

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zabudovaná vlhkost v moderních dřevostavbách

Built-in moisture in modern timber buildings

Vypracovala: Bc. Kateřina Malá

Vedoucí práce: Ing. Kamil Staněk, Ph.D.

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Malá	Jméno: Kateřina	Osobní číslo: 484582
Zadávací katedra: K124 - Katedra konstrukcí pozemních staveb		
Studijní program: N3649 - Budovy a prostředí		
Studijní obor/specializace: 3608T006 - Budovy a prostředí		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zabudovaná vlhkost v moderních dřevostavbách

Název diplomové práce anglicky: Built-in moisture in modern timber buildings

Pokyny pro vypracování:

- 1) rešerše provádění mokrých procesů v moderních dřevostavbách
- 2) experimentální ověření procesů vysychání na jednoduchém fyzickém modelu
- 3) simulace vysychání zabudované vlhkosti v moderních dřevostavbách v softwaru WUFI

Seznam doporučené literatury:

J. Kolb Dřevostavby Grada 2008
J. Hazucha, J. Bárta Konstrukčním detaily pro pasivní domy Grada 2014
ČSN 730540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: požadavky. UNMZ, 2011

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Kamil Staněk, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 27.09.2023 Termín odevzdání DP v IS KOS: 08.01.2024
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

_____ Podpis vedoucího práce _____ Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

27.09.2023 _____
Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že tuto předloženou diplomovou práci na téma „Zabudovaná vlhkost v moderních dřevostavbách“ jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů, a to v souladu s metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací. Práci jsem vypracovala pod odborným vedením pana Ing. Kamila Staňka, Ph.D.

.....

.....

Bc. Kateřina Malá

Poděkování:

Tímto bych chtěla velmi poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Kamilu Staňkovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnutí konzultací, poskytnutí materiálů a pomoc při realizaci experimentů. Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům UCEEB za výpomoc při realizaci experimentů. Chtěla bych také poděkovat své rodině a přátelům za obrovskou psychickou podporu nejen při psaní této práce, ale i při celém studiu.

Anotace:

Předmětem této práce jsou mokré procesy v dřevostavbách. Jedná se zejména o roznášecí vrstvy u podlah a o omítky. Je provedená rešerše mokrých procesů ve dřevostavbách, dále je provedeno experimentální ověření vysychání sádrových a hliněných omítek a betonového potěru a následné nasimulování v programech WUFI Pro a WUFI Plus. Veškeré hodnoty a informace se především týkají moderních dřevostaveb postavené v pasivním standardu.

Klíčová slova:

Vlhkost, dřevostavby, zabudovaná vlhkost, mokré procesy v dřevostavbách, betonový potěr, sádrová omítka, hliněná omítka, program WUFI

Annotation:

The theme of this thesis is wet processes in wooden buildings. It concerns in particular spreading layers in floors and plasters. It performs a research of wet processes in wooden buildings, as well as experimental verification of drying of gypsum and clay plasters and concrete screed and subsequent simulation in WUFI Pro and WUFI Plus. All values and information are mainly related to modern wooden buildings built in passive standard.

Keywords:

Moisture, timber buildings, built-in moisture, wet processes in timber buildings, concrete screed, gypsum plaster, clay plaster, WUFI software

Obsah

1. Úvod.....	8
1.1. Dřevostavby	8
1.2. Vlhkost ve dřevě.....	8
1.3. Vlhkost materiálů na bázi dřeva-OSB desky	10
1.4. Výskyt vlhkosti v dřevostavbách	11
1.4.1. Vodní pára.....	12
1.4.2. Zabudovaná vlhkost	12
1.4.3. Vysychání dřeva.....	12
1.4.4. Rizika u dřevostaveb s mokřými procesy.....	13
2. Rešerše mokřých procesů v dřevostavbách.....	14
2.1. Co jsou mokré procesy.....	14
2.2. Druhy mokřých procesů v dřevostavbách	14
2.2.1. Omítky.....	14
2.2.1.1. Omítky exteriérové.....	14
2.2.1.2. Omítky interiérové	15
2.2.2. Podlahy.....	19
2.2.3. Základy.....	22
2.2.4. Samotné nosné konstrukce	23
2.2.5. Příčky	23
3. Experimentální ověření procesů vysychání na jednoduchých fyzických modelech	24
3.1. Vysychání omítek do volného prostoru.....	25
3.1.1. Princip experimentu	25
3.1.2. Vzorky.....	25
3.1.3. Specifika použitých materiálů	26
3.1.4. Realizace	27
3.1.5. Utěsnění.....	28
3.1.6. Vstupní hodnoty experimentu	28
3.1.7. Předpoklady.....	29
3.1.8. Okrajové podmínky.....	29
3.1.9. Výsledky a diskuse.....	33
3.2. Vysychání betonové podlahy do volného prostoru	37
3.2.1. Princip experimentu	37
3.2.2. Vzorek.....	37
3.2.3. Specifika použitých materiálů	37
3.2.4. Realizace	38
3.2.5. Utěsnění.....	38

3.2.6.	Vstupní hodnoty experimentu	39
3.2.7.	Předpoklady.....	39
3.2.8.	Okrajové podmínky.....	39
3.2.9.	Výsledky a diskuse.....	40
3.3.	Vysychání betonové podlahy a hliněných omítek v uzavřeném prostoru	41
3.3.1.	Princip experimentu	41
3.3.2.	Navržený model-vzorek	41
3.3.3.	Specifika použitých materiálů	42
3.3.4.	Vzorek	42
3.3.5.	Vstupní hodnoty experimentu	44
3.3.6.	Realizace experimentu	45
3.3.7.	Osazení čidel	49
3.3.8.	Utěsnění.....	50
3.3.9.	Předpoklady.....	50
3.3.10.	Sledované měření	51
3.3.11.	Okrajové podmínky.....	51
3.3.12.	Výsledky a diskuse.....	52
3.4.	Celkové vyhodnocení experimentů.....	63
4.	Simulace vysychání zabudované vlhkosti v softwaru WUFI.....	64
4.1.	Malé vzorky	64
4.1.1.	Uvažovaný model.....	64
4.1.2.	Vstupní hodnoty	66
4.1.3.	Výsledky a diskuse.....	69
4.1.4.	Porovnání s naměřenými hodnotami experimentu	70
4.2.	Velký vzorek	84
4.2.1.	Uvažovaný model.....	84
4.2.2.	Vstupní hodnoty	85
4.2.3.	Výsledky a diskuse.....	90
4.2.4.	Porovnání s naměřenými hodnotami experimentu	95
4.3.	Celkové vyhodnocení simulací experimentů ve WUFI Pro a WUFI Plus	100
4.4.	Simulace reálné stavby.....	102
4.4.1.	Uvažovaný model.....	103
4.4.2.	Vstupní hodnoty	104
4.4.3.	Okrajové podmínky.....	110
4.4.4.	Předpoklady.....	111
4.4.5.	Výsledky a diskuse.....	111
4.4.6.	Celkové vyhodnocení simulace reálné stavby.....	119

5. Závěr	120
Citovaná literatura	121
Seznam použitých norem	123
Seznam obrázků	123
Seznam tabulek	127

Značení

Součinitel tepelné vodivosti	$\lambda [W/m \cdot K]$
Součinitel prostupu tepla	$U [W/m^2 \cdot K]$
Tepelný odpor	$R [m^2 \cdot K/W]$
Měrná tepelná kapacita	$c [J/kg \cdot K]$
Tloušťka materiálu	$d [m]$
Faktor difuzního odporu	$\mu [-]$
<i>Relativní vlhkost</i>	$RH [%]$
<i>Teplota</i>	$T [^{\circ}C]$

Zkratky

BNV	Bod nasycení vláken
SVR	Stav vlhkostní rovnováhy
HVV	Hlavní vzduchová vrstva
T-IN	Teplota interiérová
T-EX	Teplota exteriérová
RH	Relativní vlhkost

1. Úvod

1.1. Dřevostavby

Dřevostavby jsou v poslední době velmi populární, a to hlavně co se týče rodinných domků. Od roku 1999, kdy jich bylo cirká necelých 100 na území České republiky, v dnešní době je jich téměř dvacetí až třicetí násobně více. Vícepodlažní typy dřevostaveb, jako jsou například administrativní nebo občanské budovy jsou značně méně. Je to způsobené hlavně tím, že při navrhování vícepodlažních dřevostaveb je třeba dodržet přísné požadavky a předpisy pro dřevěné konstrukce v oblasti požární bezpečnosti, akustiky apod. V české legislativě je dáno, že u dřevostaveb výška měřená od podlahy prvního nadzemního podlaží po podlahu posledního nadzemního podlaží nesmí překročit 12 m, korekce pro stavební neprůzvučnost je větší (až 8 dB).

Dřevěné konstrukční systémy budov se dělí na srubové neboli roubené, hrázděné, sloupkové, skeletové, panelové a buňkové. V dnešní době se nejčastěji používá systém sloupkový two by four (lehký skelet), skeletový (těžký skelet) a panelový (CLT panely). (1) (2) (3) (4)

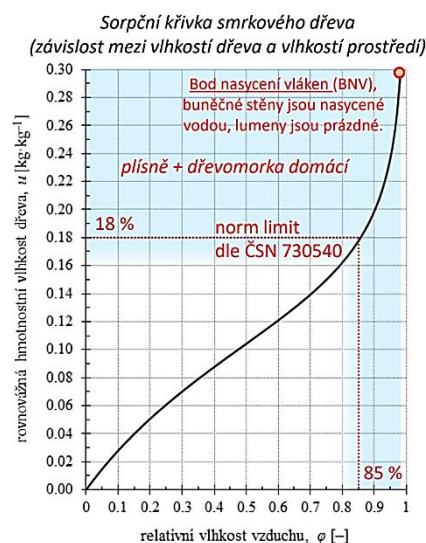
1.2. Vlhkost ve dřevě

Jakýkoliv materiál ať už samotné dřevo či materiál na bázi dřeva přijímá z okolního prostředí vlhkost ve formě vodní páry, a to v závislosti na vlhkosti samotného materiálu, teplotě a relativní vlhkosti okolního vzduchu. Dřevo je přírodní anizotropní nasákový materiál složený z celulókových vláken s vysokou pevností v tahu a z ligninu s odolností v tlaku a hemicelulózy. Je to materiál s otevřenou pórovitou strukturou, kde 30 % objemu je tvořeno dřevní hmotou (sušina) a 70 % objemu je tvořeno póry. Základním stavebním prvkem dřeva je tracheida (buňka), která má buněčnou stěnu a ty ohraničuje lumen (volný prostor). Vlhké dřevo má tak nižší pevnost než dřevo suché. Dřevo pro konstrukce by tak nemělo přesáhnou 20 % vlhkosti. Pokud by byl obsah vyšší, mohlo by dojít ke zhoršení mechanických vlastností dřeva a k biodegradaci. (5) (6)

Vlhkost dřeva je rovna poměru hmotnosti vody k hmotnosti suchého dřeva (vyjádřeno v hmotnostních procentech). Ve dřevě se voda vyskytuje jako voda chemicky vázaná, voda vázaná a voda volná.

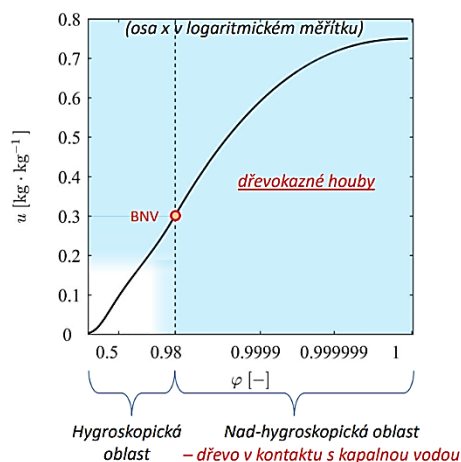
Chemicky vázaná voda je součástí chemických sloučenin a není možné odstranit ji pouhým sušením, ale nýbrž spálením. Ve dřevě se nachází i při nulové vlhkosti dřeva jako takového. Množství lze získat chemickou analýzou. Celkově obsažená chemická vázaná voda je rovna cca 1–2 % sušiny. Na charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností dřeva nemá vliv.

Voda vázaná neboli hygroskopická se nachází v buněčných stěnách dřeva. Je vázána vodíkovými můstky na hydroxilové skupiny (skupiny OH) amorfni části celulózy a hemicelulózy. Celkově obsažená vázaná voda je rovna 0–30 % (30 %=bod nasycení). Na charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností dřeva má největší vliv. Ovlivňuje zejména změnu technických vlastností, objemové změny a může následovat biodegradace (biodegradační činitelé – plísně, dřevokazné houby...). Schopností dřeva je měnit svou vlhkost dle vlhkosti okolního prostředí. Hodnota vlhkosti se ustálí při daných podmínkách prostředí (relativní vzdušná vlhkost, teplota) a nazývá se rovnovážnou vlhkostí dřeva neboli že je ve stavu vlhkostní rovnováhy (SVR). Pokud dojde ke změně relativní vlhkosti a teploty okolního prostředí, tak se změní i vlhkost dřeva. Když se jedná o vlhkost nižší než SVR, tak dřevo vlhkost adsorbuje (přijímá vodu ve formě vodní páry). Když je jedná o vyšší hodnotu, než je SVR, tak u dřeva nastává desorpce (dřevo odevzdává vodu do okolí). Jedná se o vratný proces.



Obrázek 1 Sorpční křivka smrkového dřeva (závislost mezi vlhkostí prostředí a vlhkostí dřeva) (7)

Voda volná neboli kapilární se nachází mimo stěny buněk a vyplňuje lumény buněk a mezibuněčný prostor. Celkově obsažená vázaná voda je větší než 30 %. Na charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností dřeva má výrazně nižší vliv než voda vázaná. Ovlivňuje měrnou tepelnou kapacitu C a součinitel tepelné vodivosti λ . Tato vlhkost nastává v důsledku například kondenzace, srážek nebo kontaktu se zemní vlhkostí. Při nasycení volnou vodou dochází k rozvoji biodegradačních činitelů (plísně, dřevokazné houby...). Dřevo je díky působení kapilárních sil nejvíce nasákové podél vláken.



Obrázek 2 Retenční křivka při kapilárním nasákání smrkového dřeva (7)

Dřevo dle vlhkosti rozdělujeme na dřevo mokré (dlouhodobě nebo trvale ve vodě) s obsahem vlhkosti více než 100 %, čerstvě pokácené s obsahem vlhkosti v rozmezí 50-100 %, dřevo vysušené na vzduchu s obsahem vlhkosti v rozmezí 15-20 %, dřevo vysušené v pokojové teplotě s obsahem vlhkosti v rozmezí 8-10 % a dřevo absolutně suché s obsahem vlhkosti 0 %. (1) (7) (8)

Vlhkost ve dřevě lze zjistit dvěma způsoby. Ručním elektrickým odporovým vlhkoměrem nebo gravimetrickou (vážkovou) metodou stanovení obsahu vlhkosti na odebraných vzorcích. Gravimetrická metoda se zjišťuje následovně:

- 1) Hodnota m [kg]-hmotnost vlhkého vzorku
- 2) Vysušení vzorku při teplotě 105 °C
- 3) Hodnota m_d [kg]-hmotnost suchého vzorku

$$u = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{m_d} = \frac{m - m_d}{m_d}$$

Rovnice 1 Vzorec gravimetrické metody stanovení obsahu vlhkosti (5)



Obrázek 3 Měření hrotovým vlhkoměrem (7)

Typická situace	vlhkost dřeva [hm. %]
trvale vytápěné místnosti	10-12 %
kryté vnitřní konstrukce	12-17 %
kryté venkovní konstrukce	16-20 %
exponované venkovní konstrukce	18-25 %
konstrukce se styku s kapalnou vodou	> 30 %
syrový smrk – jádro	50 %
syrový smrk – běl	180 %

Tabulka 1 Hodnota vlhkosti dřeva při různých situacích

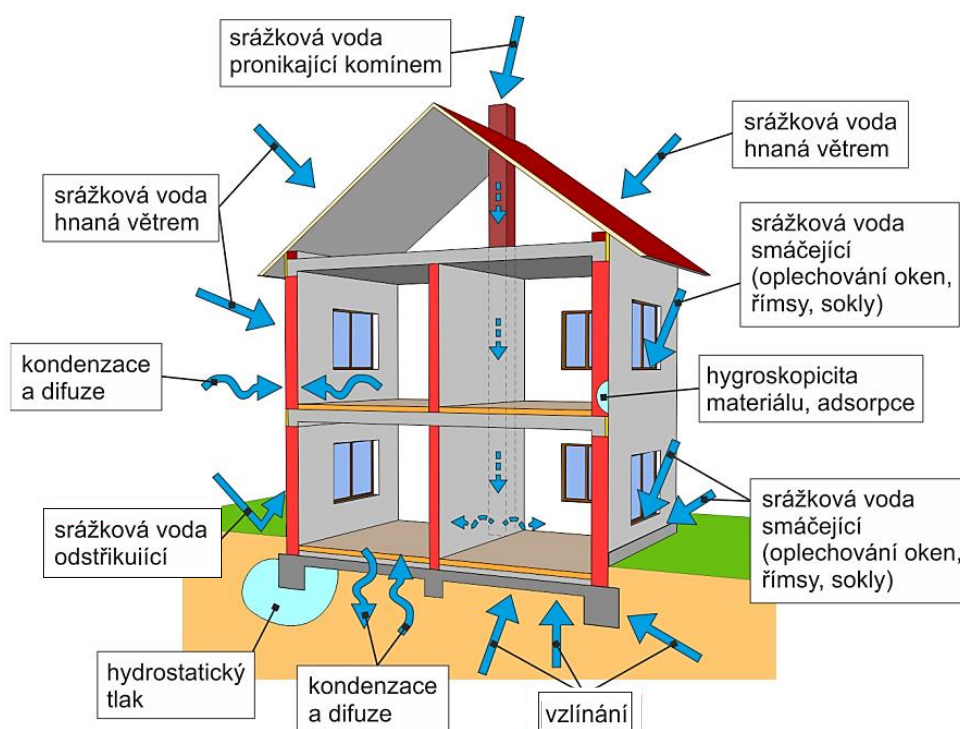
1.3. Vlhkost materiálů na bázi dřeva-OSB desky

Desky OSB (oriented strand board) jsou plošně lisované desky z velkoplošných různě orientovaných třísek, které jsou spojené pojivem na bázi pryskyřice. Vlhkost dřeva při výrobě třísek by měla být vyšší jak 60 % (nižší vlhkost způsobuje křehkost a vyšší podíl jemné frakce) a až poté jsou hotové třísky vysušeny na 2-7 % vlhkosti. U dřevostaveb se hojně používají jako HVV (hlavní vzduchová vrstva). OSB desky mají různé stupně odolnosti vůči vlhkosti s označením OSB-2, OSB-3 a OSB-4. Desky OSB-3 snášejí relativní vlhkost až do 85 % a desky OSB-4 mají velkou odolnost proti mechanickému poškození a také dobrou odolnost vůči vlhkosti. Desky však nejsou odolné vůči vodě, co se týče dlouhodobého hlediska. Při vystavení dlouhodobému dešti či vlhkému prostředí mohou desky bobtnat a vznikat různé biodegradace. Desky jsou nejvíce nasákové přes hrany řezu. Například obsah vlhkosti OSB desky je cca 17 % při vlhkosti vzduchu 90 %. Suché OSB desky mají klasicky

faktor difuzního odporu mezi hodnotami 200-300, ale mokré desky mají hodnoty faktoru difuzního odporu podstatně nižší. (9) (10)

1.4. Výskyt vlhkosti v dřevostavbách

Dřevo je hygroskopický stavební materiál, a tudíž má tu vlastnost vázat vodu. Voda obsažená ve dřevě je nejčastěji ta, kterou dřevo pohlcuje z okolní vzdušné vlhkosti. U každé dřevostavby se nachází alespoň nějaké množství vázané vody. Množství vody v dřevostavbě není konstantní a mění se v závislosti na klimatických podmínkách. Za konstantních podmínek se vlhkost ustálí na rovnovážné (sorpční) hodnotě. Problém nastane, když je tato hodnota vlhkosti překročena, protože tyto podmínky jsou vhodné pro vznik dřevokazných degradačních procesů. Zvýšená vlhkost ve dřevě může vzniknout při špatně vyřešených konstrukčních detailech (ve většině případů se jedná o netěsnosti a chyby v provedení v hydroizolaci nebo parozábraně), při nedodržení technologických postupů u provádění mokrých procesů, dále při nehodách na technologických rozvodech (voda, netěsnosti odpadů, špatně provedené rozvody, úniky médií apod) a při nehodách způsobené uživatelem stavby (porucha pračky, nedovření kohoutku apod). Je důležité kontinuálně monitorovat vlhkost u kritických detailů a míst v interiéru z dlouhodobého hlediska. U dlouhodobých měření se dá počítat i se sezónními změnami počasí. (11)



Obrázek 5 Zdroje vlhkosti (42)

1.4.1. Vodní pára

U každé stavby dochází ke vzniku vodních par z různých zdrojů jako je dýchání, vaření, praní, koupání, pěstování rostlin apod. Následkem je vyšší vlhkost uvnitř budovy zejména v zimním období (vyšší koncentrace vlhkosti) než ve venkovním vzduchu. Vodní pára probíhá z prostředí s vyšší koncentrací páry (zpravidla interiér) do prostředí s nižší koncentrací (exteriér). Difuzí proniká vodní pára do obvodových stěn a je nutné ji z konstrukce stěny bezpečně odvést do venkovního prostředí, jinak v závislosti na tepelně-vlhkostních poměrech uvnitř stěny hrozí tvorba vodního kondenzátu a hromadění vlhkosti. Vysoký obsah vlhkosti uvnitř skladby stěn má za následky degradaci vrstev sklady, tvorba plísní, objemové změny dřeva a hnilobu dřeva. (12)

1.4.2. Zabudovaná vlhkost

Vlhkost je jeden z největších a nejdůležitějších problémů u dřevostaveb. Může způsobovat v nejlepším případě pouze změnu barvy konstrukce a v nejhorším případě změny mechanických vlastností, hnilobu, napadení houbami či škůdci a mnoho dalších aspektů. Zabudovaná vlhkost je vlhkost, která vznikne při realizaci jakékoliv konstrukce s obsahem vlhkosti. Jedním z největších rizik u dřevostaveb jsou takzvané mokré procesy. Jedná se o procesy s použitím vody, a to například lité podlahy, omítky, základy, dřevobetonové stropy, příčky atd.

1.4.3. Vysychání dřeva

Zejména se jedná o problém u přiznaných konstrukcí. Ve dřevě bez ošetření či ochranného nátěru z důsledku vysychání mohou vznikat trhliny dřívě a ve větším rozsahu než u dřeva s nátěrem či ošetřením. U některých případech může tak dřevo ztratit původní pevnostní charakteristiky.



Obrázek 6 Trhlina způsobená vysycháním-
Pivovar Chyše

1.4.4. Rizika u dřevostaveb s mokřými procesy

Mokrý podlahy se zhotovují až po dokončení obálky budovy. Při odparu vody z betonových či anhydritových podlah do dřevostaveb může docházet k hromadění vody v dřevěných konstrukcích budovy a tím vzrůstá riziko degradace těchto konstrukcí.

Dalším mokřým procesem ve dřevostavbách je podkladní podlahová deska na zemině a základová deska. Obvyklá tloušťka podkladní desky je mezi 150 a 250 mm a základové desky cca 200-300 mm. Jedná se o vrstvu s větší tloušťkou, než je tomu u roznášecí vrstvy podlah. Tím pádem deska obsahuje obrovské množství záměsové vody, která se při vysychání odpařuje do okolního prostoru. Tato vrstva by tedy měla být zakryta hydroizolačním souvrstvím, které zabraňuje vysychání desky do interiéru stavby. Podkladní a základová deska může vlhkostně dřevostavbu ohrozit pouze v případě, že se hydroizolační souvrství nachází pod deskou.

Exteriérové omítky jsou ve dvou provedeních, a to v difuzně otevřené a difuzně uzavřené variantě. Difuzně otevřená se nanáší na tvrdou dřevovláknitou desku a ta uzavřená na OSB. Pokud je skladba správně provedena, tak nedochází k poškození vlivem vlhkosti z exteriérových omítek.

Interiérové sádrové a vápenné omítky se nanášejí na rovný podklad většinou na OSB desky. Hliněné a jílové omítky se nanášejí na omítkový rošt (diagonální latění) ve dvou a více vrstvách vyztužené jutovým pletivem. (13) (14)

Velké riziko u dřevěných konstrukcí v dřevostavbě je pravděpodobně z vysychání vrstvy lité podlahy a u vysychání omítek, která je v přímém kontaktu s vnitřním prostředím. Je tak možné, že bude docházet k hromadění vlhkosti v dřevěných konstrukcích dřevostaveb a následné degradaci dřeva. Důležitým faktorem pro omezení hromadění vlhkosti ve dřevě je větrání a vytápění budov. (14)

2. Rešerše mokrých procesů v dřevostavbách

2.1. Co jsou mokré procesy

Mokré procesy jsou ty procesy, u kterých je nutnost přítomnosti vody tj.: nanášení omítek, realizace těžkých plovoucích podlah, realizace základů...

2.2. Druhy mokrých procesů v dřevostavbách

2.2.1. Omítky

Omítky u dřevostaveb není vždy třeba využít oproti klasickým zděným či železobetonovým stavbám (pokud se nejedná o pohledový beton). Na exteriérové omítky se používají zejména vápenné, akrylátové, silikátové, silikonové a na interiérové se používají především hliněné a jílové, ale i sádrové či vápenné.

2.2.1.1. Omítky exteriérové

Omítky jsou nanášeny na tvrdý rovný poklad například na OSB desky (difuzně uzavřené-s kombinací s parozábranou) nebo na dřevovláknité desky (difuzně otevřené) v obvyklé tloušťce 10 mm a v kombinaci s armovací tkaninou. Omítky, které se nanášejí na tvrdé dřevovláknité desky musí být přesně určené na tyto desky s vysokou difuzní propustností. (15)

Zjišťujeme hlavně kolik je v nich vody při zabudování. Při malém množství vody může docházet k tomu, že omítka bude čerpat vodu z okolních konstrukcí a bude docházet k jejich degradaci a následné opadávání omítky. Při naopak větším množství vody může docházet k vlhkostní degradaci okolních konstrukcí a jejich následné napadení houbami, plísněmi či zasolení.

Důležitá je i orientace vůči světovým stranám. Jižní plochy fasády jsou extrémně zatěžovány slunečním zářením, proto se tmavé odstíny omítky zahřívají na vysoké teploty. Omítka tmavé barvy se zahřeje až na teplotu kolem 70 °C.

Vzniklou teplotní roztažností dochází v omítce ke tvorbě mikrotrhlin či k oddělování od podkladní vyztužené vrstvy. Po tomto procesu je snazší přístup vody do konstrukce a následné degradaci.

Naopak severní, méně osluněné fasády jsou více exponovány vodou dešťovou a kondenzační. Může zde docházet ke vzniku zelených řas. (16)

Akrylátová omítka má nízké náklady ale vysoký difuzní odpor. Omítky vápenné mají vysokou propustnost pro vodní páry ale nízkou odolnost vůči povětrnostním vlivům. Omítky silikonové mají vysokou odolnost, a proto se nejčastěji používají jako soklové omítky, ale je s tím spojena vysoká cena penetračních nátěrů, které je vhodné použít s touto omítkou. Omítky silikátové mají nízký difuzní odpor a vysokou odolnost. (16)

2.2.1.2.Omítky interiérové

U dřevostaveb jsou nejtypičtější omítky hliněné a jílové. Omítky jsou prováděny v tloušťkách 20-30 mm. Hliněné a jílové omítky se nanášejí na omítkový rošt (diagonální latování) ve dvou a více vrstvách vyztužené jutovým pletivem. Dále se používají i omítky sádrové a vápenné. Sádrové a vápenné omítky se nanášejí na rovný podklad většinou na OSB desky. Další variantou úpravy vnitřního povrchu dřevostaveb je možnost použití sádrokartonových desek s finální malbou.

HLINĚNÉ OMÍTKY

Vlastnosti

Hliněné omítky jsou nejčastěji používanými omítkami v dřevostavbách. Použit je lze na téměř jakýkoliv podklad. Oproti sádrovým či vápenným omítkou jsou šetrnější k přírodě svou ekologickou stavební technologií výroby a využíváním zdrojů z dané výstavby neboli in situ (vytěžený jíl z výkopů-je nutné ověření kvality před použitím na omítkovou směs). Hliněné omítky jsou 100% recyklovatelné, a tak přispívají k udržitelnému rozvoji. Jsou zdravotně nezávadné a obdobně jako omítky sádrové reagují na vlhkost v místnosti a absorbují ji při jejím přebytku a následně postupně uvolňují zpět do ovzduší. Hliněné omítky mají schopnost akumulovat teplo a dále také pohlcovat pachy a škodliviny jako například různé pachy z kuchyně a cigaretový kouř. Nevýhodou je menší mechanická odolnost a horší přilnavost k hladkým nasávkavým povrchům (beton, kamenné povrchy a sádrokarton). Hliněné omítky téměř ve všech případech nelze použít do exteriéru a do míst s trvale vysokou relativní vlhkostí.

Složení

Hliněné omítkové směsi se skládají ze jílu a písku v poměru cca 1:1 až 1:4. Základním pojivem je jíl. Často se se pro směs využívají jíly nalezené na místě realizace stavby. Vlastnosti výsledné omítky závisejí hlavně na použitém jílu. Do směsi se často přidávají různé příměsi jako slaměná řezanka, drcené sušené bylinky a konopné pazdeří. (17) (18)

Realizace hliněné omítky

- připravenost povrchu

Povrch musí být čistý a nemastný. Na povrchu se také nesmějí nalézat žádná mokrá ložiska ani výkvěty například od solí. Kontrola vlhkosti se provádí příložným vlhkoměrem. Pro přilnavost omítky k povrchu se používá buď rozmočený jíl nebo hliněný špric. Rozmočený čistý jíl zajišťuje přilnavostní nátěr, který se nanáší štětkou nebo válečkem. Hrubá hliněná omítka se poté nahazuje na

ne zcela zaschlý jííl. Další možností je použití hliněného špricu. Směs obsahuje 1:2 jííl s vodou. Na rozdíl od čistého jíílu se nátěr nechá zcela zaschnout a poté se nanáší vrstva hliněné omítky. (19)

- nanášení omítek

Nejprve se aplikuje přílnavostní nátěr v podobě čistého jíílu či hliněného špricu. Dále se nanáší hrubá hliněná omítka o tloušťce 15-25 mm, nejlépe se slaměnou řezankou. Je nutné, aby vrstva schnula minimálně 3–4 týdny. Jako poslední se nanáší jemná hliněná omítka. V některých případech je možné ukončit omítání hrubou omítkou, ale je poté třeba úpravy povrchu. (20)

SÁDROVÉ OMÍTKY

Vlastnosti

Sádrové omítky mají při správném provedení dokonale rovný a hladký povrch. Používají se téměř do všech vnitřních prostor vyjma prostorů s trvalou vlhkostí nad 70 % a jiných mokrých provozů (wellness nebo sauny). Sádrové omítky a stěrky se používají k omítání jakéhokoliv typu zdiva v interiéru a pro všechny typy podkladu. Svými vlastnostmi splňují stavebně-fyzikální požadavky u všech vnitřních prostor. Tento typ omítek je relativně cenově dostupný. Sádra má schopnost sama regulovat vlhkost, a tím udržuje příjemné mikroklima. Při vyšším výskytu vlhkosti v interiéru sádrová omítka absorbuje vlhkost a později ji uvolní do ovzduší. Do jisté míry omítka absorbuje i teplo, kterým reguluje teplotu stěny a vnitřních prostor. Na hladkém povrchu sádrových omítek neulpívá prach, což je vhodné hlavně pro alergiky. (21)

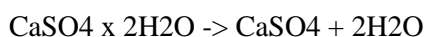
Součinitel tepelné vodivosti λ se u klasických sádrových omítek pohybuje kolem hodnoty $\lambda=0,47 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, u lehčených omítek $\lambda=0,39 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ a u stěrek $\lambda=0,56 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Sádrové stěrky a omítky mají nízký difuzní odpor μ , a tudíž jsou propustné pro vodní páru. Chemické složení zvyšuje protipožární odolnost celé konstrukce. Rozdíl mezi stěrkou a omítkou je ten, že stěrka je po jejím vyzrání brousitelná. (22) (23)

Složení sádrové omítky

Hlavní složkou, a i pojivem sádrové omítky sádra (hemihydrát síranu vápenatého). Dále se přidává minerální pojivo a vápenný hydrát. Obsahem většiny omítkových směsí jsou různé přísady jako změkčovadla, kalibrované kamenivo, perlit a aktivní celulóza. Přísady se přidávají za účelem lepší zpracovatelnosti a dosažení obecně lepší vlastností. (24)

Chemická reakce při smíchání s vodou

Při vysychání sádrových omítek dochází k chemické reakci, při které se sádra mění z hydrátu na anhydrát. Tento proces je exotermní tudíž se při něm uvolňuje i teplo. Chemická rovnice procesu vysychání lze vyjádřit takto:



Realizace sádrové omítky

Pro aplikaci omítek je nutná zcela zhotovená hrubá stavba. Musí být zhotoveny veškeré svislé nosné a dělicí konstrukce, vodorovné konstrukce a zastřešení stavby. Dále musí být zhotoveno osazení okenních rámců včetně přípojovací spáry a dveřní zárubně. Zhotoveny musí být elektroinstalace s ochranou proti znečištění.

- připravenost povrchu

Před zahájením nanášení je nutné provádět kontrolu povrchu. Povrch, na který omítku nanášíme nesmí být zmrzlý, sypký, vlhký ani zaprášený. Na povrchu se také nesmějí nalézat žádná mokrá ložiska ani výkvěty například od solí. Kontrola vlhkosti se provádí příložným vlhkoměrem.

U podkladních konstrukcí je nutné zkontrolovat rovinnost (pomocí latí o délce 2 m), svislost (pomocí olovnice) a kolmost (pomocí úhelníku). Rovinnost by se měla pohybovat maximálně do hodnoty ± 10 mm/výšku podlaží a ± 5 mm na 2 m délky u svislých konstrukcí a ± 2 mm na 2 m délky u vodorovných konstrukcí.

Dále se povrch ověřuje na savost, a to lokálním navlhčením. Když voda stéká po stěně, jedná se o nesavý podklad (např. monolitický železobeton) a je třeba aplikovat základní kontaktní nátěr. Nátěrem se zvyšuje přilnavost omítky k povrchu. Nátěr je třeba řádně promíchat, aby se zamezilo usazování hrubších složek disperze na dně kbelíku. Kontaktní nátěr aplikujeme výhradně válečkem. Naopak pokud je voda rychle vstřebána, jde o podklad savý (například pórobeton nebo některé typy OSB desek) a je třeba aplikovat základní penetrační nátěr. Aplikace penetračního nátěru je vhodná, protože k nátěru omítka lépe přilne. Nátěr se aplikuje stříkáním a popřípadě stěrkou.

Na dřevěné podklady a na podklady na bázi dřeva (CLT panely, OSB desky...) se doporučuje použít adhezni můstek (speciální směs pojiv a křemičitého písku). Někdy se do omítky přidává navíc perlínka při omítání na OSB deskách. (25) (26) (21)

- míšení omítek

Omítkové směsi je nutné míchat v čistých nádobách s pitnou vodou nebo vodou odpovídající EN 1008. Směs se nasype do vody a mísí se za stálého míchání pomaluběžným míchadlem (max. 400

otáček/min.) v poměru uvedeném výrobcem. Omítková směs se mísí do stavu lehce plastické konzistence (je možné zahušťovat v průběhu míchání suchou směsí). Při nedostatku vody při míchání hrozí tvorba nerozmíchaných hrud. Doporučuje se zhotovenou směs aplikovat cca do 30 minut od ukončení míšení.

- přípravné práce

Je třeba zarovnat větší spáry (pokud se jedná o zdivo či ŽB konstrukci) a zapravení vedení inženýrských sítí stejným typem omítky, který bude použit na následné celoplošné omítání. Je vhodné osazení omítníku (omítacích lišt) nebo vytyčení vyrovnávacích bodů (z omítky, z rektifikačních šroubů apod.). V případě potřeby je možné použít ukončovací profily plastové či kovové (pozinkované). (22)

- nanášení omítek

Omítky se na svislé konstrukce nanášejí v jedné vrstvě o typické tloušťce 25 mm a maximální tloušťce 30 mm. Omítky na stropní konstrukce se opět nanášejí v jedné vrstvě, ale ve výrazně tenčím provedení. Tloušťka obvykle činí 15 mm a minimálně 5 mm při ruční aplikaci a 8 mm při aplikaci strojní. Na dokonale hladké povrchy je možné použít tenkovrstvém omítání o tloušťce 3 mm.

Omítky lze aplikovat na stěny, když se teplota pohybuje nad 5 stupňů a vlhkost nepřesahuje 3 %. Dále je třeba zamezit proudění vzduchu v místnosti. Pokud je nutné nanést druhou vrstvu omítky, používá se princip „mokrý na mokrý“. Po důkladném zaschnutí se omítka nepenetruje a připraví pro další dokončovací práce.

U novostaveb dochází k dotvarování konstrukce, a tak je doporučené spoj stěny a stropu uměle proříznout a vytvořit tak pracovní spáru, která zamezí riziku vzniku trhlin.

Po aplikaci je nutné zajistit intenzivní větrání prostoru, pro odvod vlhkosti (mikroventilace je nedostačující). Doba vysychání omítky je zhruba 10 až 14 dní, tedy poloviční než u vápenocementové omítky. (27) (24)

- úprava povrchu omítek

Pro ověření zatuhnutí probíhá zkouška zatuhnutí. Povrch omítky je odolný vůči tlaku ruky, nelepí a nezanechává na ruce žádnou vodu. Po zatuhnutí omítky se povrch lehce zkropí vodou a rozfilcujete houbovým hladítkem. Následně se povrch omítky buď zafilcujete do štukové struktury nebo vyhladí gletovacím hladítkem do finální hladkosti. Pokud ale na omítku přijde ještě vrstva například keramických dlaždic, tak se povrch nijak neupravuje a nechá se hrubý pro lepší přilnutí s následnou penetrací. Ve vlhkých prostorách (koupelny a kuchyně) bez další vrstvy je třeba povrch opatřit hydroizolační hmotou nebo paropropustným nátěrem např. na akrylátové bázi. (22)

VÁPENNÉ OMÍTKY

Čistě vápenné omítky se v interiérech nejčastěji používají pro finální omítání ve formě štuků. Existují i hrubé vápenné omítky určené pro omítání komínů, sklepů či skladových prostorů. Oproti tomu jemnozrné vápenné omítky obsahují velmi jemný písek a jsou určené zejména pro tenkovrstvé nanášení. Ve srovnání s vápenocementovými omítkami jsou méně pevné a také více nasákové. Použití do koupelen, kuchyní a na sanace vlhkých zdí není vhodné. Vzhledem k horší přídržnosti nejsou vhodné ani jako podklad pro lepení keramických, betonových nebo kamenných obkladů.

JÁDROVÉ OMÍTKY, ŠTUKY A STĚRKY

Jádrové neboli hrubé omítky zajišťují vyrovnání podkladu, ale mají velmi zrnitou strukturu a neumožňují dokonalé vyhlazení. Dají se nanášet v silnější vrstvě, a to až do 20 mm. Omítky zrají poměrně dlouhou dobu. Při tloušťce 10 mm potřebují k vyzrání minimálně 10 dnů. Dají se používat i jako finální vrstva například do sklepů, prádel, garáží apod.

Pro lepší vzhled je dobré na hrubou omítku nanést štuk, případně stěrku. K dispozici jsou i v pastovité konzistenci (např. Keraštuk s obsahem kaolinu), takže zajišťují jednoduchou a bezprašnou manipulaci. Na rozdíl od jádrových omítek jsou tenkovrstvé a pohybují se pouze v tloušťkách v řádu několika milimetrů. Povrch dokonale vyrovnají, sjednotí strukturu a omezí přenos smršťovacích trhlin. Štuky je nejlépe použít s hrubou omítkou s dobrou přilnavostí. Stěrku je možné aplikovat přímo na podkladový materiál včetně sádkartonových desek. (28)

2.2.2. Podlahy

Mokrý procesy ve dřevostavbách se nacházejí převážně jako roznášecí vrstva podlah. Roznášecí vrstvu může tvořit například betonová mazanina či anhydrit. Při jejich správném provedení nevznikají téměř žádné problémy spojené s vlhkostí. U podlahy je důležitá doba zrání a vysychání. Pokud by vrstva podlahy nebyla dostatečně vyschnutá, dojde k nadbytečné zabudované vlhkosti a mohou vznikat vlhkostí degradace ostatních konstrukcí.

2.2.2.1. Druhy podlah s mokřými procesy a jejich specifika

Litá vs suchá podlaha

Při použití systému suché podlahy záleží zejména na tom, aby byl správně navržen a realizován. Problémem použití suchých systémů je hlavně akustika – vibrace od domácích spotřebičů, přístrojů a kročejový hluk. Pokud se jedná o kročejový hluk, tak u suchého procesu mu můžeme zabránit

zvýšením konstrukční výšky nebo přidáním větší vrstvy kročejové izolace. Oproti mokrému procesu je suchý výrazně rychlejší (není nutný čas na vyschnutí a zatvrdnutí vrstvy).

Výhodou použití litých podlah je jejich kročejová neprůzvučnost a že vytvářejí optimální podmínky z hlediska tepelné akumulace (=efektivnější vytápění v zimě a akumulace chladu v létě). Nevýhodou je oproti suchému procesu doba dozrání. Obvyklá doba zrání mokrého procesu je 6-12 týdnů v závislosti na ročním období. (13)

- Anhydritové směsi

Oproti betonovým mazaninám je anhydrit novější způsob roznášecí vrstva podlah. Obsahuje více záměsové vody, než betonová podlaha. Anhydritová podlaha je typ potěru, který se skládá z anhydritu, kameniva a vody. Tyto podlahy mají vysokou finální pevnost, vysokou tepelnou vodivost (až 1,8 W/m*K), rovinnost povrchu a dobré akustické vlastnosti. Je vhodné anhydritovou podlahu kombinovat s jakýmkoliv druhem nášlapné vrstvy. Je výhodné anhydritové podlahy používat v kombinaci s podlahovým topením, které je pak díky vysoké tepelné vodivosti účinnější. Anhydrit není vhodné používat do prostor s vysokou vlhkostí (bazény, sauny...). Na rozdíl od betonové podlahy jsou anhydritové podlahy velmi pružné. (29) (30)

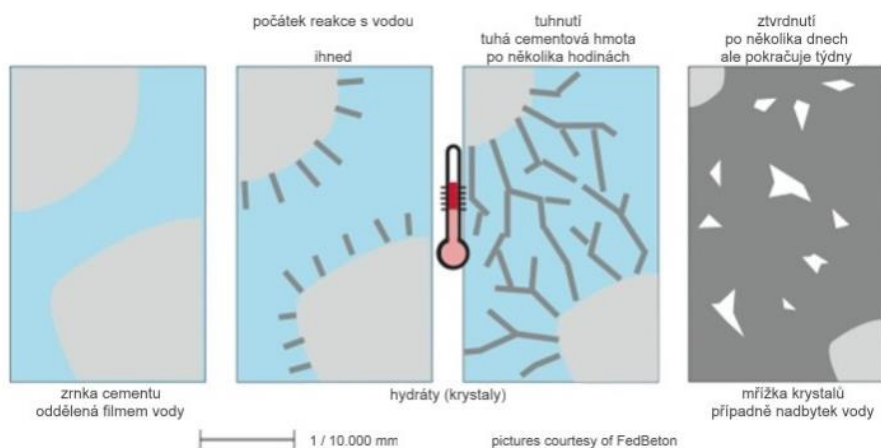
- Samonivelační stěrky

Samonivelační stěrky jsou typem podlahového potěru, který se používá v tloušťkách 2-55 mm a dosahují dokonale vodorovného povrchu. Na samonivelační stěrky je vhodné použít dlažbu, PVC, lamináty a koberce. Stěrky se skládají z cementu, kameniva, polymerů a vody. Stěrky se také používají na opravy poškozených nebo nevhodně připravených povrchů. Mají pevnost v tlaku 30-45 MPa. (31)

- Betonové mazaniny

Betonové mazaniny jsou standardní a tradiční způsob řešení roznášecí vrstvy. Obvykle je podlaha lita mezi vodící latě. Vrstva betonové mazaniny činí minimálně 50 mm. Velikou výhodou je přetížení stropní konstrukce dřevostavby a zlepšení akustických vlastností podlahové konstrukce. Nevýhodou litých podlah je pracnost procesu lití, doba zrání a vysychání betonové hmoty a u některých případů i nutnost hutnění. (32)

Při zrání betonových podlah probíhá jev zvaný hydratace cementu, u kterého se molekuly vody navazují na molekuly substrátu. Po smíchání suché směsi betonové podlahy s vodou dochází vlivem chemických reakcí ke vzniku jemných krystalků, které vzájemně prorůstají. Tímto procesem cement postupně tvrdne. Hydrataci výrazně ovlivňuje okolní teplota a vlhkost. Jedná se o exotermní jev – při průběhu hydratace je uvolňováno teplo. (33)



Obrázek 7 Proces hydratace

Hydratace spotřebuje cirká 30 % vody z 1/9 hmotnosti suché směsi (neboli 30 % z cementu – cement je cirká 1/9 celkové suché směsi). Obvyklé složení je v poměru je 1:4:4 (cement: jemné kamenivo: hrubé kamenivo). (34)

Realizace lité podlahy na bázi cementového pojiva

Lité podlahy se dají kombinovat s podlahovým vytápěním. Pod litou podlahou na nosné konstrukci se obvykle nachází tepelně-izolační/kročejová vrstva v tloušťce 30-50 mm. Tato vrstva se překryje separační vrstvou anebo pokud se ve skladbě nachází vytápění, používají se systémové desky či odrazová fólie. Po obvodu celé plochy lití se na zdech lepí dilatační pás např. z pěnového polyetyleny, asfaltové pásy atd... Pás má tloušťku 10-15 mm.

Výšková úroveň se zajišťuje několika způsoby. Prvním způsobem je umístění trojnožek, do kterých se potěr dále nalévá a nastavuje se za pomoci hadicové vodováhy nebo laseru. Trojnožky jsou rozmístěny v pravidelných roztečích dvou metrů. Dalším způsobem je výšku určovat během lití pomocí přenosného stavebního laseru a odrazové tyče. Obecně výška potěru se volí dle jeho vlastností (pevnostní charakteristiky-třída pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu) a při použití plovoucího potěru se určuje výška dle tepelně-izolační a kročejové vrstvy a jejich tloušťky a stlačitelnosti a na základě celkové únosnosti.

Doprava litého potěru se obvykle dováží v čerstvém stavu autodomíchávačem z betonárky. Další možností je využití mobilního sila, ale oproti autodomíchávači je náročný na prostor a potřebuje přívod elektřiny a vody.

Před započítím lití směsi do konstrukce, směs prochází kontrolou konzistence – zkouškou rozlivem. Zkouška se provádí při převzetí a provádí ji realizační firma (zkoušku může provádět i obsluha výrobcem dodaného čerpadla nebo jiný zástupce výrobce směsi). Měřením se kontroluje deklarovaná kvalita potěru. Konzistence cementového potěru se zkoumá na navlhčené rozlivové desce pomocí maltového kužlíku (Haegermannův kužel – dle ČSN EN 1015-3). V případě anhydritového potěru zkouška probíhá na suché desce.

Lití se provádí za pomoci mobilního pístového čerpadla přes gumové hadice o průměru 50 mm. Lití podlahy probíhá rovnoměrně po celé ploše do předem určené výšky kyvnými pohyby. Teploty v interiéru i v exteriéru se musí pohybovat v rozmezí mezi +5 °C a 25 °C.

Po vylití je nutné povrch urovnat. Prvním krokem je hrubé urovnání lití, které je prováděno speciálními nivelačními hrazdami tzv. vlněním. Vlněním se směs dostane i do rohů a dutin. Dalším krokem je urovnání povrchu. Směs se rozvlí v druhém směru a je ponořena cca do poloviny tloušťky směsi. Proces pokračuje, dokud není povrch zcela zahlazen.

Uhlazený povrch je nutné ošetřit ihned po nivelaci. Průměrná dávka postřiku je 0,1 l/m². Přesná hodnota dávkování, závisí na podmínkách v místě realizace, zejména na rychlosti vysychání potěru. Potěr je nutné první tři dny po lití chránit před průvanem, přímým slunečním zářením a prudkou změnou teplot.

Vrstva lité podlahy je pochozí zhruba po 24–48 hodinách po ukončení lití a částečně zatížitelná po cca 3 dnech (pokud se jedná o místo realizace s teplotami 15–20 °C). V případě, že na vrstvu lití bude pokládána lepená nášlapná vrstva, je třeba povrch potěru ještě přebrousit a zkontrolovat zbytkovou vlhkost, aby nedošlo k zabudování vlhkosti. (35)

2.2.3. Základy

Dalším mokrým procesem objevujícím se v dřevostavbách jsou základové konstrukce. Jedná se o základovou desku, pasy a patky. Pokud se hydroizolace nachází nad základovou konstrukcí a je správně provedena, tak nedochází k přímému styku dřeva s betonem (železobetonem), a tudíž základy vlhkostně neovlivňují dřevostavbu jako takovou. Další z možností u dřevostavby je založit objekt na tzv. „crawl space“. Tato varianta jde však použít jen pro menší objekty. Mokrý proces, který by mohl dřevostavbu nějak vlhkostně ohrozit je varianta založení na základové desce s hydroizolačním souvrstvím, které se nachází pod základovou deskou. (13)

2.2.4. Samotné nosné konstrukce

Co se týče vícepodlažních budov, tak další možný mokrý proces jsou kompozitní dřevobetonové spřažené stropní konstrukce. Obvykle se tato metoda vyskytuje hlavně u rekonstrukcí dřevostaveb za účelem zesílení stropní konstrukce s dřevěnými nosníky.

Vytvořením betonové desky, která se spřáhne s dřevěnými nosníky pomocí spojovacích prostředků (kolíkového nebo plošného typu), se výrazně zvýší tuhost i únosnost stropní konstrukce. Stropní konstrukce pak vykazují lepší parametry kročejové a vzduchové neprůzvučnosti a požární odolnosti oproti tradičním dřevěným stropům. (36)

2.2.5. Příčky

Mokrý proces u realizace příček je spojovací malta, která v sobě však nemá takové množství vody, jako u předchozích případů, a tudíž by ani neměla ohrožovat konstrukce. Typicky se realizují příčky ze suchých procesů ze stejného systému jako obvodové stěny (CLT panely, two by four...). Příčky mohou být keramické, pórobetonové a příčky z nepálených cihel. Interiérové příčky z nepálených cihel se provádějí nejčastěji v kombinaci s hliněnými omítkami. Využívají se pro jejich akumulční vlastnosti a je vhodné je použít v kombinaci s například těžkými akumulčními kamny. (37)

3. Experimentální ověření procesů vysychání na jednoduchých fyzických modelech

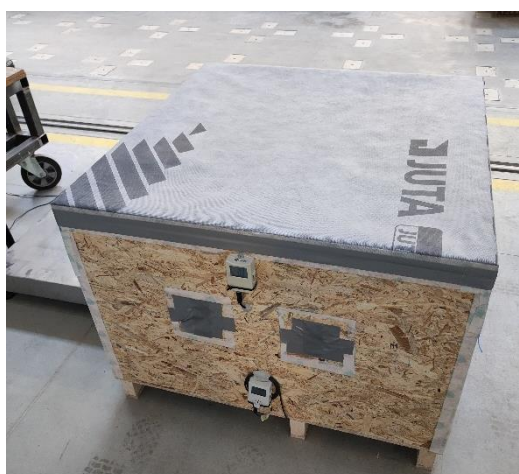
V rámci diplomové práce byly provedeny dva experimenty sledování vysychání. V prvním experimentu bylo pozorováno celkem deset vzorků. Pět vzorků se sádrovou omítkou, čtyři vzorky s omítkou hliněnou a jeden vzorek s litou betonovou podlahou. Druhý experiment byl proveden jako celek o jednom vzorku pro sledování vysychání betonové lité podlahy a následně i hliněných omítek. Veškeré experimenty byly prováděny na Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze neboli UCEEB.



Obrázek 8 První experiment-vysychání malých vzorků



Obrázek 9 Druhý experiment vysychání velkého vzorku



3.1. Vysychání omítek do volného prostoru

3.1.1. Princip experimentu

Principem tohoto experimentu bylo sledování vysychání a následného úbytku vody ze sádrové a hliněné omítky v několika různých tloušťkách do volného prostoru v laboratorních podmínkách. Pro experiment byly zvoleny vzorky z OSB desek tloušťky 18 mm. Čisté půdorysné rozměry vrstvy omítky jsou 300 x 300 mm. Experiment probíhal od 31.10. do 28.11. Vzorky byly jednotlivě pravidelně váženy na váze v laboratoři s přesností na 1 g a rozlišením 0,1 g.

3.1.2. Vzorky

Sádrová omítka

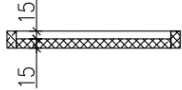
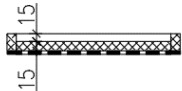
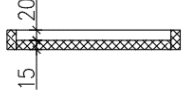
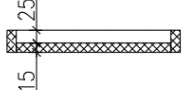
Pro sádrovou omítku bylo zrealizováno pět vzorků. Vzorky jsou o tloušťkách 10 mm, 2 x 15 mm, 20 mm a 25 mm. Jeden ze vzorků s vrstvou 15 mm byl opatřen PE fólií z vnější strany OSB desky.

ČÍSLO VZORKU	TLOUŠŤKA [mm]	S FÓLIÍ	OZNAČENÍ	NÁKRES
1	10	NE	S-10-1	
2	15	ANO	S+f-15-2	
3	15	NE	S-15-3	
7	20	NE	S-20-7	
8	25	NE	S-25-8	

Tabulka 2 Zvolené modely pro sádrovou omítku

Hliněná omítka

Pro hliněnou omítku byly zrealizovány čtyři vzorky. Vzorky jsou o tloušťkách 15 mm, 2 x 20 mm, a 25 mm. Jeden ze vzorků s vrstvou 20 mm byl opatřen PE fólií z vnější strany OSB desky.

ČÍSLO VZORKU	TLOUŠŤKA [mm]	S FÓLIÍ	OZNAČENÍ	NÁKRES
4	15	NE	H-15-4	
5	20	ANO	H+f-20-5	
6	20	NE	H-20-6	
9	25	NE	H-25-9	

Tabulka 3 Zvolené modely pro hliněnou omítku

3.1.3. Specifika použitých materiálů

Na tento experiment byla zkoušena omítka sádrová a omítka hliněná. Konstrukce pro nanesení byla zvolena z desek OSB-3 uzpůsobena tloušťkám vrstev omítání viz Tabulka 2 a Tabulka 3.

- OSB desky

Na rámy byly použity desky OSB 3 tloušťky 15 mm. Desky OSB byly použity s odhadem počáteční vlhkosti 48 kg/m³ (RH na hale, kde byly desky uloženy je rovna cirka 40 %). OSB desky mají objemovou hmotnost 600 kg/m³, porozitu 0,9 m³/m³, měrnou tepelnou kapacitu 1700 J/kg*K, tepelnou vodivost 0,077 W/m*K a faktor difuzního odporu 190.

- PE fólie

Na vzorek S+f-15-2 a na H+f-20-5 byla použita PE fólie o tloušťce 0,2 mm a s faktorem difuzního odporu 50 000. Počáteční zabudovaná vlhkost je rovna téměř nule.

- Těsnící pásy

Na vzorky byla použita hliníková těsnící páska. Počáteční zabudovaná vlhkost je rovna téměř nule.

- Sádrová omítka

Jako omítka sádrová byla zvolena Baumit Glatt L hlazená 1 mm. Jedná se o jednovrstvou lehčenou omítku s gletovaným povrchem na vápenosádrové bázi a s zrnitostí 1 mm. Omítka je paropropustná a faktor difuzního odporu činí $\mu=10$. Součinitel tepelné vodivosti λ se určuje dle

ČSN EN ISO 10456 a pohybuje se v hodnotách $\lambda=0,3-0,4$ W/m*K. Klasifikace omítky je B4/50/2 (B4-lehká sádrová stavební malta, počátek doby tuhnutí >50 minut, pevnost v tlaku ≥ 2 MPa) s třídou reakcí na oheň A1. Omítka je suchá maltová směs na bázi minerálních pojiv a přísad. Obsahuje vápenný hydrát, sádro, jemný omítkový písek, perlit a přísady pro zlepšení zpracovatelnosti a vlastností. Počáteční zabudovaná vlhkost hotové směsi činila průměrně 420 kg/m³. (38)

- Hliněná omítka

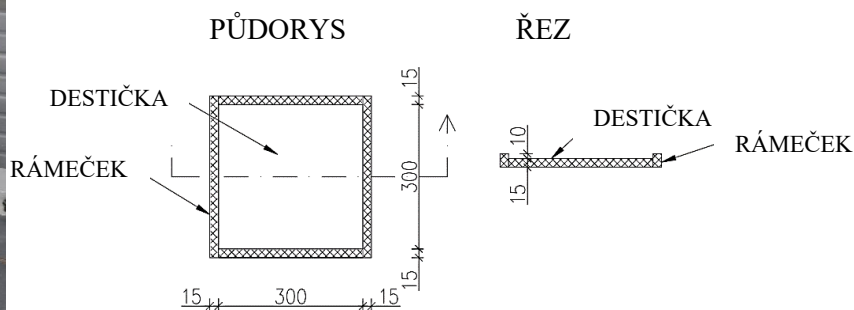
Jako omítka hliněná byla zvolena PICAS ECONOM hrubá s přídavkem levandule. Omítka je se zrnitostí od 0 do 4 mm. Omítka je paropropustná a faktor difuzního odporu činí $\mu=1,3$. Součinitel tepelné vodivosti je roven $\lambda= 0,9$ W/m*K a pevnost v tlaku je roven 1,4 MPa. Počáteční zabudovaná vlhkost hotové směsi činila 340 kg/m³. (39)

3.1.4. Realizace

Každý ze vzorků byl o půdorysných rozměrech 300 x 300 mm. K destičce byl přivrtán rámeček o výšce dle budoucí vrstvy omítek. Před započítím nanášení byly jednotlivé rámečky zváženy a zapsány do Tabulka 6. Na jednotlivé vzorky se postupně nanášely vrstvy omítek. Následně se povrchy zahladily.



Obrázek 11 Hotové rámy pro nanesení omítek



Obrázek 10 Skica OSB rámu pro nanesení omítek

Jelikož hlavní náplní experimentu bylo vysychání, tak nebyly použity žádné výztužné vrstvy ani penetrační nátěry. Míšení vody se směsí probíhalo v plastové nádobě za pomoci elektrického míchadla. Postupně se přidávala suchá směs do vody v nádobě. Míšení trvalo u obou případů cirka 5-10 minut. Následně se nechala 2-3 minuty hotová směs odstát. Nejprve byly nanášeny omítky sádrové. Se směsí se pracovalo obtížněji kvůli lepkavé konzistenci. Povrch byl následně zarovnan s okrajem rámu. Se směsí hliněné omítky se pracovalo poměrně lépe díky většímu obsahu vody.



Obrázek 12 Realizace nanášení hliněných omítek

3.1.5. Utěsnění

Netěsnosti byli utěsněny akrylovým tmelem viz Obrázek 14. Každý rámeček byl opatřen hliníkovou páskou po obvodu a u některých PE fólií viz Obrázek 13.



Obrázek 14 Tmelení netěsností



Obrázek 13 Nalepování pásky po okrajích vzorků

3.1.6. Vstupní hodnoty experimentu

Sádrová omítka

Vzorek	hotová směs [g]	hotová směs [%]	voda [g]	suchá směs [g]	tloušťka vrstvy [mm]
celkem	9488,00	100 %	3182,61	6305,39	85
S-10-1	1077,00	11,35 %	361,26	715,74	10
S+f-15-2	1632,60	17,21 %	547,63	1084,97	15
S-15-3	1630,70	17,19 %	546,99	1083,71	15
S-20-7	2302,20	24,26 %	772,24	1529,96	20
S-25-8	2845,50	29,99 %	954,48	1891,02	25

Tabulka 4 Hodnoty v gramech použité směsi

Hliněná omítka

Vzorek	hotová směs [g]	hotová směs [%]	voda [g]	suchá směs [g]	tloušťka vrstvy [mm]
celkem	14679,40	100 %	2449,03	12230,37	80
H-15-4	2782,20	18,95 %	464,17	2318,03	15
H+f-20-5	3788,50	25,81 %	632,05	3156,45	20
H-20-6	3635,20	24,76 %	606,48	3028,72	20
H-25-9	4473,50	30,47 %	746,33	3727,17	25

Tabulka 5 Hodnoty v gramech použité směsi

Před započítáním nanášení byly jednotlivé rámečky zváženy a zapsány do Tabulka 6. Hodnoty vypsané v Tabulka 4 a v Tabulka 5 jsou odečtené hodnoty z váhy minus hmotnost rámu viz Tabulka 6. Veškeré údaje poměru hmotnosti vody a suché směsi vycházejí z hodnot uváděných výrobcem.

vzorek	S-10-1	S+f-15-2	S-15-3	H-15-4	H+f-20-5	H-20-6	S-20-7	S-25-8	H-25-9
hmotnost rámu [g]	1772,2	1884,9	1853,1	1871,3	1929,4	1862,9	1889,6	1944,5	1978,3

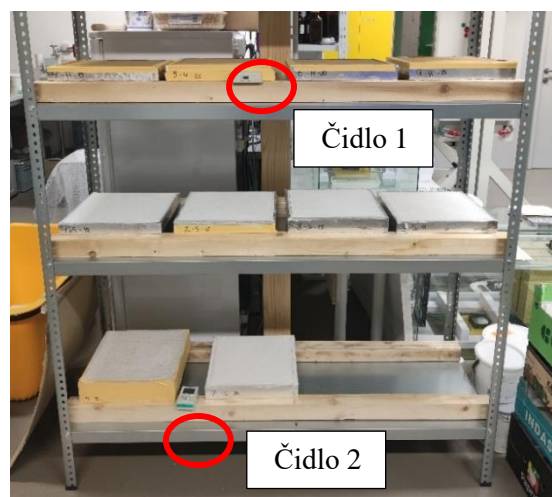
Tabulka 6 Hmotnosti jednotlivých rámu pro nanášení omítek

3.1.7. Předpoklady

- vysychání v laboratorních podmínkách – nepříliš velké rozptyly v teplotě a relativní vlhkosti
- vysychání dvěma směry – nahoru a dolů (u vzorků s fólií pouze nahoru), strany jsou opatřeny páskami
- nekonstantní rychlost vysychání – na začátku největší úbytek vody

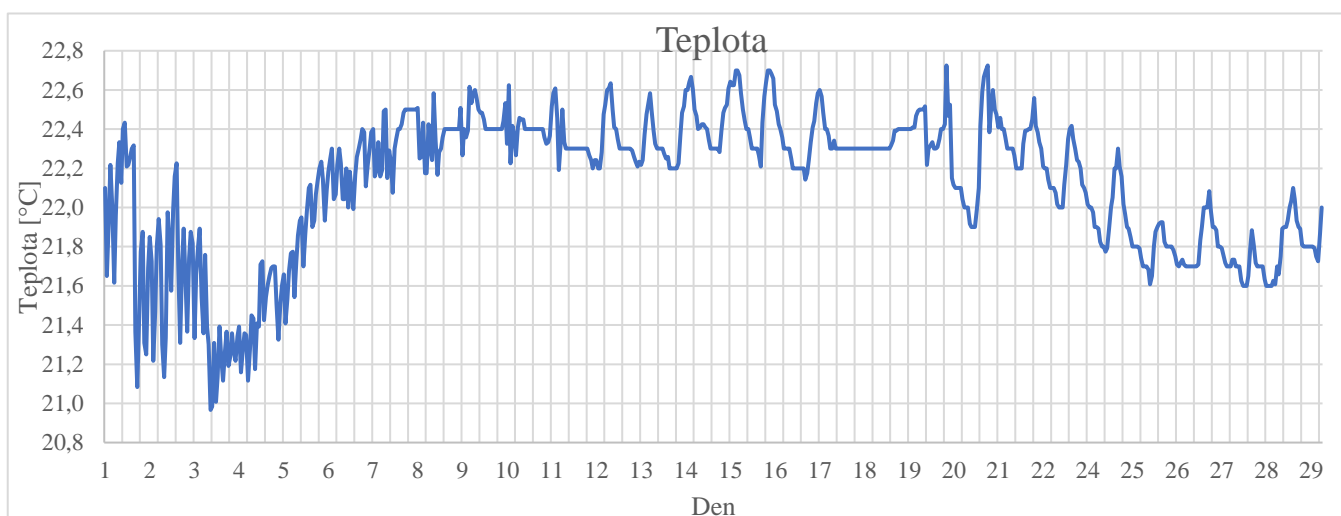
3.1.8. Okrajové podmínky

U vzorků v laboratoři byly umístěny dvě čidla pro měření teploty a relativní vlhkosti. Jedno čidlo (čidlo 2) leželo u sádrových omítek (a i malého betonového vzorku) a druhé čidlo (čidlo 1) u omítek hliněných viz Obrázek 15.



Obrázek 15 Umístění vzorků v regálu laboratoři

Vzorky s hliněnou omítkou – naměřené hodnoty z čidla 1



Obrázek 17 Graf průběhu teploty v laboratoři z čidla 1



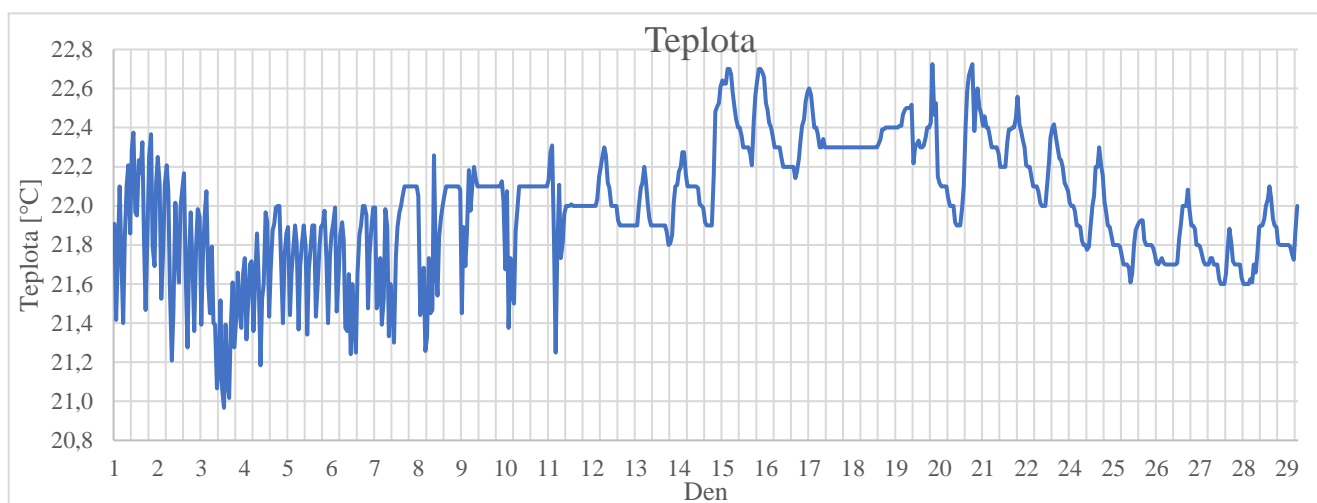
Obrázek 16 Graf průběhu relativní vlhkosti v laboratoři z čidla 1

Průměrně byly v laboratoři naměřené podmínky z čidla 1 22,10 °C a 33,31 % RH. Maximální teplota okolního prostředí laboratoře dosahovala hodnoty 22,73 °C a minimální teplota 20,97 °C. Maximální relativní vlhkost okolního prostředí laboratoře dosahovala hodnoty 45,74 % a minimální 17,77 %. Výkyvy v hodnotách jsou způsobeny provozem laboratoře (přítomností osob), probíhajícími experimenty a změnami venkovních podmínek.

	min	max	průměr
T [°C]	20,97	22,73	22,10
RH [%]	17,77	45,74	33,31

Tabulka 7 Minimální, maximální a průměrné hodnoty T a RH

Vzorky se sádrovou omítkou – naměřené hodnoty z čidla 2



Obrázek 19 Graf průběhu teploty v laboratoři z čidla 2



Obrázek 18 Graf průběhu relativní vlhkosti v laboratoři z čidla 2

Průměrně byly v laboratoři naměřené podmínky z čidla 2 21,99 °C a 30,75 % RH. Maximální teplota okolního prostředí laboratoře dosahovala hodnoty 22,73 °C a minimální teplota 20,97 °C. Maximální relativní vlhkost okolního prostředí laboratoře dosahovala hodnoty 52,8 % a minimální 17,77 %. Výkyvy v hodnotách jsou způsobeny provozem laboratoře (přítomností osob), probíhajícími experimenty a změnami venkovních podmínek.

	min	max	průměr
T [°C]	20,97	22,73	21,99
RH [%]	17,77	52,8	30,75

Tabulka 8 Minimální, maximální a průměrné hodnoty T a RH

Na počátku hned po umístění vzorků do regálu byly přikryty PE fólií viz Obrázek 20 a Obrázek 21 . Sádrové omítky byly přikryty kontaktně a odstraněny 2.11. okolo 10:00. Hliněné omítky byly přikryty nekontaktně aby nedošlo k přilnutí fólie k povrchu z důvodu přílišného množství vody na povrchu. U hliněných omítek fólie byla odstraněna 31.10. v 18:00.



Obrázek 21 Zakrytí vzorků PE fólií



Obrázek 20 Vzorek s hliněnou omítkou pod fólií

Na vzorky s hliněnými omítkami byla 2.11. umístěna plastová maskovací páska na okraje (viz Obrázek 22) z důvodu velkého množství vody a zamezení vysychání stranami vzorku.



Obrázek 22 Vzorky s hliněnou omítkou opatřené maskovací páskou

3.1.9. Výsledky a diskuse

Sádrové omítky

Sádrové omítky vykazovaly téměř okamžité zatuhnutí povrchu. Počáteční fáze křivky (viz níže) bez výrazného úbytku hmotnosti je způsobena zakrytím vzorků PE folií. Vysychání probíhalo dle očekávání bez problémů.

Křivky vysychání dle Obrázek 26 a Obrázek 25 mají velmi srovnatelný trend. U vzorku s nejmenší tloušťkou S-10-1 je znatelné nejrychlejší vysychání (úbytek vody) a následné ustálení, které nastalo 11. den od realizace. Naopak u vzorku s největší tloušťkou S-25-8 je znatelné nejpomalejší vysychání (úbytek vody) a ani po 28 dnech nenastalo ustálení hmotnosti.

U vzorku S+f-15-2 a S-15-3 je průběh vysychání téměř stejný. U vzorku s fólií je pozorovatelný menší úbytek hmotnosti, a tudíž i menší hodnotu úbytku vody z důvodu zamezení jednoho směru vysychání.

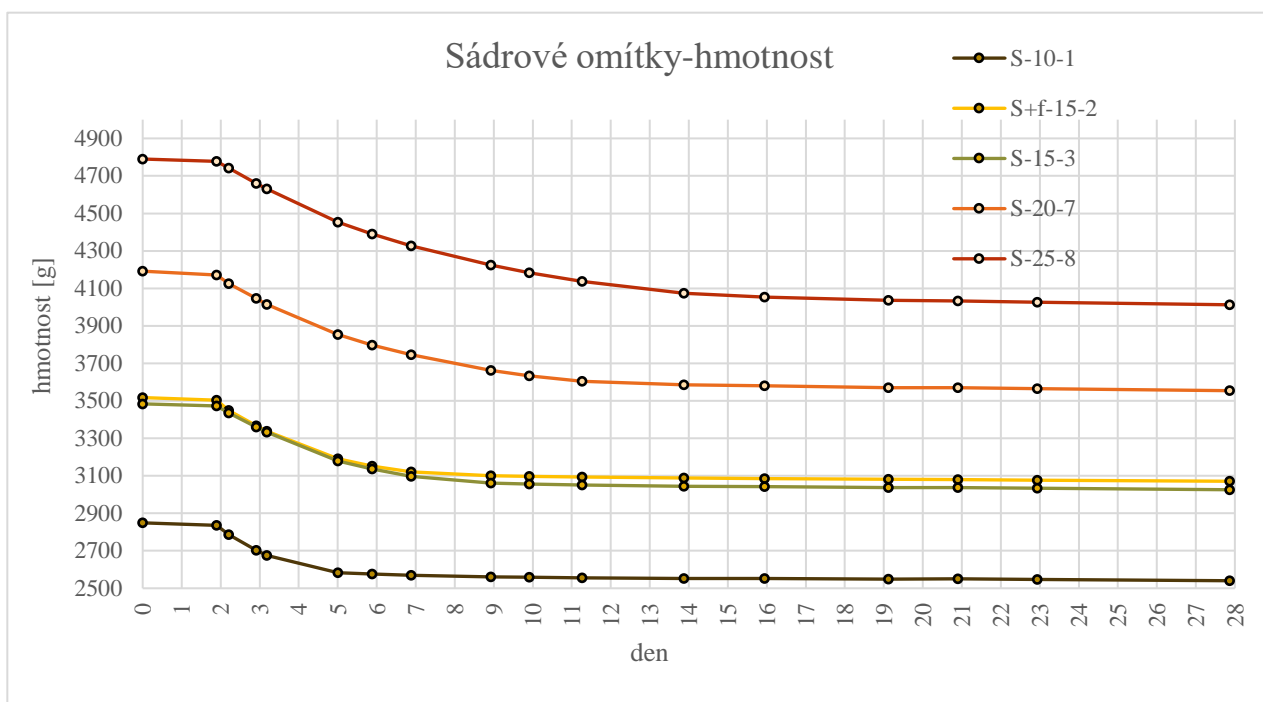
U sádrových omítek na konci experimentu nebyla nalezena žádná trhлина. U nejtenčí vzorku S-10-1 se projevilo smršťování mírným odtažením od okrajů. Je to zřejmě zapříčiněno rychlým vyschnutím tenké vrstvy.



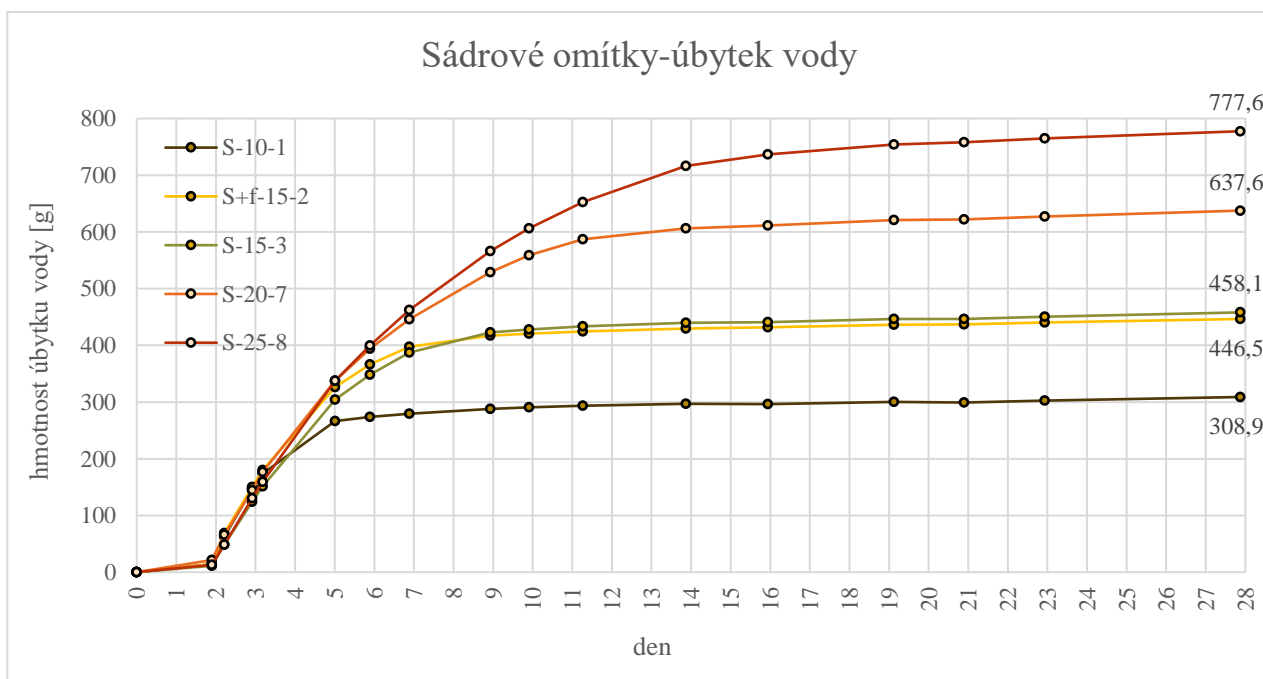
Obrázek 24 Hladký povrch sádrových omítek na konci experimentu



Obrázek 23 Odtážení tenké vrstvy od okrajů



Obrázek 26 Graf naměřených hodnot úbytku hmotnosti

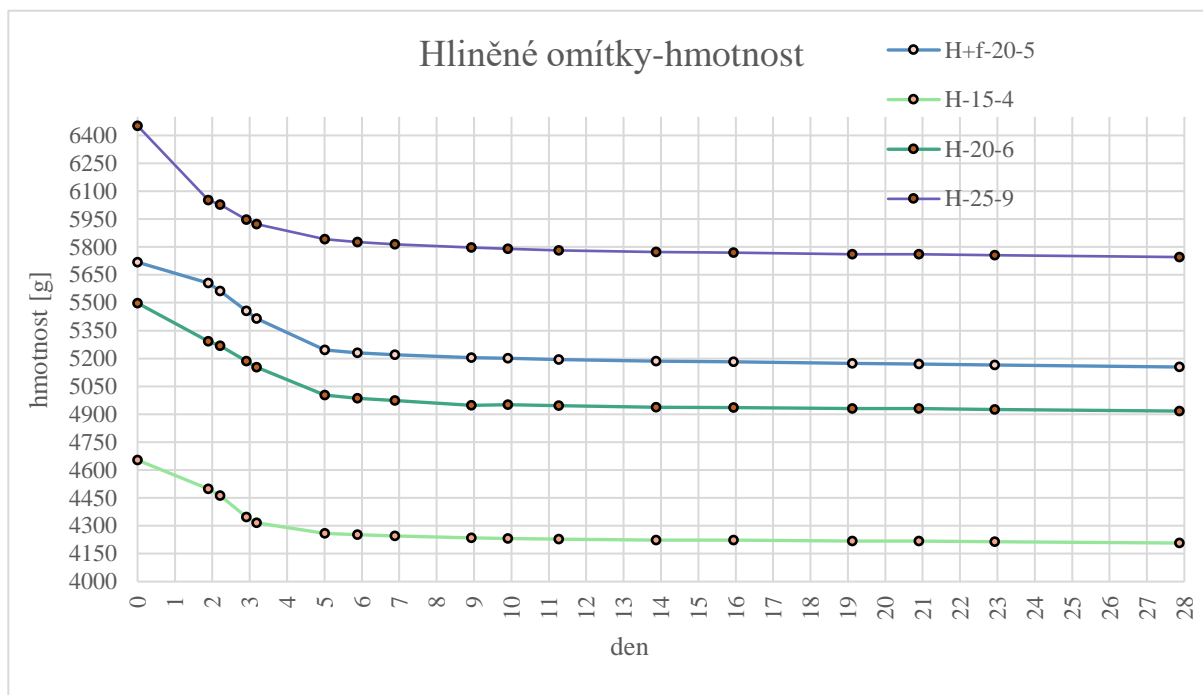


Obrázek 25 Graf naměřených hodnot úbytku vody

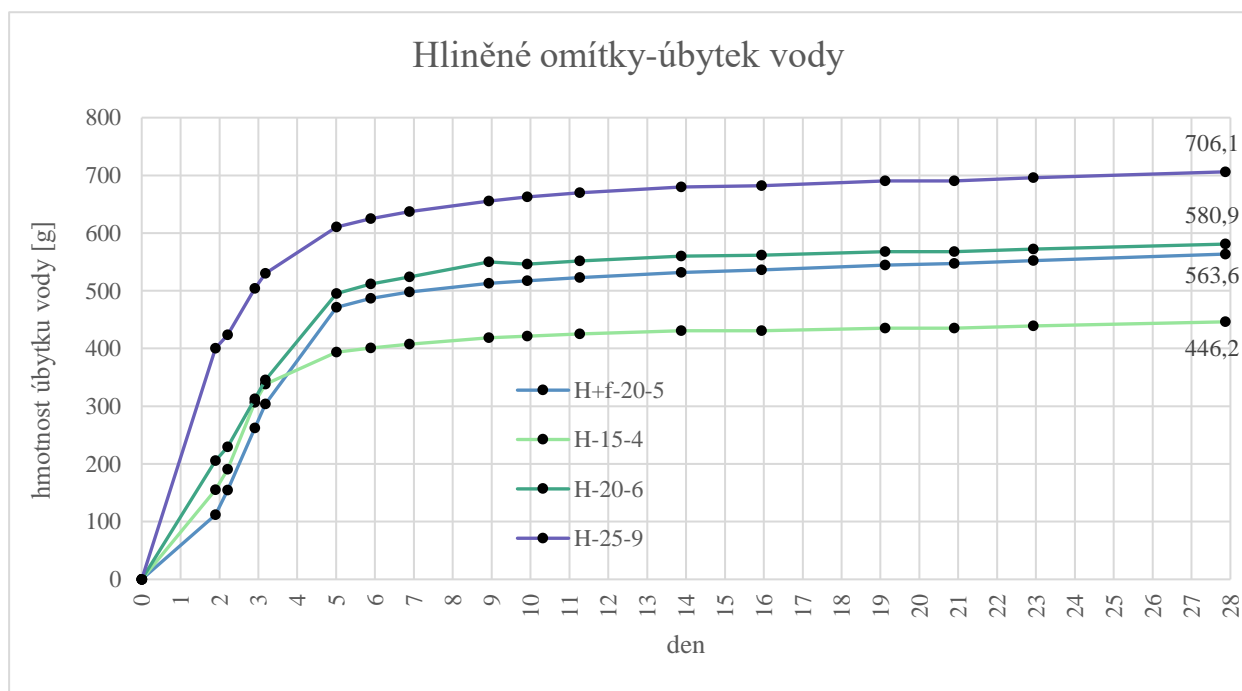
Vzorek S-10-1 obsahoval 361,26 gramů vody a vyschlo 308,9 gramů vody neboli 86 %. Vzorek S+f-15-2 obsahoval 547,63 gramů vody a vyschlo 446,5 gramů vody neboli 82 %. Vzorek S-15-3 obsahoval 546,99 gramů vody a vyschlo 458,1 gramů vody neboli 84 %. Vzorek S-20-7 obsahoval 772,24 gramů vody a vyschlo 637,6 gramů vody neboli 83 %. Vzorek S-25-8 obsahoval 954,48 gramů vody a vyschlo 777,6 gramů vody neboli 81 %.

Hliněné omítky

U hliněných omítek pár hodin po uložení byla mírná ztráta vody zapříčiněna netěsnostmi rámu z OSB desek a větším množstvím záměsové vody. Vysychání probíhalo dle očekávání bez výraznějších výkyvů. U hliněných omítek docházelo pouze k čistému vysychání a neprobíhala zde žádná chemická reakce, která by proces vysychání ovlivňovala.



Obrázek 27 Graf naměřených hodnot úbytku hmotnosti

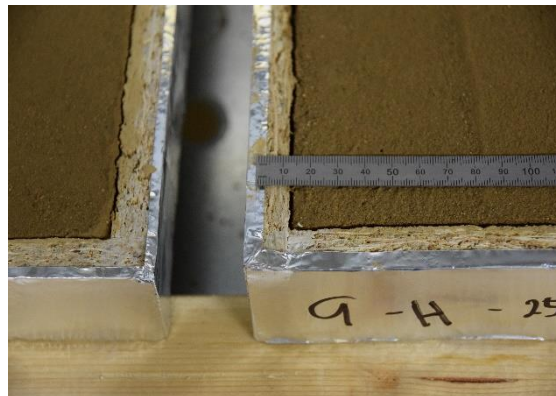


Obrázek 28 Graf naměřených hodnot úbytku vody

U hliněných omítek bylo třetí den od realizace pozorováno větší smrštění odtážením od okrajů rámu a u vzorků s větší tloušťkou i několik trhlin viz Obrázek 29 a Obrázek 30. Tento jev je způsoben prudkým rychlým vysycháním, které probíhalo hlavně v prvních třech dnech. Může to být také způsobené tím, že při experimentu nebyly použita žádná výztužná vrstva.



Obrázek 30 Trhliny na povrchu hliněné omítky



Obrázek 29 Odtážení vrstvy omítky od okrajů

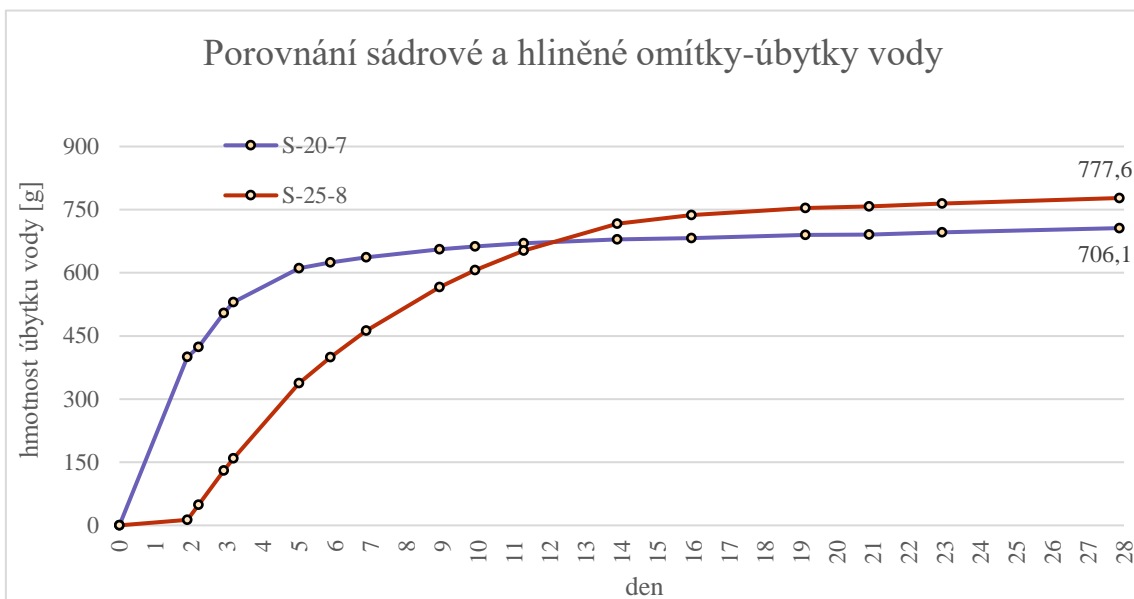
Vzorek H+f-20-5 vykazuje během prvních dvou dnů jiný trend než ostatní vzorky. Tento výkyv je pravděpodobně zapříčiněn zamezením dolnímu směru vysychání. Voda protekla netěsnostmi dolů na fólii a po dobu cca 1,5 dne zde zůstala. Toto dokazuje i přiblížení na konci procesu ke křivce vzorku H-20-6.

Další výkyv vykazuje vzorek H-15-4 druhý den měření. Tento výkyv je způsoben únikem vody netěsnostmi.

U vzorku H-25-9 je viditelný mírný zlom mezi 2. a 3. dnem od realizace. Zlom je způsoben prudkým únikem vody netěsnostmi na začátku procesu vysychání (prvních pár hodin po realizaci). Jelikož se jedná o největší nanesenou tloušťku vrstvy, tak se zde nacházelo i znatelně větší množství vody.

Úplné ustálení u nejtenčího vzorku H-15-4 nastalo 14. den od realizace a u vzorku H-25-9 s největší tloušťkou ustálení nastalo až den 19. U vzorků H-20-6 a H+f-20-6 nastalo ustálení mezi 16. a 19. dnem od realizace. Vzorek H-15-4 obsahoval 464,17 gramů vody a vyschlo z něj 446,2 gramů vody, což znamená, že vyschnul z 96 %. Vzorek H+f-20-5 obsahoval 632,05 gramů vody a vyschlo z něj 563,6 gramů vody, což znamená, že vyschnul z 89 %. Vzorek H-20-6 obsahoval 606,48 gramů vody a vyschlo 580 gramů, což znamená, že vyschnul z 96 %. Vzorek H-25-9 obsahoval 746,33 gramů vody a vyschlo z něj 706,1 gramů, což znamená že vyschnul z 95 %. Je tedy znatelné, že vzorky jsou téměř u konce procesu vysychání.

Je znatelné, že hliněné omítky rychleji vysychají než omítky sádrové z důvodu absence chemické reakce, při které je vody zpracovávána a nevysychá viz graf z Obrázek 31. U hliněných omítek je větší riziko popraskání a vznik trhlin na jejich povrchu.



Obrázek 31 Graf porovnání úbytku vody sádrové a hliněné omítky

3.2. Vysychání betonové podlahy do volného prostoru

3.2.1. Princip experimentu

Principem experimentu bylo vysychání stejné betonové směsi, která byla použita na experimentu z kapitoly 3.3 v podmínkách laboratoře. Pro experiment byly zvoleny vzorky z OSB desek tloušťky 15 mm. Čisté půdorysné rozměry vrstvy omítky jsou 300 x 300 mm. Experiment probíhal od 31.10. do 28.11. Vzorky byly jednotlivě pravidelně váženy na váze v laboratoři s přesností na 1 g a rozlišením 0,1 g.

3.2.2. Vzorek

ČÍSLO VZORKU	TLOUŠŤKA [mm]	OZNAČENÍ	NÁKRES
10	50	B-50-10	

Tabulka 9 Zvolený model pro litou podlahu

3.2.3. Specifika použitých materiálů

- Baumit Betonový potěr 20

Jedná se o průmyslově vyráběnou suchou směs pro podlahové potěry, kterou lze zpracovávat ručně i strojově. Směs může být použita v interiéru i v exteriéru. Směs se skládá z cementu, písku

a přísad. Tento cementový potěr je s konzistentní jakostí a zpracovatelností a vhodný i pro vlhké provozy. Vyznačuje se velmi nízkou dodatečnou absorpcí vlhkosti, u již vyschlých potěrů. Betonový potěr lze použít na všechny běžné minerální podklady v interiéru a exteriéru, jak kontaktní, tak i oddělený plovoucí potěr. Lze použít v kombinaci s podlahovým vytápěním. Není určen pro povrchy namáhané obrusem.

Tento betonový potěr má klasifikaci CT-C20-C5 (dle normy EN 13813). Má zrnitost 4 mm, pevnost v tlaku za 28 dní větší, jak 20 MPa a pevnost v tahu za ohybu za 28 dní 5 MPa. Ideální tloušťka vrstvy je od 20 do 100 mm. Pochůznost podlahy je cca po 72 hodinách.

Baumit Betonový potěr 20 se obvykle míchá v samospádové míchačce, pomaluběžným elektrickým míchadlem nebo kontinuální míchačkou po dobu 3–5 min. Směs by se měla nechat odstát cca 2-3 minuty a poté finálně zamíchat. Namíchanou směs je třeba nanést rovnoměrně na rovný povrch a případně i ztuhnout. Povrch vrstvy se urovná latí do roviny a dřevěným nebo polystyrenovým hladítkem. (40)

- Těsnící pásy

Jako páska byla použita maskovací PE páska s vysokým faktorem difuzního odporu a zabudovanou vlhkostí rovný nule.

- OSB desky, PE fólie

-viz kapitola 3.1.3

3.2.4. Realizace

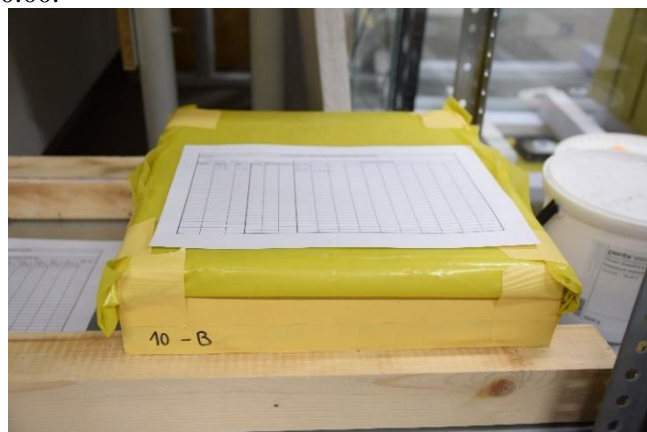
Půdorysné rozměry a fotodokumentace realizace vzorku viz kapitola 3.1.4 a řez viz kapitola 3.1.2.

3.2.5. Utěsnění

Utěsnění netěsnostní akrylovým tmelem vzorku viz kapitola 3.1.5. Po okrajích byl vzorek opatřen plastovou maskovací páskou. Vzorek byl hned po vylití přikryt kontaktně PE fólií viz obrázek níže a následně byla fólie odstraněna 2.11. okolo 10:00.



Obrázek 33 Vzorek betonové lité podlahy opatřený maskovací páskou



Obrázek 32 Přikrytí vzorku PE fólií

3.2.6. Vstupní hodnoty experimentu

Hodnoty vypsané v Tabulka 10 jsou odečtené hodnoty z váhy minus hmotnost rámu viz

Tabulka 11. Veškeré údaje poměru hmotnosti vody a suché směsi vycházejí z hodnot uváděných výrobcem.

vzorek	hotová směs [g]	voda [g]	suchá směs [g]	tloušťka vrstvy [mm]
B-50-10	8782,4	806,244	7976,156	50

Tabulka 10 Hodnoty v gramech použité směsi a vody

	B-50-10
Hmotnost rámu [g]	2474,0

Tabulka 11 Hmotnost rámu

3.2.7. Předpoklady

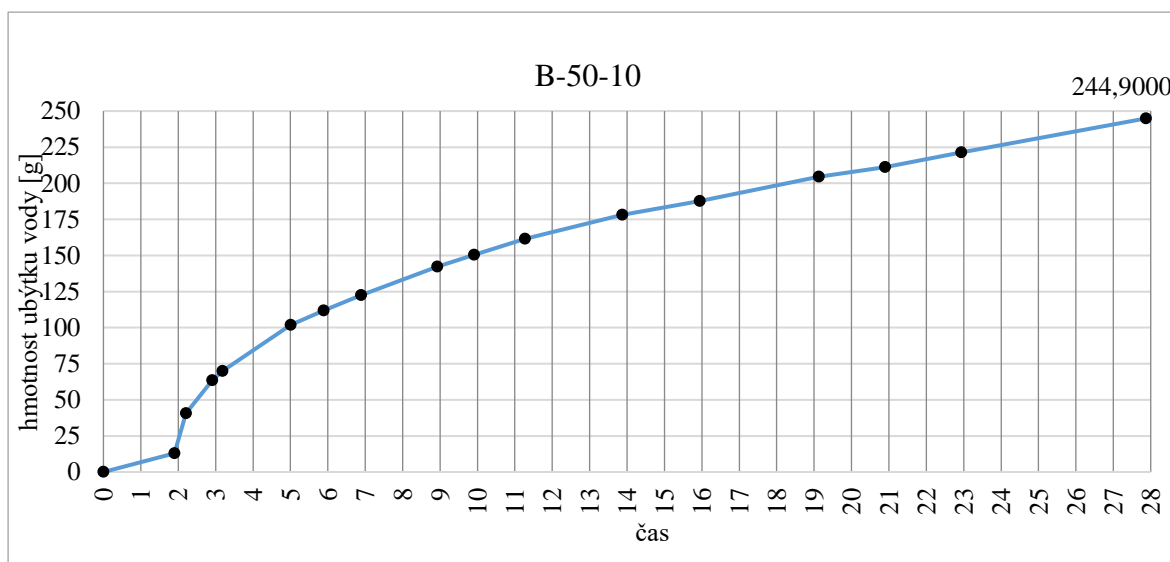
- vysychání v laboratorních podmínkách – nepříliš velké rozptyly v teplotě a relativní vlhkosti
- vysychání dvěma směry – pouze nahoru (vnitřek rámu je celý vyložen PE fólií), strany jsou opatřeny páskami
- nekonstantní rychlost vysychání – na začátku největší úbytek vody
- hydratace spotřebuje cirká 30 % vody z 1/9 hmotnosti suché směsi (30 % z hmotnosti cementu a cement je cirká 1/9 celkové suché směsi).
 - celkové množství vody je rovno 806,2 gramům a na spotřebu hydratace je třeba 266 gramů viz výpočet níže.
 - Hmotnost suché směsi: 7976,156 g
 - Potřeba vody na hydrataci- $7976,156 \cdot 1/9 = 0,886 \rightarrow 0,866 \cdot 0,3 = 0,266 \text{ kg} = 266 \text{ g}$
 - Předpokládané celkové množství: $806,2 - 266 = 540,2 \text{ g}$

3.2.8. Okrajové podmínky

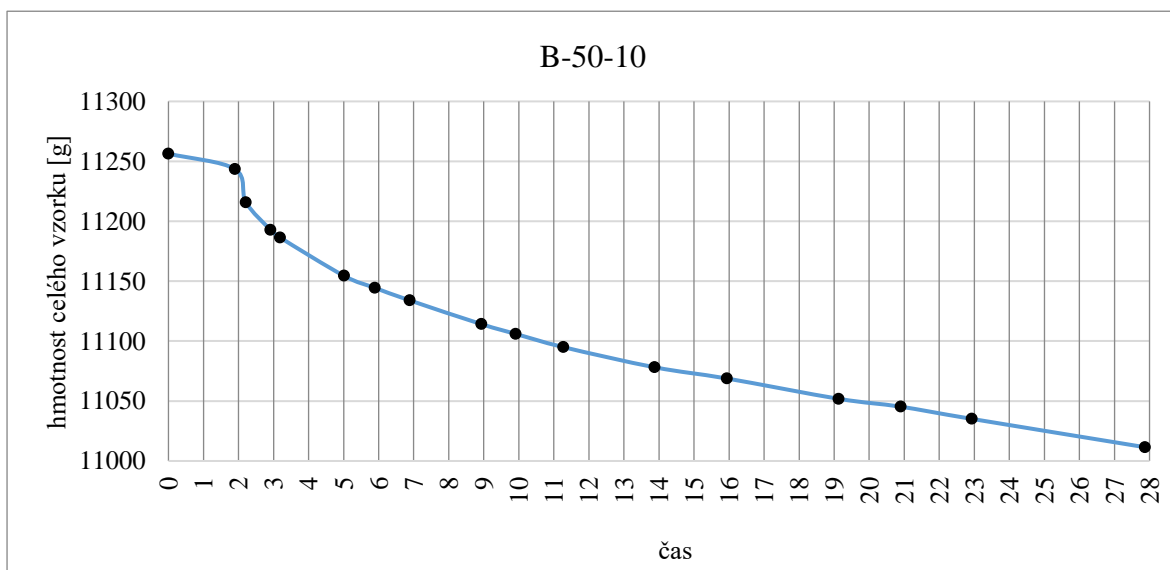
Okrajové podmínky jsou stejné, jako v kapitole 3.1.8 z čidla 6 u případu omítek sádrových.

3.2.9. Výsledky a diskuse

Počáteční pomalý (téměř nulový) úbytek vody během prvních dvou dnů měření je zapříčiněn celkovým přikrytím vzorku PE fólií. Z grafu na Obrázek 34 a Obrázek 35 je viditelný pomalejší nárůst/pokles hodnot z důvodu průběhu hydratace, která byla viditelná i u velkého vzorku níže v kapitole 3.3. Na konci experimentu vyschlo 244,9 g vody z celkových 540,2 g vody. Vzorek tedy během této doby vyschnul pouze ze 45 % celkového množství vody.



Obrázek 34 Graf naměřených hodnot úbytku hmotnosti vody



Obrázek 35 Graf naměřených hodnot úbytku hmotnosti

3.3. Vysychání betonové podlahy a hliněných omítek v uzavřeném prostoru

3.3.1. Princip experimentu

Principem experimentu bylo sledování vysychání betonového potěru na bázi cementu a hliněných omítek v uzavřeném prostoru, dále sledování vnitřních podmínek, a to teploty a relativní vlhkosti na různých místech ve vzorku a obsah vlhkosti použitých materiálů měnících se v čase. Experiment probíhal od 31.10. od 10:00 do 12.12. 13:00. Experiment byl rozdělen do několika časových fází. V první fázi se realizovalo lití podlahy do připraveného rámu. První fáze trvala cca tři dny a po celou dobu byl experiment utěsněný. V druhé fázi se odkrývaly otvory pro výměnu vzduchu. Ve fázi třetí po čtrnácti dnech se realizovali příčky z OSB desek s nanesenou hliněnou omítkou. V této fázi byl vzorek vystaven okolnímu prostředí. V poslední čtvrté fázi se experiment utěsnil.

Tento experiment simuluje reálné podmínky realizace na stavbě, co se týče betonové podlahy (2-3 dny po realizaci nevětrat a poté větrat). Co se týče hliněných omítek, tak se naopak ozkoušela varianta větrání pár dní po realizaci a bez větrání po zbytek experimentu.

3.3.2. Navržený model-vzorek

- 1. fáze

První fáze probíhala od 31.10. 9:00 do 2.11. 11:00. Betonáž byla prováděna od 9:00-10:00 a následně byla konstrukce zabetonována a utěsněna.

- 2. fáze

Druhá fáze probíhala od 2.11. 11:00 do 14.11. 11:00. Na začátku byly odstraněny otvory a celou fázi probíhalo větrání kruhovými otvory ve dvou protilehlých stěnách.

- 3. fáze

Třetí fáze probíhala od 14.11. 11:00 do 16.11. 13:00. Po celou dobu fáze byl experiment otevřený a vystavený okolnímu prostředí.

- 4. fáze

Čtvrtá fáze probíhala od 16.11. 13:00 do 12.12. 13:00. Po celou dobu byl experiment zavřen a utěsněn.

3.3.3. Specifika použitých materiálů

- Baunit betonový potěr 20
-viz kapitola 3.2.3
- Hliněná omítka PICAS ECONOM hrubá s levandulí

-viz kapitola 3.1.3

- OSB desky

Byly použity desky OSB 3 o tloušťkách 18 mm (stěny experimentu) a 15 mm (příčky pro nanesení hliněných omítek). Vlastnosti OSB desek viz kapitola 3.1.3.

- PE FÓLIE

-viz kapitola 3.1.3

- PE maskovací páska

-viz kapitola 3.2.3

- Těsnící pásy

Byla použita vzduchotěsná lepicí páska AIRSTOP FLEX pro dokonalou vzduchotěsnost vzorku. Je to páska s pružnou nosnou hmotou s akrylátovým lepidlem.

- Pěnová páska

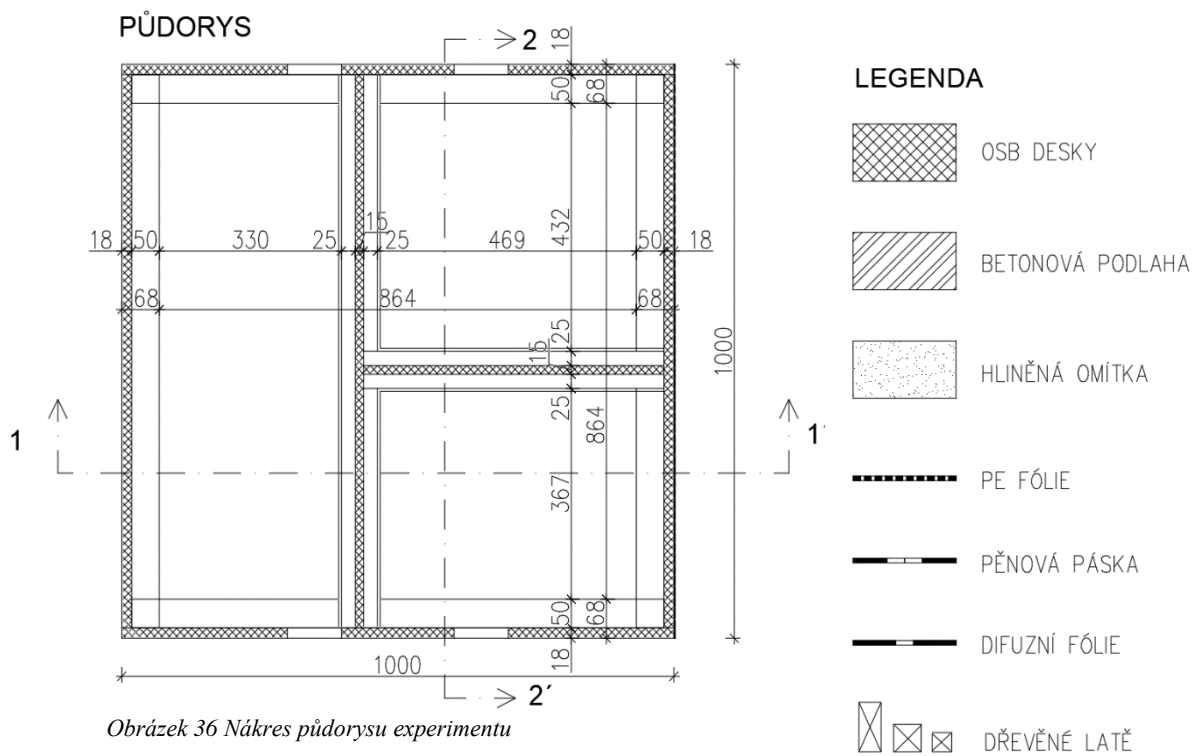
Pěnová páska byla využita ve fázi 3 na vypořádání příček nalepením na vrstvu betonové lité podlahy.

- Difuzní fólie

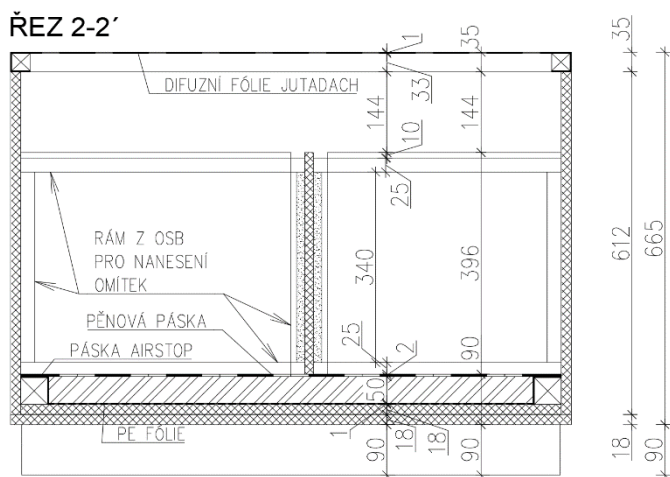
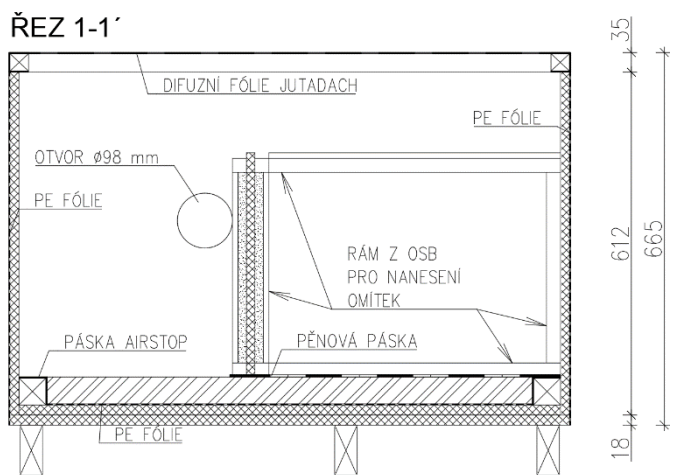
Fólie na víko byla zvolena Difúzně propustná fólie JUTADACH 135. Fólie má faktor difuzního odporu rovný hodnotě 40. Hodnota je změřená a deklarována z UCEEBu.

3.3.4. Vzorek

Vzorek byl navržený tak, aby zjednodušeně připodobňoval reálný pokoj v dřevostavbě s dvěma difuzně uzavřenými skladbami stěn (OSB desky s PE fólií na vnější straně) a dvěma difuzně otevřenými (pouze OSB desky). Do stěn vzorku byly vyřezány kruhové otvory pro umožnění větrání. Jako střecha vzorku byla zvolena difuzní fólie jako napodobení difuzně otevřené skladby střechy v dřevostavbách. Hodnoty na nákresech níže jsou uvedeny v milimetrech.



Obrázek 36 Nákres půdorysu experimentu



3.3.5. Vstupní hodnoty experimentu

Celková konstrukce z OSB desek a s umístěním čidel, fólií a těsnění vážila 54,5 kg. Pro realizaci betonové podlahy byly použity čtyři pytle suché směsi pro lité podlahy a deset litrů vody (celkové množství i na vzorek z kapitoly 3.2 a zbytek). V Tabulka 14 a Tabulka 13 jsou uvedeny konečné hodnoty použitých směsí na experiment beze zbytků. Po celou dobu experimentu bylo vše váženo na váze v hale s přesností na 0,5 kg.

Betonová podlaha

Váha jednotlivých složek	[kg]
Konstrukce bez víka	51,50
Konstrukce + víko	54,50
Víko	3,0
Suchá směs	98,90 (4 pytle)
Suchá směs	24,725 (1 pytel)
Voda	10,00
Vana na míšení	2,15
Vana + suchá směs + voda	111,05
Hotová směs (suchá směs + voda)	108,90
Konstrukce + víko + hotová směs	130,55
Použitá hotová směs na bednu	76,05

Tabulka 12 Hmotnosti jednotlivých složek při realizaci betonové podlahy

Hliněné omítky

Váha jednotlivých složek	[kg]
konstrukce bez víka + beton (po 1. a 2. fázi) + omítky	166,80
suchá hliněná omítka	60,93
voda	10,12
směs na omítky celkem	71,05
směs na omítky použito	30,60
směs na omítky zbytek	40,45
váha příček + směsi omítky	37,90
váha příček	7,30

Tabulka 13 Hmotnosti jednotlivých složek při realizaci hliněných příček

	hotová směs [g]	voda [g]	suchá směs [g]	tloušťka vrstvy [mm]
Betonová podlaha	76050,00	6983,47	69066,53	50
Hliněné příčky	30600,00	4358,51	26241,49	15

Tabulka 14 Hodnoty použitých směsí

Původní návrh byla tloušťka 25 mm u hliněné omítky, ale vzhledem k náročnosti nanášení, nepřilnavému povrchu, absence použití penetračních přípravků na desky OSB a výztužné vrstvy byla tloušťka nakonec cca 15 mm. Také při aplikaci omítek celá vrstva se několikrát sesunula dolů i s výztužnou tkaninou, proto byla tkanina nakonec vynechána.

3.3.6. Realizace experimentu

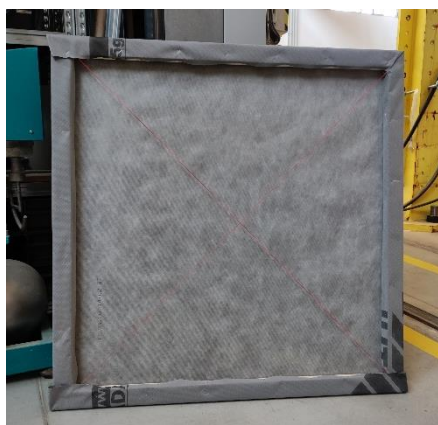
- Fáze 1 a 2

Jako první se sestavovala kostra z dřevěných latí a dno z OSB desek. Na kostru se dnem se poté přivrtávali stěny s předem připravenými otvory. Dále se ke dnu přivrtali dřevěné podkladní latě.



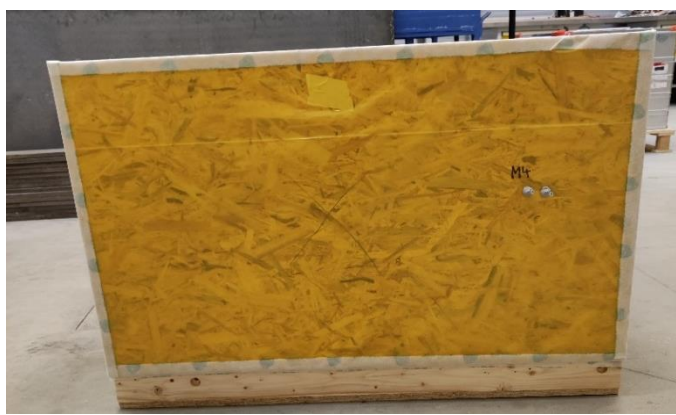
Obrázek 39 Kostra s dnem a podkladními latěmi Obrázek 40 Hotová konstrukce

Dále se pak zkonstruovalo víko. Víko bylo tvořeno dřevěnými latěmi s potaženou difuzní fólií. Ze spodu víka byl natažen provázek pro pozdější zavěšení čidel.



Obrázek 41 Zhotovené víko

Do konstrukce na dno a na stěny 2 a 4 byla natažena PE fólie a v rozích utěsněna AIRSTOP páskami. Pro zajištění stěn proti znečištění byla konstrukce vyložena dočasně malířskou fólií po dobu nanášení podlahy.



Obrázek 42 Vyložená konstrukce PE fólií Obrázek 43 Stěna 4 s nataženou PE fólií

Po zhotovení a osazení čidel probíhala betonáž. Byla zvolena „suchá“ metoda míšení (méně vody, podlaha se pak nelila ale nanášela). Pro míšení se použilo elektrické míchadlo. Míšení probíhalo cirká 10 minut, pak se nechala směs 2-3 minuty odstát a následně proběhlo finální míšení.



Obrázek 45 Vana s hotovou betonovou směsí



Obrázek 44 Vybetonovaná podlaha

Po nanesení podlahy se vzorek celý utěšnil páskou AIRSTOP a otvory se přelepili PE fólií a utěšnili AIRSTOP páskou.



Obrázek 46 Zhotovený vzorek pro fázi 1 a 2

2.11. v 11:30 zhruba po padesáti hodinách od utěšnění vzorku byly odstraněny fólie z otvorů.



Obrázek 47 Odkrytí otvorů

- Fáze 3 a 4

Po čtrnácti dnech (po fázi 1 a 2) se realizovali příčky s hliněnými omítkami. Celý vzorek se odbednil. Příčky byly realizovány z desek OSB o tloušťce cca 15 mm s rámečkem o tloušťce 25 mm (stejná tloušťka jako původní uvažovaná tloušťka vrstvy hliněné omítky). Pod příčky byla umístěna pěnová páska pro lepší stabilizaci (Obrázek 48).



Obrázek 48 Vylepení pěnové pásky



Obrázek 49 příčky z OSB desek

Okraje rámečků na příčkách byly opatřeny maskovací PE páskou viz Obrázek 50. Pro zamezení proti znečištění byla konstrukce vyložena dočasně PE fólií po dobu nanášení omítek.

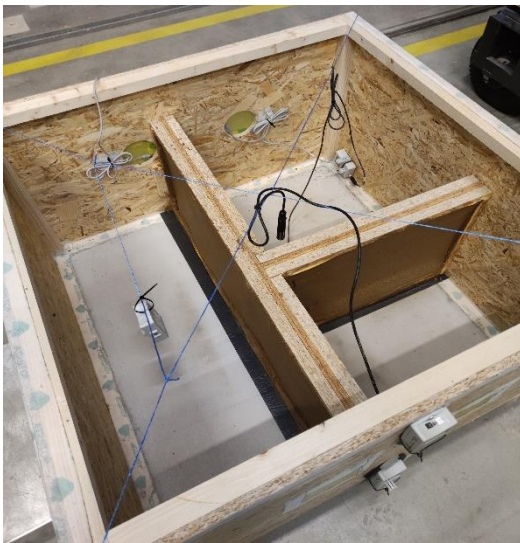


Obrázek 50 Připravený vzorek na nanášení omítek

Omítky byly nanášeny na všechny strany OSB příček. Po neúspěšném pokusu nanášení omítek s výztužnou tkaninou (celá vrstva omítky s tkaninou se sesunula) nebyla tkanina nakonec použita. Příčky byly nanášeny v tloušťce cca 15 mm, ale tloušťka nelze přesně určit z důvodu nerovností povrchu. Po dokončení nanášení byl natažen provázek pro zavěšení čidel 1 a 5 (nově přidané čidlo) viz Obrázek 52.



Obrázek 53 Nanesené hliněné omítky



Obrázek 52 Dokončený vzorek pro fázi 3

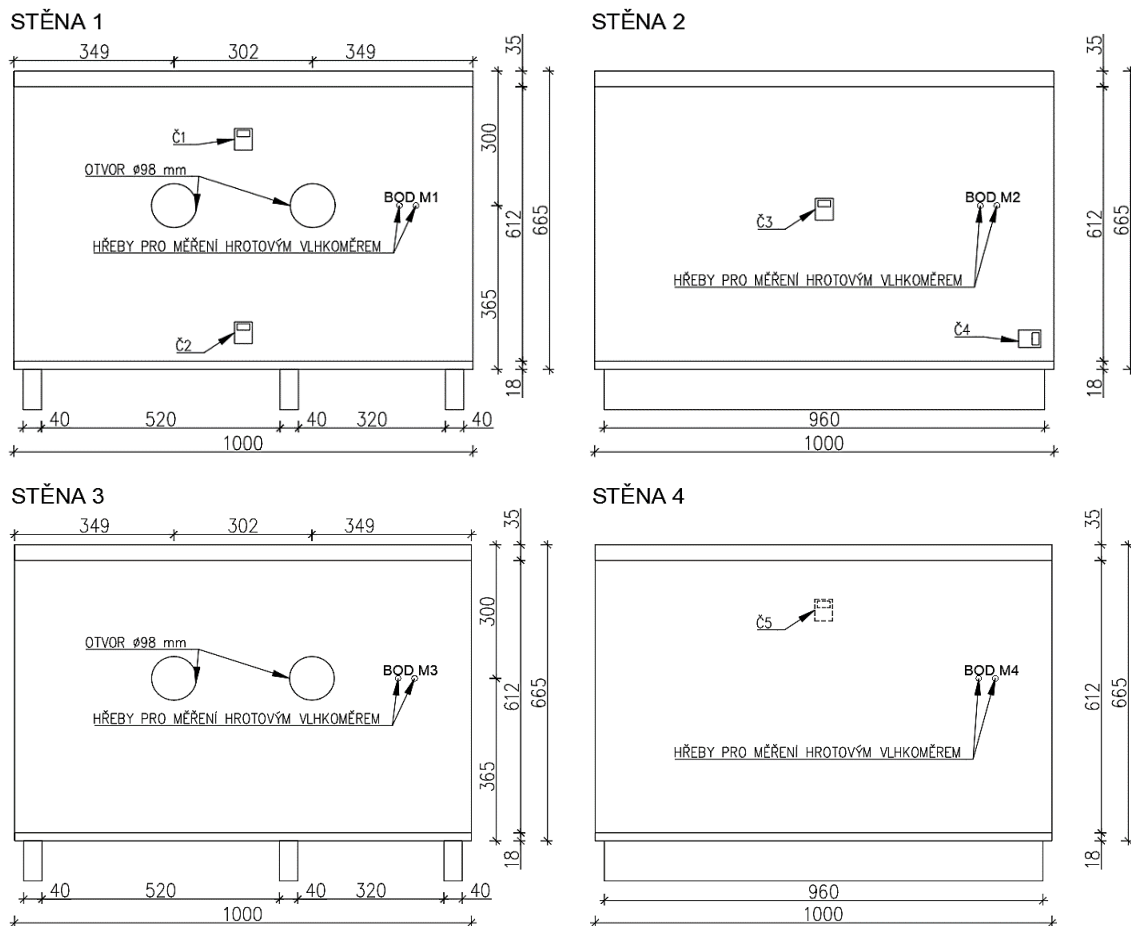
16.11. 13:00 bylo vráceno víko a utěsněny otvory na vzorku viz Obrázek 51. Otvory byly přelepeny vzduchotěsnící páskou.



Obrázek 51 Vzorek ve fázi 4

3.3.7. Osazení čidel

Do vzorku bylo umístěno celkem 5 čidel. Čidlo 1 měřilo vnitřní prostředí vzorku, čidlo 2 měřilo podmínky na hale a teplotu pod fólií pod vrstvou vylité podlahy, čidlo 3 měřilo podmínky stěny 2 mezi fólií a OSB deskou, čidlo 4 měřilo relativní vlhkost a teplotu v rohu vzorku těsně nad vrstvou betonu a teplotu na povrchu vrstvy vylité podlahy a čidlo 5 (přidáno až pro fázi 3 a 4) měřilo podmínky uvnitř vzorku v těsné blízkosti čerstvě nanesených hliněných omítek.



Obrázek 54 Náčrty stěn s umístěnými čidly a body M1-4



Obrázek 56 Umístění čidla 2



Obrázek 55 Umístění čidel 1 a 4



Obrázek 58 Umístění čidla 3



Obrázek 57 Umístění čidla 5

3.3.8. Utěsnění

Na utěsnění vzorku byla použita AIRSTOP páska a PE fólie. Prostupy pro kabely od čidel mezi vnitřním a vnějším prostředím vzorku byly utěsněny lepicí modelínou (gumou) u všech čidel.

3.3.9. Předpoklady

- Vysychání podlahy nahoru a do stran (kromě stěn difuzně uzavřených s PE fólií)
- Podmínky pro vysychání nebudou konstantní, větší výkyvy teplot a relativní vlhkosti (přítomnost osob, otevřená/zavřená vrata haly, venkovní podmínky...)
- nekonstantní rychlost vysychání – na začátku největší úbytek vody
- přebírání vlhkosti od vysychání betonové podlahy do stěn z OSB
- hydratace u betonové podlahy spotřebuje cirká 30 % vody z 1/9 hmotnosti suché směsi (=hmotnost cementu).
 - ➔ celkové množství vody je rovno 6983,47 gramům a na spotřebu hydratace je třeba 2302 gramů viz výpočet níže.
 - ➔ Hmotnost suché směsi: 69066,53 g
 - ➔ Potřeba vody na hydrataci- $69,06653 \cdot 1/9 = 7,6741$ -> $7,6741 \cdot 0,3 = 2,302$ kg = 2302 g
 - ➔ Předpokládané celkové množství: $6983,47 - 2302 = 4681,25$ g

3.3.10. Sledované měření

Pro sledování experimentálního vzorku bylo umístěno 5 čidel pro měření teploty a relativní vlhkosti prostředí, dále pak vyvrtány vruty (body M1-4) pro sledování obsahu vlhkosti stěn (Obrázek 59) a bylo prováděno pravidelné vážení celého vzorku pro sledování úbytku hmotnosti vysycháním vody.



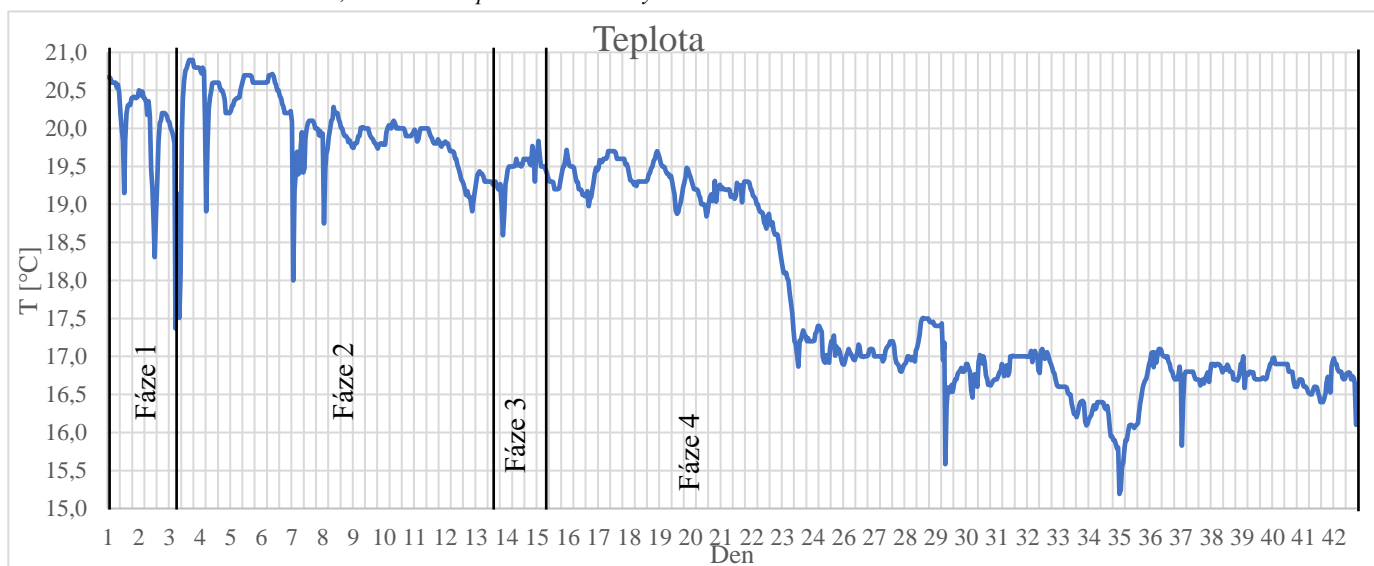
Obrázek 59 Měření vlhkosti hrotovým vlhkoměrem

3.3.11. Okrajové podmínky

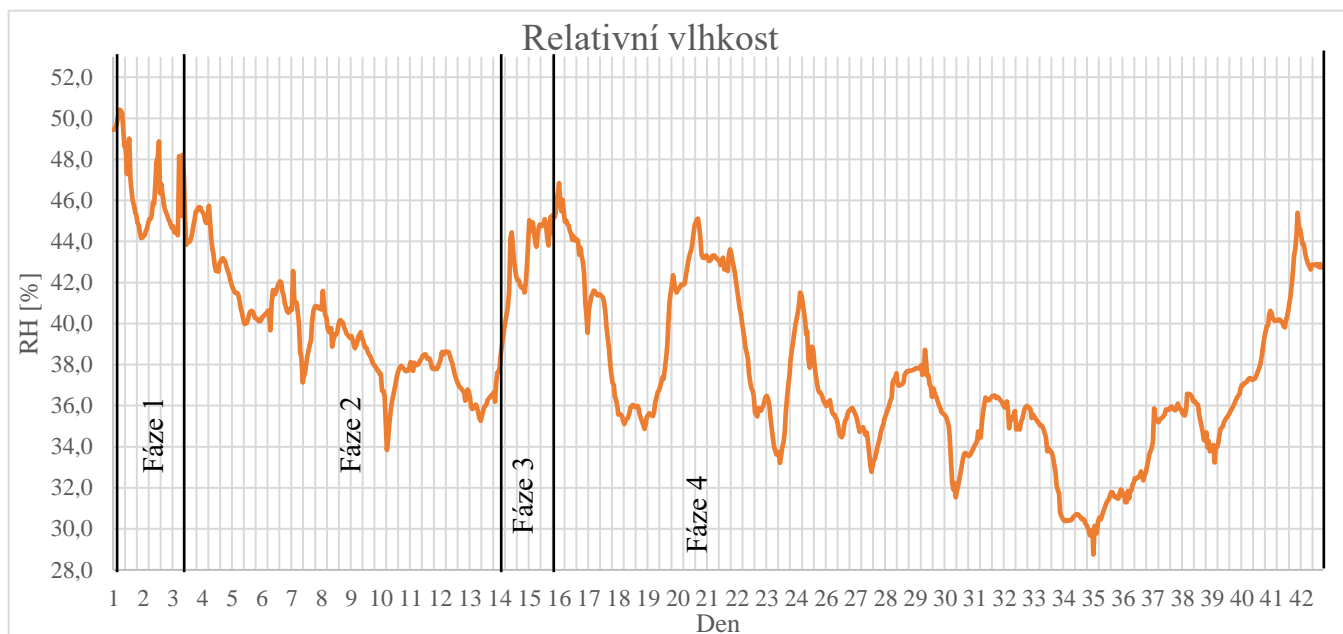
Vzorek byl po celou dobu v podmínkách na hale za naměřených dat z čidla 2. Průměrně byly v hale naměřené podmínky z čidla 2 18,37 °C a 38,46 % RH. Minimální teplota okolního prostředí dosahovala hodnoty 15,19 °C a maximální teplota 22,73 °C. Minimální relativní vlhkost okolního prostředí haly dosahovala hodnoty 28,75 % a maximální relativní vlhkost 50,42 %. Výkyvy v hodnotách jsou způsobeny provozem v hale (přítomností osob), probíhajícími experimenty a změnami venkovních podmínek.

	min	max	průměr
T [°C]	15,19	20,90	18,37
RH [%]	28,75	50,42	38,46

Tabulka 15 Minimální, maximální a průměrné hodnoty T a RH



Obrázek 60 Graf průběhu teploty z čidla 2



Obrázek 61 Graf průběhu relativní vlhkosti z čidla 2

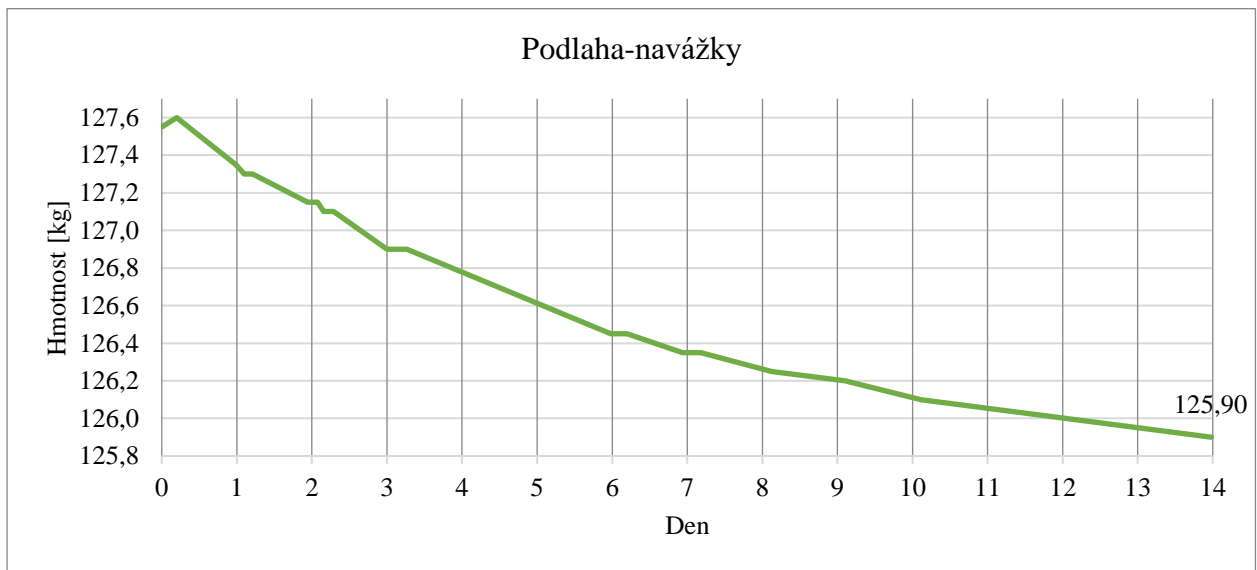
3.3.12. Výsledky a diskuse

- Hmotnost celého vzorku a úbytek vody

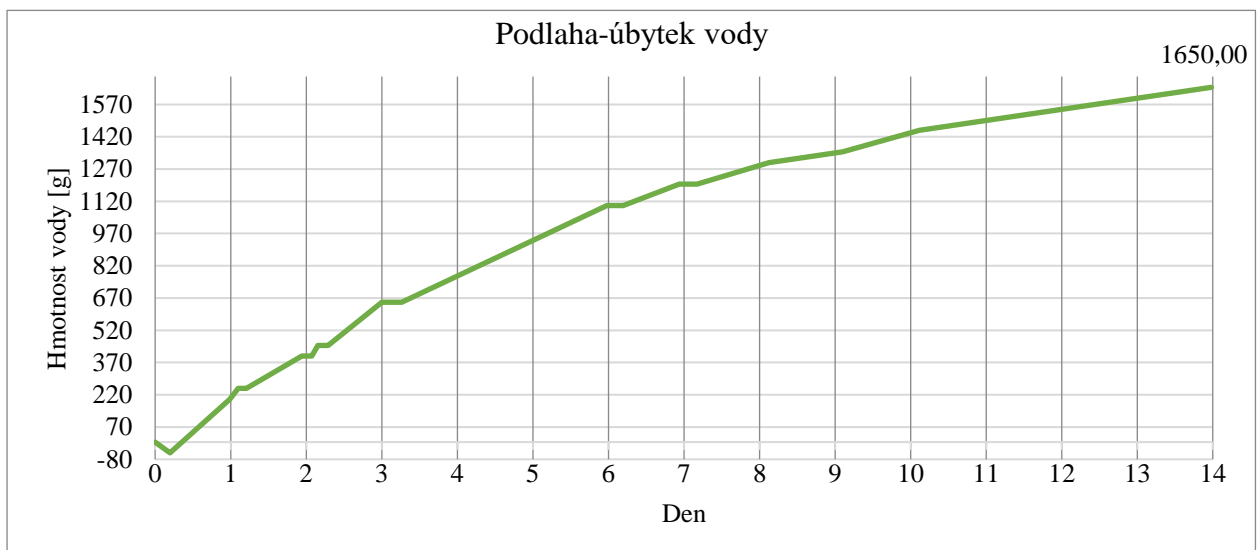
Výsledky betonové podlahy (z fáze 1 a 2)

Na začátku vážení je viditelný z Obrázek 63 a z Obrázek 64 výkyv do plusových hodnot, co se týče hmotnosti celého vzorku (u úbytku vody do hodnot záporných), který je pravděpodobně zapříčiněn přesností váhy. To znamená, že vzorek měl pravděpodobně stejnou hmotnost jako na začátku procesu.

Je zřejmé, že podlaha po těchto fázích ještě zcela nevyschla a vysychání podlahy se bude promítat i do dalších fází. Dle propočtů mělo vyschnout 4681,25 gramů a po 2. fázi vyschlo 1650 gramů vody, což přibližně odpovídá i chování malého vzorku z kapitoly 3.2, když uvážím okolnosti jako v jakém prostředí a podmínkách vysychání probíhalo. Trend křivek odpovídá křivkám z malého vzorku. V celém průběhu jsou pozorovatelné na křivkách zlomy, které jsou způsobeny vážením ten samý den a kvůli malé přesnosti váhy se nedaly zaznamenat přesnější hodnoty úbytku hmotnosti.



Obrázek 63 Graf vážení celého vzorku



Obrázek 64 Graf úbytku vody

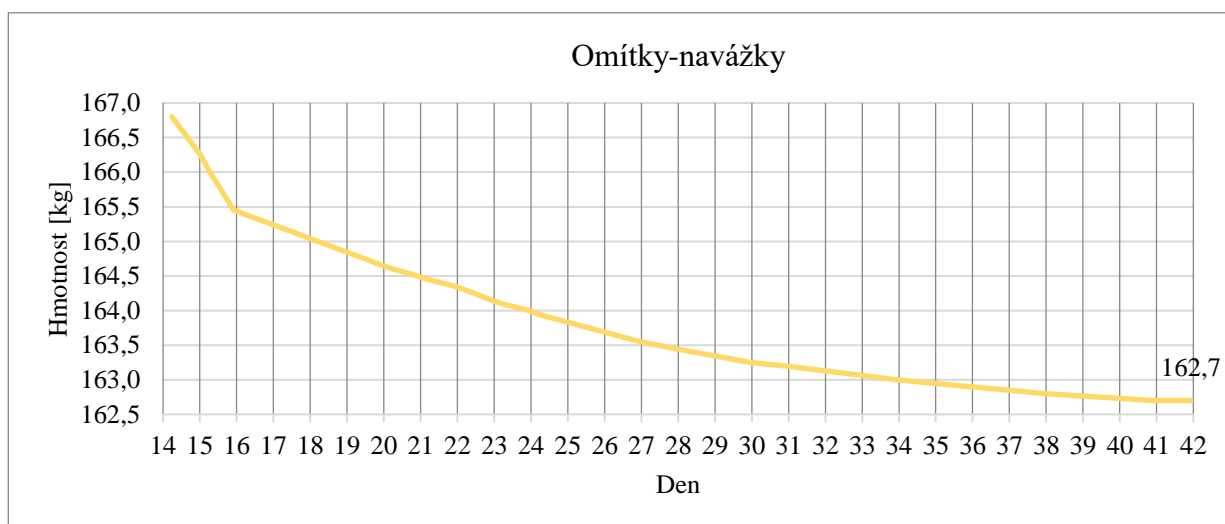
Na konci fáze 2 je povrch znatelně zatvrzelý a pevný. U okrajů je viditelné mírné odtažení způsobené nedostatečným zhuštěním v tomto místě a následným smršťováním betonové vrstvy.



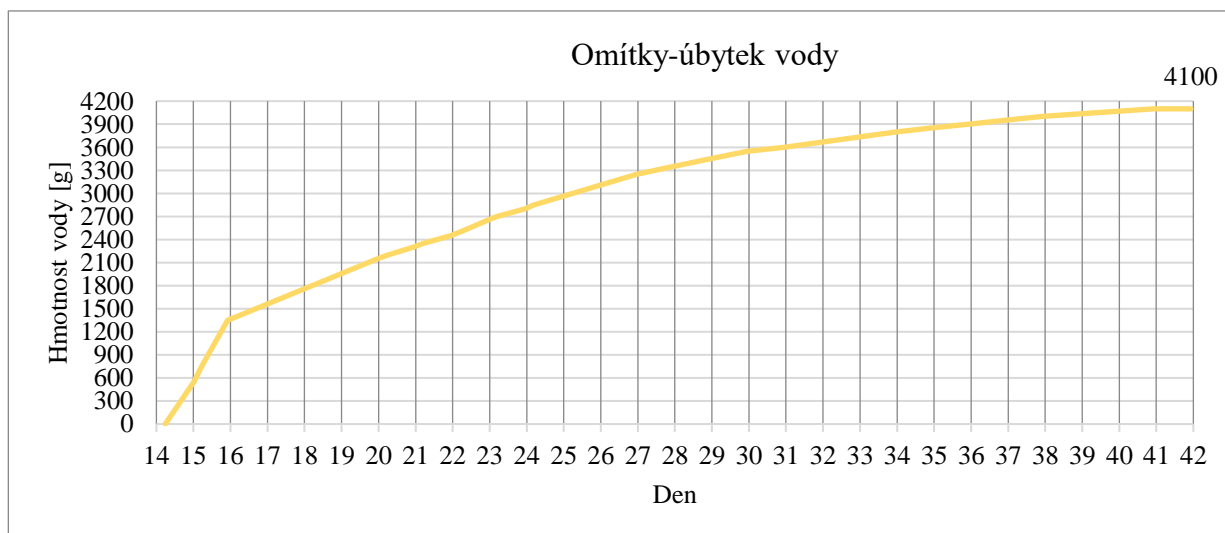
Obrázek 62 Betonová podlaha na konci 2. fáze

Výsledky hliněných omítek (z fáze 3 a 4)

Zde je nutné podotknout, že ještě stále probíhalo vysychání betonové podlahy z fáze 1 a 2 a není tedy možné přesně zaznamenat úbytek vody čistě jen z hliněných omítek. Na začátku průběhu vysychání (Obrázek 65), tak jako v kapitole 3.1 u hliněné omítky, je znatelné prudké strmé vysychání a obecně se trendy obou křivek velmi podobají. Prudké vysychání je také způsobeno celkovým odkrytím vzorku a vystavením tak okolnímu prostředí haly.



Obrázek 66 Graf vážení celého vzorku



Obrázek 65 Graf úbytku vody

Po celkovém zabezení vzorku (po dvou dnech) je pozorovatelný zlom a následné zpomalení vysychání, jelikož se zamezilo jakémukoliv větrání. Z toho plyne, že větrání je velmi důležitou veličinou při zabudování vlhkosti do dřevostavby. Na konci 4. fáze se jeví, že se vysychání ustaluje a pravděpodobně již nebude probíhat v takové míře, jako tomu bylo předtím. Celkové množství vody na hliněné omítky činilo 4358,1 gramů a na konci vyschlo 4100 gramů (počítáno jen za fázi 3 a 4),

ale je nutné brát v potaz, že určitá část vysychala ještě z betonové podlahy, a ještě cirka zbývá vyschnout cirka 3289,8 gramů z celkových 9039,8 gramů (počítáno ze všech fází dohromady). Což činí 64 % vyschnutého celkového množství vody ze vzorku.

Na konci experimentu byl vzorek otevřen a na všech vrstvách omítek jsou jasně viditelné horizontální a šikmé trhliny a také odtržení od vrchního okraje. Jsou způsobené sesouváním vrstvy gravitací dolů zapříčiněné velkým množstvím záměsové vody v omítkové směsi, absencí výztužné vrstvy a špatnou přilnavostí s povrchem OSB desky. Špatná přilnavost také zapříčinila odklonění celé jedné vrstvy viz obrázky níže.



Obrázek 69 Trhliny v hliněné omítce



Obrázek 68 Odtržení vrstvy omítky od vrchního rámu



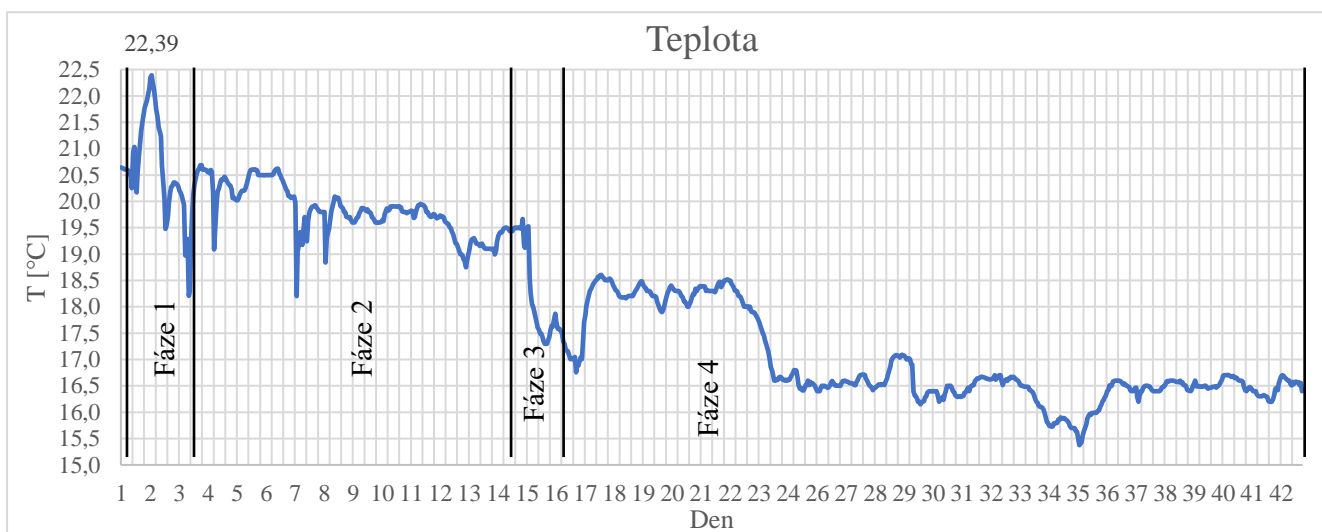
Obrázek 67 Odklonění celé vrstvy omítky od desky

- Data z čidel

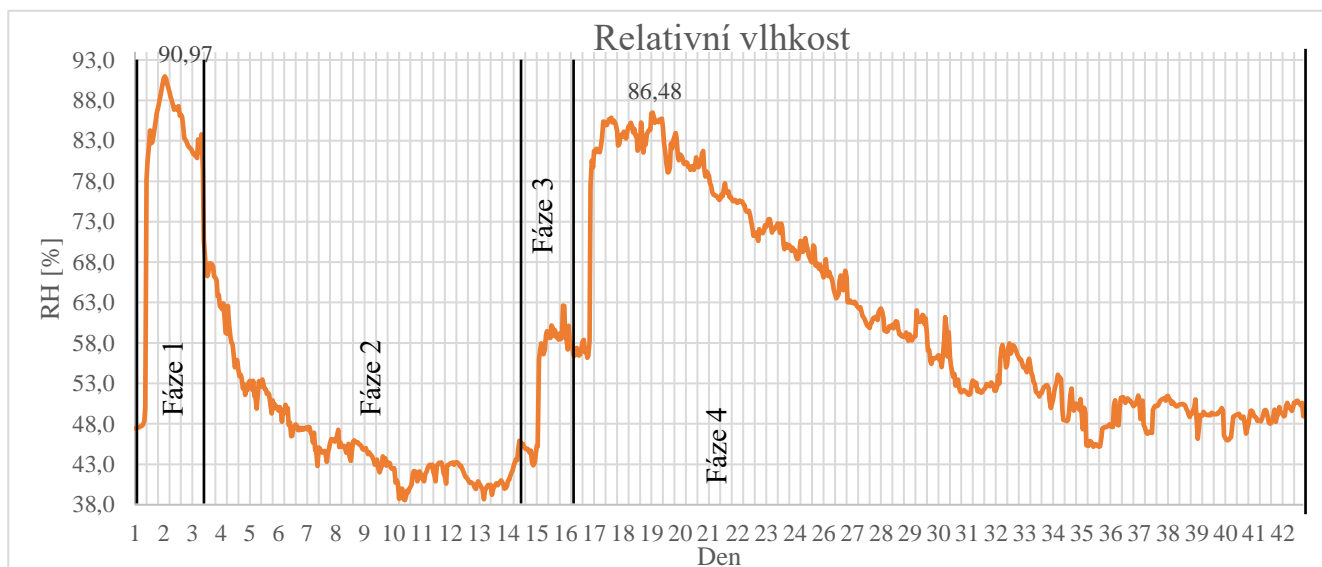
Ke každým datům z čidel byla přidána tabulka s popisem v grafu s minimálními, maximálními a průměrnými hodnotami.

Čidlo 1

Čidlo 1 bylo umístěno za pomoci provázku uprostřed vzorku ve vzduchu. Z čidla je znatelný téměř okamžitý nárůst teploty a relativní vlhkosti v důsledku hydratace na začátku procesu a poté nárůst na začátku fáze 3. Utěsněním a vrácením víka (fáze 4) se dosáhlo pomalejšího klesání relativní vlhkosti. Klesající teplota je způsobena venkovním klimatem (hala je vytápěna na minimum a to 15 °C).



Obrázek 71 Graf průběhu T z čidla 1



Obrázek 70 Graf průběhu RH z čidla 1

	min	max	průměr
T [°C]	15,38	22,39	17,98
RH [%]	38,55	90,97	57,92

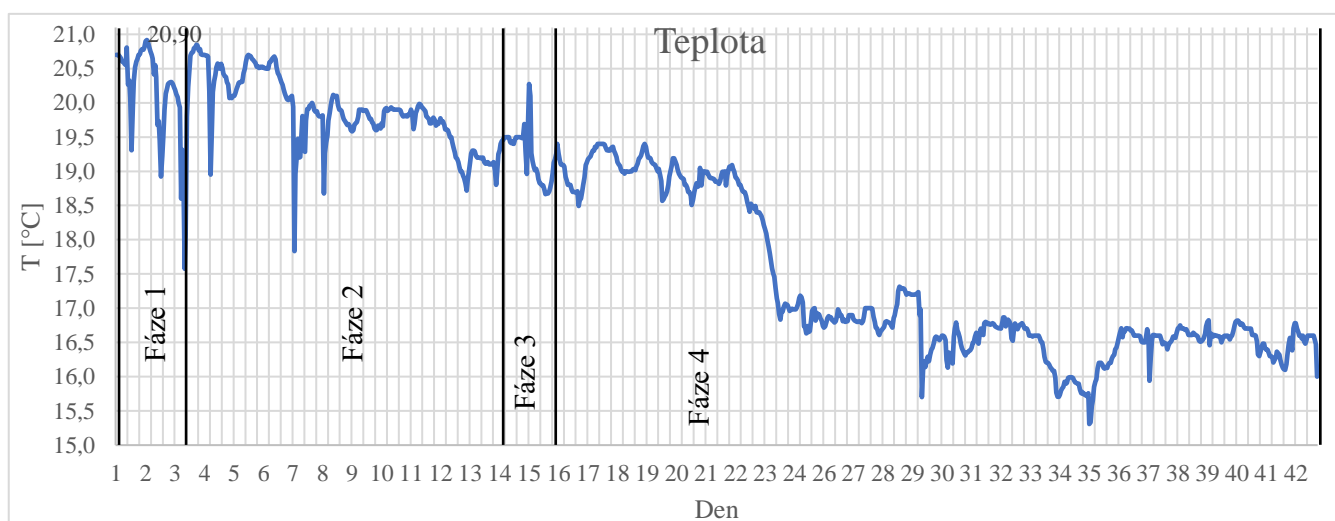
Tabulka 16 Minimální, maximální a průměrné hodnoty T a RH

Čidlo 2

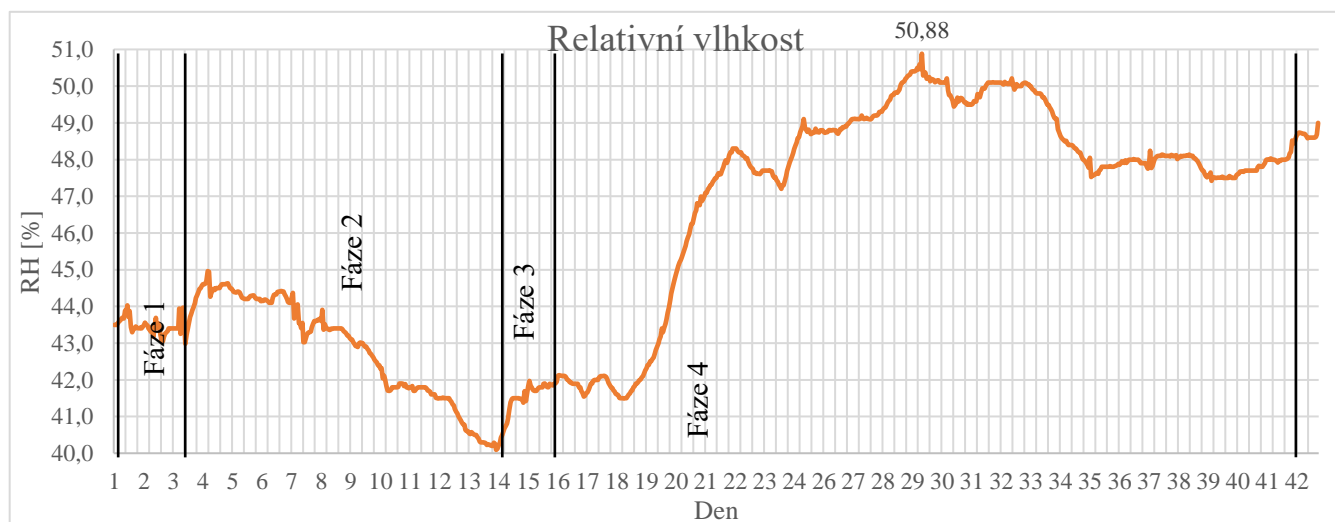
Čidlo 2 měřilo teplotu a relativní vlhkost v hale (viz kapitola 3.3.11) a teplotu ve vzorku pod fólií pod vrstvou betonu. Bohužel se jednalo o chybné čidlo, takže hodnoty teploty pod fólií pod betonovou podlahou nebylo možné zaznamenat.

Čidlo 3

Čidlo 3 bylo umístěna na stěně 2 mezi OSB deskou a fólií. Průběh teploty byl ovlivňován podmínkami v hale. U realizace betonové podlahy je viditelný mírný nárůst relativní vlhkosti a následný pokles. Dále u realizace hliněných omítek je vidět po dobu fáze 3 mírnější nárůst a se začátek fáze 4 prudší nárůst relativní vlhkosti.



Obrázek 73 Graf průběhu T z čidla 3



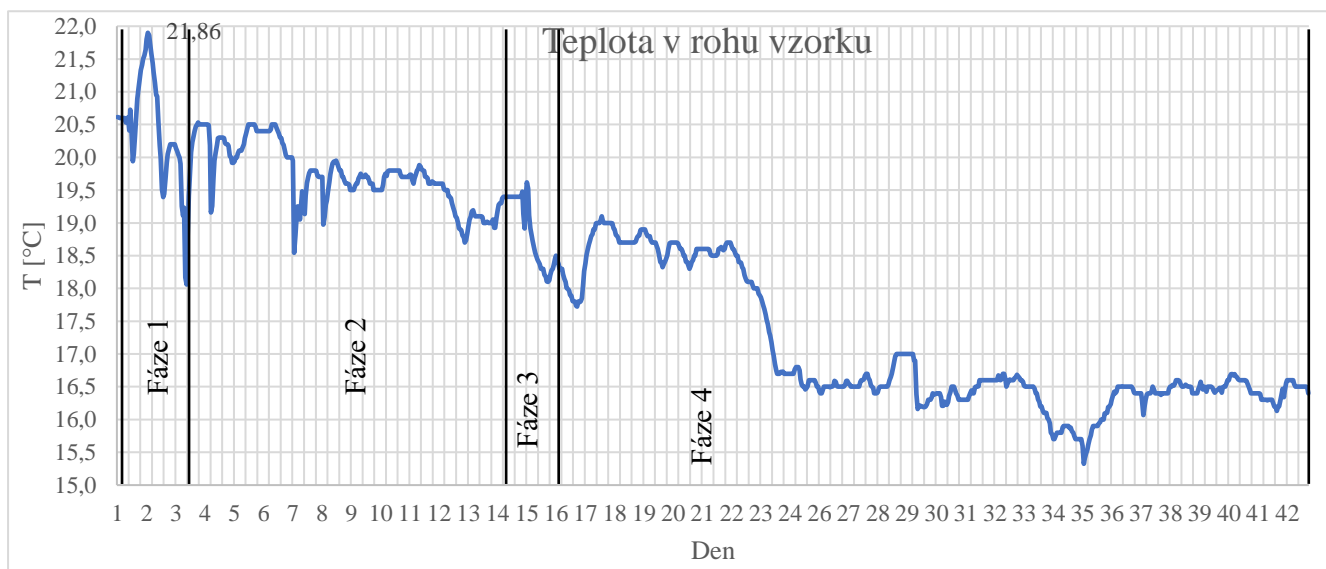
Obrázek 72 Graf průběhu RH z čidla 3

	min	max	průměr
T [°C]	15,31	20,90	18,20
RH [%]	40,09	50,88	45,78

Tabulka 17 Minimální, maximální a průměrné hodnoty T a RH

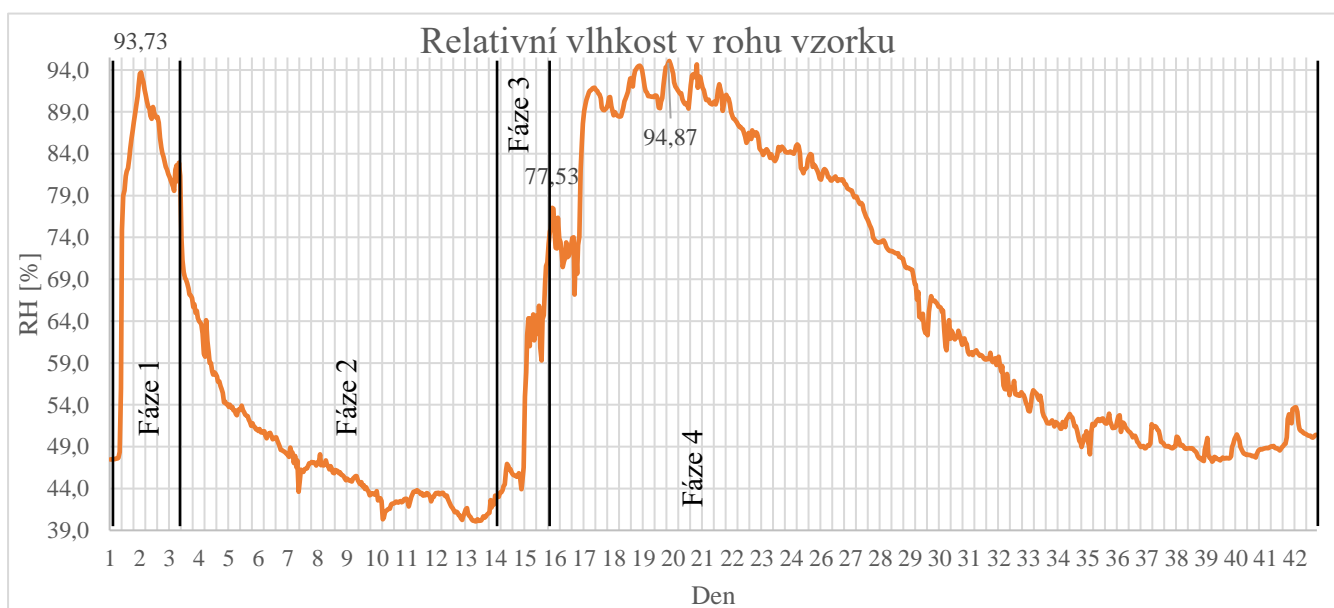
Čidlo 4

Průběhy teploty a relativní vlhkosti z čidla 4, které bylo umístěno dole v rohu vzorku a na povrchu betonové podlahy se velice podobají průběhům z čidla 2, které viselo uprostřed vzorku. Teplota na povrchu podlahy dosáhla vyšší hodnoty než teplota měřená v rohu důsledkem přímého kontaktu s povrchem čerstvého betonu s probíhající hydratací.

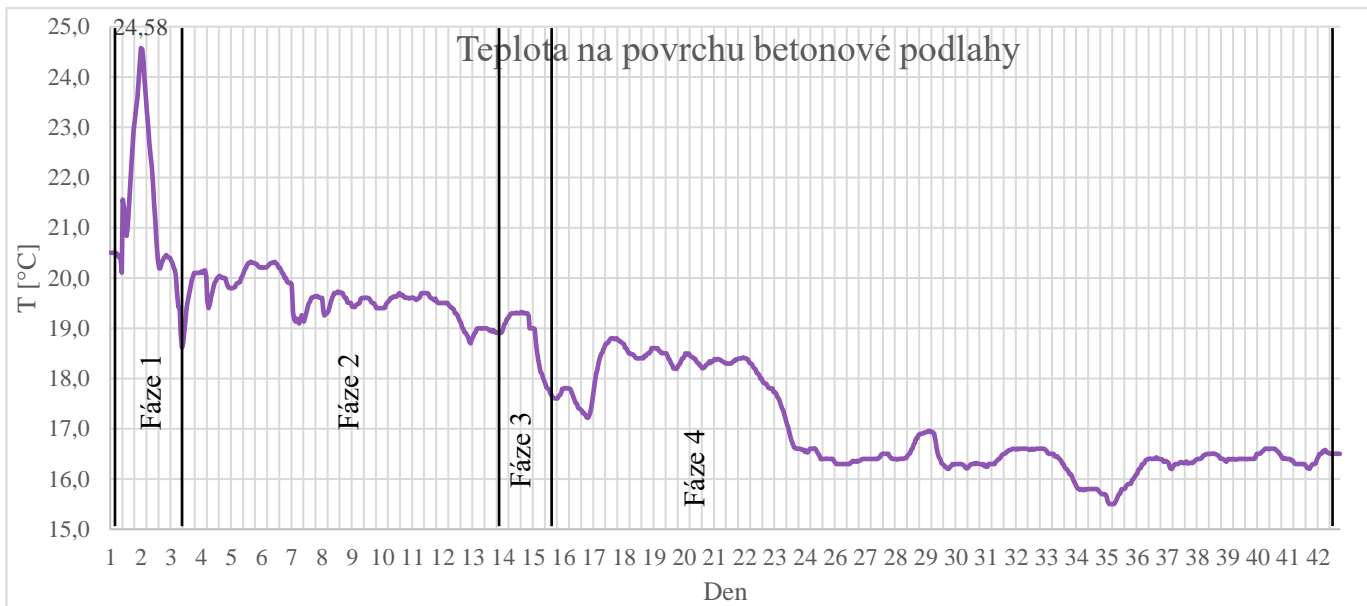


Obrázek 74 Graf průběhu T z čidla 4 v rohu

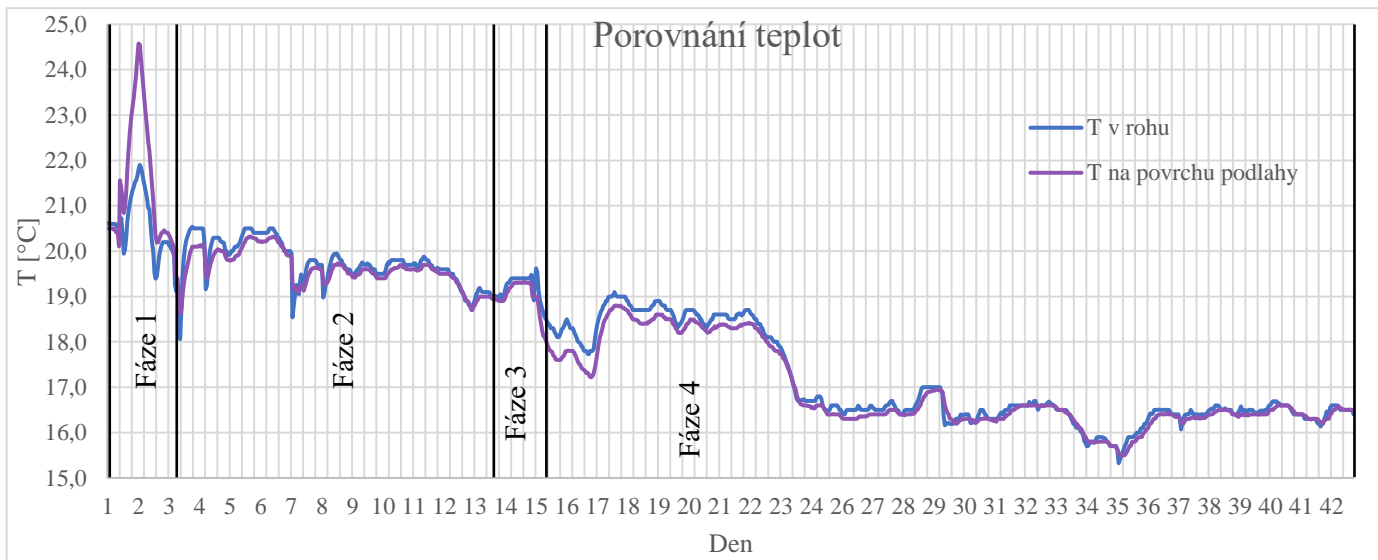
U relativní vlhkosti je pozorovatelný prudký a téměř okamžitý nárůst po zabudování vlhkostí (fáze 1 i fáze 3). U fáze 4 při celkovém ubednění je pozorovatelné udržení vlhkosti, a tudíž vlhkosti trvalo cca pět dní, než se dostala skrz konstrukce ven a začala pomalu klesat.



Obrázek 75 Graf průběhu RH z čidla 4 v rohu



Obrázek 77 Graf průběhu T z čidla na povrchu



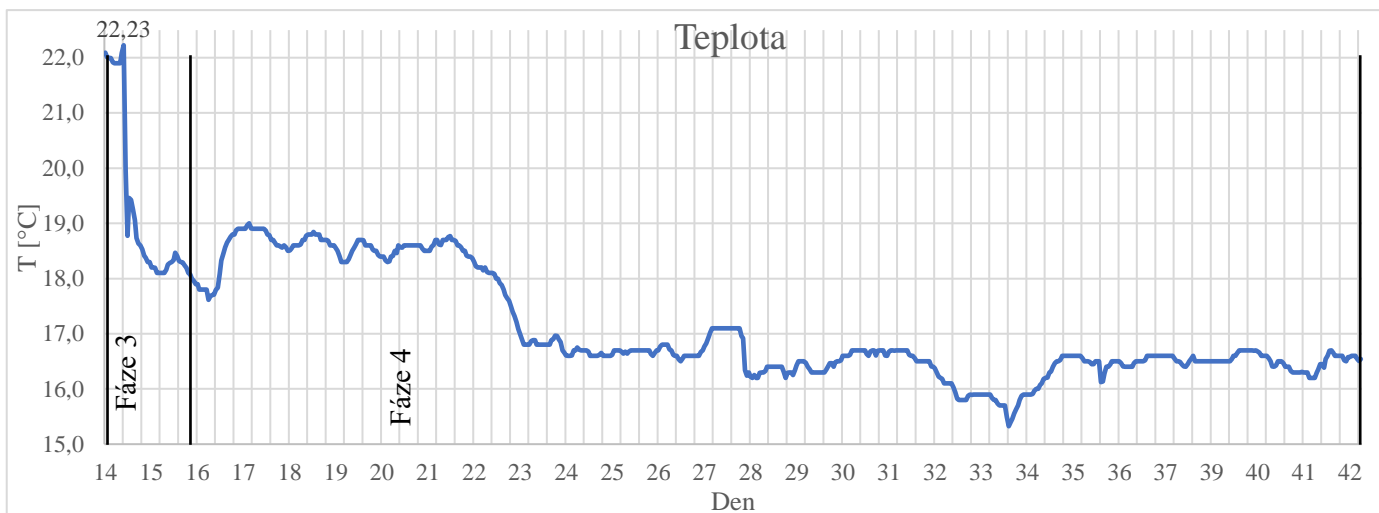
Obrázek 76 Graf porovnání teplot

	min	max	průměr
T roh [°C]	16,3	21,86	17,93
T povrch [°C]	16,25	24,58	17,87
RH [%]	40,08	94,87	57,98

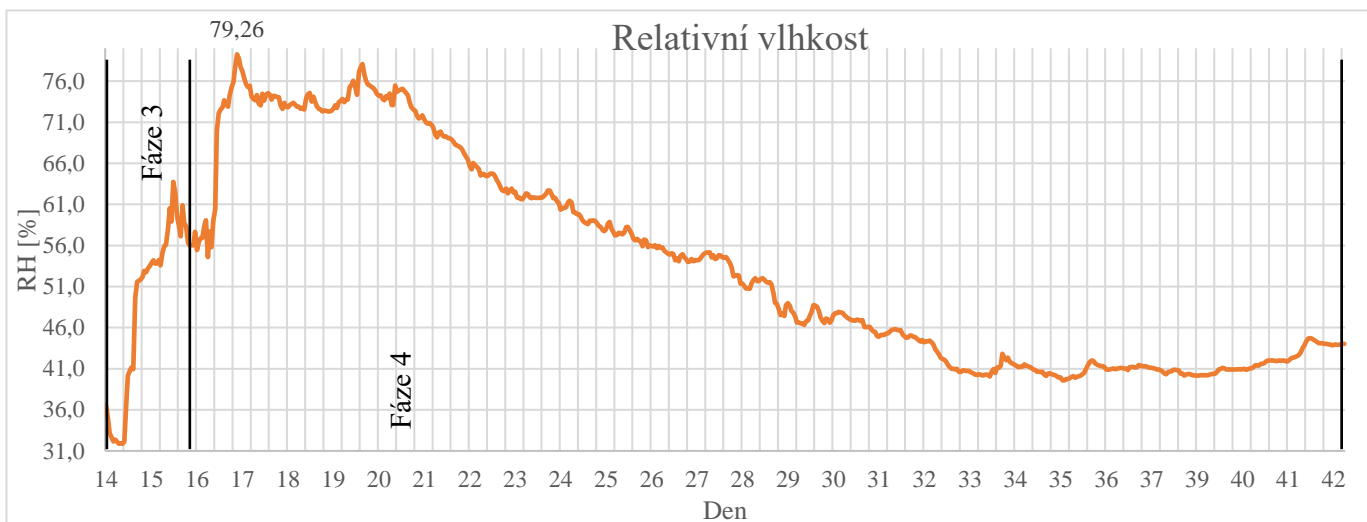
Tabulka 18 Minimální, maximální a průměrné hodnoty T a RH

Čidlo 5

Čidlo 5 bylo přidáno až na fázi 3 a 4. Teplota, tak jako u jiných křivek byla ovlivňována okolními podmínkami v hale. Trend křivky relativní vlhkosti je srovnatelný s průběhy z čidla 2 a 4, ale nedosahuje takových extrémů, protože čidlo bylo vystaveno pouze vysychání jedné vrstvy omítky.



Obrázek 78 Graf průběhu T z čidla 5

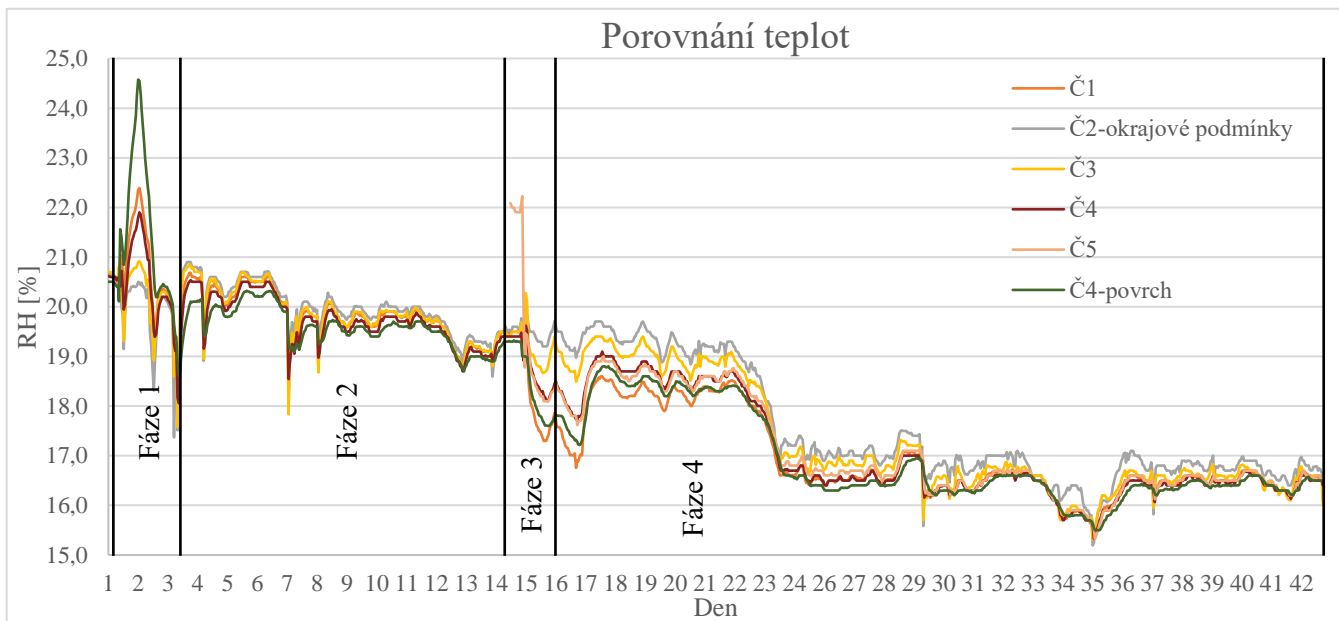


Obrázek 79 Graf průběhu RH z čidla 5

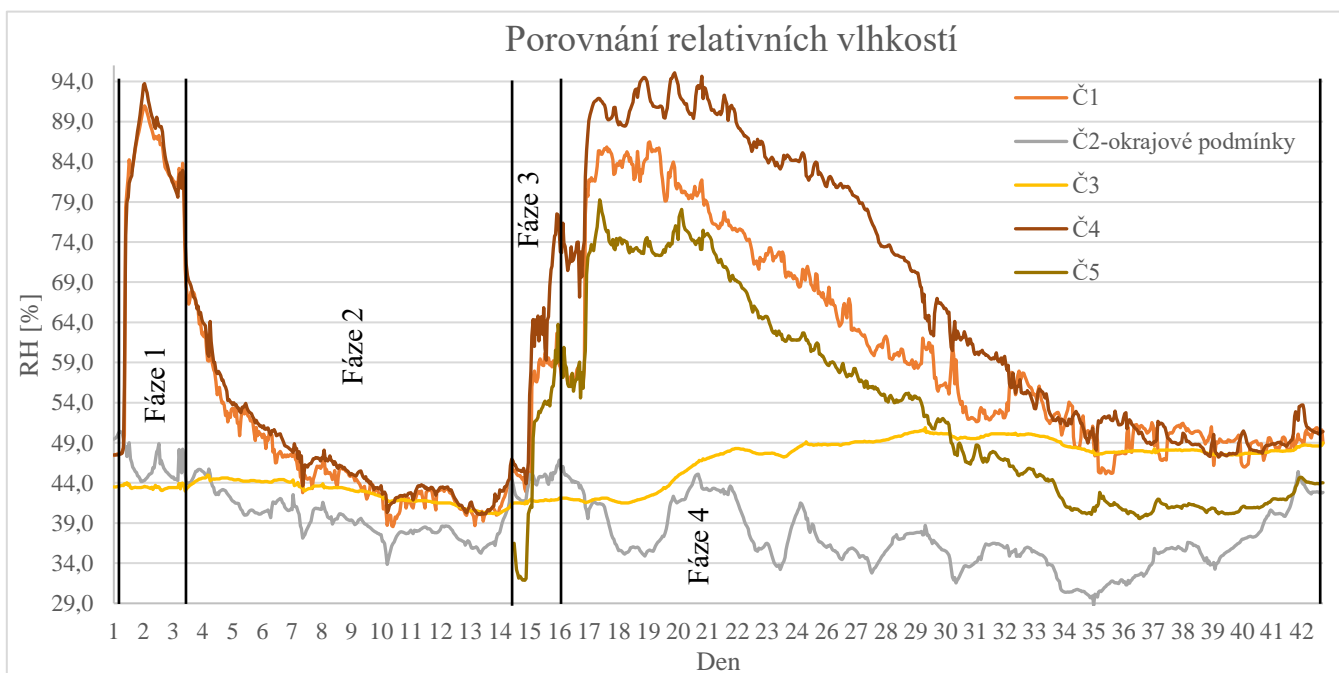
	min	max	průměr
T [°C]	15,33	22,23	17,19
RH [%]	31,87	79,26	53,39

Tabulka 19 Minimální, maximální a průměrné hodnoty T a RH

Z grafu na Obrázek 80 je vidět stejný trend křivek teploty ze všech čidel, protože měření bylo hlavně ovlivňováno teplotou v hale. Výkyvy na začátku křivek z čidel uvnitř vzorku teploty zaznamenávají hydratační teplo od betonové podlahy. Relativní vlhkost uprostřed vzorku nabyla nejvyšších hodnot u realizace betonové podlahy a rychlejšího ustálení při přívodu vzduchu kruhovými otvory uprostřed vzorku. Naopak u povrchu byla maximální relativní vlhkost u hliněných omítek při celkovém větrání (bez víka) a pomalejšího ustálení. Z toho plyne, že vlhkost se držela nejvíce ve spodní části vzorku.



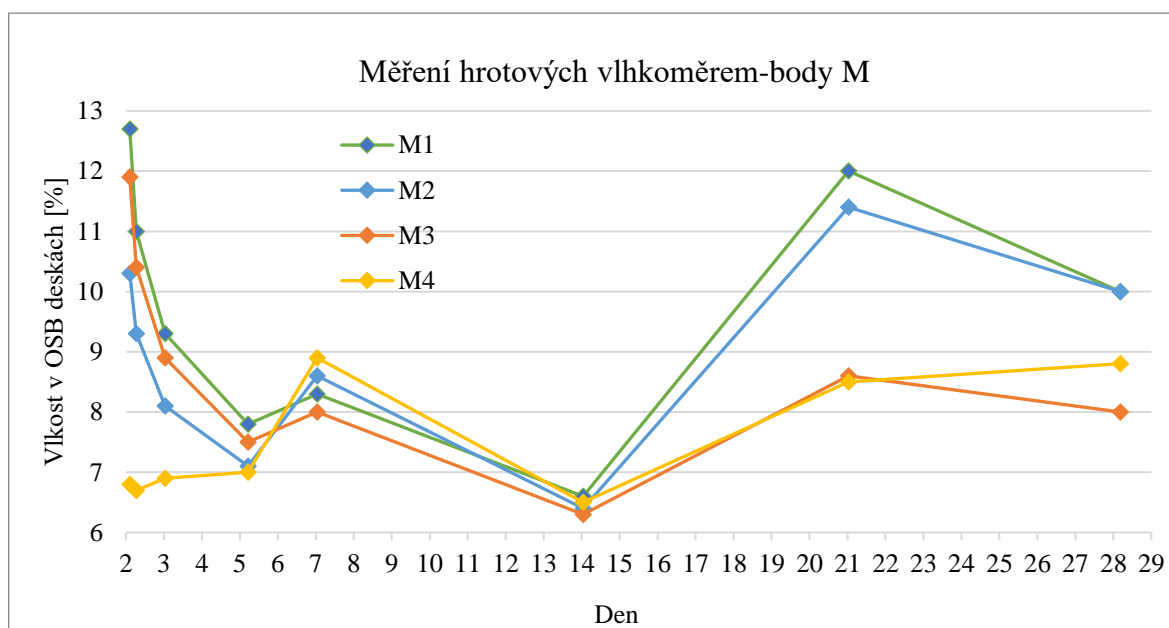
Obrázek 80 Graf porovnání teplot ze všech čidel



Obrázek 81 Graf porovnání relativních vlhkostí ze všech čidel

- Body M1-4

Z bodů M1-4 se dá pouze na začátku fáze 1 a v průběhu fáze 4 pozorovat relevantní hodnoty zvýšené vlhkosti stěn experimentu. Z grafů je viditelná rozdílnost vlhkostí mezi jednotlivými body M z důvodu rozdílnosti skladeb (PE fólie na stěně 2 a 4) a jelikož každý vrut nebyl vyvrtán úplně do stejné hloubky. Dalším důvodem rozdílnosti a nepřesnosti měření je nesprávnost fungování hrotového vlhkoměru do určité hodnoty vlhkosti obsažené v prvku (cca 0-10 %).



Obrázek 82 Graf měření hrotovým vlhkoměrem

3.4. Celkové vyhodnocení experimentů

Z provedených experimentů plyne, že jednou z nejdůležitějších aspektů jsou větrání a okrajové podmínky okolí. Co se týče velikostí vzorků, tak se nedá vyhodnotit horší/lepší chování vůči sobě, jelikož každý ze vzorků byl vystaven jiným podmínkám. V laboratoři malé vzorky při téměř konstantních podmínkách vysychaly dle očekávání bez výraznějších problémů. Důležitou roli také hraje difuzní uzavřenost (použití fólie) a otevřenost skladby. Bylo to pozorovatelné u malých vzorků kde vzorek bez fólií vysychal o něco lépe než vzorek s fólií (v řádu 2-3 % dle tabulky níže). U velkého vzorku u stěny s fólií (stěna 2 a 4) je zaznamenána zvýšená vlhkost mezi fólií a OSB deskou, protože vlhkost se zastavila před vrstvou fólie a poté zpět vysychala skrz desku zpět.

U hliněné omítky u malých vzorků byl problém nečekaný únik vody netěsnostmi, jinak vzorky vysychaly dle předpokladů. Jedna z možností, proč se směs nechovala přesně dle očekávání a nebylo úplně snadné s ní pracovat (hlavně u velkého vzorku) je ten, že suchá směs nějakou dobu pobývala na hale a mohla do sebe natáhnout vzdušnou vlhkost. Tohle tvrzení by chtělo experimentální ověření přímo směsí. Rozhodně je třeba u hliněných omítek používat výztužnou vrstvu a zajistit přilnavější povrch použitím čistého jílu nebo hliněného špricu. Jelikož ani jedna z věcí nebyla aplikována na velkém vzorku, tak byl problém už při nanášení a po skončení experimentu po otevření vzorku měly na sobě vrstvy velké množství trhlin a jedna z vrstev se odklonila od OSB desky.

U sádrové omítky je vidět nižší procenta vyschnuté vody než u omítek hliněných. Je to způsobeno chemickým procesem, popsaným v kapitole 2.2.1.2, který tak jak je tomu u hydratace u betonu také spotřebuje nějaké procento vody.

U betonového potěru jak u malého, tak u velkého vzorku je vidět nejpomalejší vysychání, ale zároveň i nejmenší riziko pro zvýšenou vlhkost v dřevostavbě. Voda, která se dostane do konstrukce stihne vyschnout, jelikož se jedná jen o malé množství uvolněné vody.

Experiment	Vzorek	Obsah vody [g]	Vyschnutá voda [g]	Procentuální vyjádření vysychání
malé vzorky	S-10-1	361,2637	308,9000	86 %
	S+f-15-2	547,6314	446,5000	82 %
	S-15-3	546,9941	458,1000	84 %
	S-20-7	772,2388	637,6000	83 %
	S-25-8	954,4807	777,6000	81 %
	H-15-4	464,1659	446,2000	96 %
	H+f-20-5	632,0511	563,6000	89 %
	H-20-6	606,4755	580,9000	96 %
	H-25-9	746,3325	706,1000	95 %
	B-50-10	540,2443	244,9000	45 %
velký vzorek	podlaha	9039,76	5750	64 %
	hliněné omítky			

4. Simulace vysychání zabudované vlhkosti v softwaru WUFI

Veškeré simulace navazují na proběhlé experimenty z kapitoly 3. Zadané materiály do simulace odpovídají svými vlastnostmi reálně použitým materiálům na experimentech.

4.1. Malé vzorky

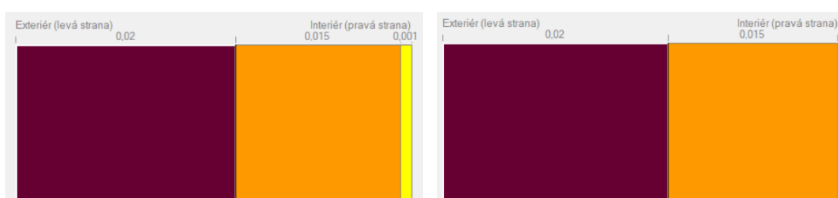
Malé vzorky s omítkami a betonovým potěrem byly simulovány v programu WUFI Pro. Jedná se o stejné vzorky jako v kapitole 3.1.

4.1.1. Uvažovaný model

Namodelované vzorky v programu WUFI Pro přesně kopírují reálně provedené experimenty z kapitol 3.1 a 3.2., tudíž stejné tloušťky, stejné množství směsi a stejné množství zabudované vlhkosti.

- Zadané skladby:

Hliněné omítky



Obrázek 83 Skladby vzorků s hliněnou omítkou zadané do WUFI

Sádrové omítky



Obrázek 84 Skladby vzorků se sádrovou omítkou zadané do WUFI

Betonový potěr



Obrázek 85 Skladby vzorků s betonovým potěrem zadané do WUFI

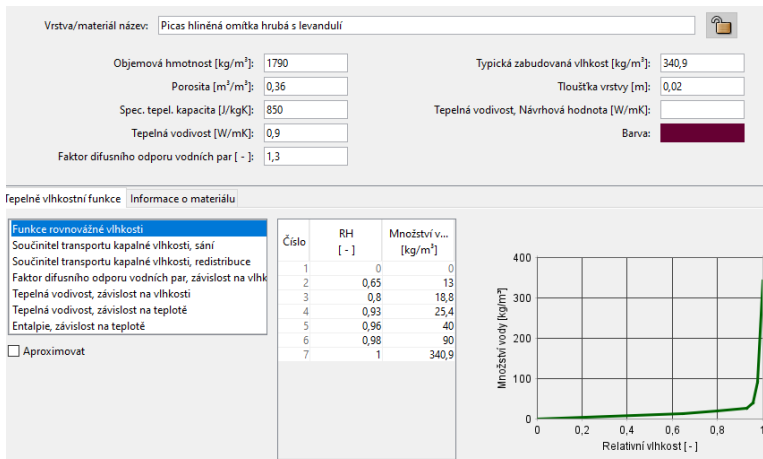
LEGENDA

-  Hliněná omítka
-  Sádrová omítka
-  Betonový potěr
-  OSB deska
-  PE fólie

- Materiály:

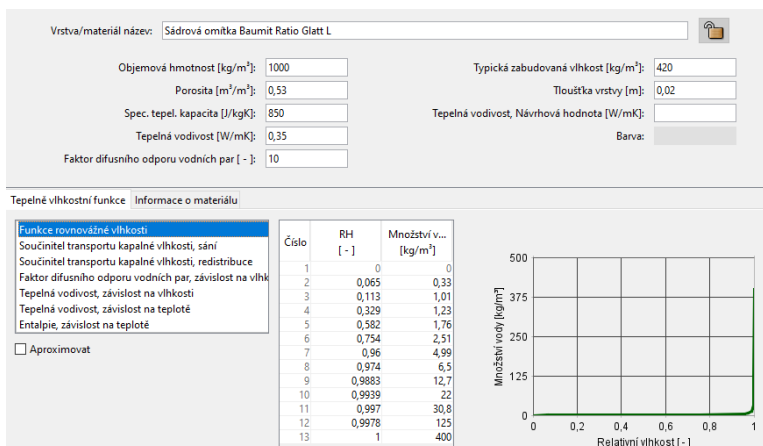
Byly použity stejné materiály a jejich vlastnosti z kapitoly 3. Podrobně zadané parametry jednotlivých používaných materiálů do programu viz níže.

Hliněná omítka



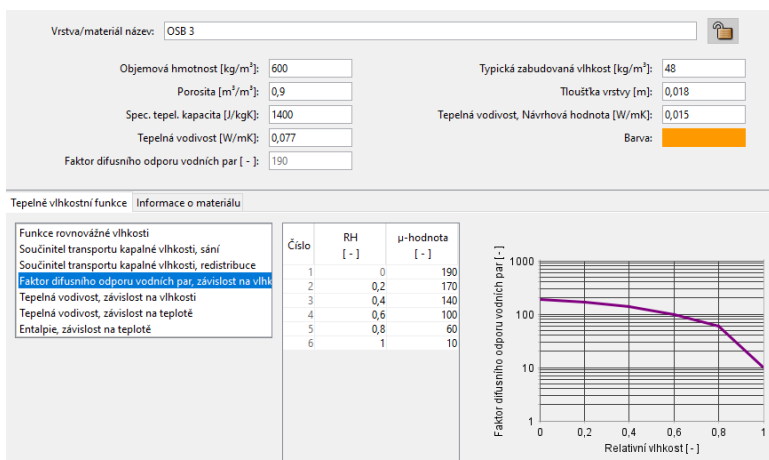
Obrázek 86 Vlastnosti hliněné omítky

Sádrová omítka



Obrázek 87 Vlastnosti sádrové omítky

OSB desky



Obrázek 88 Vlastnosti OSB desek

PE fólie

Vrstva/material název: PE fólie

Objemová hmotnost [kg/m³]: 130
 Porosita [m²/m³]: 0,001
 Spec. tepel. kapacita [J/kgK]: 2300
 Tepelná vodivost [W/mK]: 2,3
 Faktor difuzního odporu vodních par [-]: 50000

Typická zabudovaná vlhkost [kg/m³]:
 Tloušťka vrstvy [m]: 0,001
 Tepelná vodivost, Návrhová hodnota [W/mK]:
 Barva:

Tepelné vlhkostní funkce Informace o materiálu

Funkce rovinné vlhkosti
 Součinitel transportu kapalné vlhkosti, sání
 Součinitel transportu kapalné vlhkosti, redistribuce
 Faktor difuzního odporu vodních par, závislost na vlhk.
 Tepelná vodivost, závislost na vlhkosti
 Tepelná vodivost, závislost na teplotě
 Entalpie, závislost na teplotě

Aproximovat

Číslo	RH [-]	Množství v... [kg/m ³]
1	0	0
2	0,5	0,000485
3	0,6	0,000724
4	0,7	0,00112
5	0,8	0,00188
6	0,85	0,00262
7	0,9	0,00403
8	0,91	0,00448
9	0,92	0,00503
10	0,93	0,00572
11	0,94	0,0066
12	0,95	0,00777
13	0,96	0,00941
14	0,97	0,0119

Obrázek 89 Vlastnosti PE fólie

Betonový potěr

Vrstva/material název: Baumit Betonový potěr Z0

Objemová hmotnost [kg/m³]: 1890
 Porosita [m²/m³]: 0,2
 Spec. tepel. kapacita [J/kgK]: 850
 Tepelná vodivost [W/mK]: 1,6
 Faktor difuzního odporu vodních par [-]: 58

Typická zabudovaná vlhkost [kg/m³]: 179,17
 Tloušťka vrstvy [m]: 0,05
 Tepelná vodivost, Návrhová hodnota [W/mK]:
 Barva:

Tepelné vlhkostní funkce Informace o materiálu

Funkce rovinné vlhkosti
 Součinitel transportu kapalné vlhkosti, sání
 Součinitel transportu kapalné vlhkosti, redistribuce
 Faktor difuzního odporu vodních par, závislost na vlhk.
 Tepelná vodivost, závislost na vlhkosti
 Tepelná vodivost, závislost na teplotě
 Entalpie, závislost na teplotě

Aproximovat

Číslo	RH [-]	Množství v... [kg/m ³]
1	0	0
2	0,33	18,8
3	0,5	19
4	0,65	26,5
5	0,8	37,8
6	0,93	47,3
7	1	168

Obrázek 90 Vlastnosti betonového potěru

4.1.2. Vstupní hodnoty

- Orientace/sklon/výška

Orientace

Sever

Sklon

Sklon [deg] 90

Výška budovy/Součinitel hnaného deště

Výpočet zatížení deštěm podle normy ASHRAE 160P

Nizká budova, výška do 10 m

R1 [-] 0
 R2 [s/m] 0.07

Pozn.
 Zatížení deštěm =
 Déšť * (R1 + R2 * rychlost větru)

Obrázek 91 Parametry zadané do WUFI

- Součinitele přestupu

Obrázek 92 Součinitele přestupů

- Počáteční podmínky

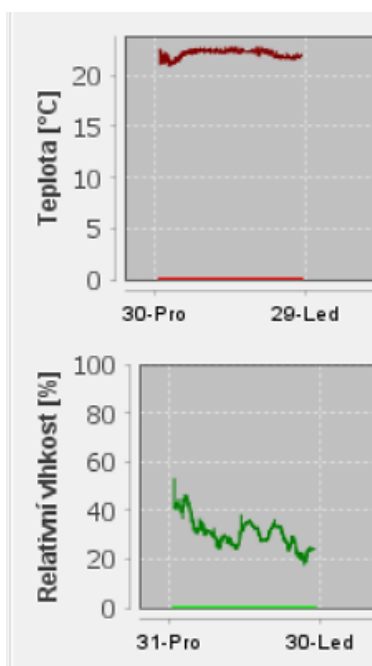
Do programu WUFI byly zadáno zabudované množství vody viz Tabulka 20. Odhad vlhkosti OSB desky byl 48 kg/m³

materiál	vzorek	hmotnost vody [g]	hmotnost vody [kg]	plocha vrstvy [m ²]	tloušťka vrstvy [mm]	tloušťka vrstvy [m]	množství vody [kg/m ²]	množství vody [kg/m ³]
Hliněná omítka	H+f-20-5	632,0511	0,632051	0,09	20	0,02	7,02	351,14
	H-20-6	606,4755	0,606475	0,09	20	0,02	6,74	336,93
	H-15-4	464,1659	0,464166	0,09	15	0,015	5,16	343,83
	H-25-9	746,3325	0,746333	0,09	25	0,025	8,29	331,70
Sádrová omítka	S-10-1	361,2637	0,361264	0,09	10	0,01	4,01	401,40
	S+f-15-2	547,6314	0,547631	0,09	15	0,015	6,08	405,65
	S-15-3	546,9941	0,546994	0,09	15	0,015	6,08	405,18
	S-20-7	772,2388	0,772239	0,09	20	0,02	8,58	429,02
	S-25-8	954,4807	0,954481	0,09	25	0,025	10,61	424,21
Betonový potěr	B-50-10	806,2443	0,806244	0,09	50	0,05	8,96	179,17

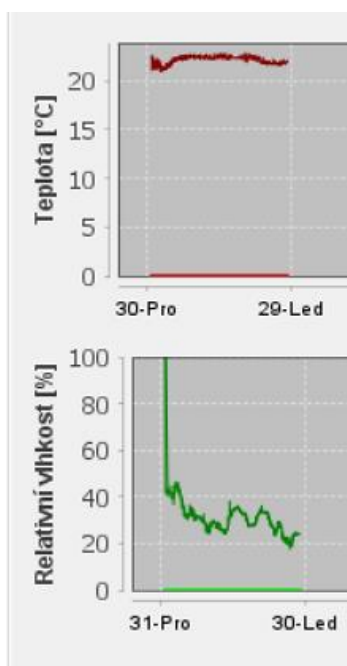
Tabulka 20 Zabudované množství vody

- Okrajové podmínky

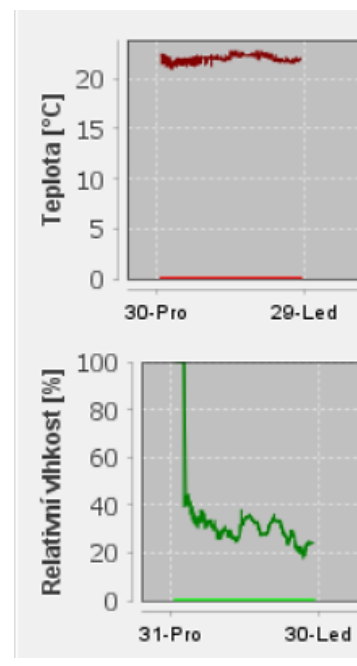
Okrajové podmínky byly do programu zadány stejné, jako v kapitole 3.1.8, kromě prvních hodnot, jelikož byly vzorky přikryty PE fólií na nějakou dobu. Hliněné omítky byly zakryty na cirká 5 hodin hned po nanesení. Sádrové omítky a betonový potěr byly zakryty na cirká 48 hodin po nanesení. Na tyto počáteční hodiny byla relativní vlhkost na vnější straně do programu zadána jako 100 % a ve zbytku průběhu hodnoty odpovídají těm naměřeným z čidel.



Obrázek 93 Vnitřní klima pro všechny vzorky stejné



Obrázek 94 Vnější klima pro hliněné omítky



Obrázek 95 Vnější klima pro sádrové omítky a betonový potěr

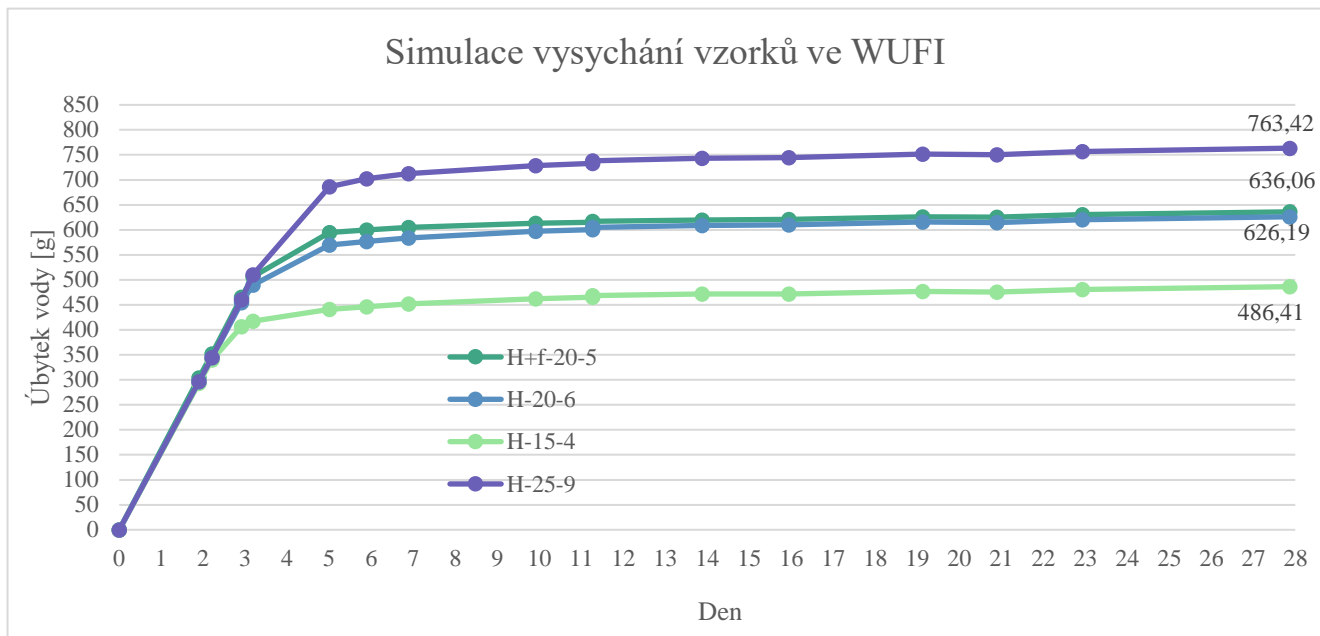
U vzorku s betonovým potěrem byl přidán propad vlhkosti o hodnotě konstantní hodnotě 0,00107 kg/h*m² (hodnota byla do programu zadána v záporných hodnotách) na prvních 240 hodin od chvíle zabudování (odhad z výsledků, kde křivka začínala mít jiný tvar než u naměřených dat), protože pravděpodobně WUFI nedokáže přesně započítat hydrataci cementu.

- Dle průběhů vysychání a ze simulace ve WUFI je pravděpodobné, že hydratace byla rozložena cirká do 240 h
- Na hydrataci byla spotřebováno 0,266 kilogramů vody (viz kapitola 3.3.9)
- $0,266/240=0,00107$ kg/h*m²

4.1.3. Výsledky a diskuse

- Hliněná omítka

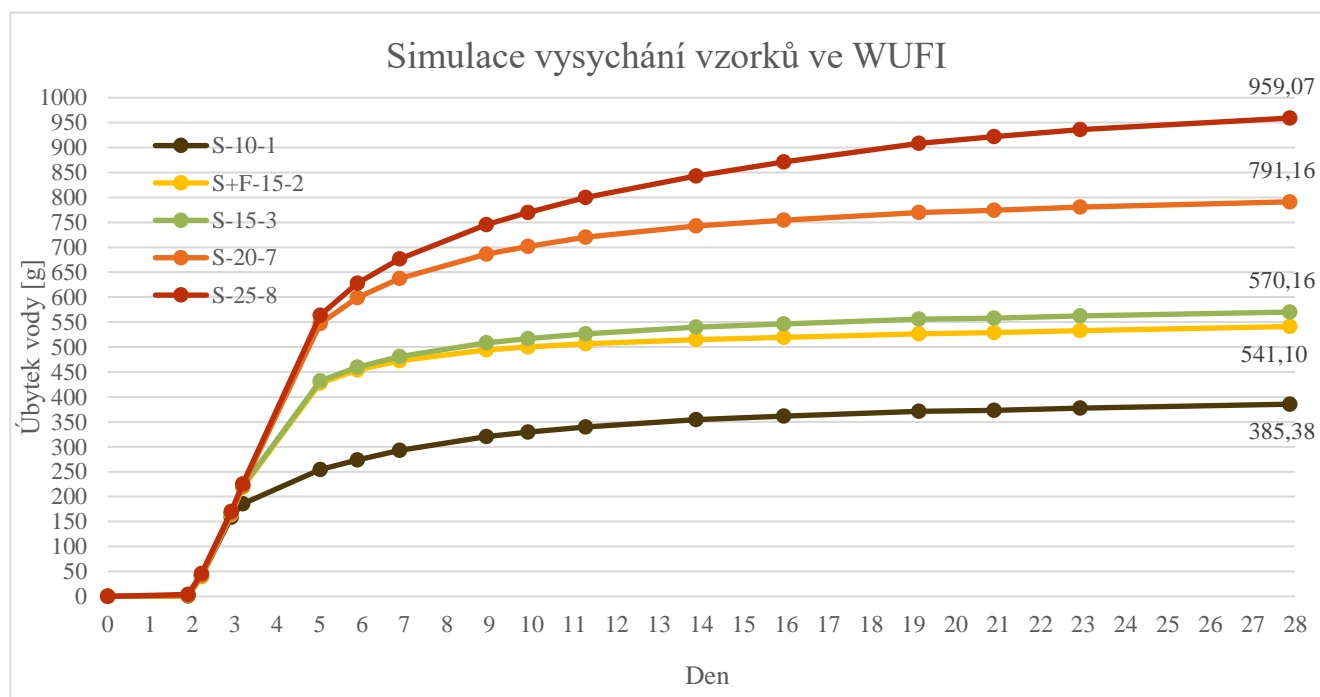
Z grafu je pozorovatelné prudké vysychání vzorku a poměrně rychlé ustálení.



Obrázek 96 Simulace hliněných omítek

- Sádrová omítka

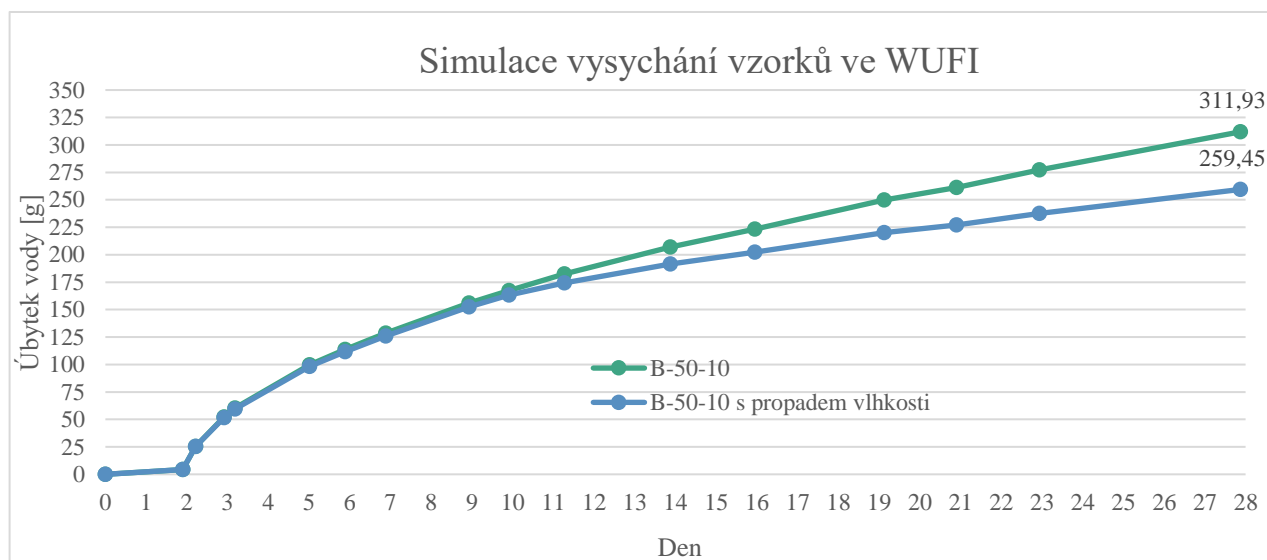
Z grafu je pozorovatelný nulový úbytek vody za prvních 48 hodin kvůli zakrytí fólií, následně pak rychlé prudké vysychání a ustálení po několika dnech.



Obrázek 97 Simulace sádrových omítek

- Betonový potěr

Z grafu je vidět za prvních 48 hodin procesu vysychání téměř nulový úbytek vody u obou variant z důvodu zakrytí fólií viz Obrázek 32. Simulace s bez propadu vlhkosti dosáhl vyšší konečné hodnoty vyschnutého množství vody než v simulaci bez propadu vlhkosti.



Obrázek 98 Simulace betonového potěru

4.1.4. Porovnání s naměřenými hodnotami experimentu

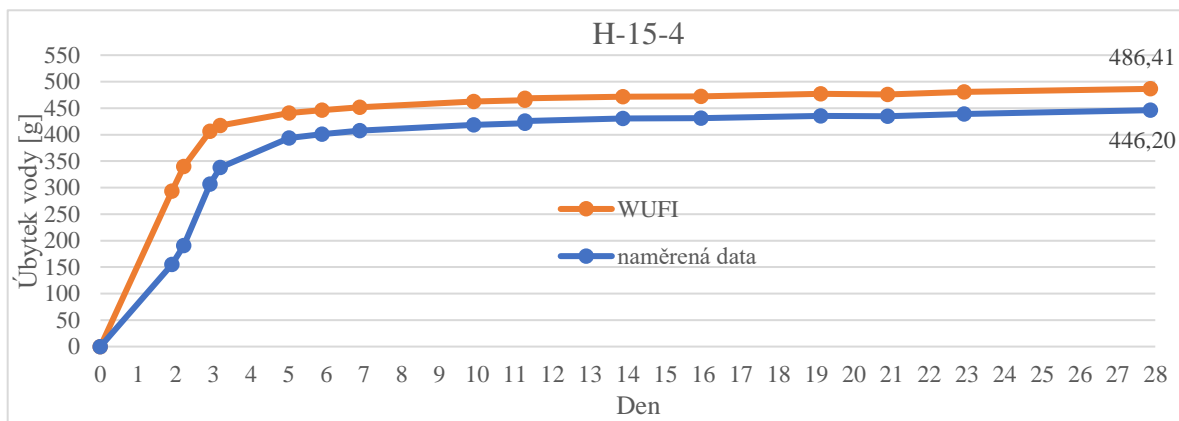
Vypočítané hodnoty ze softwaru WUFI Pro byly porovnávány s výsledky experimentu z kapitol 3.1 a 3.2. Následujících několik stran (strana x-x) je věnováno jednotlivým vzorkům s grafem úbytku vody, grafem rozdílů v hodnotách WUFI (od předchozí hodnoty se odečítá ta následující v daném měření) a naměřených hodnot v tabulce s vypsáními výstupními hodnotami měření, výstupními hodnotami z WUFI a jejich vzájemné odečty a úbytky. Všechny grafy odečtů mají na svislé ose v gramy vody a na vodorovné ose v dnech přesně tak, jak je tomu u grafu úbytku vody. Veškeré hodnoty v následujících výstupních tabulkách jsou uvedeny v gramech.

U hliněných omítek je viditelný stejný trend měřených a simulovaných křivek až na vzorek H-25-9. Neshoda může být způsobena únikem vody na začátku procesu (WUFI s tímto nepočítá). Největší rozptyl v měření činí 72,44 gramů vody, a to u vzorku H+f-20-5. Ostatní rozdíly na konci procesu se pak pohybují od 40 do 57,32 gramů.

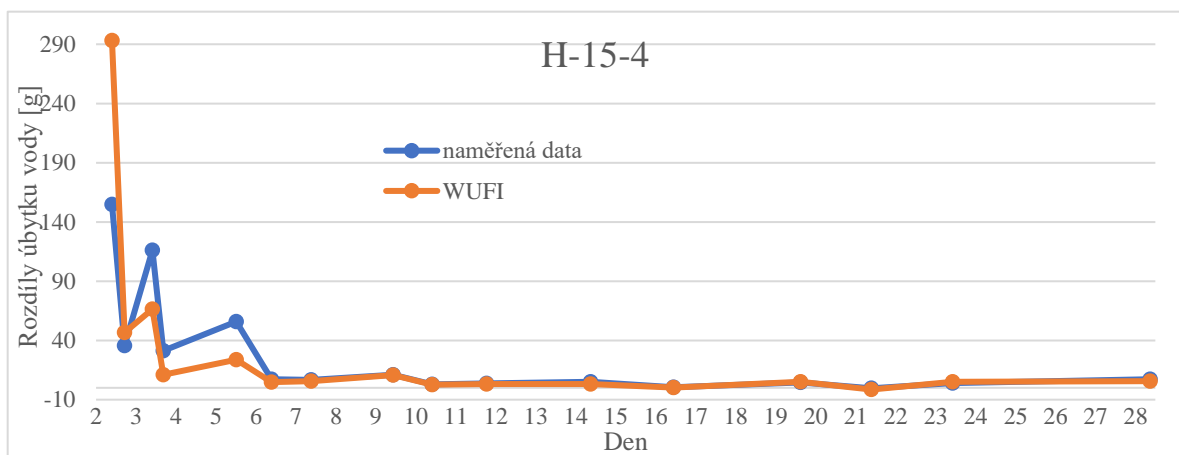
U sádrových omítek je vidět daleko větší shoda (Hlavně u vzorku S-10-1) na začátku procesu než u omítek hliněných. Pravděpodobně při přidání propadu vlhkosti se trendy křivek srovnají, tak jako u vzorku s betonovým potěrem. Rozdíly v gramech vyschnuté vody jsou úměrně větší s tloušťkou vrstvy. U vzorku S-10-1 je rozdíl 76,48 gramů a u vzorku S-25-8 je rozdíl už 181,47 gramů.

U betonového potěru je vidět, že WUFI Pro pravděpodobně nepočítá se spotřebou vody k hydrataci a při přidání propadu vlhkosti mají křivky stejný trend a minimální rozdíl na konci procesu.

- Hliněné omítky
 - H-15-4



Obrázek 100 Graf úbytku vody

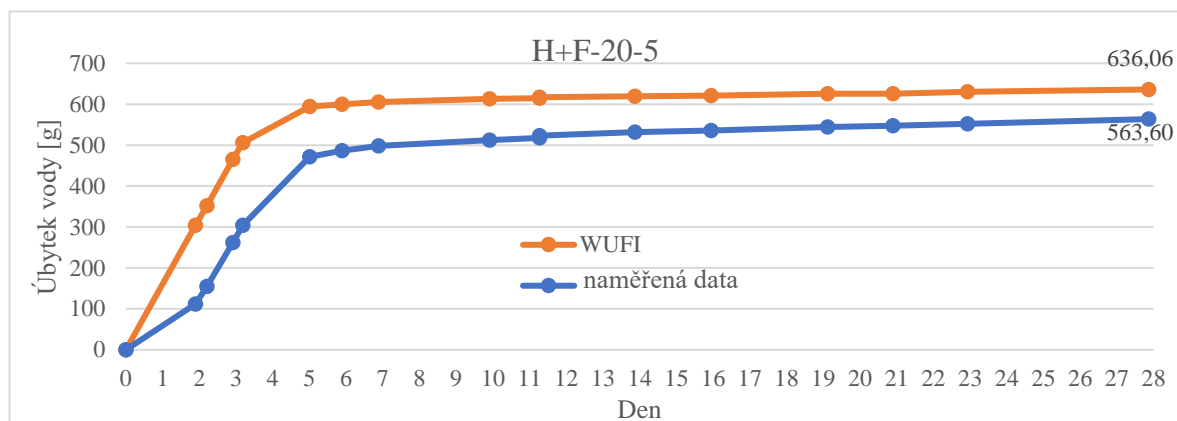


Obrázek 99 Graf odečtů hmotnosti vody

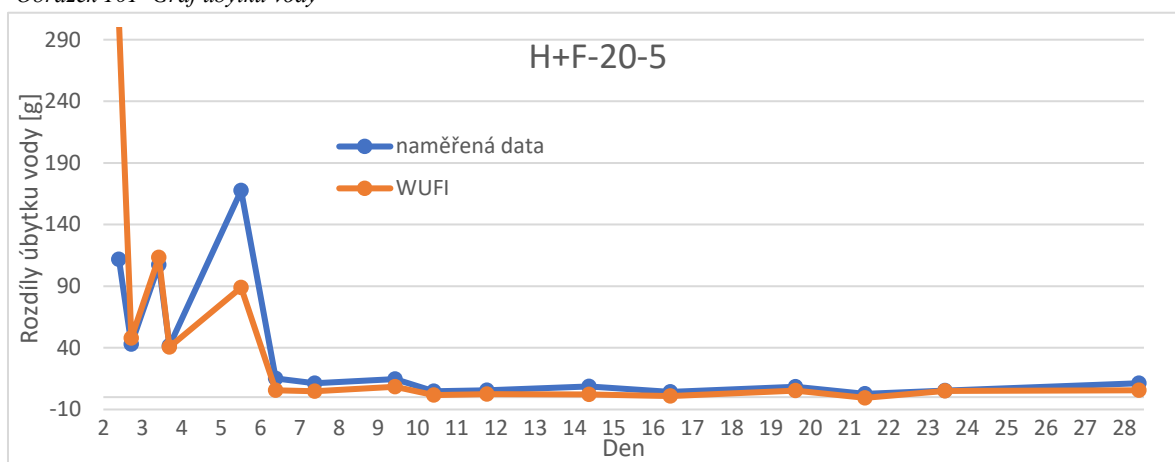
den	WUFI	naměřená data	WUFI odečty	naměřená data odečty	rozdíl WUFI a naměřených dat
0,00	0,00	0,00			
1,90	293,10	154,90	293,10	154,90	138,20
2,21	339,83	190,50	46,73	35,60	149,33
2,91	406,32	306,60	66,50	116,10	99,72
3,18	417,41	338,00	11,09	31,40	79,41
5,01	441,07	393,80	23,66	55,80	47,27
5,89	445,98	401,00	4,91	7,20	44,98
6,88	451,62	407,60	5,64	6,60	44,02
8,93	462,44	418,60	10,82	11,00	43,84
9,91	465,13	421,60	2,69	3,00	43,53
11,27	468,41	425,40	3,28	3,80	43,01
13,87	471,72	430,50	3,31	5,10	41,22
15,94	472,04	430,90	0,32	0,40	41,14
19,12	477,17	435,40	5,13	4,50	41,77
20,90	475,71	435,00	-1,46	-0,40	40,71
22,93	480,73	439,00	5,02	4,00	41,73
27,87	486,41	446,20	5,68	7,20	40,21

Tabulka 21 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]

○ H+f-20-5



Obrázek 101 Graf úbytku vody

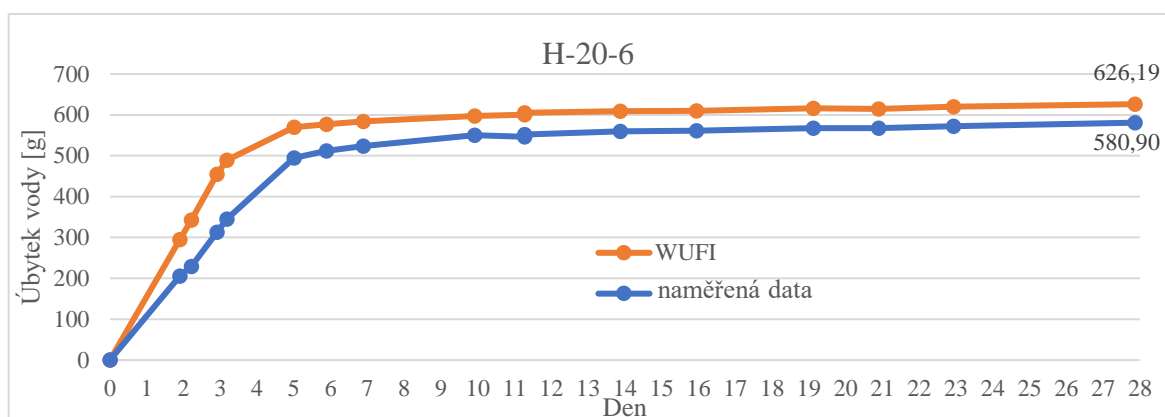


Obrázek 102 Graf odečtů hmotnosti vody

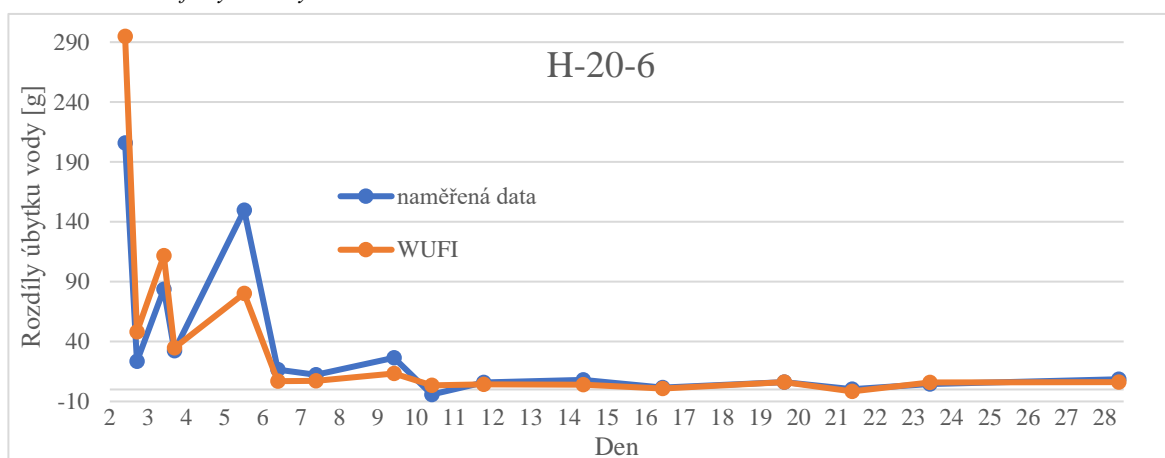
den	WUFI	naměřená data	WUFI odečty	naměřená data odečty	WUFI-naměřená data
0,00	0,00	0,00			
1,90	303,86	111,70	303,86	111,70	192,16
2,21	351,72	154,70	47,86	43,00	197,02
2,91	464,95	262,20	113,23	107,50	202,75
3,18	505,63	303,90	40,68	41,70	201,73
5,01	594,57	471,50	88,94	167,60	123,07
5,89	600,03	486,70	5,46	15,20	113,33
6,88	604,92	498,00	4,89	11,30	106,92
8,93	613,24	512,60	8,33	14,60	100,64
9,91	614,96	517,30	1,71	4,70	97,66
11,27	617,29	522,90	2,33	5,60	94,39
13,87	619,60	531,60	2,31	8,70	88,00
15,94	620,60	536,00	1,00	4,40	84,60
19,12	625,90	544,40	5,30	8,40	81,50
20,90	625,34	547,10	-0,56	2,70	78,24
22,93	630,49	552,40	5,15	5,30	78,09
27,87	636,04	563,60	5,55	11,20	72,44

Tabulka 22 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]

○ H-20-6



Obrázek 104 Graf úbytku vody

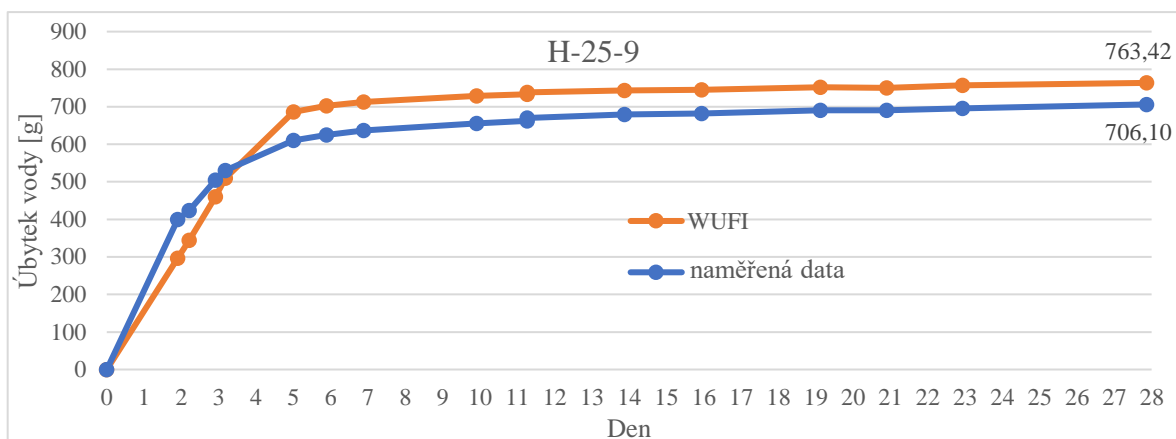


Obrázek 103 Graf odečtů hmotnosti vody

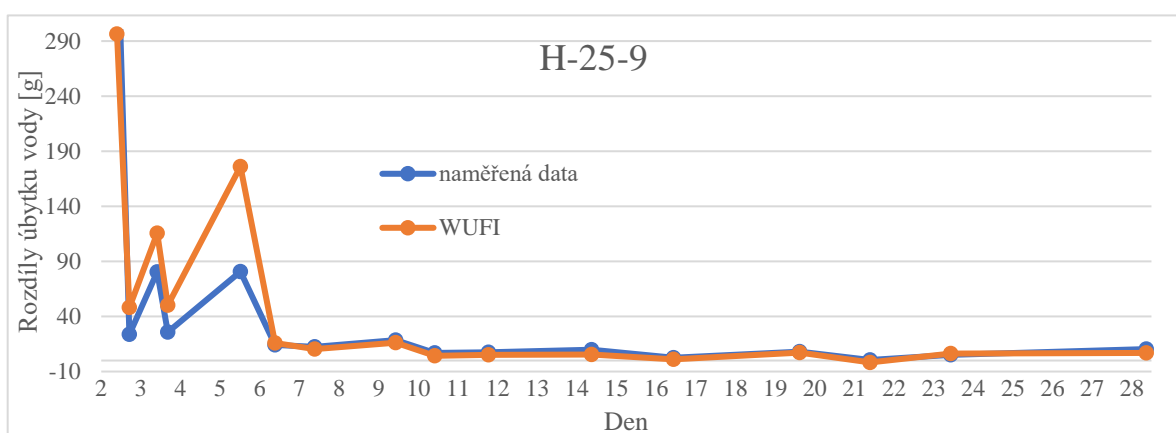
den	WUFI	naměřená data	WUFI odečty	naměřená data odečty	WUFI-naměřená data
0,00	0,00	0,00			
1,90	294,92	205,80	294,92	205,80	89,12
2,21	342,98	229,30	48,06	23,50	113,68
2,91	454,71	312,90	111,74	83,60	141,81
3,18	489,58	345,30	34,86	32,40	144,28
5,01	569,71	495,00	80,13	149,70	74,71
5,89	576,76	511,60	7,05	16,60	65,16
6,88	584,01	523,90	7,25	12,30	60,11
8,93	597,31	550,30	13,30	26,40	47,01
9,91	600,77	546,10	3,46	-4,20	54,67
11,27	604,92	551,90	4,15	5,80	53,02
13,87	609,02	559,90	4,09	8,00	49,12
15,94	609,74	561,40	0,72	1,50	48,34
19,12	615,86	567,60	6,12	6,20	48,26
20,90	614,26	567,80	-1,60	0,20	46,46
22,93	620,00	572,30	5,74	4,50	47,70
27,87	626,19	580,90	6,18	8,60	45,29

Tabulka 23 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]

○ H-25-9



Obrázek 106 Graf úbytku vody



Obrázek 105 Graf odečtů hmotnosti vody

den	WUFI	naměřená data	WUFI odečty	naměřená data odečty	WUFI-naměřená data
0,00	0,00	0,00			
1,90	296,21	400,00	296,21	400,00	-103,79
2,21	344,48	423,70	48,27	23,70	-79,22
2,91	459,96	504,20	115,49	80,50	-44,24
3,18	510,05	529,90	50,08	25,70	-19,85
5,01	686,07	610,60	176,03	80,70	75,47
5,89	701,98	624,70	15,91	14,10	77,28
6,88	712,23	637,10	10,25	12,40	75,13
8,93	728,49	655,50	16,26	18,40	72,99
9,91	732,89	662,50	4,40	7,00	70,39
11,27	738,14	669,90	5,25	7,40	68,24
13,87	743,44	679,60	5,30	9,70	63,84
15,94	744,63	682,00	1,19	2,40	62,63
19,12	751,87	690,10	7,24	8,10	61,77
20,90	750,17	690,60	-1,70	0,50	59,57
22,93	756,60	695,80	6,42	5,20	60,80
27,87	763,42	706,10	6,82	10,30	57,32

Tabulka 24 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]

Hliněné omítky-vyhodnocení

U vzorku H-15-4 v grafu úbytku vody simulace ve WUFI kopíruje trend křivky naměřených dat. Na začátku se nachází úsek s pomalejším trendem vysychání zapříčiněný překrytí fólií. Zakrytí fólií, které očividně působilo na zpomalení vysychání déle, než se původně uvažovalo. Původní úvaha zadávání okrajové podmínky byla po dobu prvních 5 hodin 100 % vlhkost. Vzorky ale dále zůstávaly pod fólií i když ne kontaktně. Čidlo bylo asi umístěno blíže k podmínkám laboratoře, jinak by křivka ze simulace zaznamenala stejný trend. Pro zarovnání trendů by se do WUFI musel zadat pomaleji klesající RH ze 100 %.

U vzorku H+f-20-5 je stejný problém jako u předchozího vzorku. Dalším problémem je únik vody spodní částí konstrukce netěsnostmi. Voda se dostala k fólii a nevytekla ven ze vzorku, ale později se postupně dostávala OSB deskami ven a vyschla. To dokazuje postupné přibližování křivek ke konci křivek.

Vzorek H-20-6 je viditelný velice obdobný trend jako u vzorku H-15-4 ale zpomalení není v takovém rozsahu, jelikož vzorek nebyl dokonale zakryt fólií.

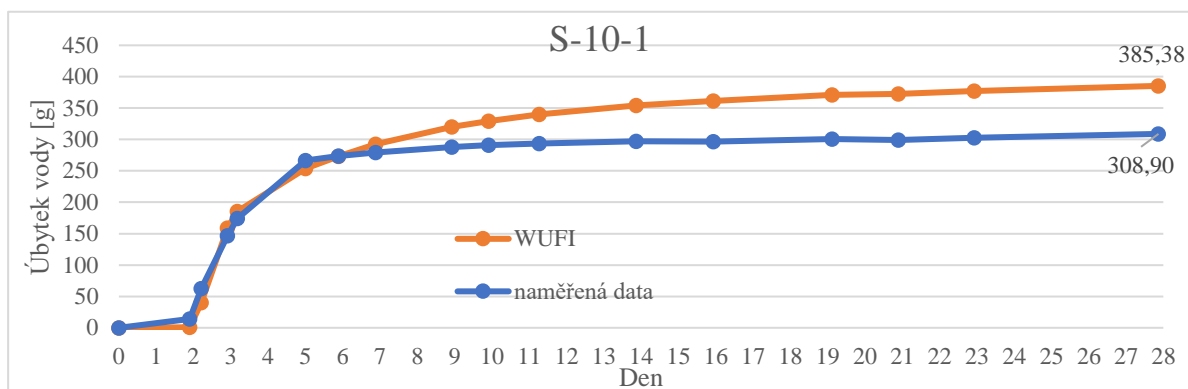
U křivek vzorku H-25-9 je během prvních čtyř dnů viditelně jiný trend. Křivka z WUFI ukazuje stejný trend vysychání jako u předchozích vzorků. Křivka naměřených dat rychleji vysychá z důvodu většího úniku vody na začátku procesu. Do programu by se musel zadat propad vlhkosti na začátku, dle uniklého množství vody.

Procentuální porovnáním vyschlého množství vody:

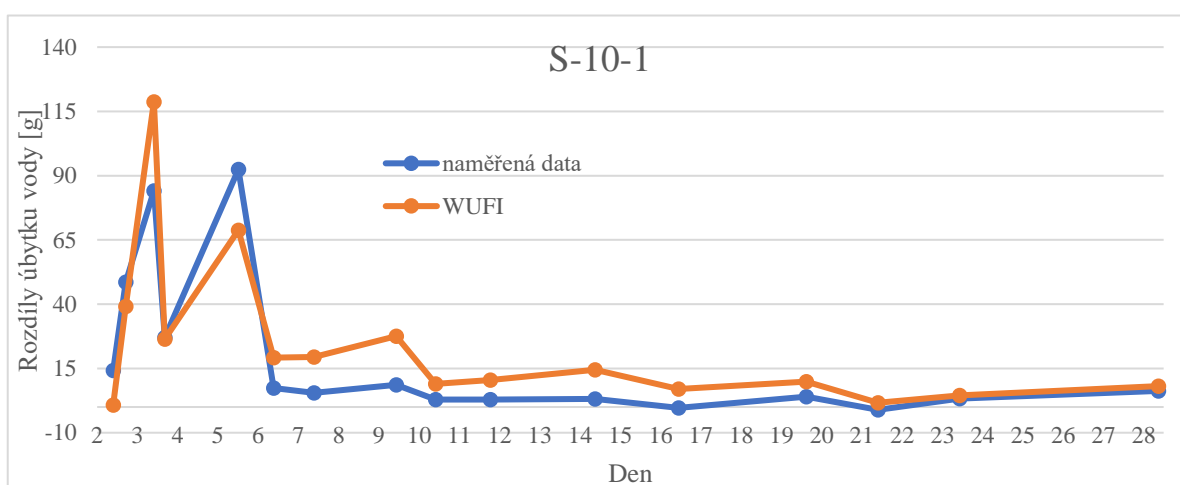
Vzorek	Obsah vody [g]	Vyschnutá voda [g]	Procentuální vyjádření vysychání	Vyschnutá voda ze simulace [g]	Procentuální vyjádření vysychání v simulaci
H-15-4	464,17	446,2	96 %	486,41	104,79 %
H+f-20-5	632,05	563,6	89 %	626,19	99,07 %
H-20-6	606,48	580,9	96 %	636,06	104,88 %
H-25-9	746,33	706,1	95 %	763,42	102,29 %

Tabulka 25 Porovnání naměřených dat se simulací

- Sádrové omítky
 - S-10-1



Obrázek 108 Graf úbytku vody

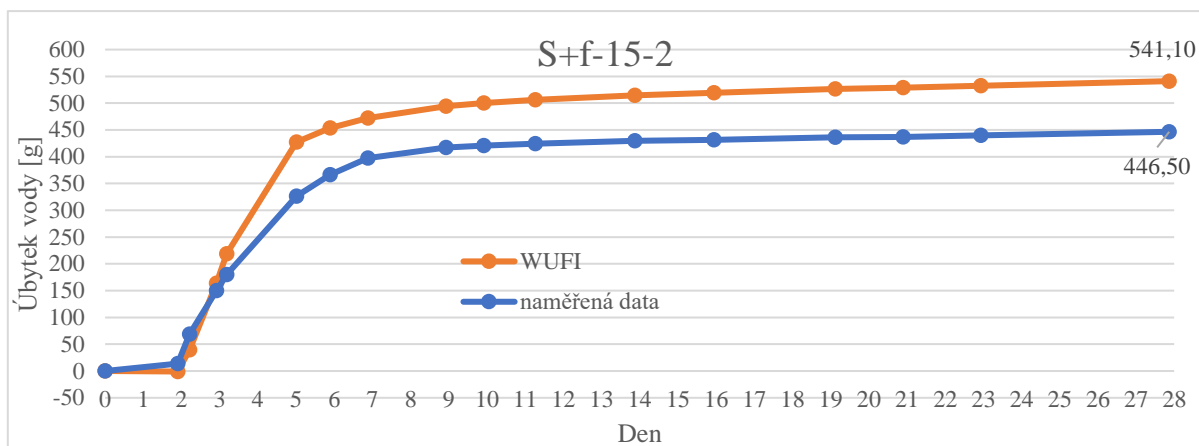


Obrázek 107 Graf odečtů hmotnosti vody

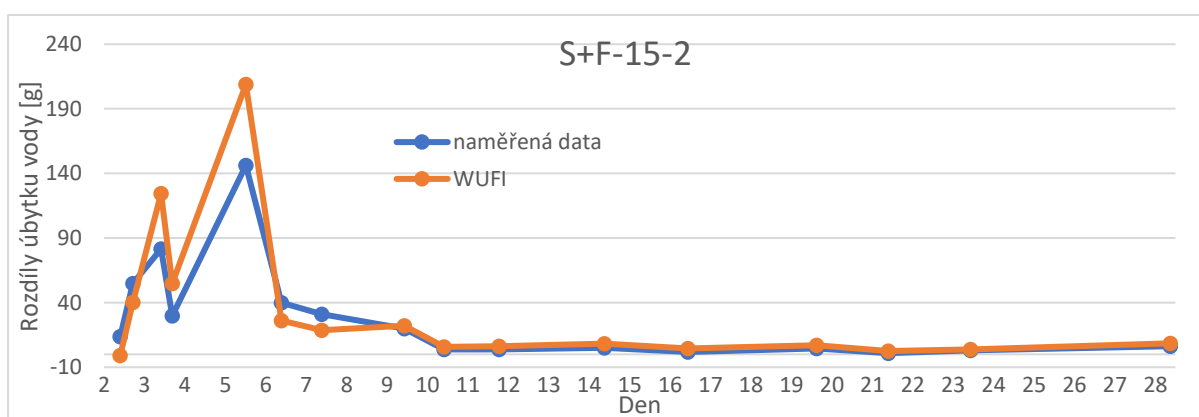
den	WUFI	naměřená data	WUFI odečty	naměřená data odečty	WUFI-naměřená data
0,00	0,00	0,00			
1,90	0,80	14,20	0,80	14,20	-13,40
2,21	39,99	62,80	39,19	48,60	-22,81
2,91	158,75	146,90	118,76	84,10	11,85
3,18	185,23	174,00	26,49	27,10	11,23
5,01	254,01	266,40	68,77	92,40	-12,39
5,89	273,22	273,80	19,22	7,40	-0,58
6,88	292,63	279,30	19,41	5,50	13,33
8,93	320,21	287,90	27,58	8,60	32,31
9,91	329,20	290,80	8,99	2,90	38,40
11,27	339,75	293,70	10,55	2,90	46,05
13,87	354,21	296,90	14,46	3,20	57,31
15,94	361,16	296,50	6,96	-0,40	64,66
19,12	371,00	300,50	9,84	4,00	70,50
20,90	372,70	299,40	1,70	-1,10	73,30
22,93	377,26	302,70	4,56	3,30	74,56
27,87	385,38	308,90	8,12	6,20	76,48

Tabulka 26 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]

○ S+F-15-2



Obrázek 110 Graf úbytku vody

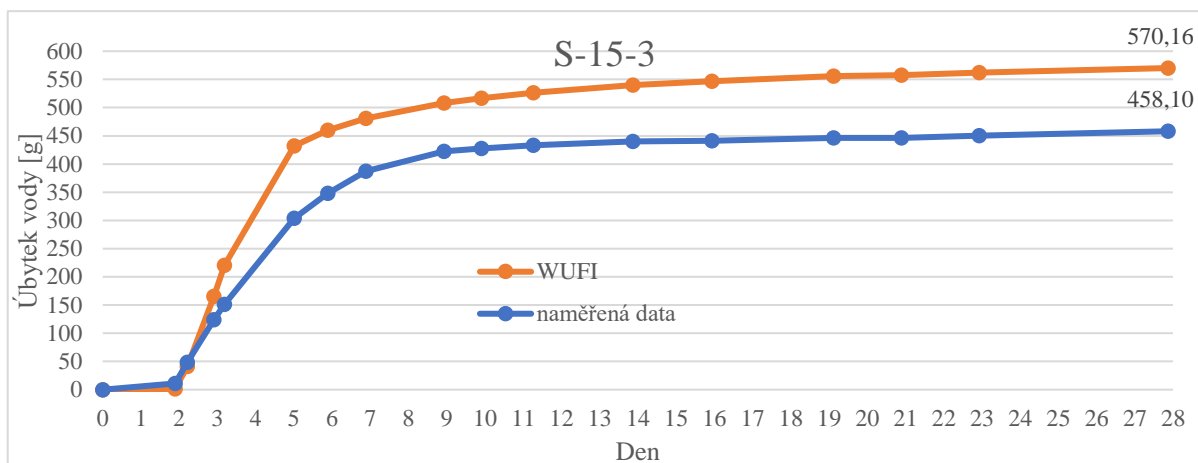


Obrázek 109 Graf odečtů hmotnosti vody

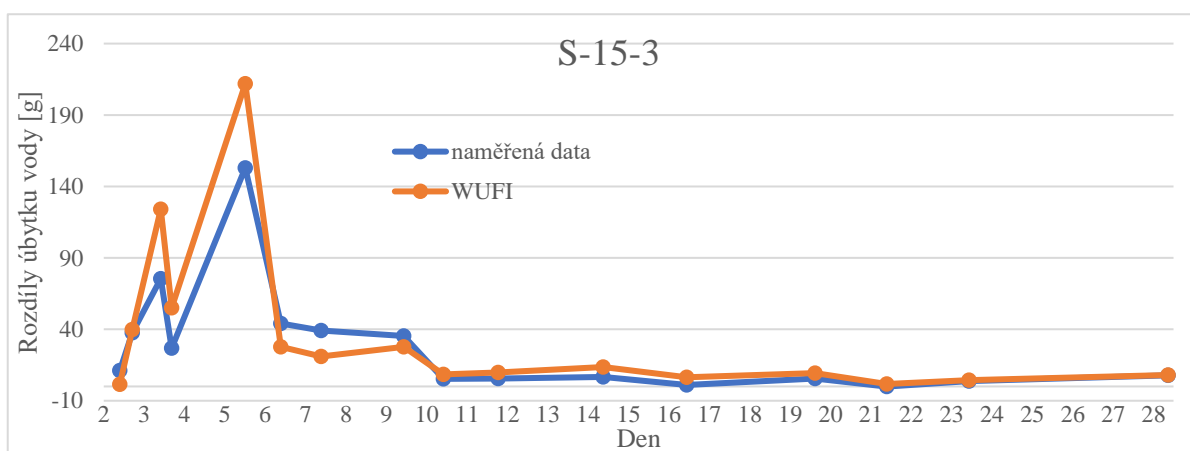
den	WUFI	naměřená data	WUFI odečty	naměřená data odečty	WUFI-naměřená data
0,00	0,00	0,00			
1,90	-0,95	13,80	-0,95	13,80	-14,75
2,21	39,31	68,70	40,26	54,90	-29,39
2,91	163,74	150,30	124,43	81,60	13,44
3,18	218,57	180,10	54,84	29,80	38,47
5,01	427,47	326,30	208,90	146,20	101,17
5,89	453,66	366,20	26,19	39,90	87,46
6,88	472,34	397,20	18,68	31,00	75,14
8,93	494,41	417,10	22,08	19,90	77,31
9,91	500,19	420,80	5,78	3,70	79,39
11,27	506,41	424,60	6,22	3,80	81,81
13,87	514,76	429,70	8,35	5,10	85,06
15,94	519,24	431,60	4,48	1,90	87,64
19,12	526,30	436,20	7,06	4,60	90,10
20,90	528,75	437,10	2,45	0,90	91,65
22,93	532,67	440,10	3,92	3,00	92,57
27,87	541,10	446,50	8,43	6,40	94,60

Tabulka 27 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]

○ S-15-3



Obrázek 112 Graf úbytku vody

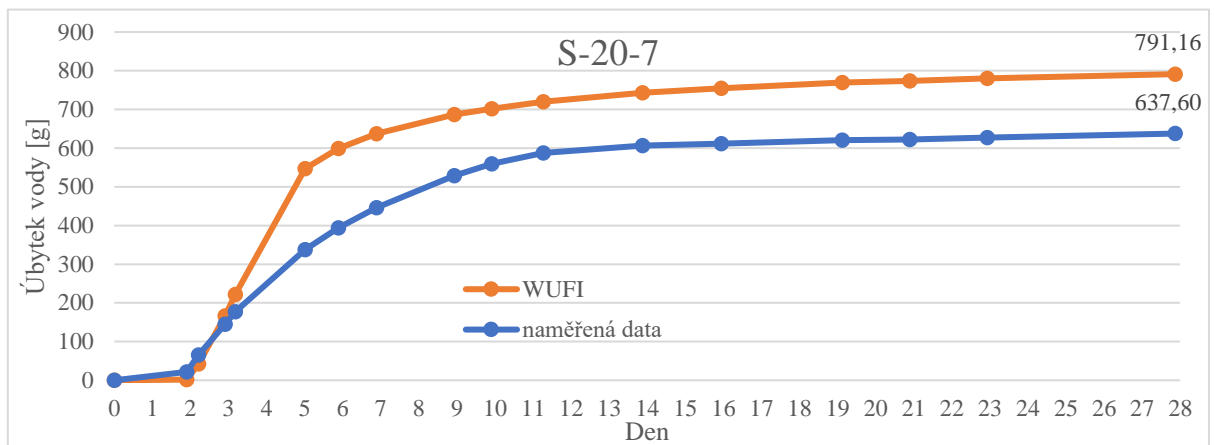


Obrázek 111 Graf odečtů hmotnosti vody

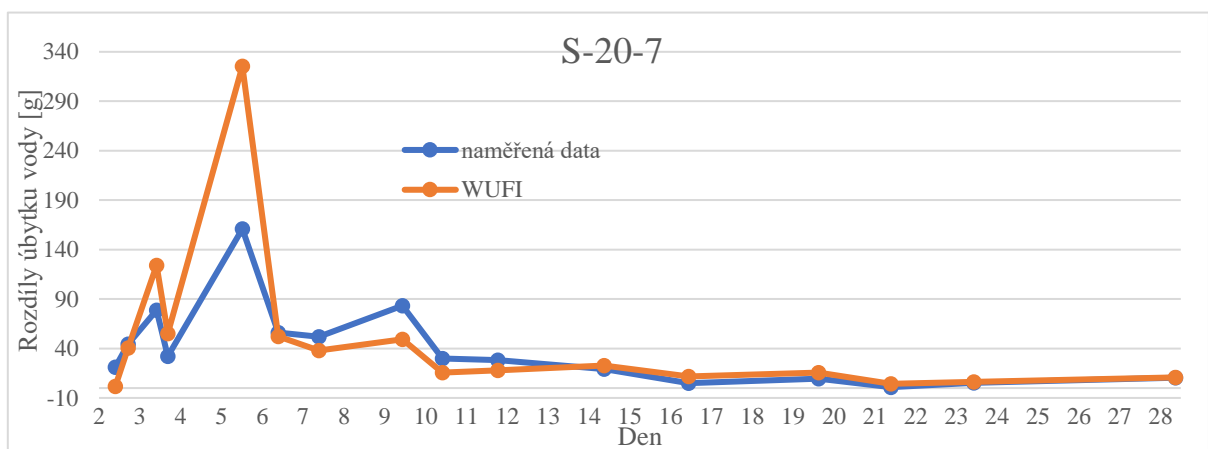
den	WUFI	naměřená data	WUFI odečty	naměřená data odečty	WUFI-naměřená data
0,00	0,00	0,00			
1,90	1,48	11,20	1,48	11,20	-9,72
2,21	41,29	48,70	39,82	37,50	-7,41
2,91	165,29	124,20	124,00	75,50	41,09
3,18	220,25	151,00	54,96	26,80	69,25
5,01	432,10	304,00	211,85	153,00	128,10
5,89	459,80	348,00	27,70	44,00	111,80
6,88	480,76	387,20	20,96	39,20	93,56
8,93	508,42	422,60	27,66	35,40	85,82
9,91	516,81	427,80	8,38	5,20	89,01
11,27	526,57	433,30	9,76	5,50	93,27
13,87	540,06	439,90	13,50	6,60	100,16
15,94	546,54	441,00	6,47	1,10	105,54
19,12	555,96	446,60	9,43	5,60	109,36
20,90	557,64	446,50	1,68	-0,10	111,14
22,93	562,07	450,30	4,44	3,80	111,77
27,87	570,16	458,10	8,08	7,80	112,06

Tabulka 28 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]

○ S-20-7



Obrázek 114 Graf úbytku vody

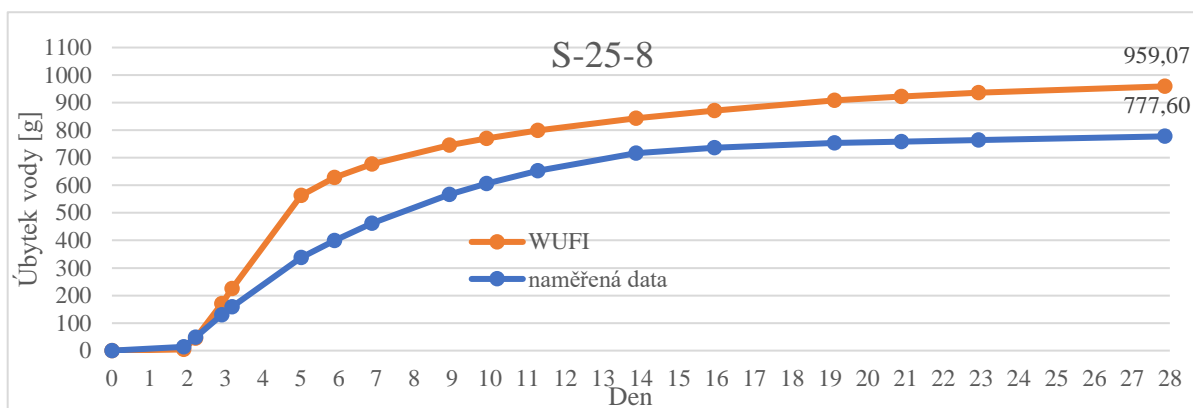


Obrázek 113 Graf odečtů hmotnosti vody

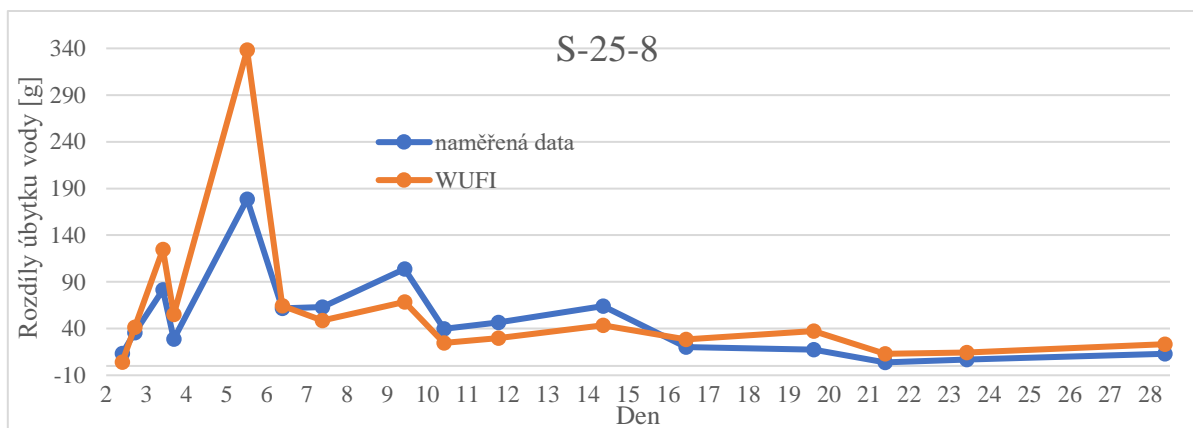
den	WUFI	naměřená data	WUFI odečty	naměřená data odečty	WUFI-naměřená data
0,00	0,00	0,00			
1,90	1,72	21,20	1,72	21,20	-19,48
2,21	42,40	65,80	40,68	44,60	-23,40
2,91	166,46	144,60	124,06	78,80	21,86
3,18	221,49	176,90	55,03	32,30	44,59
5,01	546,93	337,80	325,44	160,90	209,13
5,89	599,20	393,80	52,27	56,00	205,40
6,88	637,26	445,70	38,06	51,90	191,56
8,93	686,41	529,10	49,15	83,40	157,31
9,91	701,96	559,10	15,55	30,00	142,86
11,27	719,99	587,30	18,03	28,20	132,69
13,87	742,68	606,50	22,69	19,20	136,18
15,94	754,34	611,50	11,66	5,00	142,84
19,12	769,90	621,00	15,56	9,50	148,90
20,90	774,07	621,90	4,17	0,90	152,17
22,93	780,40	627,30	6,33	5,40	153,10
27,87	791,16	637,60	10,75	10,30	153,56

Tabulka 29 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]

○ S-25-8



Obrázek 116 Graf úbytku vody



Obrázek 115 Graf odečtů hmotnosti vody

den	WUFI	naměřená data	WUFI odečty	naměřená data odečty	WUFI-naměřená data
0,00	0,00	0,00			
1,90	4,01	13,20	4,01	13,20	-9,19
2,21	45,58	48,70	41,57	35,50	-3,12
2,91	170,32	130,40	124,74	81,70	39,92
3,18	225,63	159,10	55,31	28,70	66,53
5,01	563,72	337,60	338,09	178,50	226,12
5,89	628,13	399,40	64,41	61,80	228,73
6,88	676,75	462,50	48,62	63,10	214,25
8,93	745,32	566,30	68,57	103,80	179,02
9,91	769,97	606,00	24,64	39,70	163,97
11,27	799,60	652,60	29,63	46,60	147,00
13,87	842,93	716,60	43,34	64,00	126,33
15,94	871,43	736,80	28,49	20,20	134,63
19,12	908,67	754,10	37,24	17,30	154,57
20,90	921,65	757,90	12,98	3,80	163,75
22,93	935,88	764,70	14,23	6,80	171,18
27,87	959,07	777,60	23,19	12,90	181,47

Tabulka 30 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]

Sádrové omítky – vyhodnocení

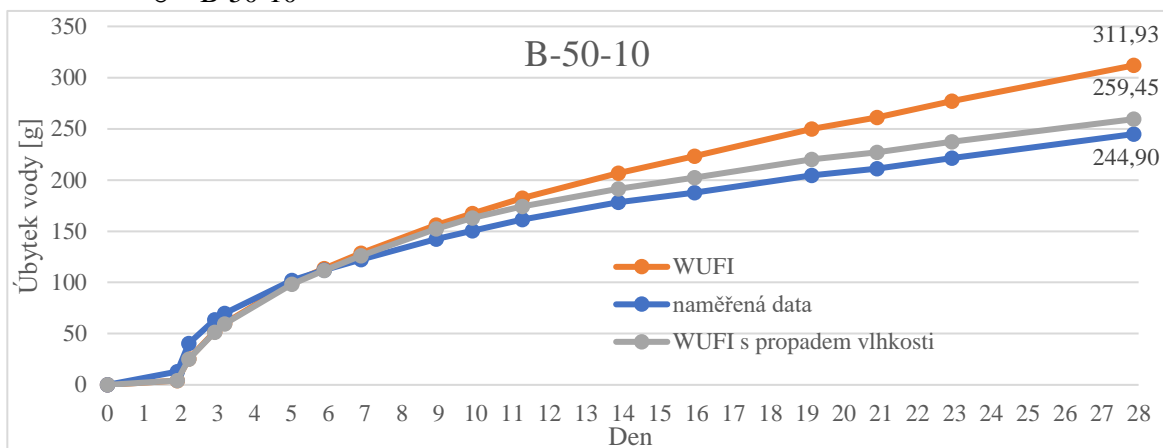
U vzorku S-10-1 je na začátku vidět srovnatelný trend křivky naměřených dat a simulované křivky. Prvních 48 hodin byl vzorek přikryt fólií, ale je vidět, že ne úplně bez netěsností. WUFI ukazuje nulový úbytek a naměřená data ukazují mírný úbytek. Trend od dnu 5 je rozdílný, protože v sádrové omítce probíhá reakce, při které je spotřebovávána voda, která už nevyschne. Zadání propadu vlhkosti do programu by mělo trendy sjednotit. Stejně vlastnosti vykazují i ostatní měřené a simulované vzorky.

Procentuální porovnáním vyschlého množství vody:

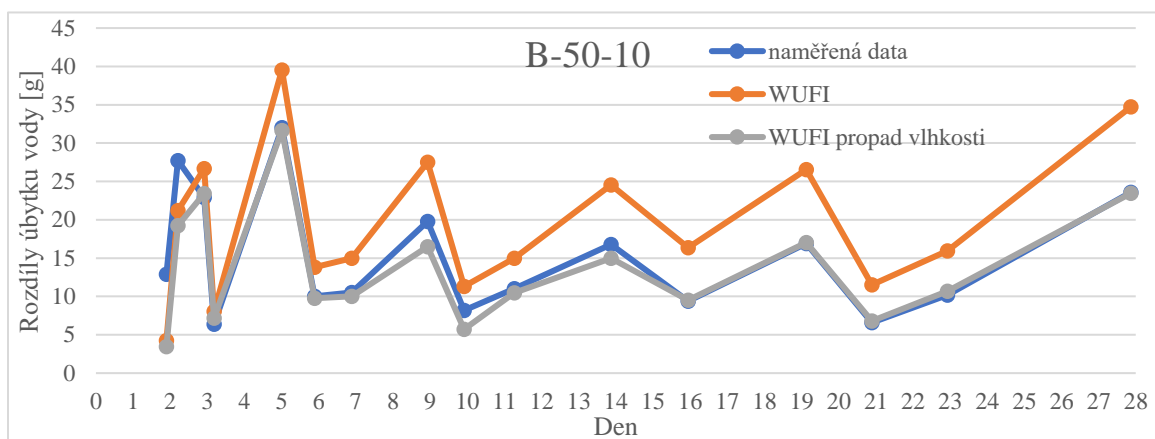
Vzorek	Obsah vody [g]	Vyschnutá voda [g]	Procentuální vyjádření vysychání	Vyschnutá voda ze simulace [g]	Procentuální vyjádření vysychání v simulaci
S-10-1	361,26	308,9	86 %	385,38	106,68 %
S+f-15-2	547,63	446,5	82 %	541,1	98,81 %
S-15-3	546,99	458,1	84 %	570,16	104,24 %
S-20-7	772,24	637,6	83 %	791,16	102,45 %
S-25-8	954,48	777,6	81 %	959,07	100,48 %

Tabulka 31 Porovnání naměřených dat se simulací

- Betonový potěr
 - B-50-10



Obrázek 118 Graf úbytku vody



Obrázek 117 Graf odečtů hmotnosti vody

WUFI	naměřená data	WUFI propad vlhkosti	WUFI odečty	naměřená data odečty	WUFI propad vlhkosti odečty	WUFI-naměřená data	WUFI propad vlhkosti-naměřená data
0,00	0,00	0,00					
4,27	12,90	3,46	4,27	12,90	3,46	-8,63	9,44
25,46	40,60	22,70	21,19	27,70	19,24	-15,14	17,90
52,14	63,50	46,12	26,68	22,90	23,42	-11,36	17,38
60,19	69,90	53,28	8,06	6,40	7,16	-9,71	16,62
99,74	101,90	84,94	39,55	32,00	31,66	-2,16	16,96
113,56	111,90	94,73	13,82	10,00	9,78	1,66	17,17
128,53	122,40	104,76	14,96	10,50	10,03	6,13	17,64
156,04	142,20	121,23	27,51	19,80	16,47	13,84	20,97
167,35	150,40	126,96	11,31	8,20	5,74	16,95	23,44
182,34	161,40	137,43	14,99	11,00	10,47	20,94	23,97
206,86	178,20	152,40	24,52	16,80	14,98	28,66	25,80
223,23	187,60	161,93	16,37	9,40	9,52	35,63	25,67
249,77	204,50	178,96	26,54	16,90	17,04	45,27	25,54
261,27	211,10	185,75	11,50	6,60	6,79	50,17	25,35
277,20	221,30	196,45	15,93	10,20	10,70	55,90	24,85
311,93	244,90	219,93	34,73	23,60	23,47	67,03	24,97

Tabulka 32 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]

Betonový potěr-vyhodnocení

Vzorek B-50-10 nebyl utěsněný na 100 % jak je vidět během prvních 48 hodin. Začátek trendu jsou všechny křivky v téměř dokonalé shodě v průběhu úbytku vody. Křivka simulace bez propadu vlhkosti má tendenci pokračovat strměji dál zatímco křivka simulace s propadem se téměř shoduje s měřenými daty. Zde je příčina hydratace, která spotřebuje vodu, která následně už nevyschne. Rozdíl křivek naměřených dat a křivek simulace jsou bez propadu vlhkosti cca 3x větší než s propadem vlhkosti. Rozdíl mezi naměřenými daty a simulací s propadem vlhkosti konečné hodnoty vyschnutého množství je pouze 14,55 gramů

Procentuální porovnáním vyschlého množství vody:

Vzorek	Obsah vody [g]	Vyschnutá voda [g]	Procentuální vyjádření vysychání	Vyschnutá voda ze simulace [g]	Procentuální vyjádření vysychání v simulaci	Vyschnutá voda ze simulace s propadem vlhkosti [g]	Procentuální vyjádření vysychání v simulaci
B-50-10	540,24	244,90	45 %	311,93	57,74 %	259,45	48,02 %

Tabulka 33 Porovnání naměřených dat se simulací

Celkové vyhodnocení simulace malých vzorků

Z výsledků je zřejmé, že vysychání ze simulace vykazuje vyšší množství vyschnuté vody (až na výjimky) než u reálného experimentu. Původní odhad vlhkosti OSB desek byl tedy o něco málo vyšší a než skutečná hodnota vlhkosti. OSB desky byly sušší. Dalším možným činitelem neshody obsahu vlhkosti může být v zpracovávání směsi a jejím následným vážením (použitá suchá směs i voda se vážily v hale na váze s přesností 0,5 kg).

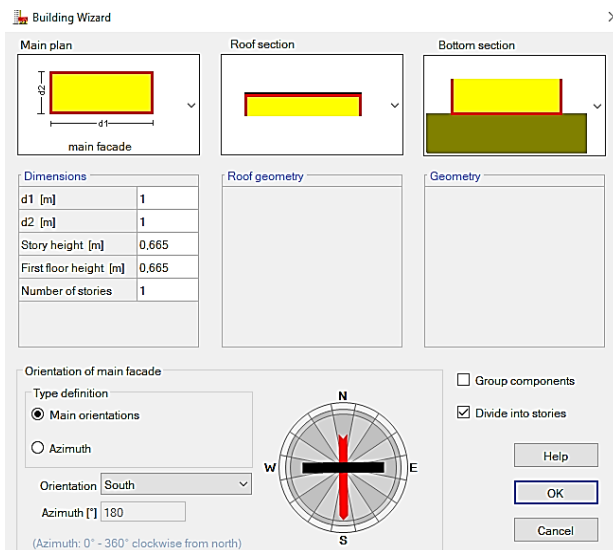
Příčina proč zřejmě křivky nevyšly přesně na sebe ukazuje, že materiálové charakteristiky zadané do WUFI nebyly možná přesně identické s těmi reálnými. Je tu také možnost nepřesnosti reálného měření experimentu.

4.2. Velký vzorek

Velký vzorek navazuje a přesně kopíruje experiment s litou betonovou podlahou a hliněnými omítkami a byl simulován v programu WUFI Plus.

4.2.1. Uvažovaný model

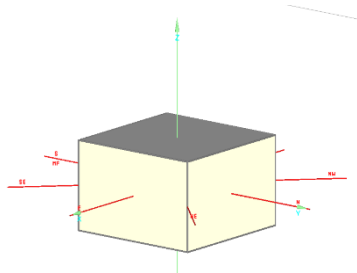
Model byl nasimulován zjednodušeně, bez vnitřního rámu z dřevěných latí, bez spojovacích prostředků a bez utěšňovacích pásků. Model je v simulaci rozdělen do 4 fází stejným způsobem jako v kapitole 3.3



Obrázek 119 Zadané hodnoty do WUFI Plus

- Model u fáze 1 a 4

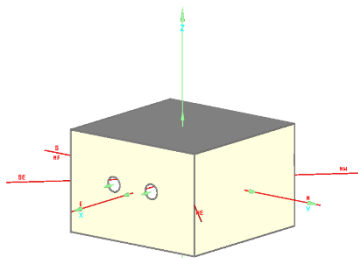
Ve fázi 1 a 4 nebyl velký vzorek vůbec větrán, tak byl model zjednodušeně zadán bez otvorů.



Obrázek 120 Model ve WUFI Plus pro fázi 1 a 4

- Model u fáze 2 a 3

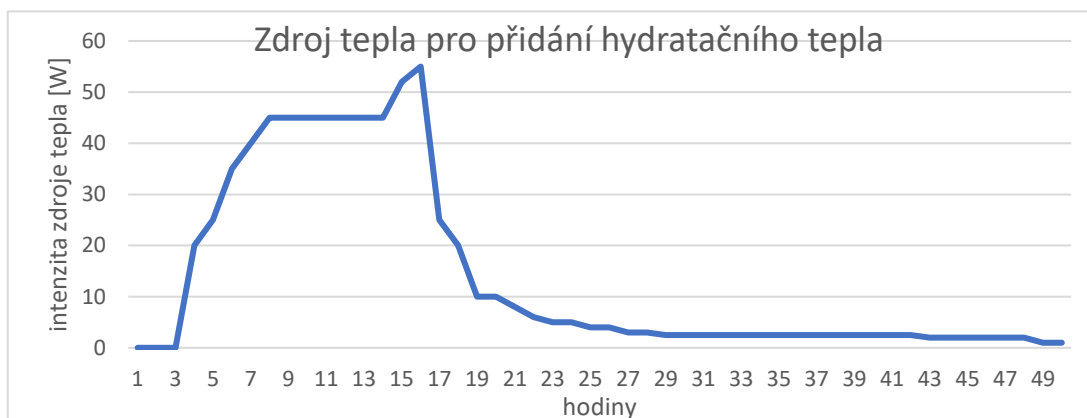
Ve fázi 2 a 3 byly otvory odkryty a ve fázi 3 i odebrané víko.



Obrázek 121 Model ve WUFI Plus pro fázi 2 a 3

4.2.2. Vstupní hodnoty

Pro fázi 1 (prvních 50 hodin) byl přidán do vrstvy betonové podlahy zdroj tepla, jelikož WUFI nezapočítává hydratační tepelné zisky.



Obrázek 122 Graf průběhu zdroje tepla

U betonového potěru byl přidán do celé vrstvy propad vlhkosti o hodnotě konstantní hodnotě 0,0108 kg/h*m2 (hodnota byla do programu zadána v kladných hodnotách) na prvních 240 hodin od chvíle zabudování (odhad z výsledků ze simulace malých vzorků viz kapitola 4.1, kde křivka začínala mít jiný tvar než u naměřených dat), protože pravděpodobně WUFI nedokáže přesně započítat hydrataci cementu.

- ➔ Dle průběhů vysychání a ze simulace malých vzorků ve WUFI Pro je pravděpodobné, že hydratace byla rozložena cirká do 240 h
- ➔ Na hydrataci byla spotřebováno 2302,2 gramů vody (viz kapitola 3.3.5)
- ➔ $2,3022/240=0,0108$ kg/h*m2

- Součinitele přestupu tepla

Fáze 1

- Podlaha

	Heat transfer coefficient [W/m²K]		Heat transfer resistance Rs [m²K/W]
	convective	radiant	
Exterior surface	1	5	0,1667
Inner surface	2	4,5	0,1538

Obrázek 123 Součinitele přestupu tepla u podlahy

- Střecha

	Heat transfer coefficient [W/m²K]		Heat transfer resistance Rs [m²K/W]
	convective	radiant	
Exterior surface	1,5	5	0,1538
Inner surface	1,5	4,5	0,1667

Obrázek 124 Součinitele přestupu tepla u střechy

○ Stěny

	Heat transfer coefficient [W/m ² K]		Heat transfer resistance Rs [m ² K/W]
	convective	radiant	
Exterior surface	1,5	4,5	0,1667
Inner surface	1,5	4,5	0,1667

Obrázek 125 Součinitele přestupu tepla u stěn

Fáze 2

○ Podlaha

	Heat transfer coefficient [W/m ² K]		Heat transfer resistance Rs [m ² K/W]
	convective	radiant	
Exterior surface	1	5	0,1667
Inner surface	1	4	0,2

Obrázek 126 Součinitele přestupu tepla u podlahy

○ Střecha

-stejně jako ve fázi 1

○ Stěny

-stejně jako ve fázi 1

Fáze 3 a 4

-stejně podmínky přestupu tepla jako u fáze 2

- Okrajové podmínky

Jako okrajové podmínky teploty a relativní vlhkosti byly použity data z čidla 2, které měřilo v hale.

- Skladby a zadané materiály

Skladby přesně reflektují reálně provedené skladby v experimentu. Materiály byly použity s identickými vlastnostmi jako v simulaci v kapitole 4.1.

○ Podlaha

Homogenous layers						
Thermal resistance: 0,499 m ² K/W (without Rsi, Rse)						
Heat transfer coefficient (U-value): 1,22 W/m ² K						
Thickness: 0,087 m						
Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	OSB 3 moje	600	1700	0,077	0,018	Yellow
2	OSB 3 moje	600	1700	0,077	0,018	Yellow
3	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	130	2300	2,3	10E-4	Blue
4	Baumit Betonový potěr 20	1890	850	1,6	0,05	Grey

Obrázek 127 Skladby podlahy

○ Střecha

Homogenous layers						
Thermal resistance: 0,002 m ² K/W (without R _{si} , R _{se})						
Heat transfer coefficient (U-value): 3,101 W/m ² K						
Thickness: 0,001 m						
Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Jutadach 135	2700	1000	0,5	10E-4	

Obrázek 128 Skladby střechy

○ Stěna 1 a 3

Homogenous layers						
Thermal resistance: 0,234 m ² K/W (without R _{si} , R _{se})						
Heat transfer coefficient (U-value): 1,763 W/m ² K						
Thickness: 0,018 m						
Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	OSB 3 tl. 0,018	600	1700	0,077	0,018	

Obrázek 129 Skladba stěn 1 a 3

○ Stěna 2 a 4

Homogenous layers						
Thermal resistance: 0,234 m ² K/W (without R _{si} , R _{se})						
Heat transfer coefficient (U-value): 1,762 W/m ² K						
Thickness: 0,019 m						
Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	PE-Membrane (Poly; 0,07 perm)	130	2300	2,3	10E-4	
2	OSB 3 tl. 0,018	600	1700	0,077	0,018	

Obrázek 130 Skladba stěn 2 a 4

• Větrání

○ Fáze 1 a 4

Ve fázi 1 byl vzorek utěsněn a přelepeny otvory. Intenzita větrání byla zadána v hodnotě 0 1/h bez infiltrací. Ve fázi 4 byl vzorek opět utěsněn víkem s páskami a zalepením otvorů. Intenzita větrání byla zadána v hodnotě 0 1/h bez infiltrací.

○ Fáze 2

Ve fázi 2 se odstranily fólie z otvorů. Intenzita větrání byla zadána v hodnotě 0,3 1/h s infiltrací 0,1 1/h.

○ Fáze 3

Ve fázi 3 byly odlepené otvory a odebrané víko. Intenzita větrání byla zadána v hodnotě 2 1/h (v hale byl vzorek umístěn v blízkosti vrat-průvan) s infiltrací 0,1 1/h

- Obsah vody v konstrukcích v jednotlivých fázích

Do programu pro fázi 1 bylo zadáno množství vody z naměřených hodnot viz kapitola 3.3.5. Do každé následující fáze bylo zadáno konečné množství vody z fáze předchozí.

- Fáze 1

Nr.	Podlaha	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	OSB 3 moje	0,018	0,9	48
2	OSB 3 moje	0,018	0,9	48
3	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	0,001	0,001	0,0018
4	Baumit Betonový potěr 20	0,05	0,2	179,17

Nr.	Střecha	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	Jutadach 135	0,001	0,001	0,001

Nr.	Stěna 1 a 3	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	OSB 3 tl. 0,018	0,018	0,9	48

Nr.	Stěna 2 a 4	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	0,001	0,001	0,001
2	OSB 3 tl. 0,018	0,018	0,9	48

Obrázek 131 Obsah vlhkosti ve skladbě na počátku fáze 1

- Fáze 2

Nr.	Podlaha	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	OSB 3 moje	0,018	0,9	48,806
2	OSB 3 moje	0,018	0,9	48,051
3	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	0,001	0,001	0,0500
4	Baumit Betonový potěr 20	0,05	0,2	175,33

Nr.	Střecha	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	Jutadach 135	0,001	0,001	0,0007

Nr.	Stěna 1 a 3	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	OSB 3 tl. 0,018	0,018	0,9	55,323

Nr.	Stěna 2 a 4	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	0,001	0,001	0,0004
2	OSB 3 tl. 0,018	0,018	0,9	54,530

Obrázek 132 Obsah vlhkosti ve skladbě na počátku fáze 2

○ Fáze 3

Nr.	Podlaha	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	OSB 3 moje	0,018	0,9	48,45
2	OSB 3 moje	0,018	0,9	48,615
3	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	0,001	0,001	0,0112
4	Baumit Betonový potěr 20	0,05	0,2	131,95
Nr.	Stěna 1 a 3	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	OSB 3 tl. 0,018	0,018	0,9	56,36
Nr.	Stěna 2 a 4	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	0,001	0,001	0,0004
2	OSB 3 tl. 0,018	0,018	0,9	58,405
Nr.	Příčka 1 a 2	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	Hliněná omítka	0,015	0,42	319
2	OSB 3 (oriented strand board)	0,015	0,82	48
3	Hliněná omítka	0,015	0,42	319

Obrázek 133 Obsah vlhkosti ve skladbě na počátku fáze 3

○ Fáze 4

Nr.	Podlaha	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	OSB 3 moje	0,018	0,9	49,410
2	OSB 3 moje	0,018	0,9	48,188
3	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	0,001	0,001	0,0110
4	Baumit Betonový potěr 20	0,05	0,2	125,38
Nr.	Střecha	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	Jutadach 135	0,001	0,001	0,001
Nr.	Stěna 1 a 3	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	OSB 3 tl. 0,018	0,018	0,9	60,586
Nr.	Stěna 2 a 4	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	0,001	0,001	0,001
2	OSB 3 tl. 0,018	0,018	0,9	62,711
Nr.	Příčka 1 a 2	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	Hliněná omítka	0,015	0,42	235,34
2	OSB 3 (oriented strand board)	0,015	0,82	74,147
3	Hliněná omítka	0,015	0,42	235,34

Obrázek 134 Obsah vlhkosti ve skladbě na počátku fáze 4

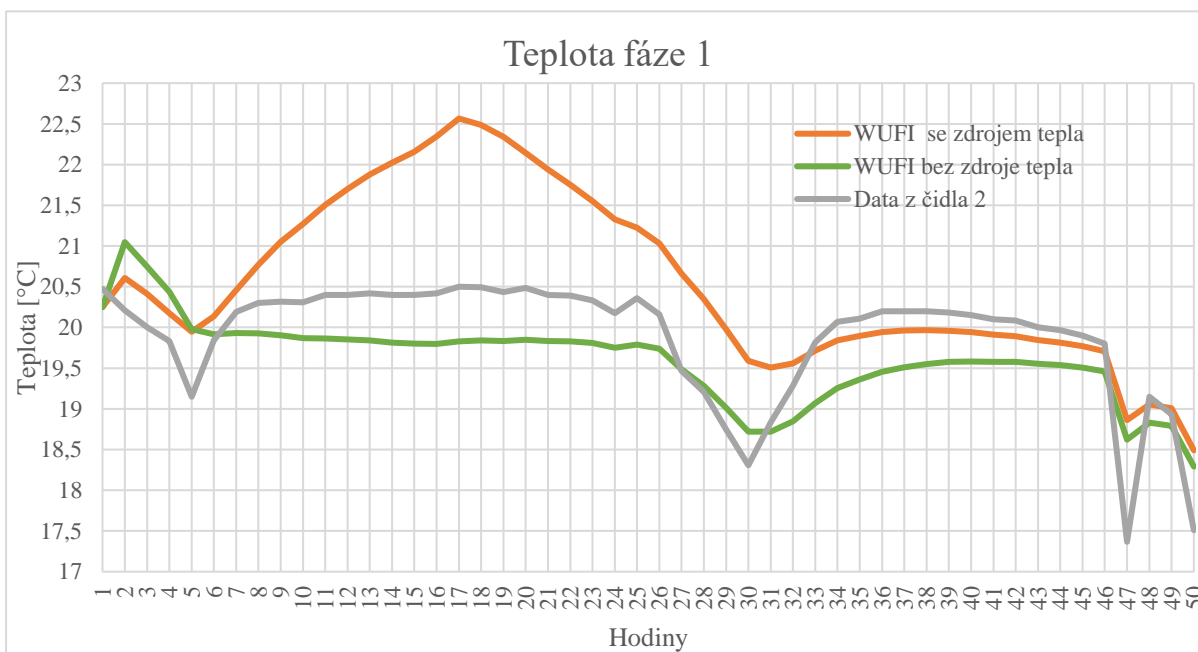
4.2.3. Výsledky a diskuse

Výsledky byly porovnávány s daty s okrajovými podmínkami v hale naměřenými z čidla 2 viz kapitola 3.3.11.

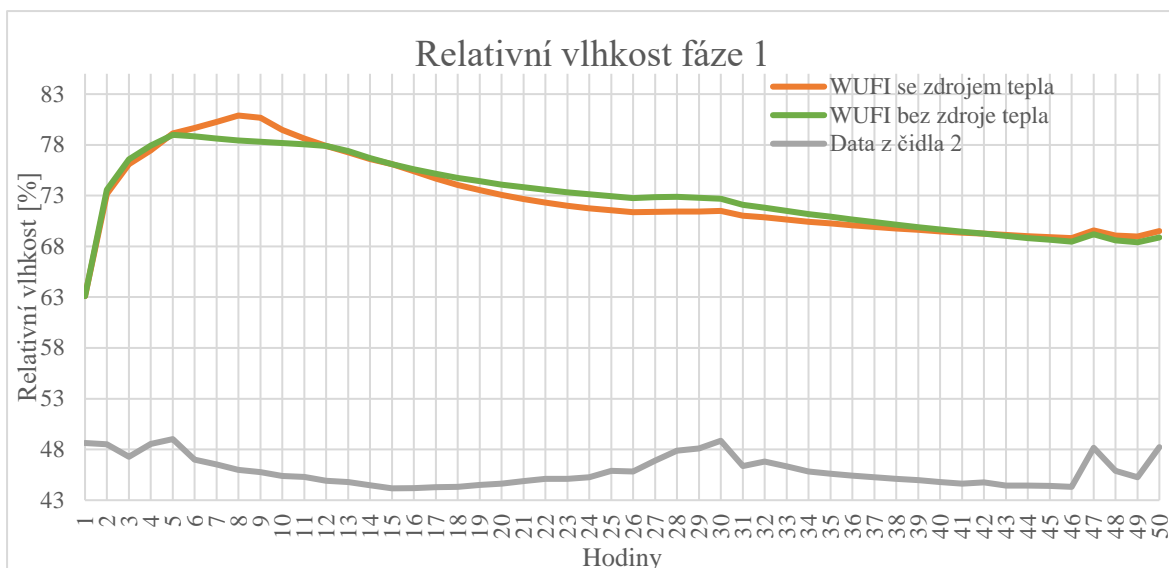
- Fáze 1+2

Z grafu teploty níže je vidět, že simulaci velmi ovlivňovala okolní teplota. Relativní vlhkost okolního prostředí ve fázi 1 bez větrání neměla na simulovaný vzorek příliš velký vliv, je pozorovatelný pouze mírně v extrémech grafu. Ve fázi 2 je vidět mírná shoda trendů u relativní vlhkosti, protože byl vzorek vystaven větrání, a tudíž i okolním podmínkám. Shodu u RH u fáze 1 se podařilo zajistit pouze změnou faktoru difuzního odporu u difuzní fólie z hodnoty 40 na hodnotu 4000 (hodnota $\mu=40$ je naměřená a deklarovaná hodnota na UCEEBu) anebo nereálnými hodnotami součinitelů přestupu tepla. Neshoda může vznikat, protože velmi záleží, kde přesně ve vzorku WUFI uvažuje tyto hodnoty. Hodnoty relativní vlhkosti u spodní části a u horní části se mohou velmi lišit.

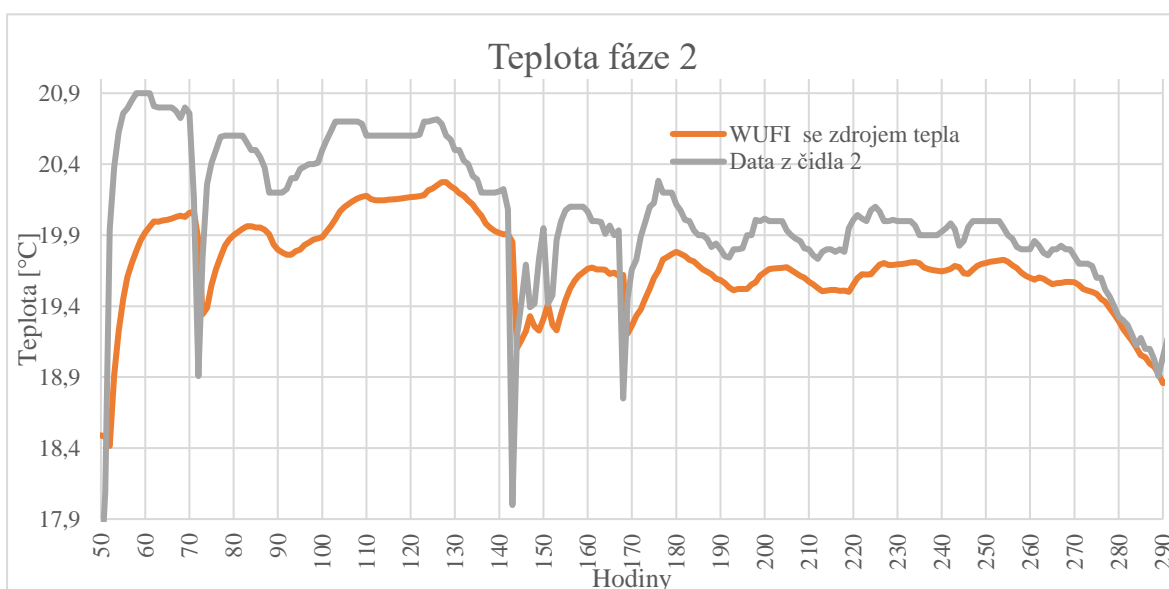
U grafů pro fázi 1 byla přidána křivka simulace bez přidaného zdroje tepla do vrstvy betonu. U křivky teploty s přidaným teplem je znatelný rozdíl v trendu, zatímco křivka bez přidaného tepla spíše kopíruje okolní podmínky. Ve fázi dvě se už žádný zdroj tepla nevyskytuje (hydratační teplo bylo rozloženo dle průběhů z čidel cirka do 50 hodin)



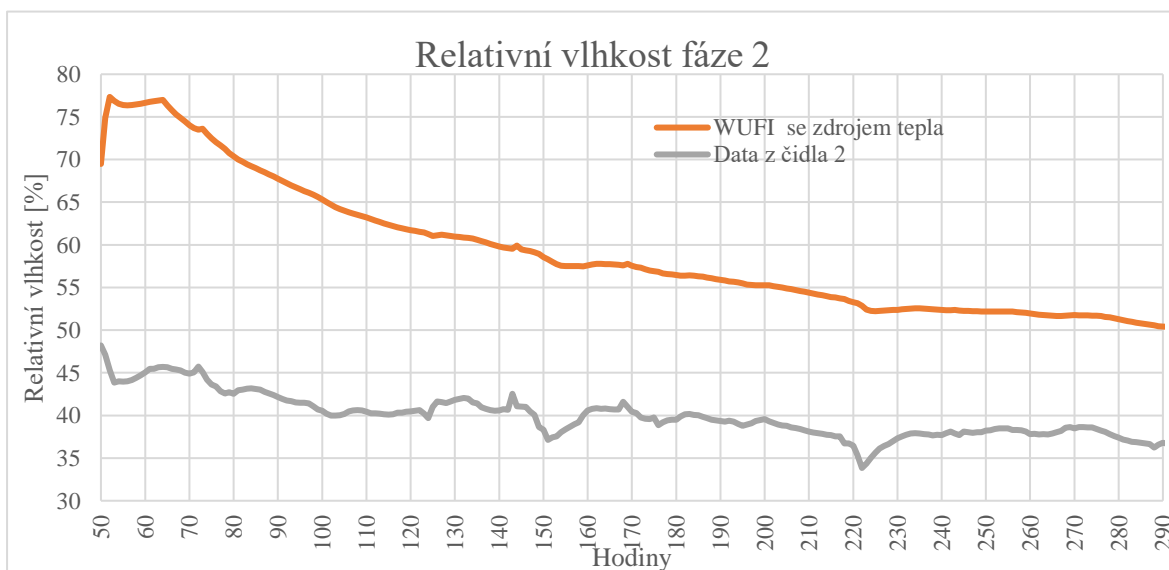
Obrázek 135 Graf průběhu teploty z fáze 1



Obrázek 137 Graf průběhu relativní vlhkosti z fáze 1

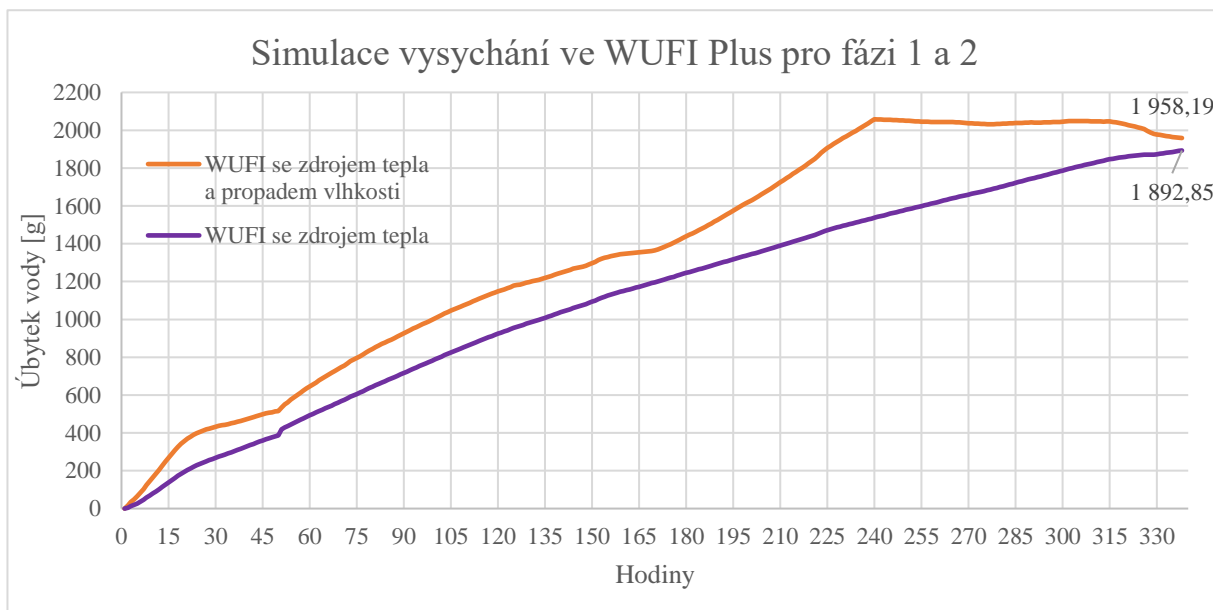


Obrázek 136 Graf průběhu teploty z fáze 2



Obrázek 138 Graf průběhu relativní vlhkosti z fáze 2

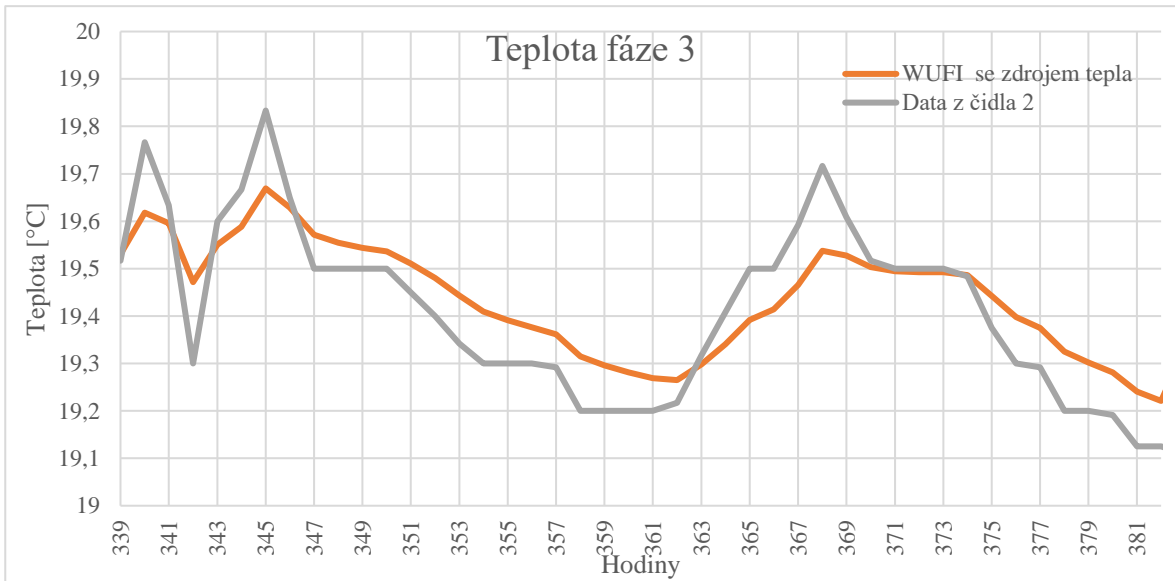
Pro získání hodnoty úbytku hmotnosti vody bylo nutné od každé komponenty (stěny, podlahy...) vyexportovat obsahy vody a sečíst je všechny dohromady. U křivek vysychání je vidět poměrně shodná konečná hodnota vyschnutého množství vody s rozdílem 63,34 gramů. Hladší průběh vykazuje křivka bez propadu vlhkosti než s přidanou vlhkostí. U velkého vzorku se zdá, že odhad 240 hodin nebyl úplně přesný. Se zadáním záporných hodnot tak jako u malého vzorku betonu křivka vychází nesmyslně do záporných hodnot. Každý z programů má pravděpodobně jiný styl zadávání údajů.



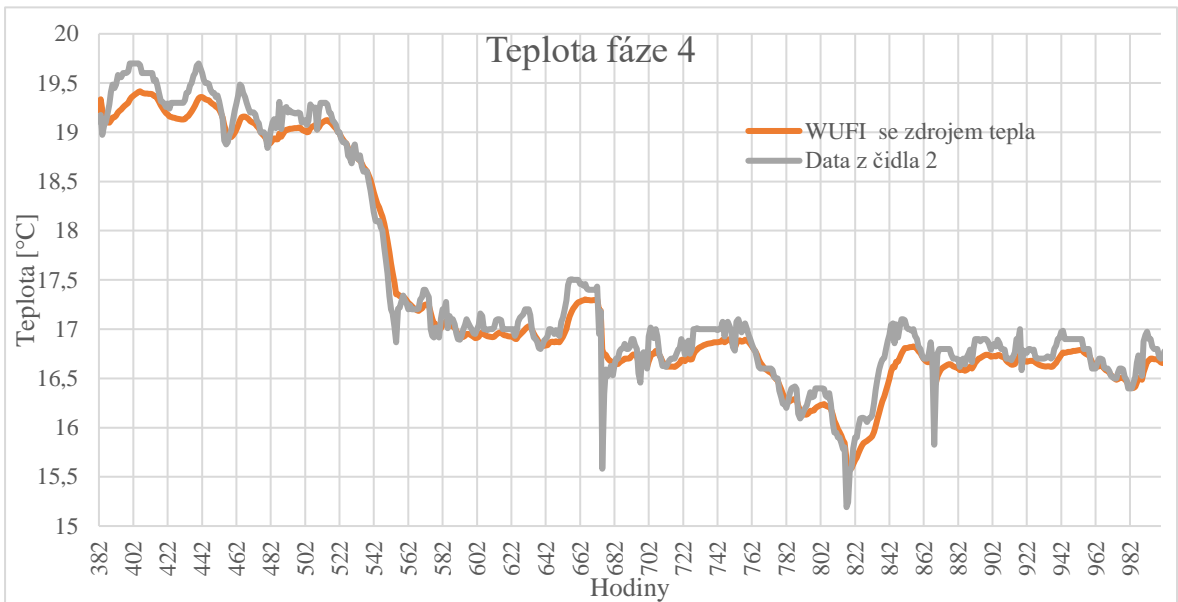
Obrázek 139 Graf průběhu množství vyschlé vody za fázi 1 a 2

- Fáze 3+4

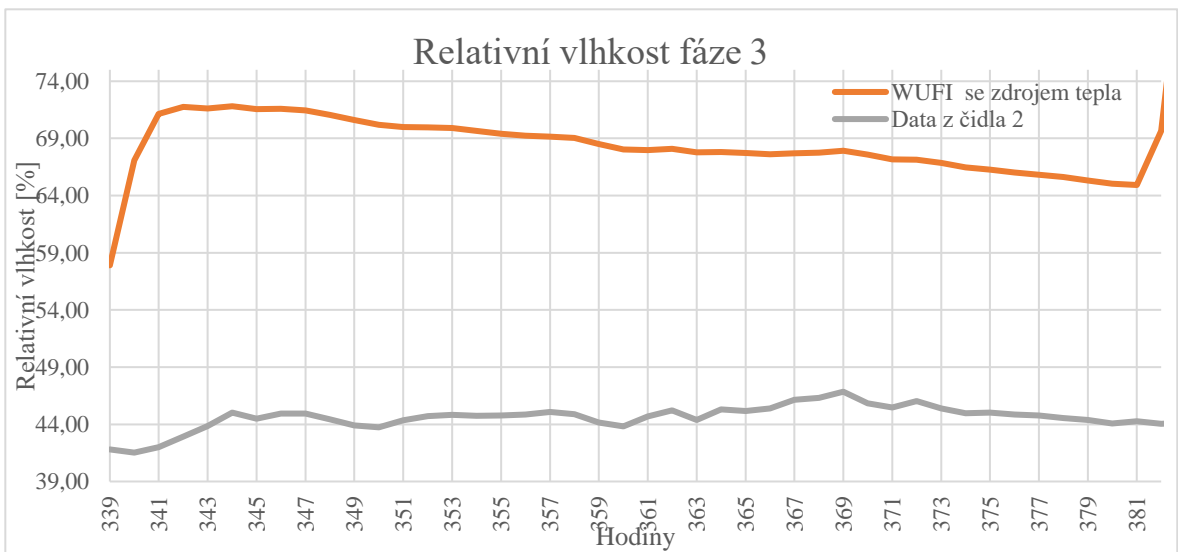
Tak jako u fáze 1 a 2 křivky teploty viz níže kopírují trend křivky okrajových podmínek z dat čidla 2. Křivky relativních vlhkostí se ve fázi 3 trendově alespoň málo podobají na rozdíl od křivky ve fázi 4. Ve fázi 4 ve WUFI se jeví okamžitý nárůst relativní vlhkosti, poté nějakou dobu pomalé klesání a následné přiblížení ke křivce z dat čidla 2.



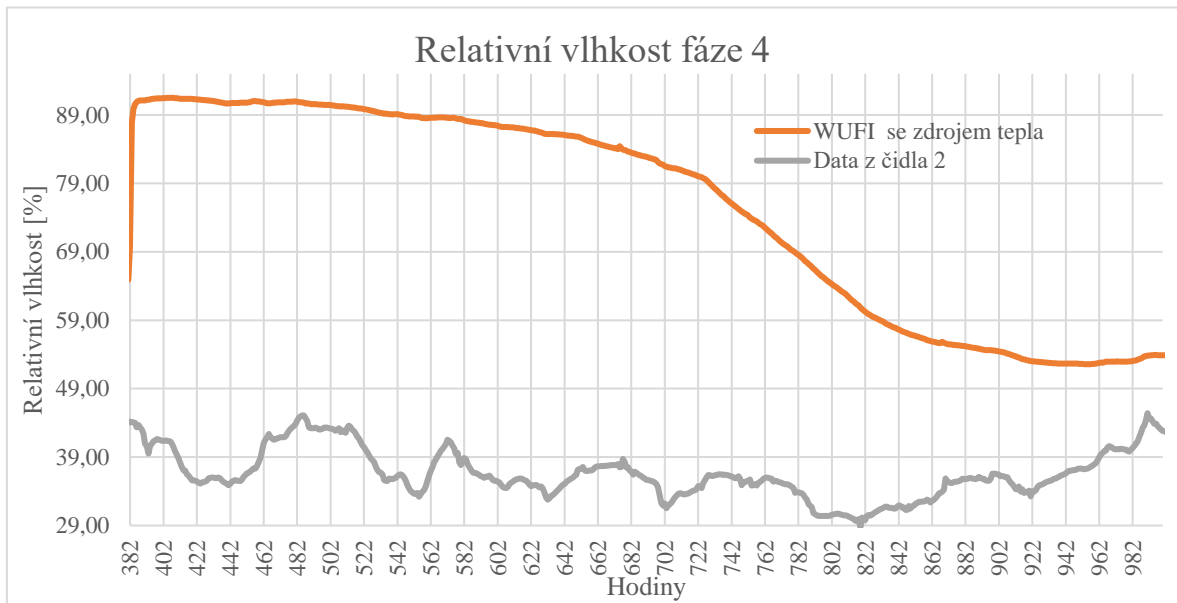
Obrázek 141 Graf průběhu teploty z fáze 3



Obrázek 142 Graf průběhu teploty z fáze 4

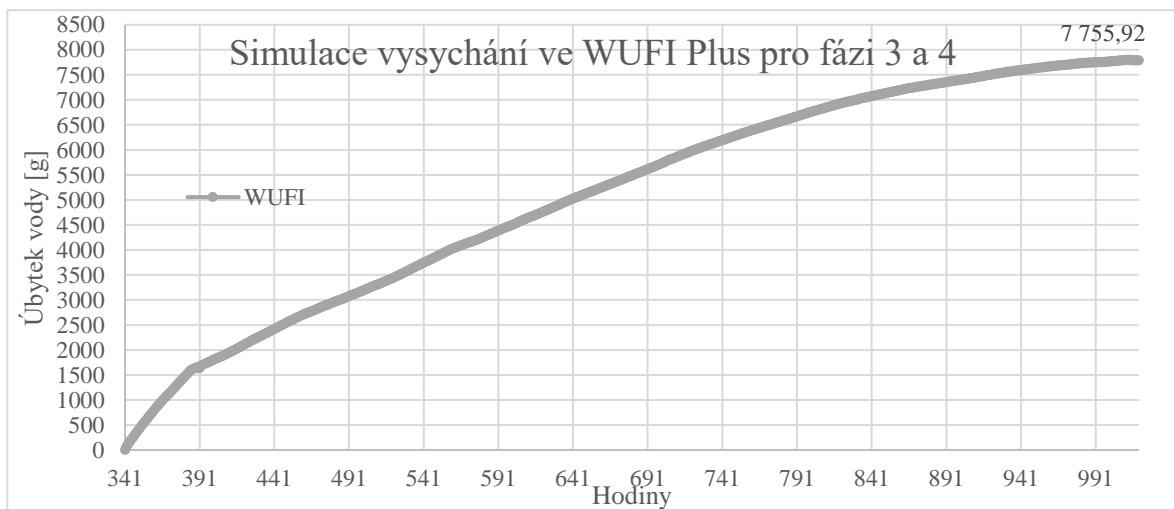


Obrázek 140 Graf průběhu relativní vlhkosti z fáze 3



Obrázek 143 Graf průběhu relativní vlhkosti z fáze 4

Trend křivky vysychání ve fázi 3 a 4 se velmi podobají křivkám u malých vzorků v simulace ve WUFI Pro. Křivka má na začátku vysoký úbytek hmotnosti a po uzavření se trend více narovná a vysychá pomaleji. Ze simulace vychází, že celkově vyschlo z celého vzorku 7755,92 gramů vody.



Obrázek 144 Graf průběhu množství vyschlé vody za fázi 3 a 4

4.2.4. Porovnání s naměřenými hodnotami experimentu

Vypočítané hodnoty ze softwaru WUFI Plus byly porovnávány s výsledky experimentu z kapitoly 3.3 a s daty z čidla 1 v kapitola 3.3.12.

Celkem bylo do vzorku zabudováno 11341,97 gramů vody a z toho se cirká 2302,2 gramů spotřebovalo v hydrataci ve fázi 1 a 2. Na vyschnutí zbývá 9039,76 gramů vody.

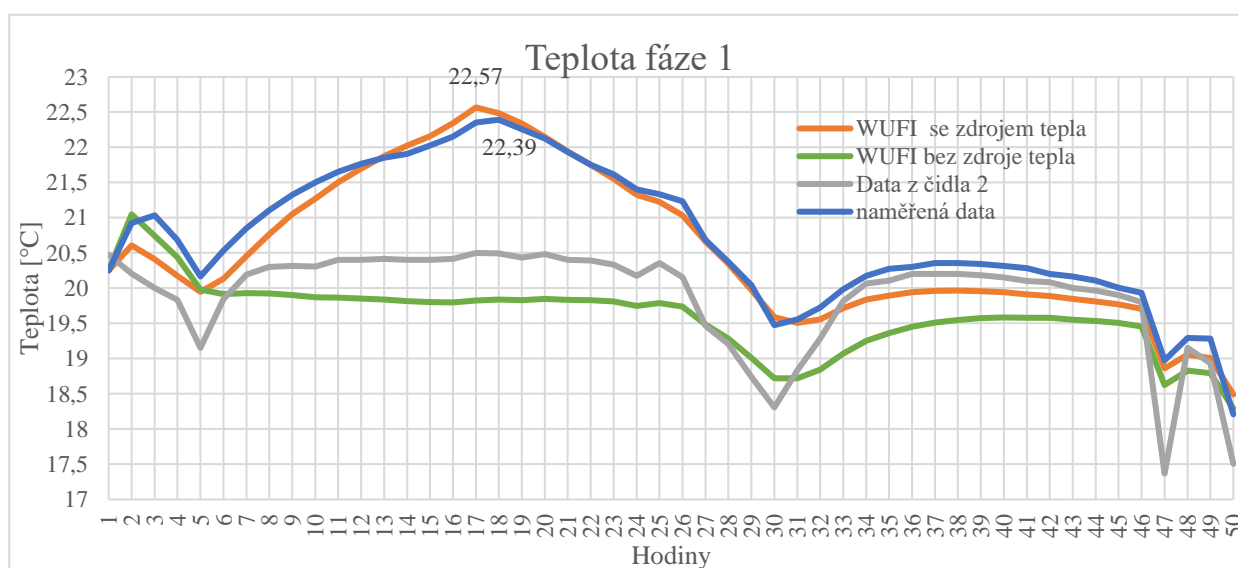
Neshoda na konci výpočtů může být zapříčiněna přesností měření (malá přesnost váhy) a to co se týče i přesného množství použitých směsí, neznalost přesné tloušťky všech hliněných omítek kvůli nerovnosti povrchů.

Fázím 1 a 3 jsou věnovány jednotlivé grafy z důvodu malých časových úseků z hlediska přehlednosti dat. Fáze 2 a 4 jsou poté viditelné v celkovém grafu za všechny fáze dohromady.

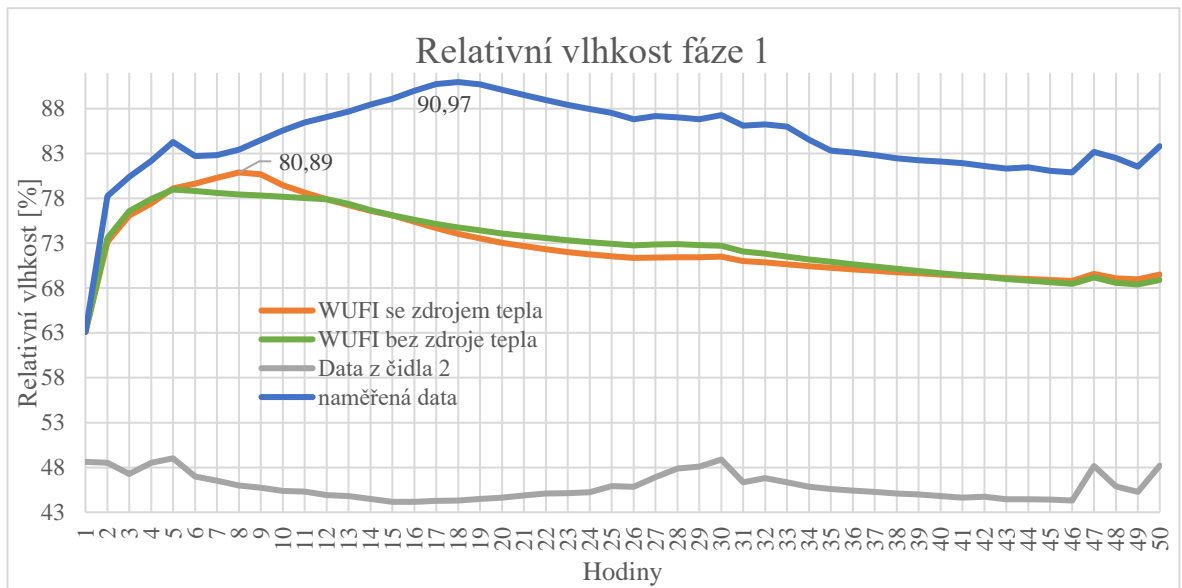
Do WUFI nelze přesně zadat počáteční podmínku relativní vlhkosti a teploty pro jednotlivé fáze tak, aby na sebe navazovali, a proto se u křivek WUFI v porovnání s naměřenými daty objevují u přelomů fází zlomy a nesrovnalosti.

- Fáze 1

Ve fázi 1 u teploty je viditelný srovnatelný trend křivek naměřených dat a dat z WUFI se zdrojem tepla. V tomto případě to byl dobrý odhad intenzity hydratačního tepla. Teploty ze simulace a naměřených dat mají maximálně rozptyl 0,7 °C. U relativní vlhkosti je viditelně podobný trend křivek ale s rozdílem v řádu desítek procent. Tady v tom případě je možné, že WUFI počítá relativní vlhkost v jiném místě, než bylo měřeno ve skutečnosti. Relativní vlhkosti ze simulace a naměřených dat mají maximálně rozptyl 16,22 %.

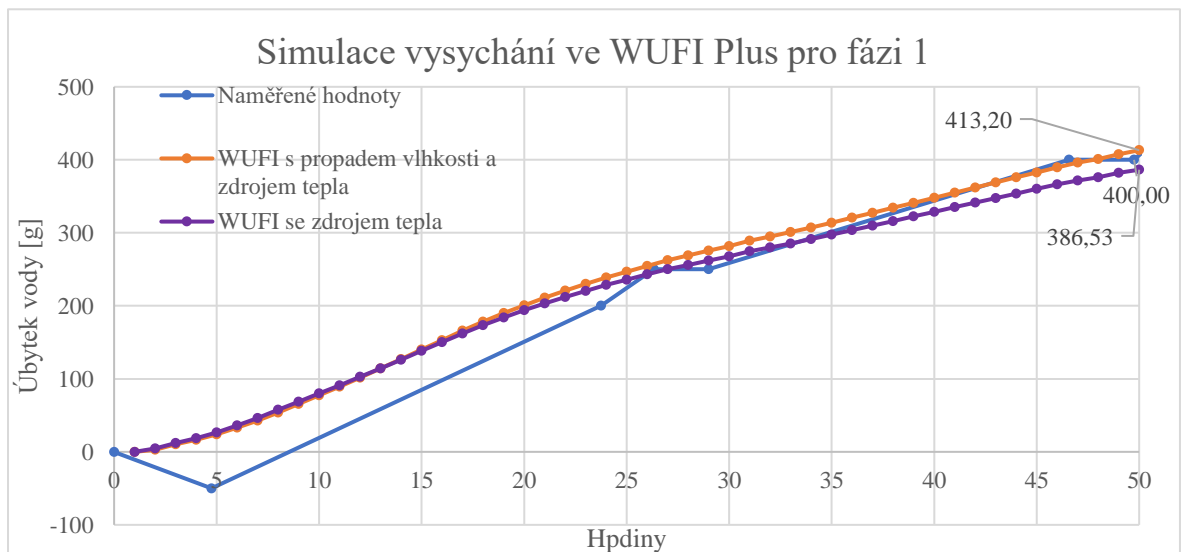


Obrázek 145 Graf průběhu teploty z fáze 1



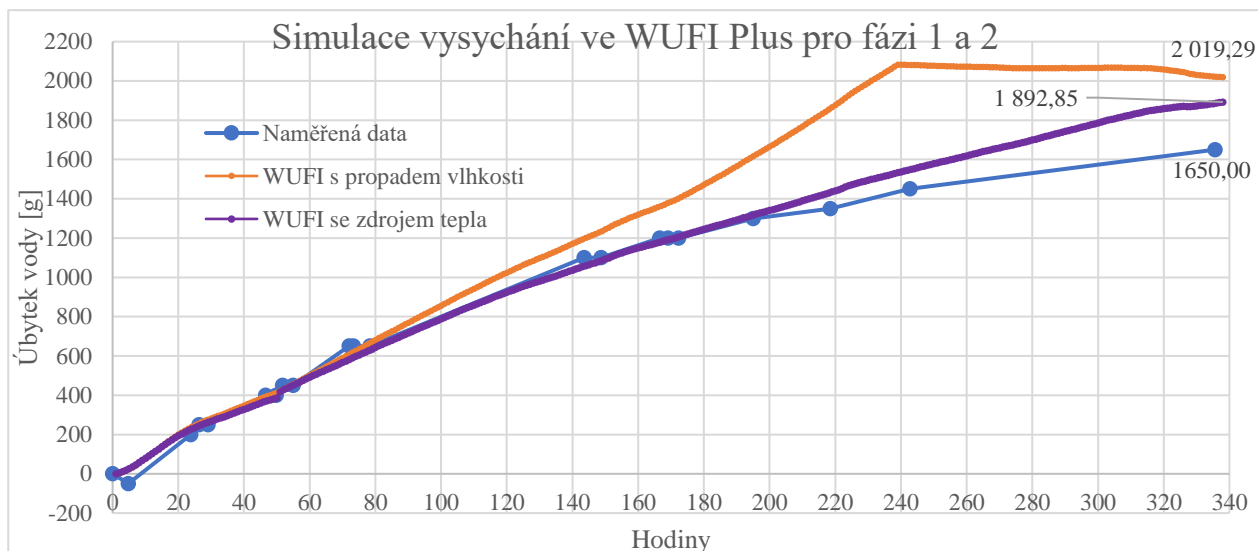
Obrázek 147 Graf průběhu relativní vlhkosti z fáze 1

U křivky vysychání je viditelná téměř dokonalá shoda kromě zlomu v naměřených dat zapříčiněný přesností vážení. V této fázi vykazuje větší shodu křivka s propadem vlhkosti než bez. Odhad hydratace pro první fázi byl tedy správný. V naměřených datech vyschlo 400 gramů vody, v datech bez propadu vlhkosti 386,53 gramů vody a v datech s propadem vlhkosti vyschlo 413,2 gramů vody.



Obrázek 146 Graf porovnání průběhů vysychání ve fázi 1

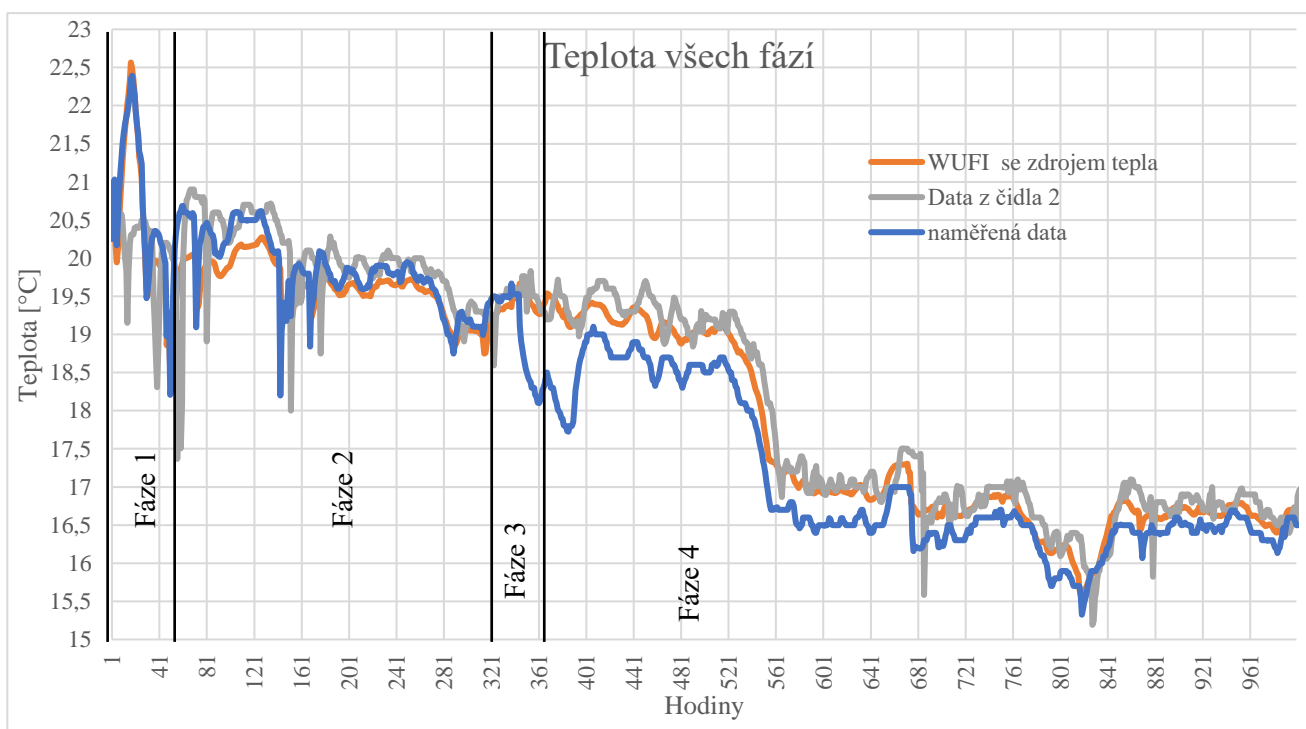
Průběh vysychání fáze 1 a 2 dohromady vykazuje v naměřených datech menší hodnotu než v datech simulovaných. U křivky s propadem vlhkosti by byla třeba rozložit do méně hodin podle skutečného průběhu hydratace. Pro zjištění této hodnoty by bylo třeba dalších zkoušek. Z dat vyplývá že konečnou shodu na konci druhé fáze má křivka pouze s přidaným zdrojem vlhkosti za náhradu hydratačního tepla. V naměřených datech vyschlo 1650 gramů vody, v datech bez propadu vlhkosti 1892,85 gramů a s propadem vlhkosti 2019,29 gramů.



Obrázek 148 Graf porovnání průběhů vysychání ve fázi 1 a 2

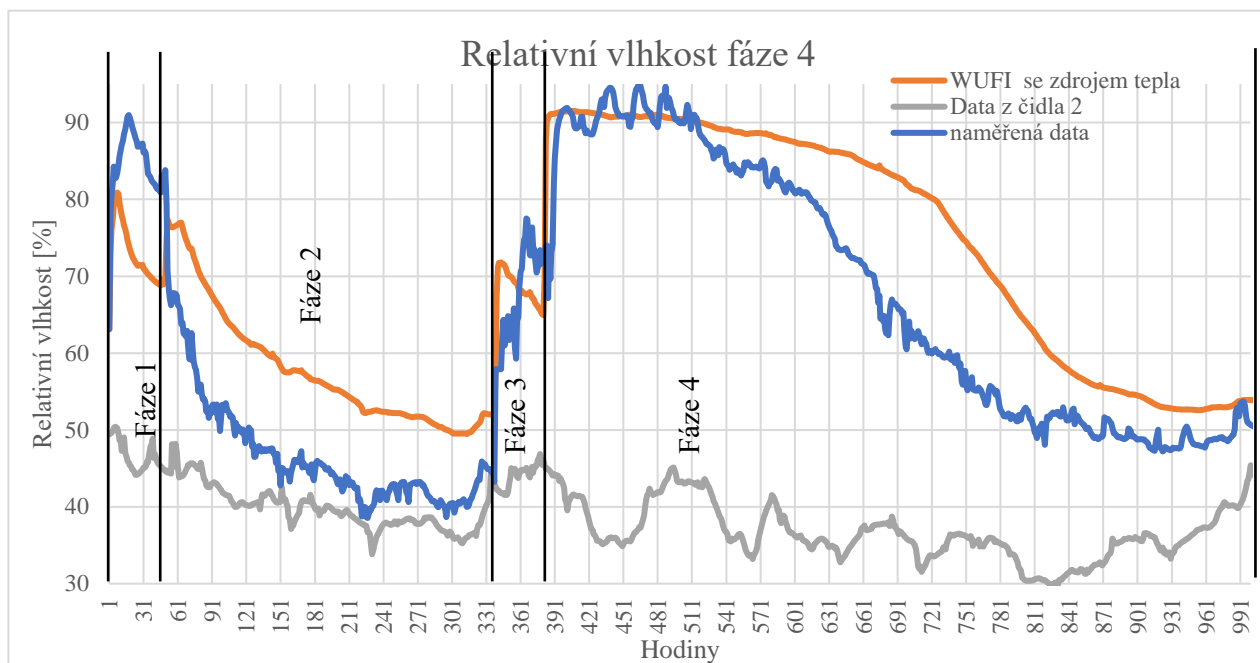
- Fáze 1, 2, 3 a 4

Graf teploty ukazuje příznivou shodu. Je zřejmé, že teplotu ovlivňují hlavně podmínky okolního prostředí (šedivá křivka). Ze začátku experimentu je vidět extrém způsobený hydratačním teplem od vrstvy betonové podlahy. WUFI daleko více respektuje ve výpočtu okrajové podmínky, což by mohlo znamenat, že WUFI uvažuje výpočet někde u vrchního líce konstrukce vzorku.



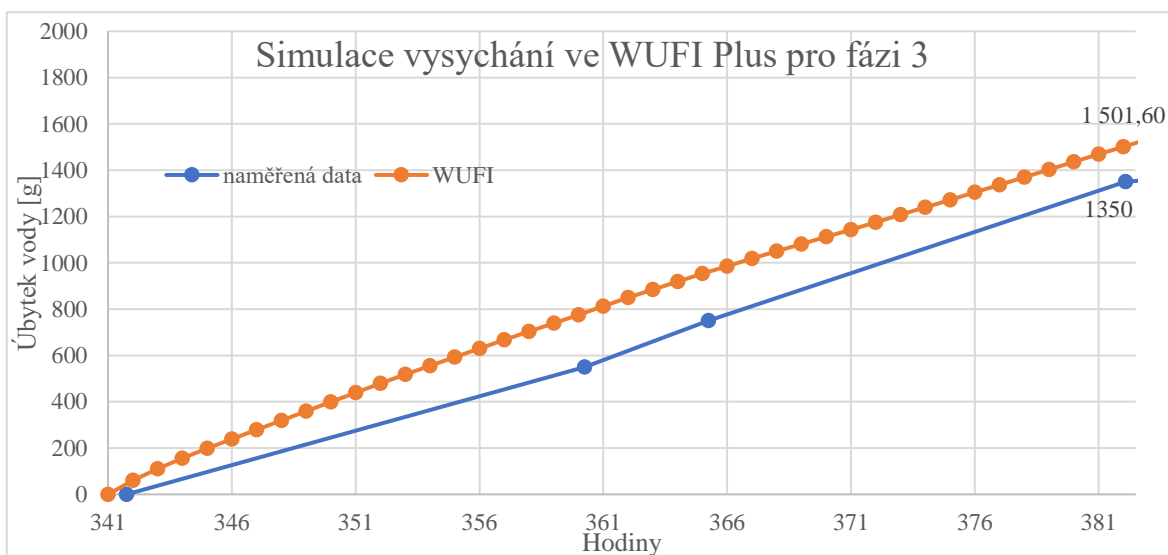
Obrázek 149 Graf průběhu teploty za všechny fáze

U celkového průběhu relativních vlhkostí je vidět podobný trend jako u naměřených dat vyjma rozvlnění, které má křivka naměřených dat (modrá křivka). Je vidět, že relativní vlhkost okrajových podmínek příliš výpočet ve WUFI neovlivňovala.



Obrázek 150 Graf průběhu relativní vlhkosti za všechny fáze

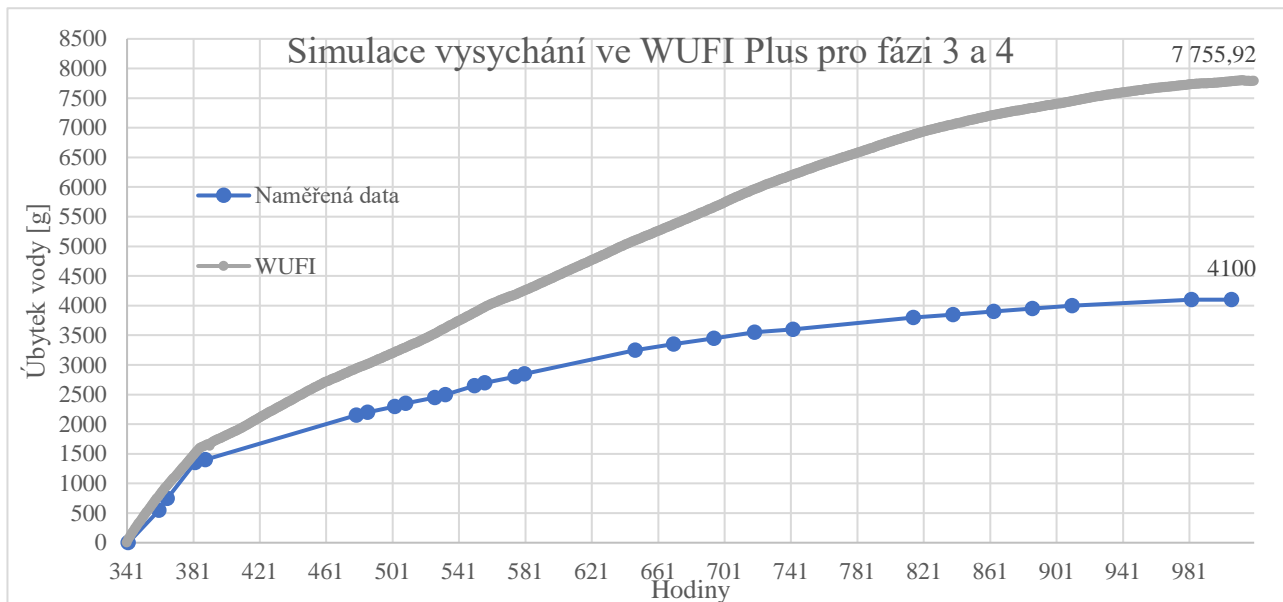
- Fáze 3 a 4



Obrázek 151 Graf porovnání průběhů vysychání ve fázi 3

V porovnání křivek vysychání je viditelný po dobu fáze 3 stejný trend. Na konci fáze je rozdíl v hodnotách 151,6 gramů. Naměřená data na reálném modelu vykazují úbytek vody 1350 gramů po 40 hodinách měření od zabudování hliněných omítek a simulace modelu ukazuje po 40 hodinách úbytek 1501,6 gramů vody.

U konečné fáze nastává velký rozdíl ve vyschnutém množství vody. V reálně naměřených hodnotách vyschlo 4100 gramů vody a v simulovaném modelu 7755,92 gramů, což činí rozdíl 3655,92. V simulaci bylo větrání zadáno jako nulové. Jak již bylo psáno u předchozích simulací malých vzorků, tak OSB desky měly pravděpodobně menší obsah vody, než se ve výpočtu uvažovalo.



Obrázek 152 Graf porovnání průběhů vysychání ve fázi 3 a 4

4.3. Celkové vyhodnocení simulací experimentů ve WUFI Pro a WUFI Plus

Ve WUFI Pro bylo nasimulováno deset vzorků, a to čtyři vzorky s hliněnými omítkami, pět vzorků se sádrovými omítkami a jeden se betonovým potěrem. Všechny vzorky kopírovaly reálně provedený experiment. Celkově se dá napsat, že nasimulované vzorky měly shodu nejméně 80,15 %. Největší shodu s naměřenými daty měl vzorek v betonovém potěrem s rozdílem v konečném vyschnutém množství vody pouze 14,55 gramů při simulaci s propadem vlhkosti. Hliněné omítky měly též velmi shodné průběhy a nejmenším rozdílem od naměřených dat 40,21 gramů a s největším rozdílem 62,59 gramů vody. Sádrové omítky takovou shodu jako hliněné neměly, ale pravděpodobně kdyby se přidal propad vlhkosti, průběhy křivek výsledků ze simulace by se zarovnal a více podobaly reálně naměřeným datům. Sádrové omítky měly nejmenší rozdíl od naměřených dat 76,48 gramů a s největším rozdílem 181,47 gramů.

Ve WUFI Plus byl simulován velký vzorek jako vzorek, který kopíroval zjednodušeně reálně provedený experiment. Simulace byla rozdělena do 4 časových fází a do dvou hlavních úseků, a to realizace betonové podlahy a realizace hliněných omítek. Co se týče shody v teplotě, tak výsledky jsou velmi přesné a kopírující reálné měření. Největší rozdíl v naměřených datech a v simulaci bylo 1,52 °C. Relativní vlhkost už nemá takovou shodu jako teplota, ale trendy simulace a naměřených dat jsou podobné. Největší rozdíl v relativních vlhkostech je 21,43 %.

Výstupy vyschlého množství vody ze simulace a z reálně provedeného experimentu jsou procentuálně vyhodnoceny v tabulce níže.

vzorek	obsah vody	naměřená data	simulace WUFI Pro/Plus	rozdíl simulace a naměřených dat	procentuální shoda
S-10-1	361,26	308,9	385,38	76,48	80,15 %
S+f-15-2	547,63	446,5	541,1	94,6	82,52 %
S-15-3	546,99	458,1	570,16	112,06	80,35 %
S-20-7	772,24	637,6	791,16	153,56	80,59 %
S-25-8	954,48	777,6	959,07	181,47	81,08 %
H-15-4	464,17	446,2	486,41	40,21	91,73 %
H+f-20-5	632,05	563,6	626,19	62,59	90,00 %
H-20-6	606,48	580,9	636,06	55,16	91,33 %
H-25-9	746,33	706,1	763,42	57,32	92,49 %
B-50-10	540,24	244,9	259,45	14,55	94,39 %
Velký vzorek fáze 1 a 2	4681,25	1650	1892,85	242,85	87,17 %
Velký vzorek fáze 3 a 4	4358,1	4100	7755,92	3655,92	52,86 %

Tabulka 34 Procentuální shoda vyschlého množství vody z naměřených dat a simulace

Bylo ozkoušeno mnoho variant se změnami větrání, úpravami materiálových charakteristik použitých materiálů, úpravou součinitelů prostupu tepla, ale žádná varianta nevedl k lepší shodě než tato konečná, tak aby zadávané parametry odpovídaly realitě. Obecně WUFI ze simulovaných výsledků předpokládá u všech vzorků vyšší hodnotu množství konečné vyschlé vody a rychlejší průběh vysychání. Příčina může být v obsahu vlhkosti OSB desek (větší uvažované množství) na začátku realizace experimentů, u hliněných omítek nebyla znána přesná hodnota tloušťky vrstev na OSB příčkách a mohlo dojít k chybě v zadávání do softwaru. U malých vzorků je vidět dle tabulky poměrně slušná shoda s naměřenými daty, ale je možné, že kdyby byl výpočet spuštěn na delší dobu a s větším množstvím, tak by také vykazoval větší odklonění od reálného měření, jako tomu je u simulace velkého vzorku.

4.4. Simulace reálné stavby

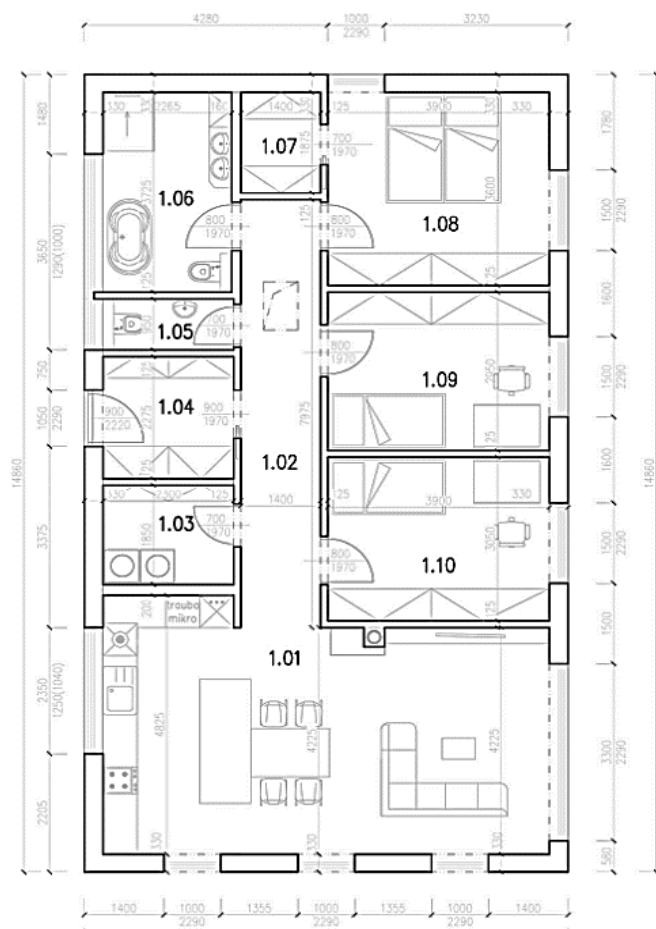
Pro simulaci reálné stavby byl zvolen projekt menšího rodinného domu od COUNCIL dřevostavby z řady RD Council Modern. Objekt je jednopodlažní, nepodsklepený se sedlovou střechou a bez podkroví. V objektu se nachází čtyři obytné místnosti, z čehož jsou tři pokoje a jeden obývací pokoj s jídelnou a kuchyní, dále pak zádveří, WC, koupelna s WC a technická místnost. (41)



Obrázek 155 Vizualizace objektu s difuzně otevřenou skladbou (41)



Obrázek 154 Vizualizace objektu s difuzně uzavřenou skladbou (41)



Obrázek 153 Půdorys objektu (41)

LEGENDA MÍSTNOSTÍ

Číslo	Účel	Plocha m ²
1.01	OBÝV. POKOJ+KK	34,4
1.02	CHODBA	10,7
1.03	TECHNICKÁ MÍST.	4,0
1.04	PŘEDSÍŇ	5,3
1.05	WC	2,1
1.06	KOUPELNA	8,4
1.07	ŠATNA	2,7
1.08	LOŽNICE	14,0
1.09	DĚTSKÝ POKOJ 2	11,5
1.10	DĚTSKÝ POKOJ 2	11,5

zastavěná plocha RD 126,4m²



Obrázek 156 Pohledy objektu (41)

4.4.1. Uvažovaný model

Objekt byl nasimulován tak, aby reflektoval provedené experimenty a navazoval na ně. V modelu jsou použity hliněné omítky nanesené na OSB desky a betonová podlaha. Pro výpočet bylo uvažováno několik modelových situací:

- Dle započítání zabudování:

V programu byly zadány dvě hlavní počáteční období a to:

- Zabudování vlhkosti v květnu
- Zabudování vlhkosti v listopadu

- Dle skladeb:

Byly porovnávány dvě varianty a to:

- se skladbami difuzně otevřenými
- se skladbami difuzně uzavřenými

- Dle typu lité podlahy:

Pro porovnání byl vytvořen model s:

- Betonovou litou podlahou
- Anhydritovou podlahou

- Dle větrání:

Byly zkoumány dvě varianty z hlediska větrání a to:

- větrání 0,5 1/h a s infiltrací 0,1 1/h
- bez větrání a infiltrací

4.4.2. Vstupní hodnoty

Do WUFI Plus byly zadány parametry viz Obrázek 157. Tyto parametry jsou převzány z půdorysu, viz Obrázek 153 a z webových stránek projektu, a pro všechny simulované varianty jsou stejné. Podlahová plocha činí 126,46 m², plochy stěn dohromady 128,51 m², střecha 154,38 m² a příčky 126,075 m².

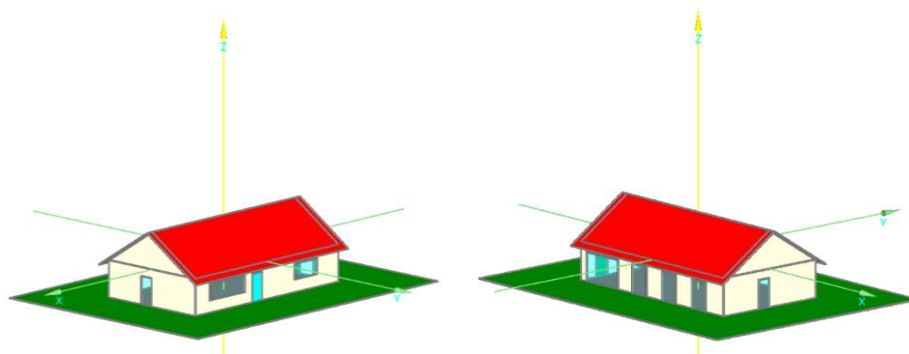
Dimensions	
d1 [m]	14,860
d2 [m]	8,51
Story height [m]	3
First floor height [m]	3
Number of stories	1

Roof geometry	
h1 [m]	0
Roof inclination [°]	35
Gable ends	<input checked="" type="checkbox"/>
Roof overhang [m]	0,5

Geometry	
----------	--

Obrázek 157 Základní parametry zadané do programu WUFI Plus

Jelikož se jedná o obecný projekt, tak zde nebyla udána orientace. Orientace byla zvolena dle Obrázek 158.



Obrázek 158 Model v programu WUFI Plus

- Dle období započítání zabudování vlhkosti:

Simulace bylo provedena se započítáním v květnu a se započítáním v listopadu. U května byla simulace spuštěna na dva roky a listopadu byla simulace spuštěna na rok a půl, aby byla srovnatelná s variantou od května.

Date / Time	
Start	pondělí 1. května 2023 / 0:00
End	čtvrtek 1. května 2025 / 0:00

Obrázek 160 Interval simulace od května

Date / Time	
Start	středa 1. listopadu 2023 / 0:00
End	čtvrtek 1. května 2025 / 0:00

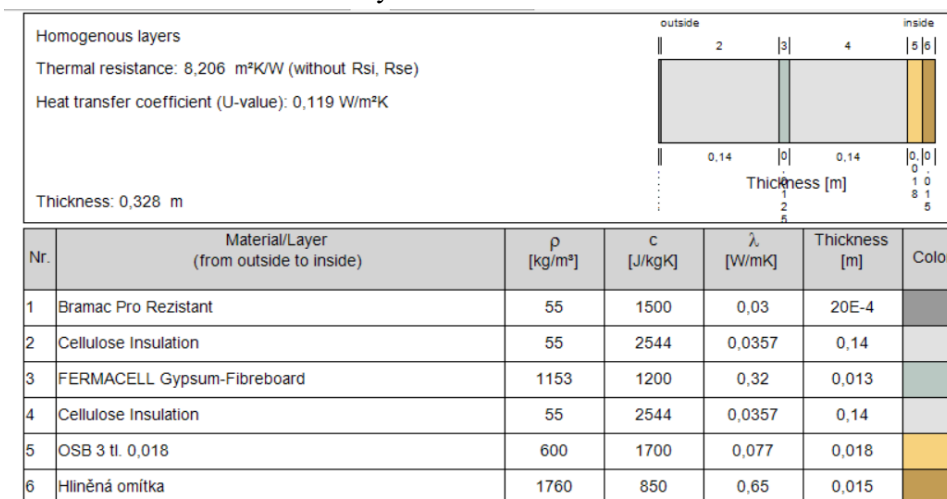
Obrázek 159 Interval simulace od listopadu

- Dle skladeb:

Skladby jsou zjednodušeně navrženy tak, aby odpovídaly skladbám v typickém pasivních dřevostavbách. Také byly skladby zvoleny v návaznosti na experimenty, co se týče použitých materiálů.

Difuzně otevřené skladby

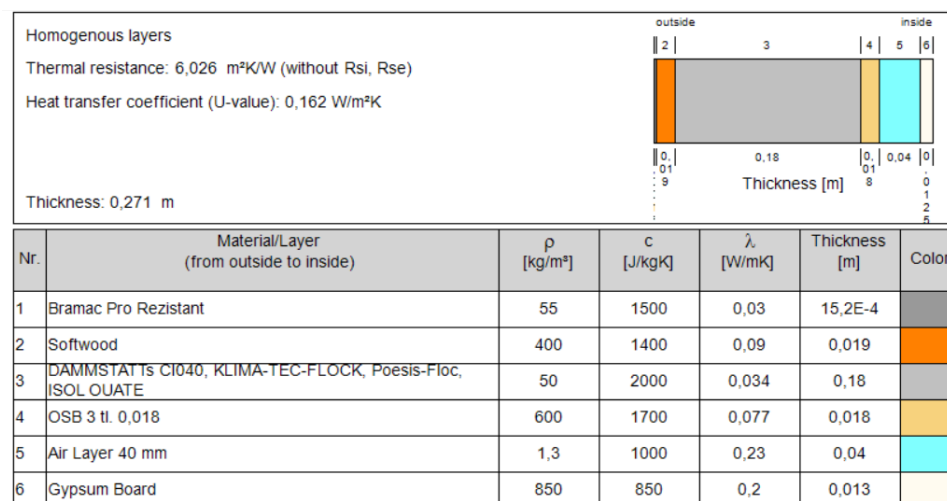
○ Skladba obvodové stěny a štítu



Obrázek 161 Skladba stěn difuzně otevřených

Jako obvodové stěny byly zvoleny stěny ze systému two by four s foukanou celulóзовou tepelnou izolací. Skladba má z interiérové strany nanesenou hliněnou omítku na OSB desce a z exteriérové strany se nachází dřevěné obklady (do simulace nebyly zadány, jelikož výpočet neovlivní).

○ Skladba střešní konstrukce



Obrázek 162 Skladba střechy difuzně otevřené

Střešní konstrukce byla navržena se sádrokartonovou deskou na interiérové straně a střešní fólií na straně exteriérové.

○ Skladba příček

Homogenous layers		outside			inside	
Thermal resistance: 0,189 m ² K/W (without R _{si} , R _{se})		1 2 3				
Heat transfer coefficient (U-value): 2,226 W/m ² K		0,015 0,015 0,015				
Thickness: 0,045 m		Thickness [m]				
Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Hliněná omítka	1760	850	0,65	0,015	
2	OSB 3 (oriented strand board)	595	1400	0,1049	0,015	
3	Hliněná omítka	1760	850	0,65	0,015	

Obrázek 163 Skladba příček

Skladba příček byla navržena zjednodušeně, jako v experimentu v kapitole 3.3.

Difuzně uzavřené sklady

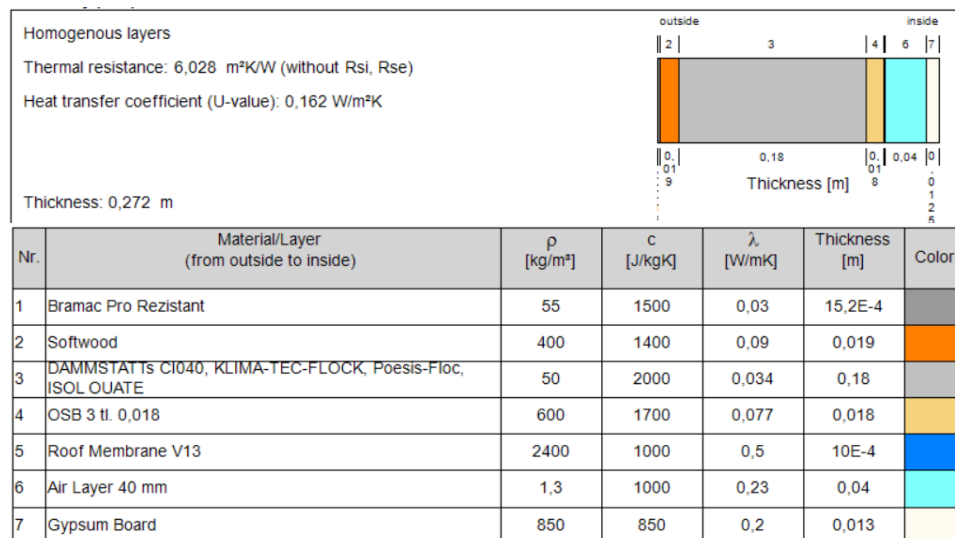
○ Skladba obvodové stěny a štítu

Homogenous layers		outside			inside	
Thermal resistance: 6,87 m ² K/W (without R _{si} , R _{se})		3 4 5 7 8 9				
Heat transfer coefficient (U-value): 0,142 W/m ² K		0,089 0 0,14 0,04 0,01 0,018				
Thickness: 0,321 m		Thickness [m]				
Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Silicon Resin Finishing Coat	1475	1000	0,689	15E-4	
2	Lepidlo	2000	850	1,2	40E-4	
3	Expanded Polystyrene Insulation	14,8	1470	0,036	0,089	
4	FERMACELL Gypsum-Fibreboard	1153	1200	0,32	0,013	
5	Cellulose Insulation	55	2544	0,0357	0,14	
6	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	130	2300	2,3	10E-4	
7	Air Layer 40 mm	1,3	1000	0,23	0,04	
8	OSB 3 tl. 0,018	600	1700	0,077	0,018	
9	Hliněná omítka	1760	850	0,65	0,015	

Obrázek 164 Skladby stěn difuzně uzavřených

Skladba stěny byla také zvolena ze systému two by four s rozdílem ukončení na exteriérové straně a přidáním parotěsné fólie. Na skladbu byl aplikován systém ETICS s tepelnou izolací z bílého EPS polystyrenu a souvrstvím exteriérové omítky (lepidlo + finální vrstva)

○ Skladba střešní konstrukce



Obrázek 165 Skladba střechy difuzně uzavřená

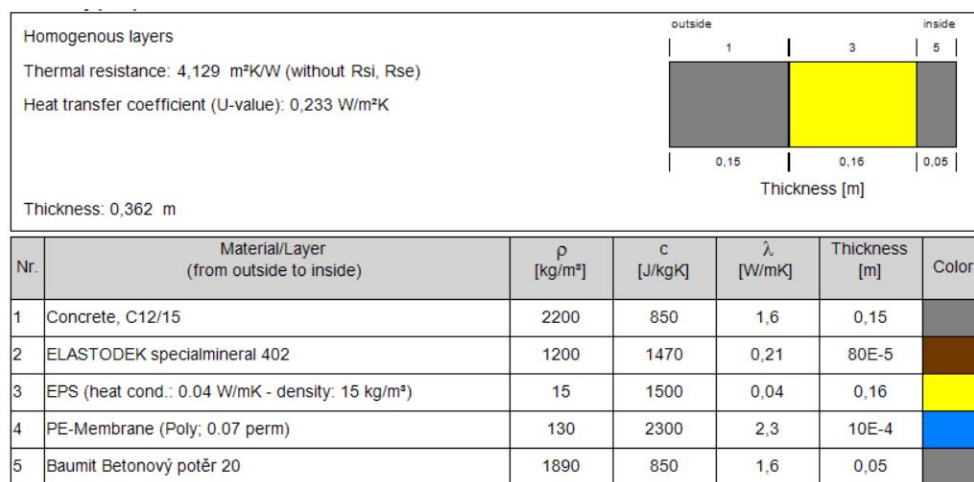
Skladba střešní konstrukce je téměř stejná jako u varianty difuzně otevřená s rozdílem přidání parotěsné fólie před OSB desku (bráno od interiéru).

○ Skladba příček

Skladba příček je v této variantě identická se skladbou ve variantě difuzně otevřených skladeb.

• Dle typu lité podlahy:

Betonová litá podlaha



Obrázek 166 Skladby podlahy s betonovým potěrem

Anhydritová podlaha

Homogenous layers		outside		inside		
Thermal resistance: 4,14 m ² K/W (without R _{si} , R _{se})		1		3		
Heat transfer coefficient (U-value): 0,232 W/m ² K		0,15		0,16		
Thickness: 0,362 m		0,15		0,05		
		Thickness [m]				
Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Concrete, C12/15	2200	850	1,6	0,15	
2	ELASTODEK specialmineral 402	1200	1470	0,21	80E-5	
3	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 15 kg/m ³)	15	1500	0,04	0,16	
4	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	130	2300	2,3	10E-4	
5	Anhydrit	2100	850	1,2	0,05	

Obrázek 167 Skladby podlahy s anhydritem

Počáteční vlhkosti skladeb

Jednotlivé počáteční vlhkosti byly zadány o stejných hodnotách viz kapitola 4.2.2. a 4.1.2. Celkově bylo zabudováno 6032,149 kg vody.

○ Skladby podlah

Nr.	Anhydritová podlaha	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	Concrete, C12/15	0,15	0,18	100
2	ELASTODEK specialmineral 402	8E-4	0,001	0
3	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 15 kg/m ³)	0,16	0,95	0
4	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	0,001	0,001	0
5	Anhydrit	0,05	0,7	360

Nr.	Betonová podlaha	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	Concrete, C12/15	0,15	0,18	100
2	ELASTODEK specialmineral 402	8E-4	0,001	0
3	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 15 kg/m ³)	0,16	0,95	0
4	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	0,001	0,001	0
5	Baumit Betonový potěr 20	0,05	0,2	179,17

Obrázek 168 Skladby podlah s počátečním vlhkostí

○ Difuzně otevřené

Nr.	Stěny	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	Bramac Pro Rezistant	0,002	0,001	0,0018
2	Cellulose Insulation	0,14	0,93	6,6
3	FERMACELL Gypsum-Fibreboard	0,0125	0,52	15,8
4	Cellulose Insulation	0,14	0,93	6,6
5	OSB 3 tl. 0,018	0,018	0,9	48
6	Hliněná omítka	0,015	0,42	340,9

Nr.	Střecha	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	Bramac Pro Rezistant	0,00152	0,001	0,0018
2	Softwood	0,019	0,73	60
3	DAMMSTATTs CI040, KLIMA-TEC-FLOCK, Poesis-Floc, ISO	0,18	0,95	5,5
4	OSB 3 tl. 0,018	0,018	0,9	48
5	Air Layer 40 mm	0,04	0,999	0
6	Gypsum Board	0,0125	0,65	6,3

Nr.	Příčky	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	Hliněná omítka	0,015	0,42	340,9
2	OSB 3 (oriented strand board)	0,015	0,82	48
3	Hliněná omítka	0,015	0,42	340,9

Obrázek 169 Skladby difuzně otevřené s počátečními vlhkostmi

○ Difuzně uzavřené

Nr.	Stěny	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	Silicon Resin Finishing Coat	0,0015	0,44	303
2	Lepidlo	0,004	0,3	280
3	Expanded Polystyrene Insulation	0,089	0,99	0,06
4	FERMACELL Gypsum-Fibreboard	0,0125	0,52	15,8
5	Cellulose Insulation	0,14	0,93	6,6
6	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	0,001	0,001	0
7	Air Layer 40 mm	0,04	0,999	0
8	OSB 3 tl. 0,018	0,018	0,9	48
9	Hliněná omítka	0,015	0,42	340,9

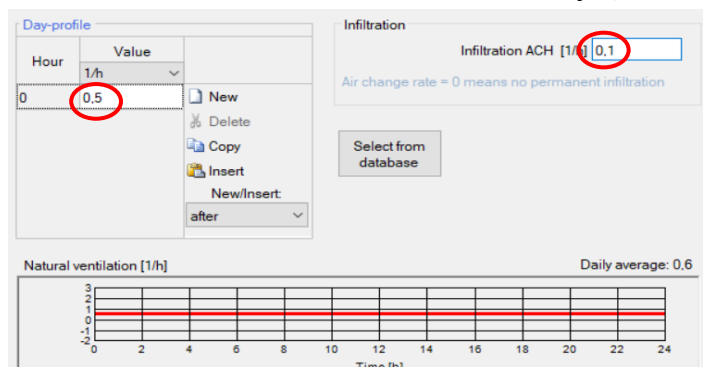
Nr.	Střecha	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	Bramac Pro Rezistant	0,00152	0,001	0,0018
2	Softwood	0,019	0,73	60
3	DAMMSTATts CI040, KLIMA-TEC-FLOCK, Poesis-Floc, ISO	0,18	0,95	5,5
4	OSB 3 tl. 0,018	0,018	0,9	48
5	Roof Membrane V13	0,001	0,001	0
6	Air Layer 40 mm	0,04	0,999	0
7	Gypsum Board	0,0125	0,65	6,3

Nr.	Příčky	Thickness [m]	Porosity [-]	Water content [kg/m ³]
1	Hliněná omítka	0,015	0,42	340,9
2	OSB 3 (oriented strand board)	0,015	0,82	48
3	Hliněná omítka	0,015	0,42	340,9

Obrázek 170 Skladby difuzně uzavřené s počátečními vlhkostmi

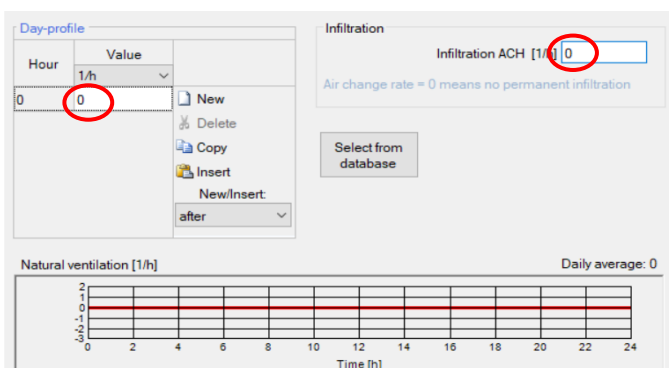
- Dle větrání:

Větrání 0,5 1/h + infiltrace 0,1 1/h (dohromady 0,6 1/h)



Obrázek 171 Nastavená intenzita větrání

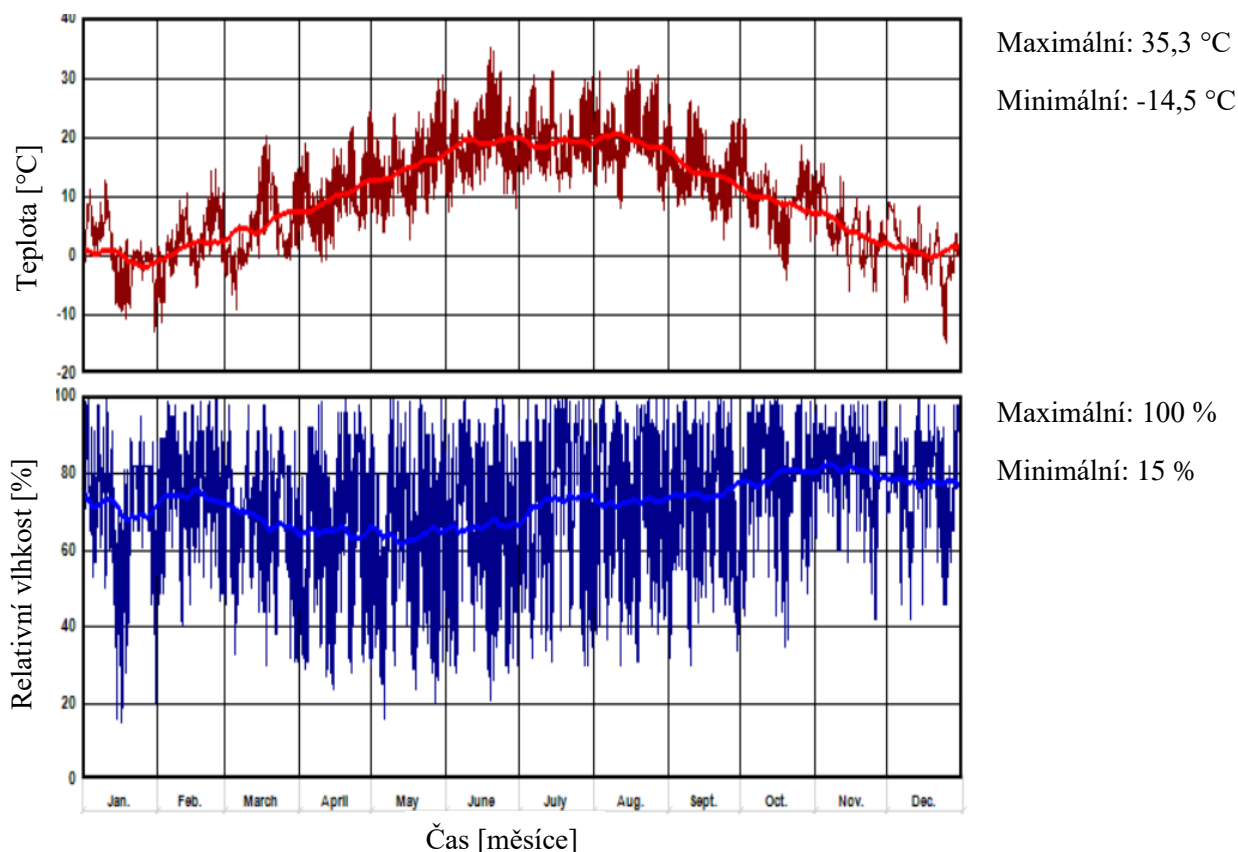
Větrání 0 1/h



Obrázek 172 Nastavená intenzita větrání

4.4.3. Okrajové podmínky

Modelový objekt byl umístěn do okrajových podmínek v Hradci Králové. Průběhy teploty a relativní vlhkosti jsou vyobrazeny na Obrázek 173. Počáteční podmínky pro výpočet byly zvoleny dle Obrázek 174.



Obrázek 173 Průběh T a RH

Počáteční podmínky výpočtu:

Initial room conditions

Initial temperature [°C]

Initial rel. humidity [%]

Unit of initial CO₂-concentration

Initial CO₂-concentration [ppmv]

Distribution of solar gains on inner surfaces

Proportional to area

User defined

Solar radiation direct to inner air [-]

Obrázek 174 Počáteční podmínky

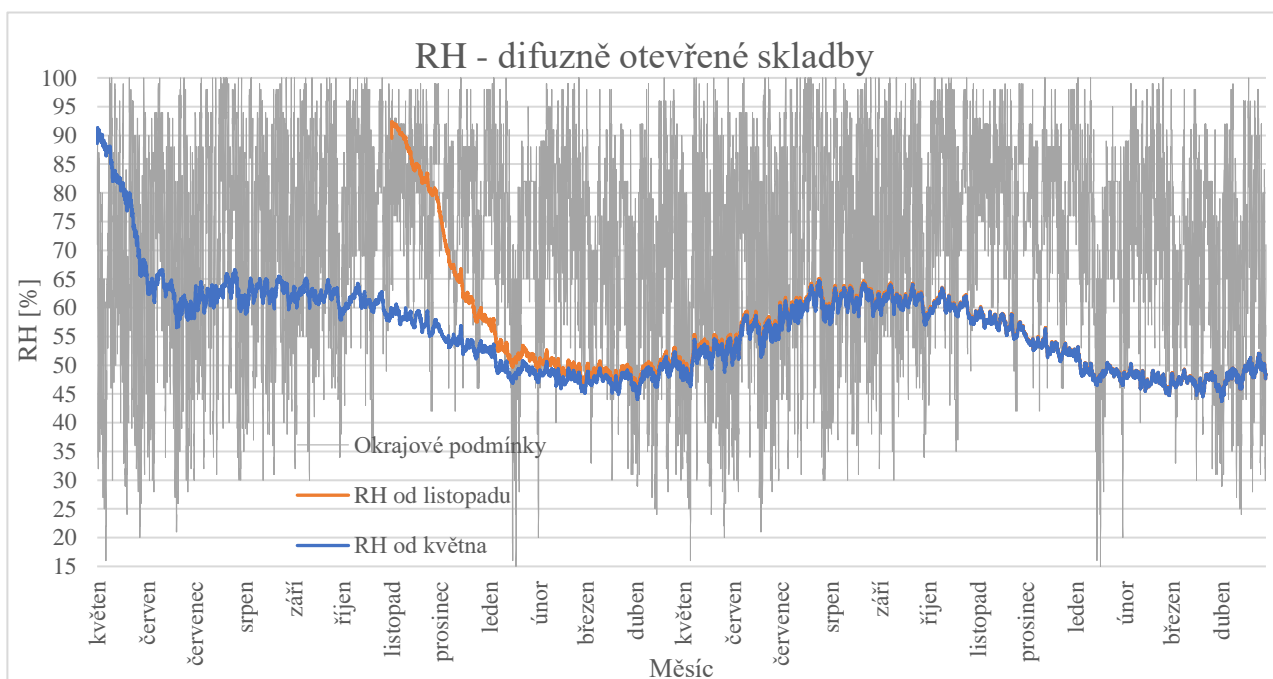
4.4.4. Předpoklady

- Prudké vysychání na začátku simulace
- Varianta se zabudováním vlhkosti v listopadu se bude lišit průběhem od zabudování vlhkosti v květnu
- Difuzně otevřené skladby budou napomáhat snazšímu vysychání celkového objektu
- Anhydrit obsahuje větší množství vody při zabudování, a tudíž bude vysychat zřejmě déle
- Zamezení větrání u difuzně uzavřených skladeb způsobí velké množství vlhkosti, která se zamezí vysychání přítomností fólií ve skladbách a bude tak hrozit riziko vzniku biodegradace

4.4.5. Výsledky a diskuse

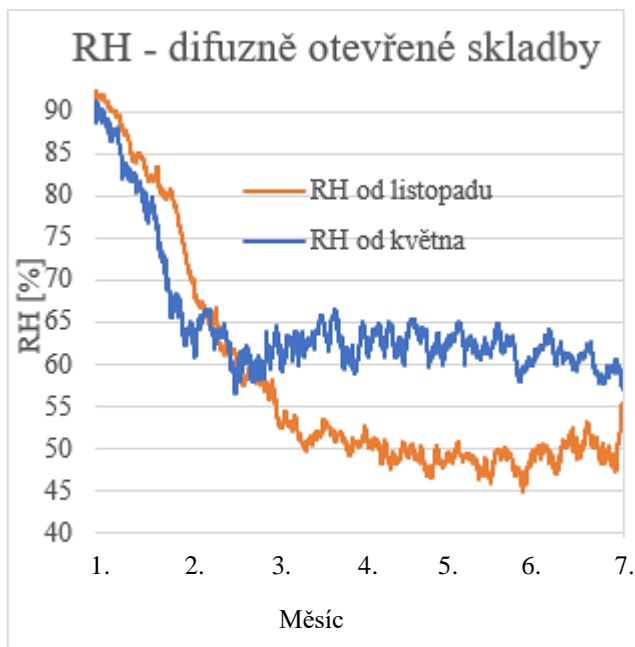
- Dle zabudování

Porovnávané varianty dle období zabudování byly porovnávány skladby difuzně otevřené s betonovou podlahou s větráním celkově 0,6 l/h. Do prvních grafů byly přidány okrajové podmínky, ale z důvodu rychle se měnící teploty a relativní vlhkosti během v řádech pár hodin (den-noc) nejsou čitelné výsledky simulace a proto dále nebyly propisovány do dalších výsledku. Je ale zřejmé, že výsledky byly ovlivňovány podmínkami v okolí. U teploty i relativní vlhkosti je vidět shodný trend křivek po ustálení vlhkosti ze zabudování mokřých podlah a omítek.



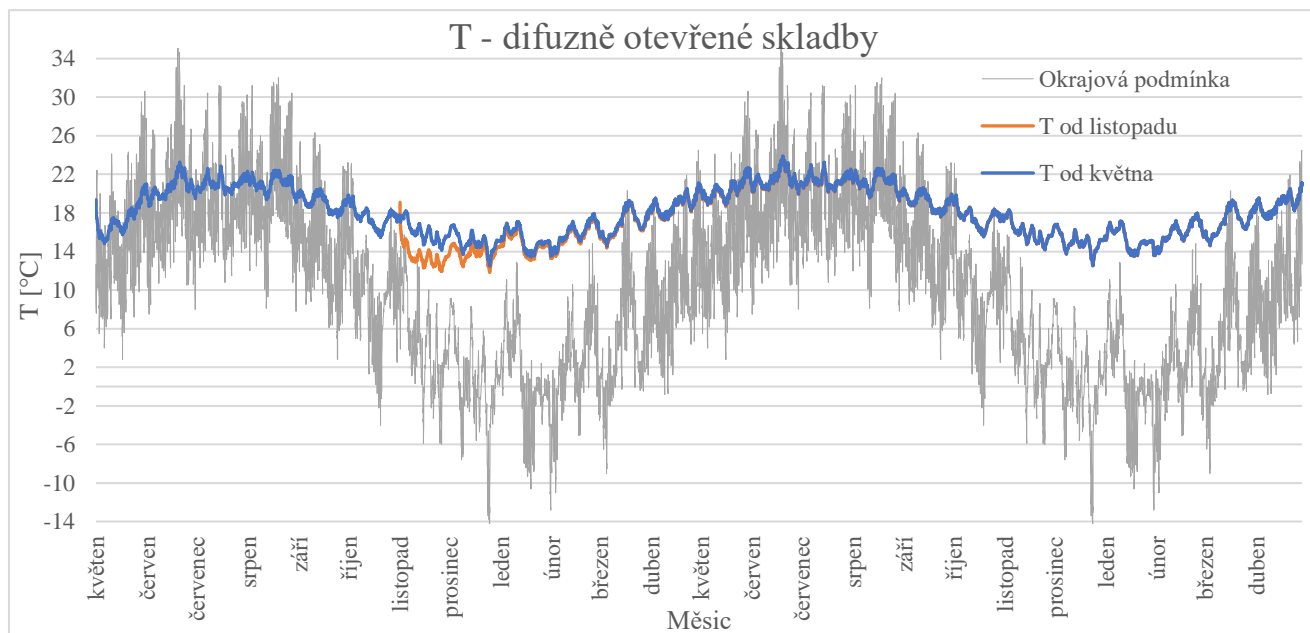
Obrázek 175 Graf průběhu RH difuzně otevřených skladeb

Rozdíly u křivek relativních vlhkostí je ztelně větší rozdíl od listopadu do července, kde křivka zabudování v listopadu (oranžová křivka) vykazuje vyšší hodnoty RH než křivka zabudování od května (modrá křivka). Dále od července do následujícího listopadu je oranžová křivka mírně nad modrou křivkou. Maximální rozdíl ve vlhkostech při zabudování, když se modrá a oranžová křivka dají na sebe (viz níže) tak maximální rozdíl činí 4,69 % RH.



Obrázek 176 Porovnání křivek od stejného bodu

Rozdíly v teplotě jsou viditelné pouze na začátku při zabudování v listopadu a v dubnu se křivky zarovnají a mají téměř nulové rozdíly. Maximální odchylka teplot je 3,03 °C.

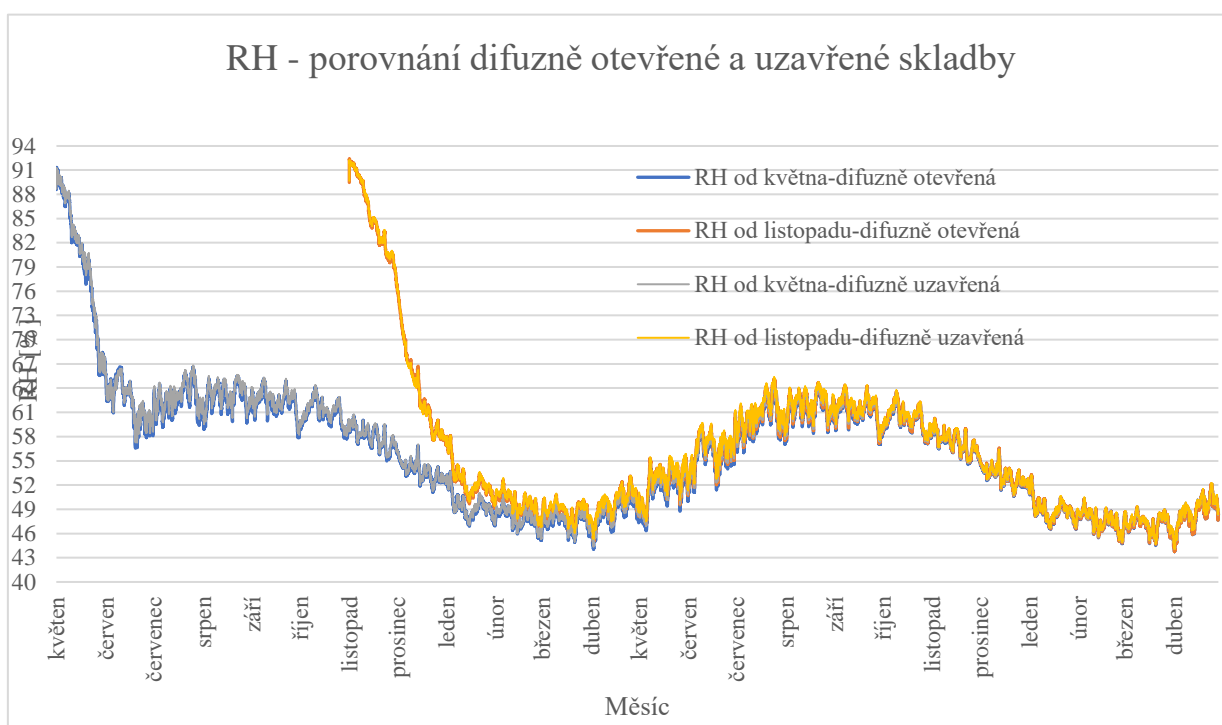


Obrázek 177 Graf průběhu T difuzně otevřených skladeb

- Dle skladeb

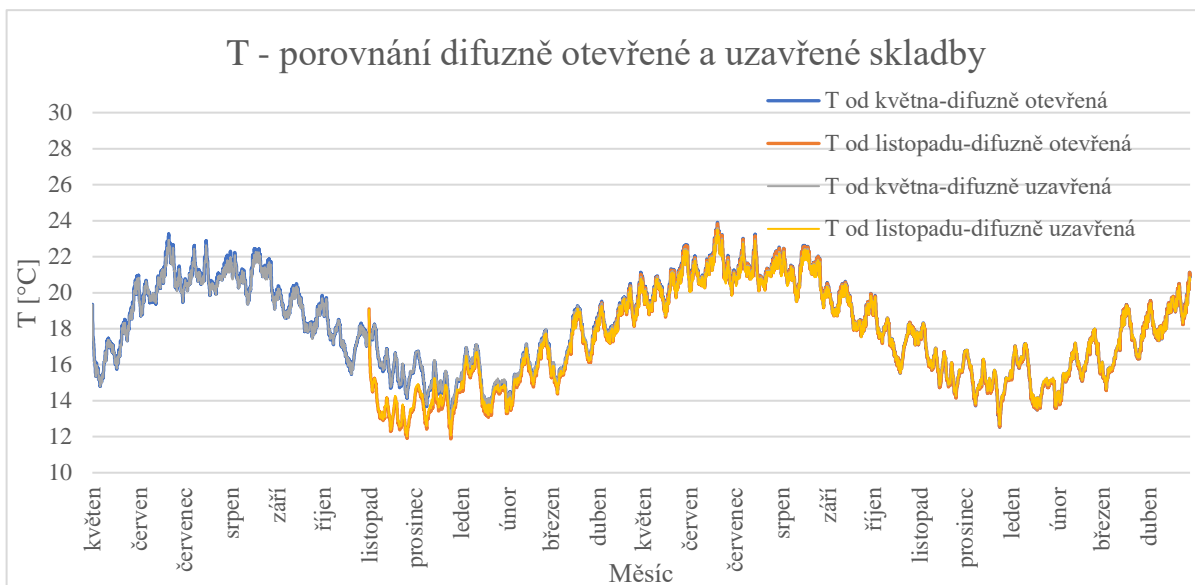
Varianty simulace jsou dle období zabudování a byly porovnávány skladby difuzně otevřené se skladbami difuzně uzavřenými s betonovou podlahou s větráním celkově 0,6 1/h.

U skladeb difuzně uzavřených (šedá a žlutá křivka) je pozorovatelný stejný trend jako u difuzně otevřených (modrá a oranžová křivka). Šedá a žlutá křivka se nacházejí mírně nad oranžovou a modrou křivkou. Je patrné, že program zaznamenal uzavření skladeb fólií, ale rozdíly jsou nepatrné. Maximální rozdíl mezi difuzně otevřenou a difuzně uzavřenou skladbou je při zabudování v květnu a to o 1,09 % RH



Obrázek 178 Graf průběhu RH difuzně otevřených a uzavřených skladeb

U teploty jsou vidět stejné trendy v porovnání difuzně uzavřené a otevřené varianty skladeb. Křivky difuzně uzavřených skladeb (žlutá a šedá křivka) jsou mírně pod křivkami difuzně otevřených skladeb (oranžová a modrá křivka). Maximální rozdíl mezi difuzně uzavřenou a difuzně otevřenou skladbou je při zabudování v květnu a to o 0,39 °C.



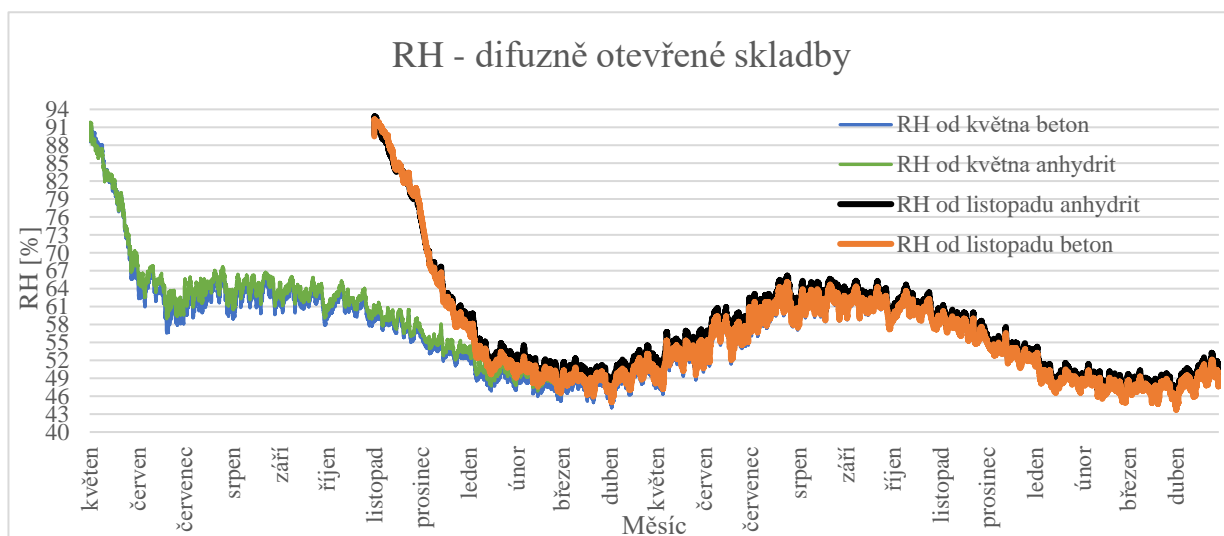
Obrázek 179 Graf průběhu T difuzně otevřených a uzavřených skladeb

- Dle typu podlahy

Pro porovnání typů podlahy byla použita varianta difuzně uzavřené skladby a difuzně otevřené sklady z bodu dle zabudování. Bylo zvoleno porovnání od května i listopadu s větráním 0,6 1/h.

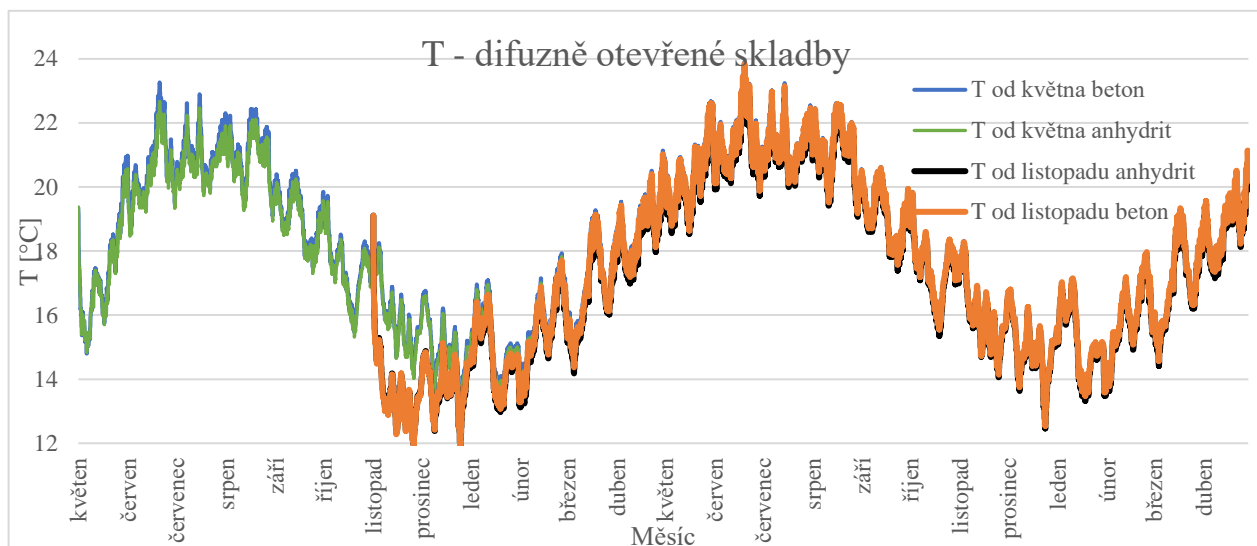
Difuzně otevřené skladby

U RH je vidět, že anhydrit (zelená a černá křivka) má zvýšené hodnoty po celou dobu průběhu, než je tomu tak u betonu (modrá a oranžová křivka). Největší rozdíl mezi zelenou a modrou křivkou, tedy u zabudování v květnu činí 2,89 % RH a největší rozdíl mezi černou a oranžovou křivkou tedy u zabudování v listopadu činí 2,03 % RH. Simulace s anhydritem dosáhla maximální relativní vlhkost zelené křivky 91,88 % a černá křivka 92,85 %. Simulace s betonem dosáhla maximální relativní vlhkost modré křivky 91,30 % a oranžové křivky 92,34 %.



Obrázek 180 Graf průběhu RH difuzně otevřených skladeb s betonovou a anhydritovou podlahou

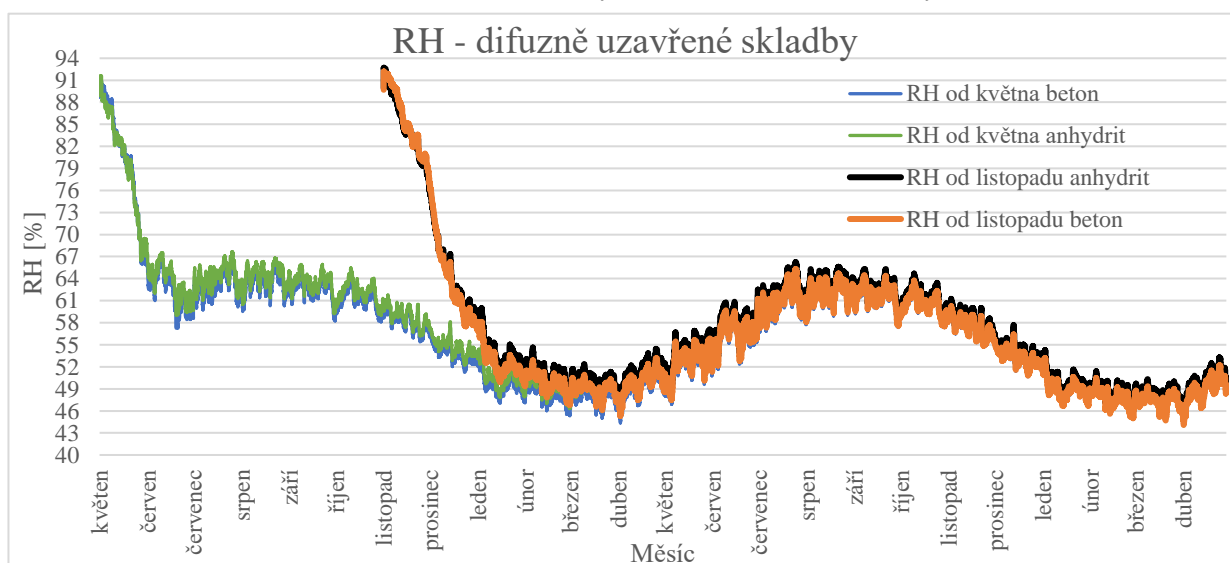
Teplota vykazuje prakticky srovnatelné chování. Největší rozdíl mezi zelenou a modrou křivkou, tedy u zabudování v květnu činí 0,63 °C a největší rozdíl mezi černou a oranžovou křivkou tedy u zabudování v listopadu činí 0,51 °C. Simulace s anhydritem dosáhla maximální teploty zelené křivky 23,44 °C a černá křivka 23,36 °C. Simulace s betonem dosáhla maximální teploty modré křivky 23,90 °C a oranžové křivky 23,82 °C.



Obrázek 181 Graf průběhu T difuzně otevřených skladby s betonovou a anhydritovou podlahou

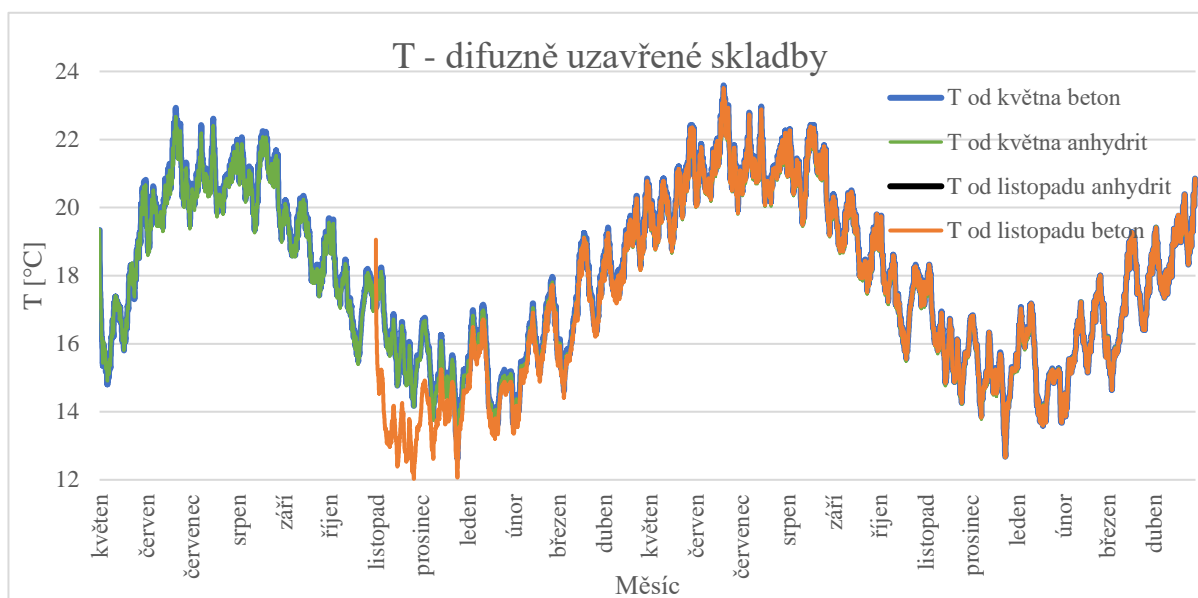
Difuzně uzavřené skladby

U průběhu RH je vidět stejné chování jako u difuzně otevřených skladby. Největší rozdíl mezi zelenou a modrou křivkou, tedy u zabudování v květnu činí 2,04 % RH a největší rozdíl mezi černou a oranžovou křivkou tedy u zabudování v listopadu činí 1,95 % RH. Simulace s anhydritem dosáhla maximální relativní vlhkost zelené křivky 91,64 % a černé křivky 92,69 %. Simulace s betonem dosáhla maximální relativní vlhkost modré křivky 91,25 % a oranžové křivky 92,19 %.



Obrázek 182 Graf průběhu RH difuzně uzavřených skladby s betonovou a anhydritovou podlahou

Teplota vykazuje prakticky srovnatelné chování. Křivka s nejvyššími teplotami je křivka modrá. Největší rozdíl mezi zelenou a modrou křivkou, tedy u zabudování v květnu činí 0,27 °C a největší rozdíl mezi černou a oranžovou křivkou tedy u zabudování v listopadu činí 0,23 °C. Simulace s anhydritem dosáhla maximální teploty zelené křivky 23,4 °C a černé křivky 23,32 °C. Simulace s betonem dosáhla maximální teploty modré křivky 23,59 °C a oranžové křivky 23,52 °C.



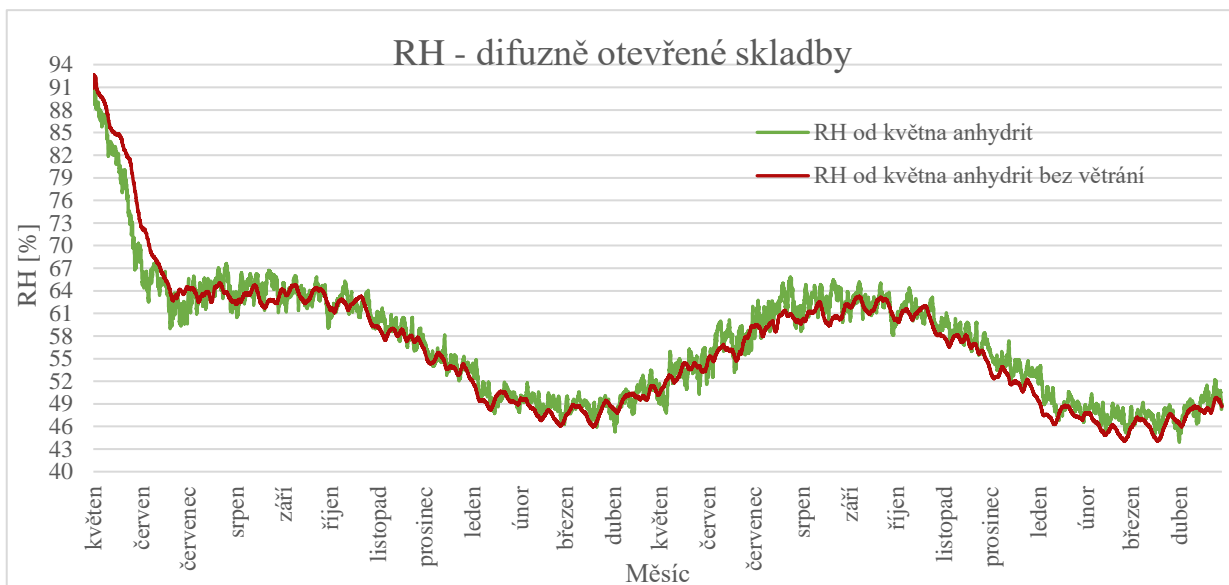
Obrázek 183 Graf průběhu T difuzně uzavřených skladby s betonovou a anhydritovou podlahou

- Dle větrání

Pro porovnání byla vybrána varianta s anhydritovou podlahou mezi větranou a nevětranou variantou a zabudováním od května.

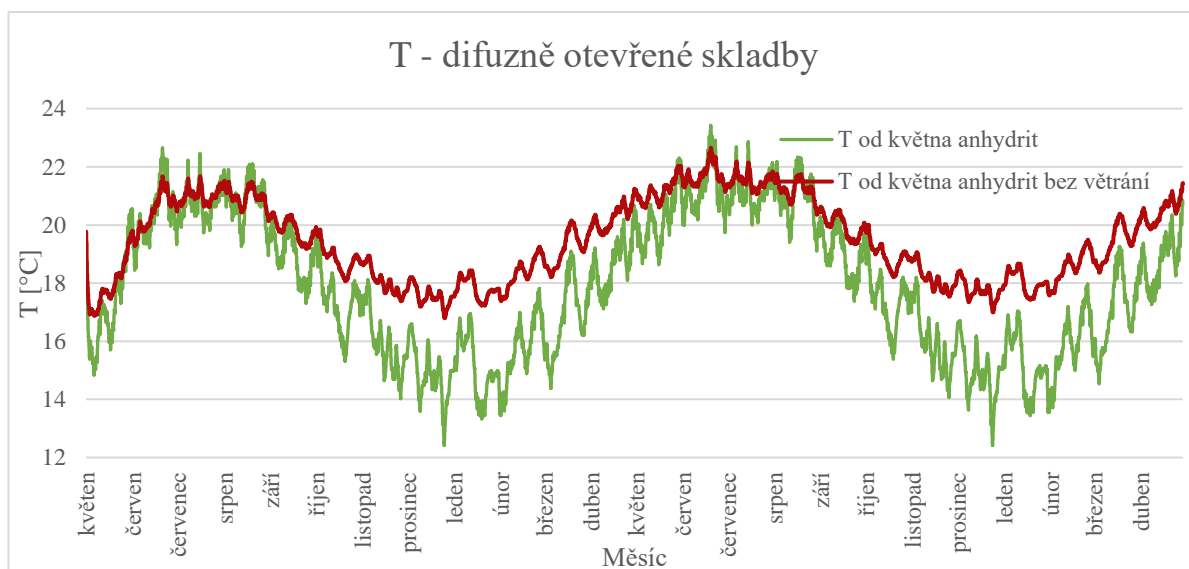
Difuzně otevřené skladby

U relativní vlhkosti je vidět pomalejší průběh vysychání u křivky bez větrání (červená křivka) než u křivky s větráním (zelená křivka). Je zřejmé, že trend červené křivky nemá tak rozkmitaný trend jako trend křivky zelené. Je to způsobené ovlivněním zelené křivky okrajovými podmínkami okolí a červené ne. Největší rozdíl mezi zelenou a červenou křivkou činí 10,55 % RH a to 28. května. Simulace s anhydritem dosáhla maximální relativní vlhkost zelené křivky 91,88 % a červené křivky 92,66 %.



Obrázek 185 Graf průběhu RH difuzně otevřených skladeb s anhydritovou podlahou s větráním a bez

Teplota vykazuje stejné chování jako relativní vlhkost. Trend červené křivky bez větrání se jeví narovnanější a ustálenější než u křivky zelené. Největší rozdíl mezi zelenou a červenou křivkou činí 4,57 °C. Simulace s anhydritem dosáhla maximální teploty zelené křivky 23,44 °C a červené křivky 22,66 °C.

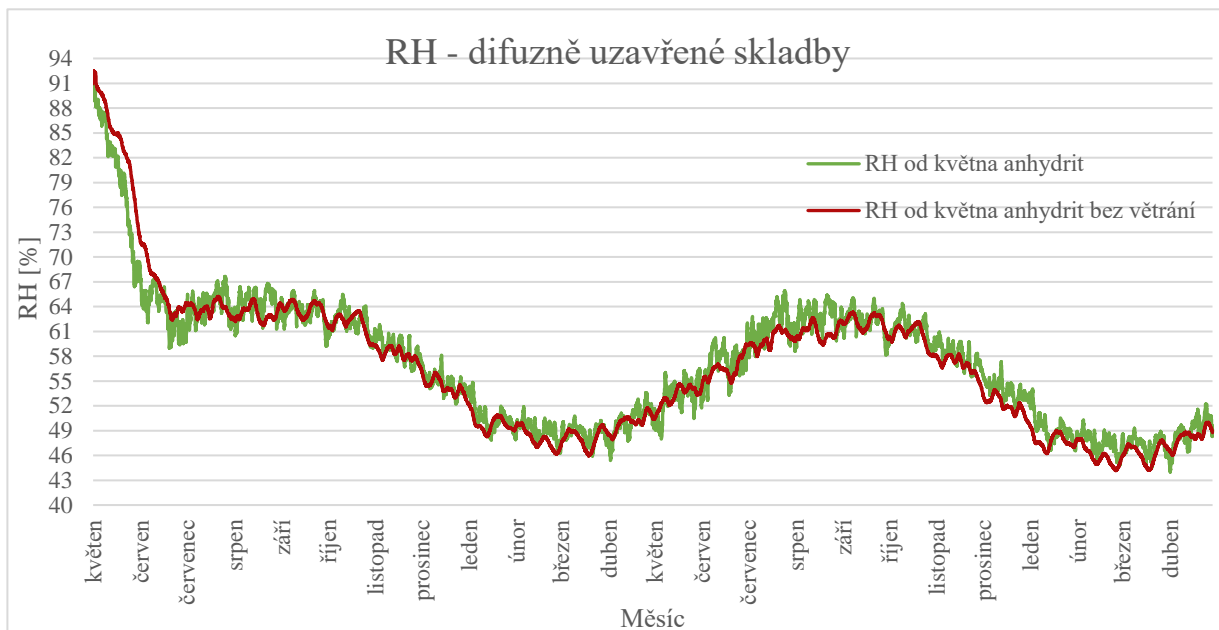


Obrázek 184 Graf průběhu T difuzně otevřených skladeb s anhydritovou podlahou s větráním a bez

Difuzně uzavřené skladby

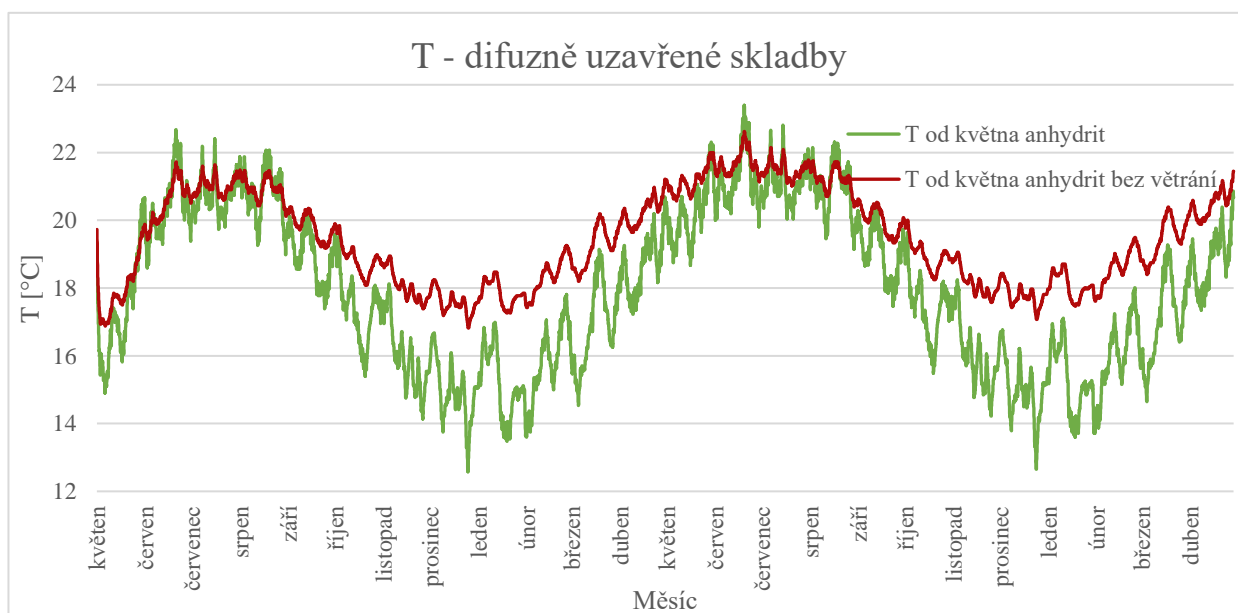
U relativní vlhkosti je vidět pomalejší průběh vysychání u křivky bez větrání (červená křivka) než u křivky s větráním (zelená křivka). Je zřejmé, že trend červené křivky nemá tak rozkmitaný trend jako trend křivky zelené. Je to způsobené ovlivněním zelené křivky okrajovými podmínkami okolí a červené ne. Největší rozdíl mezi zelenou a červenou křivkou činí 10,78 % RH a to 28. května.

Simulace s anhydritem dosáhla maximální relativní vlhkost zelené křivky 91,64 % a červené křivky 92,5 %.



Obrázek 186 Graf průběhu RH difuzně uzavřených skladeb s anhydritovou podlahou s větráním a bez

Teplota vykazuje stejné chování jako relativní vlhkost. Trend červené křivky bez větrání se jeví narovnanější a ustálenější než u křivky zelené. Největší rozdíl mezi zelenou a červenou křivkou činí 4,57 °C. Simulace s anhydritem dosáhla maximální teploty zelené křivky 23,40 °C a červené křivky 22,62 °C.



Obrázek 187 Graf průběhu T difuzně uzavřených skladeb s anhydritovou podlahou s větráním a bez

Když se porovnávala difuzně uzavřená a difuzně otevřená skladba bez větrání, tak rozdíly jsou v řádu jednotek. Bylo vyzkoušeno mnoho variant se změnami parametrů oken, parametrů vnitřního prostředí parametrů použitých materiálů (hlavně fólií faktor difuzního odporu), ale žádná nevedla k předpokladu delšího vysychání oproti větraným difuzně otevřeným skladbám. Pro dosažení očekávaných výsledků by bylo nutné se programu věnovat delší dobu, ale vzhledem k časové náročnosti výpočtu (jedna varianta se počítala cca hodinu až dvě) nebylo možné v rámci této práce více pokročit. Je možné, že s programem se nepracovalo úplně správně a zadávání se velmi odlišuje od zadávání simulací experimentů. Jedná se taky o mnohonásobně větší interval simulace než u experimentů.

4.4.6. Celkové vyhodnocení simulace reálné stavby

Simulace nevyšla dle všech předpokladů hlavně co se týče difuzně uzavřených skladeb. Všechny průběhy simulací jsou poměrně trendově srovnatelné. Největší viditelný rozdíl byl u varianty větrané z porovnání s variantou nevětranou. Nevětrané křivky vykazují narovnanější trendy pravděpodobně z důvodu zamezení vlivu okrajových podmínek v takové míře, jako je tomu ve variantě s větráním. Stejné chování jevil po celkovém utěsnění a zamezení větrání co se týče teploty i provedený experiment viz kapitola 4.2. Předpoklad byl, že nevětraná varianta bude vysychat podstatně déle, tak jako se jevilo u zavření experimentu.

Varianta s anhydritovou podlahou vyšla o něco málo hůře (vyšší RH) než varianta s podlahou betonovou kvůli většímu množství záměšové vody v anhydritové podlaze. Dle očekávání by ale varianta s anhydritovou podlahou měla vysychat podstatně déle, jelikož obsahoval cirká dvakrát větší množství vody než varianta s betonovou podlahou.

Z výsledků simulace u relativní vlhkosti je dále patrné, že výpočet poukazuje, že se v objektu nenachází téměř žádné riziko při zabudování takového množství vlhkosti, jelikož se vlhkost ustaluje ve všech simulovaných variantách zhruba po dvou měsících a nadále co pohybuje v rozmezí 40-50 % RH.

5. Závěr

Cílem této práce bylo detailněji prostudovat mokré procesy na reálných experimentech a následně je nasimulovat v programu WUFI Pro a WUFI Plus. Také byla současně vypracována rešerše mokrých procesů ve dřevostavbách, zejména se zaměřením na omítky a podlahy.

Byly provedeny dva experimenty pro sledování vysychání hliněných a sádrových omítek a betonové podlahy. První experiment se zabýval vysycháním malých vzorků do volného prostředí laboratoře za téměř konstantních podmínek. Z experimentu se jeví, že vzorky sádrových omítek vyschly z nejméně 81 % původního množství vody za 28 dní. Hliněné omítky vyschly z 89 % zabudovaného množství vody za 28 dní. Betonová podlaha vyschla pouze ze 45 % za 28 dní tzn. vyschlo menší množství vody než z omítek. Druhý experiment byl zaměřen na komplexnější vysychání na větším modelu s větráním. Experiment byl rozdělen do dvou hlavních částí a do celkově čtyř fází. V první části – ve fázi 1 a 2 probíhala betonáž podlahy. Fáze 1 byla bez větrání a vzorek byl vzduchotěsně uzavřen. Ve fázi 2 se odlepily otvory pro přívod vzduchu. V druhé část – ve fázi 3 a 4 se realizovaly příčky s hliněnými omítkami. Ve fázi 3 byl vzorek celkově otevřen a vystaven podmínkám haly. Ve fázi 4 byl vzorek opět utěsněn. Na konci procesu vysychání vzorek ještě zcela nevyschl. Vzorek vyschnul z 64 % po dobu 48 dní. Zde bylo vidět, jak důležité je u vysychání větrání. Při ukončení experimentu se na omítkách objevily trhliny a jedna z vrstev se odklonila od OSB desky. Zpětně bych rozhodně použila rákosové pletivo či penetrační nátěr.

Oba experimenty byly simulovány v softwaru WUFI. Malé vzorky ve WUFI Pro a velký vzorek ve WUFI Plus. Malé vzorky s omítkami vykazovaly při podmínkách laboratoře za 28 dní úplné vyschnutí. U betonového potěru v simulaci vyschlo 48 % z celkového množství vody za 28 dní. Obecně simulace a reálně naměřené vzorky měly shodu minimálně z 81 %. U velkého vzorku teploty byly shodné s reálně naměřenými hodnotami s maximálním rozdílem 1,5 °C. Vlhkosti měly podobné trendy ve všech fázích a největší rozdíl mezi simulací a naměřenými daty činil 21 % RH. Co se týče vysychání, tak po fázi 1 a 2 vyschlo podobné množství vody jako v realitě měřených hodnotách s rozdílem cca 200 gramů. Shoda ve výsledcích byla 87 %. Ve fázi 3 a 4 vyschlo v simulaci cca 2x větší množství než u reálně naměřených hodnot. Shoda byla pouze 53 %. Pro dosažení lepších výsledků by bylo třeba dalších zkoušek a větší prostudování softwaru WUFI.

Další částí práce byla simulace reálného objektu ve WUFI Plus v návaznosti na experiment, co se týče použitých materiálů a jejich vlastností. Ze simulace vyšlo, že relativní vlhkost se snížila během 2 měsíců a následně se ustálila. Varianta se zamezením větrání u difuzně uzavřených skladeb nevyšla vůbec dle očekávání. Vlhkostně se varianta chovala velice podobně jako varianty předchozí. Při difuzně uzavřených skladbách a nevětrání by se vlhkost měla i za větší dobu pohybovat ve vyšších hodnotách. Pro dosažení lepších výsledků by bylo nutné software WUFI lépe prostudovat s větší časovou dotací.

Citovaná literatura

1. doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, IWE. ODA2 – DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE. *Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí*. [Online] https://ocel-drevo.fsv.cvut.cz/cz/?wpfb_dl=203.
2. CSc., Ing. Vratislav Blaha. Dřevostavby na vzestupu. Kolik průměrně stojí? *DŘEVOSTAVITEL*. [Online] <https://www.drevostavitel.cz/clanek/drevostavby-na-vzestupu-statistiky>.
3. DOC. ING. Petr Kuklík, CSC. DŘEVĚNÉ KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY BUDOV. *Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí*. [Online] https://ocel-drevo.fsv.cvut.cz/cz/?wpfb_dl=211.
4. Josef, Kobl. *Dřevostavby*. místo neznámé : Grada, 2011. 978-80-247-4071-3.
5. Dřevo. *Wikipedie*. [Online] <https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C5%99evo>.
6. Král, Pavel. *Kompozitní materiály na bázi dřeva*. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2004. 80-7157-751-0.
7. Ing. Kamil Staněk, Ph.D. Biodegradace a ochrana dřeva. *Katedra konstrukcí pozemních staveb*. [Online] <https://kps.fsv.cvut.cz/?Tok=fb3a6edc4aa042d54e31352142887df2&Sign=e1d1c078df9af7b927d8fa91e15fc1d2>.
8. Dřevo - základní fyzikální vlastnosti dřeva. *Zkoušení stavebních hmot a výrobků*. [Online] https://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo_zk.
9. Pavel Král, Jaroslav Hrázský. *Výroba dýh a překližovaných materiálů II*. Brno : Mendelova univerzita (Brno), 2000. 80-7157-423-6.
10. Böhm, Martin. VLIV VLHKOSTI NA MECHANICKOFYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI OSB. *ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE*. [Online] 2008. <https://www.fld.czu.cz/dl/48061?lang=cs>.
11. Ing. Aleš Vodička, Ing. Pavel Mlejnek, Ph.D, Ing. Jan Včelák, Ph.D., Ing. Petr Ptáček, Ph.D., doc. Ing. Petr Kuklík, CSc. Může být vlhkost nepřítelem dřevostaveb? *TZBinfo*. [Online] <https://stavba.tzb-info.cz/vlastnosti-drevostaveb/12847-muze-byt-vlhkost-nepritelem-drevostaveb>.
12. Omítání difuzně otevřených dřevostaveb. *Cemix*. [Online] https://www.cemix.cz/data/files/pp_omitni_difuzne_otevrenych_drevostaveb.pdf.
13. ČESKÁ, DAGMAR. Využití mokřých procesů při výstavbě dřevostavby. *DŘEVO&stavby*. [Online] 2. říjen 2022. <https://www.drevoastavby.cz/vse-o-drevostavbach/stavba-drevostavby/zaklady/7086-mokre-procesy-u-vystavby-drevostavby>.
14. Křivonožka, Bc. Jiří. Vysychání monolitických betonových podlah do dřevostaveb. *dspace*. [Online] 20. květen 2018. <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/78047/F1-DP-2018-Krivonozka-Jiri-Vysychani%20monolitickych%20betonovych%20podlah.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>.
15. Hazucha, Juraj. *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy*. Praha : Grada, 2016.
16. Němcová, Lucie. Omítaná tvář dřevostavby. *DŘEVO&stavby*. [Online] 19. září 2016. <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/fasady/4169-omitana-tvar-drevostavby>.
17. BLAHA, Martin. *Omítky*. Praha : Grada, 2004. 80-247-0898-1.

18. BROTÁNEK, Jan a Aleš. *Stavby ze slaměných balíků*. Liberec : MÁRTON, 2010. 978-80-254-6610-0.
19. Hliněné omítky svépomocí? Díky tomuto návodu je zvládnete! *brana-bydleni.cz*. [Online] 22. květen 2019. <https://www.brana-bydleni.cz/novinka-hlinene-omitky-svepomoci-diky-tomuto-navodu-je-zvladnete!>.
20. Udělejte něco své zdravé bydlení. Jak na hliněné omítky svépomocí. [Online] květen 2019. <https://www.nazeleno.cz/stavba/stavebni-material/hlinene-omitky-svepomoci-jak-na-to.aspx>.
21. Doležel, Michal. Sádrové omítky dobře vypadají a zajistí zdravé mikroklima v interiéru. *DŘEVO&stavby*. [Online] 16. únor 2016. <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/stavebni-chemie/3630-sadrove-omitky-zajisti-zdrave-mikroklima-v-interieru>.
22. Pracovní postup Cemix: Omítky na bázi sádry (sádrové omítky). *Cemix*. [Online] https://www.cemix.cz/data/files/pp_sadrove_omitky.pdf.
23. Sádrové omítky a povrchová úprava. *Rigips*. [Online] https://www.rigips.cz/reseni/omitky-a-povrchova-uprava/?gelid=Cj0KCQjw4bipBhCyARIsAFsieCwudyPU5SkucJLAYMUkGw1uctrYX4glF1dEdgOy_QUO2fDjxN7kmtMaA19YEALw_wcB.
24. Jaká je optimální tloušťka vnitřní omítky? *Baumax*. [Online] 3. březen 2023. <https://www.baumax.cz/rady-profesionalu/jaka-je-optimalni-tloustka-vnitri-omitky,1072.html#%E2%80%8BJak%C3%A1%20by%20m%C4%9Bla%20b%C3%BDt%20tlou%C5%A1%C5%A5ka%20vnit%C5%99n%C3%AD%20om%C3%ADtky>.
25. Miško, Bc. Petr. Technologický postup-Sádrová vnitřní omítka . *dspace*. [Online] 2017/2018. https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/78315/F1-DP-2018-Misko-Petr-priloha-Priloha%20c.23_TP%20Sadrova%20vnitri%20omitka.pdf?sequence=-1&isAllowed=y.
26. Zhodnocení podkladu před aplikací omítky. *rigips*. [Online] <https://www.rigips.cz/clanky/zhodnoceni-podkladu-pred-aplikaci-omitky/>.
27. Co byste měli vědět o sádrových omítkách a báli jste se zeptat. *Tzbinfo*. [Online] 31. květen 2021. <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/22326-co-byste-meli-vedet-o-sadrovych-omitkach-a-bali-jste-se-zeptat>.
28. Brázdil, Radek. SÁDROVÉ, ŠTUKOVÉ A DALŠÍ VNITŘNÍ OMÍTKY: VÝHODY, NEVÝHODY A VLASTNOSTI. *Izomat*. [Online] <https://www.izomat.cz/sadrove-stukove-a-dalsi-vnitri-omitky-vyhody-nevychody-a-vlastnosti/>.
29. ANHYDRITOVÉ PODLAHY. *PODLAHA*. [Online] <https://www.podlaha.cz/lite-podlahy/anhydritove-podlahy.html>.
30. Anhydrid podlaha- anhydridová podlaha. *Anhydrid podlahy*. [Online] <https://www.anhydrit-podlahy.cz/anhydrid>.
31. SAMONIVELAČNÍ STĚRKY. *PODLAHA*. [Online] <https://www.podlaha.cz/betonove-podlahy/samonivelacni-sterky.html>.
32. Slovák, Ing. Karel. Jakou zvolit v dřevostavbě podlahu. *DŘEVOSTAVITEL*. [Online] 1. únor 2013. <https://www.drevostavitel.cz/clanek/jakou-zvolit-v-drevostavbe-podlahu>.
33. Hydratace. *eBETON*. [Online] [Citace: 12. prosinec 2023.] https://www.ebeton.cz/pojmy/hydratace/?fbclid=IwAR02em0qE4_jN4OZRptkpVGg0shKp3iwx4483x2EKZ4E3rNhNQdKucRfqi4.

34. Složení betonu – složky betonu. *ebeton*. [Online] <https://www.ebeton.cz/pojmy/slozeni-betonu-slozky-betonu/>.
35. Jak na litou podlahu v dřevostavbě. *ASB*. [Online] 20. září 2016. <https://www.asb-portal.cz/architektura/rodinne-domy/drevostavby/jak-na-litou-podlahu-v-drevostavbe>.
36. doc. Ing. Petr Kuklík, CSc., Ing. Anna Kuklíková, Ph.D., Ing. arch. Bc. Anna Gregorová. Kompozitní dřevobetonové stropní konstrukce s mechanickými spojovacími prostředky. *Tzbinfo*. [Online] 24. duben 2017. <https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/15665-kompozitni-drevobetonove-konstrukce-s-mechanickymi-spojovacimi-prostredky>.
37. Vnitřní příčky z nepálených cihel v dřevostavbě. *PŘÍRODNÍ BYDLENÍ*. [Online] duben 2022. <https://www.prirodnibydeni.cz/vnitri-pricky-z-nepaleny-chihel-v-drevostavbe/>.
38. Baunit Ratio Glatt L. *Baunit*. [Online] říjen 2023. https://baunit.cz/files/cz/pdf_files/pds_ratiglatt_1_glttputz_1_gltt_17_1_ratio_1000_1_bcz_cs_11467.pdf.
39. Navrátilovi, Michal a Simona. PICAS ECONOM hrubá 1t. *PICAS*. [Online] <https://www.picas.cz/hlinene-omitky/picas-econom-hruba-1t>.
40. Baunit Betonový potěr 20 Technický list. *Baunit*. [Online] leden 2021. https://baunit.cz/files/cz/pdf_files/pds_solido__5__estrich_e__5_bcz_cs_11518.pdf.
41. RD Council Modern. *COUNCIL dřevostavby*. [Online] <https://www.drevostavby-council.cz/cz/katalog-drevostaveb/62de75401ff59-rd-council-modern#content>.
42. Wirzany J., Čejka T. Zvýšená vlhkost staveb. *Katedra konstrukcí pozemních staveb*. [Online] <https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=vyuka&sub=obor&type=o&kod=124PDRC>.
43. Technologický předpis podlahové potěry a stěrky. *Baunit*. [Online] duben 2022. https://baunit.cz/files/cz/Technicke_dokumenty/Technologicke_predpisy_a_prirucky/Technologicke_predpisy/2022/Baunit_TP-Potery-04_2022.pdf.

Seznam použitých norem

EN 13279-1

ČSN EN ISO 10456

EN 1008

ČSN 730540-2

Seznam obrázků

Obrázek 1 Sorpční křivka smrkového dřeva (závislost mezi vlhkostí prostředí a vlhkostí dřeva) (7)	9
Obrázek 2 Retenční křivka při kapilárním nasákání smrkového dřeva (7)	9
Obrázek 3 Měření hrotovým vlhkoměrem (7)	10
Obrázek 4 Vzorec gravimetrické metody stanovení obsahu vlhkosti (7)	10
Obrázek 5 Zdroje vlhkosti (42)	11
Obrázek 6 Trhlina způsobená vysycháním-Pivovar Chyšce	12

Obrázek 7 Proces hydratace	21
Obrázek 8 První experiment-vysychání malých vzorků	24
Obrázek 9 Druhý experiment vysychání velkého vzorku	24
Obrázek 10 Skica OSB rámu pro nanesení omítek	27
Obrázek 11 Hotové rámy pro nanesení omítek	27
Obrázek 12 Realizace nanášení hliněných omítek	28
Obrázek 13 Nalepování pásky po okrajích vzorků	28
Obrázek 14 Tmelení netěsností	28
Obrázek 15 Umístění vzorků v regálu laboratoři	29
Obrázek 16 Graf průběhu relativní vlhkosti v laboratoři z čidla 1	30
Obrázek 17 Graf průběhu teploty v laboratoři z čidla 1	30
Obrázek 18 Graf průběhu relativní vlhkosti v laboratoři z čidla 2	31
Obrázek 19 Graf průběhu teploty v laboratoři z čidla 2	31
Obrázek 20 Vzorek s hliněnou omítkou pod fólií	32
Obrázek 21 Zakrytí vzorků PE fólií	32
Obrázek 22 Vzorky s hliněnou omítkou opatřené maskovací páskou	32
Obrázek 23 Odtahování tenké vrstvy od okrajů	33
Obrázek 24 Hladký povrch sádrových omítek na konci experimentu	33
Obrázek 25 Graf naměřených hodnot úbytku vody	34
Obrázek 26 Graf naměřených hodnot úbytku hmotnosti	34
Obrázek 27 Graf naměřených hodnot úbytku hmotnosti	35
Obrázek 28 Graf naměřených hodnot úbytku vody	35
Obrázek 29 Odtahování vrstvy omítky od okrajů	36
Obrázek 30 Trhliny na povrchu hliněné omítky	36
Obrázek 31 Graf porovnání úbytku vody sádrové a hliněné omítky	37
Obrázek 32 Přikrytí vzorku PE fólií	38
Obrázek 33 Vzorek betonové lité podlahy opatřené maskovací páskou	38
Obrázek 34 Graf naměřených hodnot úbytku hmotnosti vody	40
Obrázek 35 Graf naměřených hodnot úbytku hmotnosti	40
Obrázek 36 Nákres půdorysu experimentu	43
Obrázek 37 Nákres řezu 2-2'	43
Obrázek 38 Nákres řezu 1-1'	43
Obrázek 39 Kostra s dnem a podkladními latěmi	45
Obrázek 40 Hotová konstrukce	45
Obrázek 41 Zhotovené víko	45
Obrázek 42 Vyložená konstrukce PE fólií	45
Obrázek 43 Stěna 4 s nataženou PE fólií	45
Obrázek 44 Vybetonovaná podlaha	46
Obrázek 45 Vana s hotovou betonovou směsí	46
Obrázek 46 Zhotovený vzorek pro fázi 1 a 2	46
Obrázek 47 Odkrytí otvorů	46
Obrázek 48 Vylepení pěnové pásky	47
Obrázek 49 příčky z OSB desek	47
Obrázek 50 Připravený vzorek na nanesení omítek	47
Obrázek 51 Vzorek ve fázi 4	48
Obrázek 52 Dokončený vzorek pro fázi 3	48
Obrázek 53 Nanesené hliněné omítky	48
Obrázek 54 Nákresy stěn s umístěnými čidly a body M1-4	49
Obrázek 55 Umístění čidel 1 a 4	49
Obrázek 56 Umístění čidla 2	49
Obrázek 57 Umístění čidla 5	50

Obrázek 58 Umístění čidla 3	50
Obrázek 59 Měření vlhkosti hrotovým vlhkoměrem	51
Obrázek 60 Graf průběhu teploty z čidla 2	51
Obrázek 61 Graf průběhu relativní vlhkosti z čidla 2	52
Obrázek 62 Betonová podlaha na konci 2. fáze	53
Obrázek 63 Graf vážení celého vzorku	53
Obrázek 64 Graf úbytku vody	53
Obrázek 65 Graf úbytku vody	54
Obrázek 66 Graf vážení celého vzorku	54
Obrázek 67 Odklonění celé vrstvy omítky od desky	55
Obrázek 68 Odtržení vrstvy omítky od vrchního rámu	55
Obrázek 69 Trhliny v hliněné omítce	55
Obrázek 70 Graf průběhu RH z čidla 1	56
Obrázek 71 Graf průběhu T z čidla 1	56
Obrázek 72 Graf průběhu RH z čidla 3	57
Obrázek 73 Graf průběhu T z čidla 3	57
Obrázek 74 Graf průběhu T z čidla 4 v rohu	58
Obrázek 75 Graf průběhu RH z čidla 4 v rohu	58
Obrázek 76 Graf porovnání teplot	59
Obrázek 77 Graf průběhu T z čidla na povrchu	59
Obrázek 78 Graf průběhu T z čidla 5	60
Obrázek 79 Graf průběhu RH z čidla 5	60
Obrázek 80 Graf porovnání teplot ze všech čidel	61
Obrázek 81 Graf porovnání relativních vlhkostí ze všech čidel	61
Obrázek 82 Graf měření hrotovým vlhkoměrem	62
Obrázek 83 Skladby vzorků s hliněnou omítkou zadané do WUFI	64
Obrázek 84 Skladby vzorků se sádrovou omítkou zadané do WUFI	64
Obrázek 85 Skladby vzorků s betonovým potěrem zadané do WUFI	64
Obrázek 86 Vlastnosti hliněné omítky	65
Obrázek 87 Vlastnosti sádrové omítky	65
Obrázek 88 Vlastnosti OSB desek	65
Obrázek 89 Vlastnosti PE fólie	66
Obrázek 90 Vlastnosti betonového potěru	66
Obrázek 91 Parametry zadané do WUFI	66
Obrázek 92 Součinitele přestupů	67
Obrázek 93 Vnitřní klima pro všechny vzorky stejné	68
Obrázek 94 Vnější klima pro hliněné omítky	68
Obrázek 95 Vnější klima pro sádrové omítky a betonový potěr	68
Obrázek 96 Simulace hliněných omítek	69
Obrázek 97 Simulace sádrových omítek	69
Obrázek 98 Simulace betonového potěru	70
Obrázek 99 Graf odečtů hmotnosti vody	71
Obrázek 100 Graf úbytku vody	71
Obrázek 101 Graf úbytku vody	72
Obrázek 102 Graf odečtů hmotnosti vody	72
Obrázek 103 Graf odečtů hmotnosti vody	73
Obrázek 104 Graf úbytku vody	73
Obrázek 105 Graf odečtů hmotnosti vody	74
Obrázek 106 Graf úbytku vody	74
Obrázek 107 Graf odečtů hmotnosti vody	76
Obrázek 108 Graf úbytku vody	76

Obrázek 109 Graf odečtů hmotnosti vody	77
Obrázek 110 Graf úbytku vody	77
Obrázek 111 Graf odečtů hmotnosti vody	78
Obrázek 112 Graf úbytku vody	78
Obrázek 113 Graf odečtů hmotnosti vody	79
Obrázek 114 Graf úbytku vody	79
Obrázek 115 Graf odečtů hmotnosti vody	80
Obrázek 116 Graf úbytku vody	80
Obrázek 117 Graf odečtů hmotnosti vody	82
Obrázek 118 Graf úbytku vody	82
Obrázek 119 Zadané hodnoty do WUFI Plus	84
Obrázek 120 Model ve WUFI Plus pro fázi 1 a 4	84
Obrázek 121 Model ve WUFI Plus pro fázi 2 a 3	84
Obrázek 122 Graf průběhu zdroje tepla	85
Obrázek 123 Součinitele přestupu tepla u podlahy	85
Obrázek 124 Součinitele přestupu tepla u střechy	85
Obrázek 125 Součinitele přestupu tepla u stěn	86
Obrázek 126 Součinitele přestupu tepla u podlahy	86
Obrázek 127 Skladby podlahy	86
Obrázek 128 Skladby střechy	87
Obrázek 129 Skladba stěn 1 a 3	87
Obrázek 130 Skladba stěn 2 a 4	87
Obrázek 131 Obsah vlhkosti ve skladbě na počátku fáze 1	88
Obrázek 132 Obsah vlhkosti ve skladbě na počátku fáze 2	88
Obrázek 133 Obsah vlhkosti ve skladbě na počátku fáze 3	89
Obrázek 134 Obsah vlhkosti ve skladbě na počátku fáze 4	89
Obrázek 135 Graf průběhu teploty z fáze 1	90
Obrázek 136 Graf průběhu teploty z fáze 2	91
Obrázek 137 Graf průběhu relativní vlhkosti z fáze 1	91
Obrázek 138 Graf průběhu relativní vlhkosti z fáze 2	91
Obrázek 139 Graf průběhu množství vyschlé vody za fázi 1 a 2	92
Obrázek 140 Graf průběhu relativní vlhkosti z fáze 3	93
Obrázek 141 Graf průběhu teploty z fáze 3	93
Obrázek 142 Graf průběhu teploty z fáze 4	93
Obrázek 143 Graf průběhu relativní vlhkosti z fáze 4	94
Obrázek 144 Graf průběhu množství vyschlé vody za fázi 3 a 4	94
Obrázek 145 Graf průběhu teploty z fáze 1	95
Obrázek 146 Graf porovnání průběhů vysychání ve fázi 1	96
Obrázek 147 Graf průběhu relativní vlhkosti z fáze 1	96
Obrázek 148 Graf porovnání průběhů vysychání ve fázi 1 a 2	97
Obrázek 149 Graf průběhu teploty za všechny fáze	97
Obrázek 150 Graf průběhu relativní vlhkosti za všechny fáze	98
Obrázek 151 Graf porovnání průběhů vysychání ve fázi 3	98
Obrázek 152 Graf porovnání průběhů vysychání ve fázi 3 a 4	99
Obrázek 153 Půdorys objektu (41)	102
Obrázek 154 Vizualizace objektu s difuzně uzavřenou skladbou (41)	102
Obrázek 155 Vizualizace objektu s difuzně otevřenou skladbou (41)	102
Obrázek 156 Pohledy objektu (41)	103
Obrázek 157 Základní parametry zadané do programu WUFI Plus	104
Obrázek 158 Model v programu WUFI Plus	104
Obrázek 159 Interval simulace od listopadu	104

Obrázek 160 Interval simulace od května	104
Obrázek 161 Skladba stěn difuzně otevřených	105
Obrázek 162 Skladba střechy difuzně otevřené	105
Obrázek 163 Skladba příček	106
Obrázek 164 Skladby stěn difuzně uzavřených	106
Obrázek 165 Skladba střechy difuzně uzavřené.....	107
Obrázek 166 Skladby podlahy s betonovým potěrem.....	107
Obrázek 167 Skladby podlahy s anhydritem.....	108
Obrázek 168 Skladby podlah s počátečním vlhkostí.....	108
Obrázek 169 Skladby difuzně otevřené s počátečními vlhkostmi.....	108
Obrázek 170 Skladby difuzně uzavřené s počátečními vlhkostmi	109
Obrázek 171 Nastavená intenzita větrání.....	109
Obrázek 172 Nastavená intenzita větrání.....	109
Obrázek 173 Průběh T a RH	110
Obrázek 174 Počáteční podmínky.....	110
Obrázek 175 Graf průběhu RH difuzně otevřených skladeb.....	111
Obrázek 176 Porovnání křivek od stejného bodu	112
Obrázek 177 Graf průběhu T difuzně otevřených skladeb.....	112
Obrázek 178 Graf průběhu RH difuzně otevřených a uzavřených skladeb	113
Obrázek 179 Graf průběhu T difuzně otevřených a uzavřených skladeb	114
Obrázek 180 Graf průběhu RH difuzně otevřených skladeb s betonovou a anhydritovou podlahou	114
Obrázek 181 Graf průběhu T difuzně otevřených skladeb s betonovou a anhydritovou podlahou	115
Obrázek 182 Graf průběhu RH difuzně uzavřených skladeb s betonovou a anhydritovou podlahou	115
Obrázek 183 Graf průběhu T difuzně uzavřených skladeb s betonovou a anhydritovou podlahou	116
Obrázek 184 Graf průběhu T difuzně otevřených skladeb s anhydritovou podlahou s větráním a bez	117
Obrázek 185 Graf průběhu RH difuzně otevřených skladeb s anhydritovou podlahou s větráním a bez	117
Obrázek 186 Graf průběhu RH difuzně uzavřených skladeb s anhydritovou podlahou s větráním a bez	118
Obrázek 187 Graf průběhu T difuzně uzavřených skladeb s anhydritovou podlahou s větráním a bez	118

Seznam tabulek

Tabulka 1 Hodnota vlhkosti dřeva při různých situacích.....	10
Tabulka 2 Zvolené modely pro sádrovou omítku	25
Tabulka 3 Zvolené modely pro hliněnou omítku	26
Tabulka 4 Hodnoty v gramech použité směsi	28
Tabulka 5 Hodnoty v gramech použité směsi	29
Tabulka 6 Hmotnosti jednotlivých ráků pro nanesení omítek	29
Tabulka 7 Minimální, maximální a průměrné hodnoty T a RH.....	30
Tabulka 8 Minimální, maximální a průměrné hodnoty T a RH.....	31
Tabulka 9 Zvolený model pro litou podlahu	37
Tabulka 10 Hodnoty v gramech použité směsi a vody	39
Tabulka 11 Hmotnost ráku.....	39
Tabulka 12 Hmotnosti jednotlivých složek při realizaci betonové podlahy	44
Tabulka 13 Hmotnosti jednotlivých složek při realizaci hliněných příček	44

Tabulka 14 Hodnoty použitých směsí	44
Tabulka 15 Minimální, maximální a průměrné hodnoty T a RH	51
Tabulka 16 Minimální, maximální a průměrné hodnoty T a RH	56
Tabulka 17 Minimální, maximální a průměrné hodnoty T a RH	57
Tabulka 18 Minimální, maximální a průměrné hodnoty T a RH	59
Tabulka 19 Minimální, maximální a průměrné hodnoty T a RH	60
Tabulka 20 Zabudované množství vody	67
Tabulka 21 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]	71
Tabulka 22 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]	72
Tabulka 23 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]	73
Tabulka 24 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]	74
Tabulka 25 Porovnání naměřených dat se simulací	75
Tabulka 26 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]	76
Tabulka 27 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]	77
Tabulka 28 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]	78
Tabulka 29 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]	79
Tabulka 30 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]	80
Tabulka 31 Porovnání naměřených dat se simulací	81
Tabulka 32 Naměřená data, vypočtená data a jejich odečty [g]	82
Tabulka 33 Porovnání naměřených dat se simulací	83
Tabulka 34 Procentuální shoda vyschlého množství vody z naměřených dat a simulace	100