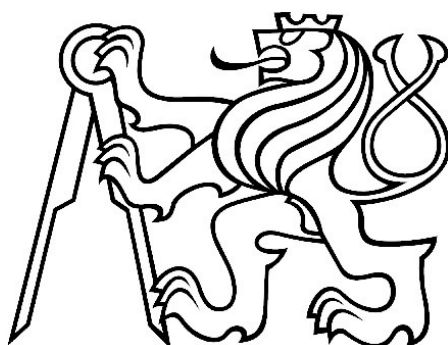


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2021

Bc. Tomáš Pohanka

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Pohanka Jméno: Tomáš Osobní číslo: 460368

Zadávací katedra: K124 - Katedra konstrukcí pozemních staveb

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Tepelně-vlhkostní chování moderních dřevostaveb v oblasti soklu

Název diplomové práce anglicky: Hygrothermal performance of plinth in modern wooden buildings

Pokyny pro vypracování:

Student zpracuje výkresovou dokumentaci stavebního řešení detailů v oblasti soklu moderních dřevostaveb s konstrukčním systémem lehkého skeletu. Podrobnost zpracování bude na úrovni dokumentace pro provádění stavby. Budou zpracovány varianty zejména s ohledem na výškové uspořádání, způsob založení a umístění výplní otvorů. Student následně provede podrobné 2D posouzení tepelně-vlhkostního chování zpracovaných detailů v ustáleném i neustáleném stavu. Výsledky porovná s kritérii dle ČSN 730540.

Seznam doporučené literatury:

- technické normy

- HAZUCHA, Juraj. Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: doporučení pro návrh a stavbu. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-4551-0.

- Konstrukční detaily - Pasivnidomy.cz [online]. Brno, c2006-2020 [cit. 2020-09-12]. Dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/detaily>

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

Datum zadání diplomové práce: 8. 9. 2020

Termín odevzdání diplomové práce: 3. 1. 2021

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 nutně 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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Tomáš Pohanka

Název diplomové práce: Tepelně-vlhkostní chování moderních dřevostaveb v oblasti soklu

Základní část: KPS podíl: 100 %

Formulace úkolů: dle zadání diplomové práce

Podpis vedoucího DP: Datum: 08.09.2020

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předloženou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Kamila Staňka, Ph.D. a uvedl jsem veškeré použité zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Také prohlašuji, že elektronická verze se shoduje s tištěnou podobou práce (pouze s výjimkou zálohových elektronických příloh – viz seznam příloh).

V Praze dne 3. 1. 2021

Bc. Tomáš Pohanka

.....

Poděkování

Děkuji panu Ing. Kamilu Staňkovi, Ph.D. za pomoc, odborné vedení, dohled a cenné rady, které mi poskytl při zpracování této diplomové práce. Dále děkuji všem učitelům, kteří mi během mého studia předali spoustu vědomostí a zajímavostí v oboru.

**VLHKOSTNÍ CHOVÁNÍ MODERNÍCH
DŘEVOSTAVEB V OBLASTI SOKLU**

**HYGROTHERMAL PERFORMANCE OF PLINTH IN
MODERN WOODEN BUILDINGS**

Anotace:

Diplomová práce se zabývá tepelně-vlhkostním chováním dřevostaveb v oblasti soklu. V rámci práce jsou zpracovány různé varianty řešení detailů soklu u dřevostaveb s konstrukčním systémem lehkého skeletu. Zpracovány jsou převážně detaily správného provedení, ale i varianty různých úprav, které jsou v praxi realizovány. Pro všechny konstrukce je pak provedena analýza šíření teploty a vlhkosti v konstrukci. Pro skladby stěn a podlah jednorozměrné, potažmo pro detaily dvourozměrné šíření tepla a vlhkosti. Pro všechny detaily je využito k posouzení stacionárního modelu. Pro vybrané detaily je pak využito pokročilého dynamického softwaru pro podrobnější vyhodnocení. Výsledky jsou porovnány s kritérii dle ČSN 73 0540.

Klíčová slova:

dřevostavby, transport vlhkosti, tepelně-vlhkostní chování, ustálený stav, neustálený stav, přírodní materiál

Anotation:

The diploma thesis deals with the thermal-humidity behavior of wooden buildings in the plinth area. There are various variants of solving the details of the plinth in wooden buildings with a light skeleton construction system. The details of the correct design are processed, but also variants of various modifications that are implemented in practice. For all structures there is performed an analysis of the spread of temperature and humidity. One-dimensional for wall and floor compositions and two-dimensional heat and moisture propagation for details. A stationary assessment model is used for all details. Advanced dynamic software for more detailed evaluation is used for selected details. The results are compared with the criteria according to ČSN 73 0540.

Keywords:

wooden buildings, moisture transport, thermal-humidity behavior, steady state, transient state, natural material

Obsah:

1. Úvod.....	11
1.1. Předmluva	11
1.2. Cíle práce a motivace	11
2. Teoretická část	13
2.1. Transport tepla.....	13
2.1.1. Transport tepla vedením.....	13
2.1.2. Transport tepla prouděním	14
2.1.3. Transport tepla sáláním	14
2.1.4. Kombinovaný transport tepla	14
2.2. Transport vlhkosti	16
2.2.1. Transport vlhkosti v porézních materiálech.....	17
2.2.2. Difuze vodní páry	18
2.2.3. Transport kapalné vody v materiálech.....	20
2.2.4. Proudění vzduchu.....	21
2.3. Legislativa	22
3. Praktická část	25
3.1. Skladby konstrukcí	26
3.1.1. Skladba S1 – jednovrstevná stěna, difuzně otevřená.....	26
3.1.2. Skladba S2 – jednovrstevná stěna, difuzně uzavřená	27
3.1.3. Skladba S3 – dvouvrstevná stěna	30
3.1.4. Skladba P1 – skladba podlahy pro základové pasy	31
3.1.5. Skladba P2 – skladba podlahy pro základovou desku	32
3.2. Výpočtová data, materiály, okrajové podmínky	33
3.2.1. Výpočtové softwary	33
3.2.2. Obecné okrajové podmínky, materiálové charakteristiky	34
3.3. Jednorozměrné šíření tepla a vlhkosti	44
3.3.1. Skladba jednovrstevné stěny – difuzně otevřená (S1)	44

3.3.2.	Skladba jednovrstevné stěny – difuzně uzavřené (S2)	45
3.3.3.	Skladba dvouvrstevné stěny (S3).....	46
3.3.4.	Skladba podlahy mezi základovými pásy (P1)	47
3.3.5.	Skladba podlahy na základové desce (P2).....	47
3.4.	Dvourozměrné šíření tepla a vlhkosti	48
3.4.1.	Analýza ustálení počátečních podmínek.....	48
3.4.2.	Verifikace výpočetních modelů.....	49
3.4.3.	Rozdíly mezi softwary Area – WUFI	51
3.4.4.	Detaily – hodnocení	54
3.4.5.	Detail 1.1.A.....	56
3.4.6.	Detail 1.1.B	62
3.4.7.	Detail 1.2	68
3.4.8.	Detail 2.1	74
3.4.9.	Detail 3.1	77
3.4.10.	Detail 3.2	80
3.4.11.	Detail 1.1.A – snížené fošny	83
3.4.12.	Detail 3.1 – snížené fošny.....	89
3.4.13.	Detail 1.1.A – upravené interiérové podmínky	95
4.	Shrnutí a diskuse	101
4.1.	Tabulka, shrnutí výsledků detailů.....	101
4.2.	Diskuse	101
4.3.	Závěr.....	106
	Citace a seznam zdrojů:.....	107
	Seznam tabulek	109
	Seznam obrázků.....	110
	Přílohy.....	112

Seznam často využívaných symbolů:

Značka	Popis	Jednotka
q	hustota tepelného toku	W/m ²
λ	součinitel tepelné vodivosti	W/(m.K)
R	tepelný odpor	(m ² .K)/W
U	součinitel prostupu tepla	W/(m ² .K)
T	teplota obecně (indexováno)	K, °C
α _c	součinitel přestupu tepla prouděním	W/m ² K
α _r	součinitel přestupu tepla sáláním	W/m ² K
V	objem obecně (indexováno)	m ³
ρ	objemová hmotnost	kg/m ³
c	měrná tepelná kapacita	J/(kg.K)
u	hmotnostní vlhkost	kg/kg, %
w	objemová vlhkost	kg/m ³
m	hmotnost obecně (indexováno)	kg
p _v	částečný tlak vodní páry	Pa
g	hustota difuzního toku	kg/(m ² .s)
s _d	ekvivalentní difuzní tloušťka	m
μ	faktor difuzního odporu	-
d	tloušťka vrstvy prvku	m
φ	relativní vlhkost	%
t	čas	s



1. Úvod

1.1. Předmluva

Dřevo je přírodní materiál, který je součástí pozitivního ekologického koloběhu. Předpokladem k trvalému rozvoji dřevěných konstrukcí je povědomí o koloběhu dřeva. Koloběh dřeva obsahuje všechny stupně – růst dřeva, získávání surovin, jejich zpracování a použití, recyklace a opětovné použití. Tento koloběh a fakt, že dřevo je obnovitelnou surovinou, zaručuje, že může být použito k trvale udržitelnému rozvoji stavění.

V České republice se v posledních letech výrazně zvyšuje procento realizace dřevostaveb. Od začátku 21. století se množství dřevostaveb zvýšilo o téměř 15 %. Staví se různé druhy staveb – penziony, bytové domy, ale převažující částí staveb jsou rodinné domy. Nejvyšší procento vystavěných dřevostaveb tvoří lehký rámový skelet, a to buď v panelové montáži (44 %) nebo ve staveništní montáži (40 %). [1]

1.2. Cíle práce a motivace

S rostoucím počtem realizovaných dřevostaveb se spojuje hodně otázek ohledně prováděných detailů a jejich vliv na životnost konstrukcí. Především v soklových oblastech, kde dochází k přiblížení dřevěných prvků konstrukce a terénu je klíčové správné a pečlivé provedení detailů. Zvláštní pozornost by se měla klást i na splnění minimálního odstupu dřevěných prvků od terénu.

Vlhkostní chování je jednou z nejdůležitějších vlastností materiálů, protože má zásadní vliv na ostatní vlastnosti materiálu. Zásadně ovlivňuje tepelně-technické vlastnosti materiálu a konkrétně u dřevěných konstrukcí i vznik plísní, dřevokazných hub či dřevokazného hmyzu.

Cílem této diplomové práce je vypracování detailů typického provádění soklů u dřevostaveb s různým výškovým uspořádáním v konstrukčním systému lehkého skeletu. Případně upozornění na rozdíly mezi správným prováděním a standartním



řešením v praxi. Následně provedení analýzy tepelně-vlhkostního chování, speciálně pak zjištění vlhkosti nosných dřevěných prvků v konstrukci a následné stanovení bezpečnosti prováděných detailů a porovnání s kritérii dle ČSN 730540.



2. Teoretická část

V této kapitole budou stručně popsány základní fyzikální principy teplotních a vlhkostních procesů ve stavebních materiálech. Informace jsou čerpány převážně z výukových materiálů používaných během studia nebo českých norem. [2] [3] [4]

2.1. Transport tepla

Teplu se může šířit následujícími způsoby: vedením, prouděním a sáláním. Způsob přenosu tepla vedením převažuje v pevných látkách, naopak proudění a sálání je důležité u kapalin a plynů.

2.1.1. Transport tepla vedením

Hustota tepelného toku je v ustáleném stavu úměrná teplotnímu gradientu a má opačný směr než vektor teplotního gradientu. Tento předpis se nazývá 1. Fourierův zákon.

$$q_{cd} = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad [W/m^2] \quad (1)$$

kde: λ ... součinitel tepelné vodivosti [W/(m.K)]

T ... teplota [K]

x ... souřadnice [m]

Součinitel tepelné vodivosti může být zjednodušeně brán jako konstanta, ale ve skutečnosti závisí na teplotě, vlhkosti materiálu a směru tepelného toku.



2.1.2. Transport tepla prouděním

Přenos tepla prouděním vzniká tokem tekutiny, která s sebou nese uloženou energii a přemísťuje ji. Proudění může být přirozené – vyvolané rozdílem teplot nebo vynucené – proudění vyvoláno např. ventilátorem. Vzhledem k předpokladu, že skladby jsou vzduchotěsné, je v našem případě relevantní přenos tepla prouděním mezi povrchem konstrukce a okolním vzduchem, kde je hustota tepelného toku dána součinem součinitele přestupu tepla a rozdílu teplot povrchu a tekutiny.

$$q_c = \alpha_c (T_a - T_p) \quad [W/m^2] \quad (2)$$

kde: α_c ... součinitel přestupu tepla prouděním $[W/(m^2.K)]$
 T_p ... teplota povrchu $[K]$
 T_a ... teplota vzduchu $[K]$

2.1.3. Transport tepla sáláním

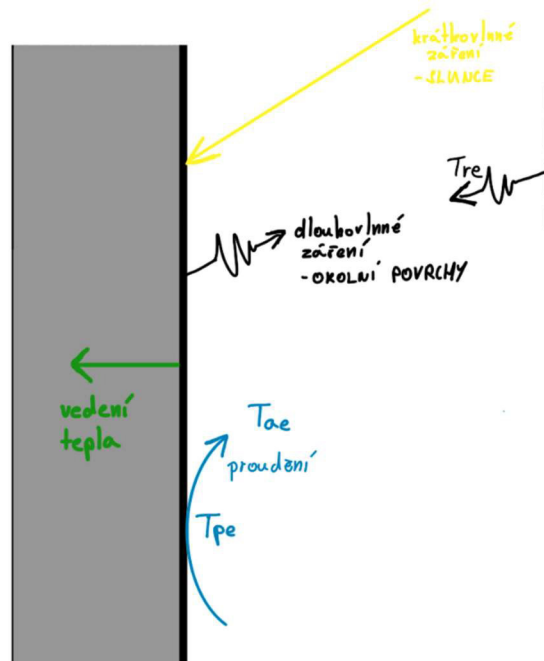
K přenosu tepla sáláním dochází mezi dvěma tělesy o různé teplotě šířením elektromagnetických vln. Na rozdíl od přenosu vedením a prouděním není k přenosu za potřebí hmota. Jasným příkladem přenosu tepla sáláním je teplo ze Slunce. Významným rozdílem je i fakt, že tepelný tok sáláním není úměrný rozdílu teplot, ale je úměrný rozdílu čtvrtých mocnin absolutních teplot.

Ve stavební tepelné technice rozlišujeme sálání na krátkovlnné a dlouhovlnné. Za krátkovlnné záření ve stavební fyzice považujeme především solární záření. Za dlouhovlnné pak záření vydávané povrchy budov a konstrukcí.

2.1.4. Kombinovaný transport tepla

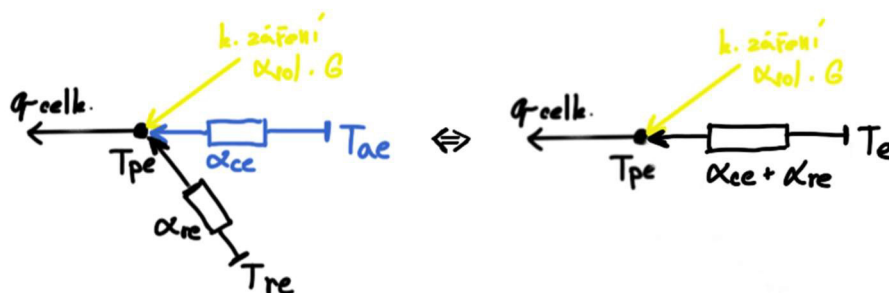
V obvyklé stavební praxi se tyto přenosy tepla vyskytují zpravidla kombinovaně, například uvažujeme-li vnější povrch obvodové stěny. Na jejím povrchu dochází k transportu tepla prouděním, které je způsobeno rozdílem mezi teplotou povrchu a teplotou vnějšího vzduchu. Dochází i k přestupu tepla sáláním, který vzniká rozdílem teploty povrchu a střední teplotou okolních povrchů – obloha, okolní budovy. K transportu tepla vedením pak dochází v samotné konstrukci stěny směrem od místa

s vyšší teplotou do místa s nižší teplotou. Tyto přenosy tepla jsou graficky znázorněny v následujícím schématu.



Obrázek 1: schéma transportu tepla (inspirováno [2]).

Pro přehledné zobrazování těchto schémat a výpočetních modelů je výhodné použití určitého, jednotného, grafického zobrazování. Výhodné je využití elektrické analogie. Tato analogie funguje na principu přirovnání tepelného toku k elektrickému proudu, rozdíl teplot je pak přirovnán k rozdílu elektrických potenciálů a tepelný odpor ekvivalentně odpovídá elektrickému odporu. Obdobné přirovnání lze provést jak pro šíření tepla, tak šíření vlhkosti, popř. vzduchu. Uzly představují hledané, neznámé veličiny a mohou mít akumulační schopnost. Spojnice mezi uzly jsou tvořeny např. vodivostí či tepelným odporem. Složitější modely jdou postupně zjednodušovat, je třeba ale zachovat ekvivalentní úpravy. Na následujícím schématu je vyobrazena bilance na vnějším povrchu předešlé konstrukce vnější obvodové stěny.



Obrázek 2: el. schéma na vnějším povrchu (inspirováno [2]).



2.2. Transport vlhkosti

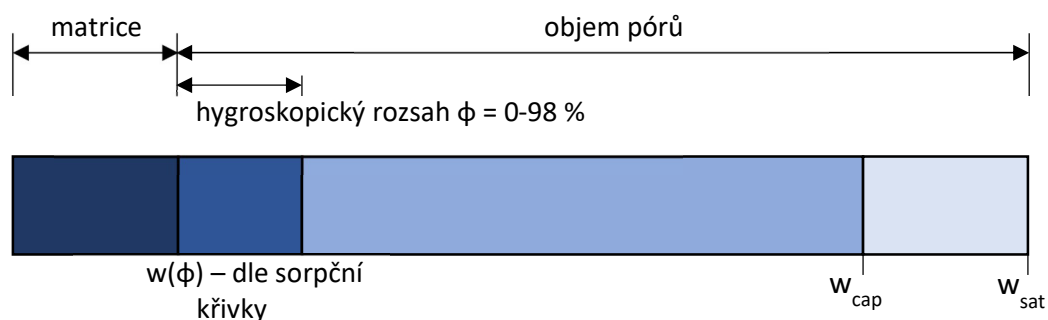
Voda se v přírodě vyskytuje ve třech skupenstvích: pevné, kapalné a plynné. Stavební materiály mohou přijít do styku se všemi třemi formami. Může se jednat o déšť působící na konstrukci, zabudovanou vlhkost v materiálu, člověkem generovanou vlhkost, vlhkost zeminy, apod...

Stavební materiály, s výjimkou kovů, jsou tvořeny maticí a póry. Pórová část materiálu se dále dělí na otevřené a uzavřené póry. Pronikání vlhkosti do stavebních materiálů je zapříčiněno otevřeným pórovým systémem. Hlavním kritériem, jak se voda dostává do stavebního materiálů je rozměr póru. Velikost ovlivňuje, jestli se materiál zaplňuje vodou nebo plynem – vodní párou. Vlhkost, která je v materiálu obsažená, lze vyjádřit několika způsoby. Nejčastěji hmotnostní vlhkostí – u [kg/kg] (vyjadřuje hmotnost vody ku hmotnosti suchého vzorku) a objemovou vlhkostí – w [kg/m³] (vyjadřuje hmotnost vody ku objemu suchého vzorku).

$$u = \frac{m_v + m_l}{m_d} \quad [\text{kg/kg}] \quad (3) \qquad w = \frac{m_v + m_l}{V_d} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (4)$$

kde:
 m_v ... hmotnost vodní páry [kg]
 m_l ... hmotnost kapalné vody [kg]
 m_d ... hmotnost vzorku v suchém stavu [kg]
 V_d ... objem vzorku v suchém stavu [m³]

Materiál vystavený vlhkosti okolního prostředí je schopný pojmout pouze určité množství vlhkosti. Hygroskopický rozsah je zhruba v rozmezí 0 – 98 % relativní vlhkosti. Materiál může přijmout další vodu, pokud je v kontaktu s kapalnou vodou. Maximální mez obsahu vlhkosti, který je v kontaktu s kapalnou vodou – w_{cap} [kg/m³]. Pokud jsou všechny póry nasyceny jen vodou – w_{sat} [kg/m³].



Obrázek 3: poměr matrice ku objemu pórů (inspirováno [21]).

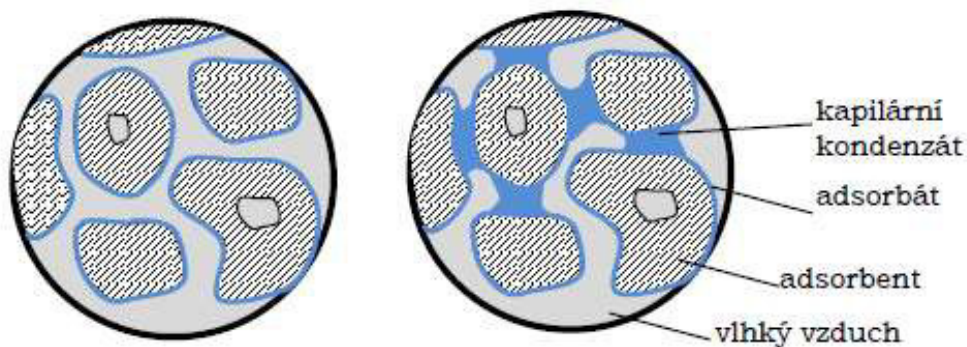
2.2.1. Transport vlhkosti v porézních materiálech

Při aplikaci stavové rovnice pro vodní páru dle následujícího vztahu:

$$p_v \cdot \varnothing_0 \cdot V = m_v \cdot R_v \cdot T \quad (5)$$

kde: p_v ... částečný tlak vodní páry [Pa]
 $\varnothing_0 \cdot V$... objem vzduchu v pórovém systému [m^3]
 m_v ... hmotnost vodní páry [kg]
 R_v ... plynová konstanta pro vodní páru [J/(kg.K)]
 T ... termodynamická teplota [K]

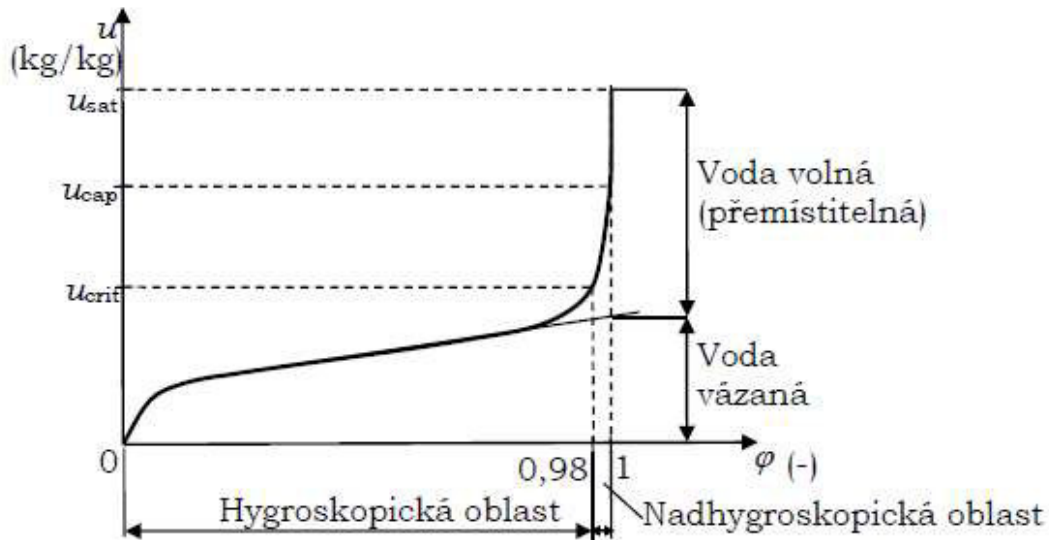
je výsledkem, že objemová vlhkost materiálu je při konstantní teplotě lineárně závislá na relativní vlhkosti. Materiály ale pojmu i více vlhkosti, než udává tato rovnice. To je dáno působením silového pole mezi stěnou póru a vzduchem kolem ní. Výsledkem tohoto působení je adsorpce – shromažďování molekul vody na povrchu póru. Nashromážděné tekutině se říká adsorbát. Pokud jsou všechny stěny pórů obklopeny vrstvou molekul vody, začnou se ukládat v dalších vrstvách. Pokud se vytvoří na protilehlých stěnách pórů takové množství adsorbátu, že se navzájem dotknou, vznikne kapilární kondenzát.



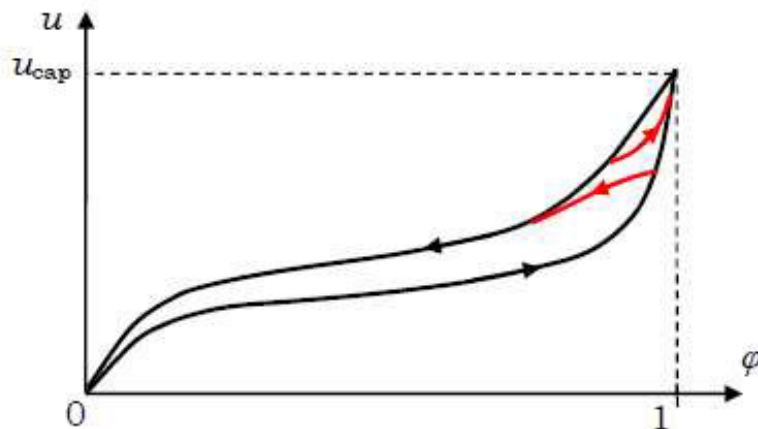
Obrázek 4: adsorpce a kapilární kondenzace (převzato z [2])

Pokud by se skokově navýšovala relativní vlhkost vzduchu v okolí vzorku, pro každou hodnotu relativní vlhkosti dosáhne materiál po určité době rovnovážné vlhkosti. Křivka, která charakterizuje tento rovnovážný stav mezi vlhkostí materiálu a relativní vlhkostí vzduchu se nazývá sorpční izoterma. Polohu sorpční izotermy ovlivňuje teplota. Při zvýšení teploty začnou molekuly vody více kmitat a uvolňují se ze stěn pórů. Křivka se v tomto případě posune směrem dolů. Naopak při snížení teploty se posouvá směrem nahoru. V případě, že by se relativní vlhkost vzduchu snižovala, tedy dochází

k vysušování vzorku, nazývá se proces desorpce. Materiály nevysychají stejným průběhem, jako dochází k jejich nasycení. Křivky tedy nejsou shodné. Desorpční izoterma se nachází nad křivkou sorpční izotermy. Jevu, který způsobuje rozdílné vysychání, se říká hysterze.



Obrázek 6: sorpční izoterma (převzato z [2]).



Obrázek 5: hysterze sorpční křivky (převzato z [2])

2.2.2. Difuze vodní páry

Jedná se o proces transportu vodní páry z prostředí s vyšší koncentrací vodní páry do prostředí s menší koncentrací vodní páry. Pro difuzi v ustáleném stavu platí 1. Fickův zákon. Difuzní tok je záporně úměrný gradientu částečných tlaků vodní páry.



$$g_{va} = -\delta_{pa} \cdot \frac{dp_v}{dx} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})] \quad (6)$$

kde: g_{va} ... hustota difuzního toku [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
 δ_{pa} ... součinitel difuze vodní páry [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$]
 p_v ... částečný tlak vodní páry [Pa]

U materiálů pak rozeznáváme důležitou veličinu – faktor difuzního odporu μ [-]. Ten udává, kolikrát je materiál nepropustnější oproti vzduchu. Vzduch má tedy hodnotu 1.

2.2.2.1. Jednorozměrná difuze vodní páry

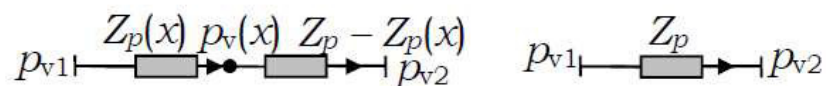
Množství vodní páry ve vzduchu se dá vyjádřit dvěma způsoby:

v ... koncentrace vodní páry [kg/m^3]
 p_v ... částečný tlak vodní páry [Pa]

Tyto veličiny nesou stejnou informaci a mezi sebou se dají přepočítat dle stavové rovnice ideálního plynu.

Ustálený stav:

V ustáleném stavu je hustota difuzního toku konstantní hodnota v každém místě stěny. Hodnota difuzního toku vstupující do uzlu $p_v(x)$ je shodná s hodnotou na výstupu z uzlu $p_v(x)$. Z tohoto principu vychází následující schéma problému.



Obrázek 7: schéma vlhkostní bilance (převzato z [2])

Částečný tlak vodní páry lze vyjádřit dle vztahu:

$$p_v(x) = p_{v1} + \frac{Z_p(x)}{Z_p} \cdot (p_{v2} - p_{v1}) \quad (7)$$

kde: $p_v(x)$... částečný tlak vodní páry [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
 p_{v1} ... částečný tlak vodní páry na jedné straně stěny [Pa]
 p_{v2} ... částečný tlak vodní páry na druhé straně stěny [Pa]
 $Z_p(x)$... difuzní odpor do vzdálenosti x [m/s]
 Z_p ... celkový difuzní odpor stěny [m/s]



pro n materiálových vrstev platí vztah pro odpor stěny:

$$Z_p = \sum_{i=1}^N \frac{S_{d,i}}{\delta_{pa}} \quad (8)$$

kde: Z_p ... celkový difuzní odpor stěny [m/s]
 $S_{d,i}$... ekvivalentní difuzní tloušťky jednotlivých vrstev [m]
 δ_{pa} ... součinitel difuze [s]

Pomocí těchto vztahů lze zjednodušeně řešit riziko kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce. V praxi se používá metodika dle normy ČSN EN ISO 13788. Metoda je zjednodušená zanedbáním hygroskopické povahy materiálu a zanedbáním kapilárního transportu.

Neustálený stav:

Během difuze se snižuje gradient a to znamená, že hodnota částečného tlaku vodní páry je závislá jak na prostorové souřadnici, tak na čase. Pokud se k 1. Fickovu zákonu přidá podmínka hmotné bilance, vlhkost mění svoje rozložení v prostoru a čase. Její množství se ale zachovává. Výsledkem je pak diferenciální rovnice, známá též jako 2. Fickův zákon. Ten vyjadřuje změnu rozložení vlhkosti s časem. Potom se změna času určí následujícím vztahem:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial g}{\partial x} \quad (9)$$

kde: w ... objemová vlhkost [kg/m³]
 t ... čas [s]
 g ... hustota difuzního toku [kg/(m².s)]
 x ... vzdálenost [m]

2.2.3. Transport kapalné vody v materiálech

K tomuto transportu vody v materiálech v praxi dochází při přímém kontaktu s vodou, popř. přímém nasáknutí části materiálu. Reálně jsou tyto příklady třeba větrem hnaný déšť, defekt (např. prasknutí vodovodního potrubí) nebo přímý kontakt konstrukce se zemí – vztlínající vlhkost. Dokud není dosaženo plného nasycení materiálu – w_{sat} , nachází se v materiálu i plynná složka vlhkosti. Protože je ale kapilární nasákavost výrazně rychlejší a silnější proces než difuze, je běžné uvažovat pro usnadnění výpočtů pouze transport kapalné složky.



Pokud je vzorek materiálu z části ponořen do vody, je možno sledovat rozhraní mezi kapilárně nasycenou a nenasycenou částí vzorku. Poloha rozhraní jde pak u kapilárně aktivních materiálů vyjádřit vztahem:

$$x(t) = B \cdot \sqrt{t} \quad (10)$$

kde: $x(t)$... poloha rozhraní [m]
 B ... sorptivita [$m/s^{0.5}$]
 t ... čas [s]

Laminární proudění kapaliny ve válcové kapiláře popisuje Hagen-Poiseuilleho zákon:

$$G_l = - \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \rho_l}{8 \cdot \eta_l} \cdot \frac{d \cdot P_l}{dx} \quad (11)$$

kde: G_l ... hmotnostní tok [kg/s]
 r ... poloměr kapiláry [m]
 ρ_l ... hustota kapaliny [kg/m^3]
 P_l ... pokles tlaku [Pa]
 μ ... dynamická viskozita kapaliny [$kg/(m \cdot s)$]

2.2.4. Proudění vzduchu

Vodní pára se může přenášet také pomocí proudu vzduchu. Tok vodní páry je dán následujícím vztahem:

$$G_v = V_a \cdot \rho_v \quad (12)$$

kde: G_v ... tok vodní páry [kg/s]
 V_a ... objemový tok vzduchu [m^3/s]
 ρ_v ... hustota vodní páry [kg/m^3]

V případech, kde proudí vzduch kolem povrchu a má jinou hustotu vodní páry, dochází k přestupu, který lze popsat vztahem:

$$g_v = \beta \cdot (\rho_{va} - \rho_{vp}) \quad [kg/(m^2 \cdot s)] \quad (13)$$

Proudící vzduch s sebou nese v něm obsaženou vodní páru a přemísťuje ji. Řádově jsou tyto hodnoty přestupu vodní páry nižší než difuzní odpory vrstev v konstrukci, proto je možné tyto hodnoty při jednodušších výpočtech zanedbat. Jestliže je na povrchu materiálu dlouhodobě vlhkost vyšší než 80 % zvyšuje se pravděpodobnost vzniku plísní na dané ploše.



2.3. Legislativa

V normě ČSN 730540-2 jsou popsány podmínky, které musí konstrukce splňovat z hlediska šíření vlhkosti konstrukcí.

První z podmínek, kterou konstrukce musí bez výhrady splňovat je, že případná kondenzace uvnitř konstrukce nesmí ohrozit její požadovanou funkci. Požadavek se prokazuje výpočtem podle ČSN 730540-4. Ohrožení požadované funkce je například výrazné zkrácení životnosti, výrazné objemové změny, zvýšení vlhkosti způsobující degradaci materiálu apod. U dřevěných prvků je velmi důležitý i vznik plísní na površích konstrukcí nebo v dřevěných částech konstrukce.

Pokud u konstrukce kondenzace neohrožuje její funkci, požaduje se omezení ročního množství zkondenzované vodní páry dle následující podmínky:

$$M_c \leq M_{c,N} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})] \quad (14)$$

M_c ... množství zkondenzované vodní páry

$M_{c,N}$... maximální množství zkondenzované vodní páry (viz níže)

kde pro jednoplášťovou střechu, konstrukci se zabudovanými dřevěnými prvky, konstrukci s vnějším tepelně-izolačním systémem nebo vnějším obkladem (popř. jinou difuzně málo propustnou vrstvou) platí nižší z hodnot, $M_{c,N} = 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ nebo 3 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci (pro materiály s objemovou hmotností nad $100 \text{ kg}/\text{m}^3$) popřípadě 6 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci (pro materiály s objemovou hmotností do $100 \text{ kg}/\text{m}^3$). Pro ostatní stavební konstrukce platí nižší z hodnot, $M_{c,N} = 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ nebo 5 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci (pro materiály s objemovou hmotností nad $100 \text{ kg}/\text{m}^3$) popřípadě 10 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci (pro materiály s objemovou hmotností do $100 \text{ kg}/\text{m}^3$).

Zároveň ale platí, že pro konstrukci s připuštěnou kondenzací nesmí v roční bilanci kondenzace a vypařování vodní páry zůstat žádné zkondenzované množství vodní páry, které by trvale zvyšovalo vlhkost konstrukce. Musí tedy platit vztah:

$$M_c \leq M_{ev}$$

M_c ... množství zkondenzované vodní páry

M_{ev} ... množství vypařitelné vodní páry



Tyto požadavky musí být splněny pro vnější i vnitřní konstrukce s výjimkou konstrukcí přilehlých k zemině. Prokázání požadavků probíhá bilančním výpočtem po měsících dle ČSN EN ISO 13788. Pro dvouplášťové konstrukce s větranou vzduchovou vrstvou se hodnotí souvrství od vnitřního povrchu k větrané vzduchové mezeře. U dvouplášťových konstrukcí se navíc uplatní kritérium, že relativní vlhkost nesmí překročit 90 % po celé tloušťce konstrukce.

Norma připouští i využití pokročilejší výpočtové metody, než jsou metody dle ČSN EN ISO 13788 a ČSN 73 0540-4 pro hodnocení šíření vlhkosti v konstrukcích. V takových případech pak předchozí podmínky nejsou plně platné. Při využití tohoto typu výpočtu zůstává v platnosti požadavek na prokázání, že při roční bilanci nedochází k trvalému zvyšování hmotnostní vlhkosti v žádné z vrstev konstrukce. Zároveň je stále platná podmínka, že musí být prokázáno, že roční množství zkondenzované vodní páry neohrozí požadovanou funkci konstrukce. Pro výpočet by měly být využity okrajové podmínky pro hodnocenou lokalitu a vnitřní prostředí v souladu s ČSN 73 0540-3 a ČSN EN ISO 13788.

Motivací této diplomové práce je se výpočetním modelem co nejvíce přiblížit reálnému chování v běžných podmínkách. Proto byly okrajové podmínky pro výpočet stanoveny ne dle českých norem, ale z reálného klimatického souboru, který byl poté importován do softwarů (více viz kapitola 3.2.2. – Okrajové podmínky). Následné vyhodnocení detailů dle ČSN 73 0540-2 bude provedeno, ale nebude stoprocentně platné. Pro správné posouzení by bylo potřeba využití okrajových podmínek daných normou.

Pro dané skladby a detaily budou z hlediska vlhkosti posuzována kritéria vyobrazena v následující tabulce.

stacionární metody	1)	ohrožení požadované funkce
	2)	$M_c \leq M_{c,N}$
	3)	$M_c \leq M_{ev}$
dynamický výpočet	1)	ohrožení požadované funkce
	2)	trvalé zvyšování hm. vlhkosti

Tabulka 1: tabulka hodnocených kritérií.

V rámci popisu skladeb bude také zhodnoceno, zda vyhovují kritériím pro pasivní budovy. [3] [4] [5]



Dalším zde kontrolovaným požadavkem, který je třeba pro realizované detaily splnit je dostatečná výška dřevěných prvků nad terénem. Tento požadavek není legislativně závazný, ale je to určitá zvyklost v provádění a vychází z podmínek pro ochranu dřevěných konstrukcí. V České republice je standardem, aby dřevěné konstrukce byly minimálně 150 mm nad terénem v okolí objektu. Pokud se jedná o povrchové vrstvy konstrukcí, například dřevěný obklad fasády je vhodné dodržet odstup 300 mm. Pokud tyto odstupy nejsou dodrženy, je doporučeno využít například alespoň silnější impregnaci fošen či odolnější dřevo – dub, akát. Pro správné provedení celé soklové oblasti je důležitá i úprava vodorovné plochy po obvodu stavby – okapový chodníček. Ten bývá u dřevostaveb podle výškových souvislostí stavby nejčastěji řešen buď násypem oblých kamenů nebo konstrukcí ocelového podlahového roštu, který zajišťuje provětrávání v soklové oblasti.

Pro účely diplomové práce byly zpracovány jak detaily správného provedení, tak detaily, kde například prahové fošny nesplňují tyto podmínky, abychom mohli pozorovat, jak se nedodržení této podmínky projeví na vlhkostní pole v oblasti soklu.

Pokud se na tyto souvislosti zaměříme v zahraničí, tak například v Německu jsou tyto podmínky stanoveny národní normou DIN 18533-1. [6]



Obrázek 8: provádění soklu dřevostaveb, nesprávné – vlevo, správné – vpravo. (převzato z [24]).

Na fotografiích jsou vidět způsoby provádění dřevostaveb, jedno nevhodné řešení a jedno prováděné dle zmíněných kritérií.



3. Praktická část

Pro praktickou část diplomové práce jsou vytvořeny detaily různého provedení soklové části u dřevostaveb rodinných domů. Detaily jsou vytvořeny pro konstrukční systém lehkého skeletu, který je pro dřevostavby rodinných domů obvyklý. Varianty jsou zpracovány s ohledem na různá výšková uspořádání, způsob založení, skladby konstrukcí a umístění výplní otvoru. Detaily jsou vypracovány dle následujícího seznamu.

Seznam detailů:

D.1.1.A – jednoplášťová stěna, difuzně otevřená, založení na základových pasech

D.1.1.B – jednoplášťová stěna, difuzně uzavřená, založení na základových pasech

D.1.2. – jednoplášťová/dvouplášťová stěna v oblasti otvoru na terasu, založení na základových pasech

D.2.1. – dvouplášťová stěna, založení na základových pasech

D.3.1. – jednoplášťová stěna, založení na základové desce

D.3.2. – jednoplášťová/dvouplášťová stěna v oblasti otvoru, založení na základové desce

D.1.1.A, snížené fošny – stejný detail, pouze s výškovou úpravou prahových fošen

D.3.1, snížené fošny – stejný detail, pouze s výškovou úpravou prahových fošen

D.1.1.A, úprava vnitřních okrajových podmínek – stejný detail, pouze s úpravou vnitřních okrajových podmínek.

Poznámka: U detailů v oblasti otvorů dochází ke sjednocování jednoplášťové a dvouplášťové skladby stěny, protože v místě otvoru se do výpočtového modelu rozdíl tloušťky konstrukce výrazně neprojeví. Zároveň je patrné, že zde chybí některé možnosti kombinování jednotlivých variant, např. dvouplášťová stěna založená na základové desce. Vzhledem k tomu, že v kritické oblasti se nachází stejná skladba soklu jako u jednoplášťové stěny, detail by byl velmi podobný a lišil by se až v místech cca 400 mm nad terénem. Je tedy možné tuto situaci považovat za zahrnutou v detailu 3.1.

Detaily jsou zpracovány tak, aby popisovali časté případy projektovaných detailů v praxi.

[7] [8] [9] [10] [11]

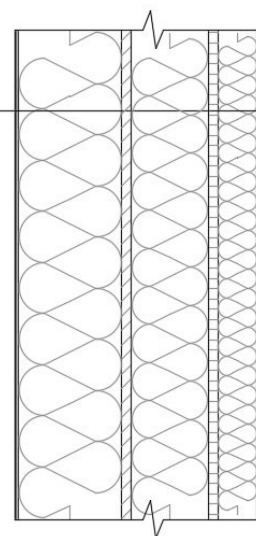
3.1. Skladby konstrukcí

V rámci kombinací detailů se využívají 3 skladby stěny a 2 skladby podlahy. Jedná se o typické skladby stěn u dřevostaveb. Skladby jsou navrženy tak, aby splňovaly doporučené hodnoty pro pasivní domy.

3.1.1. Skladba S1 – jednoplášťová stěna, difuzně otevřená

Při použití difuzně otevřené skladby se využívá parobrzda, která vodní páru při vstupu do konstrukce pouze brzdí, nikoliv plně omezuje. Tuto funkci v dnešní době často plní desky na bázi dřeva, které mají spoje a prostupy utěsněny speciálními páskami. V tomto konkrétním případě jsou využity sádrovláknité desky s kaširovanou parobrzdou. U této skladby je důležité použít difuzně propustnější materiály směrem k exteriérové straně konstrukce, aby vlhkost, která se dostane do konstrukce, mohla volně opouštět konstrukci směrem do exteriéru.

SKLADBA S1:	
finální úprava povrchu - malba	tl. 0,1 mm
sádrovláknitá deska, obj. hmotnost 1150 kg/m ³	tl. 15 mm
předstěna s TI (čedičová vlna, $\lambda = 0,04$ W/(m.K) + dřevěný rošt 40/60 mm, $\lambda = 0,18$ W/(m.K)	tl. 60 mm
sádrovláknitá deska s jednostranně kaširovanou parobrzdou, $s_d > 3$ m	tl. 15 mm
nosný dřevěný rám 60/120 mm, $\lambda = 0,18$ W/(m.K) + TI (čedičová vlna, $\lambda = 0,04$ W/(m.K))	tl. 120 mm
sádrovláknitá deska, obj. hmotnost 1150 kg/m ³	tl. 15 mm
lepící stěrka pro kontaktní izolaci	tl. 3 mm
TI (kontaktní izolace z kamenné vlny, $\lambda = 0,045$ W/(m.K))	tl. 160 mm
lepící stěrka s výztužnou tkaninou	tl. 4 mm
finální úprava - tenkovrstvá omítka	tl. 2 mm



Obrázek 9: skladba S1.

Součinitel prostupu tepla:

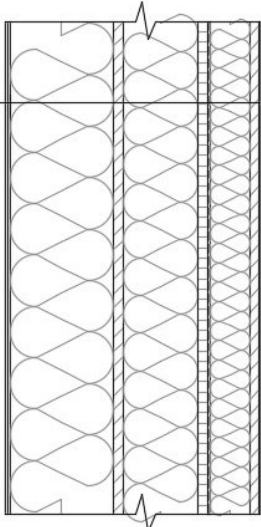
$$U = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \leq 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad \rightarrow \text{splněno pro pasivní budovy}$$

Výpočet byl proveden pomocí softwaru Teplo 2017 (viz příloha č.1, protokoly pro výpočet součinitele prostupu tepla). Pro vrstvy, které mají pravidelné teplené mosty (dřevěné rošty), je použit interní výpočet pro váženou tepelnou vodivost.

3.1.2. Skladba S2 – jednoplášťová stěna, difuzně uzavřená

Difuzně uzavřená konstrukce funguje na principu zamezení průniku vodních par z interiéru do konstrukce parotěsnou vrstvou. Podmínkou správného fungování této skladby je precizní provádění, protože sebemenší porušení parotěsné vrstvy zamezí správnému fungování konstrukce. Naopak při správném provádění mají konstrukce dlouhou životnost.

SKLADBA S2:	
finální úprava povrchu - malba	tl. 0,1 mm
sádkartonové desky	tl. 15 mm
předstěna s TI (čedičová vlna, $\lambda = 0,04 \text{ W/(m.K)}$) + dřevěný rošt 40/60 mm, $\lambda = 0,18 \text{ W/(m.K)}$	tl. 60 mm
parozábrana pro lehké stěny, $s_d = 100 \text{ m}$	-
dřevoštěpková deska OSB, spoj na pero a drážku	tl. 15 mm
nosný dřevěný rám 60/120 mm, $\lambda = 0,18 \text{ W/(m.K)}$ + TI (čedičová vlna, $\lambda = 0,04 \text{ W/(m.K)}$)	tl. 120 mm
dřevoštěpková deska OSB, spoj na pero a drážku	tl. 15 mm
lepící stěrka pro kontaktní izolaci	tl. 3 mm
TI (EPS kontaktní, $\lambda = 0,04 \text{ W/(m.K)}$)	tl. 160 mm
lepící stěrka s výztužnou tkaninou	tl. 4 mm
finální úprava - tenkovrstvá omítka	tl. 2 mm



Obrázek 10: skladba S2.

Součinitel prostupu tepla:

$$U = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{.K)} \leq 0,18 \text{ W/(m}^2\text{.K)} \quad \rightarrow \text{ splněno pro pasivní budovy}$$

Výpočet byl proveden pomocí softwaru Teplo 2017 (viz příloha č.1, protokoly pro výpočet součinitele prostupu tepla). Pro vrstvy, které mají pravidelné teplené mosty (dřevěné rošty), je použit interní výpočet pro váženou tepelnou vodivost.

Potenciál vysychání konstrukce:

Pro použité skladby S1 a S2 si zjednodušeně vypočítáme potenciál vysychání. Pro tento výpočet budeme předpokládat vysychání po dobu dvou letních měsíců (červenec a srpen). Pro zjednodušený výpočet tedy můžeme předpokládat:

teplota v interiéru:	$T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
relativní vlhkost v interiéru:	$\varphi_i = 60 \text{ \%}$
teplota v exteriéru:	$T_e = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
relativní vlhkost v exteriéru:	$\varphi_e = 60 \text{ \%}$



tedy: (D, difuzní koeficient – v tomto případě $25 \cdot 10^{-6}$)

$$g_{int} = 25 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,1730 - 0,6 \cdot 0,1730}{s_{di}}$$

skladba S1:

$$g_{int} = 3,8 \cdot 10^{-8} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

$$g_{ext} = 144,2 \cdot 10^{-8} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

skladba S2:

$$g_{int} = 3,8 \cdot 10^{-8} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

$$g_{ext} = 30,4 \cdot 10^{-8} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

Pro stanovený časový úsek (dva letní měsíce) $t = 62$ dní

$$M_i = g_i \cdot t$$

skladba S1:

$$M_{int} = 0,2 \text{ kg}/\text{m}^2$$

$$M_{ext} = 7,7 \text{ kg}/\text{m}^2$$

$$M_{cel} = 7,9 \text{ kg}/\text{m}^2$$

skladba S2:

$$M_{int} = 0,2 \text{ kg}/\text{m}^2$$

$$M_{ext} = 1,6 \text{ kg}/\text{m}^2$$

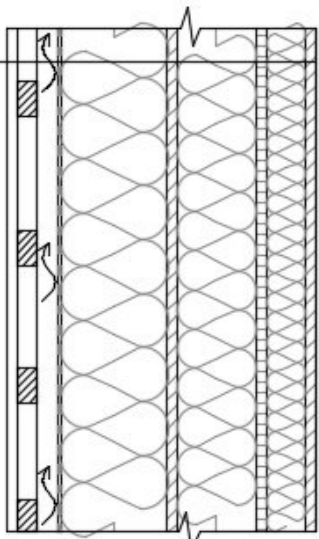
$$M_{cel} = 1,8 \text{ kg}/\text{m}^2$$

Z výsledků je patrný rozdíl mezi difuzně otevřenou skladbou konstrukce (S1) a difuzně uzavřenou skladbou (S2). Během letních měsíců by se při plném nasycení vrstvy tepelné izolace uprostřed konstrukce vypařilo u difuzně otevřené skladby přibližně čtyřnásobně větší množství vodní páry než u konstrukce uzavřené. Tento výpočet tedy potvrzuje tvrzení, že konstrukce difuzně uzavřená je velmi náchylná na počáteční vlhkost první uvnitř skladby. Je tedy nutno dbát na správnou montáž prvků konstrukce a na kvalitní provedení parozábrany, která by v případě porušení mohla pouštět vodní páru do konstrukce.

3.1.3. Skladba S3 – dvouplášťová stěna

Jedná se o dvouplášťovou provětrávanou skladbu stěny. Skladba je na vnějším povrchu tvořena dřevěným obkladem kladeným svislým směrem. Před vzduchovou mezerou se nachází pojistná HI tvořena fólií.

SKLADBA S3:	
finální úprava povrchu - malba	tl. 0,1 mm
sádrovláknitá deska, obj. hmotnost 1150 kg/m ³	tl. 15 mm
předstěna s TI (čedičová vlna, $\lambda = 0,04$ W/(m.K)) + dřevěný rošt 40/60 mm, $\lambda = 0,18$ W/(m.K)	tl. 60 mm
sádrovláknitá deska s jednostranně kaširovanou parobrzdou, $s_d > 3$ m	tl. 15 mm
nosný dřevěný rám 60/120 mm, $\lambda = 0,18$ W/(m.K) + TI (čedičová vlna, $\lambda = 0,04$ W/(m.K))	tl. 120 mm
sádrovláknitá deska, obj. hmotnost 1150 kg/m ³	tl. 15 mm
TI (čedičová vlna, $\lambda = 0,04$ W/(m.K)) + dřevěný rošt 40/100 mm, $\lambda = 0,18$ W/(m.K)	tl. 100 mm
fóliová pojistná hydroizolace	tl. 1 mm
provětrávaná vzduchová mezera + svislý dřevěný rošt 50/30 mm, $\lambda = 0,18$ W/(m.K)	tl. 30 mm
příčný dřevěný rošt - 50/30 mm, $\lambda = 0,18$ W/(m.K)	tl. 30 mm
svislý dřevěný obklad, kladený s překladem	tl. 15 mm



Obrázek 13: skladba S3.

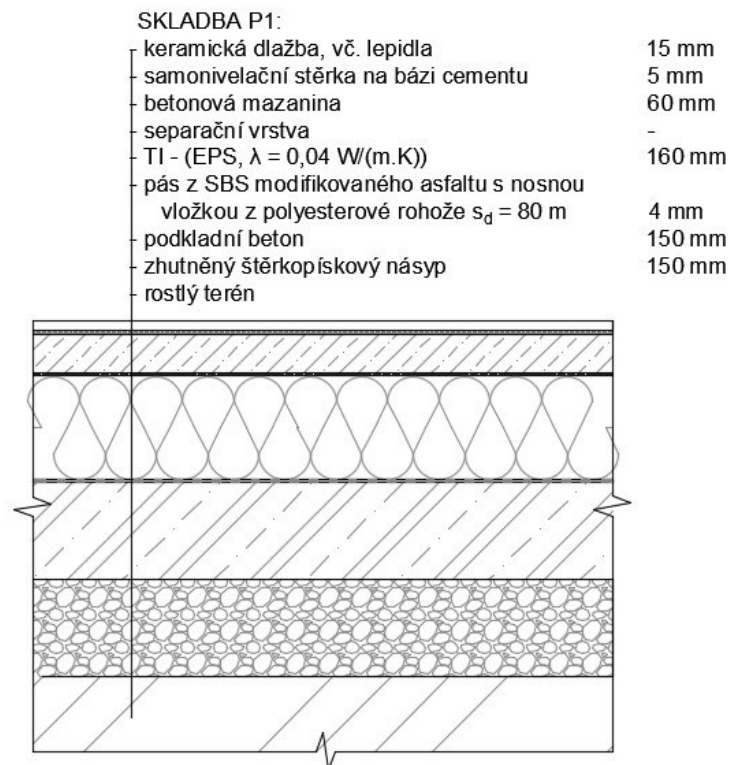
Součinitel prostupu tepla:

$$U = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \leq 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad \rightarrow \text{splněno pro pasivní budovy}$$

Výpočet byl proveden pomocí softwaru Teplo 2017 (viz příloha č.1, protokoly pro výpočet součinitele prostupu tepla). Pro vrstvy, které mají pravidelné teplené mosty (dřevěné rošty), je použit interní výpočet pro váženou tepelnou vodivost.

3.1.4. Skladba P1 – skladba podlahy pro základové pásy

Jedná se o skladbu podlahy s těžkou plovoucí podlahou. Základové pásy jsou spojeny podkladním betonem. Povrchem uvnitř objektu je na hodnocených detailech keramická dlažba. Hydroizolační vrstva je u spodní stavby tvořena asfaltovým pásem s vložkou z polyesterové rohože.



Obrázek 14: skladba P1.

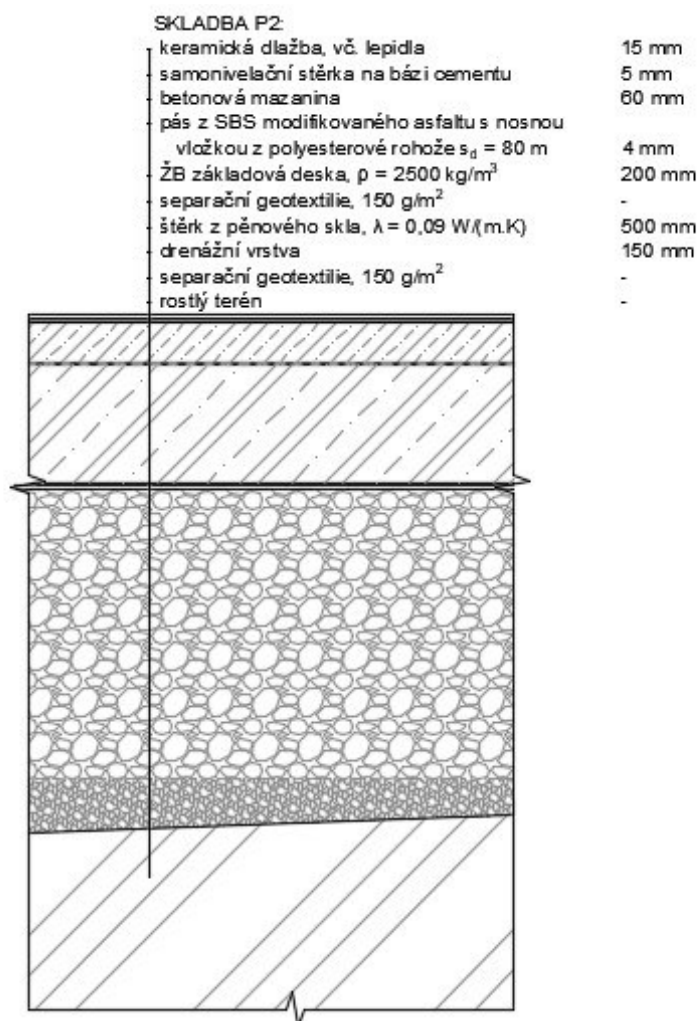
Součinitel prostupu tepla:

$$U = 0,22 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \leq 0,22 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad \rightarrow \text{ splněno pro pasivní budovy}$$

Výpočet byl proveden pomocí softwaru Teplo 2017 (viz příloha č.1, protokoly pro výpočet součinitele prostupu tepla). V této skladbě se nenacházejí žádné vrstvy, které by měly systematické tepelné mosty.

3.1.5. Skladba P2 – skladba podlahy pro základovou desku

Skladba podlahy s izolací ze štěrku z pěnového skla, které pomáhá jak příznivějším teplotám, tak i vlhkostem v oblasti podlahy. Hydroizolační vrstva je zde také tvořena hydroizolačním pásem s vložkou z polyesterové rohože. Povrchovou úpravou místnosti je opět keramická dlažba.



Součinitel prostupu tepla:

$$U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad \rightarrow \text{splněno pro pasivní budovy}$$

Výpočet byl proveden pomocí softwaru Teplo 2017 (viz příloha č.1, protokoly pro výpočet součinitele prostupu tepla). Ve této skladbě se nenacházejí žádné vrstvy, které by měly systematické tepelné mosty.



3.2. Výpočtová data, materiály, okrajové podmínky

3.2.1. Výpočtové softwary

V rámci diplomové práce byly využity softwary pro modelování 1D i 2D šíření tepla a vlhkosti. Zároveň byly výpočty na modelech provedeny jak v softwarech, které k výpočtu využívají stacionární, Glaserovu metodu (ustálený stav) – Teplo, Area, tak v softwarech, které umožňují dynamickou simulaci šíření tepla a vlhkosti (neustálený stav) – WUFI Pro a WUFI 2D. Pro přípravu geometrie složitých detailů do Arey byl využit software Meshgen Area 2018.

Teplo 2017

Výpočetní software, který slouží pro základní tepelně-technické posudky, umožňuje výpočty součinitele prostupu tepla, vnitřní povrchové teploty, rozložení teplot a tlaků vodní páry, bilance zkondenzované a vypařené vodní páry, apod... Ve výsledných protokolech jsou pak zohledněny požadavky dle ČSN 730540 a EN ISO 13788.

Pro potřeby této práce slouží program pro stanovení součinitele prostupu tepla, bilanci zkondenzované a vypařitelné vodní páry, průběh teplot a relativních vlhkostí uvnitř skladby konstrukce. Dle stanovených průběhů uvnitř stěny se pak dají lépe kalibrovat modely pro 2D simulace. [12]

WUFI 6 Pro

Software, který umožňuje dynamické modelování jednorozměrného šíření tepla, vlhkosti a energie v konstrukcích. Oproti stacionárním metodám tento výpočet umožňuje zohlednit orientaci konstrukce ke světovým stranám, sklony konstrukcí, vliv akumulace tepla v konstrukcích, závislost součinitele tepelné vodivosti materiálu na množství vlhkosti v materiálu obsaženém apod...

Výsledky z dynamických softwarů mohou při správném zadání dosáhnout přesnějšího popisu skutečnosti než výpočty stacionární metodou. V rámci diplomové práce slouží pro získání rozdílů mezi stacionární a dynamickou metodou a jako vodící hodnoty do modelů pro 2D. [13]



Area 2017

Software je určen pro komplexní hodnocení stavebních detailů z hlediska dvourozměrného stacionárního vedení tepla a vodní páry. Umožňuje výpočty povrchových teplot, lineární činitele prostupu tepla, oblasti kondenzace vodní páry a roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry v detailu. Zohledňuje požadavky ČSN 730540 a EN ISO 10211.

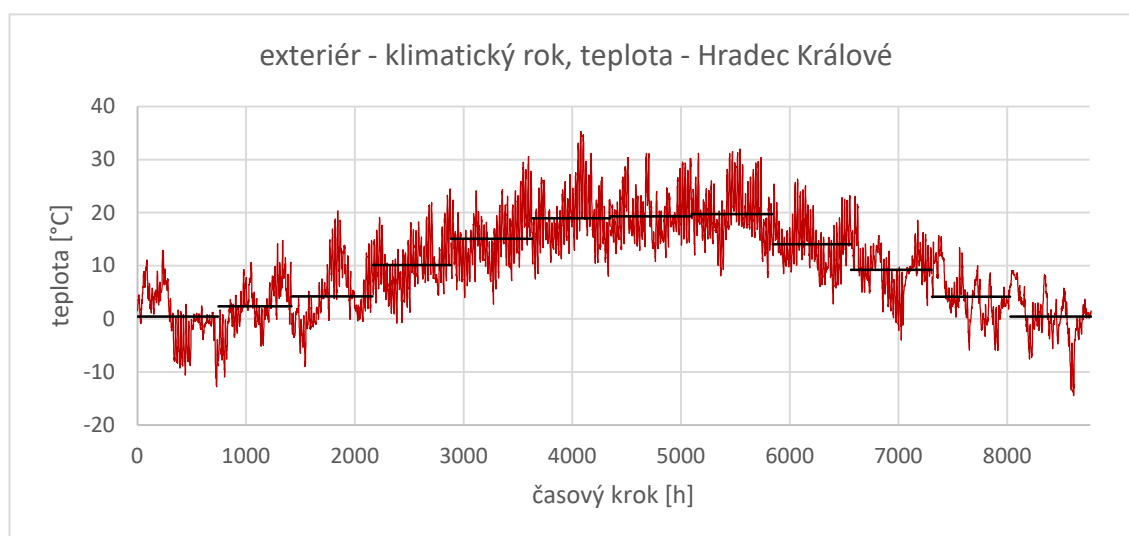
V rámci práce je hlavním výstupem z programu rozložení relativních vlhkostí v oblasti detailu a případné oblasti kondenzace v detailu. [14]

WUFI 2D

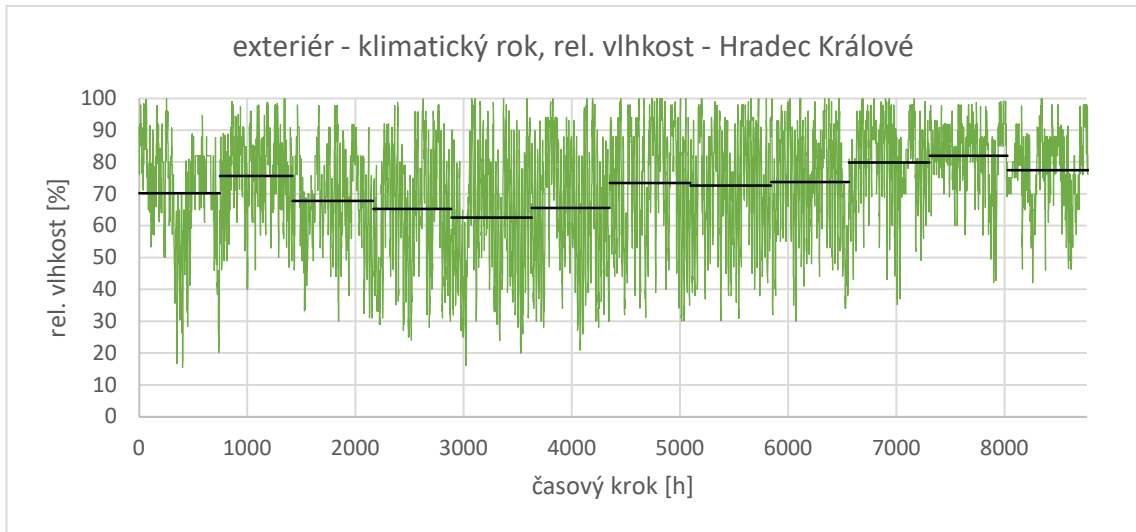
Software též umožňuje modelování dvourozměrného detailu pro vedení a šíření tepla. Na rozdíl od stacionárních výpočtů prováděných v Aree využívá k výpočtům soustavy diferenciálních rovnic (viz rovnice 9). Obdobně jako v 1D umožňuje podrobnější zadávání materiálů, jejich vlastností, popř. orientace konstrukcí ke světovým stranám nebo vliv deště či slunečního záření. [15]

3.2.2. Obecné okrajové podmínky, materiálové charakteristiky

Pro výpočty využijeme lokalitu Hradec Králové, ke které je k dispozici soubor do softwaru WUFI. Abychom mohli nastavit modely tak, aby fungovaly a byly porovnatelné navzájem, byl tedy exportován klimatický rok ze softwaru WUFI. [16]



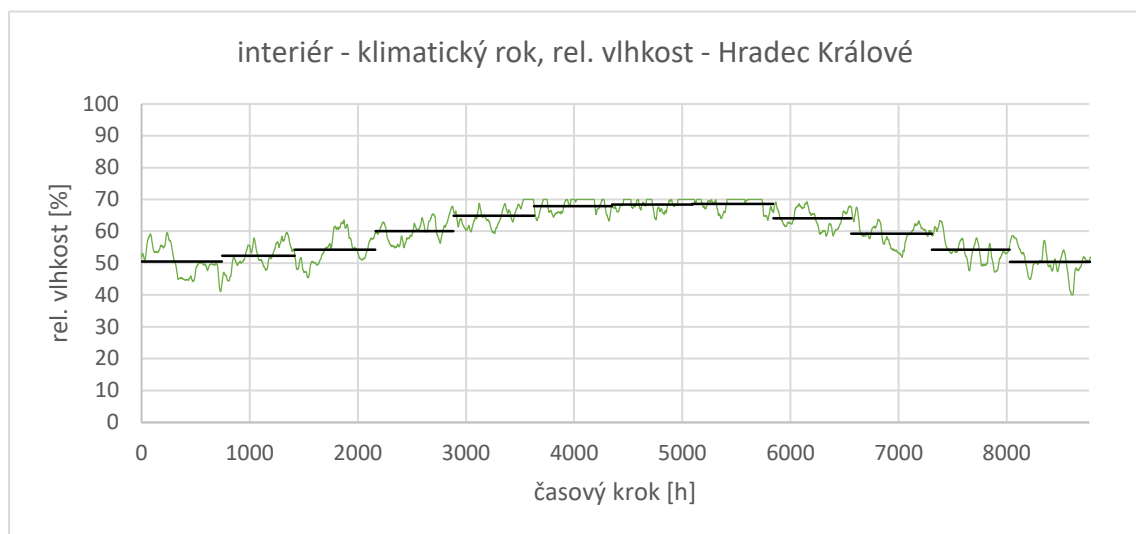
Obrázek 16: Wufi – teplota, exteriér.



Obrázek 17: Wufi – relativní vlhkost, exteriér.



Obrázek 18: Wufi – teplota, interiér.



Obrázek 19: Wufi – relativní vlhkost, interiér.



Na grafech je znázorněn modelový rok z databáze softwaru WUFI. Naší snahou je vstupní parametry sjednotit, abychom mohli porovnat výsledky z jednotlivých modelů v různých softwarech. Z modelové roku jsou tedy vytvořeny měsíční průměry teplot (v grafu vyznačeny černými úsečkami), které budou použity jako vstup do softwarů Area a Teplo. Interiér je v rámci softwaru modelován v rozsahu teplot 20-25 °C, což si lze jednoduše představit, že je objekt během zimních měsíců vytápěn na minimální požadovanou teplotu 20 °C, naopak v zimě lze říct, že objekt je během letních měsíců chlazen na teplotu 25 °C. Pokud se podmínky nachází v tomto rozmezí, nejsou již dále upravovány.

Tabulky měsíčních průměrů:

EXTERIÉR:

měsíční průměry	teplota [°C]	rel. vlhkost [%]
leden	0,45	70,17
únor	2,37	75,59
březen	4,21	67,74
duben	10,12	65,30
květen	15,06	62,55
červen	18,94	65,61
červenec	19,28	73,39
srpen	19,74	72,61
září	14,05	73,68
říjen	9,22	79,88
listopad	4,14	81,94
prosinec	0,42	77,38

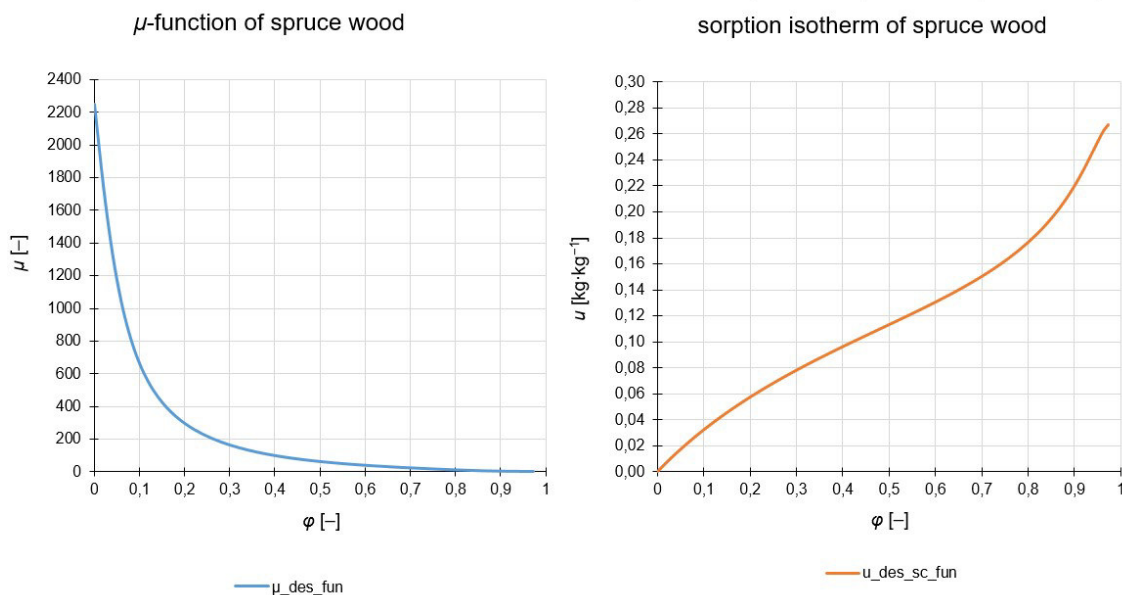
INTERIÉR:

měsíční průměry	teplota [°C]	rel. vlhkost [%]
leden	20,00	50,45
únor	20,00	52,33
březen	20,15	54,22
duben	20,71	60,09
květen	22,45	64,89
červen	23,96	67,92
červenec	24,21	68,41
srpen	24,30	68,61
září	22,06	64,04
říjen	20,52	59,23
listopad	20,11	54,17
prosinec	20,00	50,42

Tabulka 2: tabulka měsíčních průměrů.



Během dynamického výpočtu nás nejvíce zajímá chování dřevěných prahových fošen. Klíčové tedy je, aby zadání materiálu bylo co nejpřesnější, proto jsou pro dřevo jako vstupní hodnoty využity závislosti faktoru difuzního odporu na vlhkosti a sorpční křivka dřeva. Hodnoty jsou zadány do softwaru WUFI dle následujících grafů:



Obrázek 20: materiálové vlastnosti dřeva [23].

Tabulka vstupních dat do výpočetních modelů:

vstupní parametry výpočtu		TEPLO	WUFI Pro
vnitřní/vnější podmínky	interiér	měsíční průměry dle tabulky 2	dle klimatického roku (viz kapitola 3.2.2)
	exteriér		
materiály		konkrétní hodnoty dle tabulky materiálů (5)	konkrétní hodnoty dle tabulky materiálů (5)
součinitele			
vnější povrch	součinitel přestupu tepla [W/(m ² .K)]	25	25
	součinitele záření [-]	-	bez záření
	faktor deště [-]	-	bez deště
vnitřní povrch	součinitel přestupu tepla [W/(m ² .K)]	4	4
výpočetní parametry	délka výpočtu	1 rok	3 roky
	časový krok	měsíc	1 hodina

Tabulka 3: tabulka vstupních parametrů – 1D.



vstupní parametry výpočtu		AREA	WUFI 2D
výpočetní síť		globální velikost prvků sítě o velikosti $T_s = 0,02 \text{ m}$	nastavení počtu os ve směrech x,y $x = 150; y = 150$ zahuštění sítě probíhá automaticky dle velikosti prvků v modelu
materiály		konkrétní hodnoty dle tabulky materiálů	konkrétní hodnoty dle tabulky materiálů
vnitřní/vnější podmínky	x	lednové průměry	roční data
	interiér	$T = 20 \text{ °C}, \varphi = 50,45 \%$	dle klimatického roku (viz kapitola 3.2.2)
	exteriér	$T = 0,45 \text{ °C}, \varphi = 70,17 \%$	
	pozn.	průměry stanoveny z hodnot klimatického souboru	-
součinitele			
vnější povrch	součinitel přestupu tepla $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	25	25
	součinitele záření [-]	-	bez záření
	faktor deště [-]	-	bez deště
	součinitel přestupu vodní páry $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})]$	$20 \cdot 10^{-9}$	interní výpočet
vnitřní povrch	součinitel přestupu tepla $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	4	4
	součinitel přestupu vodní páry $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})]$	$10 \cdot 10^{-9}$	interní výpočet
zemina	součinitel přestupu tepla $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$		suterén (co nejvyšší hodnota)
	součinitel přestupu vodní páry $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})]$	$10\,000 \cdot 10^{-9}$	10 000
výpočetní parametry	délka výpočtu	stacionární	4 roky
	časový krok	-	1 hodina
počáteční podmínky výpočtu	teplota $[\text{°C}]$	-	15 (pro prahové fošny)*
	relativní vlhkost [%]	-	85 (pro prahové fošny)*

Tabulka 4: tabulka vstupních parametrů – 2D.

* Prahové fošny mají nastavené tyto okrajové podmínky dynamického výpočtu, pro ostatní vrstvy a konstrukce jsou přibližné okrajové podmínky stanoveny ze softwaru Area, ve kterém si můžeme zobrazit hodnoty pro měsíc říjen, který je počátečním měsícem dynamického výpočtu.



Pro ostatní materiály jsou stanoveny vlastnosti dle běžných hodnot pro stavební materiály. [17] [18] [19] Rozhodující hodnoty materiálových vlastností jsou v následující tabulce:

materiál (využití)	TEPLO/AREA		WUFI	
	λ_u [W/(m.K)]	μ [-]	λ [W/(m.K)]	μ [-]
vnitřní malba	0,74	122	0,70	215
sádrovláknité desky	0,34	16	0,32	16
sádrovláknité desky, parobrzdá	0,34	300	0,32	300
TI - čedičová vlna	0,04	2	0,04	2
lepící stěrka	0,91	12	0,87	8
TI - kamenná vlna, kontaktní	0,05	5	0,05	5
lepící stěrka s tkaninou	0,45	14	0,43	16
fasádní omítka	0,54	19	0,52	15
SDK desky	0,21	8	0,20	8
fóliová parozábrana	0,17	45 000	0,16	45 000
OSB desky	0,12	52	0,11	70
TI - EPS, fasádní	0,04	30	0,04	30
pojistná HI fólie	0,37	200	0,35	200
separační fólie	0,35	333	0,35	333
keramická dlažba	1,89	200	1,80	200
lepidlo na dlažbu/tmel	0,65	21	0,62	183
samonivelační cem. stěrka	0,91	50	0,87	50
betonová mazanina	1,68	18	1,60	18
HI asfaltový pás	0,53	20 000	0,50	20 000
základy	1,68	30	1,60	30
šterk z pěnového skla	0,09	42000	0,09	42000
drenážní vrstva	2,42	45	2,30	45
TI - EPS, podlahový	0,04	50	0,04	50
podkladní beton	1,68	18	1,60	18
zhutněný šterk	2,42	50	2,30	50
vzduch	0,10	1	0,10	1
TI - XPS, sokl	0,04	100	0,04	100
okapnička - kov	52,50	1 720	50,00	1 720
okapnička - plast	0,14	5 000	0,14	5 000
vyrovňovací pěna	0,05	60	0,05	60
podmaltování	1,22	20	1,16	20
dřevo	0,19	20	0,18	fce
vzduchotěsná páska	0,37	7500	0,35	7500
zemina	2,42	2	2,30	2
soklová omítka	0,79	152	0,75	152
purenit	0,08	8	0,08	8
připojovací spára	0,05	60	0,05	60



materiál (využití)	TEPLO/AREA		WUFI	
	λ_u [W/(m.K)]	μ [-]	λ [W/(m.K)]	μ [-]
OKNO, parametry				
sklo	1,00	5000	1,00	5000
těsnění	0,06	7000	0,06	7000
dřevěný rám	0,13	50	0,13	50
silikagel	0,13	10000	0,13	10000
vnější rámeček	0,40	800	0,40	800
vnitřní rámeček	0,14	800	0,14	800
okrajové těsnění	0,25	6000	0,25	6000
argon	0,03	20	0,03	20
nevětraná dutina	0,15	1	0,15	1
izolace rámu	0,04	100	0,04	100

Tabulka 5: tabulka materiálových vlastností.

Abychom se co nejvíce přiblížili shodě mezi výpočetními softwary, je třeba provést korekci zadávaných hodnot. Vzhledem k povaze materiálů v dynamickém softwaru, kde jejich vlastnosti mají závislost na vlhkosti, teplotě a dalších faktorech je velmi těžké přesně nastavit vlastnosti materiálů i ve stacionárním výpočtu. Pro účely této práce je vhodné využít vhodně upravené vstupy. Materiály nikdy nebudou mít vlastnosti, které jsou udávány při velmi nízkých vlhkostech či v suchém stavu.

Z hlediska faktoru difuzního odporu využijeme hodnotu relativní vlhkosti 60 %. Poté dle grafů závislosti faktoru difuzního odporu na vlhkosti v softwaru WUFI u jednotlivých materiálů odečteme hodnotu, kterou využijeme jako konstantu pro stacionární výpočet. Nedochozí k úpravě všech materiálů, protože u některých nejsou závislosti v databázi k dispozici nebo mají konstantní průběhy až do vyšších vlhkostí.

Co se týká součinitele tepelné vodivosti, využijeme pro stacionární výpočet paušální zvýšení součinitele o 5 %, které zhruba reflektuje určité zhoršení tepelně izolačních vlastností vzhledem k jejich zvýšené vlhkosti.

Tyto upravené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5 ve sloupcích Teplo/Area pod indexem u (upravené). Hodnoty jsou využity pro stacionární výpočet jednorozměrného a dvourozměrného šíření tepla a vlhkosti.

Teplota v zemině

Jedním z klíčových vstupů do analýzy teplotního a vlhkostního chování detailů je oblast zeminy, do které je objekt umístěn. Zemina je ve výpočtech modelována do hloubky 2 m. Výpočet teploty dle ČSN EN ISO 13788: [3]

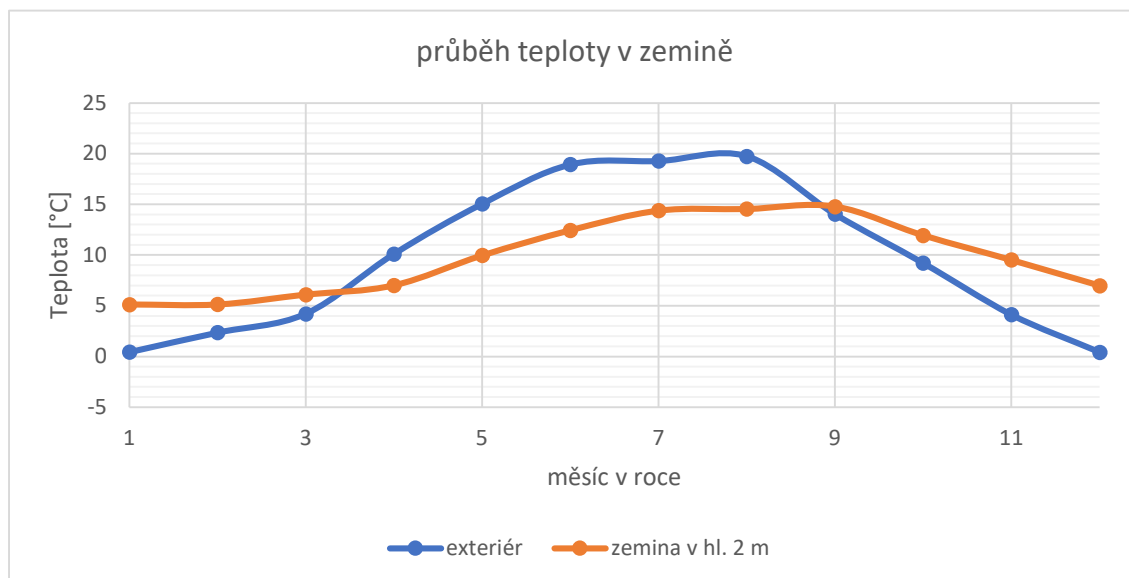
měsíc	dny	průměrné měsíční teploty - θ_m [°C]	T v zemině	T v zemině (2 m hloubka)
1	31	0,45	5,14	5,13
2	28	2,37	6,10	5,14
3	31	4,21	7,02	6,10
4	30	10,12	9,98	7,02
5	31	15,06	12,45	9,98
6	30	18,94	14,39	12,45
7	31	19,28	14,56	14,39
8	31	19,74	14,79	14,56
9	30	14,05	11,94	14,79
10	31	9,22	9,53	11,94
11	30	4,14	6,99	9,53
12	31	0,42	5,13	6,99
průměr -	$\theta_{an} =$	9,83		

Tabulka 6: výpočet teploty v zemině.

Teplota v zemině pro jednotlivé měsíce se stanoví ze vztahu:

$$T = \frac{\theta_m + \theta_{an}}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (16)$$

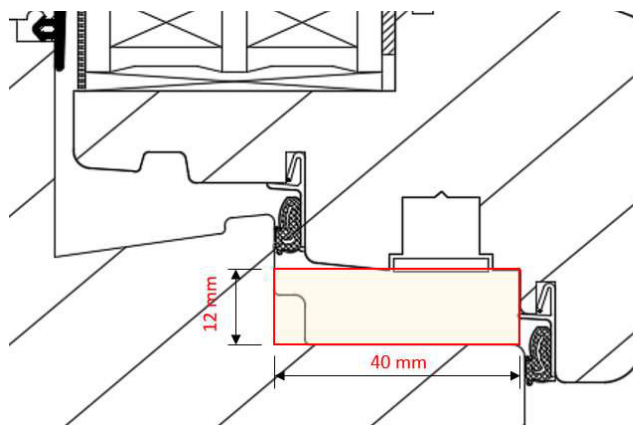
v hloubce 2 metrů se pak uvažuje s měsíční setrvačností oproti exteriérovým podmínkám. Graf průběhu teploty v zemině má oproti vnějším podmínkám nižší amplitudu, což je způsobeno odporem zeminy pro přestup tepla. Zvýrazněny jsou lednové podmínky, které slouží jako vstup do softwaru Area.



Obrázek 21: průběh teplot zemina/exteriérový vzduch.

Výpočet součinitele tepelné vodivosti okenní dutiny:

Tepelná vodivost nevětrané vzduchové vrstvy se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 6946. Jedná se o členěnou vzduchovou mezeru s následující geometrií: [20]



Obrázek 22: náhradní obrazec vzduchové mezery.

vstupy: $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9$

$d = 40 \text{ mm}$, $b = 12 \text{ mm}$



výpočet:

$$h_a = \max. \left(1,25; \frac{0,025}{d} \right) = \max. (1,25; 0,625) = 1,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$h_r = \frac{2,27 \cdot 10^{-7} \cdot T_m^3}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 2 + \frac{2}{1 + \sqrt{1 + d^2/b^2} - d/b}} = \frac{2,27 \cdot 10^{-7} \cdot 283,15^3}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,9} - 2 + \frac{2}{1 + \sqrt{1 + 40^2/12^2} - 40/12}} = 2,62 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} = \frac{1}{1,25 + 2,62} = 0,26 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/\text{W}$$

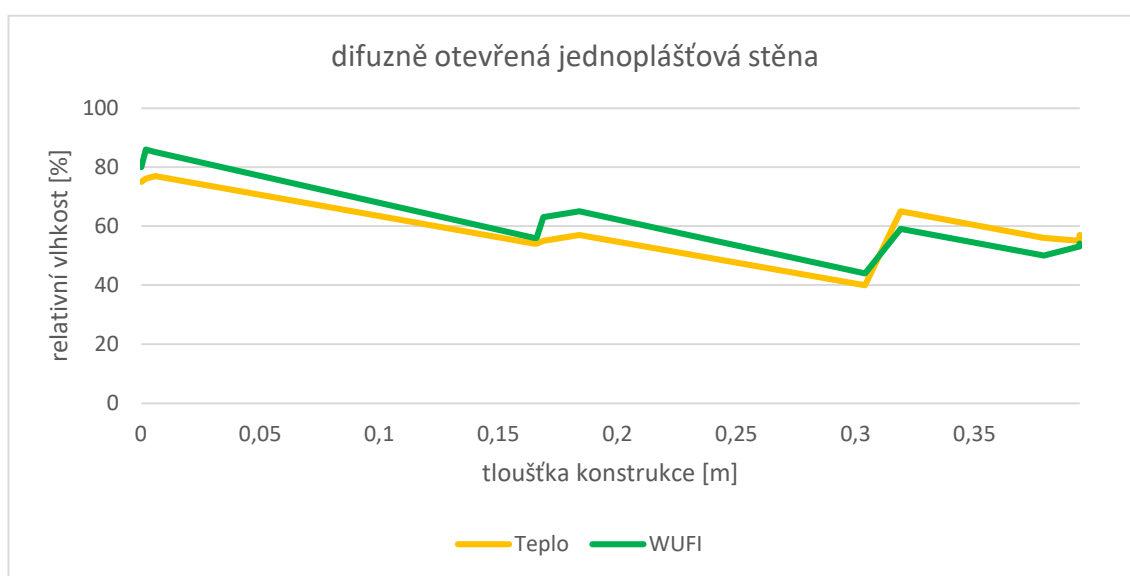
$$\lambda_g = \frac{d}{R_g} = \frac{0,04}{0,26} = 0,15 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Tento součinitel prostupu tepla bude využit jako vstupní hodnota pro výpočty. O přesný průběh v oblasti okenního rámu v rámci této práce nejde, vypočtená hodnota bude tedy použita i pro druhou uzavřenou dutinu, přestože geometrie není úplně shodná.

3.3. Jednorozměrné šíření tepla a vlhkosti

Nejprve byly popsány skladby vymodelovány v softwarech pro jednosměrné šíření tepla a vlhkosti. V tomto posouzení nás zajímá, jestli v konstrukci dochází ke kondenzaci vodní páry a jaké je rozložení relativní vlhkosti v konstrukci v posuzovaném období. Pro veškerá porovnání grafů relativních vlhkostí v průběhu roku bude vyobrazen měsíc leden. Hodnoty jsou v grafech vyobrazeny jak ze softwaru Teplo, tak WUFI.

3.3.1. Skladba jednoplášťové stěny – difuzně otevřená (S1)



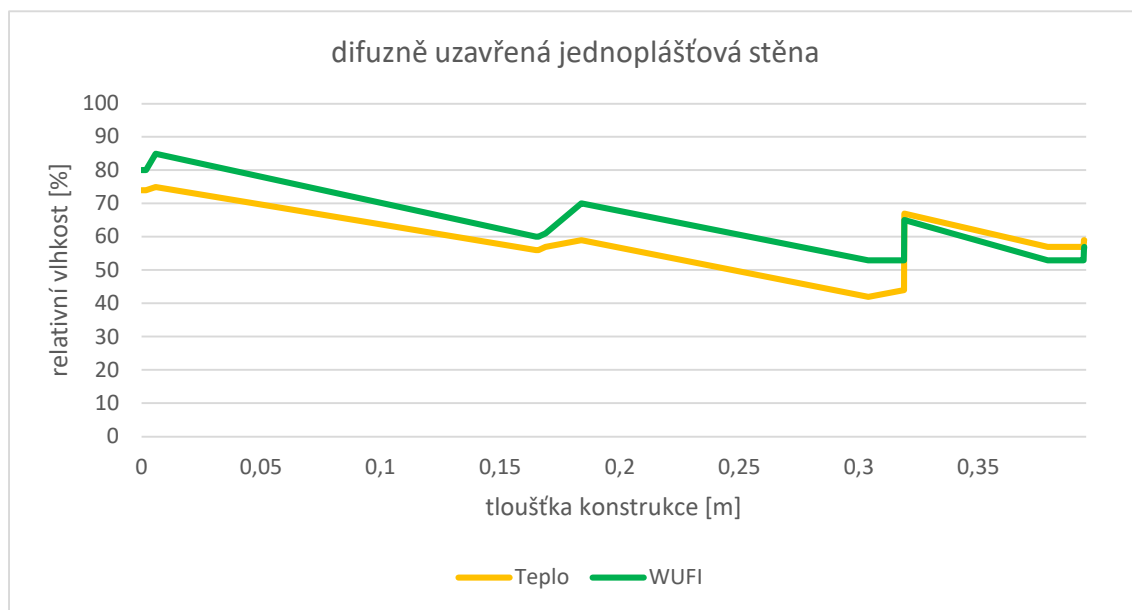
Obrázek 23: graf průběhu relativní vlhkosti – S1.

Posouzení hodnocených kritérií v rámci stěny:

stacionární metoda	1)	ohrožení požadované funkce	funkce stěny není ohrožena
	2)	$Mc \leq Mc_N$	nedochází ke kondenzaci
	3)	$Mc \leq Me_v$	nedochází ke kondenzaci
dynamický výpočet	1)	ohrožení požadované funkce	funkce stěny není ohrožena
	2)	trvalé zvyšování hm. vlhkosti	vlhkost se v konstrukci nezvyšuje

Protokol stacionárního výpočtu viz příloha č.1. Skladba této stěny vyhovuje veškerým požadavkům a může být prohlášena za bezpečnou skladbu vnější stěny.

3.3.2. Skladba jednovrstevné stěny – difuzně uzavřená (S2)



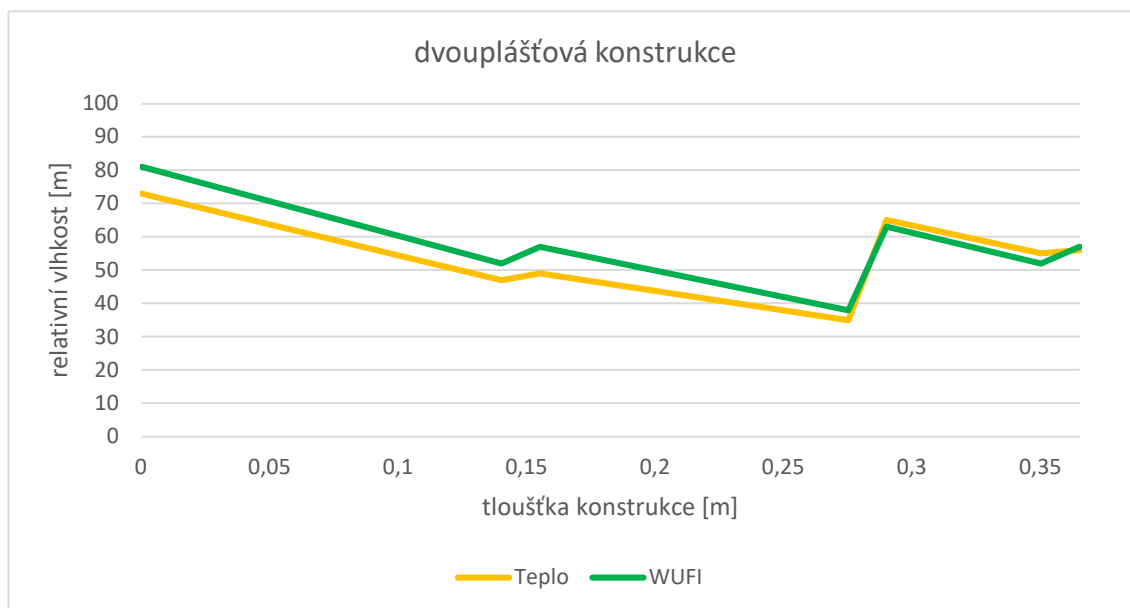
Obrázek 24: graf průběhu relativní vlhkosti – S2.

Posouzení hodnocených kritérií v rámci stěny:

stacionární metoda	1)	ohrožení požadované funkce	funkce stěny není ohrožena
	2)	$M_c \leq M_{c,N}$	nedochází ke kondenzaci
	3)	$M_c \leq M_{ev}$	nedochází ke kondenzaci
dynamický výpočet	1)	ohrožení požadované funkce	funkce stěny není ohrožena
	2)	trvalé zvyšování hm. vlhkosti	vlhkost se v konstrukci nezvyšuje

Protokol stacionárního výpočtu viz příloha č.1. Skladba této stěny vyhovuje veškerým požadavkům a může být prohlášena za bezpečnou skladbu vnější stěny.

3.3.3. Skladba dvouplášťové stěny (S3)



Obrázek 25: graf průběhu relativní vlhkosti – S3.

Posouzení hodnocených kritérií v rámci stěny:

stacionární metoda	1)	ohrožení požadované funkce	funkce stěny není ohrožena
	2)	$Mc \leq Mc_N$	nedochází ke kondenzaci
	3)	$Mc \leq Mc_v$	nedochází ke kondenzaci
dynamický výpočet	1)	ohrožení požadované funkce	funkce stěny není ohrožena
	2)	trvalé zvyšování hm. vlhkosti	vlhkost se v konstrukci nezvyšuje

Protokol stacionárního výpočtu viz příloha č.1. Skladba zároveň splňuje i podmínku pro dvouplášťové konstrukce, že relativní vlhkost nepřekračuje 90 %. Skladba této stěny vyhovuje veškerým požadavkům a může být prohlášena za bezpečnou skladbu vnější stěny.

Grafy nám slouží pro porovnání průběhů mezi softwary. Je patrné, že po sjednocení okrajových podmínek a vstupních dat vycházejí průběhy mezi softwary velmi podobné. Rozdíly mezi křivkami mohou být způsobeny vlastnostmi materiálů, které jsou ve stacionárním softwaru konstantní, kdežto u dynamického výpočtu jsou závislé na dalších proměnných veličinách. Podrobnější analýza průběhu vlhkosti ve stěnách nám zároveň poslouží pro verifikaci modelu ve dvourozměrných modelech soklové oblasti.



Pro podlahové skladby nebyla provedena detailní analýza průběhu relativní vlhkosti v konstrukci. V pokročilých modelech dvourozměrného šíření tepla a vlhkosti nám k dosažení potřebných podmínek ve vertikálním směru postačí správně nastavit blok zeminy nacházející se pod objektem. Posouzení podlahových skladeb bylo provedeno pouze základním stacionárním výpočtem.

3.3.4. Skladba podlahy mezi základovými pasy (P1)

Posouzení hodnocených kritérií v rámci skladby podlahy:

Pro konstrukce přilehlé k zemině není splnění podmínek dle ČSN 73 0540-2 požadováno, tedy není potřeba je posuzovat.

3.3.5. Skladba podlahy na základové desce (P2)

Posouzení hodnocených kritérií v rámci skladby podlahy:

Pro konstrukce přilehlé k zemině není splnění podmínek dle ČSN 73 0540-2 požadováno, tedy není potřeba je posuzovat.

Výsledky základního posouzení skladeb vycházejí příznivě, což odpovídá očekávání, protože konstrukce byly voleny jako typické skladby pro většinu dřevostaveb. Jejich analýza však poslouží jako kontrola pro následné výpočty.



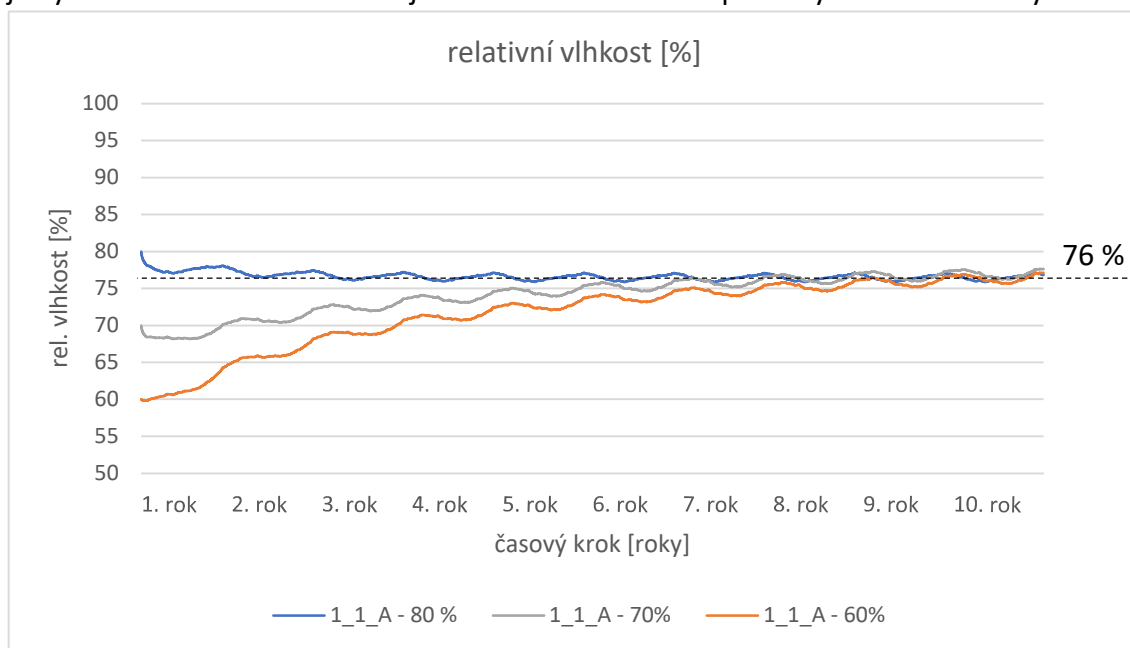
3.4. Dvourozměrné šíření tepla a vlhkosti

Modely dvourozměrného šíření tepla a vlhkosti, které budou využity pro komplexní hodnocení soklové oblasti, jsou velmi citlivé na zvolené počáteční podmínky. Vzhledem k tomu, že se jedná o dynamický výpočet, je naším cílem konstrukci dostat do kvazistacionárního stavu, abychom vyhodnotili již ustálené hodnoty vlhkosti v detailu. Vzhledem k časové náročnosti výpočtu je vhodné nastavit vstupní data tak, aby nebyla příliš daleko od očekávaných výsledků, protože poté dosáhneme rychlejšího ustálení. Před samotnými detaily tedy ještě bude provedena krátká analýza vlivu počátečních podmínek na ustálení vlhkosti a teploty. Tato analýza bude provedena na detailu 1.1.A.

Pro naši práci je nejdůležitější stanovit průběhy teplot a vlhkosti v prahových fošných dřevěné stěny, které plní nosnou funkci stěny. Pro výsledky detailů bude vždy publikován rozsah vlhkosti v prahových fošných stěny (v nepříznivějším a nejnepříznivějším místě fošen). Hodnocenou hodnotou bude průměr v celé oblasti hmotnostní vlhkosti.

3.4.1. Analýza ustálení počátečních podmínek

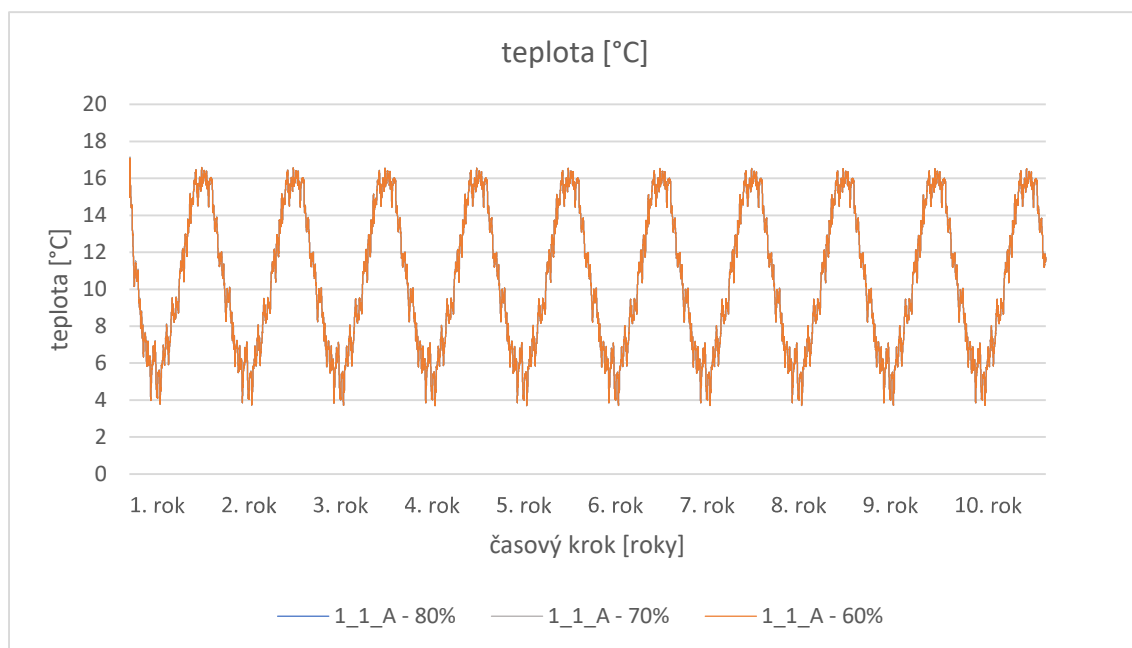
Pro detail 1.1.A byl vytvořen výpočetní model v softwaru WUFI, ve kterém je vymodelováno 10 let a sledujeme ustálení vlhkosti v prahových fošných stěny.



Obrázek 26: ustálení relativní vlhkosti ve fošných.

Byly vymodelovány 3 varianty detailu 1.1.A, pro varianty byly stanoveny počáteční relativní vlhkosti na 60 %, 70 % a 80 %. Z grafu (obr. 27) vidíme, že po časovém období 10 let dochází k ustálení hodnot na přibližně 76 % relativní vlhkosti ze všech počátečních podmínek. Hodnotu 76 % relativní vlhkosti jde brát přibližně jako ustálenou hodnotu, kdy model dosáhl kvazistacionárního stavu. Z praktické zkušenosti výpočetního modelu můžeme také tvrdit, že pokles vlhkosti probíhá výrazně rychleji při jejím snižování než při ustalování z nižších hodnot.

Pokud stejný model využijeme pro ustálení teploty, je zřejmé, že teplota je v detailu prakticky neměnná. Naším hlavním cílem tedy je optimálně nastavovat v detailech vlhkost, protože pokud dosáhneme uspokojivého výsledku ustálení vlhkosti, teplota bude v tu dobu už určitě ustálená.



Obrázek 27: ustálení teploty ve fošnách.

3.4.2. Verifikace výpočetních modelů

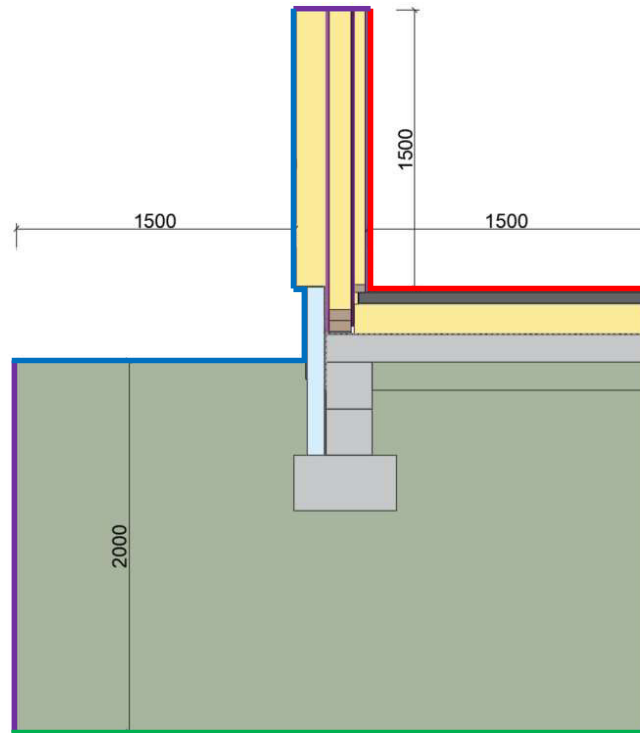
Detaily jsou modelovány s danými odstupy hranic modelu, dle následujícího schématu na obrázku č. 28. Odstupy zaručují, že v horní části stěny by už mělo docházet prakticky k jednorozměrnému šíření tepla a vlhkosti. Můžeme tedy porovnat např. relativní vlhkosti při prostupu stěnou v 1D softwaru (viz kapitola 3.3.) s příslušným



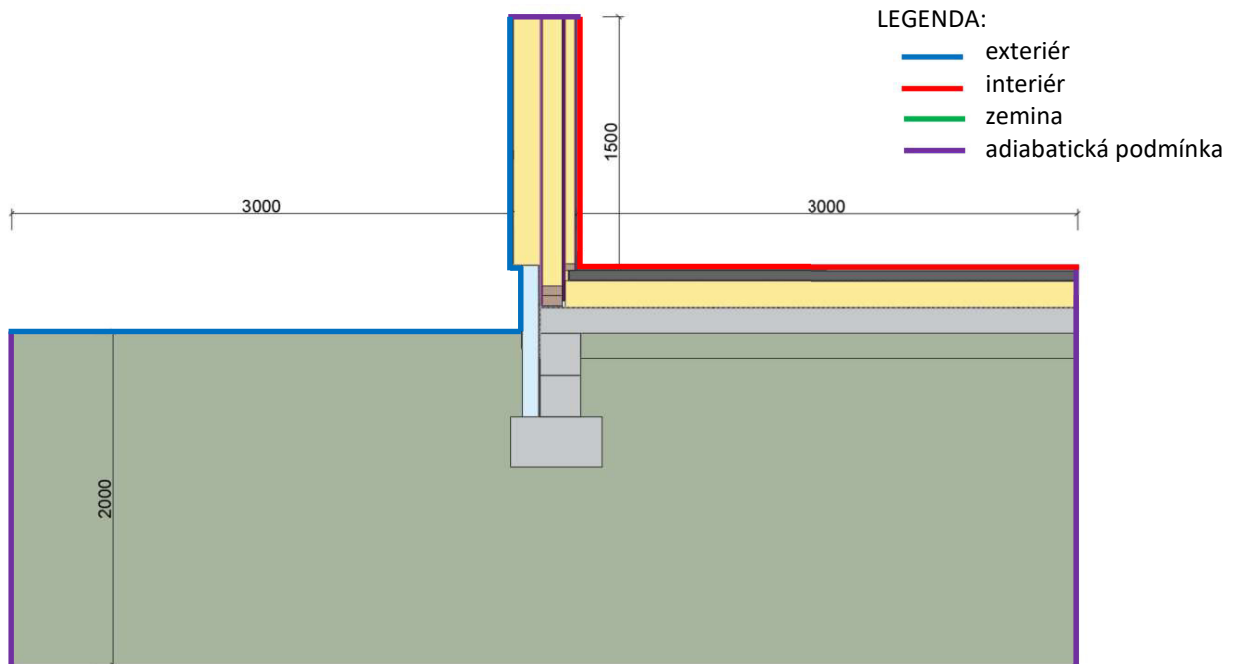
detailem a relativní vlhkostí v horní části stěny. Zde provedeno jako příklad na detailu 1.1.A.

Odstupy hranic v modelech:

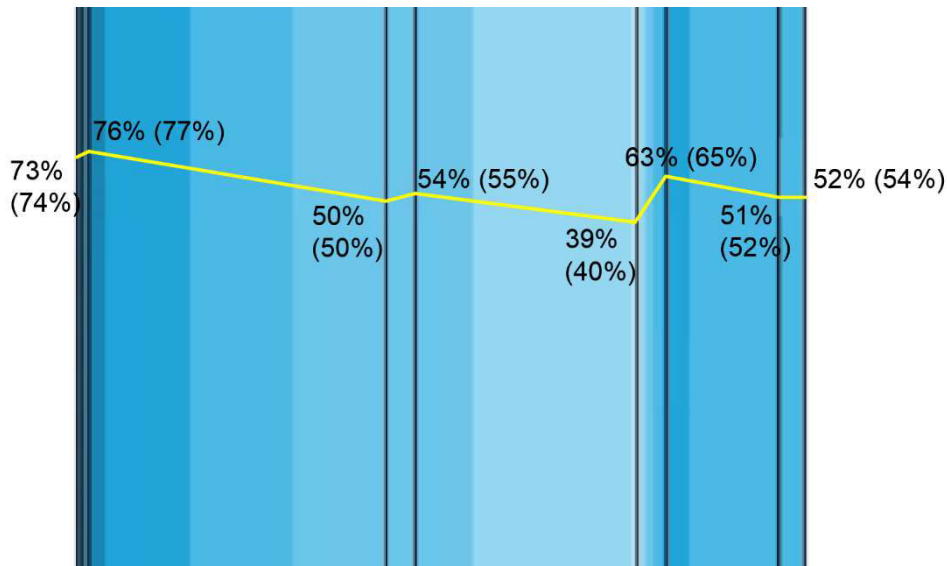
AREA:



WUFI:



Obrázek 28: odstupy modelů – AREA a WUFI.

příklad kontroly průběhu relativní vlhkosti ve stěně:

Obrázek 29: relativní vlhkosti – Area.

Hodnoty ze softwaru AREA jsou znázorněny na obrázku č. 29, pokud je porovnáme s hodnotami z grafu na obrázku č. 23 (zde vyobrazeny v závorce), je vidět, že průběh ve stěně modelované v softwaru Teplo je téměř shodný s relativními vlhkostmi zobrazenými v Area. Obdobnou verifikaci provedeme pro všechny detaily, a to porovnáním softwarů Teplo – Area a WUFI Pro – WUFI 2D.

Verifikace detailů mezi jednorozměrným a dvourozměrným modelem proběhla v pořádku, ale samozřejmě nic nevyovídá o rozdílech mezi výpočtem stacionárním a dynamickým. Tomu se budeme věnovat v následující kapitole.

3.4.3. Rozdíly mezi softwaru Area – WUFI

Ze zpracovaných detailů je patrné, že výsledky z obou softwarů nejsou naprosto shodné. Dokonce jsou případy, kdy jsou rozdílné velmi výrazně. Je tedy nutné označit rozdílné vstupy, popřípadě vlastnosti výpočtu, které by mohly mít vliv na rozdílné výsledky.

K téměř dokonalému sjednocení vstupních údajů dochází v rámci vstupních součinitelů a parametrů. Jediný rozdíl je v součiniteli přestupu vlhkosti na interiérové straně konstrukce, který je v softwaru WUFI vypočítáván interním výpočtem. Abychom stanovili dopad této odlišnosti na výpočetní model, byla na koordinačním detailu 1.1.A



vytvořena varianta, kde jsou zadány naprosto shodné součinitele se softwarem Area a poté porovnány výsledky. Tím je ověřeno, že k tomuto odlišení výsledků nedochází vlivem interního výpočtu součinitele přestupu vlhkosti.

Další rozdíl mezi stacionárním a dynamickým výpočtem je ve vlastnostech materiálů, které jsou u dynamického výpočtu zadávány tak, že se mění jejich vlastnosti dle podmínek, ve kterých se nacházejí. Například závislost tepelné vodivosti na vlhkosti materiálu nebo faktor difuzního odporu v závislosti na vlhkosti. Toto je v co nejvyšší míře eliminováno zadáním upravených hodnot do softwaru Area (viz kapitola 3.2.2) a to zvětšením součinitele tepelné vodivosti o 5 % a zadáním faktoru difuzního odporu při 60 % relativní vlhkosti. Tento rozdíl v zadání materiálu může způsobit drobné rozdíly, ale nikoliv rozdíly v desítkách procent relativní vlhkosti. Využívat výpočetní modely, kde se i při dynamickém výpočtu budou využívat konstantní vlastnosti by postrádalo význam, protože bychom nevyužili jednu z předních výhod dynamických softwarů. Snahou je naopak upravit vhodně konstantní hodnoty do stacionárních modelů.

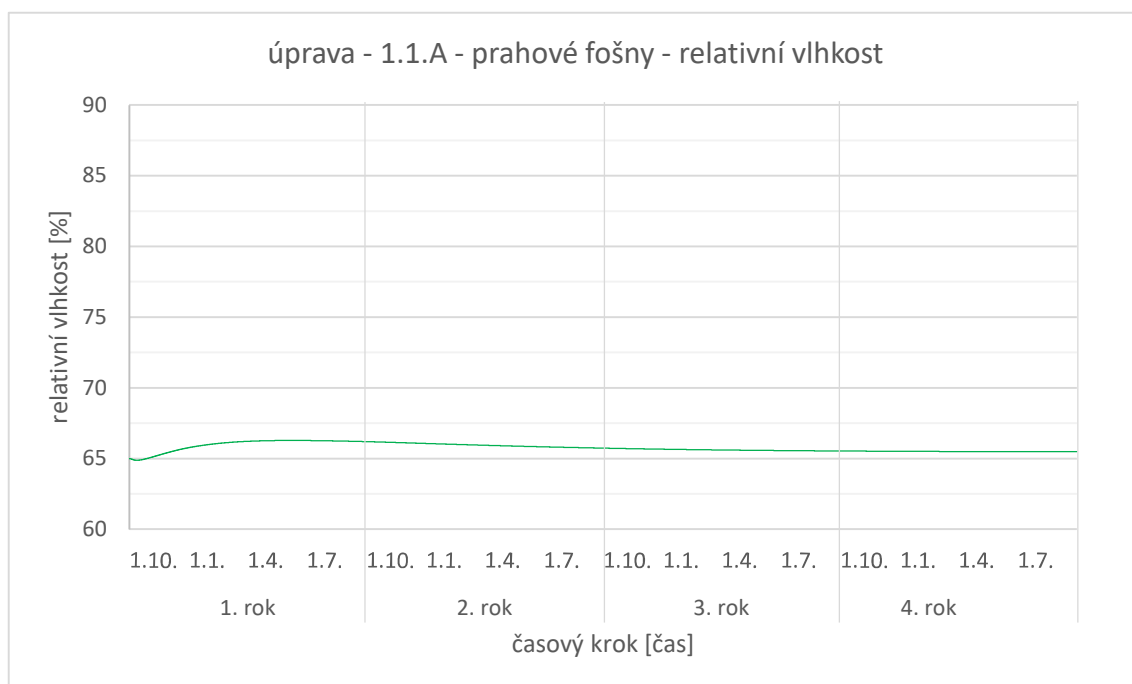
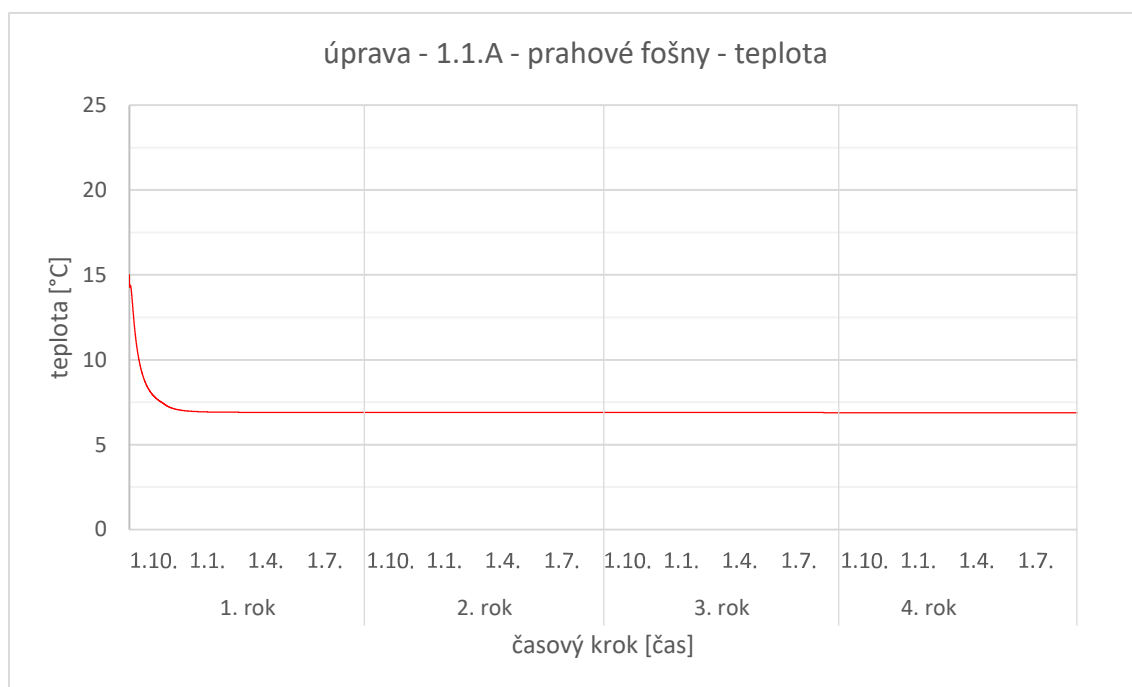
Další rozdíl je, že stacionární výpočet probíhá pro okrajové klimatické podmínky, které jsou stanoveny jako měsíční průměry teplot a relativních vlhkostí, kdežto dynamický výpočet probíhá pro zadané hodnoty klimatického roku po hodinových hodnotách. Ustálení tedy probíhá pomaleji a výsledky nejsou pouze z hodnot pro leden, ale vyplývají z namáhání konstrukce v předešlých měsících a letech. Tento rozdíl jde ověřit tak, že opět na koordinačním detailu 1.1.A vyzkoušíme v dynamickém modelu zadat konstantní okrajové podmínky a provést výpočet, abychom mohli posoudit, jestli je rozdíl daný zadávanými klimatickými podmínkami.

Pokud provedeme výpočet s konstantními okrajovými podmínkami shodnými s Areou, získáme tyto hodnoty v prahových fošnách nosné stěny. Výsledky stacionárního modelu vycházejí v rozmezí 50,5 % - 62,4 % (viz kapitola 3.4.5.) V upraveném dynamickém modelu je výsledkem ustálená hodnota přibližně kolem 65 % relativní vlhkosti. Takový rozdíl mezi dynamickým a stacionárním modelem se dá již považovat za přijatelnou hodnotu, která může být způsobena předešlými body diskuze (např. dynamické chování materiálu, popř. interní výpočet součinitele). Toto je velmi důležitý postřeh z rozdílů modelových softwarů. Původní očekávání bylo takové, že stacionární model v softwaru Area bude na straně bezpečnosti. Což ale výsledky



získané našimi modely a výpočty nepotvrzují. Naopak se ukazuje, že dynamický model vykazuje vyšší hodnoty relativní vlhkosti v prahových fošnách než model stacionární. Z testu upraveného modelu 1.1.A je zřejmé, že tento rozdíl dělají vstupní klimatická data.

Výsledky z upraveného modelu WUFI:



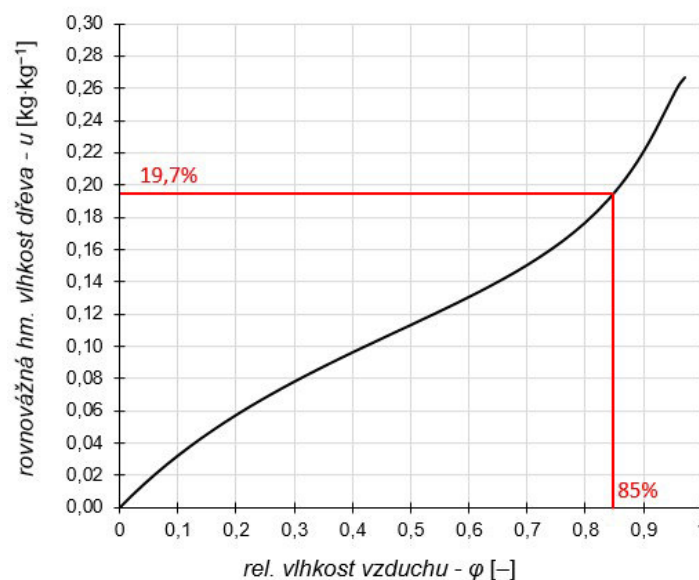
Obrázek 30: analýza vlivu okrajových podmínek.

3.4.4. Details – hodnocení

V následujících kapitolách jsou řešeny komplexní detaily soklu z hlediska dvourozměrného šíření tepla a vlhkosti. Všechny detaily byly vymodelovány jako stacionární model v softwaru Area a vybrané detaily i jako dynamický model v softwaru WUFI. V modelech nás nejvíce zajímají podmínky v dřevěných prahových fošnách. Jedná se o nosnou konstrukci stěny, která je pro bezpečné fungování stěny nutná. Navíc se velmi často stává, že dřevěné prahové fošny nejsou v dostatečné vzdálenosti nad terénem.

V grafickém zobrazení rozložení teplot v detailech je vyobrazena nejnižší/nejvyšší teplota na povrchu konstrukce. Ve zobrazení rozložení vlhkosti jsou vyobrazeny minimální a maximální vlhkosti v prahových fošnách.

Pro hodnocení bezpečnosti soklových detailů platí podobná kritéria jako u skladeb konstrukcí. Navíc je důležité posoudit kritérium, zda ve dřevěných konstrukcích není relativní vlhkost překračující 85 %, při které může docházet k tvorbě plísní a tím poškození funkce konstrukce. Tato hodnota relativní vlhkosti v dřevěných prvcích odpovídá přibližně 18 % hmotnostní vlhkosti – dle typu dřeva. Pro náš model v dynamickém softwaru platí: $\varphi = 85 \% \approx u = 19,7 \%$.



Obrázek 31: sorpční křivka dřeva prahových fošen.



Pro přehlednost je tabulka pro hodnocení detailů trochu upravena.

stacionární metoda	1)	ohrožení požadované funkce
	2)	$M_c \leq M_{c,N}$
	3)	relativní vlhkost v prahových fošnách $\leq 85\%$
dynamický výpočet	1)	ohrožení požadované funkce
	2)	trvalé zvyšování hmotnostní vlhkosti
	3)	relativní vlhkost v prahových fošnách $\leq 85\%$

Tabulka 7: tabulka hodnotících kritérií – detaily.

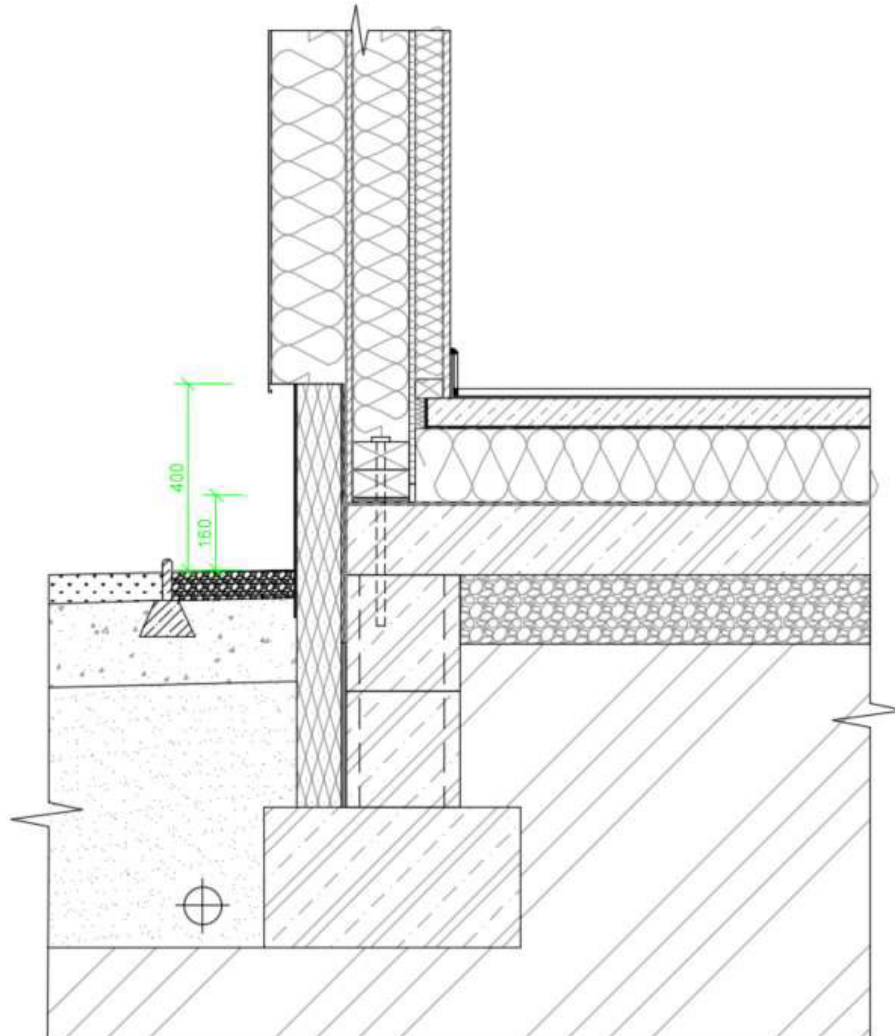
Ve stacionárních modelech jsou vyobrazeny pouze grafické rozložení teplot a relativních vlhkostí v modelu. Dynamický výpočet nám umožňuje zobrazit časový průběh v libovolných výpočetních bodech. Pro dynamické modely jsou tedy vyobrazeny i grafy průměrů průběhů teploty, relativní vlhkosti a hmotnostní vlhkosti v oblasti prahových fošen.

Výsledky jsou graficky publikovány v měsíci lednu, který dle klimatických dat tvoří nejnejpříznivější kombinaci teplot vnějšího prostředí a teploty zeminy. Stacionární model nám poskytuje výsledky ve formě měsíčního průměru za měsíc leden. Vzhledem k okrajovým podmínkám stanovených ve 2 m hloubky zeminy nelze provést roční bilanci. Dynamický model oproti tomu zobrazuje výsledky v hodinových intervalech po celou délku výpočtu. Pro grafické vyobrazení je zvolen pevný datum 15.1. ve 12:00. Grafické výsledky tedy nemohou být plně totožné v rámci porovnání stacionárního a nestacionárního modelu.

Z dynamického modelu je možné získat podrobnější informace o chování konstrukce v průběhu delšího časového období – 4 roky. Toto chování popisují grafy, na kterých je vidět průběh teploty, relativní vlhkosti a hmotnostní vlhkosti v celé oblasti prahových fošen. Pro přehlednost je osa x popsána pouze vybranými měsíci a roky, hodnoty zůstávají vynášeny hodinově. Vzhledem k provedené analýze ustálení vlhkosti (viz kapitola 3.4.1.) víme, že vlhkost klesá rychle a při klesání není s ustálením problém. Jako počáteční vlhkost tedy bude stanovena relativní vlhkost 85 %, která je zároveň hodnocenou hodnotou vlhkosti. Pro vyhodnocení hodnot z dynamického výpočtu je naší snahou uvést model do kvazistacionárního stavu, kdy vlhkost v konstrukci již není ovlivněna počáteční zadanou hodnotou. Plného kvazistacionárního stavu není po dobu výpočtu čtyř let plně dosaženo, ale meziroční rozdíly ve vlhkostech se výrazně snižují a pro normové posouzení je toto ustálení dostatečné.

3.4.5. Detail 1.1.A

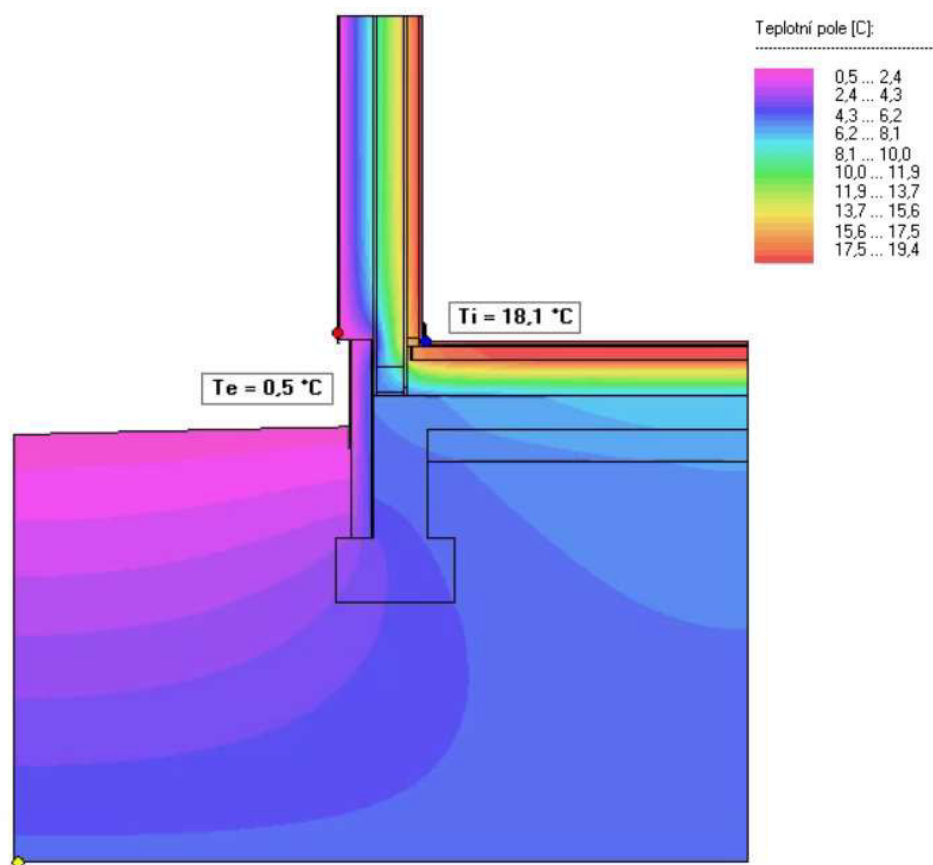
Popis a schéma konstrukce:



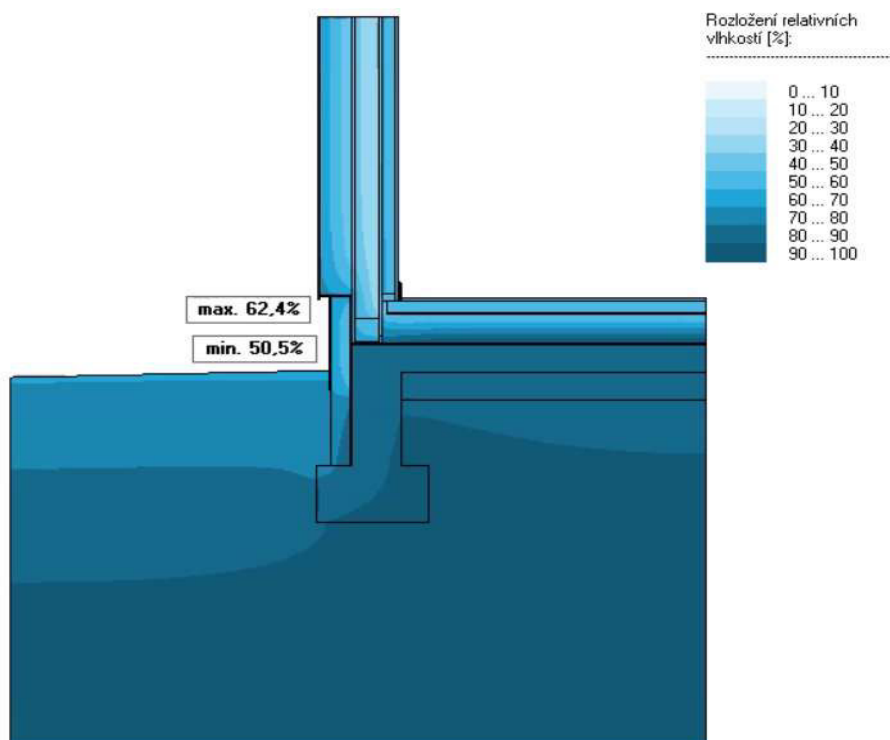
Obrázek 32: schéma detailu 1.1.A.

V prvním detailu byla zpracována soklová oblast složená z konstrukce difuzně otevřené stěny (S1) a podlahy s těžkou plovoucí podlahou založené na základových pasech (P1). Jedná se o jeden z nejběžnějších konstrukčních systémů využívaných u dřevostaveb. Parotěsná vrstva je v tomto případě zajištěna sádrovláknitými deskami s kaširovanou parobrzdou v části stěny a HI asfaltovým pásem v části podlahy. Veškeré spáry jsou opatřeny difuzně těsnící lepenkou (více viz výkresová příloha). Detail navržený v tomto provedení splňuje požadavek na minimální výšku dřevěných prvků nad terénem 150 mm. Tento detail v práci slouží jako referenční, pro tento detail byla zpracována i analýza ustálení vlhkosti a analýza rozdílů ve výpočtu mezi softwary Area a WUFI.

AREA – rozložení teplot, leden: [°C]



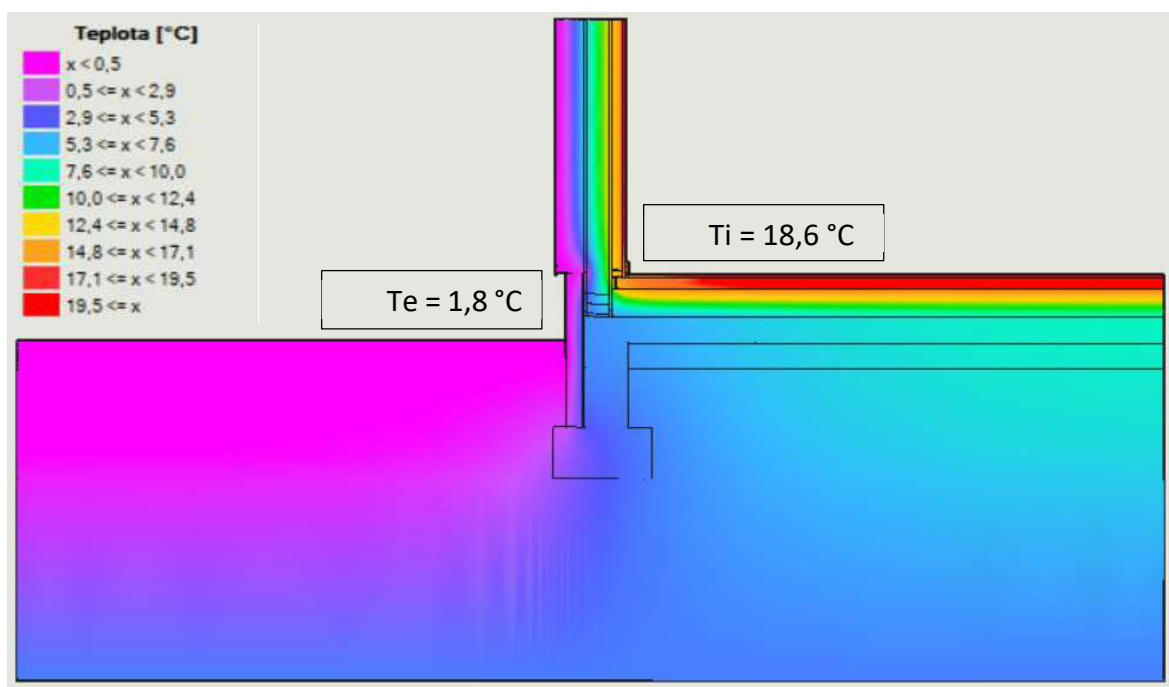
AREA – rozložení vlhkosti, leden: [%]



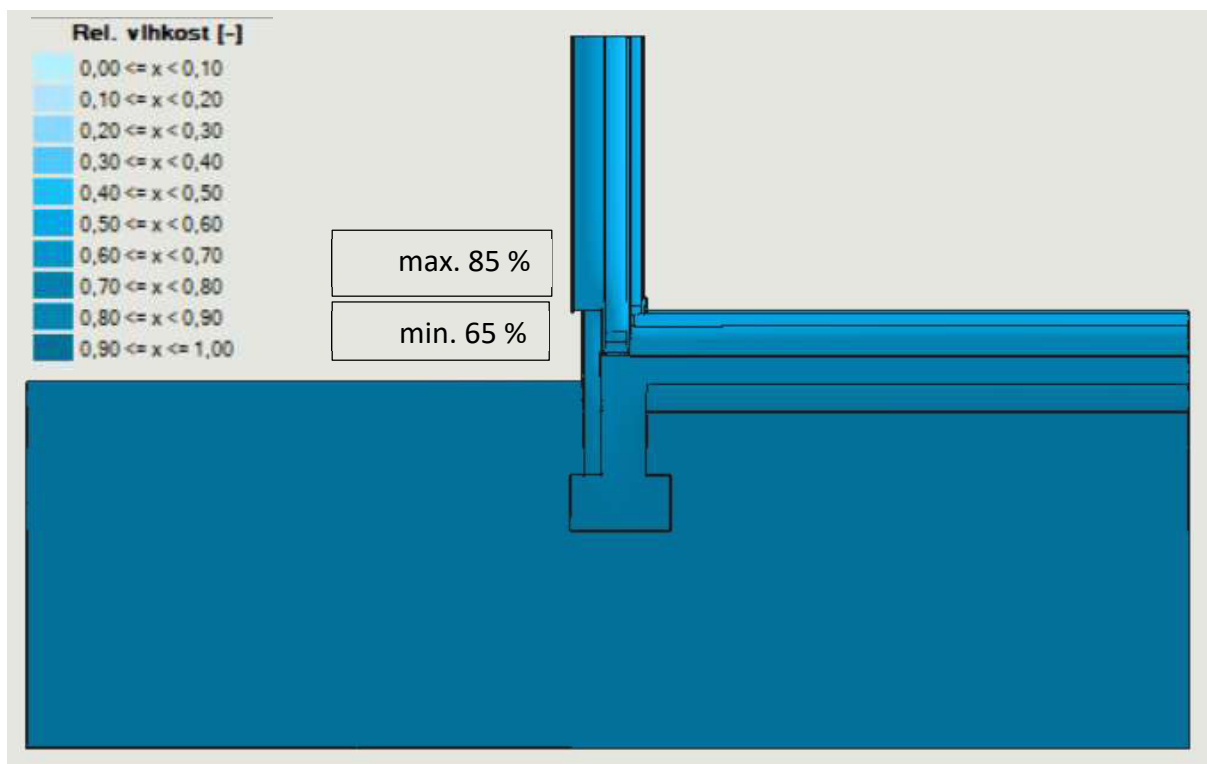
Obrázek 33: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 1.1.A.



WUFI – rozložení teplot, leden: [°C]



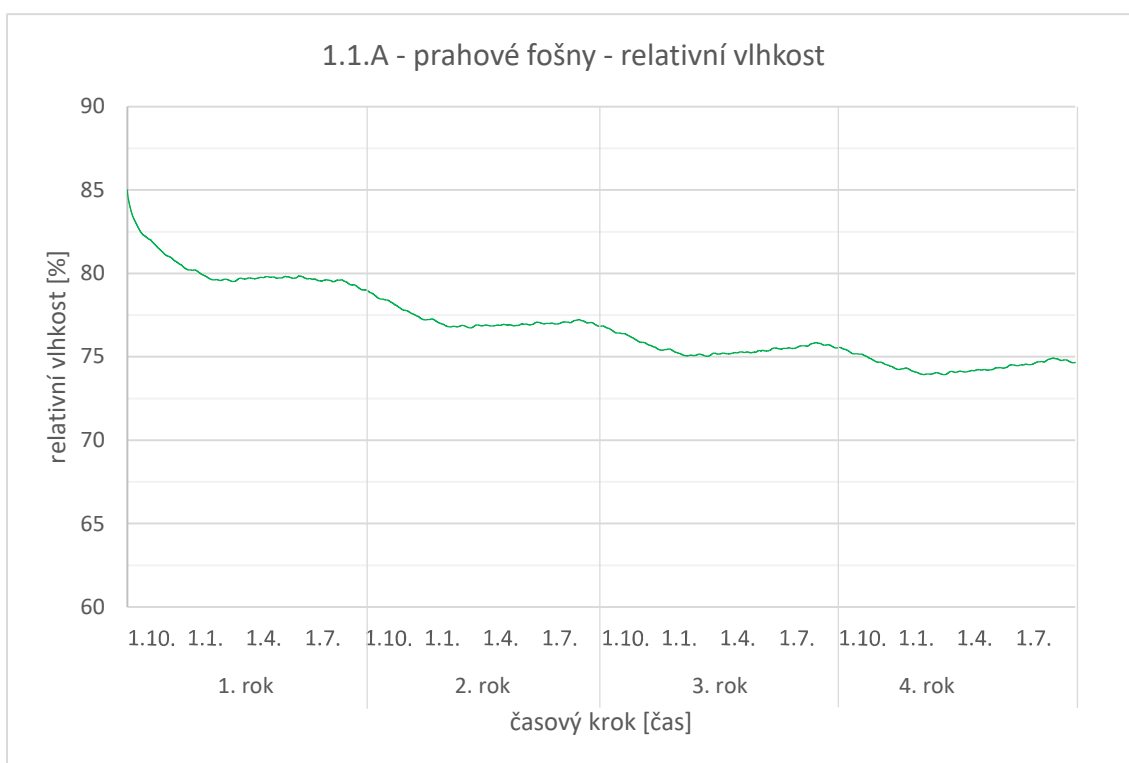
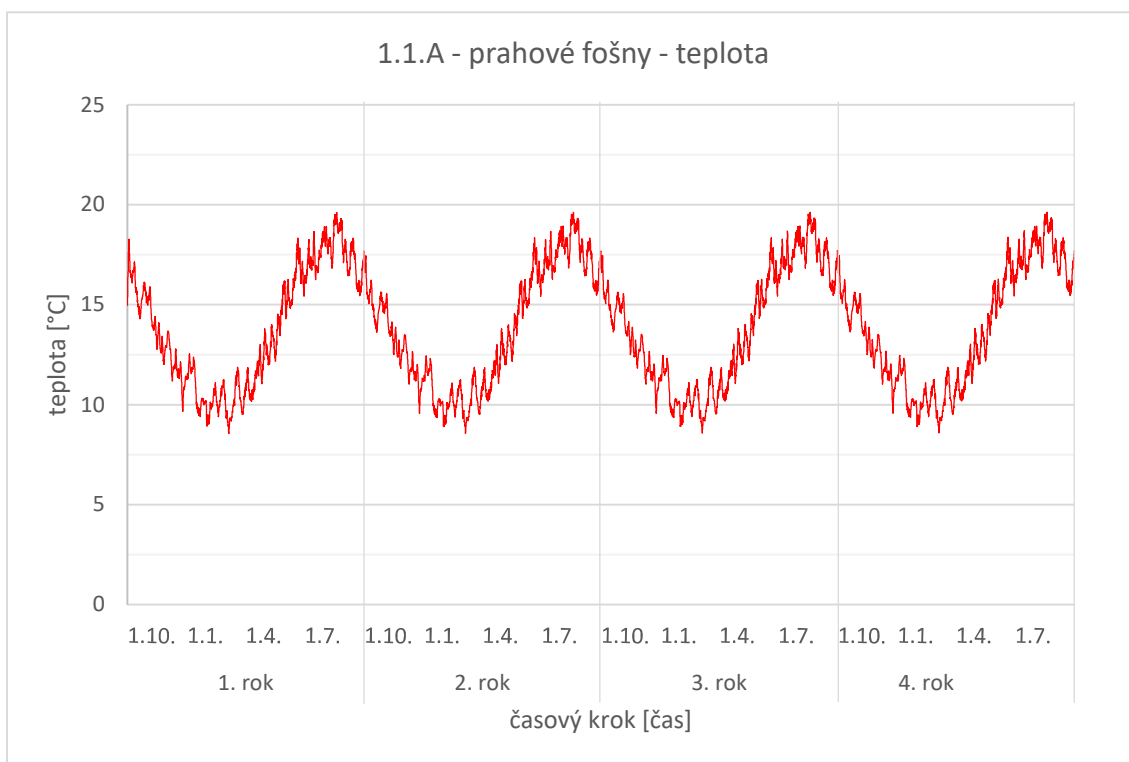
WUFI – rozložení vlhkosti, leden: [-]

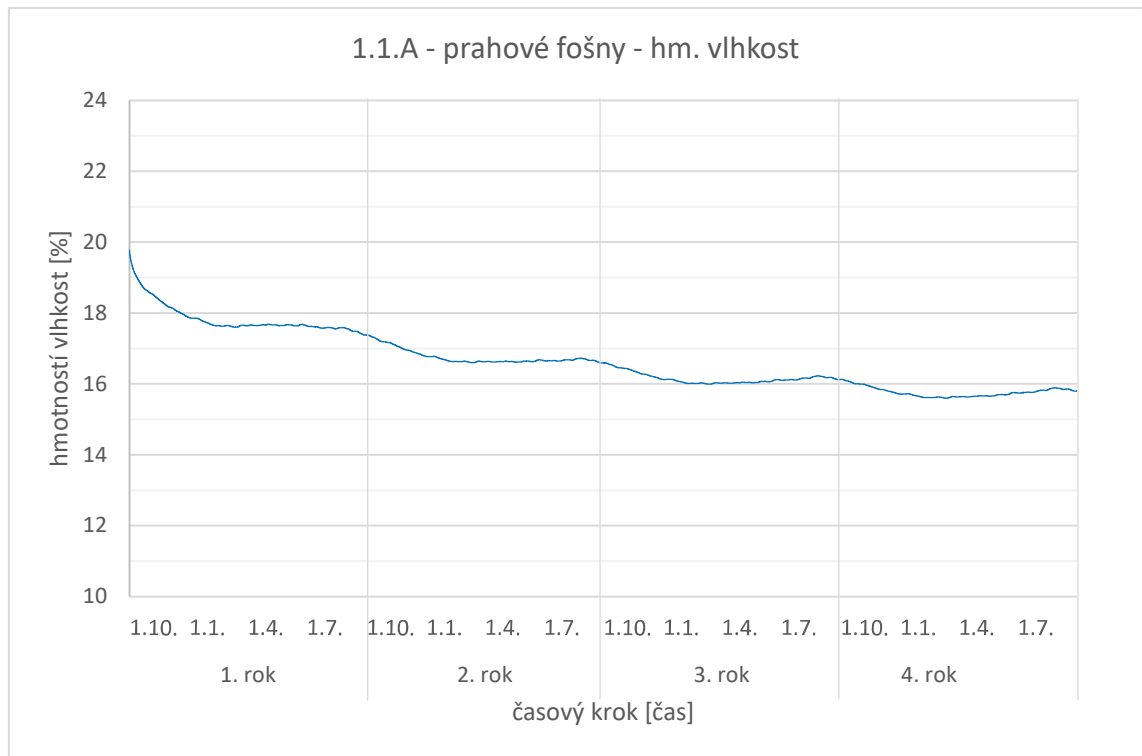


Obrázek 34: grafické výstupy – dynamický výpočet – detail 1.1.A.



WUFI – časové průběhy v prahových fošných – průměry v celé oblasti





Obrázek 35: grafy průběhů teplot, relativní vlhkosti a hmotnostní vlhkosti – detail 1.1.A.

Komentář a vyhodnocení:

Z výsledků je vidět, že teplotní pole jsou ve výpočtových softwarech velmi podobné, ale pole relativních vlhkostí vychází v softwaru Area výrazně příznivěji. Z grafů dynamického výpočtu je patrné, že nedochází k trvalému navyšování hmotnostní vlhkosti v oblasti prahových fošen. Z grafů dynamického výpočtu je také vidět, že teplota je již téměř od počátku výpočtu ustálená a meziročně se nezvyšuje ani nesnižuje. Z průběhu relativní vlhkosti je patrné, že dochází k jejímu snižování z nastavené počáteční hodnoty 85 %. Po proběhnutí 4 let se průměrná relativní vlhkost v oblasti prahových fošen dostala na hodnotu 74 %. Z obrázkových výstupů relativní vlhkosti lze vidět, že rozpětí se pohybuje přibližně mezi 65 % - 85 %. To odpovídá ustáleným hodnotám v nejpříznivějším a nejnepříznivějším výpočetním bodě. Tedy minimum v pravém horním rohu oblasti a maximum v levém dolním rohu. Z grafu hmotnostní vlhkosti je patrné, že nedochází k jejímu zvyšování po dobu výpočtu. Tento detail lze dle posuzovaných kritérií považovat za vlhkostně bezpečný.



Tabulkové vyhodnocení:

Přehledné shrnutí hodnot je v následující tabulce:

stacionární model	teplota [°C]	minimální	0,5
		maximální	18,1
	vlhkost [%]	průměr	56,5
		maximální	62,4
dynamický model	teplota [°C]	minimální	1,8
		maximální	18,6
	vlhkost [%]	průměr	74
		maximální	85

Tabulka 8: tabulka shrnutí – detail 1.1.A.

Vyhodnocení požadovaných kritérií:

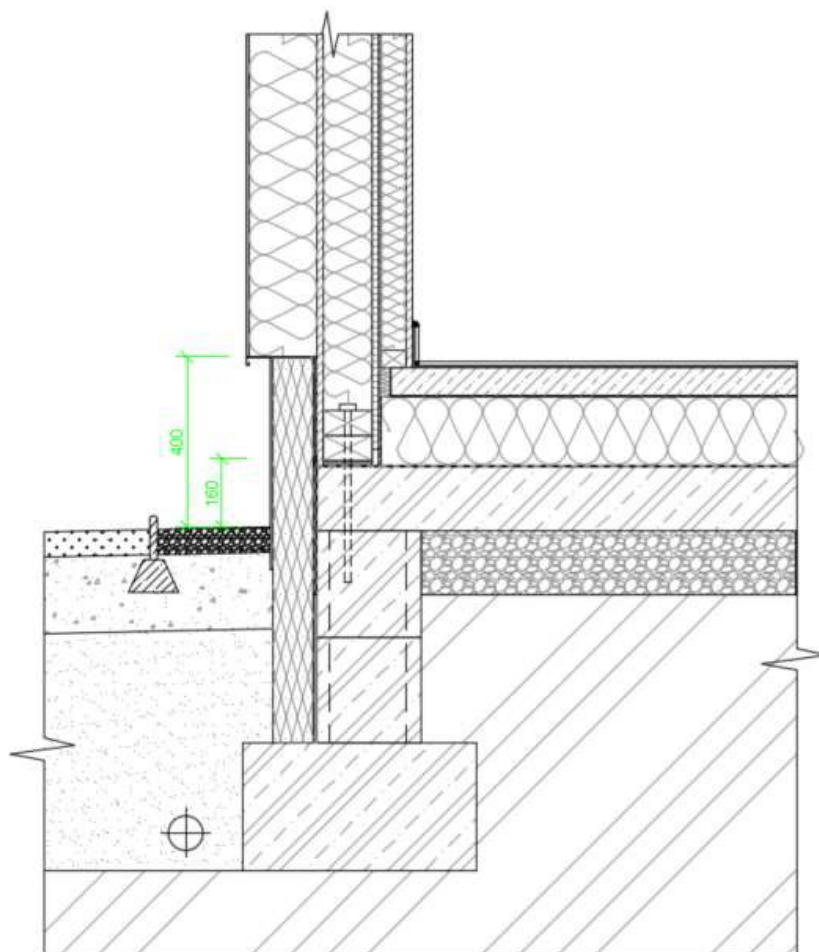
stacionární metoda	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce není ohrožena
	2)	$M_c \leq M_{c,N}$	nedochází ke kondenzaci
	3)	rel. vlhkost v prahových fošnách $\leq 85\%$	$56,5 \leq 85$
dynamický výpočet	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce není ohrožena
	2)	trvalé zvyšování hm. vlhkosti	vlhkost se v konstrukci nezvyšuje
	3)	rel. vlhkost v prahových fošnách $\leq 85\%$	$74 \leq 85$

Tabulka 9: hodnocení detailu 1.1.A.

Detail splňuje všechna kritéria dle ČSN 73 0540 – 2 a z hlediska vlhkosti je bezpečný.

3.4.6. Detail 1.1.B

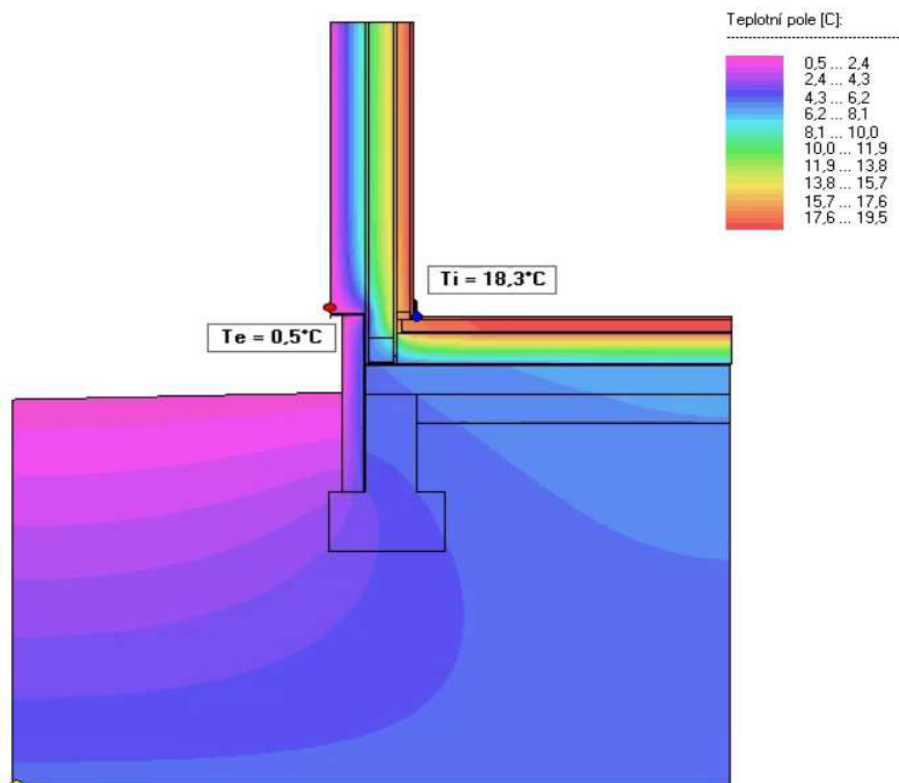
Popis a schéma konstrukce:



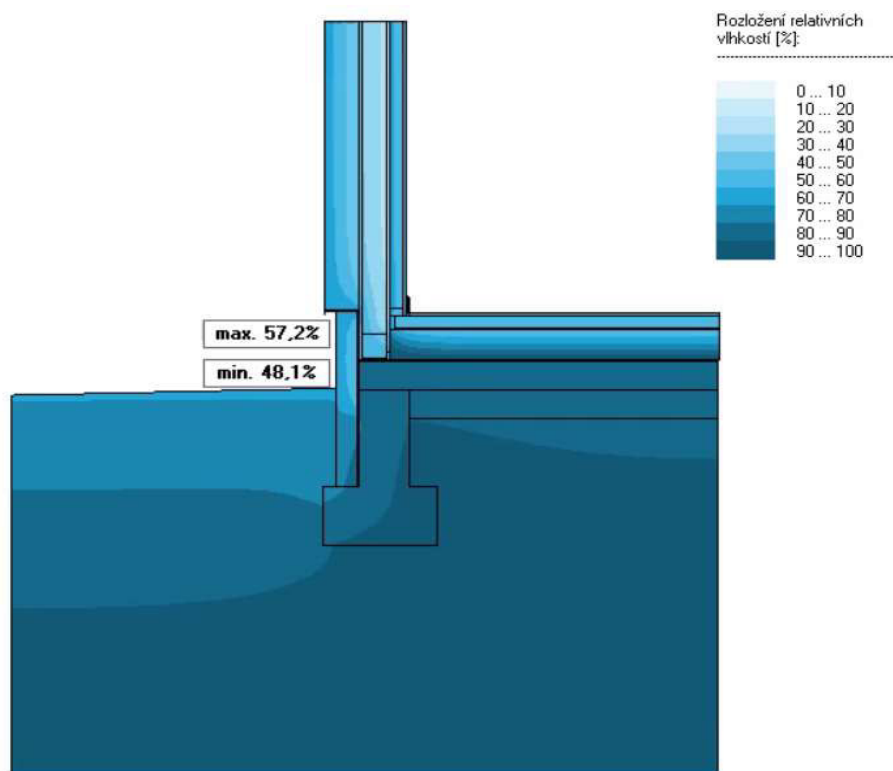
Obrázek 36: schéma detailu 1.1.B.

Tento detail je velmi podobný detailu 1.1.A, ale jedná se o difuzně uzavřenou konstrukci stěny. Ze zvolených skladeb jde o kombinaci stěny (S2) a těžké plovoucí podlahy (P1). Difuzně uzavřený systém stěn je levnější alternativa, ale je velmi náchylná na bezchybné provádění. Pokud se do prahových fošen či izolace dostane větší množství vodní páry, nemá se v uzavřené skladbě jak odpařit. Při dodržení provádění je naopak doprovázena dlouhou životností. Parotěsnou vrstvu v konstrukci stěny zajišťuje fóliová parozábrana, která je umístěna na OSB deskách. V podlaze opět HI asphaltový pás. Spáry jsou opatřeny difuzně těsnící páskou. Opět je v tomto případě dodrženo správné provádění soklu, tedy vzdálenost dřevěných prvků nad terénem, která musí být minimálně 150 mm. Dále byla provedena analýza stacionárním i dynamickým výpočtem.

AREA – rozložení teplot, leden: [°C]



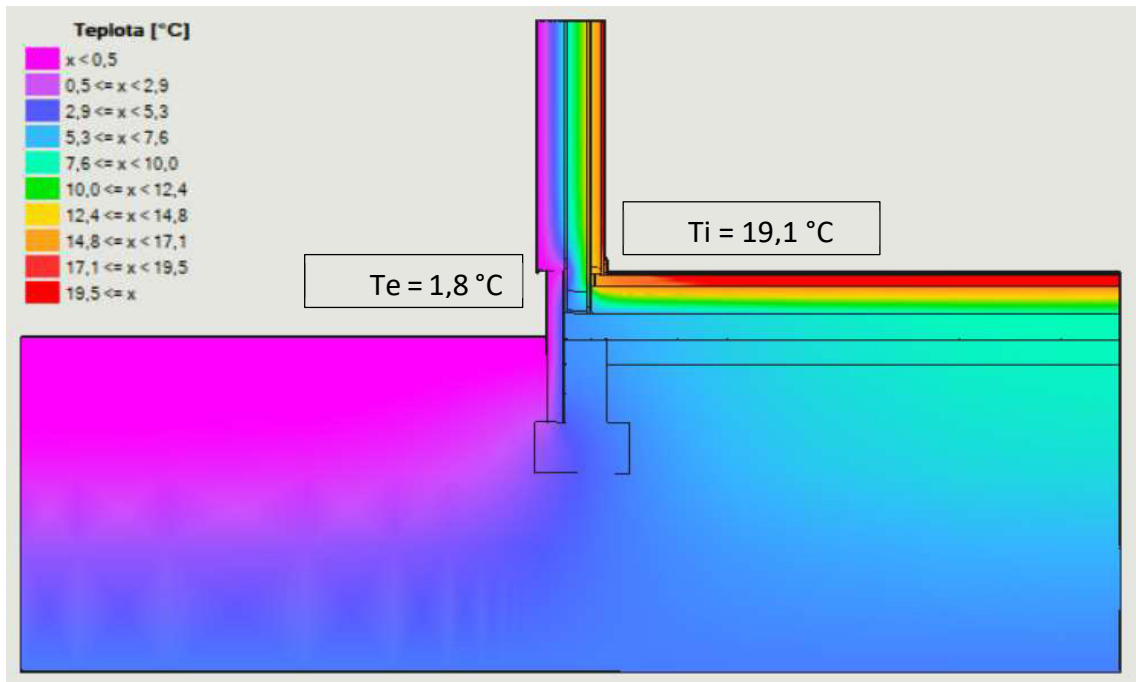
AREA – rozložení vlhkosti, leden: [%]



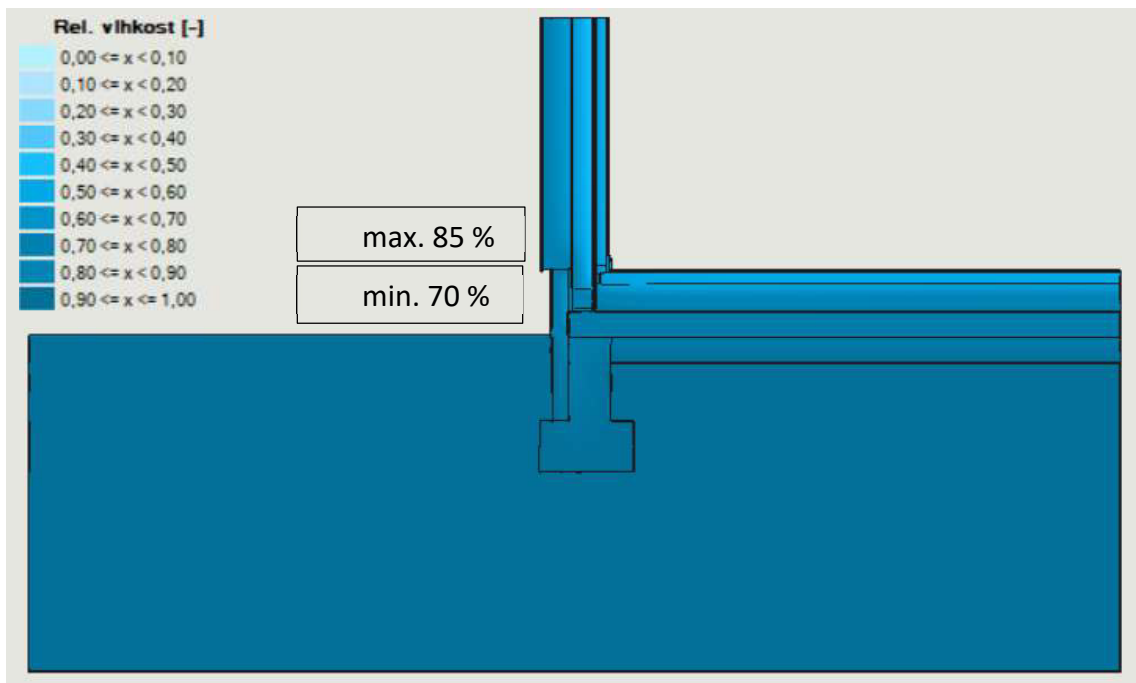
Obrázek 37: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 1.1.B.



WUFI – rozložení teplot, leden: [°C]



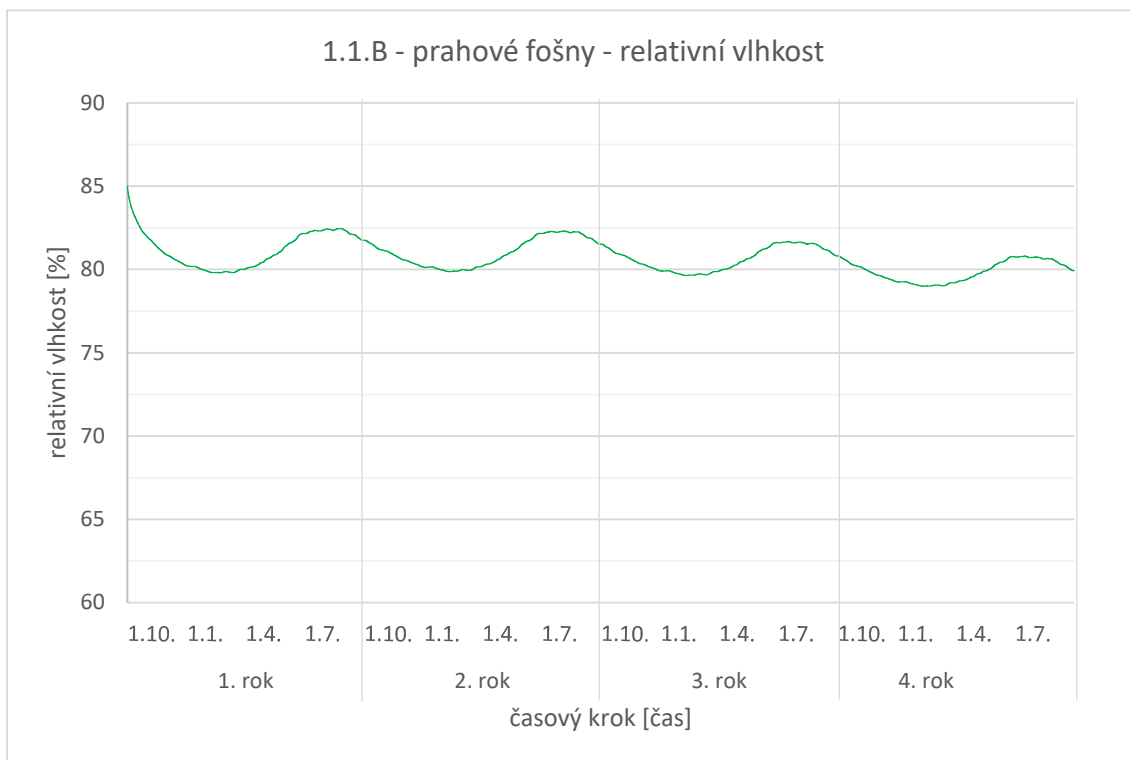
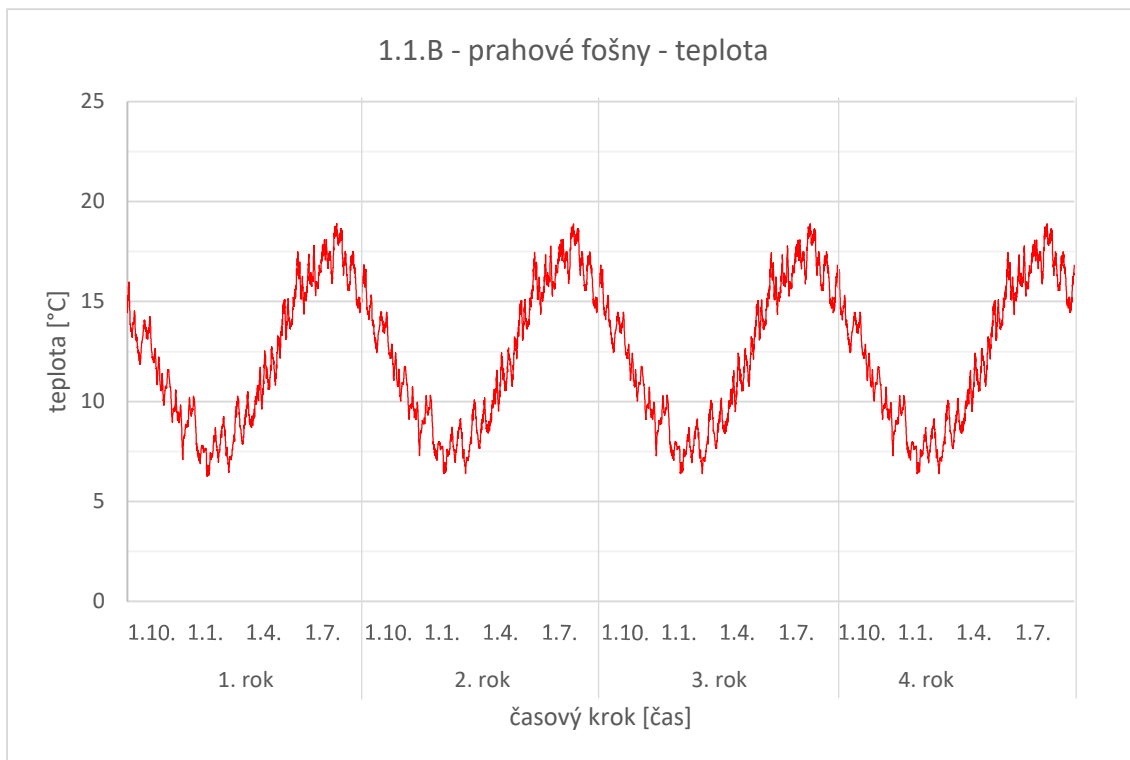
WUFI – rozložení vlhkosti, leden: [-]

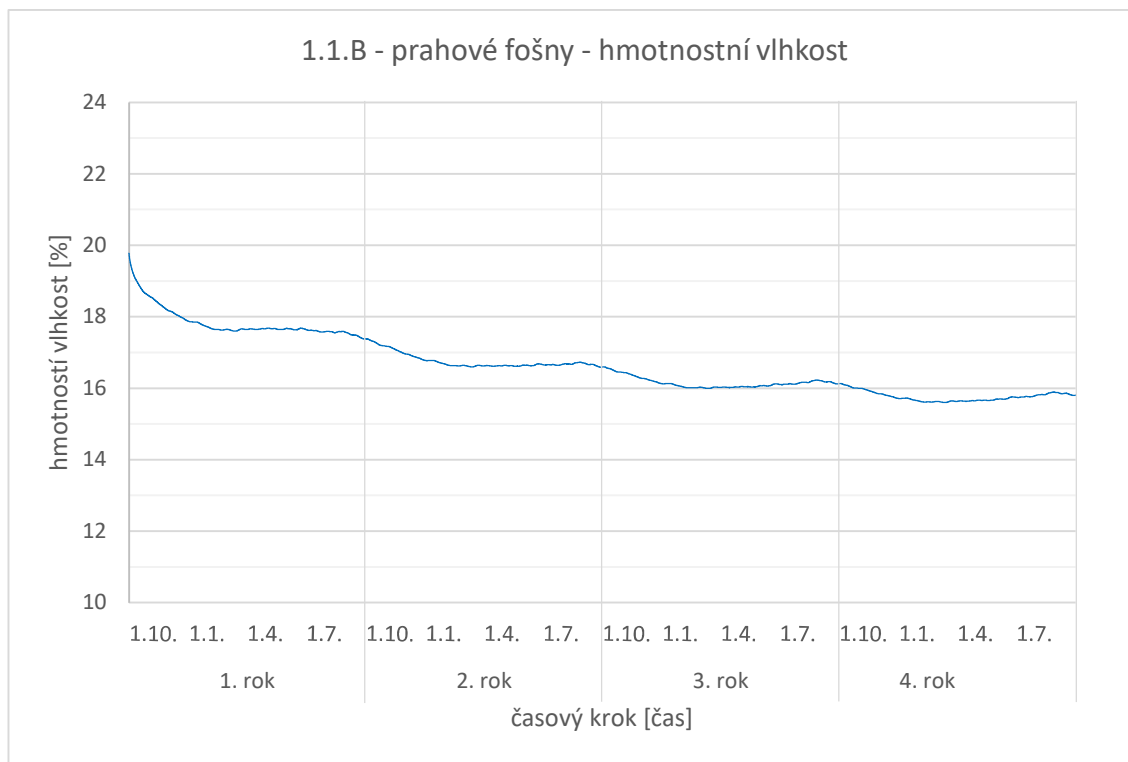


Obrázek 38: grafické výstupy – dynamický výpočet – detail 1.1.B.



WUFI – časové průběhy v prahových fošnách – průměry v celé oblasti





Obrázek 39: grafy průběhů teplot, relativní vlhkosti a hmotnostní vlhkosti – detail 1.1.B.

Komentář a vyhodnocení

Z analýzy difuzně uzavřené konstrukce vidíme, že se rozdíl mezi využitím stacionární a nestacionární metody výpočtu se projeví ještě razantněji než v případě minulého detailu. Teplota je opět po vhodném nastavení okrajových podmínek ustálená velmi rychle. K ustalování vlhkosti dochází pozvolněji, protože celkově zůstává vlhkost vyšší a neklesne na tak nízkou hodnotu. Vzhledem k nižšímu odparu vlhkosti směrem do exteriéru jsou na grafu relativní vlhkosti vidět pravidelné amplitudy, které jsou způsobeny převážně vnitřním prostředím. Vlhkost se po čtyřech výpočtových letech ustaluje na hodně 80 % relativní vlhkosti. Opět byly odečteny i hodnoty vlhkosti v nejpříznivějším místě prahových fošen a poté v nejnepříznivějším. Toto rozmezí se nachází mezi 70 % a 85 % relativní vlhkosti. Hmotnostní vlhkost v prahových fošnách je závislá na průběhu relativní vlhkosti, tedy se také v průběhu výpočtu postupně snižuje. Je vidět, že v uzavřené skladbě vlhkost nevykazuje velké výkyvy, proto je naší snahou v praxi provádět takové konstrukce ve vhodných podmínkách, aby neměly vysokou počáteční vlhkost. Dle vyobrazení těchto kritérií vychází i tento detail z hlediska obou výpočetních modelů jako vlhkostně bezpečný.



Tabulkové vyhodnocení:

Přehledné shrnutí hodnot je v následující tabulce:

stacionární model	teplota [°C]	minimální	0,5
		maximální	18,3
	vlhkost [%]	průměr	52,7
		maximální	57,2
dynamický model	teplota [°C]	minimální	1,8
		maximální	19,1
	vlhkost [%]	průměr	80
		maximální	85

Tabulka 10: tabulka shrnutí – detail 1.1.B.

Vyhodnocení požadovaných kritérií:

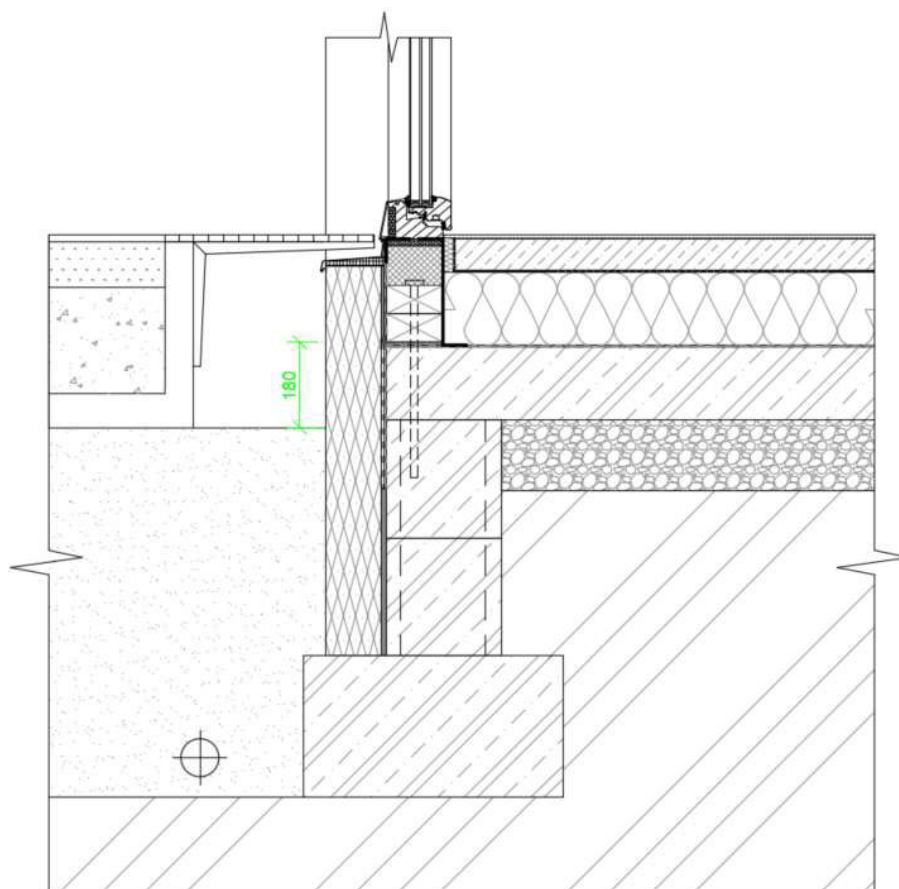
stacionární metoda	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce není ohrožena
	2)	$M_c \leq M_{c,N}$	nedochází ke kondenzaci
	3)	rel. vlhkost v prahových fošnách $\leq 85\%$	$52,7 \leq 85$
dynamický výpočet	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce není ohrožena
	2)	trvalé zvyšování hm. vlhkosti	vlhkost se v konstrukci nezvyšuje
	3)	rel. vlhkost v prahových fošnách $\leq 85\%$	$80 \leq 85$

Tabulka 11: hodnocení detailu 1.1.B.

Detail splňuje všechna kritéria dle ČSN 73 0540 – 2 a z hlediska vlhkosti je bezpečný.

3.4.7. Detail 1.2

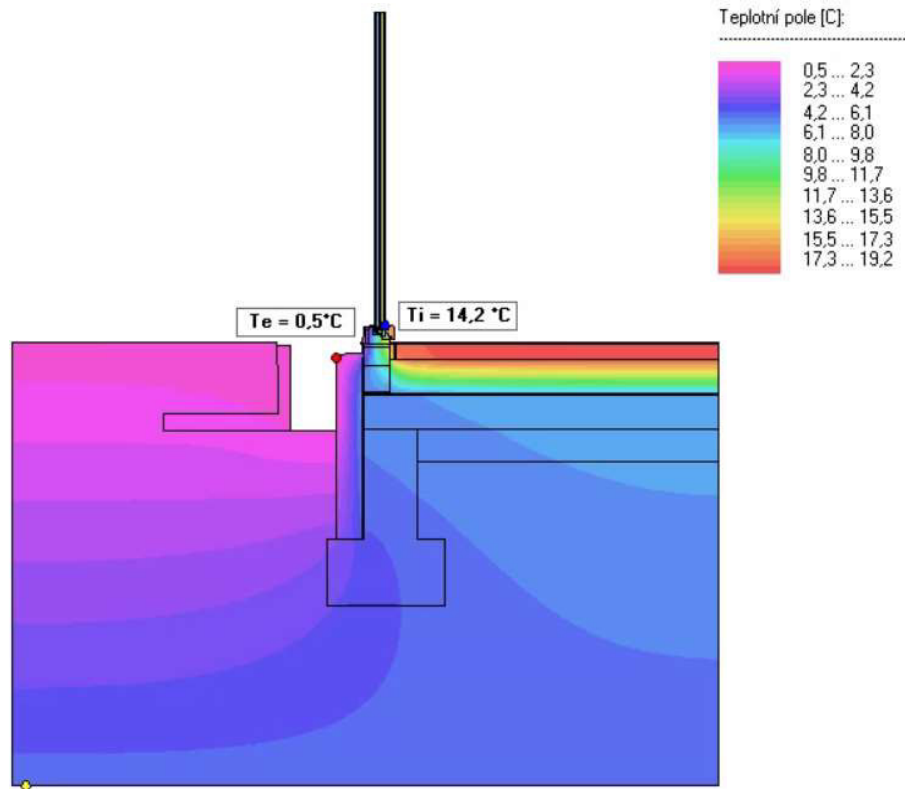
Popis a schéma konstrukce:



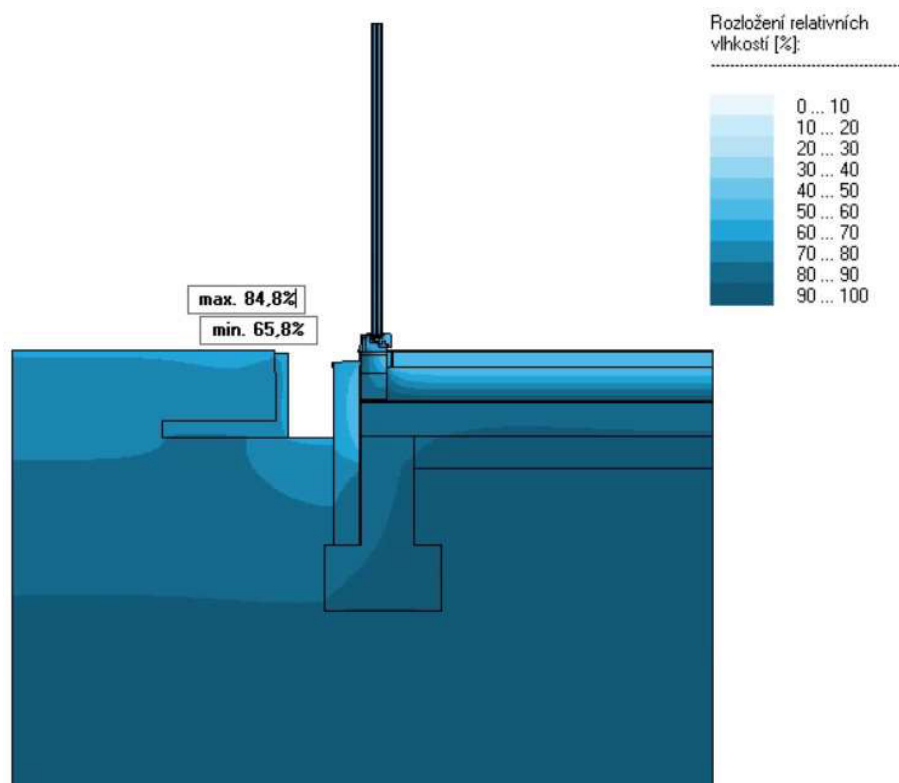
Obrázek 40: schéma detailu 1.2.

Jedná se o detail, který vyobrazuje oblast otvoru v obvodové stěně objektu s nulovým výškovým rozdílem (např. terasa či venkovní upravená plocha). Výškový rozdíl nad prahovými fošami je vyrovnán blokem z purenitu. Parotěsnost v připojovací spáře je zajištěna interiérovou a exteriérovou oboustrannou páskou při napojení okna. V podlaze se opět jedná o HI vrstvu z asfaltového pásu. Vzhledem k většímu výškovému rozdílu je spára mezi okenní páskou a HI pásem zajištěna přířezem parozábrany, která má spáry ošetřeny difuzní lepenkou. Z vnější strany je část pod pochozí vrstvou zateplena XPS. Z důvodu správného provedení prahových fošen a jejich vzdálenosti od terénu je zde provedena železobetonová konzola, na kterou je přidělán ocelový podlahový rošt. Tím je docíleno správného provětrání v oblasti soklu a příznivějších podmínek pro prahové fošny. Stabilita a kotvení ŽB konzoly by byla určena statickým výpočtem, který není řešen v rámci této práce.

AREA – rozložení teplot, leden: [°C]

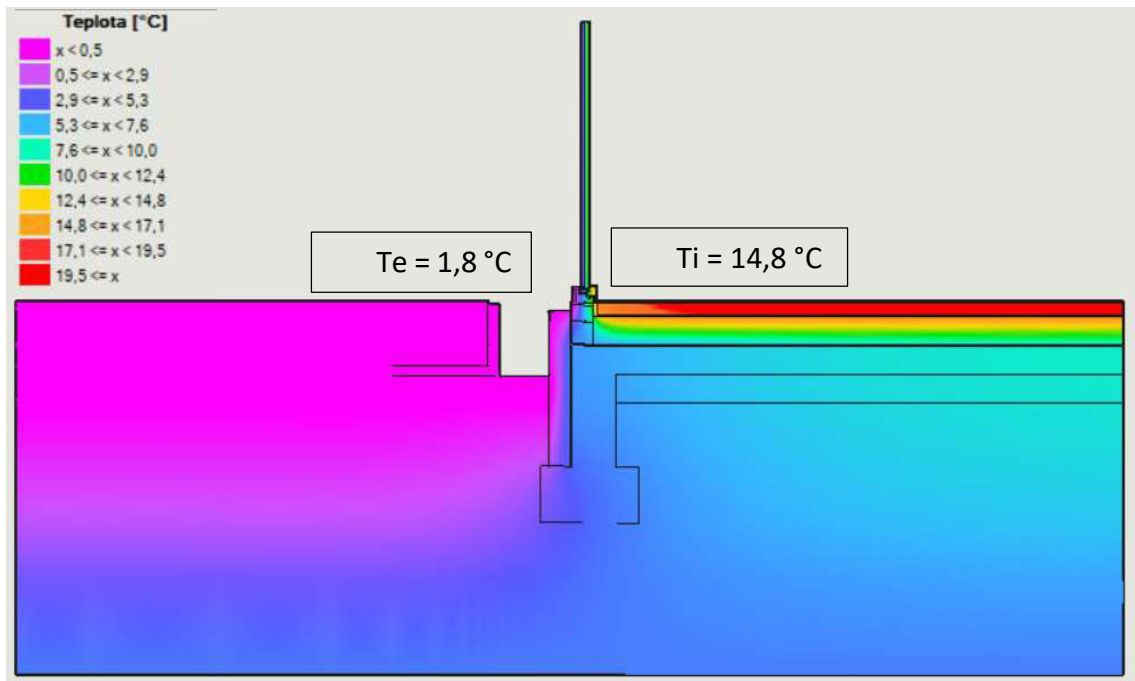


AREA – rozložení vlhkosti, leden: [%]

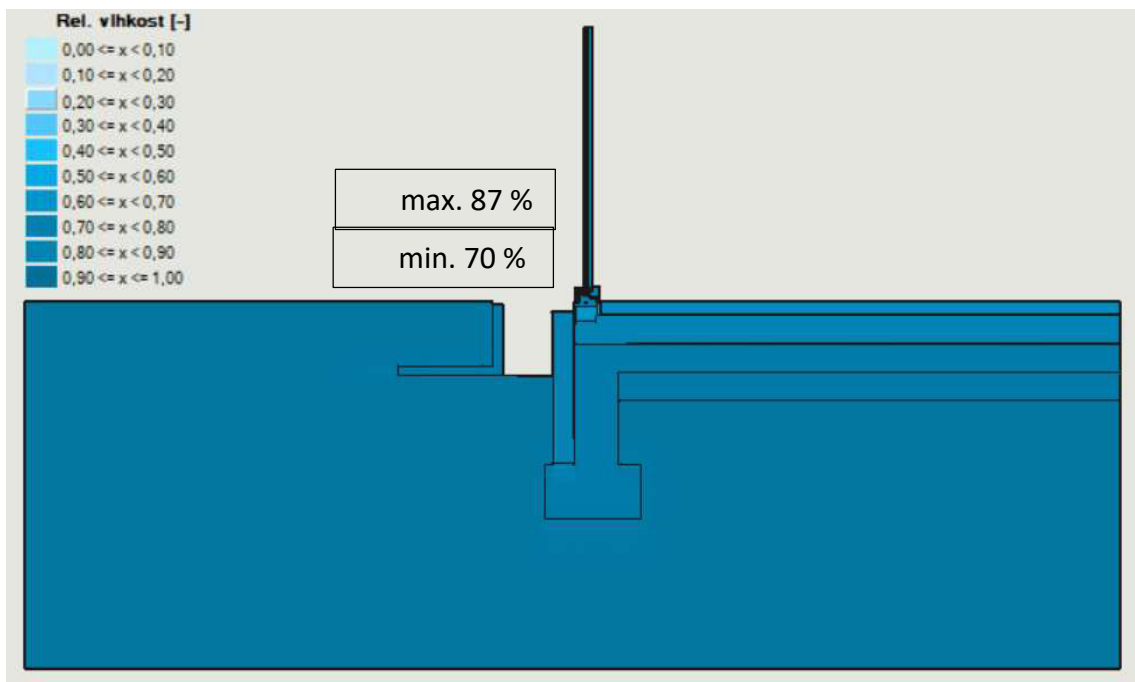


Obrázek 41: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 1.2.

WUFI – rozložení teplot, leden: [°C]



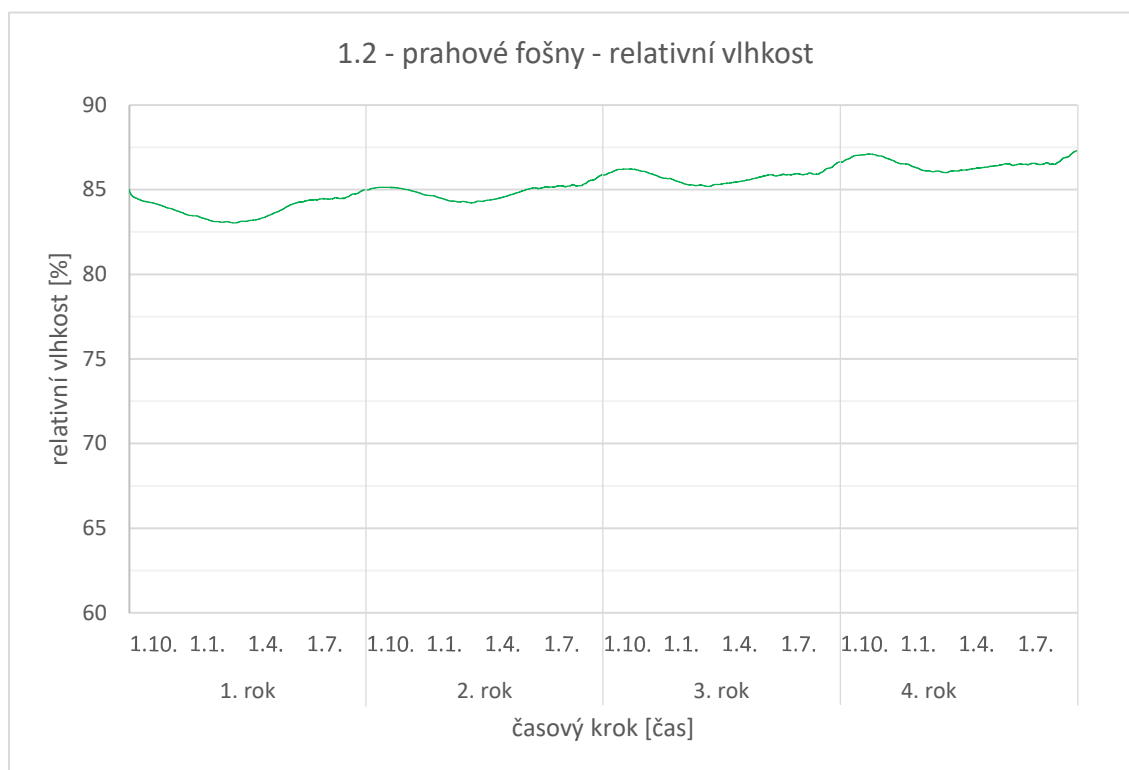
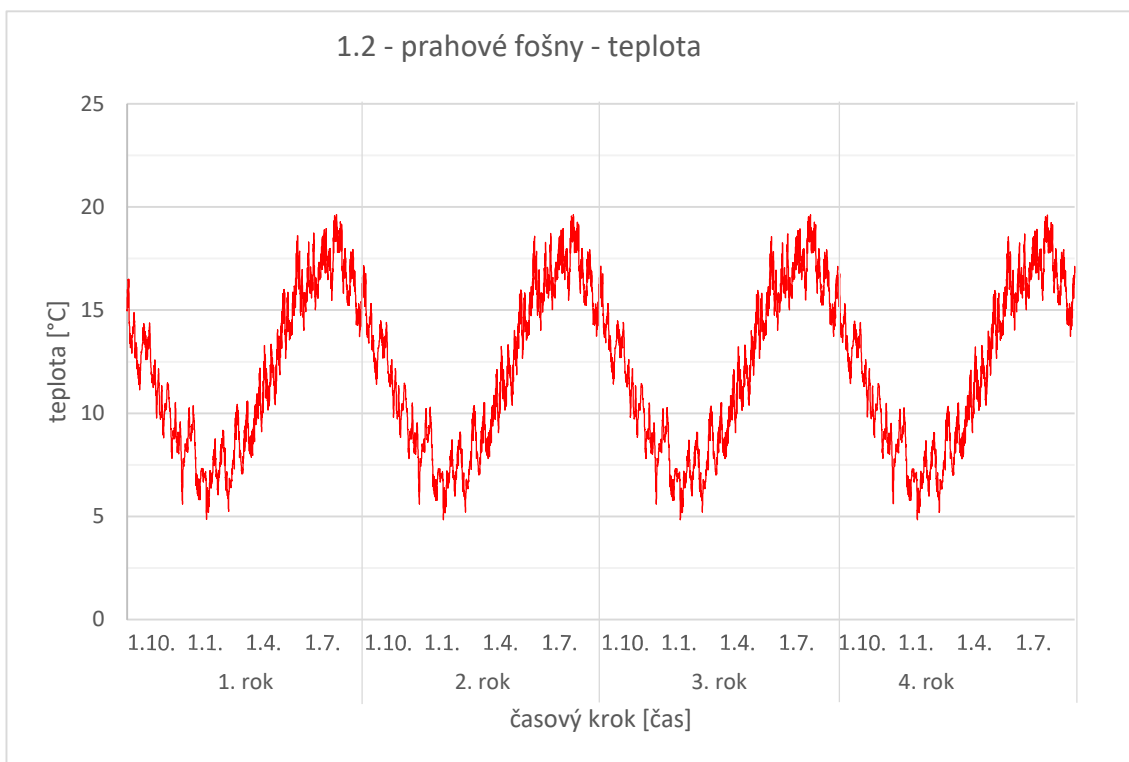
WUFI – rozložení vlhkosti, leden: [-]

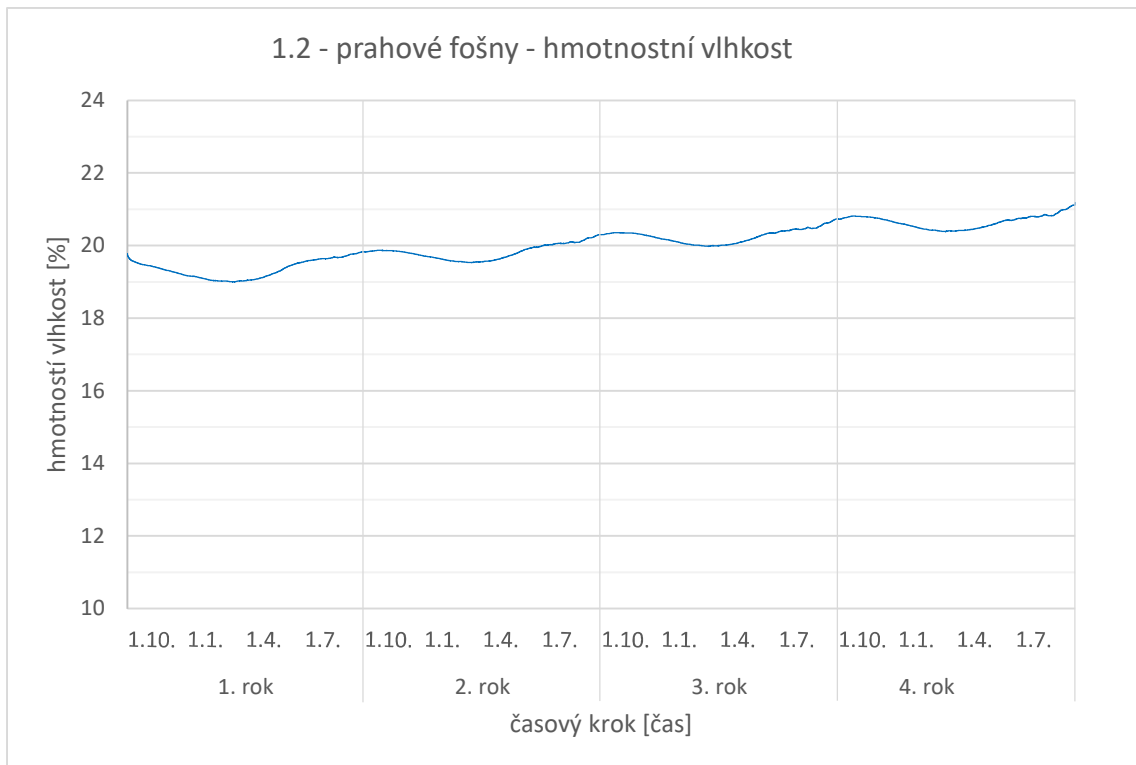


Obrázek 42: grafické výstupy – dynamický výpočet – detail 1.2.



WUFI – časové průběhy v prahových fošných – průměry v celé oblasti





Obrázek 43: grafy průběhů teploty, relativní vlhkosti a hmotnostní vlhkosti – detail 1.2.

Komentář a vyhodnocení:

Z výsledků detailu v oblasti otvoru v obvodové stěně je patrné, že je vlhkostně velmi namáhán. Na této hranici bezpečnosti detailu nejsou hodnoty mezi dynamickým a stacionárním výpočtem tak rozdílné jako v předchozích variantách. Teplotní pole jsou opět velmi podobná a teplota od počátku výpočtu ustálená. Z hlediska stacionárního výpočtu jsou prahové fošny vlhkostně pod hranicí 85 % relativní vlhkosti. Z výsledků dynamického modelu je ale patrné, že vlhkost se meziročně zvyšuje a po 4 letech se ustaluje přibližně na hodnotě 86 % relativní vlhkosti. Přičemž rozmezí v prahových fošnách se v dynamickém výpočtu nachází mezi 70 % - 87 % relativní vlhkosti. Již z tohoto hlediska je detail velmi vlhkostně namáhán. Z průběhu hmotnostní vlhkosti logicky vidíme, že pokud se zvyšuje relativní vlhkost v prahových fošnách, roste i hmotnostní vlhkost. Vzhledem k tomu, že množství hmotnostní vlhkosti se meziročně zvyšuje. Detail dle kritérií není vlhkostně bezpečný.

V tomto případě je ale nutné si představit, že takový exponovaný detail se po celém obvodu objektu vyskytuje třeba jen v délce několika metrů v oblasti otvoru. Příznivější podmínky by šlo vytvořit například širší izolací soklu pod otvorem. Příznivější teploty by znamenaly i příznivější pole relativních vlhkostí.



Tabulkové vyhodnocení:

Přehledné shrnutí hodnot je v následující tabulce:

stacionární model	teplota [°C]	minimální	0,5
		maximální	14,2
	vlhkost [%]	průměr	75,3
		minimální	65,8
	maximální	84,8	
dynamický model	teplota [°C]	minimální	1,8
		maximální	14,8
	vlhkost [%]	průměr	86
		minimální	70
	maximální	87	

Tabulka 12: tabulka shrnutí – detail 2.1.

Vyhodnocení požadovaných kritérií:

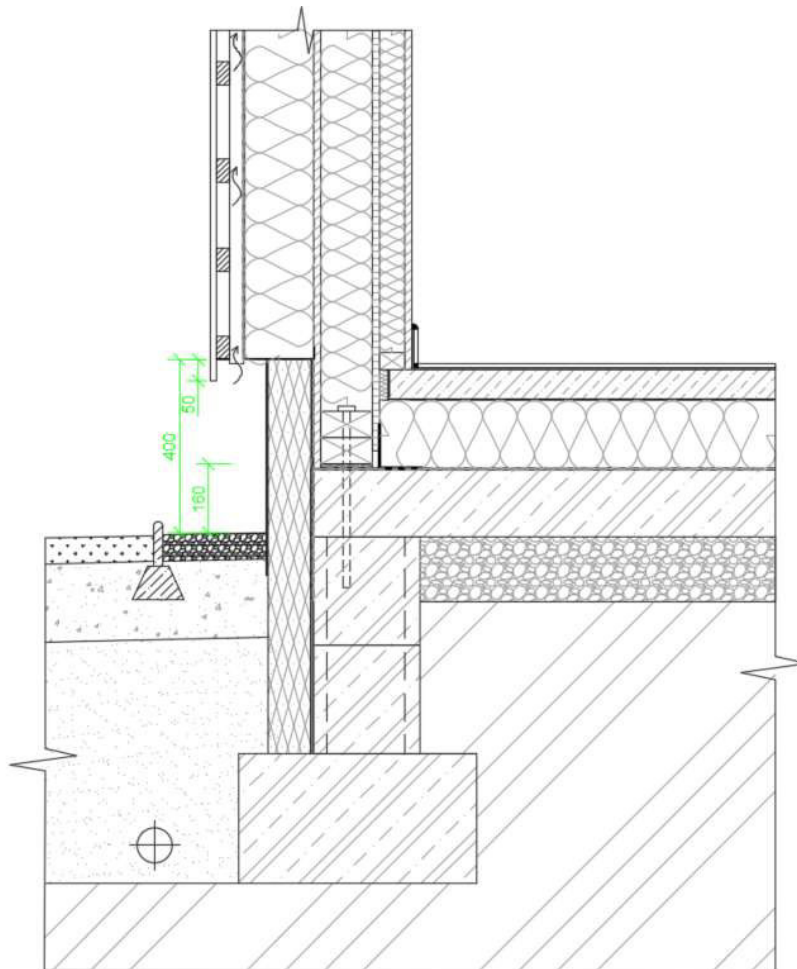
stacionární metoda	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce není ohrožena
	2)	$M_c \leq M_{c,N}$	nedochází ke kondenzaci
	3)	rel. vlhkost v prahových fošnách $\leq 85\%$	$75,3 \leq 85$
dynamický výpočet	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce může být ohrožena
	2)	trvalé zvyšování hm. vlhkosti	vlhkost se v konstrukci meziročně zvyšuje
	3)	rel. vlhkost v prahových fošnách $\leq 85\%$	$86 \geq 85$

Tabulka 13: hodnocení detailu 1.2.

Detail nesplňuje všechna kritéria dle ČSN 73 0540 – 2 a z hlediska vlhkosti není bezpečný.

3.4.8. Detail 2.1

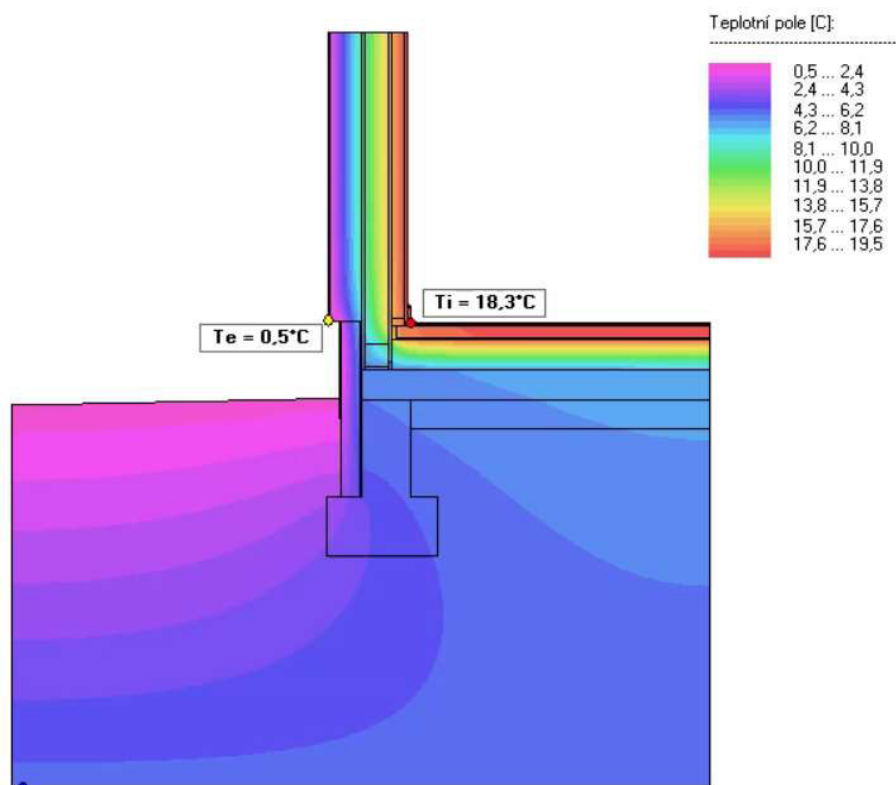
Popis a schéma konstrukce:



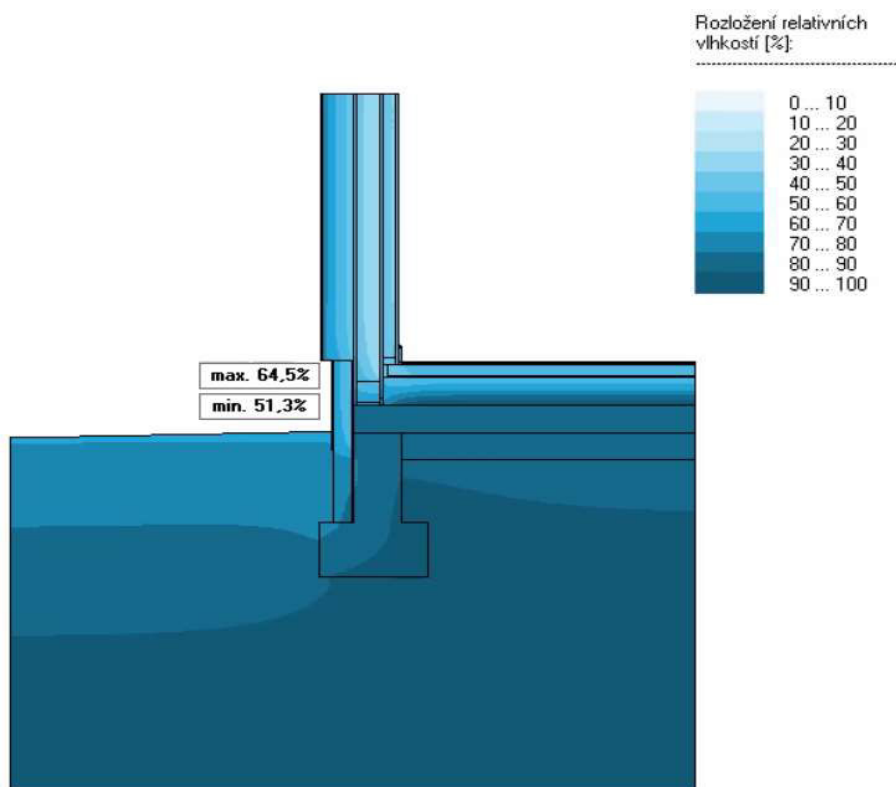
Obrázek 44: schéma detailu 2.1.

Jedná se o detail dvouplášťové stěny (S2) v kombinaci s podlahou na základových pasech (P1). V oblasti prahových fošen se detail výrazně neliší od běžného detailu difúzně otevřené konstrukce. Rozdílem je povrch obvodové stěny, který je tvořen svislým dřevěným obkladem, který je kladen na laťování. Na okraji větrané vzduchové mezery se nachází pojistná fóliová hydroizolace. Hlavní parotěsná vrstva je opět tvořená sádrovláknitými deskami s parobrzdou ve stěně a HI asfaltový pás v podlaze. Spoje jsou opět opatřeny difúzní lepenkou. Prahové fošny opět splňují minimální výšku 150 mm nad terénem a zároveň dřevěný obklad splňuje minimální požadavek na výšku 300 mm nad terénem kvůli odstřikující vodě. Pro snížení odstřiku je zde okapový chodník tvořen oblým kamením.

AREA – rozložení teplot, leden: [°C]



AREA – rozložení vlhkosti, leden: [%]



Obrázek 45: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 2.1.

Komentář a vyhodnocení:

Pro tento detail byl zpracován pouze stacionární model. Výsledky stacionárního modelu jsou poměrně příznivé a zároveň se detail v části prahových fošen neliší od detailu jednoplášťové stěny. K odlišení dochází až v oblasti nad prahovými fošními a soklovou izolací, kde se mění skladba stěny.

Z hlediska výsledků jsou teplotní i vlhkostní pole příznivé a detail je dle stacionárního výpočtu vlhkostně bezpečný.

Tabulkové vyhodnocení:

stacionární model	teplota [°C]	minimální	0,5
		maximální	18,3
	vlhkost [%]	průměr	57,8
		minimální	51,3
		maximální	64,5

Tabulka 14: tabulka shrnutí – detail 2.1.

Vyhodnocení požadovaných kritérií:

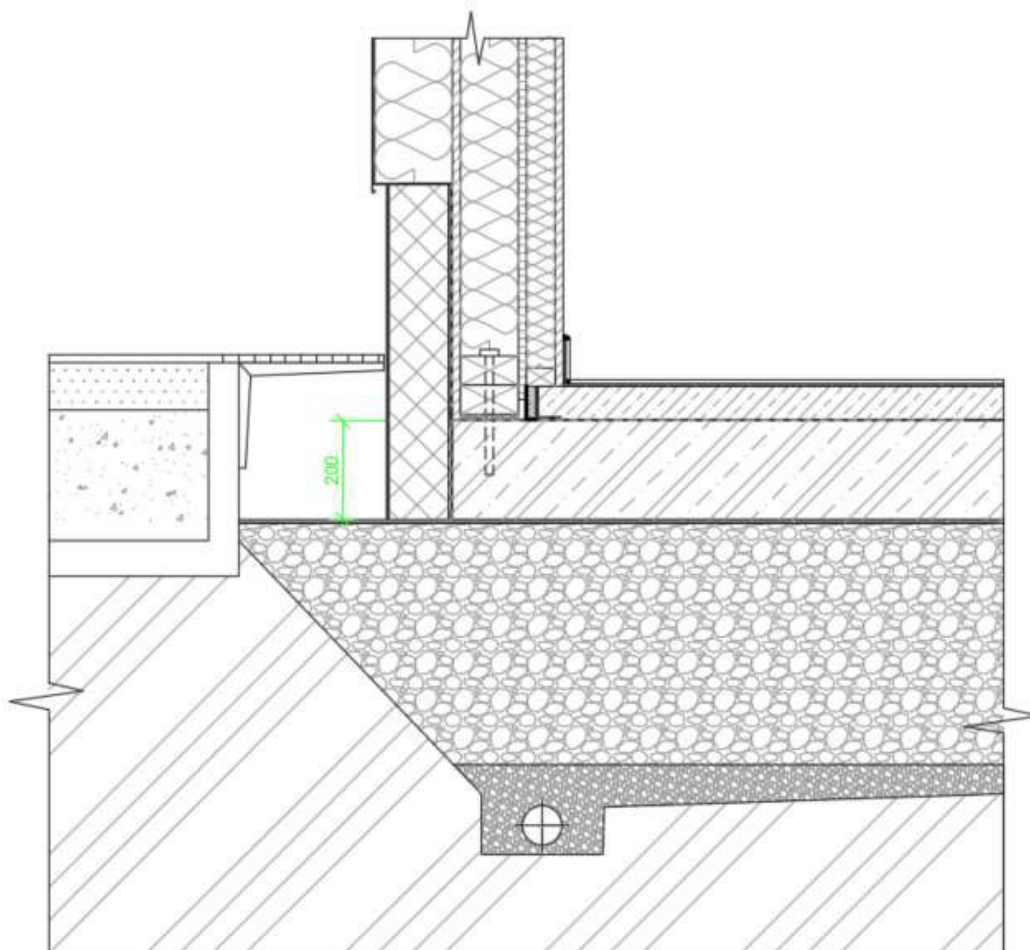
stacionární metoda	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce není ohrožena
	2)	$M_c \leq M_{c,N}$	nedochází ke kondenzaci
	3)	rel. vlhkost v prahových fošních $\leq 85 \%$	$57,8 \leq 85$

Tabulka 15: hodnocení detailu 2.1.

Detail splňuje všechna kritéria dle ČSN 73 0540 – 2 a z hlediska vlhkosti je bezpečný.

3.4.9. Detail 3.1

Popis a schéma konstrukce:

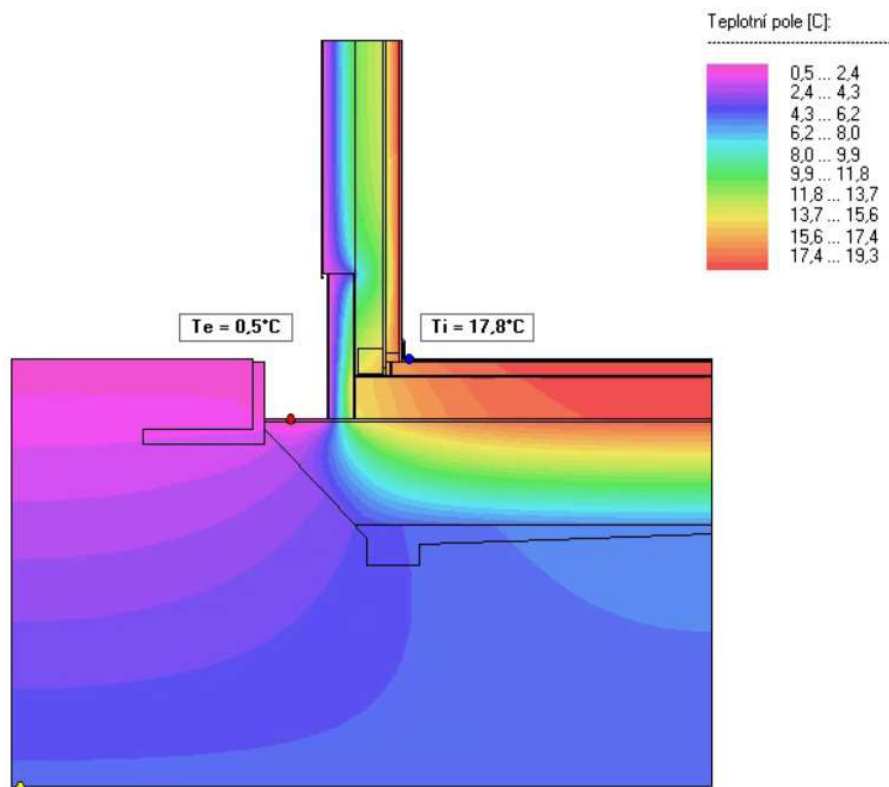


Obrázek 46: schéma detailu 3.1.

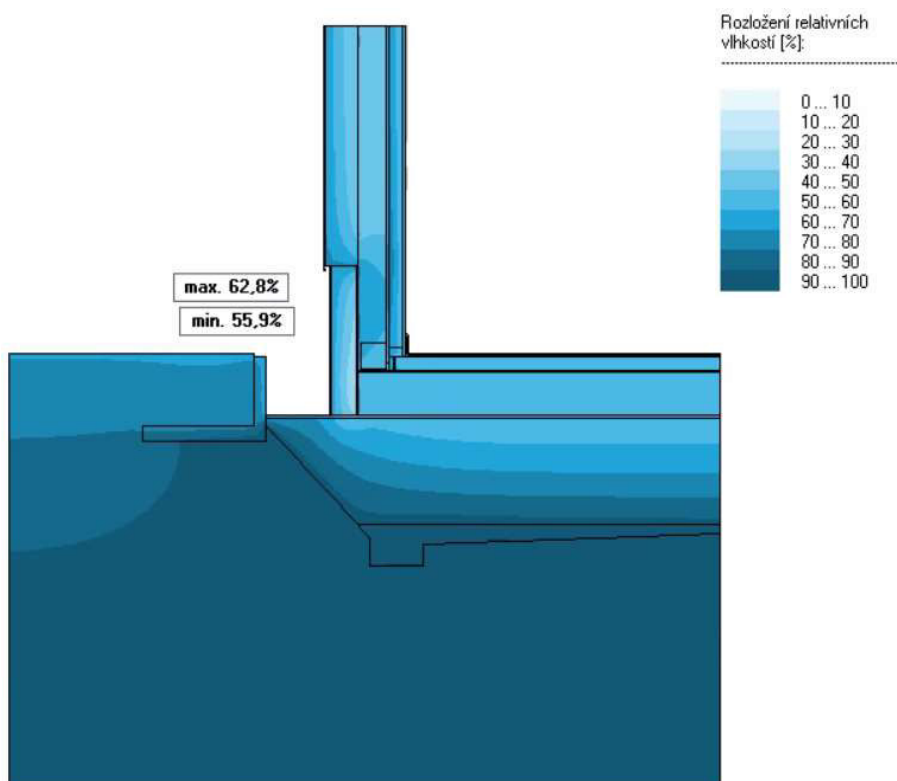
Jedná se o detail jednovrstevné difúzně otevřené stěny (S1) napojených na železobetonovou základovou desku (P2). K zateplení konstrukce od zeminy dochází pomocí štěrkového násypu z pěnového skla. Difúzní úplnost konstrukce opět zajišťuje difúzní páska, která tvoří spoj mezi stěnovými deskami a podlahovým hydroizolačním pásem. Ke správnému oddělení konstrukce a prahových fošen od terénu je opět využito železobetonové konstrukce, která je nosnou částí pro ocelový podlahový rošt. Při tomto způsobu založení by byl podlahovým roštem tvořen celý obvod objektu nikoliv pouze v oblasti otvoru. Vsakování přebytečné dešťové vody potom probíhá pomocí drenáže, která je realizována pod základy, aby nedocházelo k přesycování půdy a podmáčení základové desky.



AREA – rozložení teplot, leden: [°C]



AREA – rozložení vlhkosti, leden: [%]



Obrázek 47: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 3.1.

Komentář a vyhodnocení:

Pro tento detail byl také vytvořen pouze stacionární výpočetní model. Vzhledem k tepelně izolační vrstvě z pěnového skla jsou u takto založených detailů velmi příznivá teplotní pole. Příznivé teploty výrazně napomáhají tomu, že i vlhkostní pole jsou příznivější a detail není exponován vysokému vlhkostnímu zatížení. Výsledky ze stacionárního modelu to potvrzují a vycházejí velmi příznivě. Což by se dalo očekávat i u výsledků dynamického modelu. Z hlediska výsledků stacionárního výpočtu je detail vlhkostně bezpečný.

Tabulkové vyhodnocení:

stacionární model	teplota [°C]	minimální	0,5
		maximální	17,8
	vlhkost [%]	průměr	59,5
		minimální	55,9
		maximální	62,8

Tabulka 16: tabulka shrnutí – detail 3.1.

Vyhodnocení požadovaných kritérií:

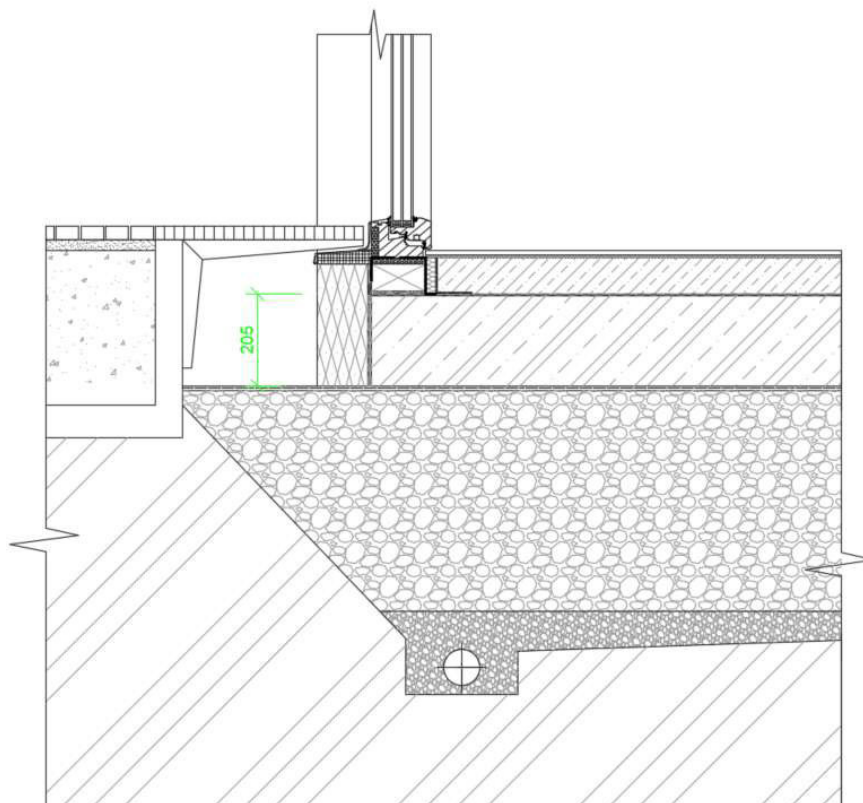
stacionární metoda	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce není ohrožena
	2)	$M_c \leq M_{c,N}$	nedochází ke kondenzaci
	3)	rel. vlhkost v prahových fošnách $\leq 85\%$	$57,8 \leq 85$

Tabulka 17: hodnocení detailu 3.1.

Detail splňuje všechna kritéria dle ČSN 73 0540 – 2 a z hlediska vlhkosti je bezpečný.

3.4.10. Detail 3.2

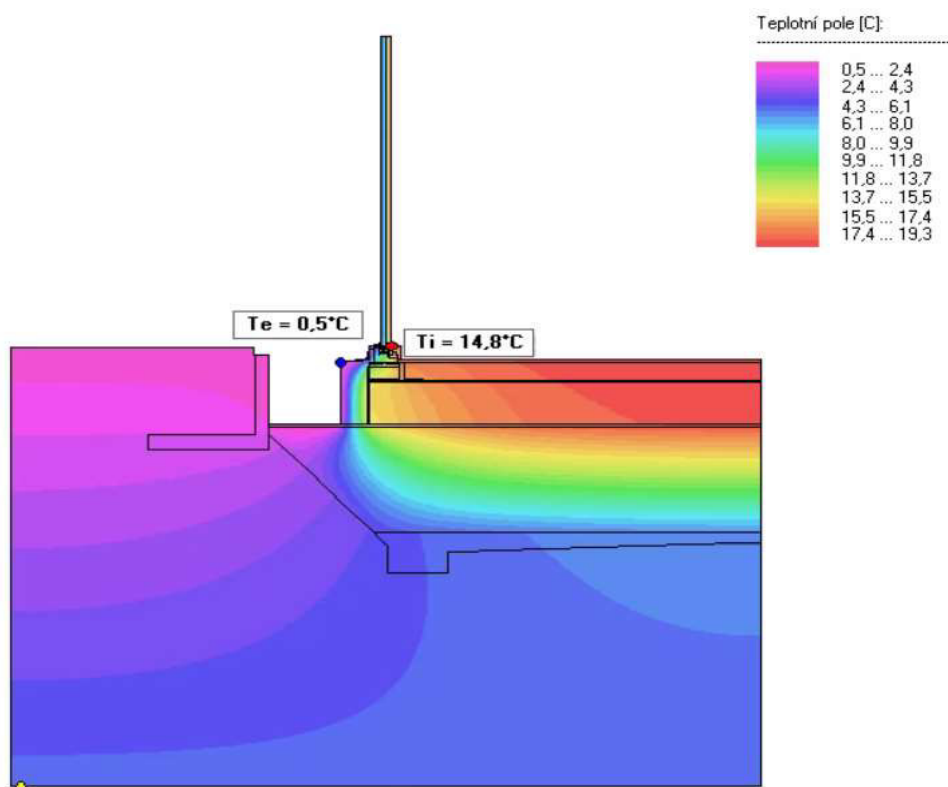
Popis a schéma konstrukce:



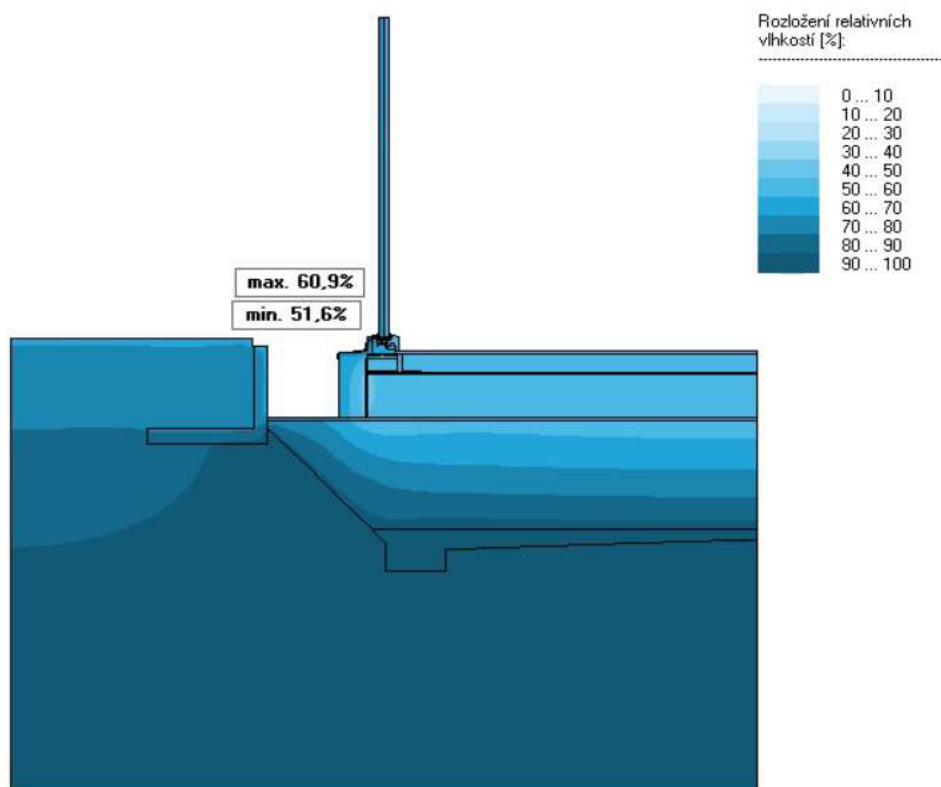
Obrázek 48: schéma detailu 3.2.

Jedná se opět o detail v oblasti otvoru v obvodové stěně. V tomto případě je konstrukce založena na základové desce (P2) a izolace od zeminy probíhá vrstvou šterku z pěnového skla. Vzhledem k výškovému uspořádání okolního terénu a výšky podlahy v objektu je zde osazení okna řešeno pomocí pouze jedné prahové fošny. Pokud by se jednalo o prefabrikovanou montáž, bylo by nutné řešení, kdy první prahová fošna je umístěna samostatně na staveništi a druhá je součástí případného prefabrikovaného panelu. Ten je v místě otvoru přerušen a základ pro otvor tedy tvoří pouze jedna prahová fošna. Parotěsná vrstva je v přípojovací spáře opět zajištěna difuzně těsnícími pásky, které jsou na obou stranách okenního rámu. Exteriérové řešení je pro zajištění dostatečného odstupu terénu od prahových fošen opět provedeno pomocí ocelového podlahového roštu, který je staticky zajištěn železobetonovou konzolou (nutný případný statický posudek). Oproti detailu 3.1 je podlahový rošt delší, aby dosahoval až k hraně otvoru.

AREA – rozložení teplot, leden: [°C]



AREA – rozložení vlhkosti, leden: [%]



Obrázek 49: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 3.2.

Komentář a vyhodnocení:

Pro detail v místě otvoru v obvodové stěně, který je založen na základové desce a tepelně izolován šterkem z pěnového skla platí to samé co pro minulý detail. Zde využitá tepelná izolace vytvoří velmi příznivé teplotní podmínky, které jdou souběžně se zlepšením podmínek vlhkostních. Z výsledků provedených stacionárním modelem lze tvrdit, že vlhkost je velmi nízká a detail je vlhkostně bezpečný.

Tabulkové vyhodnocení:

stacionární model	teplota [°C]	minimální	0,5
		maximální	14,8
	vlhkost [%]	průměr	56,3
		minimální	51,6
		maximální	60,9

Tabulka 18: tabulka shrnutí – detail 3.2.

Vyhodnocení požadovaných kritérií:

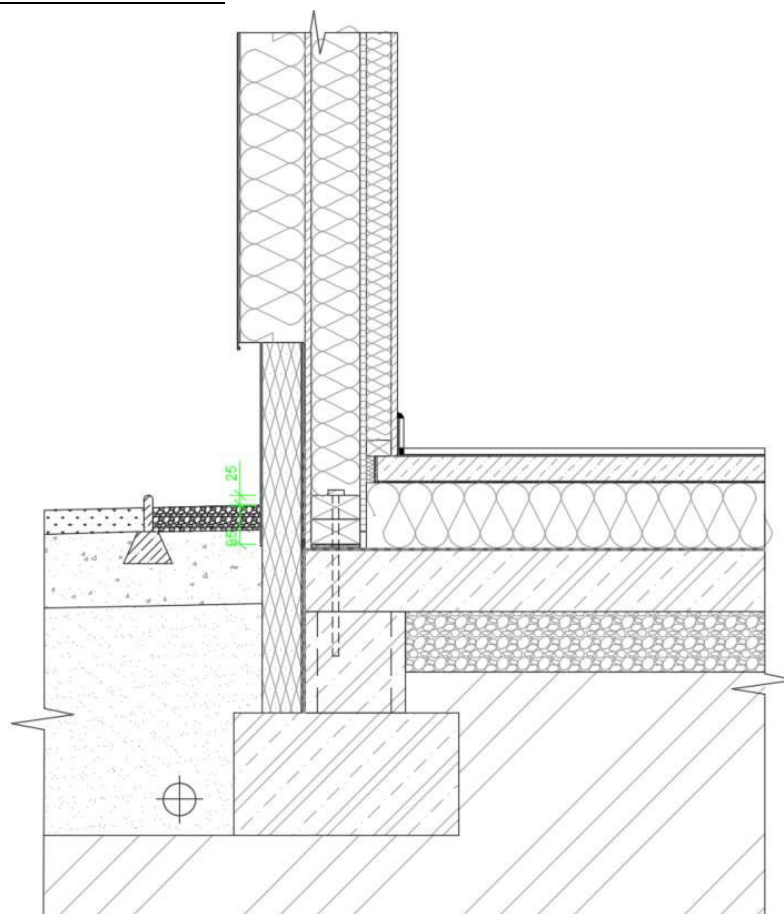
stacionární metoda	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce není ohrožena
	2)	$M_c \leq M_{c,N}$	nedochází ke kondenzaci
	3)	rel. vlhkost v prahových fošnách $\leq 85\%$	$57,8 \leq 85$

Tabulka 19: hodnocení detailu 3.2.

Detail splňuje všechna kritéria dle ČSN 73 0540 – 2 a z hlediska vlhkosti je bezpečný.

3.4.11. Detail 1.1.A – snížené fošny

Popis a schéma konstrukce:



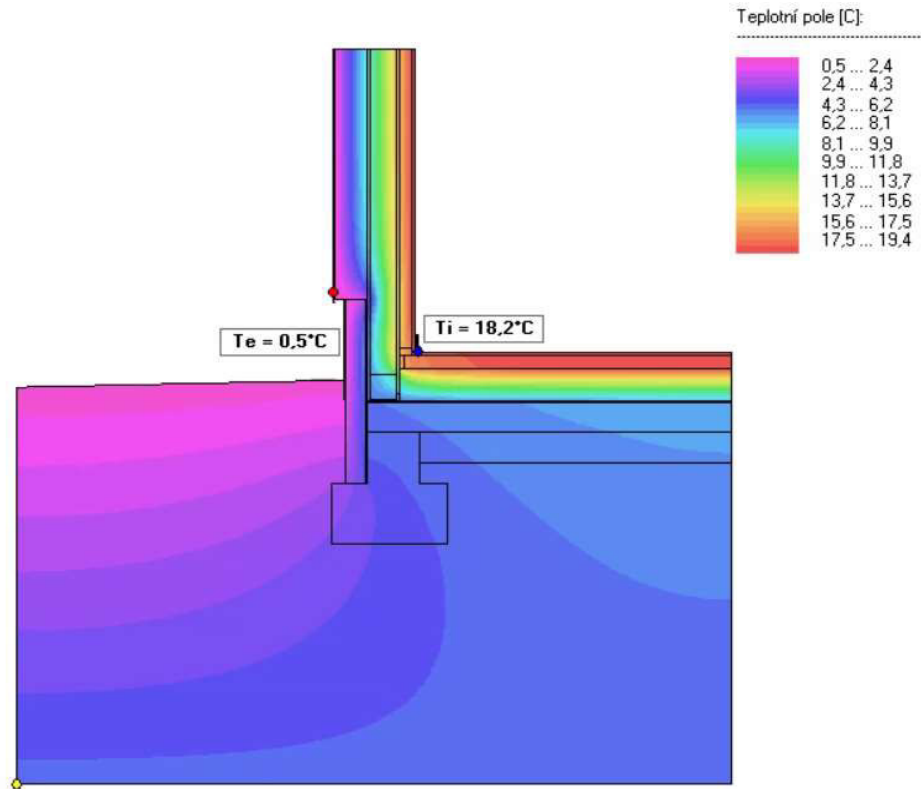
Obrázek 50: schéma detailu 1.1.A., snížené fošny

V tomto případě je řešen stejný detail, jako 1.1.A, ale na základových pasech je umístěn pouze jeden dílec ztraceného bednění, což způsobí posun prahových fošen téměř na úroveň terénu. Přestože se jedná o difuzně otevřenou skladbu stěny (S1) dochází poklesem fošen k terénu k tomu, že se dostávají více a více do difuzně uzavřené části konstrukce. Hydroizolační asfaltový pás je vytažen stejně vysoko nad terén, ale prahové fošny jsou umístěny níž. Vysychání směrem ven tedy probíhá ve velmi omezeném množství oproti původní variantě. Ostatní konstrukce a jejich napojení zůstávají stejné jako ve výchozí variantě detailu.

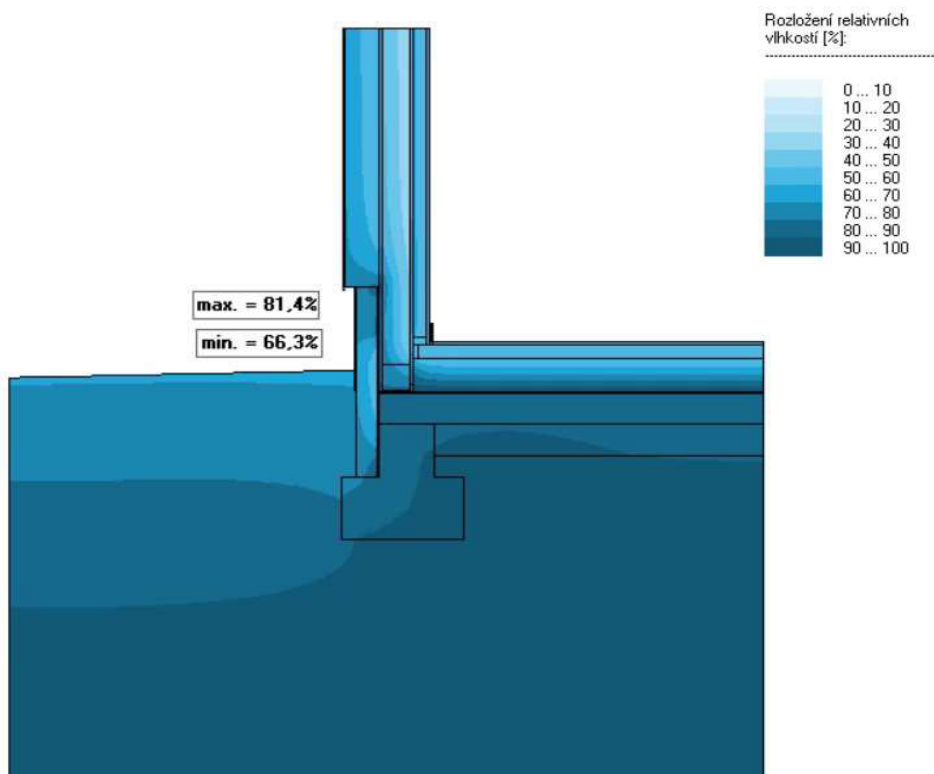
V praxi dochází poměrně často k výkladu vzdálenosti dřevěných prvků tak, že se nacházejí nad terénem v dostatečné vzdálenosti jen pokud jsou vidět nebo se nacházejí v exteriéru. Dodržení bezpečné vzdálenosti by ale mělo platit i v případě, že se jedná o dřevěné prvky uvnitř skladby konstrukce.



AREA – rozložení teplot, leden: [°C]



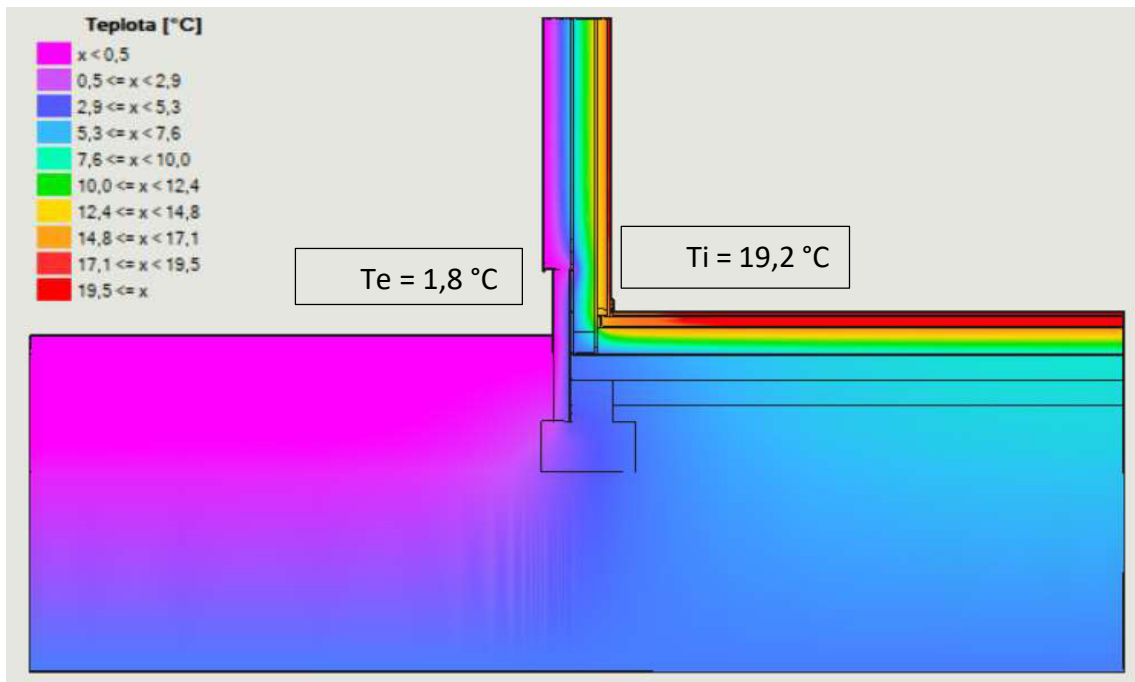
AREA – rozložení vlhkosti, leden: [%]



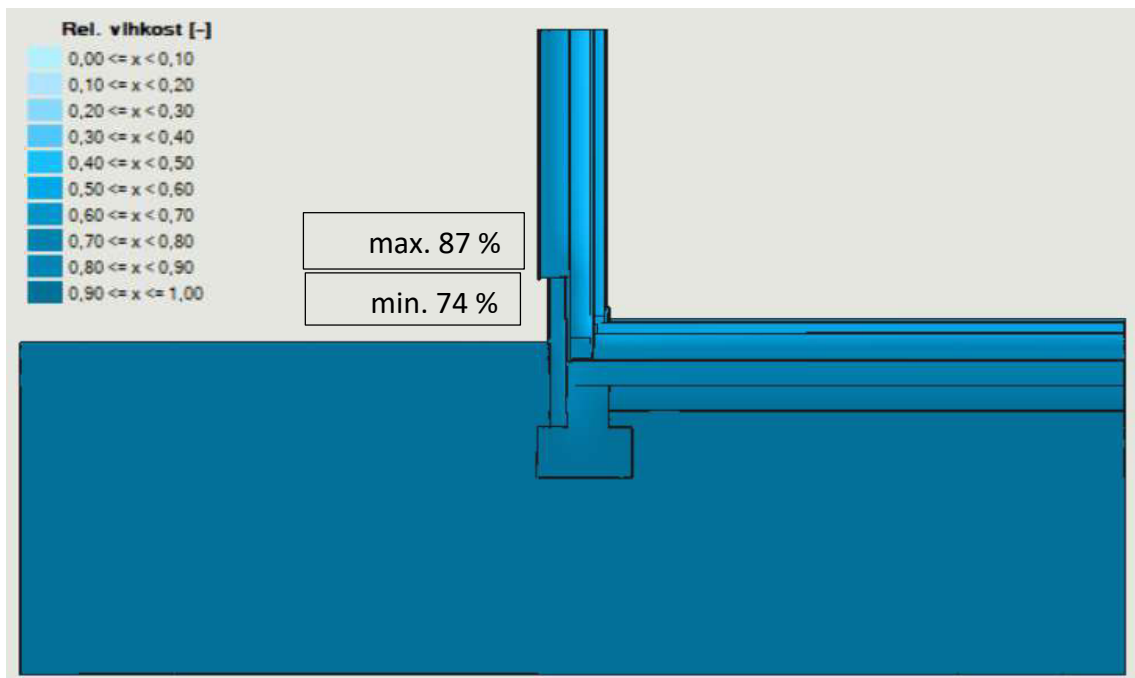
Obrázek 51: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 1.1.A., snížené fošny



WUFI – rozložení teplot, leden: [°C]



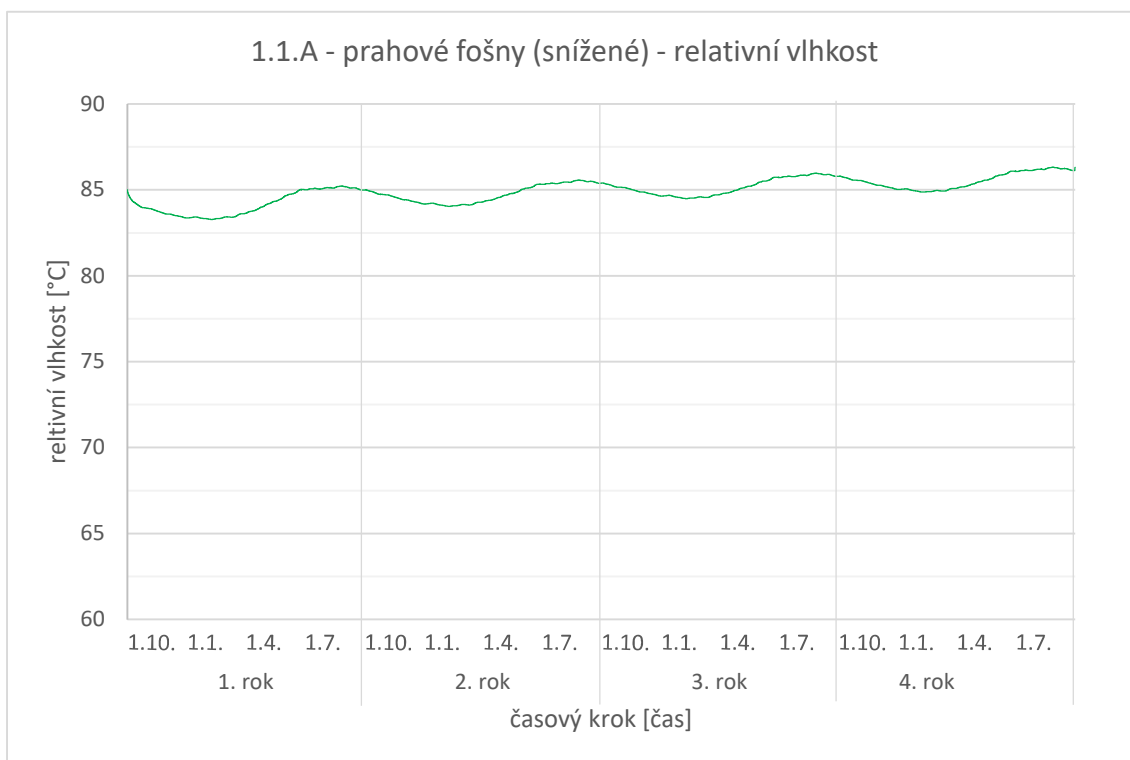
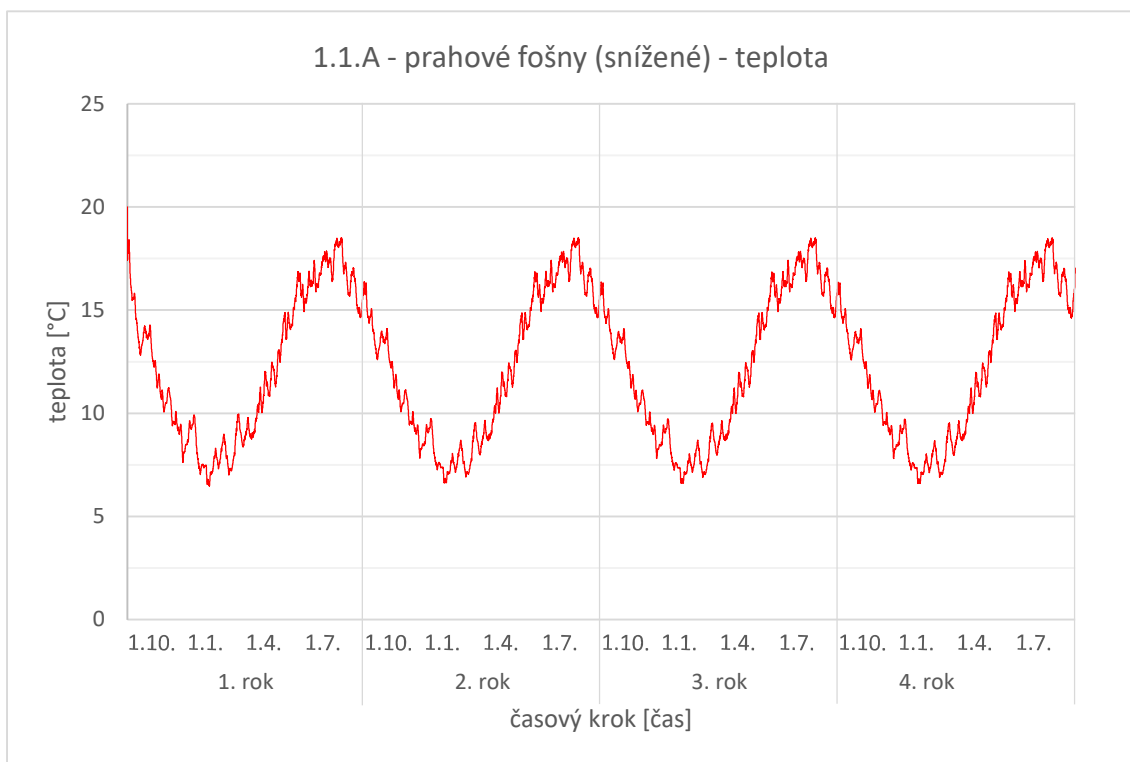
WUFI – rozložení vlhkosti, leden: [-]

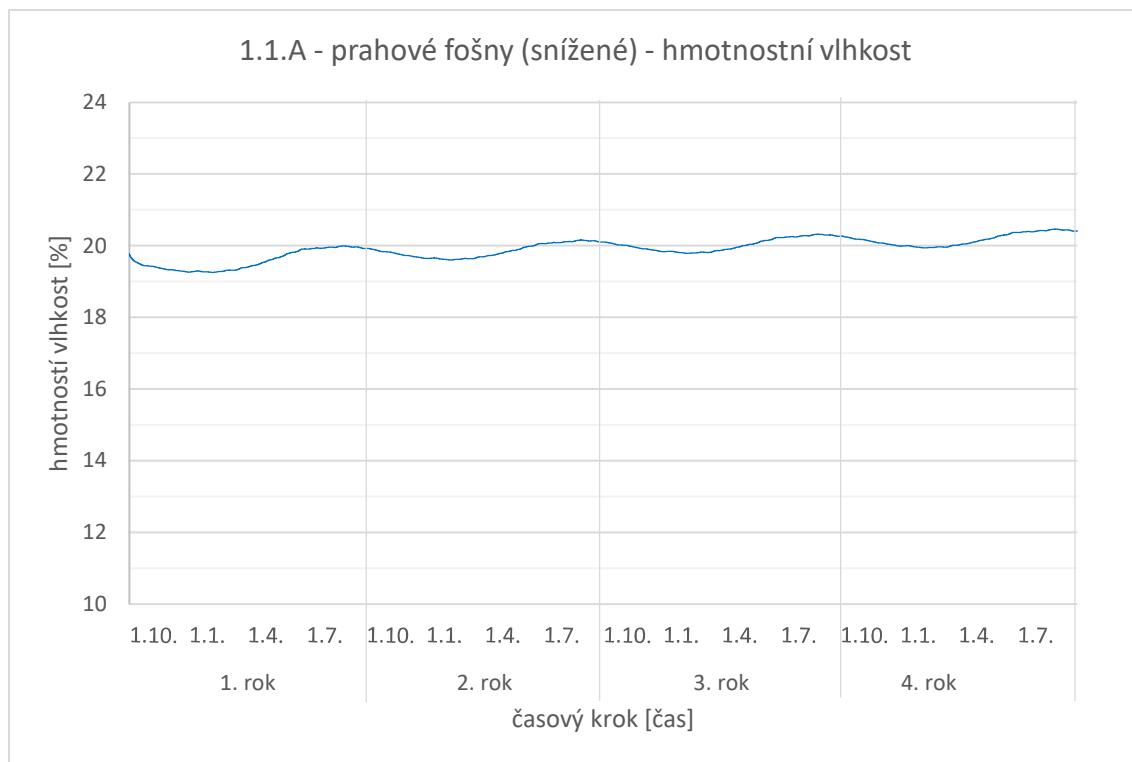


Obrázek 52: grafické výstupy – dynamický výpočet – detail 1.1.A., snížené fošny



WUFI – časové průběhy v prahových fošnách – průměry v celé oblasti





Obrázek 53: grafy průběhů teploty, relativní vlhkosti a hmotnostní vlhkosti – detail 1.1.A., snížené fošny

Komentář a vyhodnocení:

Z výsledků je patrné, že pokud dojde ke snížení polohy prahových fošen, tak vlhkostní pole nebudou tak příznivá jako tomu bylo při jejich původní poloze. Při poloze téměř zarovnané s terénem se vlhkost zvýší jak ve stacionárním, tak dynamickém modelu velmi výrazně. V dynamickém modelu vlhkost dokonce přeroste posuzovanou hranici 85 % relativní vlhkosti. Z těchto výsledků je vidět, že poloha prahových fošen má na vlhkost vliv a dodržení minimálního odstupů od terénu 150 mm je klíčovou vlastností pro jejich životnost a funkčnost. Teploty jsou opět v porovnání mezi výpočty podobné, vlhkosti se liší, ale u obou metod je vidět zhoršení oproti výchozí variantě. Z grafu relativní vlhkosti se dá pozorovat, že průběh křivky se blíží ke skladbě u difuzně uzavřené konstrukce. To je způsobeno tím, že výšková poloha fošen se změnila, ale výška HI vrstvy, která je vytažena nad terén zůstala shodná. Hodnota relativní vlhkosti se po 4 letech výpočtu je 86 %. Obdobně opět roste hmotnostní vlhkost, která se meziročně navyšuje. Dle posuzovaných kritérií detail není vlhkostně bezpečný.



Tabulkové vyhodnocení:

Přehledné shrnutí hodnot je v následující tabulce:

stacionární model	teplota [°C]	minimální	0,5
		maximální	18,2
	vlhkost [%]	průměr	73,9
		maximální	81,4
dynamický model	teplota [°C]	minimální	1,8
		maximální	19,2
	vlhkost [%]	průměr	86
		maximální	87

Tabulka 20: tabulka shrnutí – detail 1.1.A., snížené fošny

Vyhodnocení požadovaných kritérií:

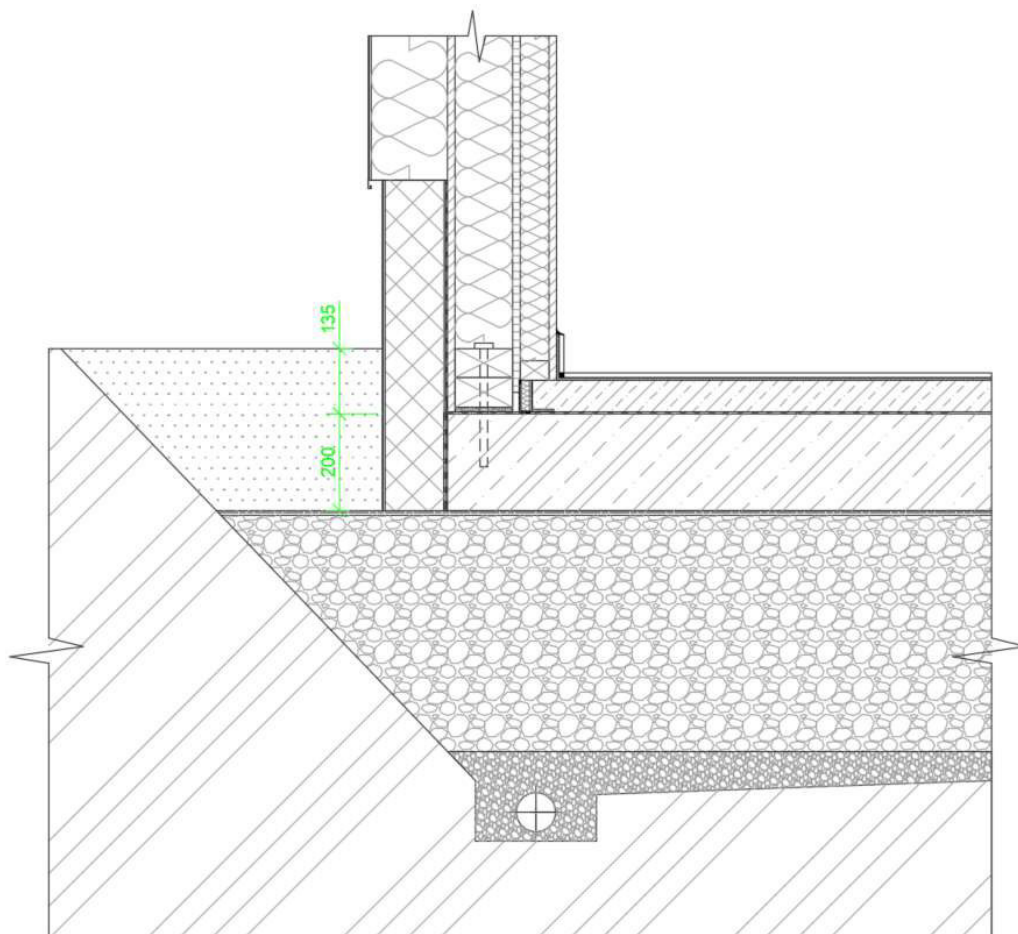
stacionární metoda	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce není ohrožena
	2)	$M_c \leq M_{c,N}$	nedochází ke kondenzaci
	3)	rel. vlhkost v prahových fošnách $\leq 85\%$	$73,9 \leq 85$
dynamický výpočet	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce může být ohrožena
	2)	trvalé zvyšování hm. vlhkosti	vlhkost se v konstrukci meziročně zvyšuje
	3)	rel. vlhkost v prahových fošnách $\leq 85\%$	$86 \geq 85$

Tabulka 21: hodnocení detailu 1.1.A., snížené fošny.

Detail nesplňuje všechna kritéria dle ČSN 73 0540 – 2 a z hlediska vlhkosti není bezpečný.

3.4.12. Detail 3.1 – snížené fošny

Popis a schéma konstrukce:

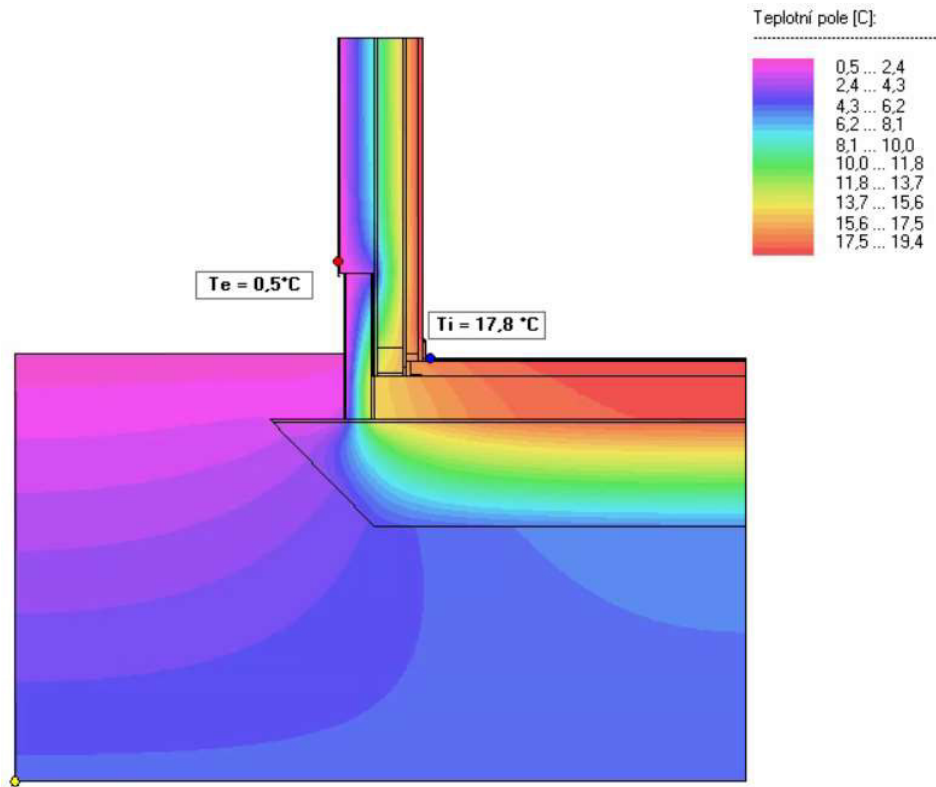


Obrázek 54: schéma detailu 3.1., snížené fošny.

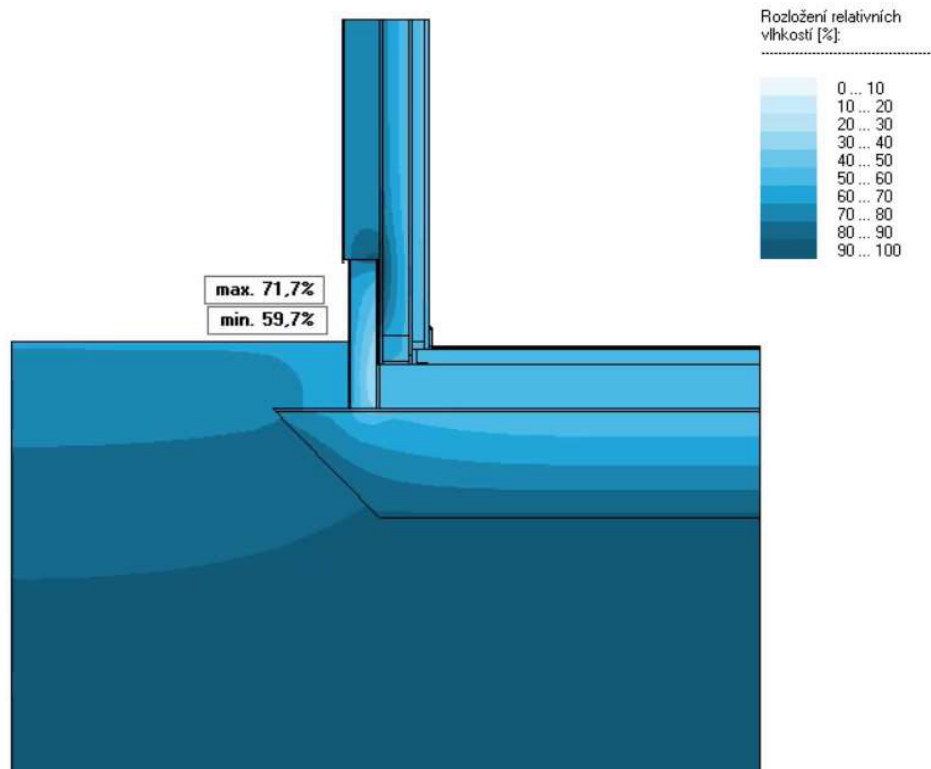
Stejný princip jako u předchozího variantního řešení dle výšky fošen je zde vymodelována varianta snížených prahových fošen. Provádění takto založených dřevostaveb není tak časté jako varianty na základových pasech, ale nejsou ani výjimkou. Vzhledem k velmi nízké tloušťce konstrukce podlahy z důvodu absence tepelně izolační vrstvy je u takto založených objektů ještě častější nedodržení výšky odstupů terénu. Hlavním důvodem je složité provádění ocelového podlahového roštu po celém obvodu stavby, které je velmi pracné. V tomto případě jsou prahové fošny opět téměř na úrovni okolního terénu



AREA – rozložení teplot, leden: [°C]

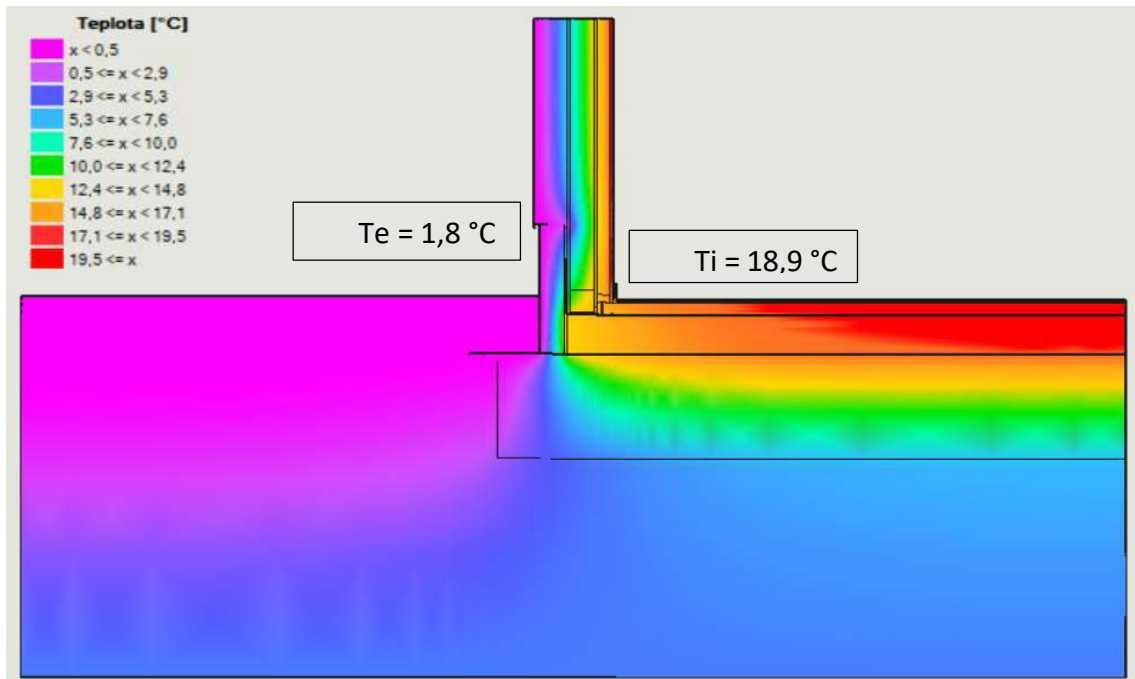


AREA – rozložení vlhkosti, leden: [%]

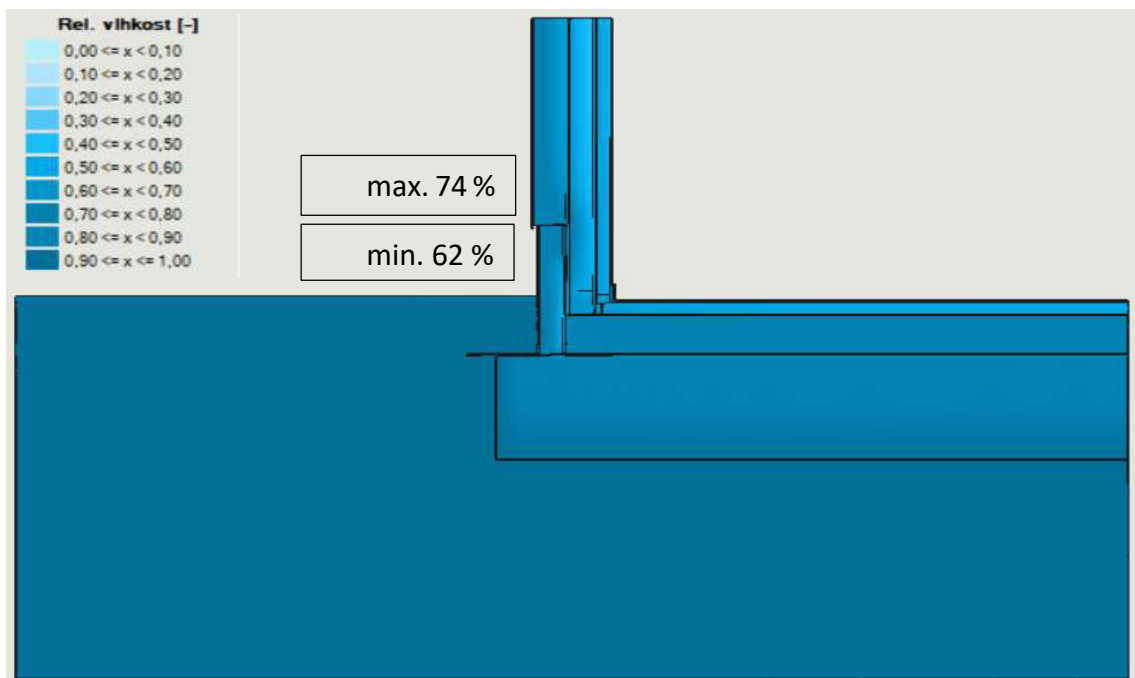


Obrázek 55: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 3.1., snížené fošny

WUFI – rozložení teplot, leden: [°C]



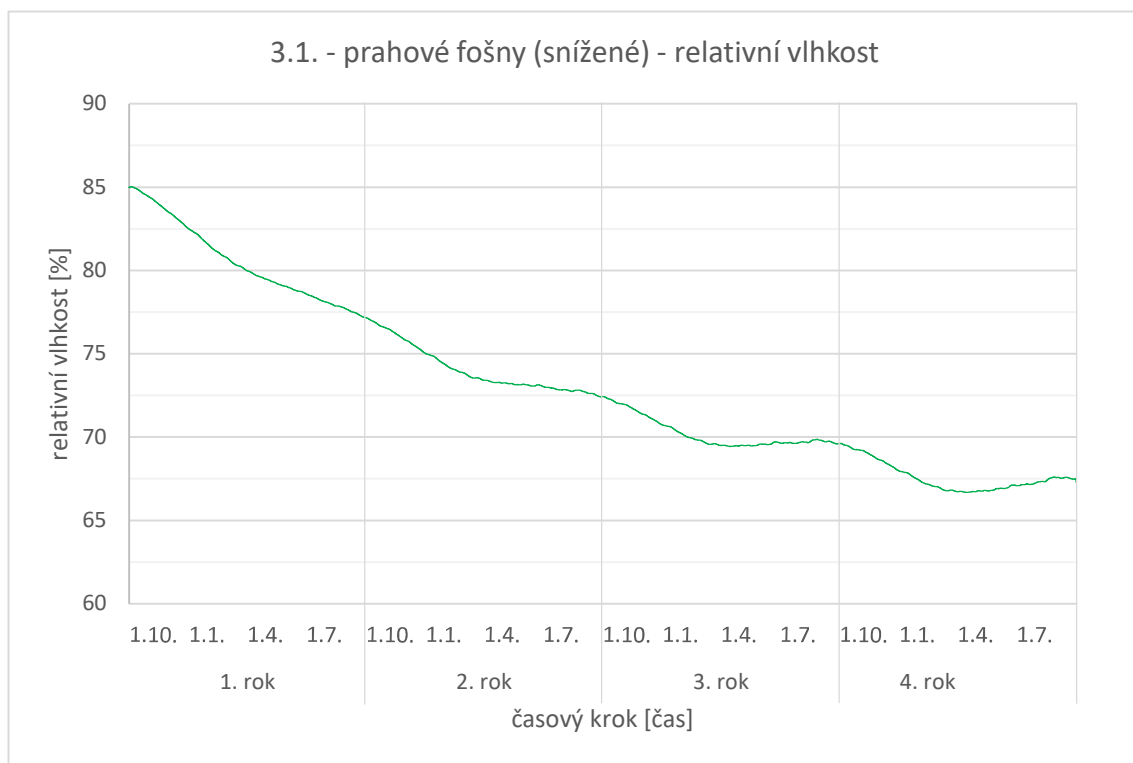
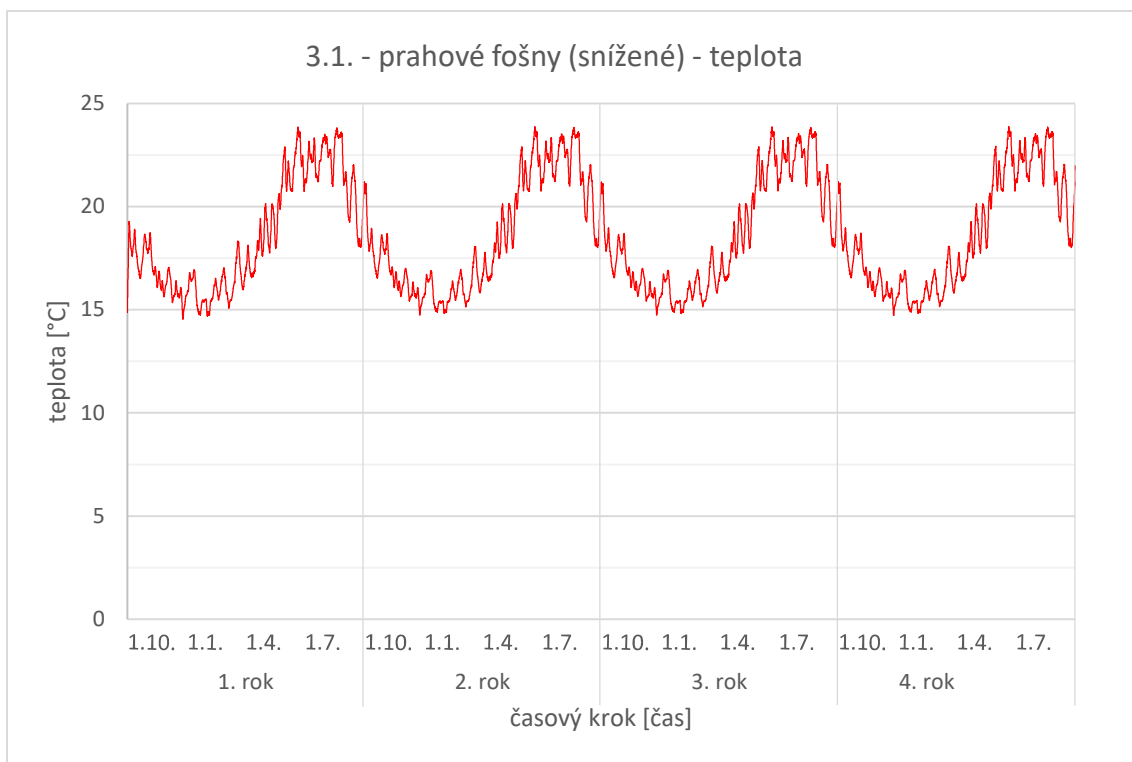
WUFI – rozložení vlhkosti, leden: [-]

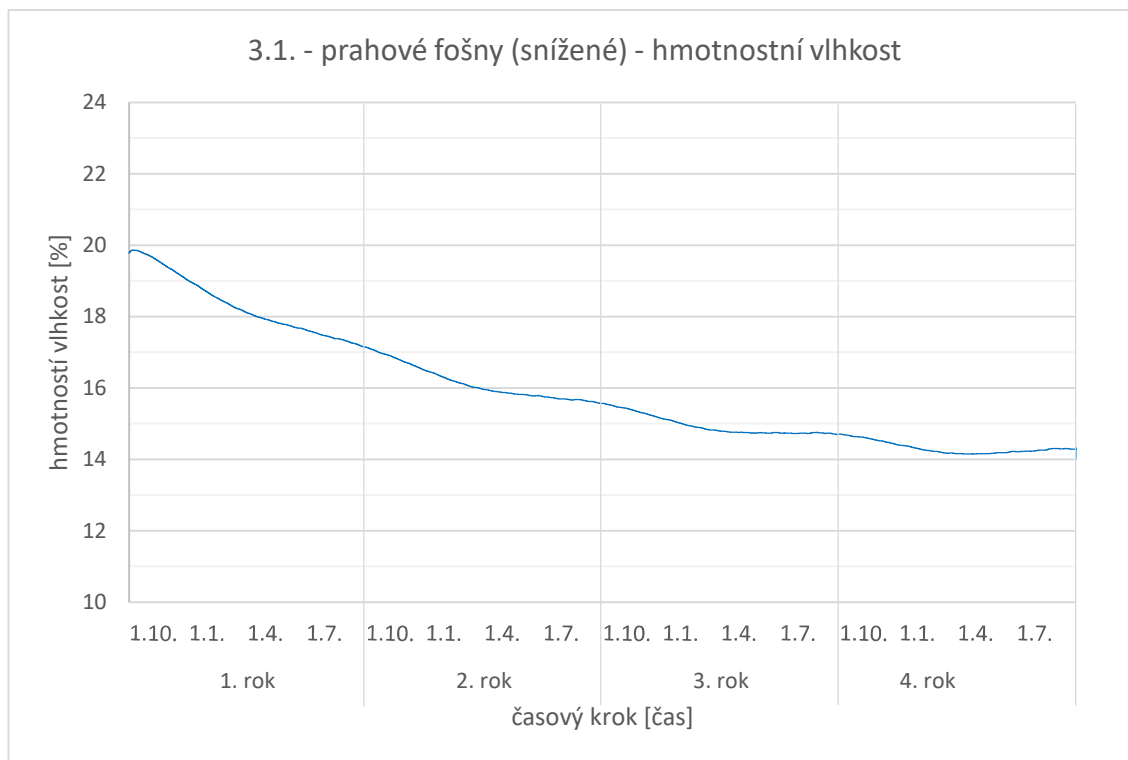


Obrázek 56: grafické výstupy – dynamický výpočet – detail 3.1., snížené fošny.



WUFI – časové průběhy v prahových fošných – průměry v celé oblasti





Obrázek 57: grafy průběhu teploty, relativní vlhkosti a hmotnostní vlhkosti – detail 3.1., snížené fošny.

Komentář a vyhodnocení:

Analýza vlivu polohy prahových fošen na vlhkosti byla provedena i pro detail založený na základové desce s podsypem z pěnového skla. Zde se jen potvrdilo, že tepelná izolace z podsypu vytvoří tak příznivé pole teplot, že průběh vlhkosti není zdaleka tak dramatický jako v případě založení na základových pasech. Pro stacionární výpočet sice došlo k navýšení vlhkosti oproti variantě s podlahovým roštem, ale vlhkost se ani zdaleka neblíží kritické hodnotě. Naopak na výsledcích dynamického modelu vidíme, že křivka relativní vlhkosti klesá ze stanovených počátečních 85 % velmi rychle dolů a až během třetího roku výpočtu začne vykazovat známky ustálení. Po skončení výpočtu, tedy čtyřech letech, se relativní vlhkost pohybuje kolem 67 %, což jsou velmi příznivé vlhkostní podmínky. Ve stacionárním modelu dosahujeme ještě o něco nižších hodnot. Zároveň je vidět, že hmotnostní vlhkost také klesá výrazně dolů. Detail je tedy vlhkostně bezpečný.

Je patrné, že u detailu založených na desce nemá posun prahových fošen tak výrazný vliv na vlhkostní namáhání, protože teplotní pole jsou velmi příznivá.



Tabulkové vyhodnocení:

Přehledné shrnutí hodnot je v následující tabulce:

stacionární model	teplota (povrchy) [°C]	minimální	0,5
		maximální	17,8
	vlhkost [%]	průměr	65,8
		minimální	59,7
		maximální	71,7
dynamický model	teplota (povrchy)[°C]	minimální	1,8
		maximální	18,9
	vlhkost [%]	průměr	67
		minimální	62
		maximální	74

Tabulka 22: tabulka shrnutí – detail 3.1., snížené fošny.

Vyhodnocení požadovaných kritérií:

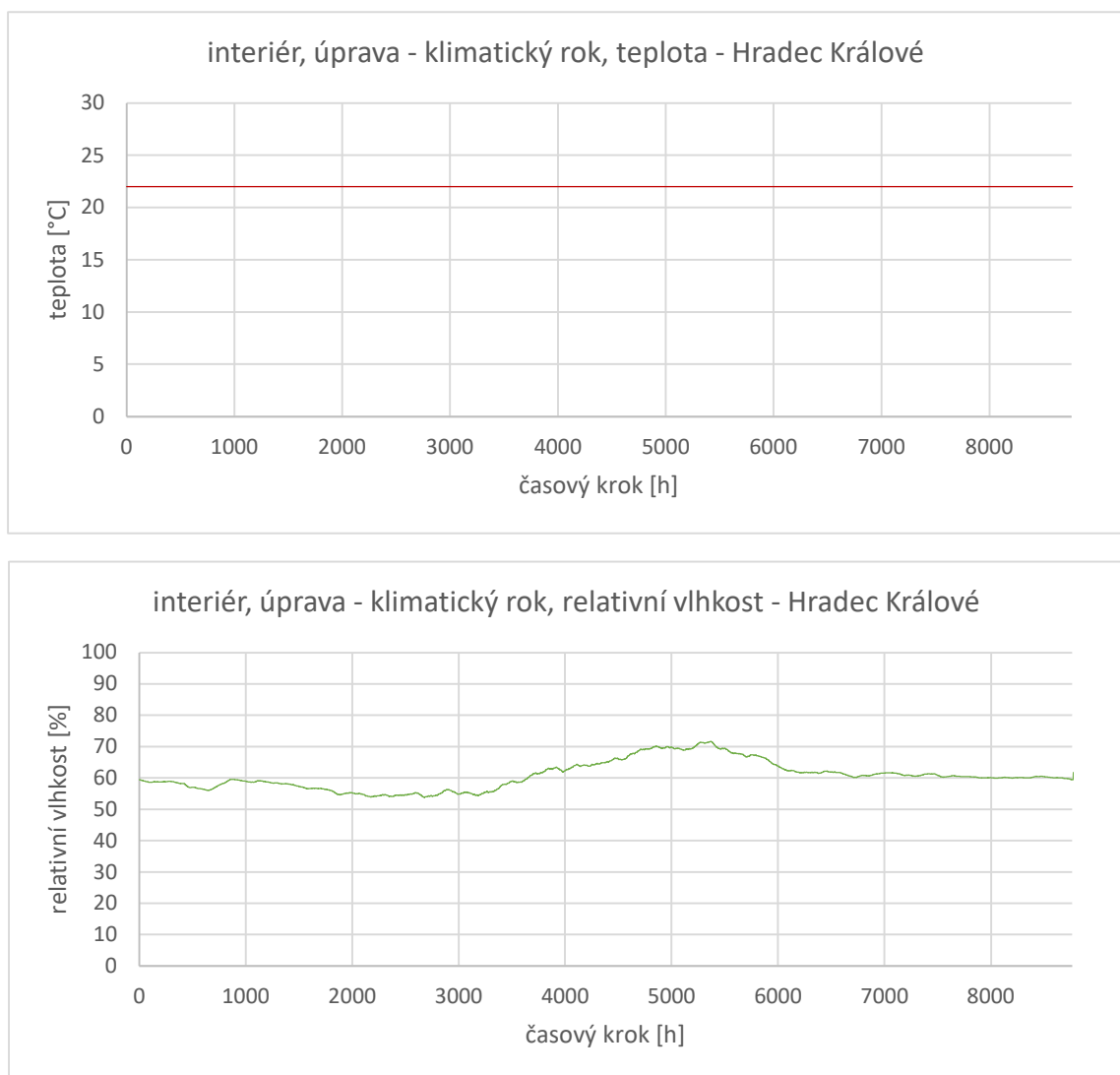
stacionární metoda	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce není ohrožena
	2)	$M_c \leq M_{c,N}$	nedochází ke kondenzaci
	3)	rel. vlhkost v prahových fošnách $\leq 85\%$	$65,8 \leq 85$
dynamický výpočet	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce není ohrožena
	2)	trvalé zvyšování hm. vlhkosti	vlhkost se v konstrukci nezvyšuje
	3)	rel. vlhkost v prahových fošnách $\leq 85\%$	$67 \leq 85$

Tabulka 23: hodnocení detailu 3.1., snížené fošny.

Detail splňuje všechna kritéria dle ČSN 73 0540 – 2 a z hlediska vlhkosti je bezpečný.

3.4.13. Detail 1.1.A – upravené interiérové podmínky

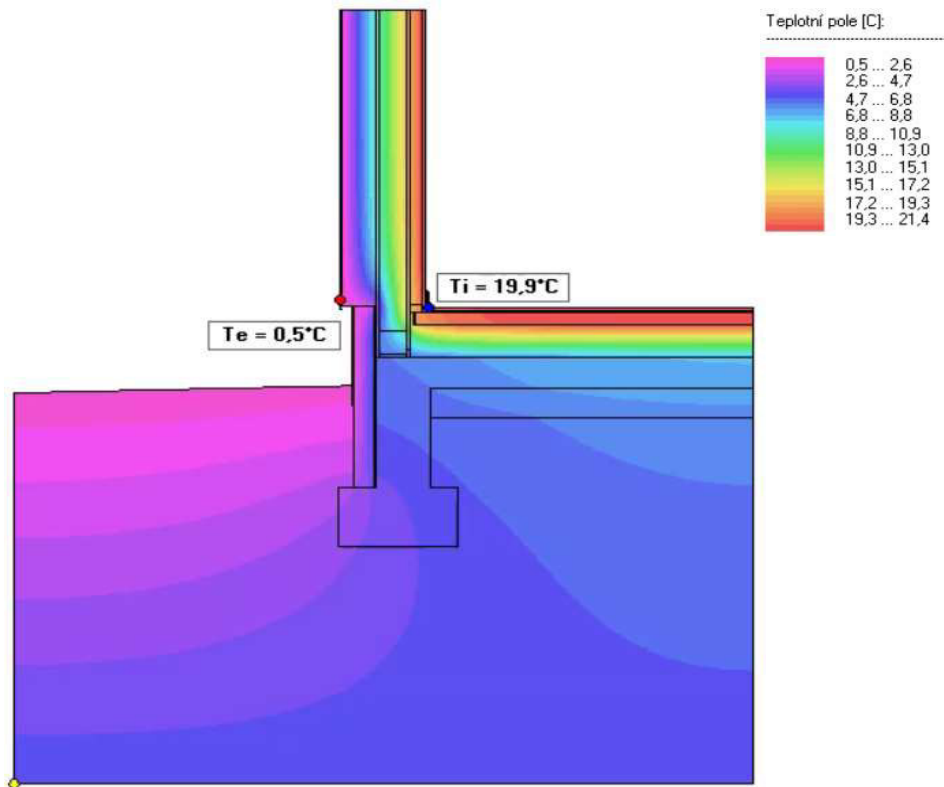
Průběh relativní vlhkosti v prahových fošnách může být také velmi ovlivněn vnitřními podmínkami. To může být rozdílné jak z hlediska využití vnitřního prostoru (koupelna, kuchyně, obývací pokoj, ...) tak rozdílné z hlediska toho, jak obyvatelé budovy větrají a jaké prostředí je jim příjemné. V tomto případě bude proveden pouze modelový výpočet pro detail 1.1.A, u kterého budou stanoveny následující vnitřní podmínky:



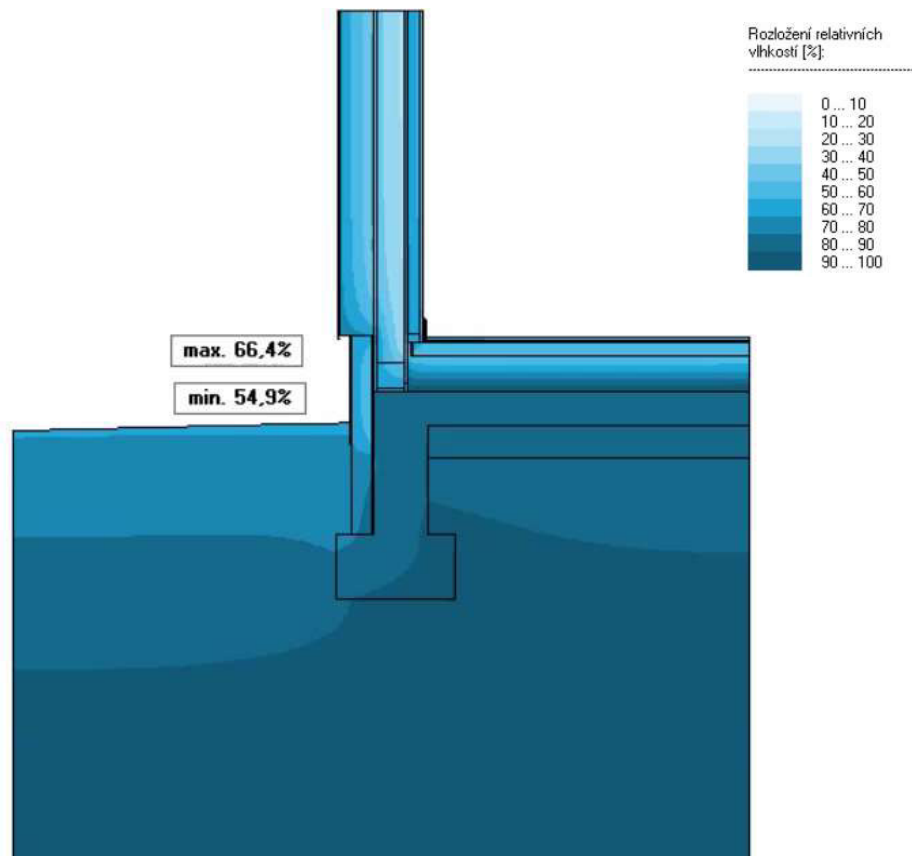
Obrázek 58: znázornění upravených interiérových podmínek.

Hodnoty zadávané do softwaru Area jsou opět lednové průměry. Teplota 22 °C a relativní vlhkost 57,88 %. Vnější podmínky zůstávají stejné jako při předchozích výpočtech (viz kapitola 3.2.2.).

AREA – rozložení teplot, leden: [°C]



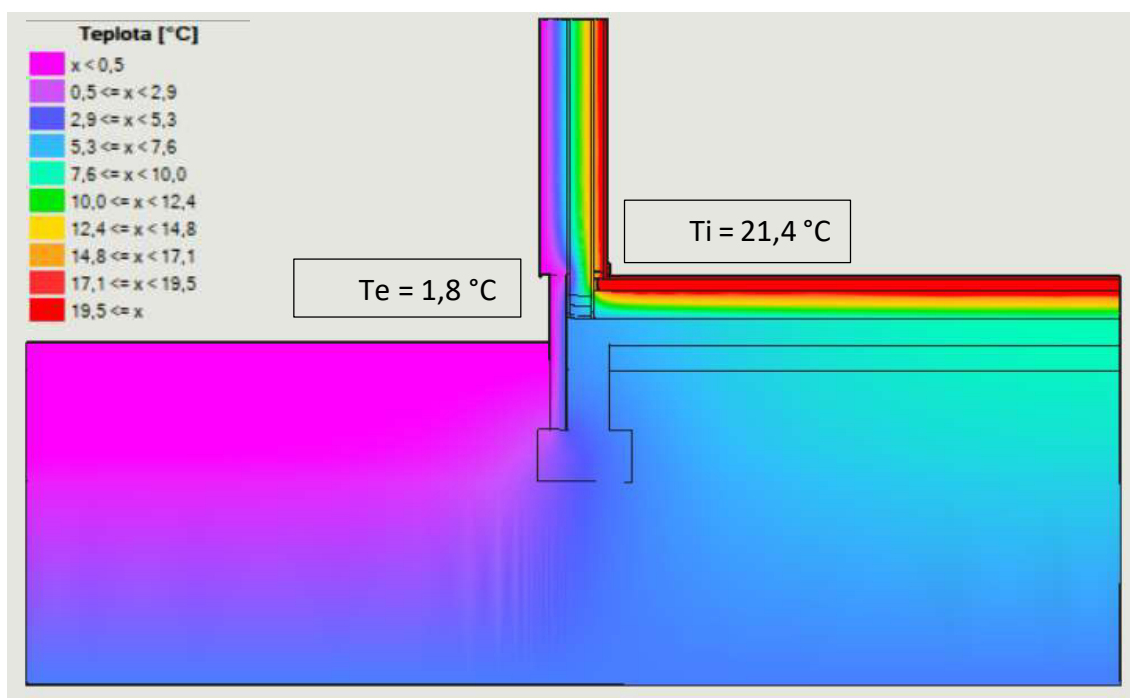
AREA – rozložení vlhkosti, leden: [%]



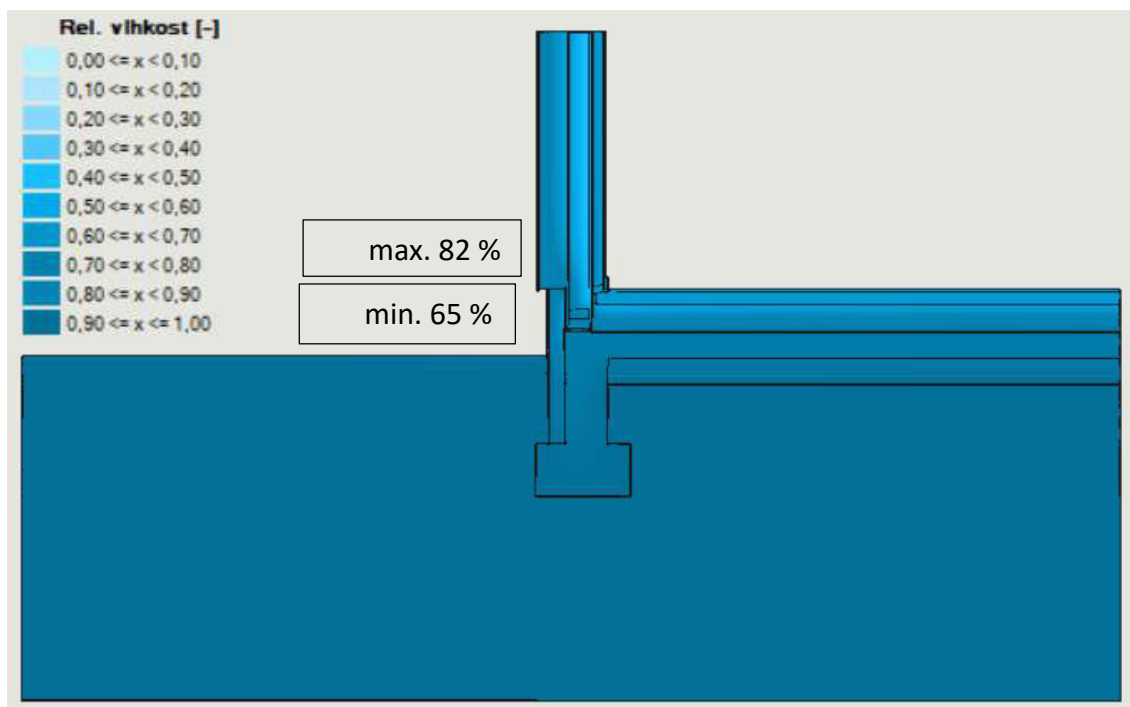
Obrázek 59: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 1.1.A., změna vlhkosti.



WUFI – rozložení teplot, leden: [°C]



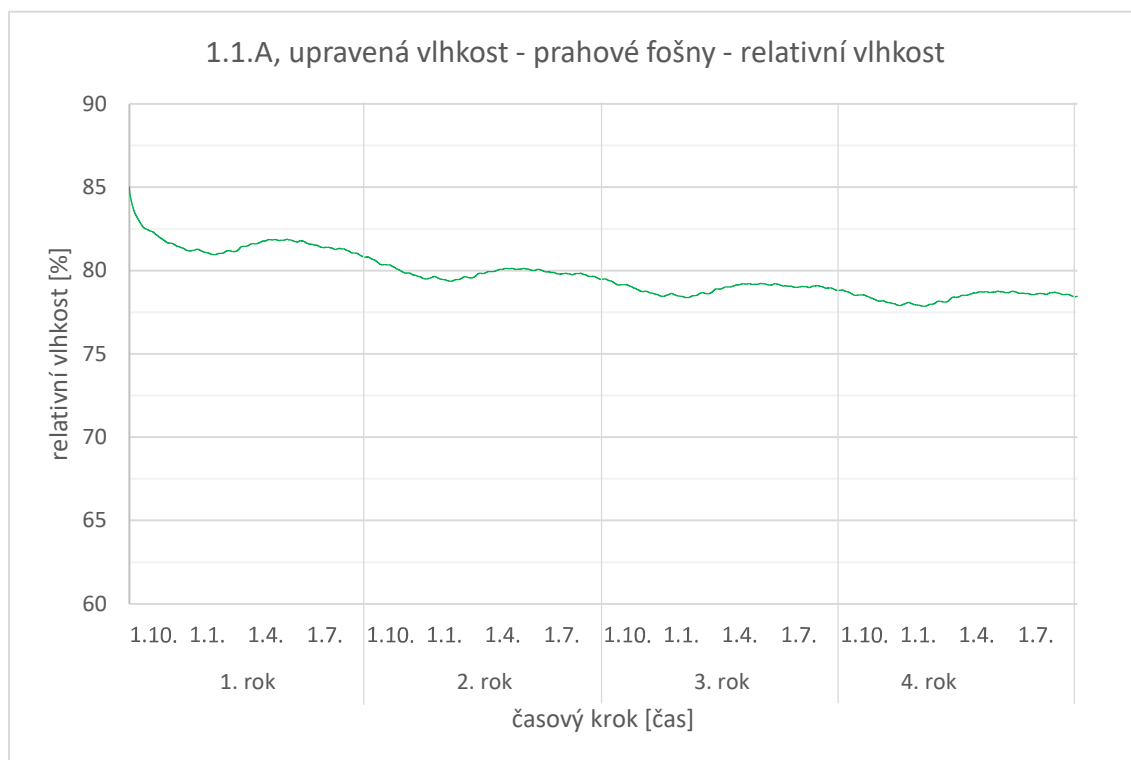
WUFI – rozložení vlhkosti, leden: [-]

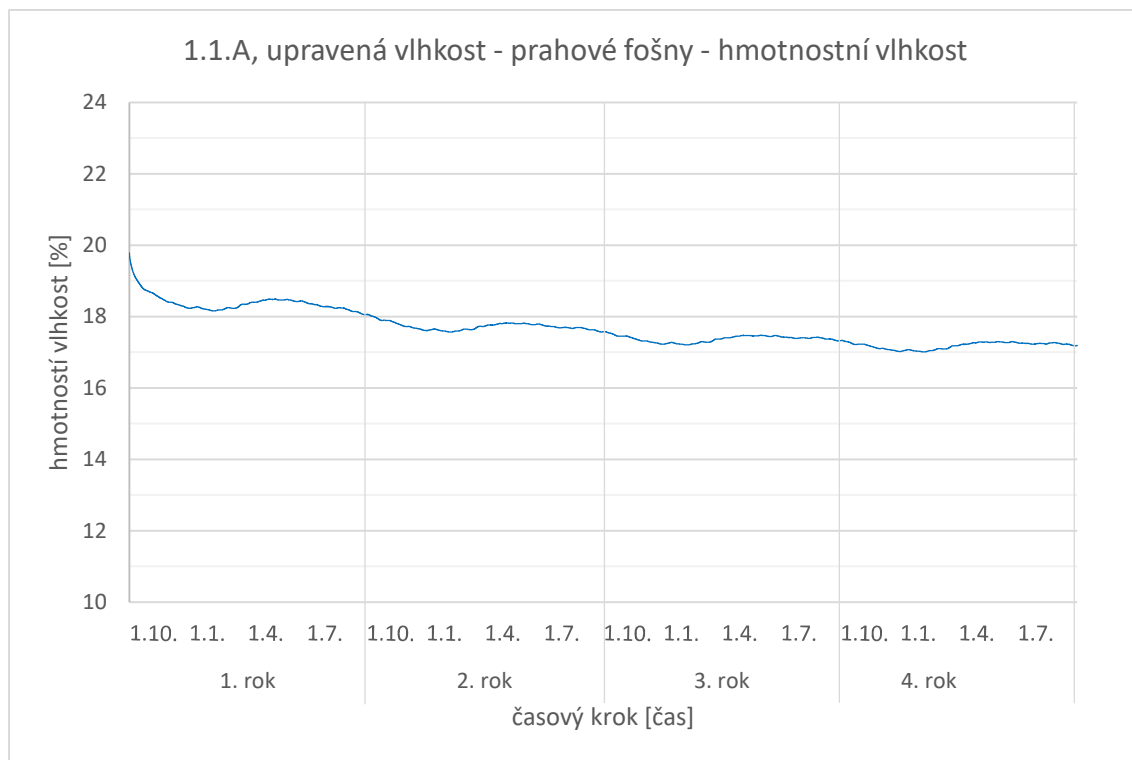


Obrázek 60: grafické výstupy – dynamický výpočet – detail 1.1.A., změna vlhkosti.



WUFI – časové průběhy v prahových fošnách – průměry v celé oblasti





Obrázek 61: grafy průběhu teploty, relativní vlhkosti a hmotnostní vlhkost – detail 3.1., změna vlhkosti.

Komentář a vyhodnocení:

Po úpravě interiérových okrajových podmínek je zřejmé, že dochází k navýšení vlhkosti. Okrajové podmínky, které byly zvoleny způsobují jak zvýšení teploty, tak relativní vlhkosti. U obou výpočetních modelů dochází v prahových fošnách ke zvýšení relativní vlhkosti o 4 %. Což není pro tento detail až tak dramatické zvýšení. Teplotní křivka je opět ustálená téměř od počátku výpočtu. Křivka relativní vlhkosti se v tomto případě ustaluje po čtyřech letech na 78 %. Maximální hodnoty dosahují prahové fošny dle dynamického výpočtu 82 % relativní vlhkosti. Hmotnostní vlhkost se tedy v konstrukci opět nenavýšuje a detail zůstává vlhkostně bezpečný.

Výpočet detailu pro tyto podmínky slouží k získání odhadu o tom, jaký vliv mají vnitřní podmínky na zvýšení relativní vlhkosti. Přestože u tohoto konkrétního detailu to nemá zásadní vliv je dobré mít povědomí o tom o kolik se může projevit zvýšení vlhkosti. Pokud by se pak jednalo o nějaký více exponovaný detail již při původních interiérových podmínkách, je velmi pravděpodobné, že takové zvýšení by mohlo způsobit překročení kritické hranice 85 % relativní vlhkosti.



Tabulkové vyhodnocení:

Přehledné shrnutí hodnot je v následující tabulce:

stacionární model	teplota (povrchy) [°C]	minimální	0,5
		maximální	19,9
	vlhkost [%]	průměr	60,8
		minimální	54,9
		maximální	66,4
dynamický model	teplota (povrchy)[°C]	minimální	1,8
		maximální	21,4
	vlhkost [%]	průměr	78
		minimální	65
		maximální	82

Tabulka 24: tabulka shrnutí – detail 1.1.A., změna vlhkosti.

Vyhodnocení požadovaných kritérií:

stacionární metoda	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce není ohrožena
	2)	$M_c \leq M_{c,N}$	nedochází ke kondenzaci
	3)	rel. vlhkost v prahových fošnách $\leq 85 \%$	$60,8 \leq 85$
dynamický výpočet	1)	ohrožení požadované funkce	funkce konstrukce není ohrožena
	2)	trvalé zvyšování hm. vlhkosti	vlhkost se v konstrukci nezvyšuje
	3)	rel. vlhkost v prahových fošnách $\leq 85 \%$	$78 \leq 85$

Tabulka 25: hodnocení detailu 1.1.A., změna vlhkosti.

Detail splňuje všechna kritéria dle ČSN 73 0540 – 2 a z hlediska vlhkosti je bezpečný.

4. Shrnutí a diskuse

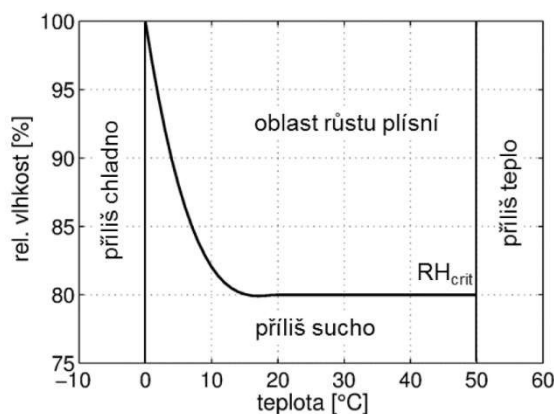
4.1. Tabulka, shrnutí výsledků detailů

model	stacionární (Area)		dynamický (Wufi)		vyhovuje
	teplota vnitřní/vnější povrch [°C]	relativní vlhkost [%]	teplota vnitřní/vnější povrch [°C]	relativní vlhkost [%]	
1.1.A	18,1/0,5	57	18,6/1,8	74	✓
1.1.B	18,3/0,5	53	19,1/1,8	80	✓
1.2	14,2/0,5	75	14,8/1,8	86	X
2.1	18,3/0,5	58	-	-	✓
3.1	17,8/0,5	60	-	-	✓
3.2	14,8/0,5	56	-	-	✓
1.1.A, snížené fošny	18,2/0,5	74	19,2/1,8	86	X
3.1, snížené fošny	17,8/0,5	66	18,9/1,8	67	✓
1.1.A, úprava vlhkosti	19,9/0,5	61	21,4/1,8	78	✓

Tabulka 26: shrnutí výsledků.

4.2. Diskuse

Pokud se zaměříme na výsledky hodnot relativní vlhkosti a teplot z jednotlivých detailů, tak je parné, že některé detaily nevyhovují požadavkům normy (viz jednotlivá posouzení). Důležité ale je, že pro vznik plísní a jejich případné šíření je za potřeby příznivá kombinace teploty a relativní vlhkosti. Tato příznivá kombinace je vymezená takzvanou kritickou relativní vlhkostí – RH_{crit} . Tato křivka je závislost mezi relativní vlhkostí a teplotou.



Obrázek 62: graf kritické relativní vlhkosti.

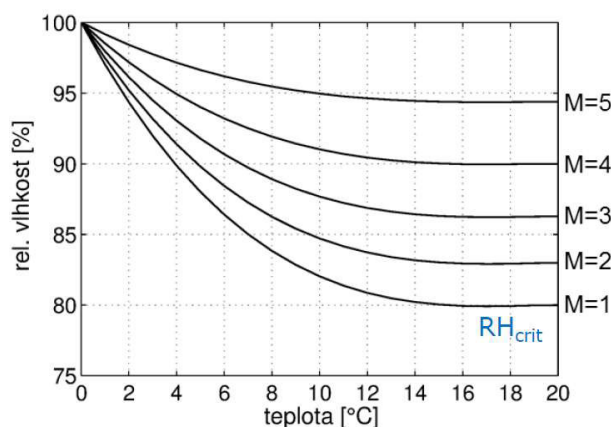


Z této křivky je patrné, že není konstantní podmínka, pro jakou relativní vlhkost již začínají být konstrukce vhodné k napadení plísněmi. Je třeba, aby v místě zjištěné relativní vlhkosti byla zároveň vhodná teplota, při které vznikají plísně. Vznik plísní je popsán veličinou stupeň rozvoje plísní – M. Ta vyjadřuje rozsah napadení povrchu stavebního materiálu dle následující tabulky.

stupeň M	popis
0	žádný růst
1	počáteční stádium růstu - známky viditelné pouze mikroskopem
2	oddělené plísňové kolonie zjistitelné pouze mikroskopem
3	první známky plísní viditelné okem, pokrytí do 10 %
4	okem viditelné pokrytí 10 % - 50 %
5	hojný růst, okem viditelné pokrytí nad 50 %
6	velmi hojný růst, téměř plné pokrytí povrchu

Tabulka 27: tabulka růstu plísní.

Pro stanovení stupně M slouží rozdělení oblasti růstu plísní pomocí následujících křivek:



Tabulka 28: křivky stupně výskytu plísní.

Případ na pomezí křivky kritické relativní vlhkosti jsou i řešené detaily 1.2 nebo varianta detailu 1.1.A se sníženými fošny. Dle normového vyhodnocení je zde relativní vlhkost vyšší než požadovaných 85 %, ale tím, že jsou prahové fošny v oblasti soklu poměrně blízko exteriéru, tak jsou tam během lednových podmínek i nižší teploty. Konkrétně teploty pohybující se přibližně mezi 5 – 7 °C, což jsou hodnoty, které jsou dle grafu kritické relativní vlhkosti přibližně na její křivce. Růst plísní je navíc relativně pomalý proces a krátké dosažení příznivých podmínek pro jejich růst nestačí. Z výsledků našich analýz se nedá jistě tvrdit, že by prahové fošny byly napadeny plísněmi a že je jejich funkce kriticky ohrožena. Lze ji ale dobře využít k tomu, abychom byli



schopni snáz rozhodnout, které detaily, popř. která konkrétní místa na konstrukci budou hraničně exponována a při návrhu jim dbát zvýšenou pozornost a případně je analyzovat je pro konkrétní okrajové podmínky.

S podmínkou vzniku plísní úzce souvisí debata o tom, v jakém místě se nachází posuzovaný detail. V reálné praxi se můžeme například s tím, že v okolí objektu je terén snížený tak, aby prahové fošny byly v dostatečné výšce nad terénem, jako je tomu v této práci např. u detailu 1.1.A, ale v místě otvoru v obvodové stěně již není realizován ocelový podlahový rošt, který by zajistil stejné podmínky i na délce terasy. Místo toho je terasa řešena svépomocí (například ručně provedený násyp + zhutnění zeminy a exteriérová dlažba). Pokud by se provedla tato stavební úprava, může se vlhkost ve fošnách zvýšit v tomto exponovaném místě. Zároveň zasypání části obvodové stěny zeminou by mohlo zvýšit teplotu, tedy zlepšit podmínky pro růst plísní. Pak je otázka, jestli by k případnému vzniku plísní pomohla zvýšená ochrana dřeva v daném úseku prahových fošen, popř. jiné řešení. Nebezpečí podcenění této situace a vznik plísní v úseku otvoru by potenciálně mohlo způsobit rozšíření plísní i mimo oblast otvoru. Obecně celá oblast soklu je na stavbě velmi důležitý detail, který by měl mít u dřevostaveb optimalizované řešení, protože vlhkostní chování v této oblasti závisí na mnoha faktorech, které se analyticky velmi těžko předpovídají – vnitřní podmínky, vnější podmínky, stavební provedení, apod...

V rámci této práce byly určité varianty zpracovány pro detail 1.1.A, který je velmi často využívaným systémem provádění. Tento model byl řešen ve 3 variantách:

- 1) správné provedení pro vybraná klimatická data
- 2) nevhodné provedení – nedodržení odstupu prahových fošen od terénu
- 3) správné provedení – zvýšená vlhkost a teplota v interiéru

dle výsledků na tomto jednom detailu nelze zobecňovat zjištěné výsledky, těžko z takového výpočtu lze stanovit jasný trend, ale z následující tabulky vidíme procentuální navýšení dle provedení.



X	vlhkost		procentuální navýšení	
	stacionární	dynamický	stacionární	dynamický
1)	57	74	-	-
2)	74	86	30%	16%
3)	61	78	7%	5%

Tabulka 29: posouzení hodnot na detailu 1.1.A.

Z tabulky zjišťujeme, že nevhodné umístění prahových fošen se na výpočet projeví velmi výrazně, kdežto změna vnitřních podmínek tak výraznou změnu nezpůsobuje. Přiblížit analytický výpočetní model současné reality je s dostupnými daty složité, vzhledem k dlouhodobě zvyšujícím se teplotám a vstupu proměnných, které mohou ovlivnit výsledek. Nicméně procentuální navýšení při změně pouze jednoho parametru má určitou vypovídající hodnotu. Aplikace více variant či zpřesňování procentuálních nárůstů na jiných detailech je časově náročné a v rámci této práce nebylo dále rozpracováno. Práce by byla vhodným podkladem pro podrobnou studii těchto vlivů na více případech, popř. s vlivem různých klimatických změn (déšť, sluneční záření) nebo různou orientací stěn ke světovým stranám.

Pro dvourozměrné šíření tepla a vlhkosti byla v rámci práce většina detailů posuzována jak softwarem pro stacionární výpočet, tak softwarem, který umožňuje dynamický výpočet v neustáleném stavu. Během analýz jednotlivých detailů bylo zjištěno, že výsledky získané stacionárním výpočtem vycházejí vlhkostně příznivější, někdy i velmi výrazně. To je rozhodně podmět k zamyšlení, protože v průběhu studia jsme pro většinu posuzování využívali výhradně stacionární výpočty s tím, že výpočet je na straně bezpečnosti. Dle krátké analýzy výrazných rozdílů v kapitole 3.4.3. zjišťujeme, že největší podíl na rozdílných datech mají zadávané klimatické podmínky. Což je zajímavý postřeh, který byl během práce zjištěn. Pokud byly i do softwaru WUFI (dynamický výpočet) zadány konstantní vnější okrajové podmínky, pak výsledky vycházely velmi podobně výsledkům z programu Area (stacionární výpočet). Pokud jsme ale použili klimatický soubor s hodinovými daty, pak výsledky vycházely velmi odlišně. Do softwaru Area byl pro výpočet v měsíci lednu zadáván průměr teploty i relativní vlhkosti. Zadáním průměru se samozřejmě dopouštíme určitého zjednodušení a výsledky nemohou vycházet totožné. Už jen proto, že pro měsíc leden máme v dynamickém softwaru 744 výpočtových kroků. Určité odlišnosti se tedy od výsledků



dají očekávat, ale ne v desítkách procent relativní vlhkosti. Tento poznatek je vhodným námětem pro podrobnější analýzu této vlastnosti, pokud by se totiž ukázalo, že stacionární výpočet ukazuje nepřiměřeně nízké hodnoty relativních vlhkostí oproti skutečnosti, mohlo by být problémové jeho využití pro složitější případy konstrukcí. Nutno zmínit, že při posuzování jednorozměrného šíření tepla a vlhkosti k tak velkým rozdílům nedocházelo. Možností, jak zpřesnit výsledky ze softwaru Area je například zadávání hodnot do softwaru v menších časových krocích. Například dosazování denních průměrů. Takových výpočtů by tedy muselo být provedeno 31 pro měsíc leden a z nich například získat lepší přehled o chování vlhkosti ve stacionárním modelu. Veškerá odchylka od výsledků dynamického softwaru nebude ale způsobena jen klimatickými daty. Svoji roly také bude hrát rozdíl, který je tvořen vlastnostmi stavebních materiálů, ze kterých se je konstrukce složena. Jednou ze základních výhod dynamického softwaru je, že zohledňuje chování materiálů podle jejich aktuální vlhkosti ve výpočtu. Přestože jsme se snažili vyrovnat nějak rozdíly mezi softwary (zvýšení součinitele tepelné vodivosti paušálně o 5 %, odečtení faktoru difuzního odporu při 60% relativní vlhkosti), je možné, že to v některých případech dostatečně nezohledňuje chování natolik jako v dynamickém softwaru nebo je to naopak moc velké přísné zhoršení. Na stanovení toho, co přesně má vliv a jak velký by bylo potřeba důkladněji analyzovat zadávaná data a poté stanovit jakou měrou se projevují do výpočtů. Takto rozsáhlá analýza nebyla prováděna v rámci této práce, posouzeny byly vždy obě varianty detailu, tedy výstupy z obou výpočetních softwaru.



4.3. Závěr

Tato diplomová práce analyzuje tepelně-vlhkostní chování v soklové oblasti moderních dřevostaveb. Pro potřeby analýzy byly nejprve vypracovány standartně využívané detaily v podrobnosti prováděcí dokumentace, tedy se všemi drobnými prvky, hlavně pak tehdy pokud mají vliv na šíření tepla či vlhkosti. Při tvorbě hlavní sady posuzovaných detailů bylo dbáno na to, aby byly dodrženy požadavky na správné provádění soklové oblasti u dřevostaveb obecně, hlavně výška dřevěných prvků nad terénem. Veškeré detaily byly vypracovány pro nejrealizovanější systém dřevostaveb – lehký skelet. Detaily obsahují variantní kombinace těchto konstrukcí: jednoplášťová difuzně otevřená skladba stěny, jednoplášťová difuzně uzavřená skladba stěny, dvouplášťová skladba stěny s dřevěným obkladem, skladba podlahy mezi základovými pasy a skladba podlahy na základové desce.

Pro všechny uvedené skladby konstrukcí byla provedena analýza jednorozměrného šíření tepla a vlhkosti a všechny skladby byly posouzeny dle požadavků ČSN 73 0540. Jednorozměrná analýza byla provedena jak v ustáleném stavu (software Teplo), tak v neustáleném stavu (software WUFI Pro). Analýza těchto skladeb byla použita pro verifikaci modelů vytvořených pro dvourozměrnou analýzu šíření tepla a vlhkosti.

Dvourozměrná analýza šíření tepla a vlhkosti byla provedena pro všechny detaily v ustáleném stavu (software Area) a pro vybrané detaily i v neustáleném stavu (software WUFI 2D). Všechny výsledky získané z výpočetních softwarů byly hodnoceny a posouzeny dle požadavků ČSN 73 0540. U nevyhovujících detailů bylo navrženo řešení, jak zlepšit jejich tepelně-vlhkostní chování. V rámci práce byly provedeny dílčí analýzy okrajových podmínek, jako jsou klimatická data, zadávané hodnoty do softwarů, tvorba databáze materiálů, ukázka rozdílů potenciálu vypařování mezi skladbami apod...

V rámci diskuze jsou vybrány zásadní body práce, nad kterými je uvažováno z hlediska aplikace poznatků z diplomové práce do praxe, z hlediska úprav jednotlivých detailů či z hlediska toho, jak velké jsou rozdíly mezi výpočetními softwary a jak je možno na tyto otázky navázat.



Citace a seznam zdrojů:

- [1] TRANDOVÁ, Lenka. *ESTAV.cz* [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/7704.drevostavby-se-stavi-stale-vice>
- [2] KOPECKÝ, Pavel. *Materiál a konstrukce: Šíření tepla, vzduchu a vlhkosti v budovách a stavebních prvcích*. Praha, 2014. České vysoké učení technické v Praze.
- [3] ČSN EN ISO 13788: *Tepelně-vlhkostní chování stavebních konstrukcí a stavebních prvků*. Praha: Český normalizační institut, 2019.
- [4] ČSN 73 0540-4: *Tepelná ochrana budov - část 4, výpočtové metody*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [5] ČSN 73 0540-4: *Tepelná ochrana budov - část 2, požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [6] SCHMIDT, Daniel. *Holzschutz Bauliche Maßnahmen* [online]. Berlín, 2015. Dostupné také z: www.institut-holzbau.de. Holzbau Deutschland-Institute e.V.
- [7] *Centrum pasivního domu: konstrukční detaily* [online]. Brno, c2006-2020. Dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/detaily/>
- [8] *Refaglass: konstrukční detaily* [online]. Příbram, c2019. Dostupné také z: <https://www.refaglass.cz/konstrukcni-detaily/>
- [9] *Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau: als Leitfaden für die Planung und Ausführung*. Wien, 2015. Dostupné také z: <https://www.holzforschung.at/en/>
- [10] *Probleme und Lösungen für den Sockelbereich*. Holzkirchen, 2009. Dostupné také z: <https://wufi.de/literatur/Schmidt%202011%20-%20Probleme%20und%20L%C3%B6sungen.pdf>
- [11] HAZUCHA, Juraj. *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: doporučení pro návrh a stavbu*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-4551-0.
- [12] *Kcad: stavební fyzika, Teplo 2017* [online]. Praha, c2020. Dostupné také z: <https://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/teplo/>
- [13] WUFI: *WUFI® Pro* [online]. Holzkirchen, 2019. Dostupné také z: <https://wufi.de/en/software/wufi-pro/>



- [14] *Kcad: stavební fyzika, Area 2017* [online]. Praha, c2020. Dostupné také z: <https://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/area/>
- [15] *WUFI: WUFI® 2D* [online]. Holzkirchen, 2019. Dostupné také z: <https://wufi.de/en/software/wufi-2d/>
- [16] *WUFI: WUFI - clima data input* [online]. Holzkirchen, 2019. Dostupné také z: <https://wufi.de/en/literature/>
- [17] *ISOVER: produkty* [online]. Praha, c2021. Dostupné také z: <https://www.isover.cz/produkty>
- [18] *FERMACELL: produkty* [online]. Praha, c2020. Dostupné také z: <https://www.fermacell.cz/cz/produkty>
- [19] *STEICO: Konstrukce - katalog detailů* [online]. Feldkirchen, c2021. Dostupné také z: steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Czech/Katalog_detailu
- [20] SVOBODA, Zbyněk. *Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů* [online]. Praha, 2018. České vysoké učení technické v Praze.
- [21] HAGENTOFT, Carl-Eric. *Introduction to building physics*. Lund: Studentlitteratur, 2001. ISBN 91-440-1896-7.
- [22] STANĚK, Kamil. *Podklady z předmětu DRS: vlhkosti vzduchu a dřeva* [online]. Praha. České vysoké učení technické v Praze.
- [23] STANĚK, Kamil. *Podklady z předmětu DRS: Spruce diffusion sorption* [online]. Praha. České vysoké učení technické v Praze.
- [24] STANĚK, Kamil. *Podklady z předmětu DRS: Biodegradace a ochrana dřeva* [online]. Praha. České vysoké učení technické v Praze.
- [25] KOLB, Josef. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. 2., aktualiz. vyd. v České republice. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-4071-3.



Seznam tabulek

Tabulka 1: tabulka hodnocených kritérií.....	23
Tabulka 2: tabulka měsíčních průměrů.....	36
Tabulka 3: tabulka vstupních parametrů – 1D.....	37
Tabulka 4: tabulka vstupních parametrů – 2D.....	38
Tabulka 5: tabulka materiálových vlastností.....	40
Tabulka 6: výpočet teploty v zemině.	41
Tabulka 7: tabulka hodnotících kritérií - detaily.	55
Tabulka 8: tabulka shrnutí – detail 1.1.A.	61
Tabulka 9: hodnocení detailu 1.1.A.	61
Tabulka 10: tabulka shrnutí – detail 1.1.B.	67
Tabulka 11: hodnocení detailu 1.1.B.....	67
Tabulka 12: tabulka shrnutí – detail 2.1.....	73
Tabulka 13: hodnocení detailu 1.2.....	73
Tabulka 14: tabulka shrnutí – detail 2.1.....	76
Tabulka 15: hodnocení detailu 2.1.....	76
Tabulka 16: tabulka shrnutí – detail 3.1.....	79
Tabulka 17: hodnocení detailu 3.1.....	79
Tabulka 18: tabulka shrnutí – detail 3.2.....	82
Tabulka 19: hodnocení detailu 3.2.....	82
Tabulka 20: tabulka shrnutí – detail 1.1.A., snížené fošny	88
Tabulka 21: hodnocení detailu 1.1.A., snížené fošny.....	88
Tabulka 22: tabulka shrnutí – detail 3.1., snížené fošny.....	94
Tabulka 23: hodnocení detailu 3.1., snížené fošny.	94
Tabulka 24: tabulka shrnutí – detail 1.1.A., změna vlhkosti.	100
Tabulka 25: hodnocení detailu 1.1.A., změna vlhkosti.	100
Tabulka 26: shrnutí výsledků.....	101
Tabulka 27: tabulka růstu plísní.	102
Tabulka 28: křivky stupně výskytu plísní.....	102
Tabulka 29: posouzení hodnot na detailu 1.1.A.	104



Seznam obrázků

Obrázek 1: schéma transportu tepla (inspirováno [2]).....	15
Obrázek 2: el. schéma na vnějším povrchu (inspirováno [2]).....	15
Obrázek 3: poměr matrice ku objemu pórů (inspirováno [9]).....	16
Obrázek 4: adsorpce a kapilární kondenzace (převzato z [2])	17
Obrázek 5: hysterze sorpční křivky (převzato z [2]).....	18
Obrázek 6: sorpční izoterma (převzato z [2]).....	18
Obrázek 7: schéma vlhkostní bilance (převzato z [2])	19
Obrázek 8: skladba S1.	26
Obrázek 9: skladba S2.	27
Obrázek 10: znázornění skladeb.	28
Obrázek 11: graf koncentrace vodní páry ve vzduchu (převzato z [10]).	28
Obrázek 12: skladba S3.	30
Obrázek 13: skladba P1.....	31
Obrázek 14: skladba P2.....	32
Obrázek 15: Wufi – teplota, exteriér.	34
Obrázek 17: Wufi – teplota, interiér.	35
Obrázek 16: Wufi – relativní vlhkost, exteriér.	35
Obrázek 18: Wufi – relativní vlhkost, interiér.....	35
Obrázek 19: materiálové vlastnosti dřeva. [11].....	37
Obrázek 20: průběh teplot zemina/exteriérový vzduch.....	42
Obrázek 21: náhradní obrazec vzduchové mezery.....	42
Obrázek 22: graf průběhu relativní vlhkosti – S1.....	44
Obrázek 23: graf průběhu relativní vlhkosti – S2.....	45
Obrázek 24: graf průběhu relativní vlhkosti – S3.....	46
Obrázek 25: ustálení relativní vlhkosti ve fošnách.	48
Obrázek 26: ustálení teploty ve fošnách.....	49
Obrázek 27: odstupy modelů – AREA a WUFI.....	50
Obrázek 28: relativní vlhkosti – Area.	51
Obrázek 29: analýza vlivu okrajových podmínek.....	53
Obrázek 30: sorpční křivka smrkového dřeva.....	54
Obrázek 31: schéma detailu 1.1.A.	56
Obrázek 32: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 1.1.A.	57



Obrázek 33: grafické výstupy – dynamický výpočet – detail 1.1.A.....	58
Obrázek 34: grafy průběhů teplot, relativní vlhkosti a hmotnostní vlhkosti – detail 1.1.A..	60
Obrázek 35: schéma detailu 1.1.B.	62
Obrázek 36: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 1.1.B.	63
Obrázek 37: grafické výstupy – dynamický výpočet – detail 1.1.B.....	64
Obrázek 38: grafy průběhů teplot, relativní vlhkosti a hmotnostní vlhkosti – detail 1.1.B..	66
Obrázek 39: schéma detailu 1.2.....	68
Obrázek 40: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 1.2.....	69
Obrázek 41: grafické výstupy – dynamický výpočet – detail 1.2.	70
Obrázek 42: grafy průběhů teploty, relativní vlhkosti a hmotnostní vlhkosti – detail 1.2. ..	72
Obrázek 43: schéma detailu 2.1.....	74
Obrázek 44: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 2.1.....	75
Obrázek 45: schéma detailu 3.1.....	77
Obrázek 46: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 3.1.....	78
Obrázek 47: schéma detailu 3.2.....	80
Obrázek 48: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 3.2.....	81
Obrázek 49: schéma detailu 1.1.A., snížené fošny	83
Obrázek 50: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 1.1.A., snížené fošny.....	84
Obrázek 51: grafické výstupy – dynamický výpočet – detail 1.1.A., snížené fošny	85
Obrázek 52: grafy průběhů teploty, relativní vlhkosti a hmotnostní vlhkosti – detail 1.1.A., snížené fošny.....	87
Obrázek 53: schéma detailu 3.1., snížené fošny.....	89
Obrázek 54: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 3.1., snížené fošny	90
Obrázek 55: grafické výstupy – dynamický výpočet – detail 3.1., snížené fošny.	91
Obrázek 56: grafy průběhu teploty, relativní vlhkosti a hmotnostní vlhkosti – detail 3.1., snížené fošny.....	93
Obrázek 57: znázornění upravených interiérových podmínek.....	95
Obrázek 58: grafické výstupy – stacionární výpočet – detail 1.1.A., změna vlhkosti.	96
Obrázek 59: grafické výstupy – dynamický výpočet – detail 1.1.A., změna vlhkosti.....	97
Obrázek 60: grafy průběhu teploty, relativní vlhkosti a hmotnostní vlhkosti – detail 3.1., změna vlhkosti.	99
Obrázek 61: graf kritické relativní vlhkosti.	101



Přílohy

Seznam příloh:

- Příloha č. 1: protokoly ze softwaru Teplo 2017 – výpočet součinitele prostupu tepla.
-> součástí tohoto souboru
- Příloha č. 2: výkresy detailů v měřítku 1:10.
-> zvláštní PDF soubor: výkresová část DP
- Příloha č. 3: kompletní protokoly a data z výpočtových softwarů.
-> pouze zálohová příloha – na CD přiloženém k fyzické verzi práce
- Příloha č. 4: soubory výpočetních souborů.
-> pouze zálohová příloha – na CD přiloženém k fyzické verzi práce



PŘÍLOHA č. 1 – protokoly ze softwaru Teplo

SHRnutí VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKcí

Teplo 2017 tepelná ochrana budov (ČSN 730540, EN ISO 6946, EN ISO 13788)

Název kce	Typ	R [m2K/W]	U [W/m2K]	Ma,max[kg/m2]	Odpaření	DeltaT10 [C]
jednoplášťová stěna_U	stěna	7.270	0.134	nedochází ke kondenzaci v.p.		---

Vysvětlivky:

R	tepelný odpor konstrukce
U	součinitel prostupu tepla konstrukce
Ma,max	maximální množství zkond. vodní páry v konstrukci za rok
DeltaT10	pokles dotykové teploty podlahové konstrukce.

KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2017

Název úlohy : **jednoplášťová stěna_U**
Zpracovatel : TT 2017
Zakázka : DP
Datum : 27.09.2020

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější jednoplášťová
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m2K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m3]	Mi [-]	Ma [kg/m2]
1	povrchová malb	0,0001	0,7000	900,0	1500,0	200,0	0.0000
2	sádrovláknitá	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	13,0	0.0000
3	TI (čedičová v	0,0600	0,0480*	1059,8	91,8	1,0	0.0000
4	sádrovláknitá	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	300,0	0.0000
5	TI (čedičová v	0,1200	0,0520*	1246,8	142,4	1,0	0.0000
6	sádrovláknitá	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	13,0	0.0000
7	lepící stěrka	0,0030	0,8000	920,0	1300,0	50,0	0.0000
8	TI (kontaktní	0,1600	0,0450	840,0	135,0	4,8	0.0000
9	lepící stěrka	0,0040	0,4400	790,0	1200,0	20,0	0.0000
10	tenkovrstvá om	0,0020	0,6000	1000,0	1110,0	10,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

* ekvival. tep. vodivost s vlivem tepelných mostů, stanovena interním výpočtem

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	povrchová malba	---
2	sádrovláknitá deska	---
3	TI (čedičová vlna) + rám (40/60)	

vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946

Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.040 W/(m.K)
Tep. vodivost tep. mostů: 0.180 W/(m.K)
Šířka tepelných mostů: 0.0400 m
Tloušťka tepelných mostů: 0.0600 m

Os. vzdálenost tep. mostů: 0.6250 m

4 sádrovláknitá deska s parozábranou

5 TI (čedičová vlna) + rám (60/120)

vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946

Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.040 W/(m.K)

Tep. vodivost tep. mostů: 0.180 W/(m.K)

Šířka tepelných mostů: 0.0600 m

Tloušťka tepelných mostů: 0.1200 m

Os. vzdálenost tep. mostů: 0.6250 m

6 sádrovláknitá deska

7 lepicí stěrka

8 TI (kontaktní izolace z kamenné vlny)

9 lepicí stěrka s tkaninou

10 tenkovrstvá omítka

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m²K/W

dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi : 0.25 m²K/W

Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m²K/W

dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse : 0.04 m²K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -15.0 C

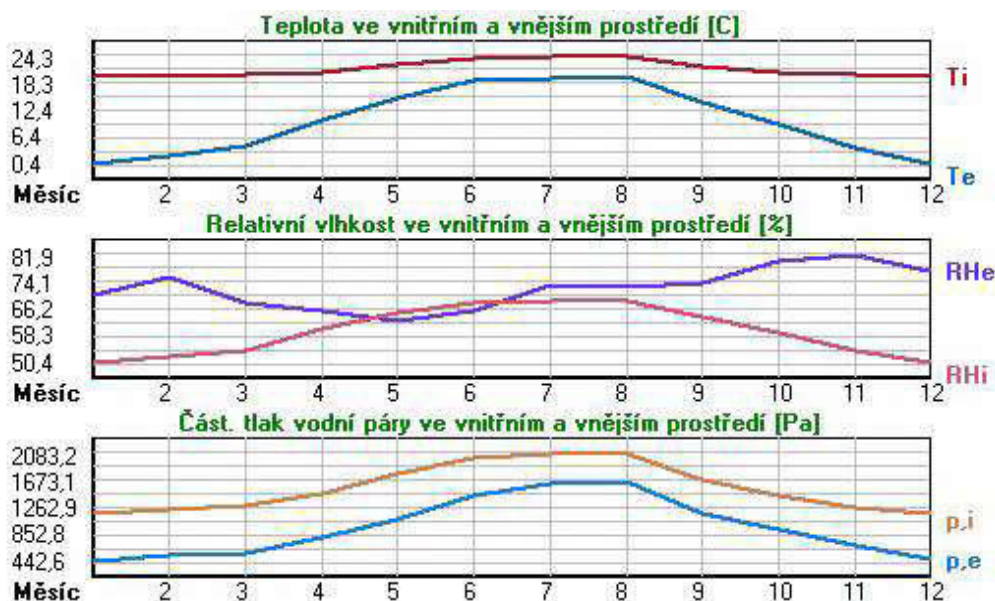
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 20.0 C

Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %

Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH_i : 50.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]
1	31 744	20.0	50.5	1179.0	0.4	70.2	442.6
2	28 672	20.0	52.3	1222.9	2.4	75.6	547.4
3	31 744	20.1	54.2	1278.9	4.2	67.7	558.8
4	30 720	20.7	60.1	1467.2	10.1	65.3	807.9
5	31 744	22.5	64.9	1762.3	15.1	62.6	1070.2
6	30 720	24.0	67.9	2020.6	18.9	65.6	1435.5
7	31 744	24.2	68.4	2066.0	19.3	73.4	1640.1
8	31 744	24.3	68.6	2083.2	19.7	72.6	1669.7
9	30 720	22.1	64.0	1698.4	14.1	73.7	1181.0
10	31 744	20.5	59.2	1429.4	9.2	79.9	930.3
11	30 720	20.1	54.2	1274.6	4.1	81.9	672.6
12	31 744	20.0	50.4	1178.3	0.4	77.4	487.0

Poznámka: Tai, RH_i a P_i jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a Te, RHe a Pe jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).



Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 0.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 7.270 m²K/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.134 W/m²K**

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.15 / 0.18 / 0.23 / 0.33 W/m²K
Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor a tepelně akumulční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce Z_{pT} : 3.2E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny* podle EN ISO 13786 : 763.0
Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 15.1 h

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 18.84 C
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : **0.967**

Obě hodnoty platí pro odpor při přestupu tepla na vnitřní straně R_{si}=0,25 m²K/W.

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	80%		100%		T _{si} [C]	f _{Rsi}	RH _{si} [%]
	T _{si} ,m[C]	f _{Rsi} ,m	T _{si} ,m[C]	f _{Rsi} ,m	T _{si} [C]	f _{Rsi}	RH _{si} [%]
1	12.8	0.630	9.4	0.458	19.4	0.967	52.5
2	13.3	0.621	9.9	0.430	19.4	0.967	54.3
3	14.0	0.615	10.6	0.402	19.6	0.967	56.0
4	16.1	0.569	12.7	0.243	20.4	0.967	61.4
5	19.0	0.540	15.5	0.062	22.2	0.967	65.9
6	21.3	0.462	17.7	-----	23.8	0.967	68.6
7	21.6	0.475	18.0	-----	24.0	0.967	69.1
8	21.8	0.443	18.2	-----	24.1	0.967	69.2
9	18.5	0.550	14.9	0.112	21.8	0.967	65.1
10	15.7	0.577	12.3	0.272	20.1	0.967	60.6
11	14.0	0.615	10.6	0.402	19.6	0.967	56.0
12	12.8	0.630	9.4	0.458	19.4	0.967	52.5

Poznámka: RH_{si} je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, T_{si} je vnitřní povrchová teplota a f_{Rsi} je teplotní faktor.

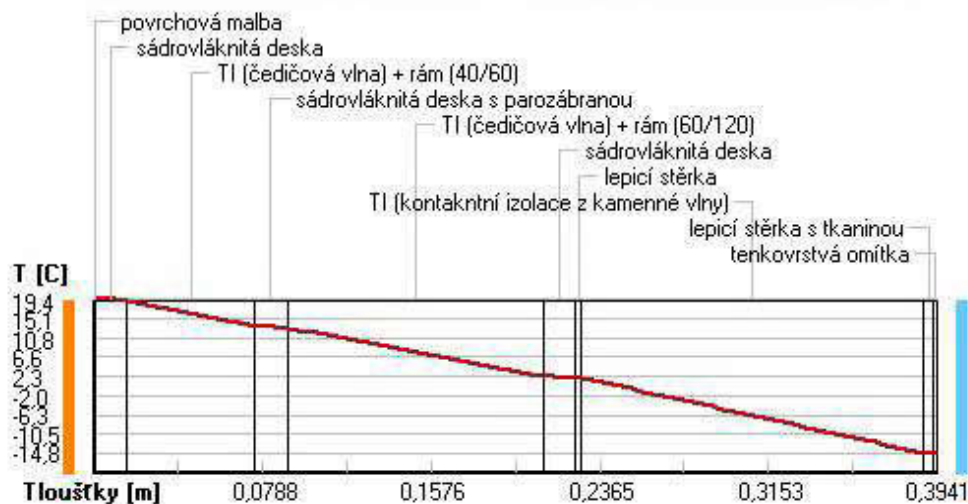
Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

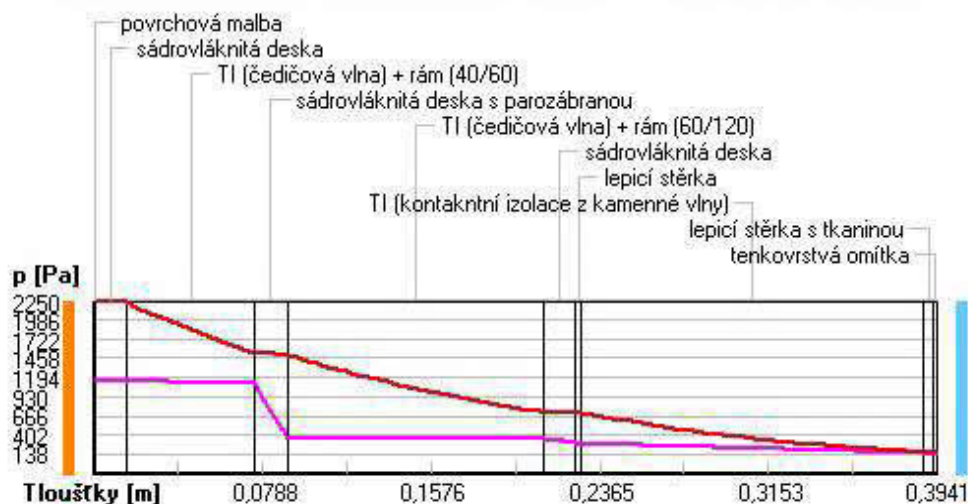
rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	e
theta [C]:	19.4	19.4	19.2	13.3	13.1	2.2	2.0	2.0	-14.8	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1168	1165	1132	1122	364	344	311	286	155	142	138
p,sat [Pa]:	2250	2250	2219	1525	1503	716	705	704	169	168	168

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Část. tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Rel. vlhkosti v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry G_d : 3.369E-0008 kg/(m².s)

Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

Rozmezí relativních vlhkostí v jednotlivých materiálech (pro poslední roční cyklus):

Číslo	Název	Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok				
		pod 60%	60-70%	70-80%	80-90%	nad 90%
1	povrchová malba	182	183	---	---	---
2	sádrovláknitá	182	183	---	---	---
3	TI (čedičová v	---	273	92	---	---
4	sádrovláknitá	---	273	92	---	---

5	TI (čedičová v	212	153	---	---	---
6	sádrovláknitá	212	153	---	---	---
7	lepící stěrka	212	153	---	---	---
8	TI (kontaktní	---	122	182	61	---
9	lepící stěrka	---	122	182	61	---
10	tenkovrstvá om	---	153	182	30	---

Poznámka: S pomocí této tabulky lze zjednodušeně odhadnout, jaké je riziko dosažení nepřipustné hmotnostní vlhkosti materiálu či riziko jeho koroze.

Konkrétně pro dřevo předepisuje ČSN 730540-2/Z1 maximální přípustnou hmotnostní vlhkost 18 %. Ze sorpční křivky pro daný typ dřeva lze odvodit, při jaké relativní vlhkosti vzduchu dosahuje dřevo této kritické hmotnostní vlhkosti. Obvykle jde o cca 80 %.

Pokud je v tabulce výše pro dřevo uveden dlouhodobější výskyt relativní vlhkosti nad 80 %, lze předpokládat, že požadavek ČSN 730540-2 na maximální hmotnostní vlhkost dřeva nebude splněn.

SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

Teplo 2017 tepelná ochrana budov (ČSN 730540, EN ISO 6946, EN ISO 13788)

Název kce	Typ	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	Ma,max[kg/m ²]	Odpaření	DeltaT10 [C]
jednoplášťová stěna_dif. uzvařená stěna		7.878	0.124	nedochází ke kondenzaci v.p.		---

Vysvětlivky:

R	tepelný odpor konstrukce
U	součinitel prostupu tepla konstrukce
Ma,max	maximální množství zkond. vodní páry v konstrukci za rok
DeltaT10	pokles dotykové teploty podlahové konstrukce.

KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2017

Název úlohy : **jednoplášťová stěna_dif. uzvařená**
Zpracovatel : TT 2017
Zakázka : DP
Datum : 27.09.2020

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější jednoplášťová
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m²K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m ³]	Mi [-]	Ma [kg/m ²]
1	povrchová malb	0,0001	0,7000	900,0	1500,0	200,0	0.0000
2	SDK desky	0,0150	0,2200	1060,0	750,0	9,0	0.0000
3	TI (čedičová v	0,0600	0,0480*	1059,8	91,8	1,0	0.0000
4	fóliová parozá	0,0010	0,2100	1470,0	1270,0	10000,0	0.0000
5	OSB desky	0,0150	0,1300	1700,0	650,0	50,0	0.0000
6	TI (čedičová v	0,1200	0,0520*	1246,8	142,4	1,0	0.0000
7	OSB desky	0,0150	0,1300	1700,0	650,0	50,0	0.0000
8	lepicí stěrka	0,0030	0,8000	920,0	1300,0	50,0	0.0000
9	TI (kontaktní	0,1600	0,0400	1270,0	15,0	20,0	0.0000
10	lepicí stěrka	0,0040	0,4400	790,0	1200,0	20,0	0.0000
11	tenkovrstvá om	0,0020	0,6000	1000,0	1110,0	10,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

* ekvival. tep. vodivost s vlivem tepelných mostů, stanovena interním výpočtem

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	povrchová malba	---
2	SDK desky	---
3	TI (čedičová vlna) + rám (40/60)	

vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946

Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.040 W/(m.K)
Tep. vodivost tep. mostů: 0.180 W/(m.K)
Šířka tepelných mostů: 0.0400 m

Tloušťka tepelných mostů: 0.0600 m
Os. vzdálenost tep. mostů: 0.6250 m

- 4 fóliová parozábrana ---
- 5 OSB desky ---
- 6 TI (čedičová vlna) + rám (60/120) ---

vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946

Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.040 W/(m.K)
Tep. vodivost tep. mostů: 0.180 W/(m.K)
Šířka tepelných mostů: 0.0600 m
Tloušťka tepelných mostů: 0.1200 m
Os. vzdálenost tep. mostů: 0.6250 m

- 7 OSB desky ---
- 8 lepicí stěrka pro TI ---
- 9 TI (kontaktní - fadsádní EPS) ---
- 10 lepicí stěrka s tkaninou ---
- 11 tenkovrstvá omítka ---

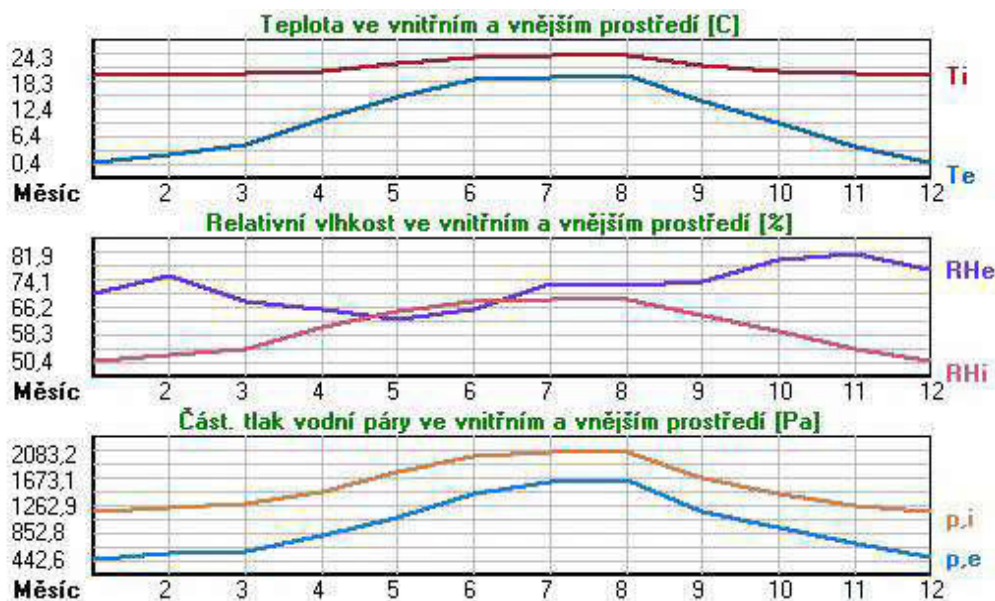
Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m²K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi : 0.25 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m²K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse : 0.04 m²K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -15.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 20.6 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 50.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]
1	31 744	20.0	50.5	1179.0	0.4	70.2	442.6
2	28 672	20.0	52.3	1222.9	2.4	75.6	547.4
3	31 744	20.1	54.2	1278.9	4.2	67.7	558.8
4	30 720	20.7	60.1	1467.2	10.1	65.3	807.9
5	31 744	22.5	64.9	1762.3	15.1	62.6	1070.2
6	30 720	24.0	67.9	2020.6	18.9	65.6	1435.5
7	31 744	24.2	68.4	2066.0	19.3	73.4	1640.1
8	31 744	24.3	68.6	2083.2	19.7	72.6	1669.7
9	30 720	22.1	64.0	1698.4	14.1	73.7	1181.0
10	31 744	20.5	59.2	1429.4	9.2	79.9	930.3
11	30 720	20.1	54.2	1274.6	4.1	81.9	672.6
12	31 744	20.0	50.4	1178.3	0.4	77.4	487.0

Poznámka: Tai, RHi a Pi jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a Te, RHe a Pe jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).



Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 0.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 7.878 m²K/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.124 W/m²K**

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.14 / 0.17 / 0.22 / 0.32 W/m²K
Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor a tepelně akumulční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce Z_{pT} : 8.1E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny* podle EN ISO 13786 : 639.6
Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 12.6 h

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 19.51 C
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : **0.969**

Obě hodnoty platí pro odpor při přestupu tepla na vnitřní straně R_{si}=0,25 m²K/W.

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	80%		100%		T _{si} [C]	f _{Rsi}	RH _{si} [%]
	T _{si} ,m[C]	f _{Rsi} ,m	T _{si} ,m[C]	f _{Rsi} ,m	T _{si} [C]	f _{Rsi}	RH _{si} [%]
1	12.8	0.630	9.4	0.458	19.4	0.969	52.4
2	13.3	0.621	9.9	0.430	19.5	0.969	54.1
3	14.0	0.615	10.6	0.402	19.7	0.969	55.9
4	16.1	0.569	12.7	0.243	20.4	0.969	61.3
5	19.0	0.540	15.5	0.062	22.2	0.969	65.8
6	21.3	0.462	17.7	-----	23.8	0.969	68.5
7	21.6	0.475	18.0	-----	24.1	0.969	69.0
8	21.8	0.443	18.2	-----	24.2	0.969	69.2
9	18.5	0.550	14.9	0.112	21.8	0.969	65.0
10	15.7	0.577	12.3	0.272	20.2	0.969	60.5
11	14.0	0.615	10.6	0.402	19.6	0.969	55.8
12	12.8	0.630	9.4	0.458	19.4	0.969	52.3

Poznámka: RH_{si} je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, T_{si} je vnitřní povrchová teplota a f_{Rsi} je teplotní faktor.

Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

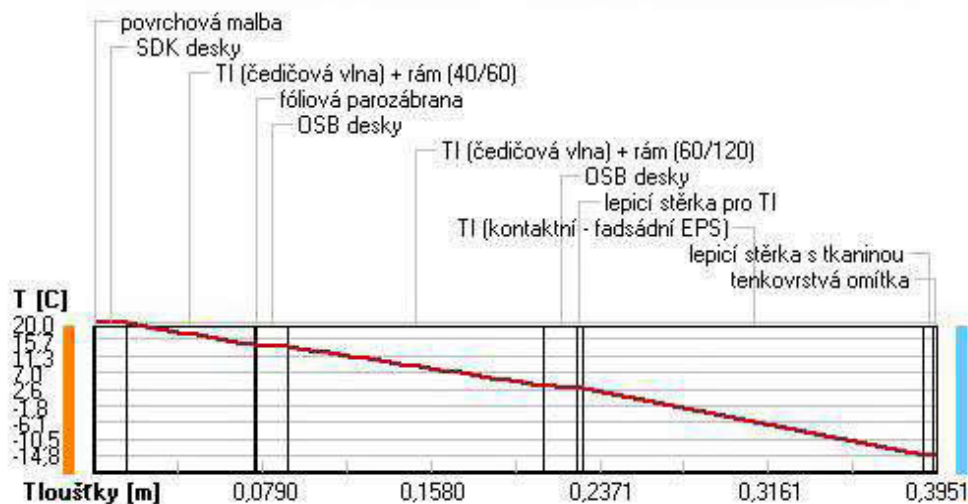
Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10
theta [C]:	20.0	20.0	19.7	14.2	14.2	13.7	3.5	2.9	2.9	-14.8
p [Pa]:	1213	1211	1202	1197	495	442	434	381	370	145
p,sat [Pa]:	2341	2340	2297	1618	1616	1563	782	754	753	168

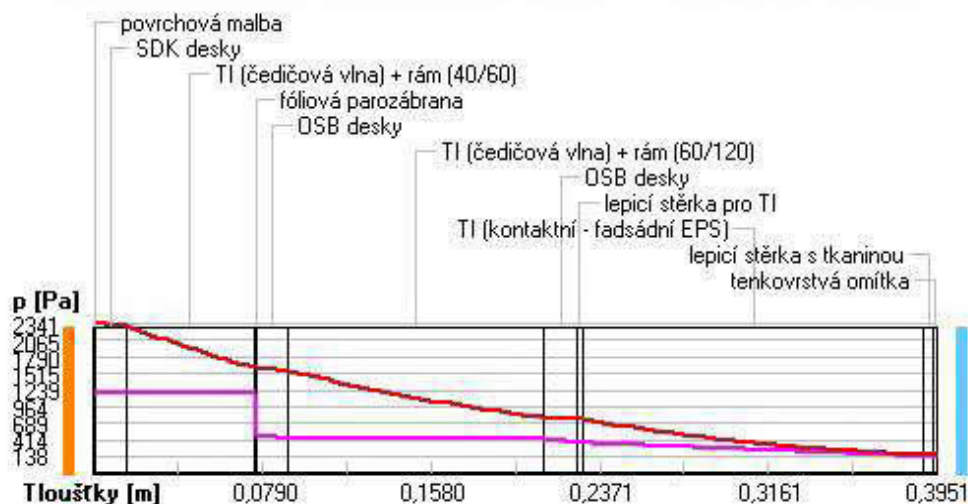
rozhraní:	10-11	e
theta [C]:	-14.8	-14.8
p [Pa]:	140	138
p,sat [Pa]:	168	167

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

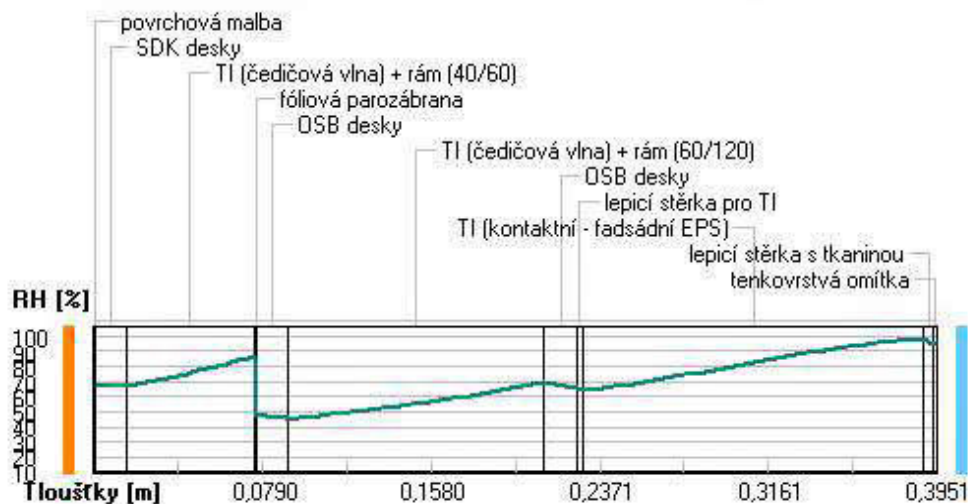
Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Část. tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Rel. vlhkosti v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry G_d : 1.405E-0008 kg/(m².s)

Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

Rozmezí relativních vlhkostí v jednotlivých materiálech (pro poslední roční cyklus):

Číslo	Název	Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok				
		pod 60%	60-70%	70-80%	80-90%	nad 90%
1	povrchová malba	182	183	---	---	---
2	SDK desky	151	214	---	---	---
3	TI (čedičová v	---	273	92	---	---
4	fóliová parozá	---	273	92	---	---

5	OSB desky	303	62	---	---	---
6	TI (čedičová v	212	153	---	---	---
7	OSB desky	212	153	---	---	---
8	lepicí stěrka	212	153	---	---	---
9	TI (kontaktní	---	122	213	30	---
10	lepicí stěrka	---	122	213	30	---
11	tenkovrstvá om	---	153	182	30	---

Poznámka: S pomocí této tabulky lze zjednodušeně odhadnout, jaké je riziko dosažení nepřipustné hmotnostní vlhkosti materiálu či riziko jeho koroze.

Konkrétně pro dřevo předepisuje ČSN 730540-2/Z1 maximální přípustnou hmotnostní vlhkost 18 %. Ze sorpční křivky pro daný typ dřeva lze odvodit, při jaké relativní vlhkosti vzduchu dosahuje dřevo této kritické hmotnostní vlhkosti. Obvykle jde o cca 80 %.

Pokud je v tabulce výše pro dřevo uvedeno dlouhodobější výskyt relativní vlhkosti nad 80 %, lze předpokládat, že požadavek ČSN 730540-2 na maximální hmotnostní vlhkost dřeva nebude splněn.

SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

Teplo 2017 tepelná ochrana budov (ČSN 730540, EN ISO 6946, EN ISO 13788)

Název kce	Typ	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	Ma,max[kg/m ²]	Odpaření	DeltaT10 [C]
dvouplášťová stěna_U	stěna	7.199	0.134	nedochází ke kondenzaci v.p.		---

Vysvětlivky:

R	tepelný odpor konstrukce
U	součinitel prostupu tepla konstrukce
Ma,max	maximální množství zkond. vodní páry v konstrukci za rok
DeltaT10	pokles dotykové teploty podlahové konstrukce.

KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2017

Název úlohy : **dvouplášťová stěna_U**
Zpracovatel : TT 2017
Zakázka : DP
Datum : 27.09.2020

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější dvouplášťová
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m²K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m ³]	Mi [-]	Ma [kg/m ²]
1	povrchová malb	0,0001	0,7000	900,0	1500,0	200,0	0.0000
2	sádrovláknitá	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	13,0	0.0000
3	TI (čedičová v	0,0600	0,0480*	1011,8	75,9	1,0	0.0000
4	sádrovláknitá	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	300,0	0.0000
5	TI (čedičová v	0,1200	0,0520*	1112,6	97,6	1,0	0.0000
6	sádrovláknitá	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	13,0	0.0000
7	TI (čedičová v	0,1400	0,0400	964,2	65,5	1,0	0.0000
8	pojistná HI fó	0,0003	0,3500	1470,0	480,0	200,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

* ekvival. tep. vodivost s vlivem tepelných mostů, stanovena interním výpočtem

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	povrchová malba	---
2	sádrovláknitá deska	---
3	TI (čedičová vlna) + rám (40/60)	vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946 Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.040 W/(m.K) Tep. vodivost tep. mostů: 0.180 W/(m.K) Šířka tepelných mostů: 0.0400 m Tloušťka tepelných mostů: 0.0600 m Os. vzdálenost tep. mostů: 0.6250 m
4	sádrovláknitá deska s parozábranou	

5 TI (čedičová vlna) + rám (60/120)

vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946

Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.040 W/(m.K)

Tep. vodivost tep. mostů: 0.180 W/(m.K)

Šířka tepelných mostů: 0.0600 m

Tloušťka tepelných mostů: 0.1200 m

Os. vzdálenost tep. mostů: 0.6250 m

6 sádrovláknitá deska

7 TI (čedičová vlna) + rám (80/160)

8 pojistná HI fólie

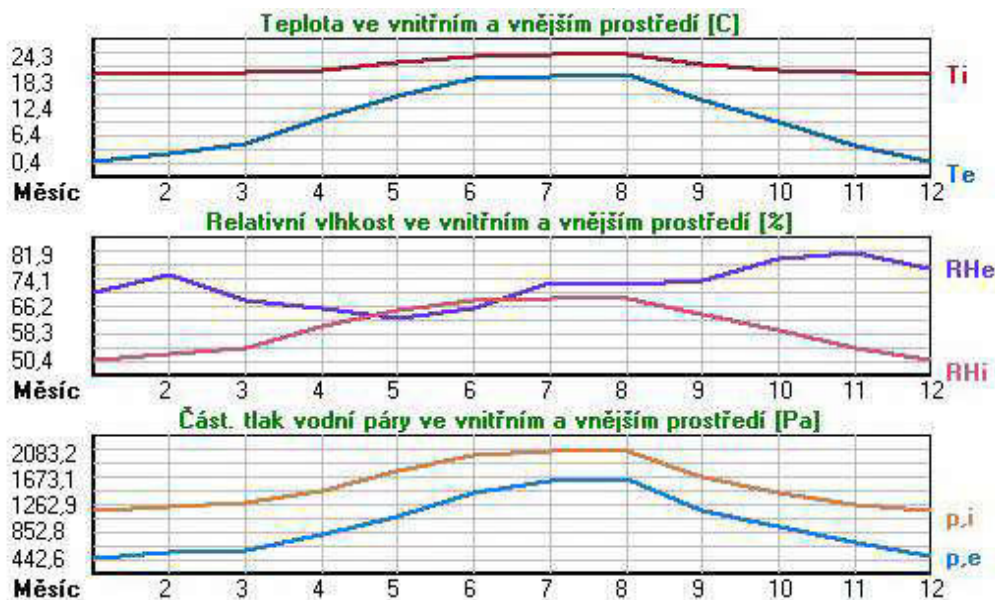
Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0.13 m²K/W
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{si} : 0.25 m²K/W
 Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0.13 m²K/W
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{se} : 0.13 m²K/W

Návrhová venkovní teplota T_e : -15.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 20.0 C
 Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu R_{He} : 84.0 %
 Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu R_{Hi} : 50.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	T_{ai} [C]	R_{Hi} [%]	P_i [Pa]	T_e [C]	R_{He} [%]	P_e [Pa]	
1	31	744	20.0	50.5	1179.0	0.4	70.2	442.6
2	28	672	20.0	52.3	1222.9	2.4	75.6	547.4
3	31	744	20.1	54.2	1278.9	4.2	67.7	558.8
4	30	720	20.7	60.1	1467.2	10.1	65.3	807.9
5	31	744	22.5	64.9	1762.3	15.1	62.6	1070.2
6	30	720	24.0	67.9	2020.6	18.9	65.6	1435.5
7	31	744	24.2	68.4	2066.0	19.3	73.4	1640.1
8	31	744	24.3	68.6	2083.2	19.7	72.6	1669.7
9	30	720	22.1	64.0	1698.4	14.1	73.7	1181.0
10	31	744	20.5	59.2	1429.4	9.2	79.9	930.3
11	30	720	20.1	54.2	1274.6	4.1	81.9	672.6
12	31	744	20.0	50.4	1178.3	0.4	77.4	487.0

Poznámka: T_{ai} , R_{Hi} a P_i jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a T_e , R_{He} a P_e jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).



Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 0.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Teplotní odpor konstrukce R : 7.199 m²K/W
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.134 W/m²K**

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.15 / 0.18 / 0.23 / 0.33 W/m²K
 Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor a tepelně akumulční vlastnosti:

Difuzní odpor konstrukce Z_{pT} : 2.8E+0010 m/s
 Teplotní útlum konstrukce Ny* podle EN ISO 13786 : 476.4
 Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 12.4 h

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 18.85 C
 Teplotní faktor v návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : **0.967**

Obě hodnoty platí pro odpor při přestupu tepla na vnitřní straně R_{si}=0,25 m²K/W.

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	----- 80% -----		----- 100% -----		T _{si} [C]	f _{Rsi}	RH _{si} [%]
	T _{si} ,m[C]	f _{Rsi} ,m	T _{si} ,m[C]	f _{Rsi} ,m	T _{si} [C]	f _{Rsi}	RH _{si} [%]
1	12.8	0.630	9.4	0.458	19.4	0.967	52.5
2	13.3	0.621	9.9	0.430	19.4	0.967	54.3
3	14.0	0.615	10.6	0.402	19.6	0.967	56.0
4	16.1	0.569	12.7	0.243	20.4	0.967	61.4
5	19.0	0.540	15.5	0.062	22.2	0.967	65.9
6	21.3	0.462	17.7	-----	23.8	0.967	68.6
7	21.6	0.475	18.0	-----	24.0	0.967	69.1
8	21.8	0.443	18.2	-----	24.1	0.967	69.2
9	18.5	0.550	14.9	0.112	21.8	0.967	65.1
10	15.7	0.577	12.3	0.272	20.1	0.967	60.6
11	14.0	0.615	10.6	0.402	19.6	0.967	56.0
12	12.8	0.630	9.4	0.458	19.4	0.967	52.5

Poznámka: RH_{si} je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, T_{si} je vnitřní povrchová teplota a f_{Rsi} je teplotní faktor.

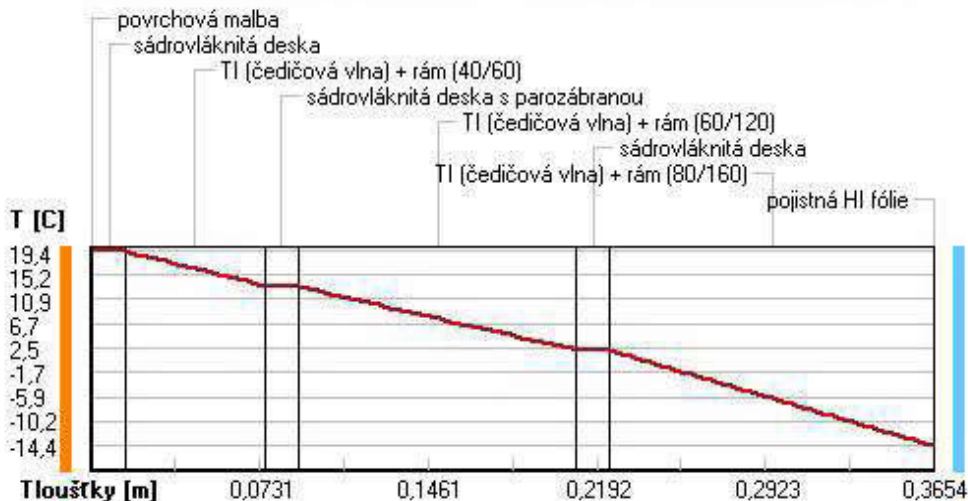
Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

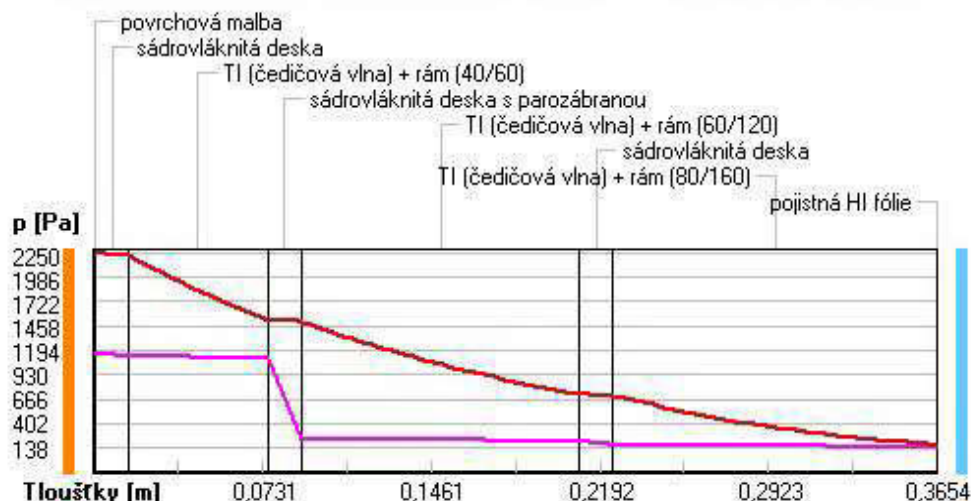
rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	e
theta [C]:	19.4	19.4	19.2	13.3	13.1	2.3	2.0	-14.4	-14.4
p [Pa]:	1168	1165	1127	1115	237	213	175	148	138
p,sat [Pa]:	2250	2250	2219	1527	1505	718	707	174	174

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

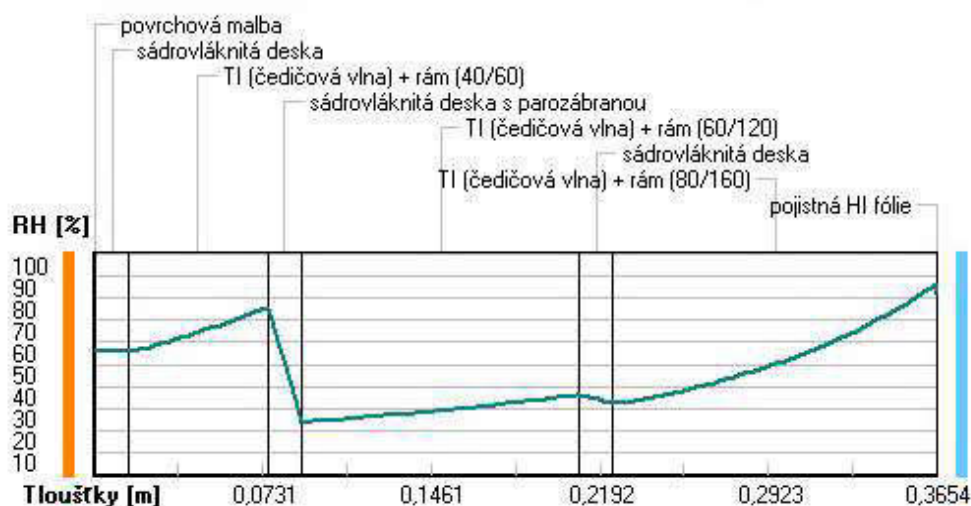
Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Část. tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Rel. vlhkosti v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry G_d : 3.902E-0008 kg/(m².s)

Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

Rozmezí relativních vlhkostí v jednotlivých materiálech (pro poslední roční cyklus):

Číslo	Název	Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok				
		pod 60%	60-70%	70-80%	80-90%	nad 90%
1	povrchová malb	182	183	---	---	---
2	sádrovláknitá	182	183	---	---	---
3	TI (čedičová v	---	273	92	---	---
4	sádrovláknitá	---	273	92	---	---
5	TI (čedičová v	303	62	---	---	---
6	sádrovláknitá	303	62	---	---	---
7	TI (čedičová v	---	153	182	30	---
8	pojistná HI fó	---	153	182	30	---

Poznámka: S pomocí této tabulky lze zjednodušeně odhadnout, jaké je riziko dosažení nepřipustné hmotnostní vlhkosti materiálu či riziko jeho koroze.

Konkrétně pro dřevo předepisuje ČSN 730540-2/Z1 maximální přípustnou hmotnostní vlhkost 18 %. Ze sorpční křivky pro daný typ dřeva lze odvodit, při jaké relativní vlhkosti vzduchu dosahuje dřevo této kritické hmotnostní vlhkosti. Obvykle jde o cca 80 %.

Pokud je v tabulce výše pro dřevo uveden dlouhodobější výskyt relativní vlhkosti nad 80 %, lze předpokládat, že požadavek ČSN 730540-2 na maximální hmotnostní vlhkost dřeva nebude splněn.

Teplo 2017, (c) 2016 Svoboda Software

SHRnutí VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKcí

Teplo 2017 tepelná ochrana budov (ČSN 730540, EN ISO 6946, EN ISO 13788)

Název kce	Typ	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	Ma,max[kg/m ²]	Odpaření	DeltaT10 [C]
podlaha (zák. pasy)	podlaha	4.287	0.224	0.1116	ne	---

Vysvětlivky:

R	tepelný odpor konstrukce
U	součinitel prostupu tepla konstrukce
Ma,max	maximální množství zkond. vodní páry v konstrukci za rok
DeltaT10	pokles dotykové teploty podlahové konstrukce.

KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2017

Název úlohy : **podlaha (zák. pasy)**
Zpracovatel : TT 2017
Zakázka : DP
Datum : 27.09.2020

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Podlaha na zemině
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m²K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m ³]	Mi [-]	Ma [kg/m ²]
1	keramická dlaž	0,0100	1,0100	840,0	2000,0	200,0	0.0000
2	lepidlo na ker	0,0050	0,6000	1010,0	1800,0	150,0	0.0000
3	samonivelační	0,0050	1,4000	840,0	1550,0	40,0	0.0000
4	betonová mazan	0,0600	1,2300	1020,0	2100,0	17,0	0.0000
5	tepelná izolac	0,1600	0,0400	1270,0	21,0	50,0	0.0000
6	HI asfaltový p	0,0040	0,2100	1470,0	1200,0	20000,0	0.0000
7	podkladní beto	0,1500	1,2300	1020,0	2100,0	17,0	0.0000
8	zhutněný štěr	0,1500	2,0000	1010,0	2000,0	50,0	0.0000
9 †	půda písčítá v	2,0000	2,3000	920,0	2000,0	2,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

† vrstva se neuvažuje při výpočtu tep. odporu, součinitele prostupu tepla a teplotního faktoru

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	keramická dlažba	---
2	lepidlo na keramickou dlažbu	---
3	samonivelační stěrka	---
4	betonová mazanina	---
5	tepelná izolace - EPS	---
6	HI asfaltový pás	---
7	podkladní beton	---
8	zhutněný štěrkopískový násyp	---

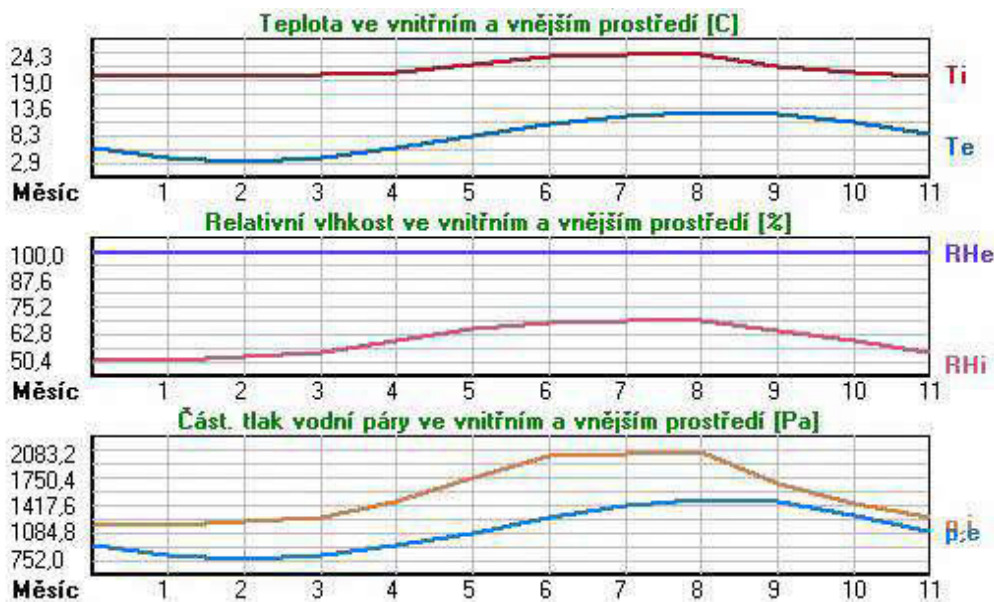
Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0.17 m²K/W
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{si} : 0.25 m²K/W
 Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0.00 m²K/W
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{se} : 0.00 m²K/W

Návrhová venkovní teplota T_e : 5.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 20.0 C
 Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu R_{He} : 100.0 %
 Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu R_{Hi} : 50.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	T_{ai} [C]	R_{Hi} [%]	P_i [Pa]	T_e [C]	R_{He} [%]	P_e [Pa]
1	31 744	20.0	50.5	1179.0	3.9	100.0	807.1
2	28 672	20.0	52.3	1222.9	2.9	100.0	752.0
3	31 744	20.1	54.2	1278.9	3.9	100.0	807.1
4	30 720	20.7	60.1	1467.2	5.7	100.0	915.4
5	31 744	22.5	64.9	1762.3	8.1	100.0	1079.5
6	30 720	24.0	67.9	2020.6	10.6	100.0	1277.5
7	31 744	24.2	68.4	2066.0	12.2	100.0	1420.4
8	31 744	24.3	68.6	2083.2	12.9	100.0	1487.2
9	30 720	22.1	64.0	1698.4	12.6	100.0	1458.2
10	31 744	20.5	59.2	1429.4	10.8	100.0	1294.7
11	30 720	20.1	54.2	1274.6	8.4	100.0	1101.8
12	31 744	20.0	50.4	1178.3	5.8	100.0	921.8

Poznámka: T_{ai} , R_{Hi} a P_i jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a T_e , R_{He} a P_e jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).



Průměrná měsíční venkovní teplota T_e byla vypočtena podle čl. 4.2.3 v EN ISO 13788 (vliv tepelné setrvačnosti zeminy).

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 0.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :**Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:**

Tepelný odpor konstrukce R : 4.287 m²K/W
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.224 W/m²K**

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.24 / 0.27 / 0.32 / 0.42 W/m²K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor a tepelně akumulční vlastnosti:

Difuzní odpor konstrukce ZpT : 5.6E+0011 m/s
Teplotní útlum konstrukce Ny* podle EN ISO 13786 : 235.5
Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 13.7 h

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách Tsi,p : 19.17 C
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f,Rsi,p : **0.945**

Obě hodnoty platí pro odpor při přestupu tepla na vnitřní straně Rsi=0,25 m2K/W.

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	----- 80% -----		----- 100% -----		Tsi[C]	f,Rsi	RHsi[%]
	Tsi,m[C]	f,Rsi,m	Tsi,m[C]	f,Rsi,m	Tsi[C]	f,Rsi	RHsi[%]
1	12.8	0.550	9.4	0.342	19.1	0.945	53.3
2	13.3	0.609	9.9	0.412	19.1	0.945	55.5
3	14.0	0.622	10.6	0.413	19.3	0.945	57.3
4	16.1	0.696	12.7	0.466	19.9	0.945	63.2
5	19.0	0.763	15.5	0.517	21.7	0.945	68.1
6	21.3	0.798	17.7	0.529	23.2	0.945	71.0
7	21.6	0.785	18.0	0.485	23.5	0.945	71.2
8	21.8	0.777	18.2	0.461	23.7	0.945	71.2
9	18.5	0.619	14.9	0.248	21.5	0.945	66.1
10	15.7	0.508	12.3	0.154	20.0	0.945	61.2
11	14.0	0.474	10.6	0.185	19.5	0.945	56.4
12	12.8	0.490	9.4	0.253	19.2	0.945	52.9

Poznámka: RHsi je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, Tsi je vnitřní povrchová teplota a f,Rsi je teplotní faktor.

Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

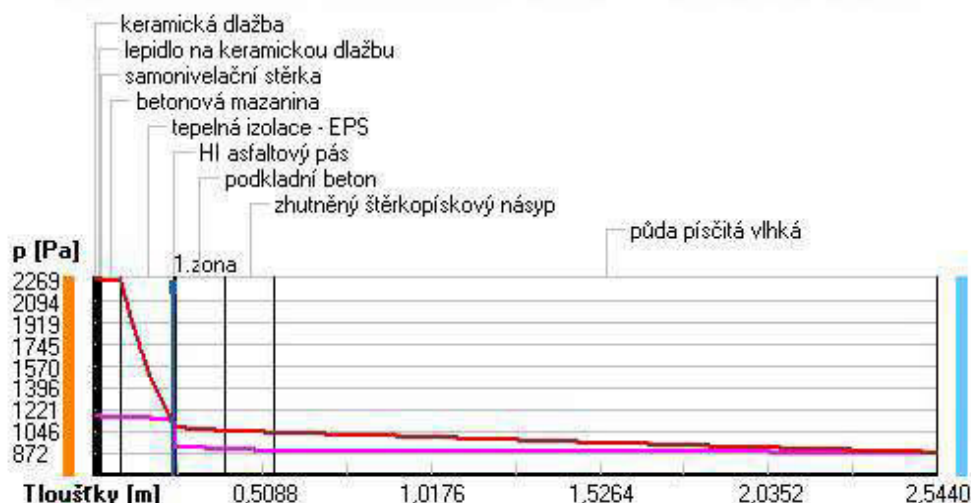
rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	e
theta [C]:	19.5	19.5	19.5	19.5	19.3	8.1	8.0	7.7	7.4	5.0
p [Pa]:	1168	1163	1161	1160	1157	1135	911	904	883	872
p,sat [Pa]:	2269	2265	2261	2260	2241	1076	1072	1048	1033	872

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Část. tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Rel. vlhkosti v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	Hranice kondenzační zóny pravá [m]	Kondenzující množství vodní páry [kg/(m2s)]
1	0.2400	0.2400	1.103E-0009

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: **0.0060 kg/(m2.rok)**

Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: **0.1876 kg/(m2.rok)**

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 10.0 C.

Poznámka: Vypočtená celoroční bilance má pouze informativní charakter, protože výchozí venkovní teplota nebyla zadána v rozmezí od -10 do -21 C. Uvedený výsledek byl vypočten za předpokladu, že se konstrukce nachází v teplotní oblasti -15 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci dochází během modelového roku ke kondenzaci.

Kondenzační zóna č. 1



Měsíc	Hranice kond.zóny v m od interiéru		Dif.tok do/ze zóny v kg/m² za měsíc		Kondenz./vypař. v kg/m² za měsíc Mc/Mev	Akumul. vlhkost v kg/m² za měsíc Ma
	levá	pravá	g,in	g,out		
12	0.2400	0.2400	0.0024	0.0012	0.0013	0.0013
1	0.2400	0.2400	0.0072	0.0011	0.0060	0.0075
2	0.2400	0.2400	0.0106	0.0011	0.0096	0.0171
3	0.2400	0.2400	0.0118	0.0012	0.0106	0.0276
4	0.2400	0.2400	0.0146	0.0012	0.0135	0.0411
5	0.2400	0.2400	0.0201	0.0013	0.0187	0.0598
6	0.2400	0.2400	0.0213	0.0014	0.0199	0.0797
7	0.2400	0.2400	0.0179	0.0014	0.0165	0.0962
8	0.2400	0.2400	0.0158	0.0014	0.0145	0.1107
9	0.2400	0.2400	0.0020	0.0011	0.0009	0.1116
10	0.2400	0.2400	-0.0021	0.0010	-0.0031	0.1085
11	0.2400	0.2400	-0.0008	0.0011	-0.0019	0.1066

Max. množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: **0.1116 kg/m²**

Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: **0.0050 kg/m²**

z toho se odpaří do exteriéru: 0.0021 kg/m²

..... a do interiéru: 0.0029 kg/m²

Na konci modelového roku je zóna stále vlhká (tj. $M_{c,a} > M_{ev,a}$).

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

Rozmezí relativních vlhkostí v jednotlivých materiálech (pro poslední roční cyklus):

Číslo	Název	Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok				
		pod 60%	60-70%	70-80%	80-90%	nad 90%
1	keramická dlaž	151	152	62	---	---
2	lepidlo na ker	181	184	---	---	---
3	samonivelační	181	184	---	---	---
4	betonová mazan	181	184	---	---	---
5	tepelná izolac	---	---	---	---	365
6	HI asfaltový p	---	---	---	---	365
7	podkladní beto	---	---	---	304	61
8	zhuťněný šterk	---	---	---	304	61
9	půda písčítá v	---	---	---	---	365

Poznámka: S pomocí této tabulky lze zjednodušeně odhadnout, jaké je riziko dosažení nepřijatelné hmotnostní vlhkosti materiálu či riziko jeho koroze.

Konkrétně pro dřevo předepisuje ČSN 730540-2/Z1 maximální přípustnou hmotnostní vlhkost 18 %. Ze sorpční křivky pro daný typ dřeva lze odvodit, při jaké relativní vlhkosti vzduchu dosahuje dřevo této kritické hmotnostní vlhkosti. Obvykle jde o cca 80 %.

Pokud je v tabulce výše pro dřevo uveden dlouhodobější výskyt relativní vlhkosti nad 80 %, lze předpokládat, že požadavek ČSN 730540-2 na maximální hmotnostní vlhkost dřeva nebude splněn.

Teplo 2017, (c) 2016 Svoboda Software

SHRnutí VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKcí

Teplo 2017 tepelná ochrana budov (ČSN 730540, EN ISO 6946, EN ISO 13788)

Název kce	Typ	R [m2K/W]	U [W/m2K]	Ma,max[kg/m2]	Odpaření	DeltaT10 [C]
podlaha (zák. deska)	podlaha	6.516	0.150	nedochází ke kondenzaci v.p.		---

Vysvětlivky:

R	tepelný odpor konstrukce
U	součinitel prostupu tepla konstrukce
Ma,max	maximální množství zkond. vodní páry v konstrukci za rok
DeltaT10	pokles dotykové teploty podlahové konstrukce.

KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2017

Název úlohy : **podlaha (zák. deska)**

Zpracovatel : TT 2017

Zakázka : DP

Datum : 27.09.2020

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Podlaha na zemině

Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m2K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m3]	Mi [-]	Ma [kg/m2]
1	keramická dlaž	0,0100	1,0100	840,0	2000,0	200,0	0.0000
2	lepidlo na ker	0,0050	0,6000	1010,0	1800,0	150,0	0.0000
3	samonivelační	0,0050	1,4000	840,0	1550,0	40,0	0.0000
4	betonová mazan	0,0600	1,2300	1020,0	2100,0	17,0	0.0000
5	HI asfaltový p	0,0040	0,2100	1470,0	1200,0	20000,0	0.0000
6	ŽB deska	0,1600	1,5800	1020,0	2400,0	29,0	0.0000
7	šterk z pěnové	0,5000	0,0800	840,0	120,0	40000,0	0.0000
8	drenážní vrstv	0,1500	2,0000	1010,0	2000,0	50,0	0.0000
9 †	půda písčitá v	2,0000	2,3000	920,0	2000,0	2,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

† vrstva se neuvažuje při výpočtu tep. odporu, součinitele prostupu tepla a teplotního faktoru

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	keramická dlažba	---
2	lepidlo na keramickou dlažbu	---
3	samonivelační šterka	---
4	betonová mazanina	---
5	HI asfaltový pás	---
6	ŽB deska	---
7	šterk z pěnového skla	---
8	drenážní vrstva	---

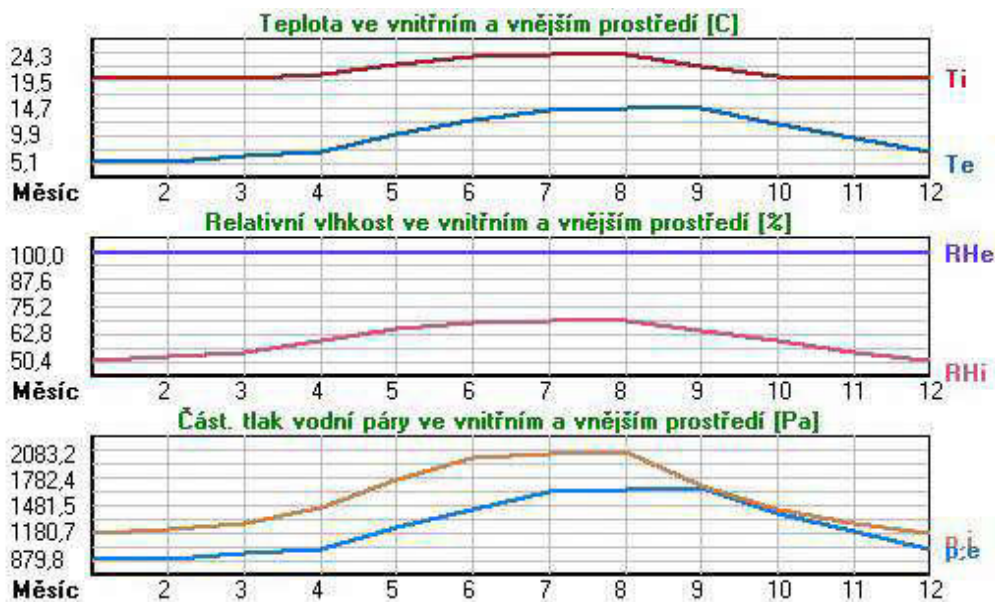
Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0.17 m²K/W
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{si} : 0.25 m²K/W
 Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0.00 m²K/W
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{se} : 0.00 m²K/W

Návrhová venkovní teplota T_e : 5.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 20.0 C
 Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu R_{He} : 100.0 %
 Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu R_{Hi} : 50.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	T_{ai} [C]	R_{Hi} [%]	P_i [Pa]	T_e [C]	R_{He} [%]	P_e [Pa]
1	31 744	20.0	50.5	1179.0	5.1	100.0	879.8
2	28 672	20.0	52.3	1222.9	5.1	100.0	880.4
3	31 744	20.1	54.2	1278.9	6.1	100.0	941.1
4	30 720	20.7	60.1	1467.2	7.0	100.0	1002.7
5	31 744	22.5	64.9	1762.3	10.0	100.0	1225.7
6	30 720	24.0	67.9	2020.6	12.4	100.0	1443.9
7	31 744	24.2	68.4	2066.0	14.4	100.0	1638.6
8	31 744	24.3	68.6	2083.2	14.6	100.0	1656.7
9	30 720	22.1	64.0	1698.4	14.8	100.0	1681.5
10	31 744	20.5	59.2	1429.4	11.9	100.0	1396.3
11	30 720	20.1	54.2	1274.6	9.5	100.0	1189.2
12	31 744	20.0	50.4	1178.3	7.0	100.0	1000.7

Poznámka: T_{ai} , R_{Hi} a P_i jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a T_e , R_{He} a P_e jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).



Průměrná měsíční venkovní teplota T_e byla vypočtena podle čl. 4.2.3 v EN ISO 13788 (vliv tepelné setrvačnosti zeminy).

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 0.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :**Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:**

Tepelný odpor konstrukce R : 6.516 m²K/W
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.150 W/m²K**

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.17 / 0.20 / 0.25 / 0.35 W/m²K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor a tepelně akumulční vlastnosti:

Difuzní odpor konstrukce ZpT : 1.0E+0014 m/s
Teplotní útlum konstrukce Ny* podle EN ISO 13786 : 1846.6
Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 22.3 h

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách Tsi,p : 19.45 C
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f,Rsi,p : 0.963

Obě hodnoty platí pro odpor při přestupu tepla na vnitřní straně Rsi=0,25 m2K/W.

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	80%		100%		Tsi[C]	f,Rsi	RHsi[%]
	Tsi,m[C]	f,Rsi,m	Tsi,m[C]	f,Rsi,m	Tsi[C]	f,Rsi	RHsi[%]
1	12.8	0.513	9.4	0.287	19.5	0.963	52.2
2	13.3	0.551	9.9	0.323	19.5	0.963	54.1
3	14.0	0.563	10.6	0.321	19.6	0.963	56.0
4	16.1	0.666	12.7	0.414	20.2	0.963	62.0
5	19.0	0.727	15.5	0.444	22.0	0.963	66.7
6	21.3	0.766	17.7	0.454	23.5	0.963	69.7
7	21.6	0.737	18.0	0.370	23.8	0.963	69.9
8	21.8	0.739	18.2	0.369	23.9	0.963	70.1
9	18.5	0.505	14.9	0.021	21.8	0.963	65.1
10	15.7	0.442	12.3	0.041	20.2	0.963	60.4
11	14.0	0.418	10.6	0.098	19.7	0.963	55.5
12	12.8	0.443	9.4	0.185	19.5	0.963	51.9

Poznámka: RHsi je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, Tsi je vnitřní povrchová teplota a f,Rsi je teplotní faktor.

Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

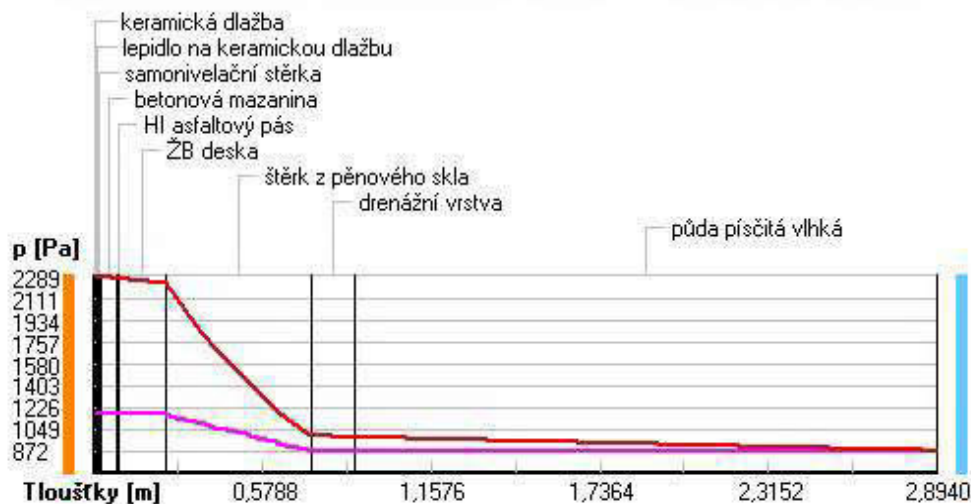
rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	e
theta [C]:	19.7	19.6	19.6	19.6	19.5	19.5	19.3	6.9	6.7	5.0
p [Pa]:	1168	1168	1168	1168	1168	1167	1167	872	872	872
p,sat [Pa]:	2289	2286	2283	2282	2269	2263	2235	993	983	872

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Část. tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Rel. vlhkosti v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry G_d : 2.951E-0012 kg/(m².s)

Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

Rozmezí relativních vlhkostí v jednotlivých materiálech (pro poslední roční cyklus):

Číslo	Název	Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok				
		pod 60%	60-70%	70-80%	80-90%	nad 90%
1	keramická dlaž	182	183	---	---	---

2	lepidlo na ker	151	214	---	---	---
3	samonivelační	151	214	---	---	---
4	betonová mazan	151	214	---	---	---
5	HI asfaltový p	151	214	---	---	---
6	ŽB deska	151	122	92	---	---
7	štěrk z pěnové	---	---	---	151	214
8	drenážní vrstv	---	---	---	120	245
9	půda písčítá v	---	---	---	---	365

Poznámka: S pomocí této tabulky lze zjednodušeně odhadnout, jaké je riziko dosažení nepřipustné hmotnostní vlhkosti materiálu či riziko jeho koroze.

Konkrétně pro dřevo předepisuje ČSN 730540-2/Z1 maximální přípustnou hmotnostní vlhkost 18 %. Ze sorpční křivky pro daný typ dřeva lze odvodit, při jaké relativní vlhkosti vzduchu dosahuje dřevo této kritické hmotnostní vlhkosti. Obvykle jde o cca 80 %.

Pokud je v tabulce výše pro dřevo uveden dlouhodobější výskyt relativní vlhkosti nad 80 %, lze předpokládat, že požadavek ČSN 730540-2 na maximální hmotnostní vlhkost dřeva nebude splněn.