – součinitel prostupu tepla U :

$$U = 1/R \quad (3)$$

kde

U	- součinitel prostupu tepla	$(W/m^2 \cdot K)$
R	- celkový tepelný odpor konstrukce	$(m^2 \cdot K/W)$

Součinitel prostupu tepla je základním tepelně technickým ukazatelem tepelně izolačních vlastností konstrukcí budovy. Vyjadřuje, kolik wattů tepla projde jednotkovou plochou konstrukce při jednotkovém rozdílu teplot na opačných stranách. Podle normy ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov jsou stanoveny požadavky na jednotlivé konstrukce. Pro těžké stěny stanovuje tato norma například jako doporučenou hodnotu $0,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, pro stěny pasivních domů potom $0,18 - 0,12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. [1]

2.1.3 Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy

Průměrný součinitel prostupu tepla se značí U_{em} a jedná se o hodnotu vypočtenou dle rovnice 4:

$$U_{em} = H_T/A \quad (4)$$

kde

U_{em} - průměrný součinitel prostupu tepla (W/m²·K)

H_T - měrná ztráta prostupem tepla obálkou budovy (W/K)

A - celková plocha obálky budovy (W/K)

Tato vypočtená hodnota se posléze porovnává s referenční budovou. Referenční budova představuje tvarově shodný objekt, s tím rozdílem, že součinitel prostupu tepla všech obvodových konstrukcí se uvažuje právě roven normou požadovaným hodnotám. V závislosti na poměru průměrného součinitele prostupu tepla obálkou navrhované a referenční budovy se objekt v rámci energetického štítku obálky budovy zařadí do příslušné kategorie hospodárnosti. [1]

2.2 Původ vlhkosti ve stavebních konstrukcích

Vlhkost – tedy voda – je dalším činitelem, který namáhá stavby a stavební konstrukce. Vyskytuje se v plynném, kapalném nebo pevném skupenství a působí na stavbu nebo její část nebo na vnitřní prostředí obvykle nežádoucím účinkem. Největší problém představuje vlhkost pro dřevo a podobné přírodní materiály, které snadno podléhají biochemické korozi, hnilobě a působení organismů. Většina tepelných izolantů ztrácí při rostoucí vlhkosti své izolační vlastnosti. Pro zděné, či betonové konstrukce představuje zase vlhkost rizika v případě, kdy voda v konstrukci opětovně mrzne a rozmrzá, mění tak svůj objem a způsobuje praskání materiálu.

2.2.1 Podoby vody působící na stavební objekty

Voda působící na stavby může být atmosférická, povrchová, podpovrchová, provozní nebo technologická. Atmosférická voda zahrnuje vlhkost vnějšího vzduchu, kapalně srážky, tuhé srážky, námrazu a zalednění částí staveb a odstříkující srážkovou vodu. Povrchová voda představuje vodu stékající po povrchu území, vodu v tocích a v nádržích. Podpovrchová voda zahrnuje zemní vlhkost, prosakující, podzemní a puklinovou vodu. Provozní voda zahrnuje vlhkost vnitřního vzduchu, vodu zkondenzovanou na vnitřních površích i uvnitř stavebních konstrukcí, vodu obsaženou v bazénech a nádržích a rozvodech technologických zařízení i vodu vnesenou do objektu na vozidlech. Technologická voda je potom vlhkost zabudovaná do konstrukcí při jejich realizaci.

2.2.2 Charakteristika vzniku vlhkostního namáhání staveb

Různé formy výskytu vody v přírodě i ve stavbě charakterizují některé společné prvky vlhkostního namáhání staveb:

- namáhání vodou v plynném skupenství
- namáhání vlhkostí přilehlého pórovitého prostředí
- namáhání vodou stékající po povrchu konstrukcí
- namáhání vodou prosakující přilehlým pórovitým prostředím
- namáhání tlakovou vodou
- namáhání vodou v pevném skupenství

Namáhání vodou v plynném skupenství

Toto namáhání vzniká příčinou koncentrace vodní páry ve vzduchu. Ta je materiálem z okolního vzduchu pohlcována a projevuje se jako sorpční vlhkost materiálů. Tento způsob namáhání vzniká v důsledku různých parciálních tlaků vodní páry na površích konstrukcí, následkem toho dochází k difúzi a může vést k následné kondenzaci vodní páry v konstrukcích. Vzniká také v důsledku výparu vlhkosti z povrchu vlhkých stavebních konstrukcí. Často také v uzavřených prostorách budov dochází ke zvýšení vlhkosti vnitřního vzduchu. Vzniká také působením tlaku vodní páry v důsledku vzestupu teploty vlhkých stavebních materiálů v uzavřené materiálové struktuře nebo konstrukci.

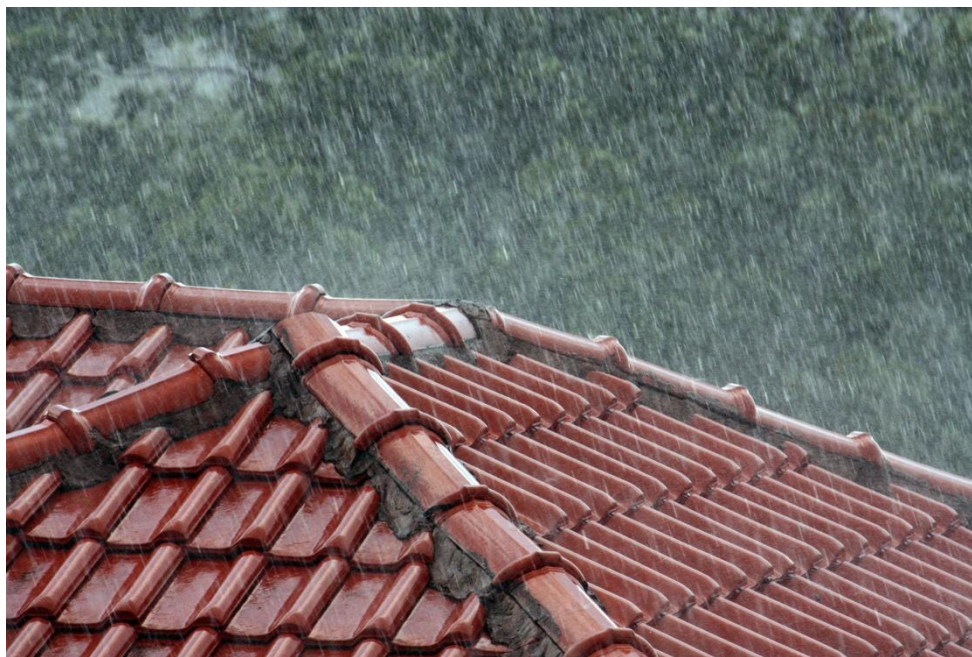
Zamezení vzniku kondenzátu na vnitřním povrchu konstrukcí lze dosáhnout především dostatečnými tepelně izolačními vlastnostmi konstrukcí. Je možné i temperování povrchů sálavým teplem, proudem vzduchu, plošným nebo liniovým temperováním apod. Lze užít i úpravu teplotních a vlhkostních parametrů vzduchu ve vnitřním prostředí staveb. Kondenzaci vodní páry na vnitřním povrchu konstrukcí lze výjimečně připustit, pokud není na závalu funkčních vlastností a trvanlivosti konstrukcí, ani nesnižuje požadovanou hygienickou a estetickou kvalitu prostředí. [2]

Namáhání vlhkostí přilehlého pórovitého prostředí

Tato forma namáhání stavebních konstrukcí se objevuje, působí-li na stavební konstrukci voda, šířící se v přilehlém pórovitém horninovém prostředí nebo na stavebních materiálech, popř. šířící se z povrchu konstrukcí, působením kapilárních sil, vypařováním a kondenzací v kapilárních systémech, a to všemi směry i proti směru gravitace a přes rozhraní vrstev. Vzniká v důsledku poklesu povrchové teploty konstrukcí pod rosný bod. Intenzita namáhání závisí především na druhu a poloze zdroje vlhkosti, pórovitosti materiálů a fyzikálních vlastnostech působící vody. [2]

Namáhání vodou stékající po povrchu konstrukcí

Vzniká, působí-li na svislé nebo sklonité stavební konstrukce voda v kapalném skupenství, stékající vlivem gravitace po jejich povrchu, aniž by se kdekoli v kontaktu se stavební konstrukcí hromadila a vytvářela spojitou hladinu. Podle zdroje působící vody může být hydrofyzikální namáhání zvýšeno hydrodynamickými vlivy, tlakem větru apod. Například u srážkové vody – větrem hnaným deštěm, nebo u provozní vody – směrovým proudem vody. K těmto okolnostem je nutno při dimenzování hydroizolačních konstrukcí přihlídnout. Ponechávají-li se nasávkavé stěnové konstrukce bez speciální ochrany, voda je při dešti obvykle pohlcena stěnou a v období bez srážek se vedením vlhkosti a výparem vrací do okolního vzdušného prostředí. Hydroizolační ochranu vytváří hydroakumulační efekt v kombinaci s omezenou propustností pro srážkovou vodu svisle umístěných materiálů stěn. [2]



Obrázek 1 – Srážková voda jako významný zdroj vody působící na konstrukce [1]

Namáhání vodou prosakující přilehlým pórovitým prostředím

Tento způsob namáhání se objevuje, působí-li na stavební konstrukce voda v kapalném skupenství, prosakující vlivem gravitace okolním pórovitým prostředím nebo částí stavební konstrukce, např. ochrannými souvrstvími povlakových hydroizolací střešních teras, podlah a obkladů v mokrých provozech apod. V okolí hydroizolačních konstrukcí se může voda dočasně místně hromadit a působit na ně malým hydrostatickým tlakem. [2]

Namáhání tlakovou vodou

K tomuto namáhání dochází, působí-li na stavební konstrukci voda v kapalném skupenství definovatelným hydrostatickým tlakem. Pod úrovní hladiny se tlak ve vodě šíří všemi směry, v pórovitých strukturách se vytváří hydraulicky spojitá hladina. [2]

Namáhání vodou v pevném skupenství

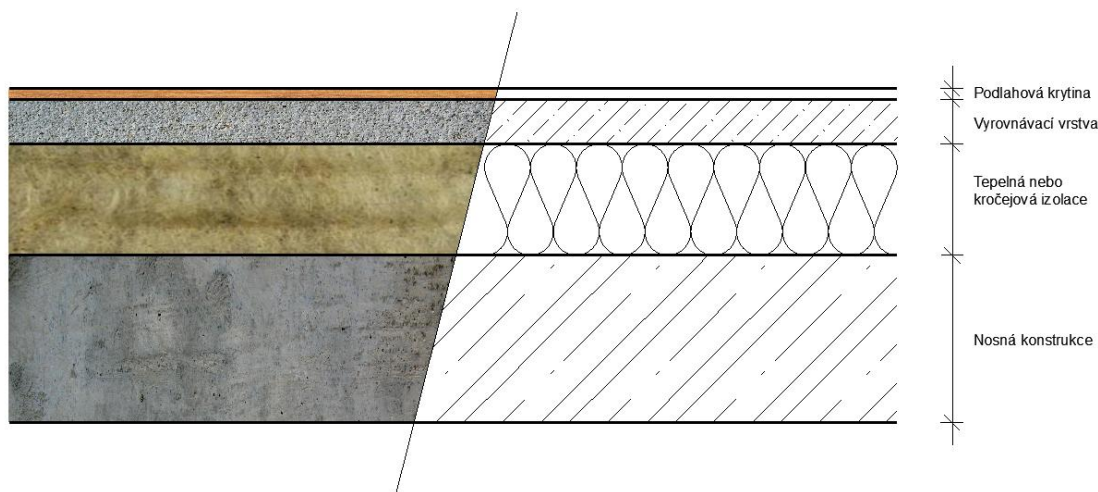
K namáhání stavby vodou v pevném skupenství dochází, působí-li na konstrukci voda ve formě sněhu, ledu nebo námrazy, nebo se v konstrukci, popř. jejím okolí, mění její skupenství z kapalného nebo plynného na pevné. Zmrzlá voda přispívá hlavně ke statickému zatížení a je třeba s ní od počátku dimenzování stavby počítat. [2]

3 PODLAHY

V této kapitole se budeme věnovat už pouze jedné části staveb a to konkrétně podlahám. Ukážeme si, jaké se v podlahách objevují vrstvy, jaké se používají skladby, jaké materiály, jaké jsou jejich funkce, výhody i nevýhody. Přiblížíme si rozdílné technologie v závislosti na přítomnosti vody při výstavbě. V poslední části této kapitoly se budeme zabývat tím, jak podlahy správně navrhovat, které faktory uvažovat a jak při návrhu postupovat, aby výsledná podlaha splňovala všechny nároky z hlediska technologického i uživatelského.

3.1 Podlahy obecně – jednotlivé vrstvy a jejich funkce

Podlahy jako takové jsou konstrukce, které jsou obvykle položeny na podkladní nosné konstrukci – například stropu nebo na základové desce. Provádějí se v interiérech, ale i v exteriéru ve formě balkonů, teras a podobně. Venkovní podlahy musí být odvodněny a musí, kromě ostatních požadavků pro všechny podlahy společných, vykazovat také dostatečnou odolnost proti povětrnostním vlivům a počasí. Dále se ale budeme věnovat spíše podlahám v interiéru. Takové podlahy plní celou řadu funkcí, a to hlavně funkci tepelně izolační, funkci hydroizolační, mnohdy také slouží k zajištění zvukové izolace. Musí splňovat také požárně bezpečnostní požadavky. Jejich povrch slouží jako mechanická ochrana ostatních vrstev, má také funkci estetickou, nesmí být příliš kluzký, musí být dostatečně bezpečný, výrazně ovlivňuje výsledné možnosti užívání stavby. Základní a pro téměř všechny podlahy společné vrstvy jsou odspodu: nosná konstrukce, tepelná, popřípadě kročejová izolace, vyrovnávací vrstva a podlahová krytina, jak ukazuje obrázek 2. Dále se potom u podlah zejména na terénu vyskytuje vrstva hydroizolační, v případě nutnosti oddělit jednotlivé materiály – jako například tepelný izolant od mokrého procesu betonování vyrovnávací vrstvy – se objevují vrstvy separační a další.

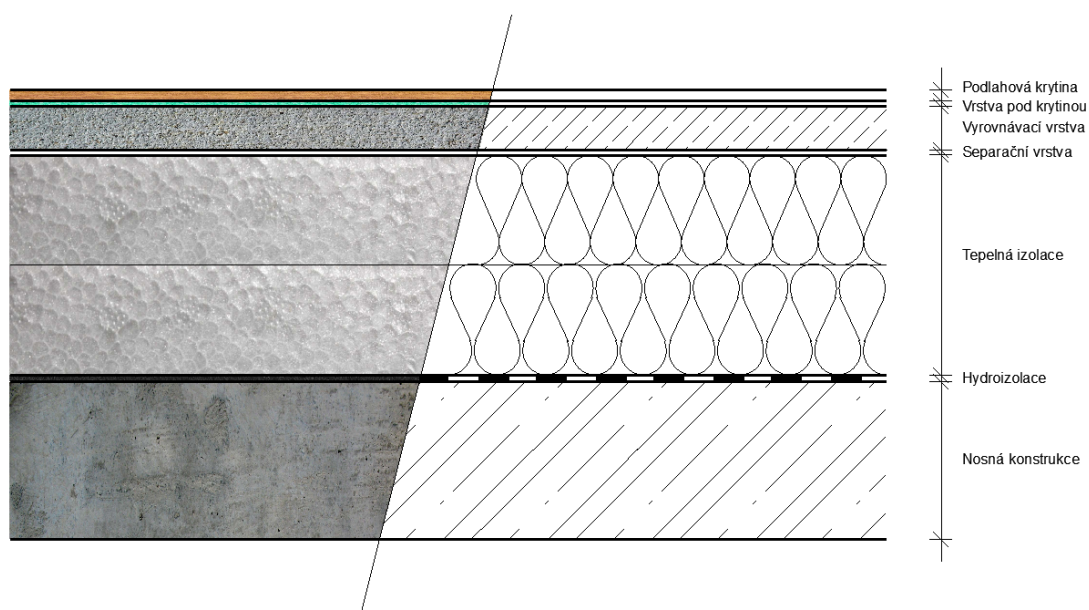


Obrázek 2 – Základní vrstvy podlahy

Nosná konstrukce

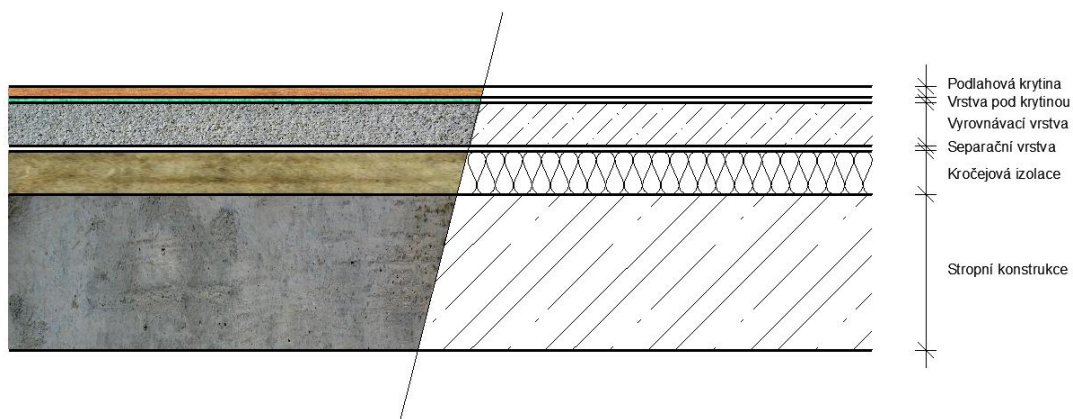
Budeme-li postupovat od nejspodnější vrstvy, tak bychom se jako první měli zaměřit na konstrukci, kterou ještě nebudeme chápat a definovat jako samotnou podlahu – tedy strop, popřípadě základovou desku, atp. Toto kritérium nám hned na začátku dělí podlahy na dvě odlišné kategorie – na podlahy na zemině a na podlahy položené na stropních konstrukcích. Je zřejmé, že na oba tyto druhy podlah budou kladeny jiné nároky z hlediska funkcí, které dané konstrukce musí splňovat.

Pokud budeme budovat podlahu na zemině, budeme ji pokládat obvykle na železobetonovou základovou desku. Tato deska zajišťuje statickou stabilitu a představuje nosnou vrstvu pro skladbu podlahy výše. Provádí se v různých tloušťkách v závislosti na podloží, plánovaném zatížení a na mnoha dalších parametrech. Pod touto deskou se provádí zhutněný štěrkový podsyp, který slouží ke zpevnění a vyrovnání zeminy pod deskou. Typickou a často používanou podlahou na zemině je těžká podlaha například ve skladbě na obrázku 3:



Obrázek 3 – Typická podlaha na ŽB základové desce

Druhou skupinou podlah jsou podlahy mezi patry. Ty jsou uloženy na stropní konstrukci, která úzce ovlivňuje funkce, možnosti a další volbu skladby podlahy nad ní. Stropní konstrukce bychom mohli rozdělit na konstrukce masivní a konstrukce lehké. Masivní konstrukce jsou provedeny z nejrůznějších nosných prvků – nosníků a vložek, panelů, profilovaných plechů a podobně. Tato nosná vrstva je obvykle překryta, zpevněna a spojena pomocí vrstvy betonu. Takováto stropní konstrukce se vyznačuje vysokou objemovou hmotností a staticky přitěžuje konstrukci. Oproti tomu existují stropní konstrukce lehké, například z dřevěných trámů a z desek na bázi dřeva. Tyto konstrukce se rychleji provádí, nepředstavují mokvý proces, mají nízkou objemovou hmotnost na metr čtverečný stropu, ale mají například horší vlastnosti z hlediska neprůzvučnosti. Hlavním rozdílem oproti podlahám na zemině je fakt, že většinou není třeba vkládat tepelnou izolaci. Oproti tomu je obvykle potřebné podlahu izolovat akusticky a proti kročejovému hluku. Skladba podlahy na betonovém stropě může vypadat například jako na obrázku 4:

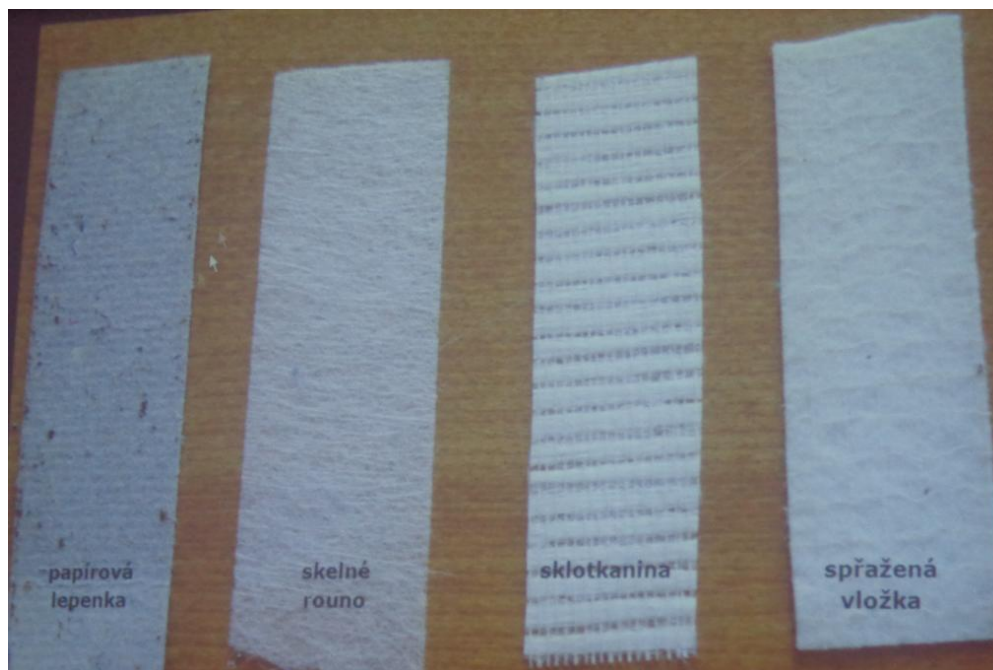


Obrázek 4 – Typická podlaha na ŽB stropě

Hydroizolační vrstva

Tato vrstva se objevuje hlavně u podlah na zemině. Pokládá se na podkladní betonovou desku. Její hlavní funkcí je izolovat stavbu proti zemi vlhkosti, ale také například proti radonu.

V současnosti se používají nejčastěji asfaltové pásy. Ty jsou k dostání v několika variantách, ze kterých nejvhodnějším řešením jsou asfaltové pásy typu S v tloušťkách od 3,5 do 5,2 mm. Asfaltový materiál se také modifikuje, aby se zlepšily jeho vlastnosti. Nejpoužívanější a nejvhodnější modifikací pro hydroizolaci staveb je SBS modifikace, která dodává asfaltové hmotě elastický charakter. Nevýhodou asfaltu je potom nízká odolnost proti UV záření, která nás však v rámci zabudování do podlah příliš neomezuje. Dále se tyto pásy dělí podle nosné vložky. Dnes už moc nepoužívanou vložkou je papírová lepenka. Jako vhodné varianty se jeví skelná rouna, sklotkaniny, spřažené či polyesterové vložky a úplně nejlepších hydroizolačních vlastností dosahují pásy s vložkou z hliníku.



Obrázek 5 – Vložky asfaltových pásů [2]

Druhým materiálem, který se dnes používá jako hydroizolační vrstva, jsou fólie z měkčeného PVC. Jedná se o materiály na bázi termoplasů, elastomerů a termoplastických elastomerů. Pokládají se většinou v jedné vrstvě a to v tloušťce kolem 2 milimetrů. Jejich nevýhodou je chemická nesnášenlivost s některými materiály, jako například s polystyrenem. [3]

Tepelně izolační vrstva

Tepelně izolační vrstva je další následující vrstvou podlah. Je třeba ji řešit zejména u podlah hraničících s nevytápěným prostorem, se zemí nebo s jinými prostory, které jsou chladnější než interiér objektu, například temperovaný sklep, garáž a podobně. Jako materiály se volí většinou desky z pěnového polystyrenu, desky z minerálních plstí, popřípadě z polyisokyanurátu nebo dřevovláknité desky. Dále se používá i foukaná tepelná izolace na minerální bázi, foukaná celulóza a podobně. Tloušťka tepelné izolace závisí na požadavcích na výslednou konstrukci, okolních podmínkách a dalších faktorech. Obvykle se u podlahy na zemi pohybuje okolo 120 milimetrů. U objektů s vyššími nároky je pochopitelně větší. Mimo tepelně izolačních požadavků, které použité výrobky musí splnit, jsou ještě požadavky na dostatečnou únosnost desek v tlaku. Je nutné použít

takové izolační desky, které budou svou únosností odpovídat budoucímu zatížení podlahy.

Separáčn

Položenou tepelnou izolaci je třeba oddělit od následujících vrstev, aby dobře plnila svou funkci a nebyla dalšími materiály znehodnocena. Tato vrstva je významná hlavně v případě, že jako další vrstvu chceme použít beton. Je zřejmé, že mokřý proces při budování betonové vyrovnávací desky by naprosto znehodnotil tepelně izolační desky z minerální vlny. Jako separační materiál se obvykle používají PE folie, které nabízejí dostatečnou ochranu proti vlhkosti a zajistí tak plnohodnotné vlastnosti tepelné izolace pod nimi. Pokud použijeme modernější systémy podlah, zasypy a podobně, potom separační funkci přejímají dřevovláknité desky, sádrovláknité desky nebo i desky OSB či jiné.

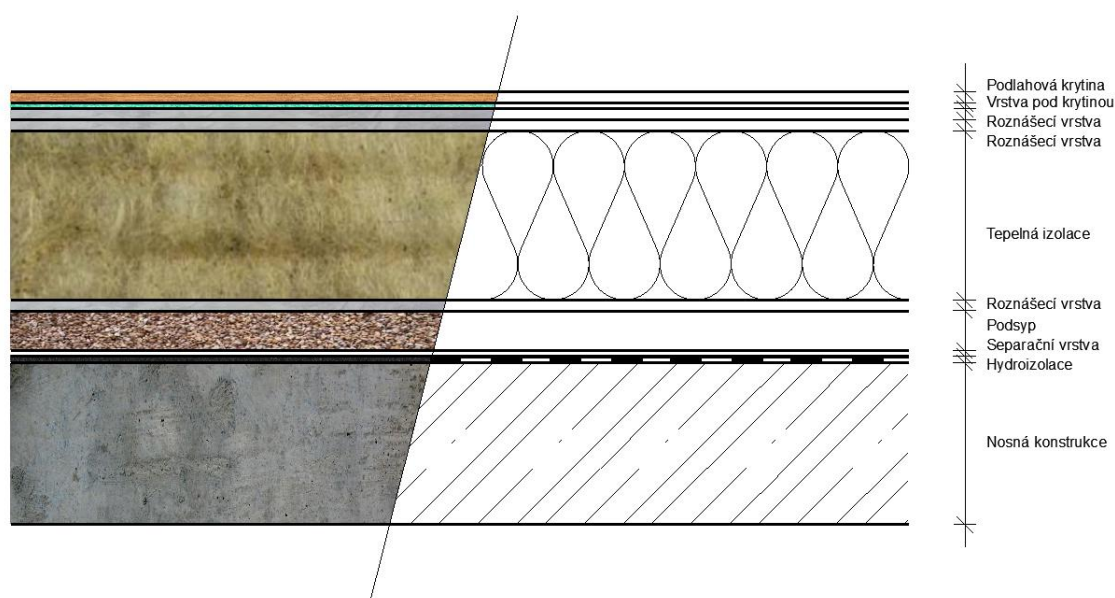
Vyrovnávací vrstva

Tato vrstva má několik funkcí. Abychom mohli položit vrstvu povrchovou, potřebujeme mít k dispozici rovný, stálý a dostatečně pevný podklad. Další funkcí této vrstvy je roznášení budoucího bodového zatížení podlahy do plochy. U klasických těžkých podlah tuto vrstvu představuje vrstva betonové mazaniny, popřípadě anhydritu v tloušťce pohybující se okolo 50 milimetrů. Tloušťka závisí opět na použitém materiálu, ale neměla by klesat pod 40 milimetrů, protože potom hrozí porušení vrstvy při zatížení. Toto řešení, obdobně jako u použití betonové nosné konstrukce, zavádí do budování podlahy mokřý proces, který není vhodný pro všechny druhy objektů a při výstavbě vyžaduje delší technologickou přestávku nutnou pro dostatečné zatvrdnutí betonu. Má také vyšší hmotnost.

Obdobou této vrstvy u suchých lehkých podlah je vrstva vyrovnávacího podsypu. Druhou variantou je použití vyrovnávacích například sádrovláknitých desek. Vyrovnávací podsyp umožňuje díky svým stavebně-fyzikálním vlastnostem široké použití. Kromě tepelně izolačních vlastností (nizký koeficient tepelné vodivosti) a zvukově izolačních vlastností (zlepšení vzduchové a kročejové neprůzvučnosti) umožňuje i hospodárné konstrukce s vysokou protipožární ochranou. Tam, kde existují statická omezení, zvláště u sanací starých domů s dřevěnými trámovými stropy, může právě vyrovnávací podsyp díky své

malé hmotnosti najít uplatnění. Při použití u novostaveb je jeho výhodou zejména rychlost výstavby a časová úspora – vrstvu je možno plně zatěžovat obvykle už po 24 hodinách. Pokud zvolíme vyrovnávací podsyp, často zaměňujeme pořadí vrstev a tepelný izolant pokládáme až na podsyp. V takovém případě opět používáme různé dřevovláknité či sádrovláknité desky, abychom oddělili tepelný izolant, podsyp a vrstvy nášlapné a abychom upravili vlastnosti jednotlivých povrchů dle potřeby. Podsyp i přes to, že ho zhutníme, nemusí být zcela stabilní. Vrstva tepelného izolantu nemá žádné vlastnosti, co se týče pevnosti v ohybu a podobně, takže nemůže být položena na nerovný a tvarově nestálý podsyp.

Další vlastností, kterou je třeba při používání podsypu mít na paměti a která opět souvisí s tvarovou nestálostí podsypu je, že jeho zrna mohou mechanicky poškodit sousední vrstvy. Pokud tedy chceme podsyp umístit na vrstvu hydroizolace, je nutné ho od ní oddělit vrstvou geotextilie, která zabrání mechanickému poškození hydroizolace. Při používání vyrovnávacího podsypu musíme také dbát, aby tloušťka této vrstvy nepřesáhla 60 milimetrů. Pokud potřebujeme navrhnout vrstvu větší tloušťky, musíme ji proložit opět vyrovnávací vrstvou. Skladba podlahy s použitím vyrovnávacího podsypu a sádrovláknitých roznášecích desek by mohla vypadat například dle obrázku 6:



Obrázek 6 – Skladba podlahy s vyrovnávacím podsypem

Nášlapná vrstva – podlahová krytina

Nášlapná vrstva je poslední vrstvou podlahy. Ovlivňuje zejména mechanické a estetické povrchové vlastnosti. V současnosti je velké množství variant a možností provedení této vrstvy od povrchů dřevěných, laminátových, keramických, betonových ale i plastových, až po použití například koberce. Současně se samotným materiálem, který použijeme jako výsledný povrch, souvisí také způsob, jakým ho položíme na předchozí vyrovnávací a roznášecí vrstvu. Při pokládání například laminátových podlah imitujících dřevo použijeme pod desky ještě vrstvu mirelonu, pokud zvolíme jako výsledný povrch zátěžový koberec, budeme ho obvykle na předchozí vrstvu lepit lepidlem. Pokud se rozhodneme použít dlažbu, budeme ji nejčastěji pokládat do tmelu. Volba výsledné nášlapné vrstvy tedy ovlivní také výslednou tloušťku podlahy a technologii jejího provedení, případně spojení s povrchem pod ní.

3.2 Podlahové systémy dle technologie provádění

V naprosté většině případů ovlivňuje kvalita a skladba podlahy životnost podlahové krytiny, proto je z pohledu investora velmi důležité se výběrem a kvalitou podlahy pečlivě zabývat. V zásadě vybíráme mezi suchými a mokrymi technologickými systémy při budování podlah. Mezi mokré systémy patří betonová podlaha a litý potěr, mezi suché pak sádrokartonová či sádrovláknitá podlaha.

3.2.1 Podlahové systémy – suché technologie

Pokud se investor rozhoduje o druhu podlahového systému a nemůže si z technologického hlediska dovolit čekat měsíc na vysychání (třeba při rekonstrukcích, ale i u dřevostaveb a jiných) a pokud může akceptovat skutečnost, že únosnost suchého podlahového systému je nižší než u mokré podlahy (mokrý podlaha má únosnost cca 70 kg/m², suchá ale jen 25 kg/m²), pak je pro něj ideální suchý podlahový systém. Jeho nespornou výhodou je komfort, rychlost a jednoduchost aplikace.

Suchý podlahový systém je navíc lehký a má menší tepelnou setrvačnost, což se dobře hodí do podkroví a ložnic, kde je zapotřebí velmi rychle dosáhnout určité teploty a naopak po vypnutí topení se vyžaduje její rychlejší pokles. Velkou výhodou suchých podlahových systémů je nejen možnost přerušování technologického procesu pokládky, ale

hlavně rychlost, protože je-li podlaha hotova, je možné na ni okamžitě instalovat podlahovou krytinu. Pokládka suchých systémů navíc nevyžaduje náročnou mechanizaci, jako v případě mokrých podlah.

Jestliže se realizace podlah týká staveb, kde jsou používány převážně suché stavební procesy, pak je v podstatě nemožné aplikovat mokrou podlahu, neboť by mohlo dojít k nežádoucímu pronikání vlhkosti do jiných stavebních postupů. Tím se pak rozhodování o druhu podlahového systému zjednodušuje.

V kombinaci s plovoucím podlahovým systémem a sádkokartonovými podhledy, zejména v případě patrových bytů a domů, poskytují suché podlahové systémy vysoký komfort v podobě nízké zvukové neprůzvučnosti.

3.2.2 Podlahové systémy – mokré technologie

Základním problémem každé mokré podlahy je doba vysychání, která trvá cca měsíc v případě betonu i litého potěru. Vysychání nelze prakticky ničím ovlivnit, pouze u litých potěrů je možné dostačeným větráním dobu zkrátit na zhruba 3 týdny. V celkovém bilancování nabízí litý potěr výhodu rychlosti, odvozené z technologického postupu aplikace. To rovněž souvisí i s cenou.

Betonová podlaha vyžaduje několikanásobnou přítomnost zpracovatelské firmy, protože po samotné pokládce a vyschnutí je zapotřebí často odstranit nerovnosti, povrch napenetrovat, vystěrkovat a zaplnit vytvořené smršťovací spáry. Tento „vícekrok“ je nezbytné provádět pouze u cementových potěrů. Umožňuje kontrolovaný vznik smršťovacích trhlin. Vzdálenost smršťovacích spár je nutné zvolit podle konzistence potěru, hutnosti, místních podmínek a teplot. Rastr spár pro podlahy v bytové a občanské výstavbě je vhodné zvolit pravoúhlý s poměrem stran maximálně 1:2. Obvykle jsou to čtverce o velikosti 3 x 3 metry pro potěr pevnostní třídy C20/25. [4]

Smršťovací spára se provádí vložením vhodných vymežovacích profilů nebo prořezáním, přičemž nesmí být porušena vložená výztuž. Smrštění za obvyklých podmínek odeznívá do 28 dnů, po této době je možné smršťovací spáry zmonolitnět. [4]

U průmyslových podlah jsou nároky na provedení spár výrazně vyšší a musí být vždy zohledněno plošné a pohyblivé zatížení dané konstrukce. Zpracování litého potěru je proto daleko rychlejší, protože po jeho aplikaci je prakticky hotovo. Doporučuje se povrch lité podlahy lehce „zbrousit“ kartáčem, samozřejmě pouze v případě následného lepení dlažby. Svoji roli hraje určitě i skutečnost, že litý potěr nepotřebuje armovací síť a tloušťka vrstvy může být obvykle menší než u betonu. To všechno jsou argumenty hovořící pro lité potěry. [4]

Na druhou stranu se betonové podlahy hodí do vlhkostně namáhaných prostor, jako jsou například garáže. Protože jsou lité potěry vyráběny na bázi sádrových materiálů, jsou primárně určeny do suchých prostor, mezi které řadíme i důkladně odizolované sociální zařízení a kuchyně. K dalším výhodám litých potěrů, které lze aplikovat prakticky na jakýkoli podkladový materiál, se řadí nižší hmotnost a možnost pokládky prakticky všech druhů podlahových krytin včetně plovoucích podlah. Ve většině aplikací se litý potěr používá také v případě instalace podlahového vytápění, zejména u rodinných domů. [4]

3.3 Filosofie návrhu podlahy

3.3.1 Stanovení oblasti použití a nároků na navrhovanou podlahu

Pokud budeme vybírat a navrhovat podlahu, musíme zohlednit celou řadu kritérií. Dnešní trh nabízí nepřehledné množství výrobků, možností řešení, skladeb a provedení a výběr správného řešení pro naši konstrukci je zásadní. Pokusme si nastínit, která kritéria bychom neměli přehlédnout a na základě čeho se rozhodovat.

Úplně na počátku bychom měli vědět, pro jaký prostor danou podlahu navrhujeme. Tento fakt následně definuje další možnosti a bližší specifikace. Oblast použití je stěžejní pro další rozhodování a volbu konstrukce. Jinak budeme navrhovat skladbu podlahy pro obytné prostory, jinak pro prostory kancelářské, výrobní haly, restaurace, divadla, jinak bude vypadat podlaha v kostele.

Známe-li základní oblast použití podlahy, měli bychom zjistit a znát nosnou konstrukci, na kterou budeme navrhovanou podlahu pokládat. Nosná konstrukce může být masivní železobetonová, může se jednat o lehký trémový dřevěný strop se záklopem. Podlahu můžeme pokládat na zabetonovaný ocelový trapézový plech, nebo třeba na sklepní

klenbu. Další podstatnou vlastností podkladu je jeho geometrie. Jinou podlahu navrhujeme pro vodorovný podklad, jinou pro podklad ve sklonu a jinou pro podklad se značnými nerovnostmi.

Pokud už známe účel podlahy i podklad, na kterém ji budeme provádět, následuje stanovení, kolik tepelného izolantu bude tato podlaha vyžadovat. Pokud provádíme podlahu na terénu, nebo dokonce nad prostorem exteriéru, budeme muset použít značnou vrstvu tepelné izolace a to v rozmezí 100-200 milimetrů. Budeme-li pouze rekonstruovat podlahu, po zjištění stávající skladby a výpočtu často postačí menší vrstvy okolo 50 milimetrů tepelného izolantu. Pokud se jedná o strop mezi podlažími, tepelná izolace často pozbývá význam úplně.

Dalším důležitým kritériem je požadavek na požární odolnost navrhované konstrukce. V závislosti na umístění a účelu podlahy musíme dle platných norem a předpisů požární bezpečnosti staveb stanovit například třídu reakce na oheň, index šíření plamene po povrchu, požární odolnost a podobně. Tyto požadavky přímo ovlivní výběr použitých materiálů.

Nesmíme opomenout ani požadavky na zvukovou izolaci. Opět musíme dodržet normou stanovené hodnoty kročejové a vzduchové neprůzvučnosti námi navrhované podlahy.

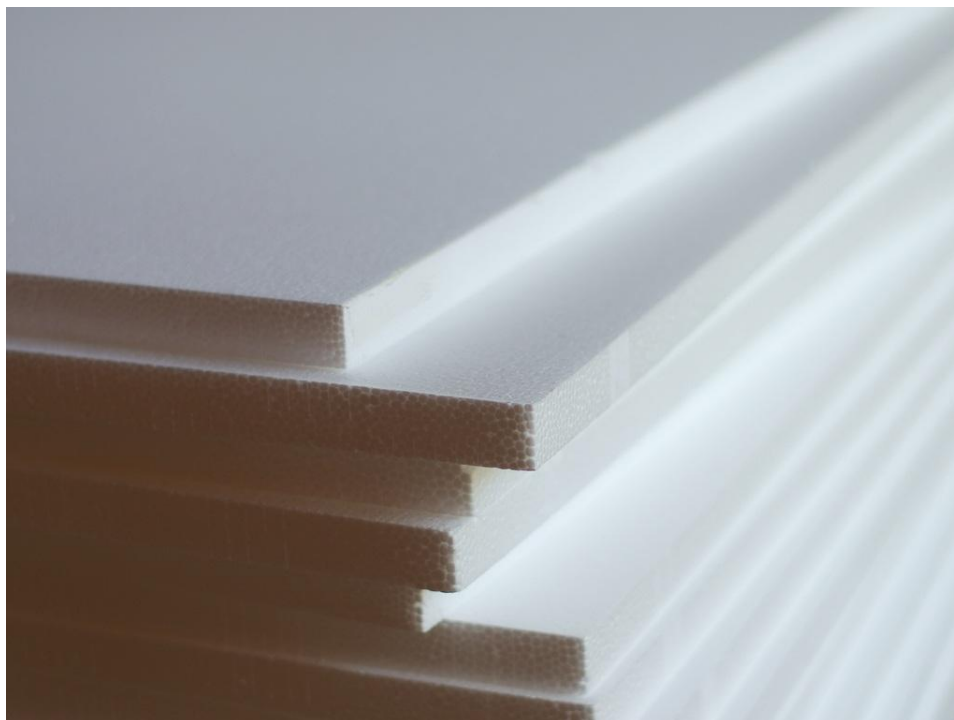
3.3.2 Výběr tepelného izolantu

Po tom, co známe všechna předchozí kritéria, parametry a nároky, už jsme schopni vybrat vhodný tepelný izolant. Vybíráme obvykle mezi deskami z podlahového expandovaného polystyrenu EPS, tvrzeného extrudovaného polystyrenu XPS, můžeme použít minerální vatu nebo například dřevovláknité desky.

Polystyren EPS

Polystyren je jedním z nejčastěji vyráběných termoplastů. Jeho forma nemusí být pouze v podobě pěnového izolačního materiálu, ale toto zpracování je nejrozšířenější. Polystyren je pro využití ve stavebnictví dodáván v plošných deskách do tloušťky 200 mm. Výhody EPS jsou jeho dobrá opracovatelnost, nízká hustota (malá hmotnost) a příznivá cena. Nevýhody jsou naopak, že při teplotách nad 70°C dochází k jeho

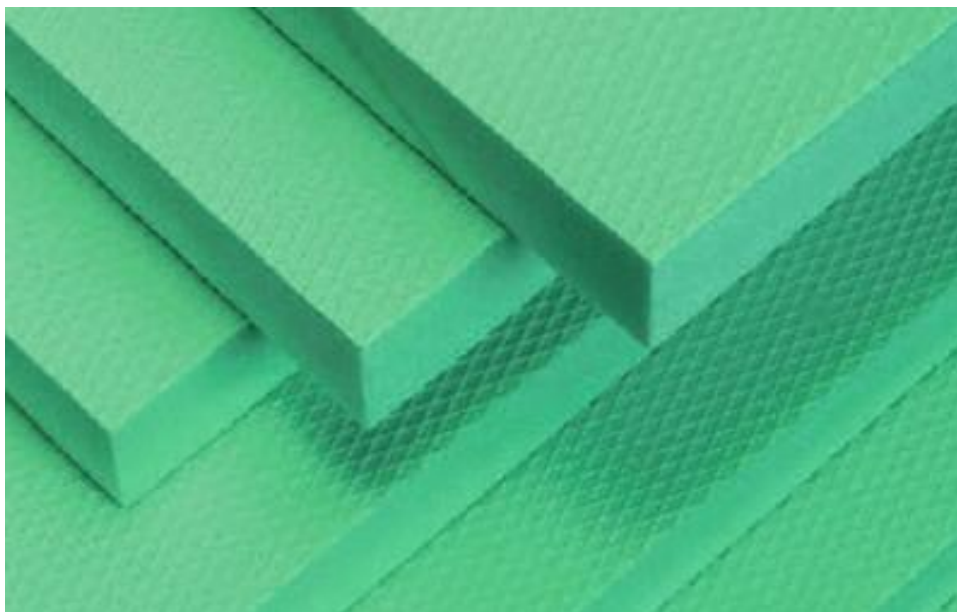
zrychlené degradaci, nasákavost, hořlavost, stárnutí materiálu a degradace v organických rozpouštědlech, malá odolnost v tlaku, je objemově nestálý a neekologický.



Obrázek 7 – Izolační desky z expandovaného polystyrenu [3]

Polystyren XPS

Další variantou polystyrenu je extrudovaný polystyren. Podíváme-li se na vlastnosti XPS, jako výhody můžeme zmínit dobrou opracovatelnost, nízkou hustotu, nízkou nasákavost kvůli uzavřenější struktuře, objemovou stálost, vysokou pevnost v tlaku a možnost profilace spojů hran desek jako polodrážku nebo perodrážku. Nevýhody extrudovaného polystyrenu jsou potom vyšší cena než u EPS, při teplotách nad 75°C dochází k zrychlené degradaci, degradace organickými rozpouštědly a je opět neekologický. Obdobou tohoto materiálu je potom perimetr. Ten má také oproti EPS nižší nasákavost v důsledku lití do formy, tuto vlastnost ale ztrácí ve chvíli, kdy se jednotlivé díly řežou.



Obrázek 8 – Izolační desky z extrudovaného polystyrenu [4]

Minerální vata

Minerální vata, jak již název napovídá, vzniká z přírodních minerálních látek. V případě, že je původ materiálu z vulkanické horniny (z čediče či dolomitu) nebo z recyklovaného materiálu na její bázi (ve formě briket), jedná se o kamennou vlnu. Pokud se vyrábí z písku nebo recyklovaného skla, jedná se o skelnou vatu. Pro lepší soudržnost se do směsi přidává také pojivo ve formě pryskyřice. Minerální vata se objevuje ve dvou formách, a to v provedení deskové a ve formě foukané. Desková forma se vyrábí litím roztaveného materiálu na rychle rotující kotouče, které tvoří tenká vlákna. Tato vlákna jsou na sebe vrstvena a vytvrzována a následně jsou v požadovaných rozměrech řezána a formována do desek či rolí. Foukaná minerální vata naopak není ve stabilním tvaru, ale aplikuje se přímo na konečné místo. Jako výhody minerální vaty uvedeme nehořlavost, odolnost vůči mikroorganismům, nízký faktor difuzního odporu, recyklovatelnost odpadu, snadná opracovatelnost, objemová stálost a dlouhá životnost. Nevýhodami tohoto materiálu jsou potom nevhodnost do vlhkého prostředí, vyšší cena v porovnání s polystyrenem a při zpracování možnost vzniku zdraví škodlivého prachu.



Obrázek 9 – Minerální vata [5]

Dřevovláknno

Dřevovláknité desky jsou progresivní a zároveň ekologický izolační materiál, což je bezesporu výhodou, protože v dnešní době se klade značný důraz na ekonomický, ale i ekologický dopad nových výrobků. Dřevovláknité izolační desky jsou vyráběny z dřevní hmoty – dřevních vláken. Díky tomu, že se během zpracování dřevo upravuje až na jemná vlákna, je možno použít i odpadového materiálu z dřevozpracujícího průmyslu. Tato vlákna jsou poté za vysoké teploty a tlaku slisována. Pojivo tvoří přirozeně se vyskytující pryskyřice přímo v materiálu, což je také důvodem jejich naprosté ekologičnosti. Pokud jsou žádány některé vlastnosti o lepších parametrech, přidávají se ve výrobě pojiva či jiné látky. Například, je-li žádána odolnost vůči vlhkosti, přidávají se hydrofobizační prostředky (bitumen, vosk...). Dřevovláknitá izolace má široké spektrum využití, a to například v interiéru, na střeách (a to pro zateplení z interiéru i exteriéru), na fasádu či k zateplení stěn. Při uskladnění je třeba dřevovláknité desky chránit před povětrnostními podmínkami, protože do konstrukce musí být tento materiál vkládán suchý. Jeho upevňování probíhá pouze mechanicky, není tedy třeba lepidel. Dřevovláknité izolační desky jsou k dostání v mnoha formátech a tloušťkách od 8 mm do 200 mm. Jako největší nevýhoda dřevovláknité izolace se jeví její pořizovací cena, která je v porovnání

s ostatními materiály výrazně vyšší. Další nevýhodou může být také větší objemová hmotnost materiálu, což může v některých případech komplikovat manipulaci s prefabrikovanými elementy.



Obrázek 10 – Izolační desky z dřevovláknů [6]

Polyisokyanurát a polyuretan

Polyuretanová i polyisokyanurátová pěna se používá mimo lití a stříkání přímo na stavbě i pro výrobu deskových materiálů. Desky je možno vyrábět způsobem řezání z bloků vzniklých volným pěněním nebo ve formách. Pokud mají být desky pevně spojeny s jinými materiály (například s hliníkovou fólií, plechem, skelnou tkaninou), vyrábí se výhradně napěňováním do finální tloušťky. Suroviny pro výrobu pěny se nalévají mezi tenké materiály, tvořící budoucí povrch desek. Proběhne chemická reakce a prostor je vyplněn pěnou, zároveň dojde ke spojení pěny s vloženými materiály. PIR a PUR izolanty se vyznačují velmi nízkým součinitelem tepelné vodivosti a to okolo $0,22 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Při jejich dobré pevnosti představují velmi vhodný a dobře použitelný izolant, jeho hlavní nevýhodou je opět vysoká cena.

Kompozity z PUR a PIR pěny se užívají pro izolaci střeš, podlah, stěn, popřípadě se vyrábějí jako hotové celostěnové panely s hliníkovým pláštěm (k montáži na průmyslové haly apod.). V České republice se používají zejména pro nadkrokevní systémy šikmých střeš, kde se využívá jejich pevnosti při zachování jejich tepelněizolačních charakteristik. Této pevnosti se dá využít právě i v konstrukcích podlah. [5]



Obrázek 11 – Izolační desky z polyisokyanurátu [7]

3.3.3 Upřesňující kritéria při návrhu podlahy

Dalšími faktory, které ještě mohou ovlivnit volbu materiálů a provedení podlahy jsou nároky na odolnost proti vlhkosti. Jinak budeme navrhovat podlahu do prostor bez zvýšené vlhkosti, jinak do kuchyně, WC, nebo do koupelen.

Dále ještě musíme stanovit, zda v podlaze bude umístěno podlahové vytápění, zda bude elektrické nebo teplovodní. U teplovodního vytápění je třeba vhodně přizpůsobit maximální teplotu. Není vhodné do všech skladeb, podlahu ohřívá a s tím je třeba při návrhu uvažovat.

Zcela na závěr zvolíme vhodnou podlahovou krytinu. Budeme vybírat mezi krytinami textilními, koberci, PVC, korkem, parketami, laminátovými či dřevěnými podlahami, dlažbou nebo podlahami z betonu, který může být upraven například nátěrem a dalšími.

4 DŘEVOSTAVBY

V této kapitole si přiblížíme stavby, které jsou v poslední době, co se popularity týče, na vzestupu. Kombinují staré a nové možnosti technologických řešení a i z pohledu uživatelů se jedná o stavby velice zajímavé. Je řeč o dřevostavbách.

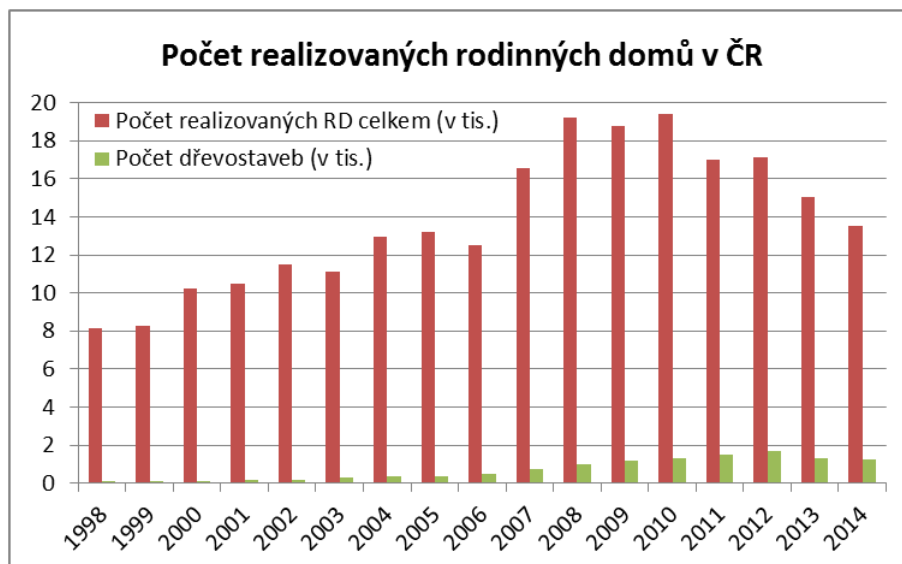
Dřevostavby v současnosti

Takto popisuje dřevěné stavby v současnosti Josef Kolb ve své knize Dřevostavby:

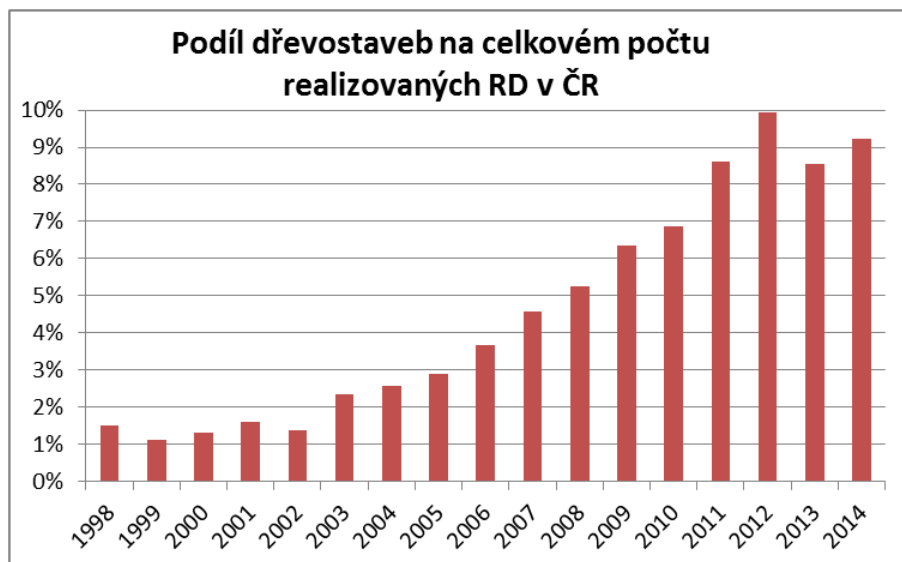
„Dnešní dřevěné stavby nemají už nic společného s historickými stavebními systémy, dřívějšími chatami nebo se stavěním pro sociálně slabší vrstvy. Také se neomezují na obytné domy, nebo halové konstrukce. Nové je, že dřevěné stavby jsou úspěšné, na základě komplexního technického vývoje a konstrukčních metod, ale také díky lepšímu porozumění pro samostatnou aktuální architekturu. Dřevěné stavby učinily skok od čisté řemeslné výroby k racionálním výrobním procesům v závodě, k efektivní industrializaci pomocí polotovarů a přesné a rychlé montáži na staveništi. Z tradičního tesařství se stal závod, který spojuje procesy projektování řízené počítačem s precizními nástroji řízenými robotem. Z dříve řemeslně vyráběných jednotlivých částí se staly konstrukční prvky s předem stanovenými požadavky a definovanou jakostí, které lze na staveništi v nejkratší době a rozměrově přesně spojovat do celku. Přitom nelze podceňovat příspěvek architektů. Přední zástupci nové kultury dřevěných staveb přispěli k přirozenému (nekřečovitému) vztahu k přírodnímu konstrukčnímu materiálu. Pro ně se staly dřevěné konstrukce samozřejmostí a úspěšně je používají pro stavby, které odpovídají dnešním podmínkám. Nové pojetí staveb a nová kultura dřevěných staveb tak sjednocují konstrukci s návrhem, který je zaměřen na jednoduchá současně efektivní řešení a pomáhá dnešním stavbám k novým dimenzím.“ [6]

Dřevostavby jsou dnes po architektonické stránce velmi působivé a zcela rovnocenné zděným domům. Možnost širšího využití dřeva ve stavebnictví u nás však souvisí s překonáním představy odborné i neodborné veřejnosti o dřevu jako materiálu, který je vhodný pouze na dočasné stavby, krovky, ploty, okna, dveře, podlahy a další truhlářské výrobky. Dřevěné domy byly v minulé době chápány spíše jako chaty a víkendové domky, nikoli jako objekty určené k trvalému bydlení. To se postupem času mění

a dřevěné domy v současné době nacházejí konečně uplatnění i u nás. Podíl staveb na bázi dřeva v bytové výstavbě u nás v posledních letech významně narůstá, jak ukazují následující grafy 1 a 2:



Graf 1 – Počet realizovaných rodinných domů v ČR [8]



Graf 2 – Podíl dřevostaveb na celkovém počtu RD v ČR [8]

Výhody dřevostaveb

Důvodů, proč se vrátit k dřevěným stavbám, je jistě víc. Jedním z nich je zcela určitě cena, rychlost výstavby, energetické úspory a ekologie výstavby dřevěných domů. Dřevo při zpracování nevyvolává tak vysoké nároky na spotřebu druhotných energií jako jiné materiály, ať už jsou to keramické cihly, beton nebo podobné výrobky. Dřevo je dokonale recyklovatelný materiál. Dřevěné domy mohou mít obvodové stěny s menší tloušťkou než zděné stavby, protože značnou část stěny tvoří tepelná izolace, která je pro dřevěné domy velmi podstatná. Na stejně velké zastavěné ploše tak získáváme víc metrů užité plochy.

Nevýhody dřevostaveb

Nevýhodou dřeva je především jeho hořlavost a hygroskopicitu, tj. schopnost pohlcovat vzdušnou vlhkost. Ta se do dřeva dostává díky jeho pórovitosti, kterou si dřevo zachovává během celého životního cyklu. Zvýšená vlhkost ve dřevě vytváří podmínky pro vznik a podporu růstu plísně, hniloby a dřevokazných hub případně dalších dřevokazných škůdců. V případě napadení těmito nemocemi dřeva je výrazně zkrácena jeho životnost a narušena statika objektu. Vedlejším efektem je i snížení kvality vnitřního prostředí uvolňováním spor do interiéru objektu. [7]

Základní specifikace

Základním stavebním prvkem dřevostaveb jsou panely, skládající se z OSB desek nebo ze sádrovláknité desky, vnitřního nosného dřevěného rastru z vysušeného řeziva KVH, tepelné izolace a parozábrany. Tento hotový výrobek je dnes už nejčastěji prefabrikován jako celek a má několik základních rozměrů, pomocí nichž lze postavit celý dům. Doba výstavby se díky tomu zkracuje na pouhé týdny – samozřejmě záleží na velikosti a promyšlenosti celé stavby a také na tom, jak do výstavby zasahuje klient a zda si přeje určité změny přímo jemu na míru nebo jestli si vybere typový dům, který se dá velice rychle „seskládat“ jako stavebnice. Další velkou výhodou dřevěných domů je možnost výstavby během celého roku, protože u této technologie je takzvaný mokřý proces buď zcela vyloučen, nebo výrazně omezen. Finální vrstvou v interiéru u tohoto způsobu výstavby jsou nejčastěji sádrokartony nebo sádrovláknité desky, na fasádě zateplovací systém nebo klasický obklad dřevem či jinými obkladovými materiály.

Životnost

Často kladenou otázkou bývá životnost či odolnost dřevostavby vůči škůdcům. Jednoduchým argumentem může být stáří roubených chalup, starých dřevěných stodol, střech starých stavení i hradů a zámků, kde není výjimkou stáří přes 300 let a mnohdy toto dřevo nezaznamenalo žádný druh ochrany či údržby. Lze tedy říci, že pokud se stavba provede konstrukčně správně, pokud během životnosti stavby nedojde k závažným poruchám, pak dřevo není materiál, který snižuje životnost stavby. Na základě dlouhodobých zkušeností lze tedy říci, že dřevostavby mají životnost převyšující 60 let, což podstatně překračuje morální životnost stavby. Navíc demolice či rekonstrukce dřevostavby je podstatně jednodušší než u jiných staveb.

Právě životností vybrané skladby suché podlahy, vhodné například pro dřevostavby, se budeme dále v této práci v rámci experimentální části zabývat.

B – PRAKTICKÁ ČÁST

- Vlhkost ve stavebních konstrukcích
 - Experiment
- Výsledky experimentu
 - Závěr

5 VLHKOST VE STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍCH

Jak jsem již uvedl v předchozích kapitolách, nadměrná vlhkost ve stavebních konstrukcích je nežádoucí, zhoršuje vlastnosti materiálů, degeneruje je a v krajním případě může vést i ke kolapsu staveb.

5.1 Negativní projevy vlhkosti a jejich řešení

5.1.1 Zděné konstrukce

Vlhkost ve zdivu je nežádoucí proto, že vlhké a mokré zdivo ztrácí tepelně izolační vlastnosti a také se stává prostředím, kde bují škodlivé plísně. V neposlední řadě snižuje viditelná vlhkost kvalitu vnitřních povrchů a jejich estetickou stránku.

K narušení omítnutého zdiva dochází kombinací různých vlivů. Nejčastěji se jedná o vztlínající nebo srážkovou vodu – déšť a sníh – difundující vodní páry, vodu z rozvodů instalací, ale také o klimatické a biologické vlivy. Většina těchto vod, které se dostávají do konstrukce, obsahuje různé rozpuštěné soli. V důsledku jejich působení (krystalizace) dochází k narušení omítek. Obvykle se tvoří vlhkostní mapy, výkvěty solí, odlupují se nátěry a opadává omítka. Někdy je poškození natolik veliké, že dojde k narušení vlastního zdiva, sníží se tepelný odpor zdiva, zvýší se hmotnost stavby a zhorší se vnitřní klima. Často jsou tyto projevy doprovázeny tvorbou nebezpečných a nežádoucích plísni, řas a hub. [2]



Obrázek 12 – Výkvěty solí na cihelném zdivu [9]

Množství vody a ochotu materiálu vodu přijímat určuje jeho hygroskopicitu. O hygroskopicitě stavebních materiálů hovoříme nejčastěji tehdy, jestliže materiál obsahuje soli s hygroskopickými vlastnostmi. Tyto soli mají schopnost přijímat vodu z okolního vzduchu. Obsahuje-li zdivo větší množství takových solí, je ovlivněna jeho rovnovážná vlhkost. Ta potom dosahuje několikanásobku běžné rovnovážné vlhkosti bez těchto solí. [2]

Hlavním zdrojem hygroskopických solí je vzlínající tvrdá voda z podzákladí, chemické látky, jež se vyluhují touto vodou ze stavebních materiálů, odstříkující voda z nasolených komunikací, déšť s obsahem oxidu uhličitého, uhelnatého, siřičitého apod. [2]

Kyselé deště zapříčiňují ve zdivu chemicky neutrální až mírně kyselé prostředí. Kyselé prostředí vyhovuje některým druhům mikroorganismů, jako jsou bakterie, plísně a řasy. Bakterie a plísně se usazují uvnitř zdí, řasy na jejich povrchu. Všechny mají snahu vlhké prostředí nejen uchovat, ale svými vlastnostmi je zhoršovat. Výsledkem je, že zdivo se jejich přítomností stává hygroskopickým a přijímá v důsledku mikroorganismů vodu z okolního vzduchu. [2]

Do této skupiny příčin zavlhání je možné začlenit i vlivy kapilární kondenzace. Například cementová malta silně ovlivňuje hygroskopičnost zdiva. Schopnost zdí jímat a udržovat vlhkost zvětšují i injekce cementové malty do zdiva. K hygroskopickým materiálům patří též sádra apod. [2]

Dalším problémem, který vlhkost ve zděných konstrukcích způsobuje, je cyklické zamrzání a rozmrzání přítomné vody. Voda v podobě ledu zvětšuje svůj objem a způsobuje tak trhliny ve zdivu, které se po dalším rozmrznutí opět zaplní vodou, opět zmrznou a opět zvětší. Po několika takových cyklech může dojít až ke ztrátě celistvosti a statické únosnosti zdiva a k jeho zborcení. Obdobně se tento jev projevuje i u betonových konstrukcí, kdy prostřednictvím zvětšujících se trhlín dochází k obnažení nosné ocelové výztuže a k její korozi.

Z výše uvedených důvodů je patrné, že vlhkost ve zděných konstrukcích je třeba eliminovat a zdivo sanovat. Nejprve je nutné provést průzkum a vyšetřit příčinu vlhkosti v konstrukci. Poté se nabízí několik možností, jak stavbu ošetřit a jak dosáhnout

výrazného a trvalého snížení obsahu vlhkosti v nadzemním zdivu staveb i v souvisejících konstrukcích a jak vytvořit podmínky pro dosažení požadovaných tepelně izolačních vlastností i požadované vlhkosti vzduchu v interiérech.

Základními a nejrozšířenějšími metodami jsou mechanické sanace. Při nich se vkládají hydroizolační materiály do strojně nebo ručně proříznutého, probouraného nebo provrtaného zdiva nebo strojní zarážení kovových desek do ložné spáry sanovaného zdiva. Další variantou jsou chemické metody, při nichž se vytváří hydroizolační clony ve struktuře zdiva s utěšňujícími nebo vodoodpudivými vlastnostmi. Dále potom lze použít metody elektroosmotické, při kterých se vytváří potenciál stejnosměrného elektrického proudu ve zdivu, který potlačuje proces kapilárního vztlínání vody. Vlhkost se dá z povrchů a ze struktur stavebních konstrukcí odstraňovat také účinkem proudícího vzduchu. [2]

5.1.2 Konstrukce dřevostaveb

Dřevo je hygroskopický materiál a je tedy schopno vázat vodu, kterou nejčastěji pohlcuje z okolní vzdušné vlhkosti. Každá dřevostavba tedy nutně ve své konstrukci obsahuje jisté množství vázané vody. Toto množství není konstantní a mění se v závislosti na klimatických podmínkách, kterým je dřevěná konstrukce vystavena. V klidových konstantních podmínkách se vlhkost ve dřevě ustálí na tzv. rovnovážné (sorpční) hodnotě vlhkosti. Při krátkodobém zvýšení vlhkosti dřeva a opětovném vyschnutí nedochází kromě objemových změn k nijak závažným poruchám. Pokud by ale rovnovážná vlhkost výrazněji a dlouhodobě překročila tuto hodnotu, začne docházet k podmínkám vhodným pro vznik dřevokazných procesů. [7]

V případě dřevostaveb izolační vrstvy bezprostředně navazují na dřevěné prvky budovy. Pokud se jedná o montované dřevostavby, jsou izolační vrstvy již přímo součástí prefabrikovaných konstrukčních dílců. Izolace budovy slouží k udržení tepla uvnitř budovy a k minimalizaci tepelných úniků. Pokud izolační materiál obsahuje vodu (ať vázanou, či ve formě vodních par), jsou jeho tepelné izolační vlastnosti značně zhoršeny. I když jsou izolační materiály navrhovány tak, aby neabsorbovaly vlhkost, je tento jev pouze omezen. Nejčastěji používanými tepelně izolačními materiály dnešních dřevostaveb jsou minerální vata, polystyren, materiály na bázi celulózy apod. Zvýšená vlhkost

izolačního materiálu neznamena pouze snížení izolačních vlastností, ale rovněž možnost vzniku působení nežádoucích biotických činitelů přímo uvnitř izolace. [7]

Takovými jsou například bakterie. Vyskytují se nejčastěji v půdě s dostatečnou vlhkostí a ve vodě, která obsahuje – podle druhu bakterií – příslušné chemické látky. Jejich přítomnost je nežádoucí a ve stavbách vytvářejí prostředí nevhodné pro pobyt člověka. [2]

Další skupinou biotických činitelů, nepříznivě působících na dřevostavby, jsou plísňe. Jsou hodně rozšířené v přírodě v podmínkách, kde již bakterie nejsou schopny vegetace (velmi kyselé substráty, nižší obsah vlhkosti). Plísňe se vyskytují na většině materiálů, které obsahují organické živiny, především na nátěrech s organickými pojivy a na materiálech organického původu. Vyskytují se v místech vzlínající vlhkosti z podzákladí, v místech tepelných mostů a v prostorech s vysokou relativní vlhkostí vzduchu. Plísňe snižují užitnou jakost budovy, jsou nebezpečné ze zdravotního hlediska, některé mohou způsobit alergie. [2]



Obrázek 13 – Dřevo napadené plísní v důsledku vlhkosti [10]

Sinice a řasy se vyskytují v místech dostatečně osvětlených s čistou atmosférou a dostatkem kapalné vody. Setkáváme se s nimi především na vnějším plášti budov, některé mohou vegetovat i při rozptýleném osvětlení na vnitřních stěnách budov. Jsou velmi odolné, některé penetrují dřevo do hloubky, snášejí sucho (spokojí se i se vzdušnou vlhkostí) a velké teplotní výkyvy. Tvoří předstupeň pro kolonizaci povrchu materiálů lišejníky, případně po jejich úhynu zdroj živin pro růst heterotrofních bakterií a plísní. Sinice ve vlhku expandují a vytvářejí tak tlak pod povrchem materiálů. Produkují také řadu kyselin, které vytvářejí s kationty substrátu vodorozpustné látky. [2]

Lišejníky na podklad působí přímo vlastním odčerpáváním živin anorganického původu, tvorbou zplodin (především kyselina uhličitá nebo kyselina šťavelová) a nepřímo tím, že na povrchu zadržují vodu a další škodliviny z atmosféry. [2]

Poslední skupinou nežádoucích biotických činitelů je dřevokazný hmyz. Potřebuje pro svůj vývoj optimální teplotu od 18 do 25°C, vlhkost dřeva asi 9-65% a vhodné podmínky biocenózy. [2]

Obdobně jako u zděných konstrukcí i dřevostavby je třeba v případě přítomnosti vlhkosti sanovat. Opět je nejdůležitější nejprve najít a určit zdroj vlhkosti a ten eliminovat. Pokud vliv vlhkosti není dlouhodobý, je možné konstrukci vysušit. Často se ale nepodaří vlhkost dostatečně rychle identifikovat. Dřevo i používané tepelné izolanty vlivem vody nevratně degradují a tak se častěji přistupuje k celkové výměně znehodnocených materiálů.

5.2 Monitoring vlhkosti dřevostaveb

Z výše uvedeného je tedy zřejmé, že je důležité průběžně monitorovat stav konstrukce budovy. Běžně dostupné příruční vlhkoměry umožňují provádět pouze namátkové kontroly v relativně dlouhých časových intervalech. Provádět tyto namátkové odměry vlhkosti je velmi problematické z důvodu časté nemožnosti přístupu do kritických míst a také je to velmi časově náročné. Takové odměry navíc nemají dostatečnou vypovídací hodnotu o vlhkostních poměrech uvnitř konstrukce budovy. Není lehké v odebraných vzorcích potlačit vliv sezónních změn počasí ani včas detekovat nárůst vlhkosti v případě havárie. Navíc měření vlhkosti v interiéru nemusí korelovat s vlhkostí uvnitř dřevěné konstrukce. Pro včasnou detekci havárie je tento způsob naprosto nevyhovující. Proto je

vhodné dlouhodobě kontinuálně monitorovat vlhkost v nejkritičtějších místech dřevostavby přímo uvnitř dřevěné konstrukce. [7, 8]

5.2.1 Moisture Guard

Monitorovací a detekční systém Moisture Guard, který vyvinul tým Monitorování, diagnostika a inteligentní řízení budov Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT, je určen pro kontinuální automatické měření bez nutnosti zásahu uživatele. Skládá se z inteligentních senzorů, centrální jednotky, komunikační sběrnice a vyhodnocovacího algoritmu. Sensory se do konstrukce budovy instalují již v době výstavby a lze je tak umístit přímo do kritických míst, mezi něž patří především koupelny, kuchyně, technické místnosti, stěny přilehlé k terénním nerovnostem, případně střešní konstrukce. Kompaktní inteligentní senzor MHT02485 měří tři základní veličiny – teplotu, absolutní vlhkost masivního materiálu a relativní vzdušnou vlhkost v navazujícím izolačním materiálu. Měření vlhkosti je založeno na rezistivní metodě, tedy vychází ze známé závislosti mezi elektrickým odporem materiálu a jeho vlhkostí. Elektrický odpor je měřen mezi dvěma nerezovými elektrodami zašroubovanými do měřeného materiálu, které slouží zároveň jako montážní. Měřený odpor je v senzoru přepočítán na vlhkost a dále jsou provedeny korekce na vliv teploty a na druh materiálu. Pro systém Moisture Guard existuje také doplňkový senzor HT01485 měřící pouze teplotu a vzdušnou vlhkost. Tento senzor je vhodný pro monitorování míst s možným problémem kondenzace vodních par a pro hlídání komfortních podmínek v jednotlivých místnostech budovy, kde není potřeba měřit vlhkost masivního materiálu. [8]



Obrázek 14 – Centrální vyhodnocovací jednotka systému Moistureguard [11]

Komunikační sběrnice je digitální a umožňuje téměř libovolnou topologii propojení jednotlivých senzorů s centrální jednotkou (řetězení, větvení). Použitý komunikační protokol poskytuje vysokou robustnost a odolnost vůči možnému rušení a snadnou použitelnost senzorů samostatně s běžně dostupnými průmyslovými automaty a PLC. Čtyřvodičový propojovací kabel slouží jak pro komunikaci, tak i pro napájení senzorů. Centrální jednotka zajišťuje vyčítání měřených hodnot ze senzorů, jejich zpracování, ukládání na paměťovou kartu (offline jednotka MGCU_03) nebo odesílání na server do databáze (online jednotka MGCU_01). Historická data lze v případě online centrální jednotky jednoduše prohlížet z webového prohlížeče z počítače, tabletu nebo chytrého telefonu. Centrální jednotka obsahuje akustickou a optickou signalizaci zvýšené vlhkosti a případně i LCD displej pro zobrazení jednotlivých hodnot. Součástí jednotky je i univerzální relé, například pro připojení systému k domácímu zabezpečovacímu systému a rozšíření možností upozornění uživatele. Centrální jednotka obsahuje unikátní algoritmus detekce zvýšené vlhkosti, pracující na základě hlídání absolutní velikosti vlhkosti, jejího gradientu získaného z historických dat, a to i v korelaci s okolními senzory na základě známého rozmístění senzorů. Je tak schopna včas detekovat havárii a varovat

před ostatními možnými problémy. Systém sice nedokáže eliminovat riziko vzniku havárie, ale dokáže ji velmi rychle detekovat a výrazně tak snížit náklady na rekonstrukci. V současnosti je systém několik měsíců úspěšně testován a probíhají další dlouhodobé testy na několika pilotních instalacích. [8]



*Obrázek 15 – Instalační sada, centrální jednotka a senzory vzdušné vlhkosti/teploty
[11]*

5.2.2 Další systémy pro monitoring vlhkosti

Dalšími v současnosti používanými přístroji sloužícími pro monitoring vlhkosti jsou různé datalogery a datatakery. Tato zařízení mají obdobné využití v praxi a obdobný počet vstupů jako výše zmiňovaný systém Moistureguard. Jako příklad bych uvedl Geologger DATATAKER DT85G od výrobce TR Instruments s.r.o., který je zobrazen na následujícím obrázku:



Obrázek 16 – Geolger DATATAKER DT85G [12]

Pro vědecké a laboratorní účely se dále používají vícekanálové měřicí ústředny, s nimiž je možné instalovat čidla i v řádu tisíců kusů, jedná se ale o adekvátně dražší a v praxi zřídka realizované systémy.

Otázkou však zůstává, jakým způsobem se voda v konstrukcích šíří a jak různé materiály degeneruje. Dřevo jako materiál není homogenní, na stavbě se objevuje řada detailů, které šíření a působení vody ovlivňují. V takovém případě bychom při použití výše zmíněných systémů čidel potřebovali velké množství a velmi hustou síť těchto čidel, aby byla zajištěna relativní bezpečnost před možnou vlhkostní havárií. Takové řešení ale není ekonomické a často ani prakticky proveditelné.

5.3 Havárie rozvodů instalací

Pokud už navrhne a vybudujeme všechny konstrukce správně, zabráníme kondenzaci vodní páry, použijeme těsně provedené parozábrany popřípadě difúzně otevřené skladby a eliminujeme nežádoucí vlhnutí konstrukcí, pořád hrozí určité riziko. Tím je možná havárie rozvodů vodovodních a odpadních instalací.

Tento typ zavlhčení se může projevit jako náhlá havárie, kdy voda vytéká z prasklého potrubí ve velkém množství. Takovou závadu objevíme obvykle brzo a také ji hned opravíme. Složitější jsou však případy, kdy voda uniká jen v malých průtocích vlivem

netěsného šroubení, prasklých svárů, vadného nebo nedotaženého těsnění či špatně utěsněného napojení trubek kanalizace atp. Zavlhání se hned nepozoruje a může se vlivem těžko předvídatelného šíření vody v konstrukci objevit na úplně jiném místě, nežli je závada. Voda se může například šířit po trubce pod tepelnou izolací nebo téci okolo elektrického vedení a až v nějakém ohybu vsakovat do stavebního materiálu. [6]

Příkladem takové havárie může být třeba gumová hadice opletená hliníkem. Hliník vlivem kondenzace vody na studené hadici postupně oxiduje a po jeho porušení už samotná gumová hadice nevydrží tlak vody a praskne, jak ukazuje obrázek 17:



Obrázek 17 – Porušené hliníkové opletení hadice [13]

Jak může vypadat interiér v případě netěsnícího kolena přívodu teplé vody pod umyvadlem ve druhém nadzemním podlaží při průtoku cca 1 litru vody za den, ukazuje následující obrázek 18:



Obrázek 18 – Interiér po vlhkostní havárii [14]

6 EXPERIMENT

6.1 Cíle experimentu

Náplní praktického experimentu, kterému se budu věnovat dále, bylo vyzkoušet vybranou skladbu suché podlahy právě v případě vlhkostní havárie.

Snažil jsem se simulovat vlhkostní havárie různého rozsahu při různém průtoku unikající vody tak, abych mohl porovnat poškození podlah.

Při těchto zkouškách bylo cílem zjistit, jakým způsobem se voda šíří v konstrukci, jaký způsob zabudování a které materiály a jak toto šíření ovlivňují.

Dále bylo cílem vyzkoušet, jak se projeví déle trvající přítomnost vody na konstrukci.

Po těchto zkouškách jsem dále vyhodnocoval namočené materiály z hlediska hmotnostní vlhkosti, ztráty tepelně izolačních vlastností, degenerace a poškození.

Na závěr jsem ještě vyzkoušel vlastnosti samotné OSB desky přímo namáhané odkapávající vodou bez dalších vrstev podlahy, abych zjistil charakter šíření a pronikání vlhkosti právě tímto často používaným materiálem.

6.2 Metodika experimentu

Základní popis

V rámci prováděného experimentu jsem se rozhodl vyzkoušet tři vzorky podlah. Všechny vzorky měly stejnou skladbu proto, aby bylo možné pozorovat rozdíly v závislosti na množství a intenzitě odkapávající vody. Vodou byly namáhány postupně, po kapkách, po dobu asi dvou týdnů.

Umístění vzorků

Vzorky byly umístěny v hale v areálu AdMaS. AdMaS (Advanced Materials, Structures and Technologies) je moderní centrum vědy a komplexní výzkumná instituce v oblasti stavebnictví, která je součástí Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně. Tato hala byla v průběhu experimentu vytápěna na teplotu kolem 20°C. Byla používána i pro další experimenty a pohybovaly se v ní osoby, takže bylo zajištěno určité minimální větrání prostor a simulovány tak přibližně podmínky, jaké nalezneme v běžném interiéru.

Sledované změny, hodnoty a veličiny

V průběhu experimentu jsem zaznamenával fotograficky změny a degradaci materiálu – zejména povrchové krycí vrstvy. Sledoval jsem způsob a charakter šíření vody. Zaznamenával jsem v čase, kolik vody na kterou podlahu odkapalo. Po vyschnutí jsem studoval mapy na svrchní vrstvě, které odpovídají způsobu, jakým voda vysychala a jestli na povrchu byla stálá hladina, nebo voda stačila vsakovat. Po skončení experimentu jsem podlahy rozebral a zjišťoval, kam ve kterých případech voda pronikla. Dále jsem vybrané vlhké vzorky materiálů vážil a porovnával jejich objemovou hmotnost se suchými materiály stejného druhu. U kročejové izolace a sádrovláknitých desek jsem ještě na závěr měřil součinitel tepelné vodivosti a tuto hodnotu opět porovnával s hodnotami shodného, ale suchého materiálu. Ve vzorku podlahy, která byla nejvíce namáhána vodou, jsem instaloval na spodní stranu OSB desek simulujících nosnou stropní konstrukci vlhkostní čidla pro případ, že by voda pronikla až sem. Jelikož se tak nestalo, úplně na závěr experimentu jsem ještě testoval samotnou OSB desku při intenzivnějším vlhkostním namáhání.

6.3 Konstrukce a skladba vzorků

6.3.1 Konstrukce OSB vany

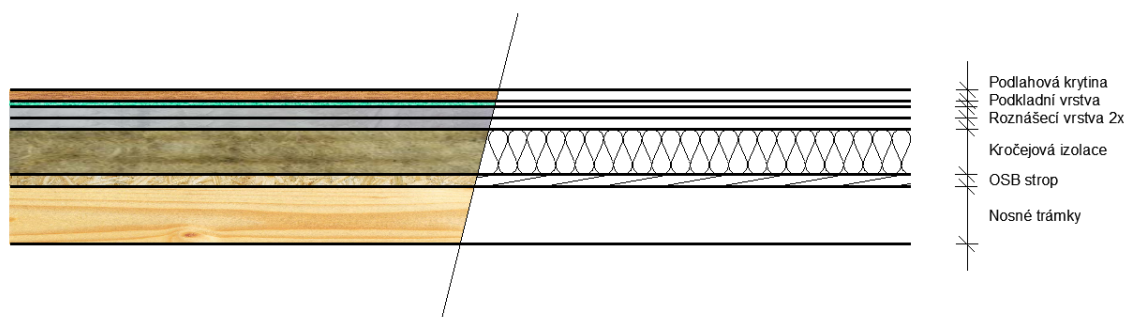
Jednotlivé vzorky podlah byly umístěny ve vanách vybudovaných z desek Egger Eurostrand OSB. Tyto desky byly použity i dále pro konstrukci nosné vrstvy. Mají až 160 mm dlouhé štěpky a vysoký stupeň jejich orientace po směru vláken krycích vrstev, což ovlivňuje jejich vlastnosti i z hlediska vlhkostního namáhání. Formát zkoušených vzorků byl 2,5 x 1,25 m. Tyto OSB vany stály na čtyřech nohách, celé byly vysoké cca 110 cm a samotné vany byly 30 cm hluboké. Na dno van jsem natavil asfaltový pás pro případ, že by voda skladbou podlahy ve větší míře protekla. Tuto bezpečnostní hydroizolaci jsem ještě vytáhl po vnitřním obvodu van do výšky zhruba 4 centimetrů. Spojení jednotlivých desek v rozích jsem v první fázi experimentu nijak neutěšňoval, protože jsem nepředpokládal, že by voda pronikla až do rohů a tudíž otekla. Konstrukci van s asfaltovým pásem ukazuje obrázek 19:



Obrázek 19 – Konstrukce OSB vany pro umístění zkoušených podlah

6.3.2 Skladba podlahy

Skladbu vzorků podlah jsem volil, jak jsem se již zmínil, pro všechny vzorky shodnou. Snahou bylo testovat skladbu vhodnou pro dřevostavby a v tomto případě jsem vybral suchou podlahovou konstrukci nikoliv na zemině, ale na dřevěném stropě. Krycí vrstvu tvořil laminát v tloušťce 6 mm. Byl položen na podkladní vrstvě mirelonu o tloušťce 3 mm. Roznášecí vrstvu potom tvořily sádrovláknité konstrukční desky RigiStabil tloušťky 12,5 mm ve dvou vrstvách. Následovala kročejová izolace z minerální vaty Isover T-P v tloušťce 30 mm a nakonec nosná konstrukce v podobě OSB/3 Egger P+D v tloušťce 18 mm, tvořící záklop na dřevěných hranolech.



Obrázek 20 – Skladba použitá pro testované vzorky podlah

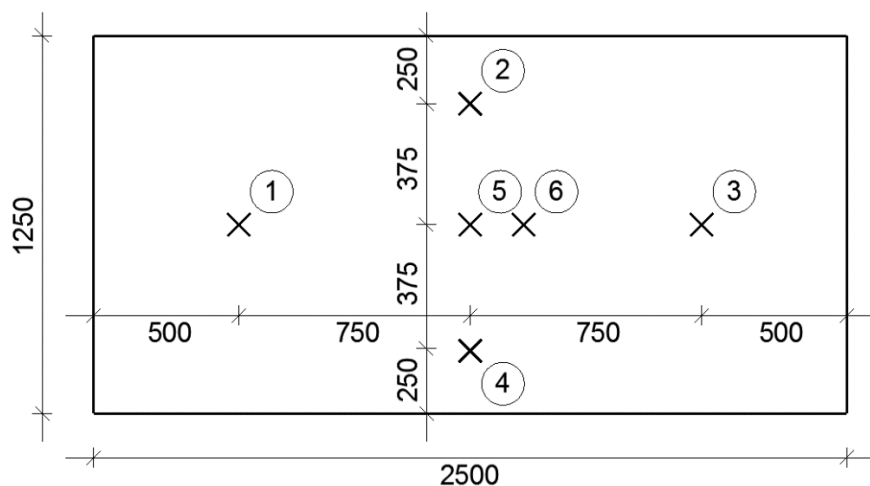
Nosná konstrukce podlahy

Chtěl jsem testovat suché lehké podlahové systémy, vhodné pro dřevostavby a tomu jsem přizpůsobil i nosnou „stropní“ konstrukci. Tu jsem provedl formou čtyř hranolů výšky 8 cm umístěných příčně na krajích a ve třetinách podlahy. Tyto hranoly jsem potom zakryl záklopem z OSB desek simulujícím podkladní nosnou konstrukci pro další vrstvy podlahy, jak ukazuje následující obrázek 21:



Obrázek 21 – Nosné trámy stropu, OSB záklop, vlhkostní čidla

Dále jsem na podlahu, která byla posléze nejvíce namáhána vodou, instaloval vlhkostní čidla, a to z důvodu, aby bylo možno monitorovat, jestli a kdy se dostane vlhkost až za tuto poslední vrstvu podlahy a jaký bude charakter jejího šíření v ploše. Čidla 1-5 jsem namontoval zespod na OSB desku představující stropní konstrukci, čidlo 6 jsem umístil na bok jednoho z trámků. Umístění čidel znázorňuje schéma na obrázku 22:



Obrázek 22 – Schéma umístění vlhkostních čidel

Použil jsem čidla ELBEZ WS-16/T, která využívají pro měření běžné stavební vruty průměr 3 až 3,5 mm. Používají se pro rozsah teplot 0-100°C, vlhkosti 5-90%, s přesností 0,2% při jmenovité teplotě 25°C, s rozlišením 0,1% /0,1°C.

Vlhkost na čidlech zaznamenávala měřicí programovatelná ústředna ELBEZ/PLC Unitronics W130-33-R2/12 vstupů.



Obrázek 23 – Vlhkostní čidlo ELBEZ WS-16/T

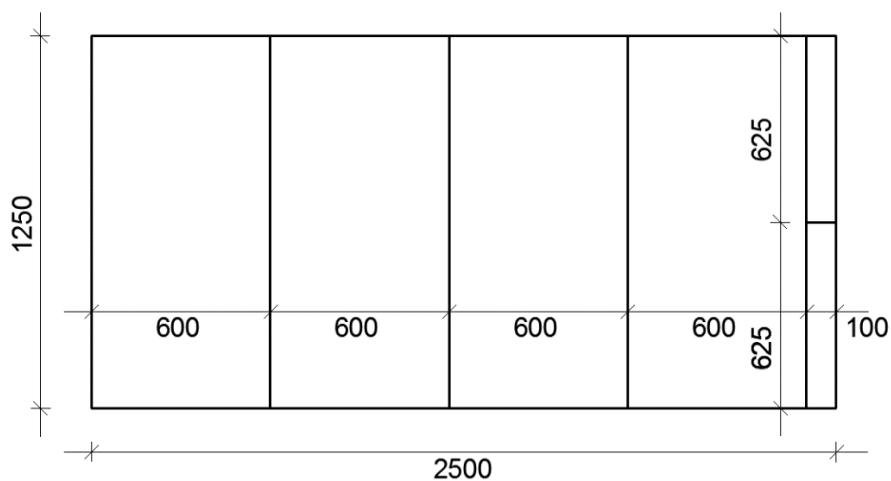
Kročejová izolace

Na nosnou konstrukci podlahy z OSB desek jsem položil vrstvu kročejové izolace z minerální vaty Isover T-P v tloušťce 30 mm.



Obrázek 24 – Kročejová izolace z minerální vaty

U všech tří vzorků bylo podstatné v každé vrstvě zachovat shodné kladení jednotlivých kusů materiálu a shodné rozvržení spár, kterými voda poté snadněji pronikala.



Obrázek 25 – Schéma skladby kročejové izolace z minerální vaty

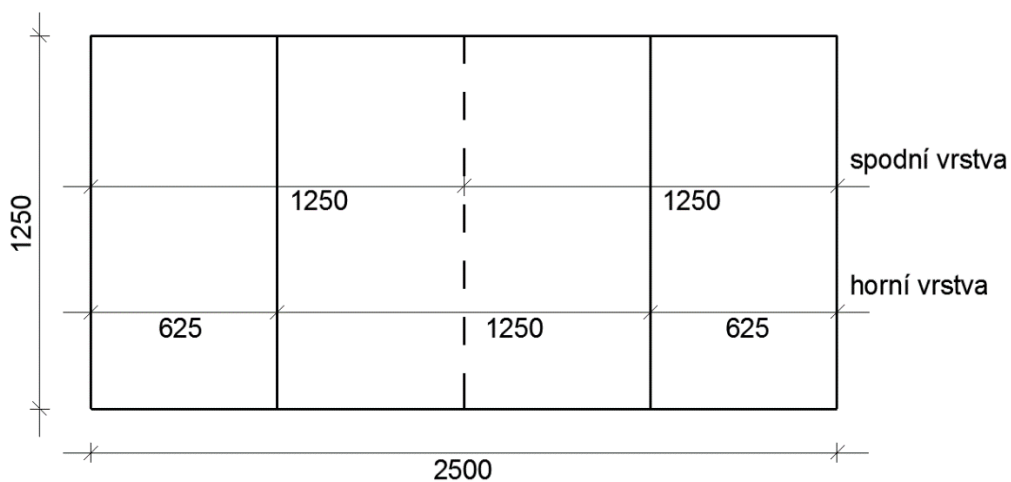
Roznášecí vrstva

Roznášecí vrstvu jsem vytvořil ze sádrovláknitých desek položených ve dvou vrstvách. Jednalo se o konstrukční desky RigiStabil tloušťky 12,5 mm.



Obrázek 26 – Roznášecí vrstva ze sádrovláknitých desek

Vrstvy byly přeloženy o jednu polovinu desky, jak ukazuje následující schéma na obrázku číslo 27:



Obrázek 27 – Schéma skladby roznášecí vrstvy ze sádrovláknitých desek

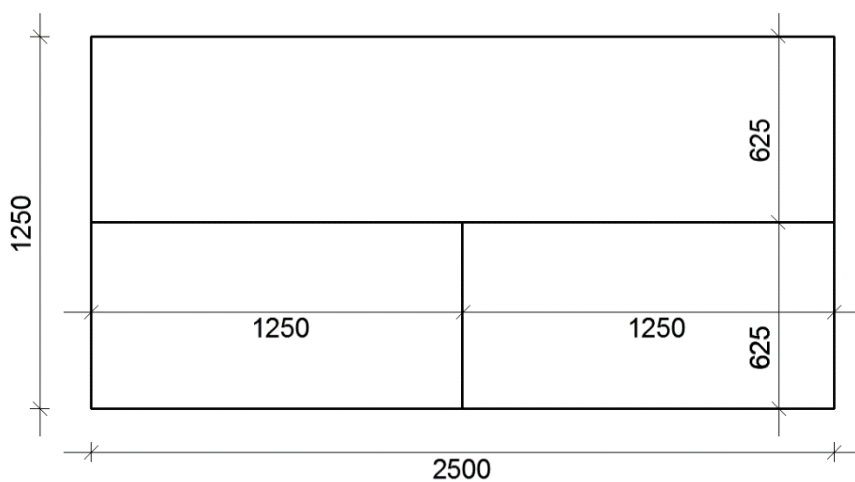
Podkladní vrstva

Podkladní vrstvu pro následnou podlahovou krytinu tvořil mirelon toušťky 3 mm.



Obrázek 28 – Podkladní vrstva z mirelonu

Zejména u této vrstvy bylo pro další experiment podstatné rozložení spár. Pro simulaci skutečného provedení jsem je uměle vytvořil dle schématu na obrázku 29.



Obrázek 29 – Schéma skladby mirelonu

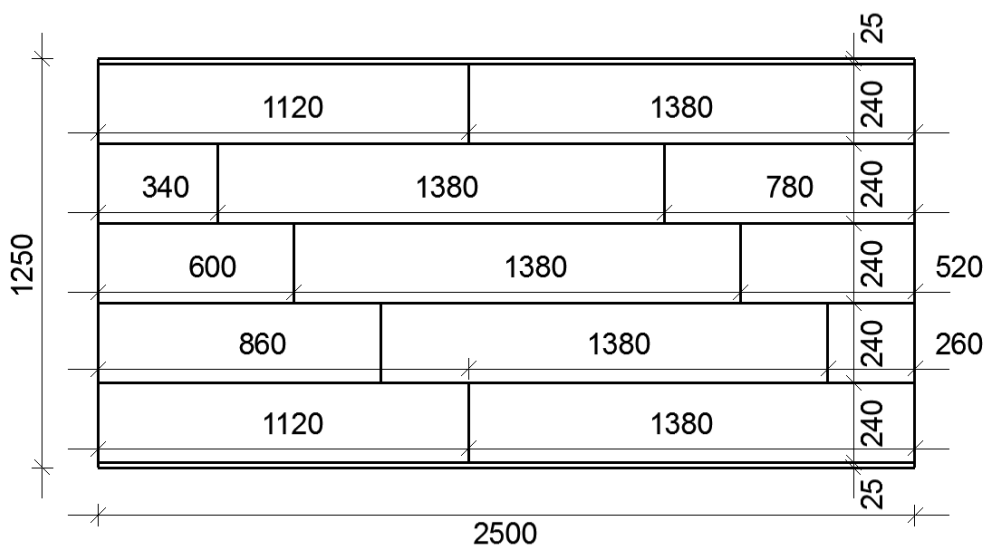
Podlahová krytina

Jako podlahovou krytinu jsem zvolil laminát na pero a drážku imitující dřevo. Tloušťka použitého laminátu byla 6 mm.



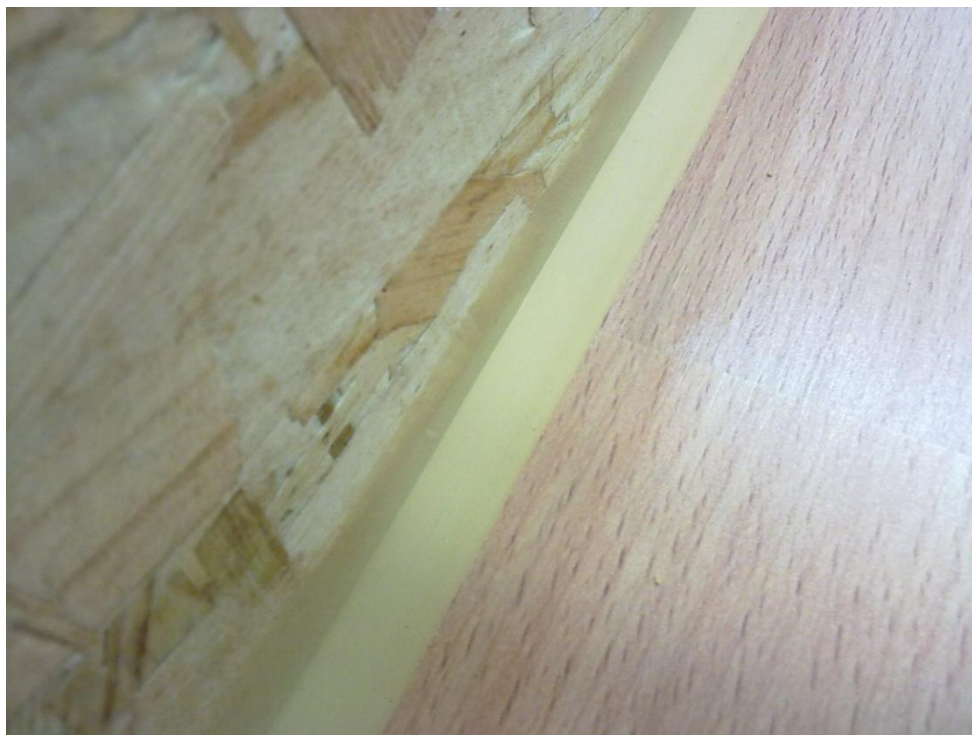
Obrázek 30 – Laminátová podlahová krytina

Způsob vyskládání laminátové podlahy znázorňuje následující obrázek 31:



Obrázek 31 – Schéma skladby laminátové podlahové krytiny

Jak je patrné z předchozího schématu na obrázku 31, po delších stranách vznikly po kraji spáry o tloušťce 25 milimetrů a ani po kratších stranách nebylo technicky možné provést podlahu dokonale a vodotěsně přiléhající k OSB vaně. Proto jsem se rozhodl tyto spáry vytmelit parketovým tmelem Den Braven. Cílem experimentu bylo simulovat co nejreálnější podmínky zabudování podlahy v domě a působení unikající vody na podlahu v ploše, čemuž mělo toto použití tmelu přispět.



Obrázek 32 – Zatmelení krajní spáry po delší straně vany

Takto vyskládané a zatmelené podlahy už byly připraveny na hlavní fázi experimentu, tedy na samotné namáhání odkapávající vodou.

6.4 Způsob máčení

Vzorky podlah jsem máčel vodou, ve které bylo rozpuštěno potravinářské barvivo různých barev, aby bylo patrnější, kam až voda pronikla a které materiály smáčela, i po jejím vyschnutí. Abych při experimentu docílil podmínek co nejpodobnějších vlhkostní havárii, musel jsem zajistit přívod vody v relativně malých průtocích, tedy po kapkách.

6.4.1 První varianta – ocelové kohouty

Jako první možná varianta, jak zajistit požadovaný malý průtok vody přiváděné na podlahy, se jevílo použití plastového vodovodního potrubí ze společného zdroje. Na jeho koncích potom aplikace zahradních ocelových kohoutů pro zajištění požadovaného množství vody v čase. Potrubí a kohouty jsem umístil tak, aby voda kapala do středu zkoušené podlahy, tedy aby byla využita co možná největší plocha vzorků a aby voda působila na plochu, nikoliv na kraje a rohy OSB van.



Obrázek 33 – Plastové přívodní potrubí a ocelový zahradní kohout

Toto řešení se ale po testování, kdy jsem nechal vodu několik dní odkapávat do kbelíků, ukázalo jako nevhodné a nepoužitelné. Společná nádoba pro všechny tři vzorky

představovala komplikace při nastavování požadovaných průtoků na jednotlivých kohoutech. To se sice po delším zkoušení podařilo, ale požadované průtoky kohouty nevydržely ani do dalšího dne. Pravděpodobně vlivem teplotní roztažnosti poměrně velkého kohoutu a také zanášením drobnými částicemi ve vodě se kapání značně zpomalovalo, až ustalo úplně. Cílem experimentu bylo namáhat vzorky podlah po dobu přibližně 14 dní a pro tento účel se ocelové kohouty nedaly využít.

6.4.2 Druhá varianta – plastová kapátka

Jako druhou variantu, jak kapat na podlahy, jsem zvolil samostatné nádoby s vodou opatřené plastovými narážecími kapátky od výrobce Gardena v nejjemněji regulovatelné variantě s nastavitelným průtokem 0-5 l vody za hodinu. Ty umožňovaly pro každou podlahu oddělenou a přesnější regulaci průtoku vody a také déle udržely nastavené množství vody, které jimi protékalo. Toto řešení se po otestování ukázalo jako vhodné a bylo nakonec pro experiment použito.



Obrázek 34 – Plastová nádoba s plastovým kapátkem Gardena

6.5 Fáze experimentu

6.5.1 První fáze experimentu

Poté, co byly vzorky podlah i nádoby s vodou podle předchozích kapitol připraveny, začal jsem s první fází experimentu. Na podlahy jsem nechal po dobu deseti dnů odkapávat vodu a pozoroval její působení. Namáhání jednotlivých podlah se lišilo intenzitou kapání. První vzorek – označme ho dále jako podlahu A – byl namáhán nejrychleji a voda, která na něj působila, byla obarvena potravinářským barvivem modře. Druhý vzorek – podlaha B – byla namáhána vodou středně rychle a ta byla obarvena fialovou barvou. Na nejpomaleji namáhanou podlahu – podlahu C – kapala voda obarvená červeně. V průběhu experimentu jsem pomocí vážení zaznamenával množství zbývající vody v nádobách, abych věděl, kolik na kterou podlahu už odkapalo vody. Tyto hodnoty v gramech respektive v mililitrech znázorňuje tabulka 2, hodnoty množství vody odkapané na podlahy potom tabulka 3:

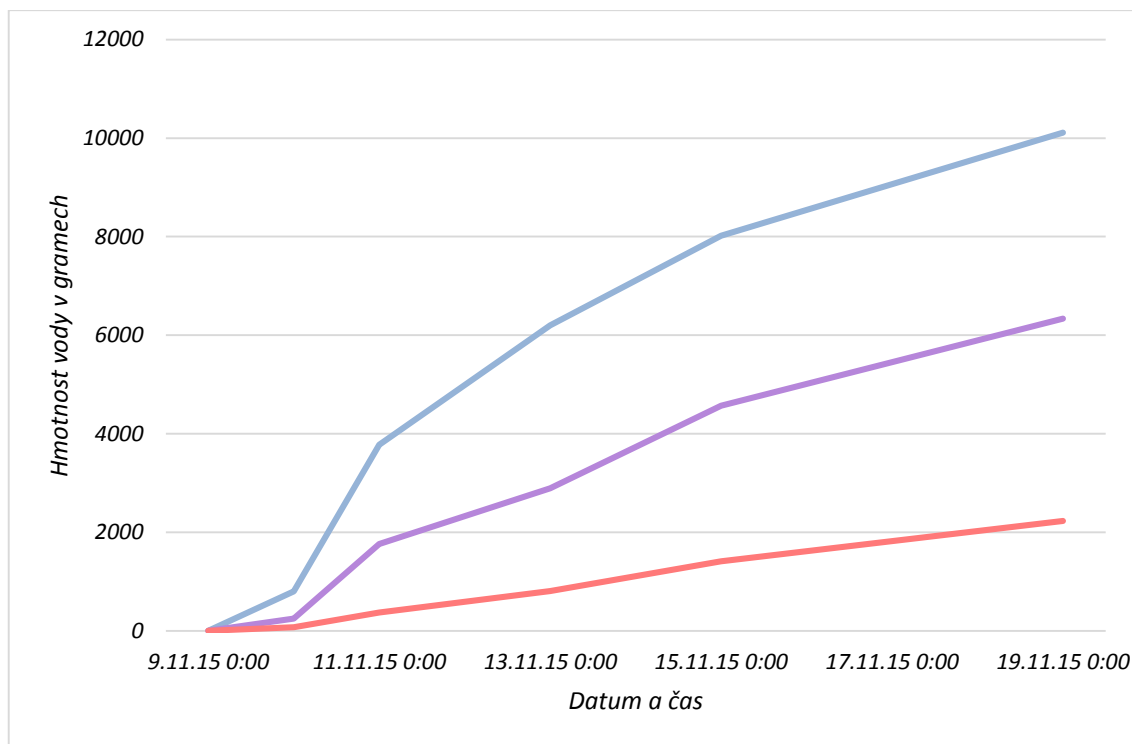
Tabulka 2 – Množství zbývající vody v nádobách v gramech

DATUM, ČAS	HMOTNOST A	HMOTNOST B	HMOTNOST C
9.11.15 11:00	11634,8	11417,8	11243,6
10.11.15 9:20	10833,2	11166,8	11166,8
11.11.15 12:10	7857,4	9656,2	10872,2
13.11.15 10:34	5431,3	8523,2	10435,2
15.11.15 14:00	3613,6	6848,6	9834,2
19.11.15 12:35	1526,6	5081,3	9012,3

Tabulka 3 – Množství vody odkapané na podlahy v gramech

DATUM, ČAS	HMOTNOST A	HMOTNOST B	HMOTNOST C
9.11.15 11:00	0	0	0
10.11.15 9:20	801,6	251	76,8
11.11.15 12:10	3777,4	1761,6	371,4
13.11.15 10:34	6203,5	2894,6	808,4
15.11.15 14:00	8021,2	4569,2	1409,4
19.11.15 12:35	10108,2	6336,5	2231,3

Průběh intenzity odkapávání vody a tedy i intenzity vlhkostního namáhání zkoušených vzorků podlah potom ukazuje graf 3:



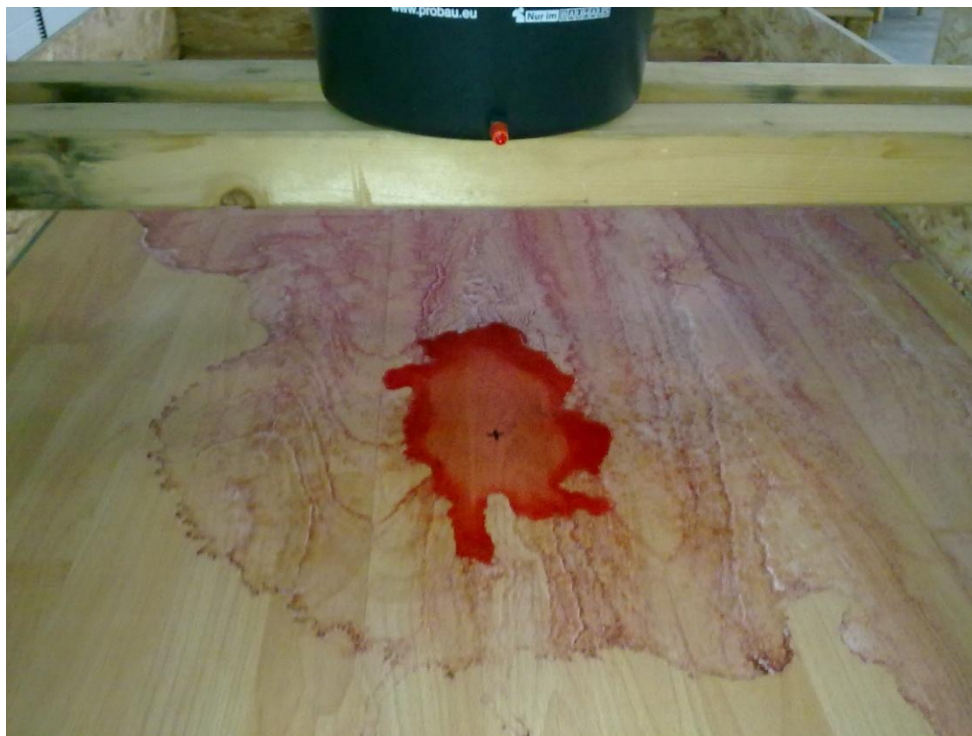
Graf 3 – Intenzita odkapávání vody na vzorky podlah v čase

Snahou bylo namáhat podlahy rovnoměrnou rychlostí přibývajícím vody a intenzitu mezi vzorky vždy obdobně zvýšit. Jak je patrné z předešlého grafu 3, s výjimkou počátečního doladování jednotlivých kohoutů se tento cíl podařilo splnit.

V závěru této první fáze experimentu jsem se rozhodl vzorek podlahy B – tedy ten namáhaný středně intenzivně – rozebrat. Zdokumentoval jsem, kam až vlhkost pronikla a jakým způsobem poškodila jednotlivé materiály.

6.5.2 Druhá fáze experimentu

Protože se podlahy projeví jako poměrně odolné, rozhodl jsem se zbylé dva vzorky namáhat vodou dále. Nejprve jsem ale podlahy nechal dva týdny vysychat, aby měl materiál a zejména vrchní podlahová laminátová krytina čas degradovat, bobtnat a aby se rozšířily spáry mezi jednotlivými prvky této vrstvy.



Obrázek 35 – Začátek druhé fáze vlhkostního namáhání vzorků podlah

V této druhé fázi experimentu jsem na vzorky podlah nechal vodu kapat rovnoměrně po šest dní. Na podlahu A celkem nakapalo 11,108 l vody a na podlahu C 3,785 l vody.

Po šesti dnech jsem rozebral a zdokumentoval podlahu C. Z tohoto vzorku podlahy jsem také odebral vlhký materiál, který jsem dále měřil v laboratoři. Zjišťoval jsem hmotnostní vlhkost a změnu tepelně izolačních vlastností materiálů.

Zbývající poslední vzorek podlahy A s vlhkostními čidly na spodu nosné OSB desky jsem i v této fázi namáhal nejintenzivněji, zalepil jsem rohy u OSB vany a nechal na podlahu působit stojící vodu o hloubce dosahující až jeden centimetr. Po sedmi dnech tohoto působení vody jsem i tuto podlahu rozebral a zdokumentoval účinky působení vody na konstrukci a na materiály.



Obrázek 36 – Nejintenzivněji namáhaný vzorek podlahy A

6.5.3 Třetí fáze experimentu

V poslední třetí fázi experimentu jsem se rozhodl vyzkoušet samotnou OSB desku, protože i přes velmi intenzivní namáhání podlahy A voda k čidlům vůbec neprošla.

Na samotnou OSB nakapalo za dobu jednoho týdne 3,826 l vody. Ta se postupně šířila po desce, vsakovala a pronikala materiálem. Charakter šíření vlhkosti zaznamenávala instalovaná čidla.

7 VÝSLEDKY EXPERIMENTU

7.1 Prostředky k dosažení cílů a vyhodnocování výsledků

7.1.1 Nářadí

- ruční nářadí pro pokládku podlahy

7.1.2 Přístroje

Testovací komora MEMMERT CTC262

Odebrané vlhké vzorky materiálů jsem sušil v testovací komoře MEMMERT CTC262. Tato komora dokáže svůj vnitřní pracovní prostor vytopit až na 190°C a vychladit na -42°C. Umožňuje také regulaci vlhkosti v rozmezí od 10 do 98%. Objem vnitřního prostoru komory je 256 l. [9]

ISOMET 2104

Pro měření součinitele tepelné vodivosti jsem použil měřicí přístroj ISOMET 2104. Přístroj měří na nestacionárním principu tepelnou a teplotní vodivost materiálů s nízkou tepelnou vodivostí, tedy v intervalu 0,015 – 2 W/m·K. K měření slouží dvě vpichovací jehlové sondy a jedna sonda povrchová (příložná). Jako u všech dynamických metod měření tepelných veličin, přesnost měření je i zde poměrně nízká – odchylka proti metodám stacionárním činí až 15%. Objekty se mohou nacházet v teplotním intervalu -20°C až +70°C. [10]

7.2 Poškození po první fázi experimentu

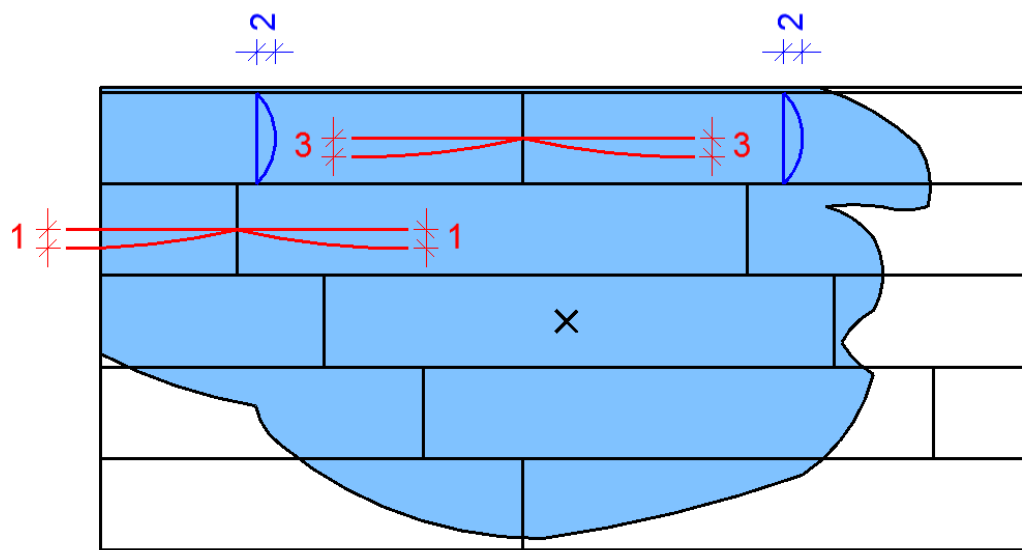
7.2.1 Podlaha A

Podlaha A byla namáhána vodou nejintenzivněji. Po dobu 10 dní na ní nakapalo přes 10 litrů vody a poté dva týdny vysychala a degenerovala. Jak po vyschnutí vypadala podlahová krytina tohoto vzorku, ukazuje obrázek 37:



Obrázek 37 – Rozsah smáčení podlahy A po první fázi namáhání

Z fotografie není rozsah smáčení vzorku podlahy A dobře patrný, lépe je zobrazen na schématu na obrázku 38. Toto schéma také ukazuje vzedmutí okrajů jednotlivých dílů laminátové krytiny popsané červenou barvou a jejich příčný průhyb označený modrou barvou. Na zbylých místech byly tyto deformace menší než jeden milimetr. Spáry mezi jednotlivými díly krytiny se vlivem vlhkosti rozšířily a ve smáčených místech podlahy se jejich šířka pohybovala okolo 0,5 milimetru.



Obrázek 38 – Schéma rozsahu smáčení a deformace podlahy A po první fázi namáhání



Obrázek 39 – Spáry podlahy A vlivem vlhkosti rozšířené na 0,5 milimetru

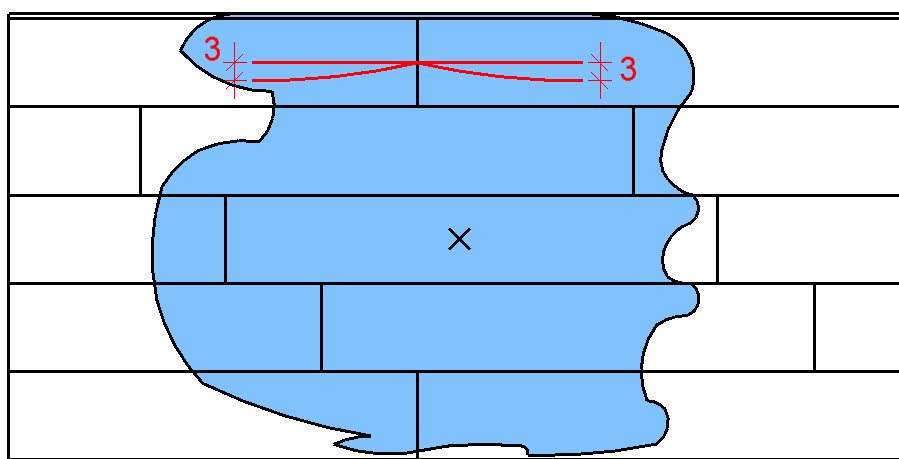
7.2.1 Podlaha B

Podlaha B byla namáhána vodou středně intenzivně a po dobu 10 dní na ní nakapalo cca 6,3 litrů vody. Poté rovněž dva týdny vysychala a degenerovala. Následně jsem ji rozebral a analyzoval poškození jednotlivých vrstev a materiálů. Stav před rozebráním zachycuje fotografie na obrázku 40:



Obrázek 40 – Rozsah smáčení podlahy B po první fázi namáhání

Deformace byly dle očekávání menší, než v předchozím případě, příčné prohnutí jednotlivých dílů laminátové podlahy v žádném místě nedosahovalo hodnoty jednoho milimetru. Spáry mezi jednotlivými díly se v místě smáčení rozšířily na hodnotu kolem 0,25 mm. Pro názornost jsem opět vytvořil schéma rozsahu smáčení a deformací vyobrazené na následujícím obrázku 41:



Obrázek 41 – Schéma rozsahu smáčení a deformace podlahy B po první fázi namáhání

Po rozebrání skladby tohoto vzorku podlahy jsem zjistil, že voda pronikla v malém množství po krajích OSB vany pod podlahovou krytinu. Většina této vody byla dále zachycena vrstvou mirelonu, kde se rozlila do plochy, zespod smáčela laminátovou vrstvu a velmi pomalu vysychala. Po rozebrání byly patrné mapy vyschlé vody na spodní straně laminátových dílů podlahové krytiny. Část této vody protekla i dále a smáčela horní a v malé míře v místě spáry i spodní sádrovláknité roznášecí desky. Na několika místech protekla voda až na OSB desku představující stropní konstrukci. Voda vždy pronikla pouze po krajích OSB vany a to i přesto, že byly spáry zatmeleny. V ploše v žádném místě nedošlo k průniku vrchní vrstvou lamina. Průnik vody konstrukcí a poškození jednotlivých materiálů dokumentují následující obrázky:



Obrázek 42 – Vrstva laminátu zespod a viditelný průnik vody po okraji OSB vany



Obrázek 43 – Horní sádrovláknité desky a průnik vody po okraji OSB vany



Obrázek 44 – Dolní sádrovláknité desky a průnik vody v místě spáry



Obrázek 45 – OSB vana a viditelný průnik vody po jejím okraji až na spodní desku

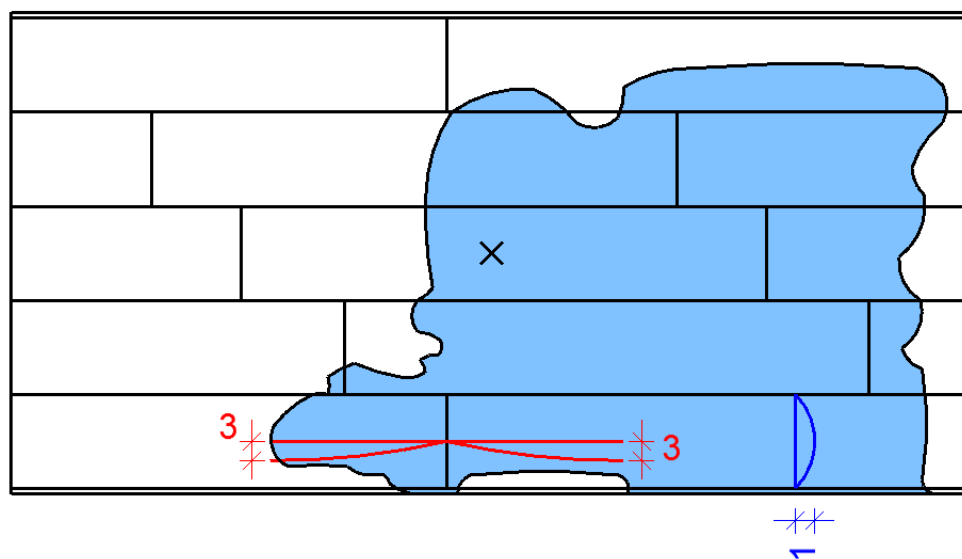
7.2.1 Podlaha C

Vzorek podlahy C byl namáhán nejmenším množstvím vody, za 10 dní na něj nakapalo cca 2,2 litrů vody. Poté, stejně jako ostatní vzorky, dva týdny vysychal. Stav po vyschnutí dokumentuje fotografie na následujícím obrázku 46:



Obrázek 46 – Rozsah smáčení podlahy C po první fázi namáhání

I přes fakt, že na podlahu nakapalo v porovnání s ostatními vzorky méně vody, po vysušení došlo, tak jako u ostatních vzorků, ke zdatelným deformacím. Největší vzednutí okrajů jednotlivých dílů podlahové krytiny dosahovalo 3 milimetrů, příčné prohnutí potom 1 milimetru. Spáry mezi jednotlivými díly laminátu v tomto případě však téměř nezaznamenaly rozšíření. Stav podlahy po vysušení a deformace znázorňuje schéma na obrázku 47:



Obrázek 47 – Schéma rozsahu smáčení a deformace podlahy C po první fázi namáhání



Obrázek 48 – Maximální podélné prohnutí vzorku C

Nejvýraznější deformace vrstvy lamina byly u všech vzorků v místech, kde voda dotekla ke kraji vyskládané podlahy a protékala do konstrukce podlahy po stěně OSB vany. V těchto místech deformaci nebránily sousední díly podlahy a dosahovala hodnot kolem 5 milimetrů, jak dokumentuje následující fotografie na obrázku 49:

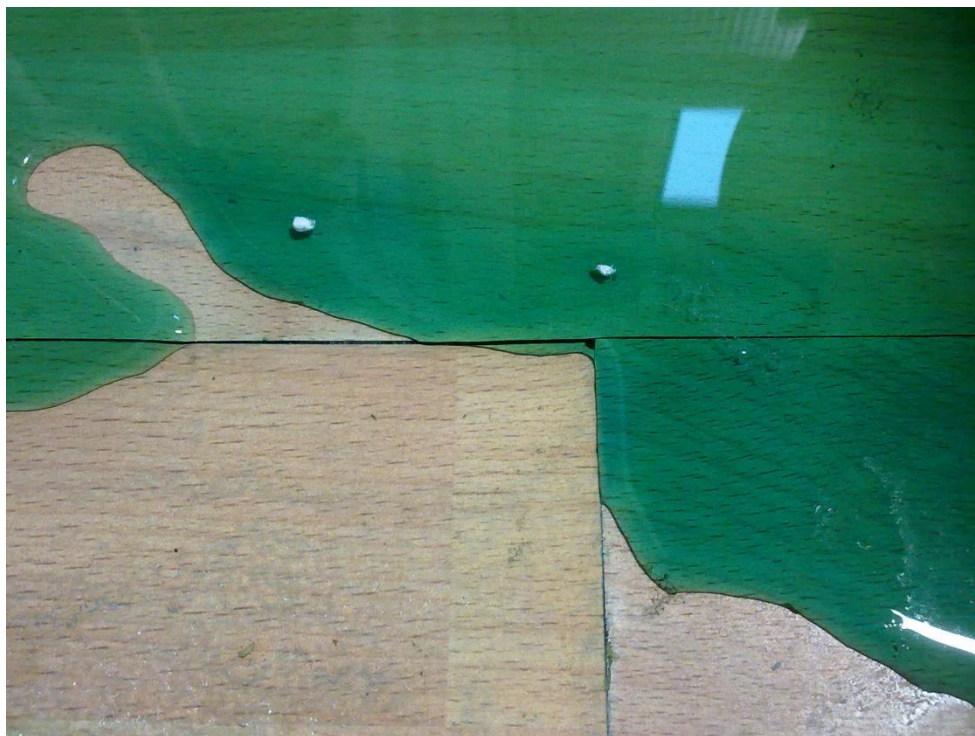


Obrázek 49 – Deformace na kraji vzorku podlahy C

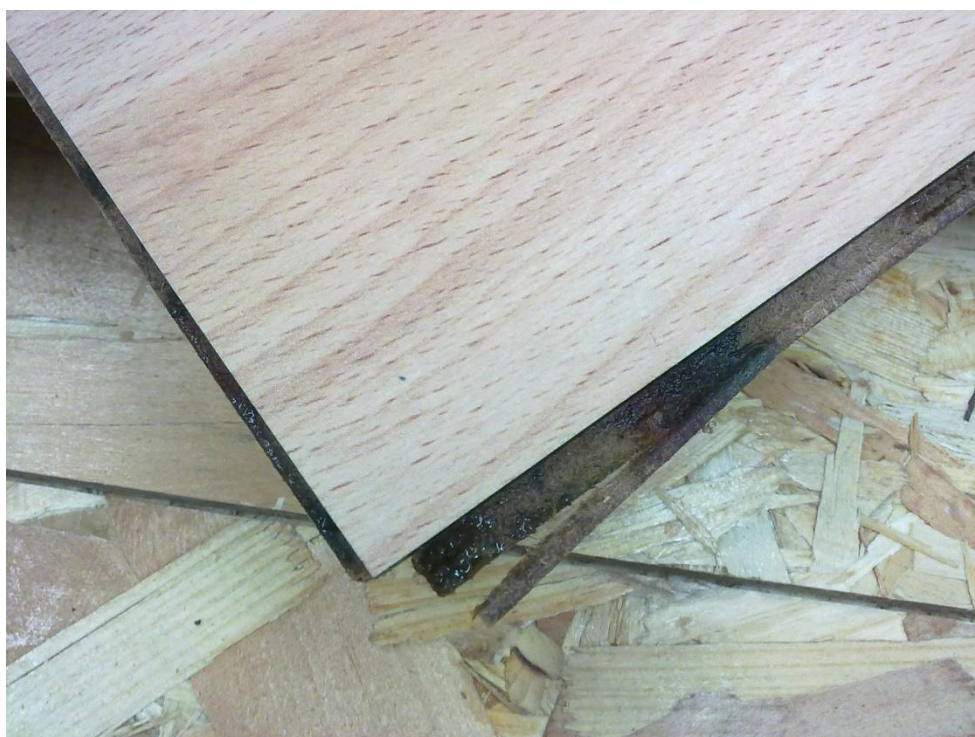
7.3 Poškození po druhé fázi experimentu

7.3.1 Podlaha A

Ve druhé fázi jsem vzorek podlahy A namáhal intenzivněji. Za týden na něj nakapalo cca 11 litrů vody. Voda na podlaze nestačila vysychat a tvořila souvislou hladinu. Spáry ve vrstvě laminátu rozšířené po předchozím namáhání už vodu částečně propouštěly, jak je patrné na následující fotografii na obrázku 50. Většina vody byla zachycena vrstvou mirelonu. Po stěnách OSB vany i spárami v mirelonu voda pronikala i do dalších vrstev. Vlhkostní čidla na spodní vrstvě OSB desky představující stropní nosnou konstrukci však vlhkost nezaznamenala. Průnik vody a stav podlahy po ukončení namáhání dokumentují fotografie na následujících obrázcích 51-55:



Obrázek 50 – Pronikání vody rozšířenými spárami



Obrázek 51 – Degenerace materiálu lamina působící vodou



Obrázek 52 – Většina pronikající vody zachycená vrstvou mirelonu



Obrázek 53 – Sádroláknité desky smáčené vodou, která pronikla mezerami v mirelonu



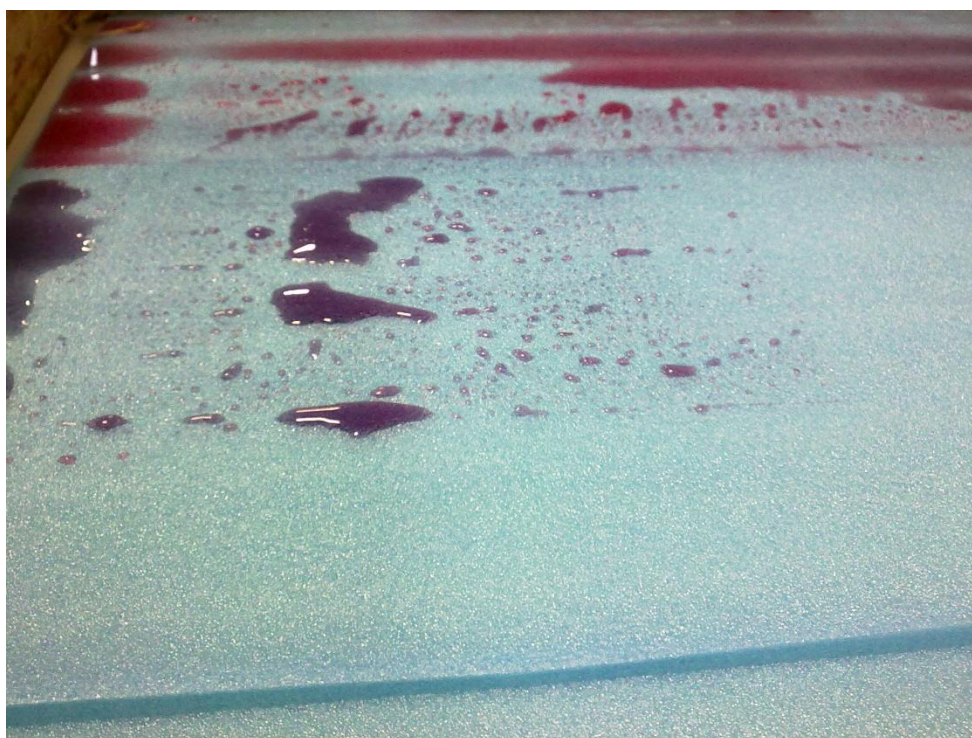
Obrázek 54 – Minerální vata smáčená pouze vodou stékající po stěnách OSB vany



Obrázek 55 – Voda, která na spodní OSB desku pronikla pouze po stěnách OSB vany

7.3.2 Podlaha C

Podlahu C jsem rovněž namáhal ve druhé fázi vodou s větší intenzitou. Za 6 dní na ni nakapalo cca 3,8 litru vody. Protože se spáry po předchozím relativně mírném namáhání významně nerozšířily, naprostá většina vody pronikala do konstrukce po kraji podlahy po stěnách OSB vany. Značná část vody byla opět zachycena vrstvou mirelonu. Zbylá voda potom smáčela i další vrstvy podlahy a byla zachycena až vrstvou OSB desky představující stropní konstrukci. Pronikání vody a její vliv na jednotlivé vrstvy dokumentují fotografie na následujících obrázcích 56-58:



Obrázek 56 – Většina pronikající vody zachycená vrstvou mirelonu



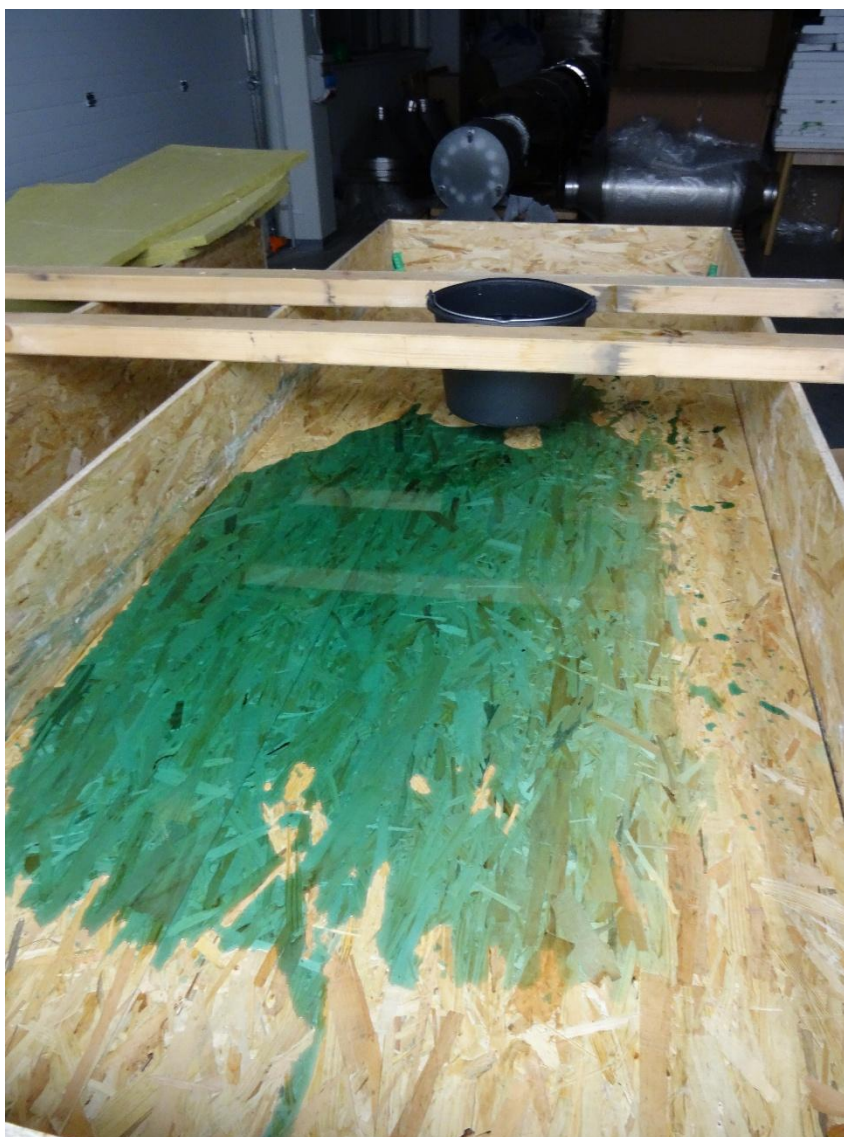
Obrázek 57 – Sádroláknité desky smáčené vodou pronikající po stěně OSB vany



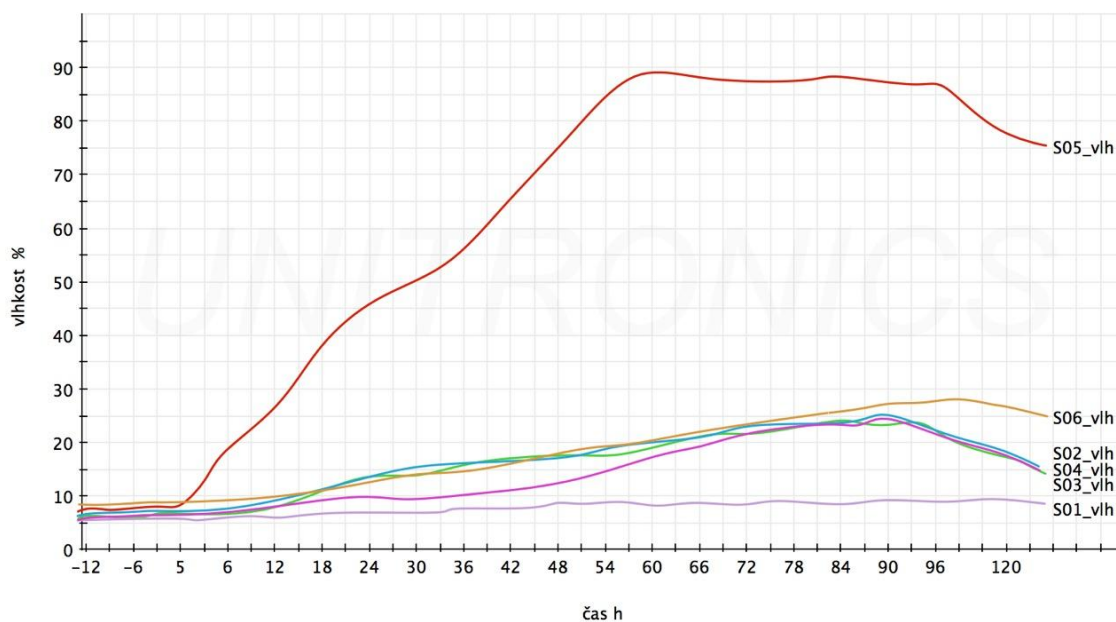
Obrázek 58 – Voda zachycená až spodní nosnou vrstvou OSB desek

7.4 Poškození po třetí fázi experimentu

Při třetí a poslední fázi experimentu jsem namáhal odkapávající vodou samotnou OSB desku představující stropní konstrukci. Na desku nakapalo za týden cca 3,8 litrů vody. Voda se nejprve šířila po povrchu, postupně se ale začala vsakovat a pronikat i skrz testovanou OSB desku, zejména v místě, kam voda dopadla. Voda v tomto případě pronikla až na asfaltový pás na dně vany a smáčela i nosné trámký.



Obrázek 59 – Voda šířící se po povrchu OSB desek představující stropní konstrukci



Graf 4 – Záznam vlhkosti z instalovaných vlhkostních čidel

Čidlo číslo 5 bylo instalováno uprostřed OSB desky právě pod místem, kam odkapávající voda dopadala. Z grafu je patrné, že voda začala prosakovat právě v tomto místě a že nárůst vlhkosti na ostatních čidlech byl výrazně pomalejší.



Obrázek 60 – Degenerace nosných trámů působící vlhkostí

7.5 Materiálové charakteristiky odebraných vzorků

Po druhé fázi namáhání jsem z podlahy C odebral smáčené i nesmáčené vzorky jednotlivých materiálů k laboratornímu prozkoumání a porovnání vybraných materiálových charakteristik.

7.5.1 Hmotnostní vlhkost

Při zjišťování hmotnostní vlhkosti jsem nejprve zvažil smáčené vzorky. Pro srovnání jsem také zvažil vzorky materiálů, které nebyly při experimentu namočené. Všechny tyto vzorky jsem poté vysušil. Pro sušení jsem použil testovací komoru MEMMERT CTC262. Sušení se provedl při teplotě $103 \pm 2^\circ\text{C}$ po dobu třech dní. Takto vysušené vzorky jsem opět zvažil. Hmotnostní vlhkost jsem počítal dle rovnice 5:

$$w = \frac{m - m_s}{m_s} \cdot 100\% \quad (5)$$

kde

w - hmotnostní vlhkost (%)

m - hmotnost odebraného vzorku (g)

m_s - hmotnost vysušeného vzorku (g)

Tabulka 4 – Hmotnostní vlhkost odebraných vzorků materiálů

VZOREK MATERIÁLU	m (g)	m_s (g)	w (%)
lamino nesmáčené	311,34	300,57	3,583
lamino smáčené	268,80	247,94	8,413
sádrovlákno nesmáčené 1	218,52	217,69	0,381
sádrovlákno nesmáčené 2	222,34	221,60	0,334
sádrovlákno smáčené 1	197,91	184,14	7,478
sádrovlákno smáčené 2	182,10	169,14	7,662
vata nesmáčená 1	37,10	36,99	0,297
vata nesmáčená 2	30,18	30,06	0,399
vata nesmáčená 3	27,94	27,84	0,359
vata smáčená 1	24,64	22,74	8,355
vata smáčená 2	21,08	20,78	1,444
vata smáčená 3	20,91	20,83	0,384

Z tabulky 4 je patrné, že k největšímu nárůstu hmotnostní vlhkosti docházelo u sádrovláknitých roznášecích desek, které dobře absorbovaly pronikající vodu. Velmi nasákavá byla také vata, do které ale voda pronikla už jen na několika málo místech, což dokumentují značné rozdíly hmotnostní vlhkosti různých odebraných vzorků.

Podkladní vrstvu mirelonu jsem z hlediska hmotnostní vlhkosti nevyhodnocoval, protože se jedná o téměř nenasákavý materiál a výsledek by se výrazně lišil podle množství kapek, které bych na povrchu mirelonu před vážením ponechal.

7.5.2 Součinitel tepelné vodivosti

Druhou materiálovou charakteristikou, kterou jsem měřil u odebraných vzorků, byl součinitel tepelné vodivosti. K jeho měření jsem použil měřicí povrchové sondy přístroje ISOMET 2104. Pro vatu jsem použil sondu s rozmezím měřených hodnot od 0,04 - 0,3 W/m·K, pro sádrovláknité desky jsem použil také tuto sondu, a protože se naměřené hodnoty pohybovaly u horní hranice rozmezí sondy, pro kontrolu jsem měření zopakoval se sondou s rozmezím měřených hodnot 0,3 - 2,0 W/m·K. Výsledky ukazuje následující tabulka 5:

Tabulka 5 – Součinitel tepelné vodivosti odebraných vzorků materiálů

VZOREK MATERIÁLU	λ (W/m·K)	nárůst λ (%)
sádrovlákno nesmáčené (sonda 0,04-0,3)	0,2790	
sádrovlákno smáčené (sonda 0,04-0,3)	0,3590	28,67
sádrovlákno nesmáčené (sonda 0,3-2,0)	0,3510	
sádrovlákno smáčené (sonda 0,3-2,0)	0,4310	22,79
vata nesmáčená (sonda 0,04-0,3)	0,0386	
vata smáčená (sonda 0,04-0,3)	0,0612	58,55

Naměřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti jsou v tomto případě spíše orientační. Měření jsem prováděl pouze na jednom subjektivně vybraném vzorku a nemám tedy možnost statisticky eliminovat chyby. Tloušťka sádrovláknité desky se blížila mezní tloušťce pro použití příložené měřicí sondy, což mohlo také zkreslit výsledek měření. Fakt, že měřené hodnoty se pohybovaly na rozmezí rozsahu sond, mohl opět negativně ovlivnit přesnost měření. Z těchto důvodů má smysl brát v úvahu spíše procentuální nárůst tepelné

vodivosti a tím zhoršení tepelně izolačních vlastností materiálů. U sádrovláknité desky se tento nárůst pohybuje okolo 25 procent, u vaty se potom blíží k 60 procentům.



Obrázek 61 – Použité příložené sondy přístroje ISOMET 2104

8 ZÁVĚR

V závěru práce shrnu jednotlivé vypořizované, vyzkoušené a naměřené poznatky o tom, jak působí voda na suché podlahové systémy. Zaměřím se zejména na způsob šíření vody po povrchu podlahy a charakterizuji, jak voda do konstrukce při havárii proniká. Dále shrnu poznatky o působení vody na jednotlivé materiály, zda a jak byly vodou poškozeny a do jaké míry došlo k jejich nevratné degeneraci. Úplně na závěr ukáži některé praktické dopady a návaznosti celého experimentu.

8.1 Charakter šíření vody

Při namáhání podlah odkapávající vodou se voda po povrchu podlah šířila nejprve po ploše vrchní laminátové podlahové krytiny. Tato krytina se projevila jako dosti odolná a vodu v ploše velmi dlouho vůbec nepropouštěla. Cílem experimentu bylo simulovat právě namáhání podlahy v teoreticky neomezené ploše, čemuž mělo přispět zatmelení spár po okrajích, kde vzorek podlahy navazoval na OSB vanu. I přes toto opatření došlo u všech vzorků k průniku vody do následujících vrstev nejprve právě po krajích podlahy. Teprve při druhé fázi namáhání, kdy už byla laminátová vrstva předchozím máčením a vysycháním deformována, došlo u intenzivněji namáhaného vzorku i k průniku vody rozšířenými spárami.

Následující vrstvou byla vrstva mirelonu. Ta představovala pro pronikající vodu další překážku. Díky své nenasákavosti a minimální propustnosti vody tato vrstva zachytila značnou část pronikající vody. Voda zachycená mirelonem zespod smáčela laminátovou konstrukci a ještě více ji namáhala a poškozovala. Zpod laminátové vrstvy voda jen pomalu vysychala a tak bylo její působení na vrchní vrstvu poměrně dlouhodobé. Do dalších vrstev pronikala voda pouze v místech, kde byl mirelon přerušen – tedy spárami a po okrajích zkoušeného vzorku.

Roznášecí vrstvu tvořily dvě vrstvy sádrovláknitých desek. Ty byly smáčeny zejména po krajích, kde pronikala většina vody a potom, u intenzivněji namáhaného vzorku ve druhé fázi i v místě spár v mirelonu.

Minerální vata, která představovala vrstvu kročejové izolace, byla vizuálně jen velmi málo dotčena vodou. Vzhledem k nasákavosti předešlé vrstvy už do vaty proniklo

poměrně malé množství vody, pouze po krajích OSB vany. Při následující laboratorním měření se ale ukázalo, že vata byla vodou zasažena a že došlo k poměrně značnému zhoršení jejích tepelně izolačních vlastností.

Voda, která pronikla až na OSB desku představující stropní konstrukci, se zde opět rozlévala v ploše. OSB deska se i při třetí fázi experimentu, kdy byla samostatně namáhána vodou, projevila jako poměrně odolná. Takto odkrytá konstrukce však začala postupně propouštět vodu i v ploše, jak dokumentují záznamy z vlhkostních čidel na její spodní straně.

8.2 Charakter poškození jednotlivých materiálů

Laminátová podlahová krytina byla, co se propouštění vody týče, značně odolná. Voda však na ní zanechala nevratné známky poškození. Už po první fázi namáhání a poté po dvou týdnech vysychání se lamino deformovalo a v závislosti na množství vody se rozšířily spáry mezi jednotlivými díly laminátu. U vzorků, které byly namáhány déle, se začala projevovat hniloba a materiál – zejména v místě spojů na pero a drážku – ztrácel svoji mechanickou odolnost a pevnost. Takto zdegenerovaný materiál by jednoznačně i při nejmenším testovaném zatečení, které v průběhu 10 dnů představovalo cca 2,2 litry vody, vyžadoval kompletní výměnu.

Vrstva mirelonu byla vodou smáčena a její nepropustnost ještě přispívala k degeneraci laminátové vrstvy nad ní. Materiál mirelonu nebyl sám o sobě vodou nevratně poškozen.

Sádrovláknité roznášecí desky byly vodou výrazně poškozeny. Protože se jedná o značně nasákavý materiál, ve všech místech, kde voda k sádrovlákně pronikla, vsákla se do materiálu a šířila se jím. Podstatný nárůst hmotnostní vlhkosti této vrstvy dokumentuje i následné laboratorní měření. Takto znehodnocené desky ztrácely svou funkci roznášet zatížení a vyžadovaly kompletní rekonstrukci.

Minerální vata, i přes fakt, že nebyla vodou ve větší míře smáčena, zaznamenala v některých místech značný nárůst hmotnostní vlhkosti a ještě výraznější pokles tepelně izolačních vlastností. Materiál při prozkoumání nebyl nevratně degenerován a u této vrstvy by v některých případech havárií menšího rozsahu postačilo důkladné vysušení.

Nosná stropní konstrukce, tvořená OSB deskami a dřevěnými trávky a byla vodou namáhána zejména ve třetí fázi, kdy voda odkapávala přímo na OSB desku. Působením vody na dřevo docházelo k nevratnému poškození, degeneraci, tvorbě hniloby a na nosných trávčích se začaly objevovat plísně. Při dlouhodobějším působení by postupně tato konstrukce začala ztrácet své mechanické a statické vlastnosti a vyžadovala by výměnu.

8.3 Praktické závěry

Ze všech výše uvedených poznatků a výsledků vyplývá, že voda působí na konstrukce suchých podlah velmi negativně.

Podstatnými atributy působení jsou zejména doba působení a potom množství unikající vody. Při včasné odhalení a opravení poruchy je možné většinu materiálů vysušit a ponechat v konstrukci. Jak se ale doba působení vody na materiály prodlužuje, dochází – zejména u materiálů na bázi dřeva, ale i u minerální vaty nebo sádrovlákna – k nevratné degeneraci. Intenzita a množství vody toto negativní působení urychluje a umocňuje.

Dalším závěrem vyplývajícím z provedených zkoušek je fakt, že voda se velmi ochotně šíří po površích jednotlivých materiálů a mezi jednotlivými vrstvami. U testovaných podlah docházelo k pronikání vody hlavně po krajích konstrukce, v ploše byla poměrně odolná. Tento fakt může při havárii značně komplikovat odhalení poruchy a místa úniku.

Nejúčinnější cestou, jak minimalizovat škody způsobené vlhkostní havárií, je však samotná prevence jejího vzniku. Ta spočívá v kvalitním provedení instalací, detailů a tam, kde je to možné, i k jejich kontrole. V případech, kdy už k havárii dojde, je důležité co nevdčasnější odhalení a zastavení unikající vody.

Seznam použitých zdrojů

Literární zdroje

- [1] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*, Praha: Český normalizační institut, 2005
- [2] BENEŠ, P. *Sanace a adaptace budov* [skripta]. Brno, 2007.
- [3] PETŘÍČEK, T. *Vybrané stati z pozemního stavitelství* [přednášky]. Brno, 2015
- [4] *Mokré podlahové systémy* [online]. 2015 [cit. 2015-10-14]. Dostupné z: <http://www.ceskykutil.cz/podlahove-systemy-knauf>
- [5] *Izolace PUR, PIR a fenolická pěna* [online]. 2015 [cit. 2015-11-14]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/299-izolace-pur-pir-a-fenolicka-pena>
- [6] KOLB, J. *Dřevostavby*, Praha: Grada publishing, 2011, 316 s.
- [7] *Může být vlhkost nepřítelem dřevostaveb?* [online]. 2015 [cit. 2015-10-14]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/vlastnosti-drevostaveb/12847-muze-byt-vlhkost-nepritelem-drevostaveb>
- [8] *Dřevostavby 2015* [online]. 2015 [cit. 2015-11-16]. Dostupné z: http://www.drevoastavby.cz/images/stories/Casopis_jine/PROFISpecial_2015_KOMPLET.pdf
- [9] *Memmert návod k obsluze*, 53 s.

Grafické zdroje

- [1] *Srážková voda* [obrázek]. 2016 [cit. 2016-01-07]. Dostupné z:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Rain#/media/File:Rain-on-Thassos.jpg>
- [2] PETŘÍČEK, T. *Vložky asfaltových pásů* [obrázek]. Brno, 2015
- [3] *Izolační desky z expandovaného polystyrenu* [obrázek]. 2015 [cit. 2015-12-19].
Dostupné z: <http://img.stavebni-vzdelani.cz/2015/01/polystyren.jpg>
- [4] *Izolační desky z extrudovaného polystyrenu* [obrázek]. 2015 [cit. 2015-12-19].
Dostupné z:
<http://www.polystyren.eu/Data/1243/UserFiles/clanky/polystyrenXPS.jpg>
- [5] *Minerální vata* [obrázek]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z:
http://frontman.cz/sites/default/files/mineralni_vata.jpg
- [6] *Izolační desky z dřevovláknna* [obrázek]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z:
<http://www.drevostavitel.cz/galerie/clanky/150/izolacni-materialy-4-dil--drevovlanknita-izolace-hreje-i-chladi-foto.jpg>
- [7] *Izolační desky z polyisokyanurátu* [obrázek]. 2015 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z:
<http://strechy.chodska.cz/sites/default/files/styles/large/public/mediabanka/obrazky/produkty/bauder-pir-3.jpg?itok=n3X9C5jn>
- [8] *Vývoj počtu realizovaných dřevostaveb v ČR 1998–2014* [obrázek]. 2015
[cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/vlastnosti-drevostaveb/12847-muze-byt-vlhkost-nepritelem-drevostaveb>
- [9] *Výkvěty solí na cihelném zdivu* [obrázek]. 2016 [cit. 2016-01-07]. Dostupné z:
http://www.klinker.sk/images/clanky/clanky6_1.jpg
- [10] *Dřevo napadené plísní v důsledku vlhkosti* [obrázek]. 2016 [cit. 2016-01-07].
Dostupné z: <http://forum.tzb-info.cz/docu/diskuze/1135/113539/0018002.jpg>

- [11] *Prvky systému Moistureguard* [obrázek]. 2015 [cit. 2015-12-18]. Dostupné z:
http://www.drevostavby.cz/images/stories/Casopis_jine/PROFISpecial_2015_KOMPLET.pdf
- [12] *Geologger DATATAKER DT85G* [obrázek]. 2016 [cit. 2016-01-07]. Dostupné z:
<http://www.trinstruments.cz/geologger-datataker-dt85g>
- [13] *Porušené hliníkové opletení hadice* [obrázek]. 2015 [cit. 2015-12-18]. Dostupné z:
http://hobby.idnes.cz/pripojna-hadice-pancerovana-hlinik-dud-/hobby-domov.aspx?c=A130903_114556_hobby-domov_bma
- [14] *Interiér po vlhkostní havárii* [obrázek]. 2015 [cit. 2015-12-18]. Dostupné z:
<http://drevostavbavesvahu.blogspot.cz/2010/08/praskla-nam-voda.html>

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratky

ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
RD	rodinný dům
ŽB	železobeton
OSB	oriented strand board
UV	ultra violet
EPS	expandovaný polystyren
XPS	extrudovaný polystyren
SBS	styren butadien styren
PVC	polyvinylchlorid
PE	polyethylen
PIR	polyisokyanurát
PUR	polyuretan
KVH	konstruktionsvollholz (konstrukční dřevěné hranoly)
ČVUT	České vysoké učení technické
PLC	programmable logic controller
LCD	liquid crystal display
AdMaS	advanced materials, structures and technologies
P+D	pero a drážka

Symbols

f_{Rsi}	teplotní faktor vnitřního povrchu	(-)
θ_{ai}	teplota vzduchu v interiéru	(°C)
θ_e	teplota vzduchu v exteriéru	(°C)
θ_{si}	vnitřní povrchová teplota	(°C)
R	celkový tepelný odpor konstrukce	(m ² ·K/W)
R_{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně	(m ² ·K/W)
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně	(m ² ·K/W)
d_i	tloušťka i-té vrstvy konstrukce	(m)
λ_i	součinitel tepelné vodivosti i-té vrstvy konstrukce	(W/m·K)
U	součinitel prostupu tepla	(W/m ² ·K)
U_{em}	průměrný součinitel prostupu tepla	(W/m ² ·K)
H_T	měrná ztráta prostupem tepla obálkou budovy	(W/K)
A	celková plocha obálky budovy	(W/K)
w	hmotnostní vlhkost	(%)
m	hmotnost odebraného vzorku	(g)
m_s	hmotnost vysušeného vzorku	(g)