

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

Analýza obvodových plášťů staveb na bázi dřeva

Bakalářská práce

Autor: Ondřej Jireček

Vedoucí práce: Ing. Miloš Pavelek, Ph.D.

2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ondřej Jireček

Dřevařství
Zpracování dřeva

Název práce

Analýza obvodových plášťů staveb na bázi dřeva

Název anglicky

Wood-Based Building Envelope Analysis

Cíle práce

Cílem práce je analýza obvodových plášťů dřevostaveb z hlediska jednorozměrného šíření tepla a vodní páry. Bakalářská práce bude rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je cílem zpracování literární rešerše zaměřené na konstrukční systémy na bázi dřeva, jednotlivé funkční vrstvy (izolační, parotěsnicí, vzduchotěsnicí, apod.) a používané materiály. Součástí bude problematika stavební fyziky zaměřená na část šíření tepla a vodní páry (základní veličiny a vztahy, požadavky na konstrukce dle platné legislativy).

Cílem praktické části je návrh variant obvodové konstrukce stěny pro čtyři zvolené konstrukční systémy na bázi dřeva (stěnové – roubenka, panely z křížem vrstveného dřeva a skeletové – rámová konstrukce/lehký dřevěný skelet, těžký dřevěný skelet). Dílčím cílem je optimalizace z hlediska jednorozměrného šíření tepla a vodní páry pro (a) nízkoenergetický standard a (b) pasivní standard.

Dalším dílčím cílem je porovnání zvolených konstrukčních systémů na bázi dřeva a doporučení pro použití v daném energetickém standardu.

Metodika

- Literární rešerše
- Návrh variant obvodové konstrukce stěny pro čtyři zvolené konstrukční systémy (stěnové – roubenka, panely z křížem vrstveného dřeva a skeletové – rámová konstrukce, těžký dřevěný skelet)
- Optimalizace konstrukcí z hlediska 1-rozměrného šíření tepla a vodní páry
- Posouzení konstrukcí dle požadavků legislativy
- Diskuze
- Závěr

Harmonogram práce:

- červenec – říjen 2023: literární rešerše

- listopad – prosinec 2023: Návrh variant obvodové konstrukce stěny pro čtyři zvolené konstrukční systémy
- leden – březen 2024: optimalizace konstrukcí z hlediska 1-rozměrného šíření tepla a vodní páry a posouzení konstrukcí dle požadavků legislativy
- duben 2024: odevzdání závěrečné práce



Doporučený rozsah práce

25 – 35 normostran textu + přílohy

Klíčová slova

Dřevostavba; obvodová konstrukce; funkční vrstvy; stavební fyzika.

Doporučené zdroje informací

BLASS, Hans Joachim a Carmen SANDHAAS. Timber Engineering – Principles for Design. 2013. ISBN 3731506734.

ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Český normalizační institut. Praha, Česká republika., 2011.

HERZOG, Thomas. Timber construction manual. Boston: Birkhäuser, 2004. ISBN 978-3-7643-7025-1.

CHYBÍK, Josef. Přírodní stavební materiály. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-2532-1.

KOLB, Josef. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Vyd. 3., přeprac. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2275-7.

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

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Miloš Pavelek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 28. 2. 2024

Ing. Adam Sikora, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2024

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 05. 04. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Analýza obvodových plášťů staveb na bázi dřeva vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 5.4. 2024

Ondřej Jireček

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé práce panu Ing. Miloši Pavelekovi, Ph.D. za odborné rady týkající se problematiky obvodových plášťů dřevostaveb a stavební fyziky. Dále bych chtěl také poděkovat své rodině za podporu při psaní této práce.

Analýza obvodových plášťů staveb na bázi dřeva

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou obvodových plášťů dřevostaveb z hlediska jednorozměrného šíření tepla a vodní páry. Tato práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část, přičemž cílem teoretické části je popsání konstrukčních systémů na bázi dřeva, materiálů používaných na jednotlivé funkční vrstvy obvodových plášťů a problematiky stavební fyziky zaměřené na šíření tepla a vodní páry. Hlavním cílem praktické části je navržení varianty obvodových plášťů pro čtyři vybrané konstrukční systémy. Konkrétně se jedná o konstrukční systém roubené stavby, konstrukční systém z křížem vrstveného dřeva (CLT, Cross Laminated Timber), rámovou konstrukci a konstrukci z těžkého dřevěného skeletu. Tyto konstrukce jsou posouzené na stejnou tloušťku pro jednotné srovnání jejich součinitele prostupu tepla. Dílčím cílem praktické části je optimalizace těchto variant jednotlivých konstrukčních systémů pro normové hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy. Dalším dílčím cílem je porovnání jednotlivých systémů a doporučení pro jejich použití v daném energetickém standardu.

Po optimalizaci jednotlivých variant konstrukčních systémů obvodových plášťů pro pasivní budovy vyplynulo, že nejvýhodnější variantou je konstrukce těžkého skeletu, pro jehož optimalizaci byla tloušťka konstrukce rozšířena nejméně ze všech čtyř analyzovaných variant.

Klíčová slova: Dřevostavba; obvodová konstrukce; funkční vrstvy; stavební fyzika.

Wood-Based Building Envelope Analysis

Abstract

The bachelor thesis deals with the issue of external envelopes of timber constructions in terms of one-dimensional heat and water vapor diffusion. This work is divided into theoretical and practical parts, with the aim of the theoretical part being to describe construction systems based on wood, materials used for individual functional layers of external envelopes, and issues of building physics focused on heat and water vapor diffusion. The main goal of the practical part is to design a variant of external envelopes for four selected construction systems. Specifically, these include log construction, cross-laminated timber (CLT) panels, frame construction, and heavy timber framing. These constructions are evaluated for the same thickness to uniformly compare the heat transfer coefficient for individual constructions. A partial goal of the practical part is to optimize these variants of individual construction systems for normative values of the heat transfer coefficient for passive buildings. Another goal is to compare individual systems and provide recommendations for use in a given energy standard. After optimizing the individual variants of construction systems for external envelopes for passive buildings, it was found that the optimal variant is heavy timber framing. Its optimization resulted in the least increase in construction thickness compared to all four analyzed variants.

Keywords: Timber construction, External structure, Functional layers, Building physics

Obsah

1 Úvod	7
2 Cíl práce	8
3 Literární rešerše	9
3.1 Konstrukční systémy staveb na bázi dřeva	9
3.1.1 Roubené stavby	10
3.1.2 Konstrukce s křížem vrstveného dřeva	12
3.1.3 Rámová konstrukce, skeletová konstrukce	14
3.1.4 Těžký skelet	17
3.2 Materiály	19
3.2.1 Hlavní nosná konstrukce.....	19
3.2.2 Izolační materiály	22
3.2.3 Parozábrany a Parobrzdý	23
3.2.4 Opláštění	24
3.3 Stavební fyzika obvodových plášťů dřevostaveb	24
3.3.1 Materiálové fyzikální veličiny	26
3.3.1.1 Objemová hmotnost	26
3.3.1.2 Součinitel tepelné vodivosti	26
3.3.1.3 Měrná tepelná kapacita.....	27
3.3.1.4 Difuzní odpor	27
3.3.1.5 Faktor difuzního odporu.....	27
3.3.1.6 Ekvivalentní difuzní tloušťka.....	27
3.3.2 Konstrukční fyzikální veličiny.....	27
3.3.2.1 Tepelný odpor vrstvy	28
3.3.2.2 Tepelný odpor konstrukce při prostupu tepla.....	28
3.3.2.3 Součinitel prostupu tepla.....	29
3.3.2.4 Tepelný most.....	29
3.3.2.5 Rosný bod.....	30
3.3.2.6 Kondenzace vodních par v konstrukci	30
3.4 Návrhové hodnoty okrajových podmínek venkovního a vnitřního prostředí 31	
3.4.1 Okrajové podmínky venkovního prostředí	31
3.4.2 Okrajové podmínky vnitřního prostředí	33
3.5 Normativní požadavky z pohledu tepelné ochrany budov	33
3.5.1 Součinitel prostupu tepla	34
3.5.2 Šíření vlhkosti uvnitř konstrukce	36

4 Metodika	37
4.1 Návrh variant obvodové konstrukce stěny	37
4.1.1 Konstrukce roubené stavby	37
4.1.2 Konstrukce z CLT panelů	38
4.1.3 Rámová konstrukce.....	38
4.1.4 Konstrukce těžkého dřevěného skeletu.....	38
4.2 Optimalizace skladeb konstrukcí z hlediska jednorozměrného šíření tepla a vodní páry pro pasivní standard.....	39
4.2.1 Konstrukce roubené stavby	40
4.2.2 Konstrukce z CLT panelů	40
4.2.3 Konstrukce rámové stavby	41
4.2.4 Konstrukce těžkého dřevěného skeletu.....	41
5 Výsledky	42
5.1 Porovnání optimalizovaných skladeb jednotlivých konstrukcí	42
6 Závěr.....	44
7 Literatura.....	45

1 Úvod

V České republice mají dřevěné stavby dlouholetou historii. Bohužel však oproti skandinávským zemím, USA a Kanadě, kde dřevostavby tvoří kolem 70 %, jsou u nás v současné době spojovány spíše s nízkoenergetickou a chatovou výstavbou. (Vaverka, 2008)

V posledních pěti letech se v České republice výstavba dřevěných rodinných domů pohybuje okolo 15 %, zatímco u bytové výstavby dřevostavby zastupují pouze půl procenta. Konkrétně se u nás dle Českého statistického úřadu za rok 2022 postavilo 2642 rodinných a pouze 1 bytová dřevostavba.

Cestou snížení energetické náročnosti budov společnost bojuje s klimatickými změnami a snaží se o snižování skleníkových plynů a emisí. V důsledku stále zpřísňujících se požadavků na energetickou náročnost budov je potřeba věnovat pozornost tepelně izolačním vlastnostem obvodových konstrukcí (Růžička, 2014). Pasivní dům je charakterizován vysokou energetickou efektivitou, což zahrnuje i minimalizaci tepelného prostupu skrze jeho konstrukci.

V této bakalářské práci bude nejdříve popsána problematika konstrukčních systémů na bázi dřeva, materiálů používaných na jednotlivé funkční vrstvy obvodových plášťů a stavební fyziky zaměřené na šíření tepla a vodní páry. Následně budou analyzovány skladby vybraných konstrukčních systémů a optimalizovány pro normové hodnoty pro pasivní budovy.

2 Cíl práce

Cílem práce je analýza obvodových plášťů dřevostaveb z hlediska jednorozměrného šíření tepla a vodní páry. Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je cílem zpracování literární rešerše zaměřené na konstrukční systémy na bázi dřeva, jednotlivé funkční vrstvy (izolační, parotěsnicí, vzduchotěsnicí, apod.) a používané materiály. Součástí bude problematika stavební fyziky zaměřená na část šíření tepla a vodní páry (základní veličiny a vztahy, požadavky na konstrukce dle platné legislativy).

Cílem praktické části je navržení variant obvodové konstrukce stěny pro čtyři zvolené konstrukční systémy na bázi dřeva (stěnové – roubenka, panely s křížem vrstveného dřeva a skeletové – rámová konstrukce/lehký dřevěný skelet, těžký dřevěný skelet).

Dílčím cílem je optimalizace z hlediska jednorozměrného šíření tepla a vodní páry pro (a) nízkoenergetický standard a (b) pasivní standard.

Dalším dílčím cílem je porovnání zvolených konstrukčních systémů na bázi dřeva a doporučení pro použití v daném energetickém standardu.

3 Literární rešerše

3.1 Konstrukční systémy staveb na bázi dřeva

V České republice mají dřevěné stavby dlouhou historii. Bohužel však oproti skandinávských zemích, USA a Kanadě, kde dřevostavby tvoří kolem 70 %, jsou u nás v současné době jsou spojovány spíše s nízkoenergetickou a chatovou výstavbou. (Vaverka, 2008)

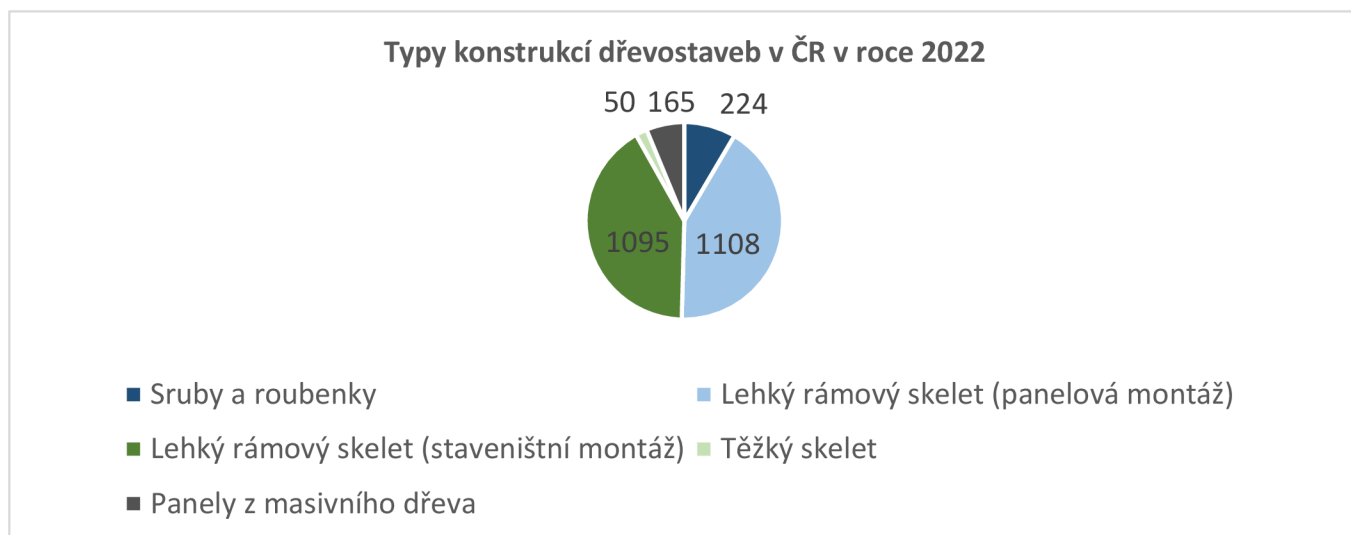
V posledních pěti letech se v České republice výstavba dřevěných rodinných domů pohybuje okolo 15 %, zatímco u bytové výstavby dřevostavby zastupují pouze půl procenta. Konkrétně se u nás dle Českého statistického úřadu za rok 2022 postavilo 2642 rodinných a pouze 1 bytová dřevostavba. Oproti zděným a monolitickým stavbám tak dřevostavby zůstávají v menšině. Tato skutečnost je dána stále převládajícím názorem veřejnosti, že zděné stavby jsou kvalitnější a trvanlivější a dřevěné stavby slouží spíše pro rekreační chatovou výstavbu. (ČSÚ, 2021)

Rozkvětu dřevostaveb také výrazně přispívá současný trend v rámci konceptu "zelené" nebo udržitelné architektury, kde je dřevo atraktivní materiál zejména díky své obnovitelnosti, energetické efektivity při zpracování a relativně nízkých emisí skleníkových plynů ve srovnání s jinými stavebními materiály, jako jsou beton a ocel. (Vaverka, 2008)

U obvodových plášťů budov na bázi dřeva neustále dochází k inovaci řešení skladeb jednotlivých systémů. Během vývoje dochází i k nové orientaci ke konstrukčním systémům. Základní typy konstrukčních systémů staveb na bázi dřeva jsou podle Kolba (2011):

- srubové stavby
- hrázděné stavby
- sloupkové stavby (ballon – frame a platform – frame)
- rámové stavby
- skeletové stavby
- stavby z masivních dřevěných panelů

Pokud bychom se zaměřili na počet postavených dřevěných domů v ČR dle typu konstrukčního systému, tak například v roce 2022 největší zastoupení má lehký rámový skelet z montovaných panelů s počtem 1108 domy. Na druhém místě je zde rovněž lehký rámový skelet, avšak staveništní montáž a to se 1095 domy. O téměř 900 domů méně se postavilo srubů a roubenek. Panelových dřevostaveb z masivního dřeva se postavilo pouze 165. A nejméně se v tomto roce postavilo domů s konstrukcí těžkého skeletu. Tyto informace popisuje Obr 1. (ČSÚ, 2022)



Obr. 1 Typy konstrukcí dřevostaveb postavených v ČR v roce 2022 (ČSÚ, 2022)

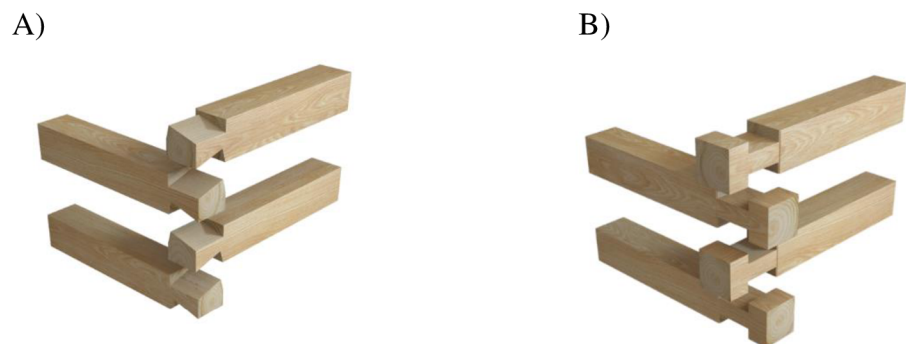
Podrobněji zde budou popsány typy konstrukčních systémů, které jsou řešeny v praktické části této práce. Konkrétně se tedy jedná o roubené stavby, stavby z masivních dřevěných panelů, rámová konstrukce, lehký skelet a těžký dřevěný skelet.

3.1.1 Roubené stavby

Roubené stavby jsou tradičním architektonickým stylem, který je rozšířen po celém světě a má bohatou historii. Tento typ konstrukce využívá rostlé dřevo, typicky jehličnaté dřeviny (nejčastěji dřevo smrkové), spojené do roubenek či trámů a kombinuje je s jinými materiály, jako je hlína, kámen či cihly, kde vytváří nosné stěny. Při výstavbě roubených domů je klíčová přesnost a pečlivost při spojování dřeva. Většinou pomocí kovových hřebů, klínů a dalších tradičních technik. Historicky byly roubené stavby běžné zejména v evropských venkovských oblastech, kde sloužily jako obytné domy, stodoly a další hospodářské budovy. Tyto domy často vykazují charakteristický rustikální vzhled a spojují se s tradičním venkovským životním stylem. V dnešní době si roubené stavby stále udržují popularitu díky svému rustikálnímu šarmu a ekologickým vlastnostem. (Pešta, 2020)

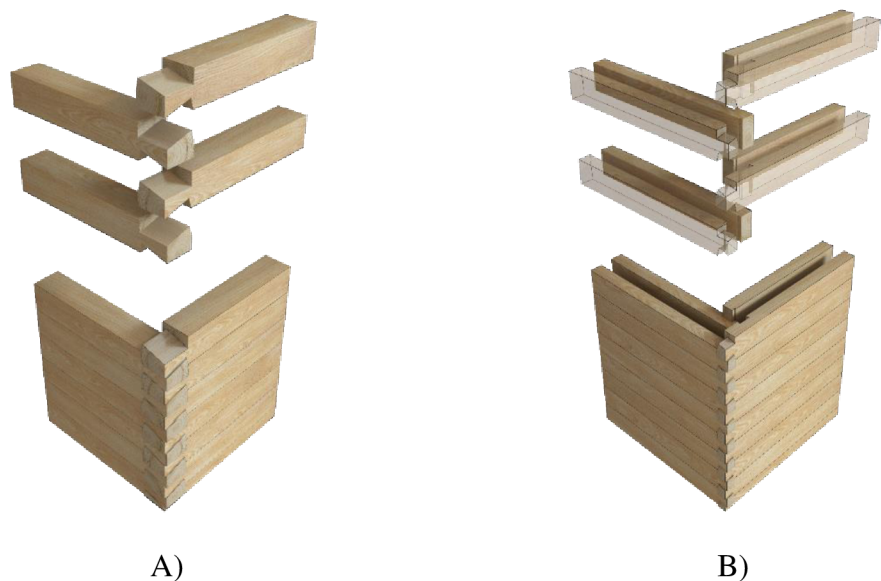
Trámy mohou být buďto z rostlého řeziva (nejčastěji smrkové dřevo), nebo se stále častěji využívá lamelové dřevo, a to nejčastěji ve formě KVH (Konstruktionsvollholz, konstrukční stavební dřevo) hranolů nebo BSH (Brettschichtholz, lamelové dřevo) hranolů (DUO/TRIO). Díky tomu, že jsou lamely předem vysušeny na vlhkost 12 %, dochází k minimálním objemovým změnám a tím pádem i sedání konstrukce. (Houdek a Koudelka, 2013)

Vodorovně mohou být trámy spojeny na tzv. pero-drážku, drážkou a hřebenem, nebo na tupo, kde mezi trámy vznikne mezera, která je vyplněna izolací. Jako nárožní spoj jednotlivých trámů, který je pro tento konstrukční systém typický, se nejčastěji používá spoj na rybinu a spoj na plát (viz obr. 2). Dále se také používají spoje na dvojitou rybinu, vazbu na zámek apod. (Houdek a Koudelka, 2013)



Obr. 2 A) Spoj na rybinu B) spoj na plát (DEKWOOD, 2024)

Dostupné z: <https://dekwood.cz/roubenky/konstrukcni-varianty-sten>

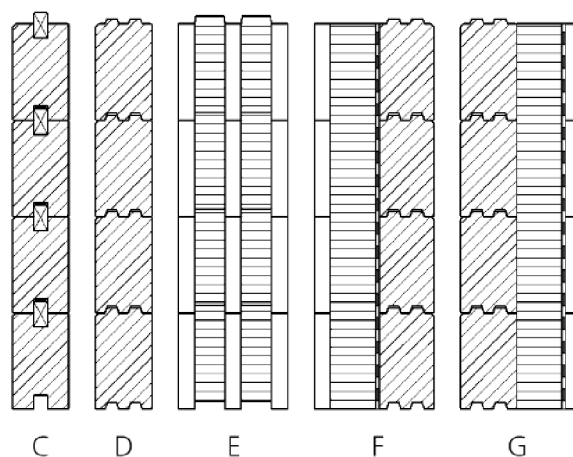


Obr. 3 A) Jednoduchá stěna s pero-drážkou B) dvojitá stěna (DEKWOOD, 2024)

Dostupné z: <https://dekwood.cz/roubenky/konstrukcni-varianty-sten>

Stěna roubené stavby, která je tvořena z jednoho kusu masivního dřeva, vzhledem k legislativním požadavkům nedosahuje požadavku na prostup tepla. Při navrhování je tak nutné zohlednit způsob užívání objektu. Pro výstavbu rodinných domů se tak používá konstrukční varianta „dvojitá stěna“ (viz. Obr. 3, B), kde je do mezery vložena tepelná izolace. Pokud je pro stavbu použito čerstvě pokácené dřevo s vysokým obsahem vlhkosti, je náchylnější k napadení dřevokaznými houbami a dalšími škůdci. Po sestavení roubené stěny se navíc výrazně mění její objem a je třeba nechat stavbu usadit. Doba této technologické přestávky je přibližně jeden rok a stavba se usadí přibližně o 10-15 cm. (Kolb,2011)

Na Obr. 4 jsou znázorněny skladby obvodových stěn roubených staveb dle Kolba (2008). C – Hranol spojený drážkou a hřebenem, D – Hranol spojený na pero-drážku, E prefabrikované sendvičové prvky, F – Tepelně izolovaná stěna, pohledová roubená stěna v interiéru, G – Tepelně izolovaná stěna, pohledová roubená stěna v exteriéru

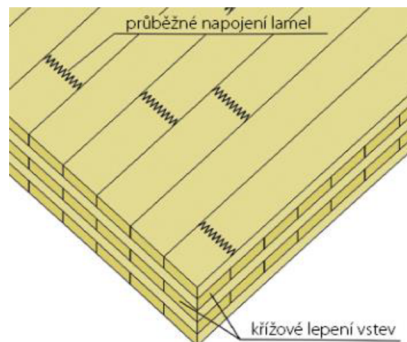


Obr. 4 Skladby obvodových stěn roubených staveb (Kolb, 2011)

3.1.2 Konstrukce s křížem vrstveného dřeva

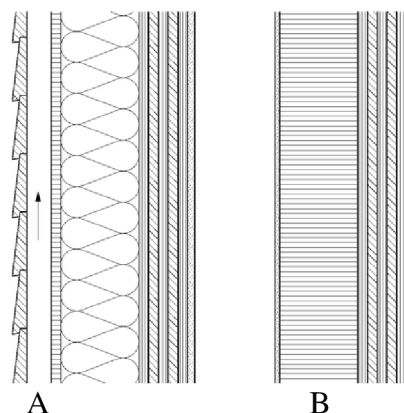
Konstrukce s křížem vrstveného dřeva (Cross-Laminated Timber – CLT) je typem konstrukce, která, využívající panelů složených z několika vrstev dřevěných lamel (3,5 nebo 7 vrstev lamel tloušťky 10–50 mm), které jsou křížově uloženy a slepeny (viz. Obr. 5). Lamely povrchových vrstev mají vždy svislou orientaci. Jednotlivé lamely jsou obvykle vyráběny z masivního dřeva, jako je smrk, modřín borovice nebo jedle. Základní princip konstrukce spočívá v tom, že jednotlivé vrstvy dřeva jsou křížově umístěny, což zvyšuje pevnost a stabilitu panelu. Tento proces umožňuje vytvoření plošných nosných dílců, které mohou přenášet zatížení v obou směrech, což je ideální pro konstrukce stěn, stropů a střech. Výroba panelů CLT probíhá za použití automatizovaných CNC („Computer Numerical Control“, počítačové číslicové řízení) zařízení, která pracují podle přesných

CAD (computer aided design, počítačem podporované projektování) dat, což zajišťuje přesné rozměry a kvalitu výrobku. Tento způsob výroby má rozměrovou toleranci velkoformátových panelů cca 2 mm při maximálním rozměru 3 × 18 m. Tloušťka panelů se pak pohybuje od 60 do 240 mm. Jednotlivé lamely mohou být mezi sebou spojovány pomocí slepení, dřevěných kolíků nebo šroubování. (Pavlas, 2016)



Obr. 5 Ukázka skladby křížem vrstvených masivních panelů (Pavlas, 2016)

CLT panely mají schopnost poměrně dobře odolávat požáru. Již při tloušťce 80 mm dosahují panely požární odolnosti REI30. Se stoupající tloušťkou pak dokážou panely dosáhnout požární odolnosti REI60 nebo i REI90. Z hlediska akustických a tepelných vlastností mají panely s křížem vrstveného dřeva o poznání lepší parametry než například lehké rámové konstrukce. Jak u prostupu tepla, tak i u akustiky je pro vyhovění požadavků zapotřebí konstrukci doplnit o další materiály. Co se týče skladby stěny tak CLT panel zde tvoří nosnou konstrukci, která může být v interiéru jako pohledová, nebo může být obložena. Pro elektroinstalace a ZTI (zdravotně-technické instalace) je nejvhodnější řešení instalační předstěna. Z vnější strany je panel opatřen tepelnou izolací. Dle skladby fasády lze využít minerální omítky či provětrávanou skladbu fasády. Obě tyto varianty popisuje Obr. 6. (Kolb, 2011)



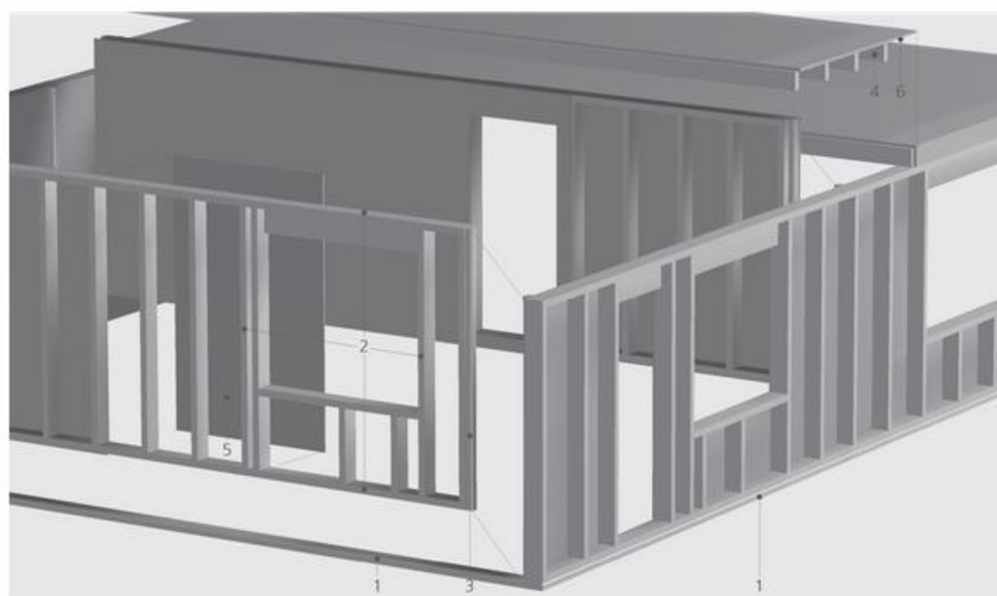
Obr. 6 A – Skladba stěny CLT s provětrávanou fasádou B – Skladba stěny CLT s kompaktní fasádou (Kolb, 2011)

CLT panely jsou primárně využívány pro difuzně otevřenou konstrukci. Při vhodně zvolené skladbě obvodových konstrukcí nedochází ke vzniku rizika kondenzace vodních par, a odpadá tak nebezpečí nevhodného provedení fóliové parozábrany. Konstrukce s křížem vrstveného dřeva se vyznačuje vysokou pevností, stabilitou a odolností. Její flexibilita a schopnost přizpůsobit se různým architektonickým požadavkům ji činí populární volbou mezi architekty a developery. (Kolb, 2011)

3.1.3 Rámová konstrukce, skeletová konstrukce

Skeletové konstrukce se vyvinuly ze staveb hrázděných, které po staletí převládaly po celé Evropě. Oproti hrázděným stavbám neobsahují šikmé vzpěry. Skeletové konstrukce jsou pravým opakem srubů a staveb z masivního dřeva. Hlavní nosnou kostru zde tedy tvoří stěny, ale sloupy a průvlaky (viz. Obr. 7). (Kolb, 2011)

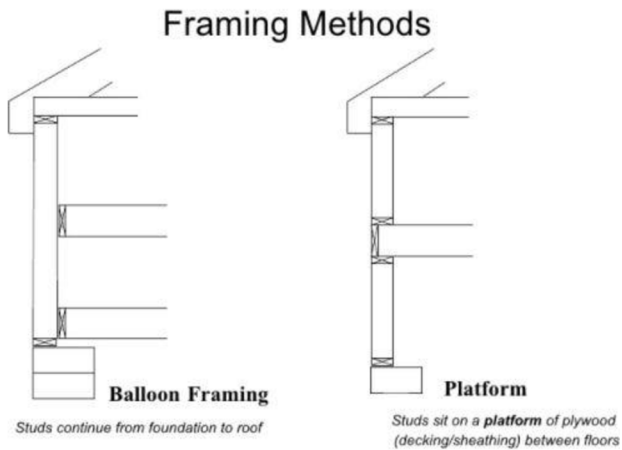
Vzdálenost sloupů se pohybuje nejčastěji v rozmezí 400–650 mm. Rozteč sloupků se pak může lišit v souvislosti s okenními a dveřními otvory. Stěny zde zastupují funkci pouze výplňovou nebo ztužující. (Růžička, 2014)



Obr. 7 Konstrukční části rámové stavby: 1 – Pozednice, 2 – Dřevěný rám, 3 – Sloupek okenního rámu, 4 – Žebro, nosník, trámový strop, 5 – Staticky účinný plášť stěny, 6 – Staticky účinný plášť podlahy (Kolb, 2011)

Existují dva základní typy sloupkových staveb. V systému Balloon-Frame jsou stěnové sloupky umístěny tak, aby procházely přes dvě nebo více podlaží, přičemž spodní a horní části jsou uzavřeny vodorovnými prkny jako jsou prahy a vaznice. Stropní nosníky jsou poté uloženy na stojatých fošnách, které jsou zasunuty do zářezů ve stěnových sloupcích. Naopak, charakteristickým rysem systému Platform-Frame je jeho poschod'ové uspořádání,

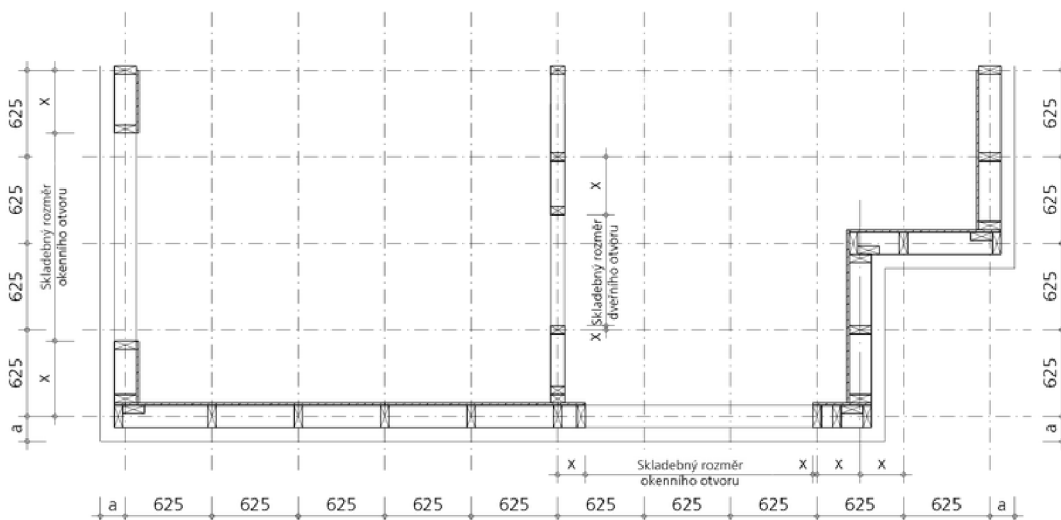
kde se plošina využívá jako pracovní plocha a místo pro výrobu. Tento konstrukční systém je stále běžně používanou metodou pro jedno a dvoupodlažní domy v Severní Americe, což umožňuje standardizaci a prefabrikaci s použitím normalizovaných stavebních prvků. Tento způsob stavby je navíc velmi flexibilní z hlediska konstrukce a architektonického řešení. Obě tyto varianty znázorňuje Obr. 8. (American Wood Council, 2001)



Obr. 8 Framing methods (Potter, 2021)

V dnešní době sloupkové stavby, nebo podle jejich původních názvů označené stavební systémy Balloon-Frame nebo Platform-Frame jsou přinejmenším v Evropě nahrazeny kvalitativně lepšími rámovými stavbami. (Kolb, 2011).

Dle Kolba (2011) jsou rámové stavby lze půdorysný rastr sloupků zvolit individuálně dle potřeb investora. Důležité je však zvážit statické požadavky a výrobní a konstrukční možnosti. Obr. 9 ukazuje možnou variantu půdorysného rastru rámové stavby.

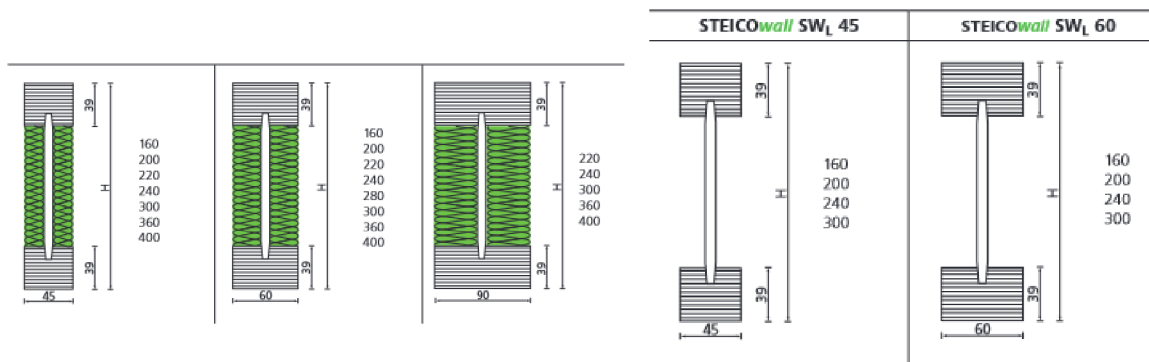


Obr. 9 Půdorysný rastr rámové stavby (Kolb, 2021)

Základní struktura rámových staveb se skládá z tyčové nosné kostry, dřevěného řeziva a pláště, který stabilizuje nosnou kostru. Tyčová nosná kostra je zodpovědná za přenos svislých zatížení ze střechy a mezipatrových stropů, zatímco plášť, tvořený deskami z dřeva, zajišťuje přenos vodorovných zatížení vytvořených vlivem větru a jiných sil. (MORO, 2019)

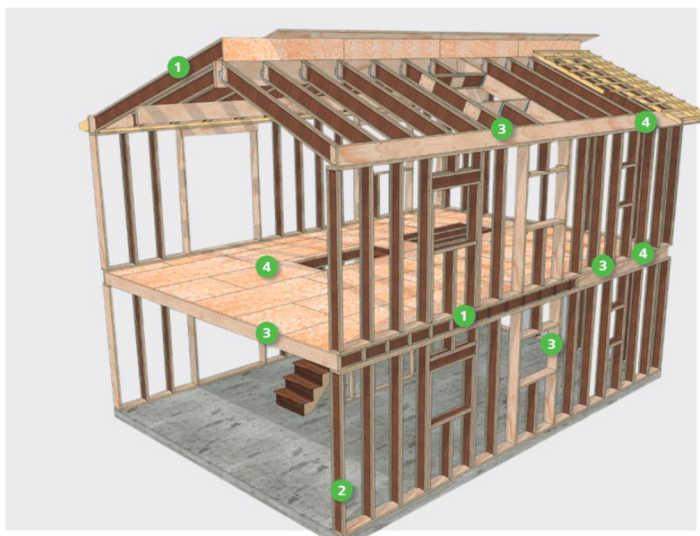
Moderní rámové stavby jsou často vyráběny předem ve výrobních závodech s využitím prefabrikace. Konstrukce stěn, stropů a střechy jsou navrženy dle individuálních potřeb investora a vyrábějí se jako samostatné dílce. Výroba probíhá v klimatizovaných halách s optimálními podmínkami, a využívají se přesné výrobní a dopravní stroje řízené počítačem. Hotové panely jsou potom dopravovány na stavbu, kde jsou pomocí zdvihacích zařízení montovány. Velikost panelu je limitována dopravními předpisy. (MORO, 2019)

I-nosníky na bázi dřeva jsou moderní technologie rámové dřevostavby, která nahrazuje sloupky v podobě fošen. I nosníky lze použít na stěnové rámy, stropní konstrukce ale i střešní konstrukce. Možné použití I nosníků je znázorněno na obr. 12. Hlavní výhodou této technologie je vložení izolace mezi profily, kde díky slabé tloušťce stojiny nevznikají takové tepelné mosty jako u klasické konstrukce z fošen. Výrobce STEICO dokonce nabízí nosníky s již vloženou tepelnou izolací mezi stojinu (viz Obr. 11). Další výhodou je možnost do stojiny provádět oválné otvory pro rozvody TZB. (STEICO, 2024)



Obr. 11 Stěnový I-nosník STEICO Dostupné z:

https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/importer/downloads/4028b6097384810e01749ff1e1ce608c/STEICO_tec_guide_construction_en_i.pdf



Obr. 12 Možnost využití I – nosníků STEICO Dostupné z:

https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/importer/downloads/4028b6097384810e01749ff1e1ce608c/STEICO_tec_guide_construction_en_i.pdf

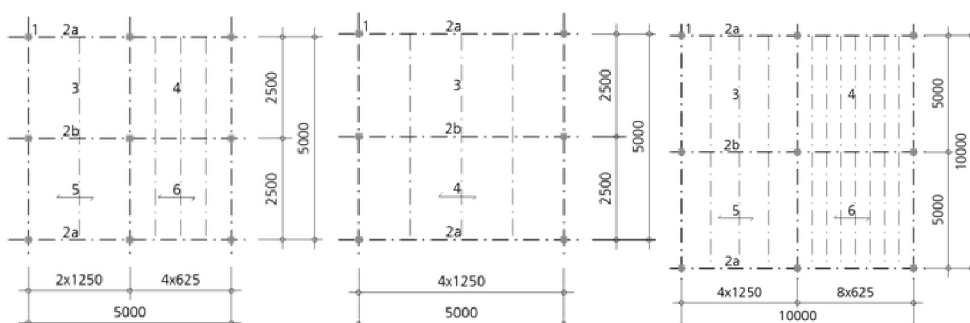
Rámové dřevostavby tvoří v České republice bez mála 85 % postavených domů z dřevěné konstrukce. Staveništní a Panelová montáž rámových dřevostaveb je využívána vyváženě. Polovina rámových dřevostaveb je realizována na staveništi a polovina pomocí prefabrikace ve výrobních halách. (ČSU, 2022)

3.1.4 Těžký skelet

S rostoucím trendem využití dřeva v moderní architektuře, zejména ve vícepodlažních a objemných stavbách, získávají dřevěné skeletové konstrukce novou relevanci. Tyto konstrukce, buď čistě dřevěné nebo kombinované s ocelí či železobetonem, jsou vhodné i pro jedno a dvoupodlažní budovy. Nové typy dřevěných materiálů a spojovací techniky přispěly k rostoucí popularitě těchto staveb. Dnešní skeletové stavby jsou přizpůsobeny současným potřebám, včetně požadavků na větší prosklené plochy. Moderní konstrukce umožňují variabilitu v rozmístění vnitřních a vnějších stěn a jsou navrženy tak, aby jasně oddělovaly nosné prvky od stěn.

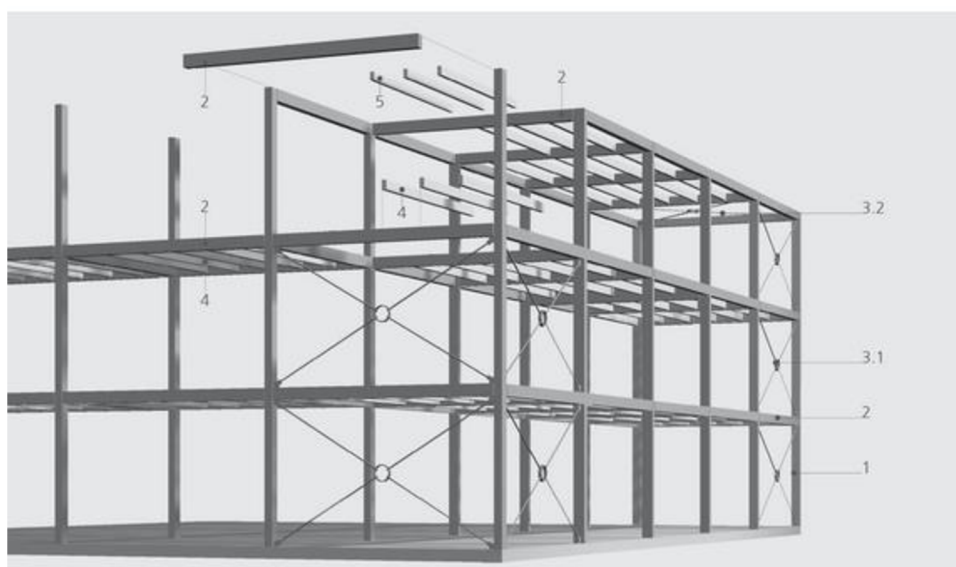
Z hlediska polohy skeletu vůči obvodovému plášti lze skeletovou konstrukci řešit třemi způsoby. Obvodový plášť lze realizovat na vnitřní straně skeletu, kde pak skelet tvoří zajímavý pohled v interiéru (viz. Obr. 13) a zároveň je konstrukce dobře chráněna. Poté lze skelet realizovat z vnější strany pláště, pak je jí ale potřeba důkladně konstrukčně ochránit. Poslední a nejvíce používanou možností je realizace skeletu tak, že je součástí obvodového pláště. U této metody je třeba počítat s možností výskytu tepelných mostů. (Kolb, 2011)

V dnešní době lze stavět skeletové stavby s velkými rozměry rastry, což umožňuje do konstrukce vsadit velkoplošná okna a prosklené plochy, vnější a vnitřní stěny lze umístit v libovolném uspořádání. Nejčastěji rastry vychází z modulu 625 mm. Obvyklé rastry tedy jsou: 1250x1250 mm, 2500x2500 mm, 5000x5000 mm a další. (Kolb, 2011)

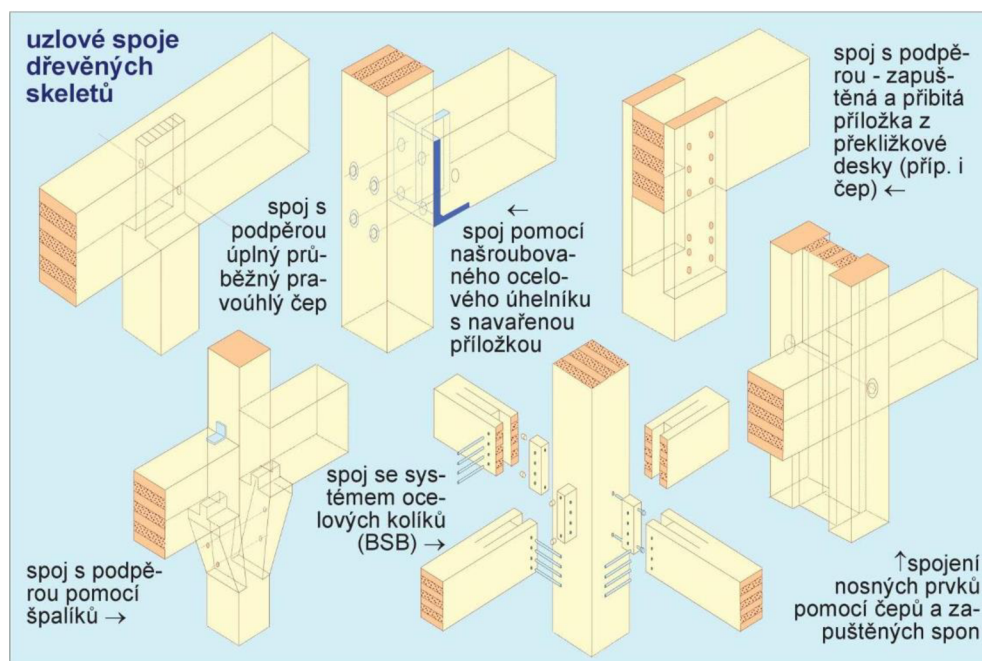


Obr. 14 Půdorysné rastry těžkého skeletu (Kolb, 2011)

V důsledku požadavku větších rozpětí a viditelné dřevěné prvky se ve skeletových stavbách přednostně používá lepené lamelové dřevo. Jako spojovací prostředky se používají často viditelné, přednostně také zapuštěné a tím neviditelné, ocelové prvky (svorníky, hákové desky apod.) nebo ojediněle také čisté spoje dřeva (viz Obr. 16). Prostorové ztužení je možné realizovat dvěma způsoby. Jednak lze konstrukci ztuzit stropem, který zde bude plnit funkci vodorovného ztužení a k tomu ztužujícími stěnami. Druhý způsob spočívá v umístění šikmých či vodorovných ztužujících prvků do každé řady sloupů. To je znázorněno na Obr. 15. (Růžička, 2008)



Obr. 15 Konstrukční části, hlavní nosná konstrukce: 1 Sloup 2 Nosník, průvlak, kleštiny 3.1 Svislé vyztužení 3.2 Vodorovné vyztužení 4. Trámový sloup 5. Krokve, střešní prvky (Kolb, 2011)



Obr. č.16 Uzlové spoje dřevěných skeletů (Neuman, 2005)

Skeletové dřevostavby jsou používány pro svou architektonickou variabilitu a čistotu konstrukce. Dřevěné skeletové stavby jsou vhodné pro správní, průmyslové a provozní budovy stejně jako pro školní a bytové stavby nebo pro stavby veřejné a soukromé. (Kolb, 2011)

3.2 Materiály

Obvodové pláště představují hlavní část konstrukce dřevostavby, která budově zajišťuje stabilitu, ochranu před vnějšími vlivy, zlepšení tepelné izolace a samotný estetický vzhled. Správná volba materiálů zásadně ovlivňuje energetickou účinnost, trvanlivost a estetiku dřevostavby.

Nejdůležitější skupiny materiálů používaných pro obvodové pláště dřevostavby jsou hlavní nosná konstrukce, Izolační materiály, parozábrany, opláštění a povrchové úpravy konstrukce.

3.2.1 Hlavní nosná konstrukce

Hlavní nosnou konstrukci tvoří ve většině případů konstrukční dřevo. To je potom rozděleno do tří skupin: rostlé dřevo, lepené dřevo a lepené lamelové dřevo (Vaverka, 2008).

Jako rostlé dřevo se dle Augustina (2008) označují hranoly, latě, prkna a fošny, ty se pak navzájem liší podle rozměrů po nařezání. Konstrukční řezivo z rostlého dřeva (prkna, latě, trámy, fošny) dosahuje tříd pevnosti od třídy C20 až do třídy C45. Průřezy konstrukčního řeziva

jsou od 60/80 mm až do 240/300 mm. Konstrukční řezivo se běžně vyskytuje v délce od 4 do 8 m ojediněle pak 12 nebo 16 m. (Augustin, 2008)

Konstrukční rostlé dřevo neboli KVH je vysušené rostlé dřevo, které je délkově nastavované zubovitým spojem. Dosahuje pevnostní třídy od C20 do C45. Běžné průřezy jsou 80/100 mm až 120/240 mm. KVH hranoly dosahují délky od 12-18 m. Rostlé dřevo je dostupné pouze v rovném tvaru (Kolb, 2008).

Na trh byl také vyvinut další produkt GLT (viz. Obr. 16), který se liší od KVH pouze skutečností, že je před tím, než se dostane do prodeje, zkoušen na pevnost v tahu. (Augustin, 2008)



Obr. 17 GLT® – Testované lepené nosníky.

Dostupné z: <https://www.hasslacher.com/masivni-konstrukcni-hranoly-glt>.

Lepené dřevo má výhodu ve své přímosti a rozměrové přesnosti. Z pravidla se používají nosníky slepené ze dvou nebo tří lamel (Duo 60/60-140/120 mm, Trio 60/100-140/240 mm). Lepené nosníky dosahují pevnosti od C20 do C45 a dosahují délek od 12 do 18 m. Méně používané jsou pak křížově lepené nosníky, které se vyznačují větším průřezem (100/100-160/240 mm) (Kolb, 2008).

Lepené lamelové dřevo neboli BSH se vyrábí vzájemným lepením lamel na sebe (viz. Obr. 18). Díky tomu má BSH vysokou pevnost a možnost výroby v pohledové kvalitě. Lamelové nosníky lze vyrábět i v zakřivených tvarech. Vyskytují se v průřezích 80/120–260/2000, díky čemuž dosahují délky až 40 m. (Puidukola, 2024)



Obr. 18 BSH hranol, severský smrk – 100×100.

Dostupné z: <https://www.puidukoda.cz/produkt/bsh-hranol-seversky-smrk-100x100/>.

I-nosníky na bázi dřeva jsou moderní technologie rámové dřevostavby. Jedná se o lehké a energeticky úsporné stavební prvky, ve kterých štíhlá stojina ze stabilních dřevovláknitých desek spojuje dohromady dvě pásnice (viz. Obr. 19). Na pásnice těchto prvků se obvykle používá technicky vysušené a strojně tříděné dřevo z jehličnatých stromů, které je spojováno zubovým spojem nebo pomocí lepeného vrstveného dřeva. Tento typ spojení poskytuje pevné a odolné konstrukce, které jsou schopny odolávat namáhání a zároveň poskytují vysokou stabilitu a životnost. Tyto prvky snižují celkovou hmotnost konstrukce, což usnadňuje manipulaci a montáž, ale také přispívají k energetické úspornosti budov díky svým izolačním vlastnostem. Další velkou výhodou je možnost vložení tepelné izolace mezi stojiny a díky malé tloušťce vznikají menší tepelné mosty než u klasické konstrukce. (STEICO, 2024)



Obr. 19 STEICO I-nosníky

Dostupné z: <https://www.steico.com/en/products/construction/joists/steicojoist>

Masivní panely s křížem vrstveného dřeva, tvoří moderní nosnou konstrukci na bázi dřeva, jsou ekologické, přesné a rozměrově stálé. Jedná se o velkoformátové plošné dílce (viz Obr. 20) vyrobené spojením tří a více vrstev lamel, které jsou křížově uloženy a spojeny. Podle výrobku a výrobce se rozlišuje mezi jednovrstvé a vícevrstvé průřezy spojenými pomocí slepení jednotlivých vrstev, nebo spojení pomocí dřevěných kolíků či hřebíků. CLT panely se vyrábějí z vysušeného dřeva, tudíž je finální vlhkost výrobku kolem 12 %. (Kolb, 2011)



Obr. 20 NOVATOP – CLT

Dostupné z: <https://novatop-system.cz/produkt/clt-standard/>

3.2.2 Izolační materiály

Použitím tepelněizolačních materiálů se snažíme minimalizovat tepelné ztráty a chránit stavební objekty před nepříznivými účinky tepla. Tyto materiály jsou charakterizovány nízkou tepelnou vodivostí, a proto se za efektivní tepelnou izolaci považují ty, jejichž součinitel tepelné vodivosti je menší než 0,1 W/m.K. Tepelněizolační materiály se dělí na vláknité (vycházející z minerální vlny), tvarované (deskové výrobky z pěnových plastů, kompozitů a lehčených betonů) a sypké materiály (expandovaný perlit, kuličky z napěněného polystyrenu, křemelina). Dále se dělí podle materiálové báze na anorganické látky (minerální vlákna, pěnové sklo, expandovaný perlit) a organické látky (lehčené plasty, korek, dřevitá vlna, papír). (Kolář a Reiterman, 2012)

Tab. 1 ukazuje přehled vlastností některých tepelněizolačních materiálů.

Tepelná izolace	Tepelná vodivost λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Faktor difuzního odporu μ [-]	Tloušťka tepelné izolace při stejné tepelné izolační účinnosti ($R = 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$) [cm]
Expandovaný polystyren EPS	0,04	50 – 100	10
Extrudovaný polystyren XPS	0,03	80 – 200	7,5
Polyuretan PU	0,03	30 – 100	7,5
Polyizokyanurát PIR	0,03	30 – 100	7,5
Minerální a skleněné vlákno	0,04	1 – 2	10
Pěnové sklo	0,04	parotěsné	10
Keramzit	0,085	3	20
Perlit	0,05	1 – 4	13
Vermikulit	0,07	3 – 4	18
Dřevitá vlna	0,1	4 – 6	23
Dřevěná vlákna	0,04	4 – 9	10
Celulóza	0,04	1,5	10
Kokosová vlákna	0,05	1 – 2	13
Korek	0,05	1,5 – 30	13
Ovčí vlna	0,04	1 – 2	10
Konopí	0,04	1	10
Len	0,04	1	10
Bavlna	0,04	1 – 2	10

Tab. 1 Přehled tepelně izolačních materiálů (Vaverka, 2008)

Pro dřevostavby se nejčastěji používají izolace jako minerální vlákno (viz Obr. 21), skelné vlákno, foukaná celulóza, dřevitá vlna, lněná vlna, konopná vlna, slaměná vlna, PUR pěny, Vakuová izolace (λ cca 0,004–0,008 W/(m·K)), Pěnové sklo, Aerogelová tepelná izolace (λ cca 0,015–0,02 W/(m·K)). (Růžička, 2014)



Obr. 21 Minerální vlna, dřevovláknitá izolace (DEK, 2024)

Dostupné z: <https://www.dek.cz/pobočka-praha-vestec/produkty/vypis/25431-fasadni-mineralni-vata>

3.2.3 Parozábrany a Parobrzdy

Parobrzdy a parozábrany jsou dva typy materiálů používaných v konstrukcích budov k regulaci průchodu vodní páry. Pomocí parobrzdy, což je vrstva propustná pouze pro vodní páru do určité míry, regulujeme množství vodní páry, které vstupuje do konstrukce. Ekvivalentní difuzní tloušťka S_d této parobrzdy se obvykle pohybuje kolem 5 metrů. Vodní pára, která vstoupí do konstrukce, je následně teplotním rozdílem tlačena směrem ven, do exteriéru, a na své cestě může dosáhnout bodu nasycení a proměnit se v kapalinu. (Růžička, 2014)

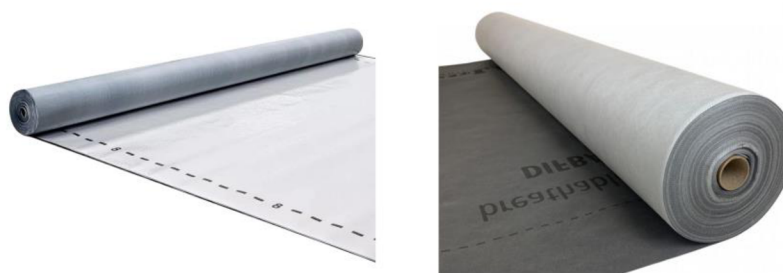
Principem difuzně otevřených skladeb je umožnit průchod vodní páry do konstrukce a následně jí dovolit bezpečně proniknout na druhou stranu, směrem ven do exteriéru. Naopak, difuzně uzavřené skladby neumožňují vodní páře vstoupit do konstrukce, čímž brání jevu difuze. To je zajištěno především pomocí parozábrany, která je dostatečně těsná pro průchod páry. Ekvivalentní difuzní tloušťka S_d parozábrany se pohybuje typicky od 40 do 200 metrů, nicméně existují i materiály s ještě vyšší hodnotou, například fólie s hodnotou $S_d = 1\,500$ metrů. (Růžička, 2014)

Parobrzdy mohou být například, OSB desky, sádrovláknité desky, nebo difuzně otevřené fólie (viz. Obr. 22). Jako parozábrany se většinou používají fólie na bázi PVC, polystyreny, asfaltové pásy a podobně. Tyto materiály jsou však náchylné na správné utěsnění spojů a jakákoliv netěsnost by mohla vést k fatálním následkům vlivem kondenzace vodních par uvnitř konstrukce. (Dřevo Stavby, 2022)

Tab. 2 ukazuje difuzní odpory některých materiálů.

Parozábrana	Faktor difuzního odporu μ [-]
igelit	14 480
PE fólie	124 000 – 164 000
PE fólie s kovovou válcovanou fólií (Al)	400 000 – 600 000
PVC fólie	8 500 – 17 100
Pebit	40 000
IPA 500 SH	38 600

Tab. 2 Faktor difuzního odporu některých materiálů (Vaverka, 2008)



Obr. 2 Parobrzdá/ Parazábrana (DEK, 2024)

Dostupné z: <https://www.dek.cz/pobočka-praha-vestec/produkty/vypis/54-stresni-folie-pro-sikme-strechy>

3.2.4 Opláštění

Opláštění konstrukce představuje jednu z metod, jak posílit a zvýšit stabilitu dřevěné konstrukce. Tato metoda spočívá v přidání další vrstvy materiálu na vnější stranu konstrukce, což poskytuje dodatečnou pevnost a odolnost. (Blass & Sandhaas, 2013)

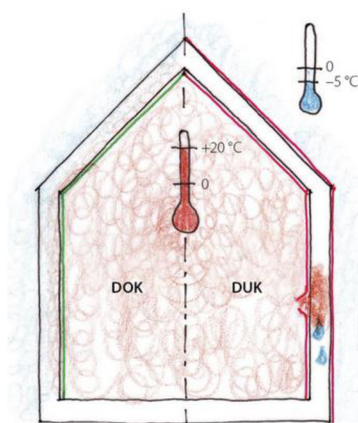
Opláštění může být provedeno různými materiály, jako jsou dřevěné desky, dřevotřísky, OSB (oriented strand board, orientovaná třísková deska) desky, dřevovláknité desky či speciální opláštění určené pro tento účel. Tyto materiály se připevňují na vnější povrch stěn, stropů nebo střechy konstrukce. Tyto materiály mohou plnit i funkci parobrzděné či vzduchotěsnící roviny pro difuzně otevřené či uzavřené konstrukce. (Růžička, 2014)

3.3 Stavební fyzika obvodových plášťů dřevostaveb

Stavební fyzika se zabývá zkoumáním fyzikálních procesů, které ovlivňují stavby a jejich prostředí. U dřevostaveb jsou z hlediska stavební fyziky nejdůležitější vlastnosti dřeva a jeho chování jako stavebního materiálu. Neméně důležité jsou potom termické, akustické a vlhkostní vlastnosti dřevostaveb. (Tywoniak, 2014)

Touto problematikou se ve stavebním oboru zabývají normy ČSN 73 0540-1, ČSN 73 0540-2, ČSN 73 0540-3, ČSN 73 0540-4.

V dnešní době se vlhkostní vlastnosti dřevostaveb soustředí na difuzně otevřené a uzavřené skladby konstrukcí, které mají své zastánce i odpůrce. Termíny "difuzně otevřená" a "uzavřená konstrukce" označují schopnost materiálu propouštět vodní páru nebo naopak bránit tomuto průchodu (viz. Obr. 23). V zimě se vytváří teplý a vlhký prostor uvnitř, zatímco venku je studený a suchý vzduch. Přirozený proces difuze se snaží vyrovnat tyto rozdíly skrz obvodovou obálku domu, jejíž tloušťka a difuzní vlastnosti ovlivňují, jak snadno může vlhkost unikat ven. Difuzně otevřené konstrukce umožňují průchod vodní páry, zatímco difuzně uzavřené konstrukce ho brání. Schopnost vzduchu absorbovat vlhkost ve formě vodní páry roste se stoupající teplotou, ale má svůj limit, kterým je rosný bod. Při této teplotě je vzduch maximálně nasycen vodní parou a relativní vlhkost dosahuje 100 %. Pokles této teploty způsobuje kondenzaci, kdy se vodní pára mění na vodu. (Růžička, 2014)



Obr. 23 Difuzně otevřená/uzavřená stavba (Růžička, 2014)

Difuzní vlastnosti materiálů se popisují několika veličinami: Součinitel difuze vodní páry (δ) vyjadřuje schopnost materiálu propouštět vodní páru, podobně jako součinitel tepelné vodivosti. Různé materiály mají různé hodnoty δ , což určuje, jak moc jsou pro difuzi otevřené. Difuzní odpor (R_d) udává, jak dobře daný materiál propouští vodní páru v závislosti na jeho tloušťce. Faktor difuzního odporu (μ) vyjadřuje, kolikrát lépe nehybná vrstva vzduchu propouští vodní páru než stejná tloušťka materiálu. Ekvivalentní difuzní tloušťka (S_d) udává tloušťku nehybné vrstvy vzduchu s ekvivalentním difuzním odporem jako daný materiál. Hodnotu S_d určíme jako $S_d = \mu \cdot d$, kde d je tloušťka materiálu v metrech. (Tywoniak, 2014)

Termické vlastnosti dřevostaveb jsou klíčovým aspektem při posuzování jejich energetické účinnosti a tepelného pohodlí uvnitř budov. Tepelná vodivost, tepelná odolnost, tepelná akumulace a tepelný odpor jsou některé z hlavních charakteristik, které ovlivňují

chování dřeva jako stavebního materiálu. Tepelná vodivost vyjadřuje schopnost materiálu přenášet teplo. Díky relativně nízké tepelné vodivosti má dřevo dobré izolační vlastnosti, což pomáhá udržovat teplotu uvnitř budov stabilní. Tepelná odolnost popisuje schopnost dřeva odolávat vysokým teplotám bez poškození. I když má dřevo přirozenou odolnost vůči teplotě, extrémní teploty mohou způsobit jeho deformaci nebo poškození. Tepelná akumulace se týká schopnosti dřeva absorbovat a udržovat teplo. Díky této vlastnosti může dřevo přispět k stabilizaci teploty uvnitř budov, což snižuje potřebu dodatečného vytápění. Tepelný odpor udává schopnost dřeva bránit průchodu tepla. (Vaverka, 2008)

Dřevo s vyšším tepelným odporem poskytuje lepší izolaci a zvyšuje energetickou efektivitu dřevostaveb. Tyto termické vlastnosti mají zásadní vliv na energetickou náročnost budov, pohodlí uvnitř prostor a udržitelnost dřevostaveb. Jejich optimalizace může vést k vytvoření energeticky účinných a komfortních prostředí pro obyvatele. (Vaverka, 2008)

3.3.1 Materiálové fyzikální veličiny

Norma ČSN 73 0540-3 (2005) poskytuje postup pro stanovení několika důležitých materiálových charakteristik stavebních materiálů. Tyto materiálové charakteristiky jsou klíčové pro návrh a konstrukci stavebních objektů s ohledem na jejich tepelné a mechanické vlastnosti. Používání standardizovaných metod pro stanovení těchto charakteristik pomáhá zajistit spolehlivost výsledků a umožňuje porovnání vlastností různých materiálů v rámci stavební praxe.

3.3.1.1 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) udává hmotnost materiálu v definovaném stavu (vlhkosti, stlačení), o objemu 1 m^3 . Objemová hmotnost je definována vztahem: $\rho = \frac{m}{V}$ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], kde m je hmotnost materiálu v definovaném stavu vlhkosti, stlačení apod. (kg), a V je objem materiálu [m^3]. (ČSN 73 0540-1, 2005)

3.3.1.2 Součinitel tepelné vodivosti

Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] udává schopnost stejnorodého materiálu při dané střední teplotě vést teplo. Je roven tepelnému toku (teplo za jednotku času), který projde každým čtverečním metrem desky tlusté jednoho metru, při které jedna strana má teplotu o 1 Kelvin vyšší než druhá. Součinitel prostupu tepla je dán vztahem: $\lambda = \frac{\vec{q}}{-\text{grad} T}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], kde q je vektor hustoty ustáleného tepelného toku sdíleného vedením, proudícího stejnorodým izotropním materiálem. [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$], $\text{grad} T$ je gradient teploty [$\text{K}\cdot\text{m}^{-1}$]. (ČSN 73 0540-1, 2005)

3.3.1.3 Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] udává množství tepelné energie, kterou je třeba dodat při stálém tlaku, vzorku materiálu o definované vlhkosti, teplotě a hmotnosti 1 kg, aby se jeho teplota zvýšila o 1 K. Měrná tepelná kapacita je dána vztahem: $c = \frac{E}{m\cdot\Delta\theta}$ [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], kde E je tepelná energie (množství přivedeného tepla) [J], m je hmotnost [kg], a $\Delta\theta$ je přírůstek teploty [K]. (ČSN 73 0540-1, 2005)

3.3.1.4 Difuzní odpor

Difuzní odpor R_d [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], udává, jak efektivně daná tloušťka určitého materiálu propouští vodní páru. Popisuje odpor, který konkrétní tloušťka materiálu klade vůči průchodu vodní páry. Difuzní odpor je dán vztahem $R_d = \frac{d}{\delta}$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], kde d [m] je tloušťka konkrétního materiálu, δ [$\text{kg}\cdot(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})^{-1}$] je součinitel difuzní vodivosti konkrétního materiálu. (Růžička, 2014)

3.3.1.5 Faktor difuzního odporu

Faktor difuzního odporu μ [-], udává relativní schopnost vrstvy materiálu propouštět vodní páru difuzí, je poměrem difuzního odporu materiálu a difuzního odporu vrstvy vzduchu o stejné tloušťce. Faktor difuzního odporu je dán vztahem: $\mu = \frac{\delta_a}{\delta}$ [-], kde δ_a [$\text{kg}\cdot(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})^{-1}$] je součinitel difuzní vodivosti vzduchu, δ [$\text{kg}\cdot(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})^{-1}$] je součinitel difuzní vodivosti konkrétního materiálu. (ČSN 73 0540-1, 2005)

3.3.1.6 Ekvivalentní difuzní tloušťka

Ekvivalentní difuzní tloušťka S_d [m], udává tloušťku nehybné vrstvy vzduchu, která má stejný difuzní odpor jako daná vrstva materiálu. Faktor difuzního odporu je dán vztahem: $S_d = \mu \cdot d$ [m], kde μ [-] je faktor difuzního odporu, d [m] je tloušťka materiálu. (Růžička, 2014)

3.3.2 Konstrukční fyzikální veličiny

Norma ČSN 73 0540-3 (2005) poskytuje postupy pro stanovení několika důležitých konstrukčních fyzikálních veličin, které jsou klíčové pro navrhování, konstrukci a analýzu staveb. Tyto veličiny jsou důležité pro zajištění bezpečnosti, spolehlivosti a účinnosti konstrukcí.

3.3.2.1 Tepelný odpor vrstvy

Tepelný odpor vrstvy R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] udává tepelně izolační vlastnosti vrstvy materiálu, případně nesterodné vrstvy materiálu, popřípadě stavební konstrukce dané tloušťky. Tepelný odpor vrstvy je dán vztahem: $R = \frac{1}{L}$, kde L je plošná tepelná propustnost. (ČSN 73 0540 - 1, 2005)

Jeli známa hodnota součinitele tepelné vodivosti vrstvy materiálu a je-li konstantní, povrchy kolmé na směr tepelného toku jsou vzájemně rovnoběžné a vrstvou proudí rovnoměrný tepelný tok, je tepelný odpor vrstvy popsán vztahem: $R = \frac{d}{\lambda}$, kde d je tloušťka vrstvy, tloušťka vrstvy v konstrukci, konstrukce [m], λ je součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]. (ČSN 73 0540-1, 2005)

3.3.2.2 Tepelný odpor konstrukce při prostupu tepla

Tepelný odpor konstrukce při prostupu tepla R_t [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] udává celkový tepelný odpor bránící výměně tepla mezi prostředími oddělenými od sebe stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami. Tepelný odpor konstrukce při prostupu tepla je dán vztahem: $R_t = R_{si} + R + R_{se}$, kde R_{si} [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] je tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce, R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] je tepelný odpor konstrukce a R_{se} [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] je tepelný odpor při prostupu tepla na vnější straně konstrukce. Pro hodnoty R_{si} a R_{se} se v praxi uvažuje s tabulkovými hodnotami které udává norma ČSN EN ISO 6946, (2018). Tyto hodnoty jsou znázorněny v Tab. 3. (ČSN 73 0540-1, 2005)

Tepelný odpor při prostupu tepla ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)	Směr tepelného toku		
	Nahoru	Vodorovně	Dolů
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Tab. 3 Tepelné odpory při prostupu tepla (ČSN EN ISO 6946, 2018)

3.3.2.3 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla U_t [$\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$] udává celkovou výměnu tepla v ustáleném stavu mezi dvěma prostředními vzájemně oddělených stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami, jsou zde zahrnuty i tepelné mosty jako kotvy hmoždinky a apod. Nižší součinitel znamená lepší tepelně izolační vlastnosti konstrukce. (Hudec a kol., 2013)

Součinitel prostupu tepla je dán vztahem: $U_t = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{R_t}$ [$\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$], kde R_{si} [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] je tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce, R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] je tepelný odpor konstrukce, R_{se} [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] je tepelný odpor při prostupu tepla na vnější straně konstrukce a R_t [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] je tepelný odpor konstrukce při prostupu tepla. (ČSN 73 0540-1, 2005)

3.3.2.4 Tepelný most

Tepelný most je částí stavební konstrukce, kde se její tepelný odpor místně významně mění. Tento jev může dle ČSN 73 0540-1, (2005) nastat v několika situacích:

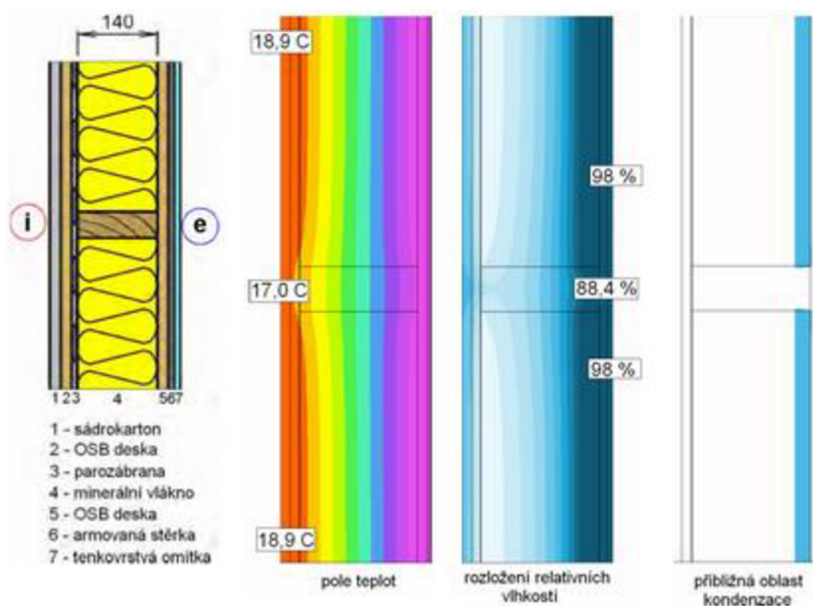
- a) Úplným nebo částečným průnikem stavební konstrukce nebo vrstvy materiálu s odlišnou tepelnou vodivostí. To znamená, že konstrukce je tepelně nestejnorodá, nebo obsahuje alespoň jednu nestejnorodou vrstvu.
- b) Změnou tloušťek vrstev stavební konstrukce, což může způsobit lokální změny v tepelném odporu.
- c) Rozdílem mezi vnitřními a vnějšími plochami stavební konstrukce, například výztužnými žebry.

Důležité je při návrhu a konstrukci stavebních objektů dodržovat zásady této normy a zohlednit tepelné mosty, aby byla zajištěna požadovaná energetická efektivita konstrukce.

U dřevostaveb běžně mohou vznikat takzvané systematické tepelné mosty (sloupková konstrukce, rámová konstrukce a podobně). Pro zohlednění systematických tepelných mostů v konstrukci je vhodné použít vážený průměr součinitele tepelné vodivosti vrstvy obsahující tyto tepelné mosty. Tento vážený průměr lze vypočítat pomocí vztahu: $\lambda_{eq} = \frac{\sum A_j \lambda_j}{\sum A_j}$, kde λ_{eq} je součinitel tepelné vodivosti vrstvy s tepelnými mosty [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$], A_j je průřezová plocha j - tého materiálu v charakteristickém výseku [m^2], λ_j je součinitel tepelné vodivosti j -tého materiálu v charakteristickém výseku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

3.3.2.5 Rosný bod

Rosný bod je teplota, při které se vzduch nasycený vodní parou začne kondenzovat, což znamená přeměnu vodní páry na vodu. S rostoucí teplotou roste schopnost vzduchu udržet vodní páru, ale existuje určitý bod, kdy je vzduch nasycen a nedokáže přijmout více vlhkosti. Tento bod je znám jako rosný bod nebo bod nasycení, a je určen teplotou. Čím vyšší je absolutní vlhkost vzduchu, tím vyšší je teplota rosného bodu a naopak. Při dosažení teploty rosného bodu dochází k kondenzaci vodní páry, což může být problém, zejména v rámci stavebních konstrukcí. V ideálním případě se snažíme navrhovat konstrukce tak, aby se rosný bod nacházel mimo ně, aby se minimalizovala možnost kondenzace uvnitř. Nicméně v praxi se často setkáváme s aktivní bilancí vodní páry, kdy může dojít ke krátkodobé kondenzaci za určitých podmínek, avšak následně je nezbytné, aby se veškerá kondenzovaná voda bezpečně odpařila. Opakem je pasivní bilance, kdy je kondenzace větší než schopnost odpaření, což může vést k hromadění vody v konstrukci, jako je znázorněno na Obr. 24., což je nežádoucí a nepřijatelné. (Růžička, 2014)



Obr. 24 Průběh teplot a oblast kondenzace v obvodové stěně, nežádoucí provedení (Vaverka, 2008)

3.3.2.6 Kondenzace vodních par v konstrukci

Norma ČSN 730540-2/2011 stanovuje důležitá pravidla týkající se bilance zkondenzované a odpařené vodní páry v konstrukcích. Kondenzace vodní páry v konstrukci je považována za rizikový faktor, který může ohrozit trvanlivost staveb. Podle této normy může být kondenzace vodní páry povolena pouze za předpokladu, že se zkondenzovaná voda v konstrukci odpaří. (Vaverka, 2008)

V roční bilanci kondenzace a vypařování vodní páry nesmí zbýt žádné zkondenzované množství vodní páry, které by trvale zvyšovalo vlhkost konstrukce. Roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce M_c [kg.(m².a)⁻¹], tedy musí být nižší než roční množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce M_{cn} kg/(m².a). (ČSN 730540-2, 2007)

3.4 Návrhové hodnoty okrajových podmínek venkovního a vnitřního prostředí

Návrhové hodnoty okrajových podmínek venkovního a vnitřního prostředí jsou klíčové pro správné navrhování a dimenzování budov a jejich tepelných systémů. Tyto hodnoty stanovují extrémní podmínky, kterým musí být stavby schopny odolat a zároveň zajišťují pohodlné a bezpečné vnitřní prostředí pro uživatele. Okrajové podmínky venkovního prostředí zahrnují extrémní teploty, větrné podmínky, srážky a další meteorologické faktory, které mohou ovlivnit tepelné ztráty budov a potřebu vytápění či chlazení. Tyto hodnoty jsou stanoveny na základě místních klimatických podmínek a regionálních specifik.

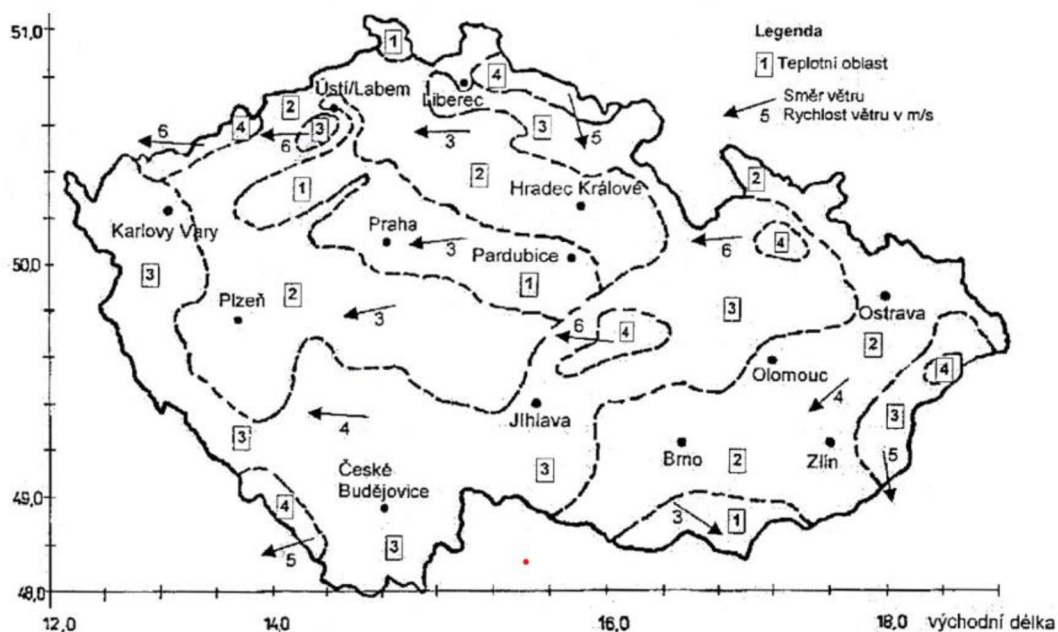
Návrhové hodnoty okrajových podmínek vnitřního prostředí určují požadavky na teplotu, vlhkost, vzduchovou kvalitu a další parametry vnitřního prostředí budov v závislosti na jejich určení a použití. Tyto hodnoty jsou navrženy tak, aby poskytovaly pohodlné a zdravé prostředí pro uživatele a zohledňovaly specifika jednotlivých druhů vnitřních prostor.

3.4.1 Okrajové podmínky venkovního prostředí

Norma ČSN 730540-3 (2005) poskytuje návrhové hodnoty teploty venkovního vzduchu pro zimní období (viz Tab. 4 a Obr. 25). Tyto hodnoty jsou určeny na základě geografické teplotní oblasti a nadmořské výšky. Tato norma poskytuje relevantní informace pro stanovení návrhové teploty. Při návrhu staveb je důležité vzít v úvahu tyto návrhové hodnoty teploty venkovního vzduchu, protože ovlivňují tepelné ztráty a potřebu vytápění budov.

Teplotní oblast	Průměrná nadmořská výška v teplotní oblasti h_m m n.m.	Základní návrhová teplota venkovního vzduchu pro 100 m n.m. $\theta_{e,100}$ °C	Základní teplotní gradient nad 100 m n.m. $\Delta\theta_{e,0}$ K
1	240	- 12	- 0,5
2	320	- 14	- 0,3
3	540	- 16	- 0,2
4	820	- 18	- 0,2

Tab. 4 Tabulka teplotních oblastí v zimním období (ČSN 730540-3, 2005)



Obr. 25 Mapa teplotních oblastí v zimním období (ČSN 730540-3, 2005)

Norma ČSN 730540-3 (2005) poskytuje i návrhové hodnoty teploty venkovního vzduchu pro jednotlivé měsíce v roce. Tyto hodnoty ukazuje Tab. 5.

Nadmořská výška místa budovy h [m n.m.]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Průměrná celoroční teplota °C
	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
200	-1,7	0,1	4,2	9,3	14,3	17,5	19,0	18,6	14,5	9,5	4,1	0,1	9,1
300	-2,2	-0,4	3,6	9,1	13,4	17,0	18,0	17,9	13,8	8,9	3,5	-0,2	8,5
400	-2,5	-0,8	3,0	8,6	13,0	15,9	17,6	17,5	13,1	8,3	3,0	-0,5	8,0
500	-2,8	-1,3	2,6	7,2	12,7	15,1	17,4	17,1	12,5	8,0	2,3	-0,9	7,5
600	-3,3	-1,8	1,8	6,5	11,5	14,7	16,2	15,6	12,2	7,4	2,1	-1,4	6,8
700	-3,7	-2,3	1,2	5,8	10,8	14,0	15,5	15,0	11,7	7,0	1,6	-2,0	6,2
800	-3,9	-2,7	0,6	4,9	10,0	13,2	14,8	14,3	11	6,5	1,2	-2,4	5,6
900	-4,3	-3,2	-0,1	4,2	9,2	12,5	14,0	13,6	10,4	6,0	0,7	-2,9	5,0
1 000	-4,7	-3,8	-0,8	3,3	8,4	11,7	13,2	12,8	9,6	5,4	0,2	-3,4	4,3
1 100	-5,3	-4,4	-1,5	2,5	7,7	11,0	12,5	12,0	8,9	4,8	-0,4	-4,0	3,7
1 200	-5,9	-5,1	-2,2	1,7	6,9	10,3	11,7	11,3	8,2	4,2	-1,1	-4,6	3,0

Tab. 5 Tabulka průměrných teplot pro jednotlivé měsíce v roce (ČSN 730540-3, 2005)

3.4.2 Okrajové podmínky vnitřního prostředí

Norma ČSN 730540-3 (2005) stanovuje návrhovou teplotu vnitřního vzduchu v zimním období na základě druhu a účelu vnitřního prostoru. V tyto teploty jsou znázorněny v Tab. 6.

Druh místnosti s požadovaným stavem vnitřního prostředí	Návrhová teplota v zimním období (°C)	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu (%)
Obývací místnosti (ložnice, jídelny, obývací pokoje apod.)	20	50
Kuchyně	20	50
Koupelny	24	(1)
Klozety	20	50
Chodby, předsíně	15	50
Vytápěná schodiště	10	50

(1) Relativní vlhkost vnitřního vzduchu se stanoví jako střední hodnota z celodenního časového snímku vnitřního prostředí daného vnitřního prostoru.

Tab. 6 Tabulka návrhové vnitřní teploty a relativní vlhkosti vzduchu v zimním období u obytných, trvale užívaných budov (ČSN 730540-3, 2005)

3.5 Normativní požadavky z pohledu tepelné ochrany budov

Požadavky, které se zabývají problematikou tepelné ochrany budov popisuje norma ČSN 73 0540-2 (2011) - "Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí budov – Základní požadavky na návrh a výpočet". Norma poskytuje směrnice pro jednotlivé stavební konstrukce obálky budov. Norma je úzce spojena s vyhláškou č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, která udává povinnost dodržení normových hodnot. I přesto, že nový stavební zákon zrušil určité existující vyhlášky s účinností od 1. ledna 2024, nový stavební zákon umožňuje pokračovat v používání těchto existujících vyhlášek vydaných podle předchozího stavebního zákona č. 183/2006 Sb. až do doby, kdy bude vydán nový prováděcí předpis, ale nejpozději do 1. července 2027.

Dle normy ČSN 73 0540-2 (2011) tepelně technické požadavky zohledňují kromě šíření tepla, vlhkosti vzduchu konstrukcemi a budovami, také energetickou náročnost budov. Doporučené hodnoty stanovují úroveň potřebnou pro energeticky zvláště úsporné budovy.

Tímto způsobem norma přispívá k podpoře udržitelnosti a energetické účinnosti v oblasti stavebnictví tím, že stanovuje jasné a konkrétní požadavky, které umožňují navrhovat a realizovat budovy s minimálními tepelnými ztrátami a nízkou energetickou náročností.

3.5.1 Součinitel prostupu tepla

Jak již bylo popsáno v kapitole 3.3.2.3, součinitel prostupu tepla udává celkovou výměnu tepla v ustáleném stavu mezi dvěma prostředími vzájemně oddělených stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami.

Podle normy ČSN 73 0540-2 (2011), lze součinitel prostupu tepla hodnotit dvěma způsoby, buďto pro jednotlivé konstrukce, nebo pro budovu jako celek pomocí průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} . Oba tyto požadavky musí být splněny současně.

Konstrukce vytápěných budov musí mít v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i \leq 60 \%$ součinitel prostupu tepla U takový, aby splňoval podmínku:

$U \leq U_n$, kde U_n je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla v $W.(m^2.K)^{-1}$. Požadovaná hodnota U_n pro budovy s vnitřní teplotou v rozmezí 18-22 °C se stanoví podle tabulky normových hodnot v normě ČSN 73 0540-2 (2011)(viz. Tab. 7).

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		lehká: 0,20	
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		lehká: 0,20	
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině ^{4), 6)}	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině ⁶⁾	0,85	0,60	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami ³⁾	1,05	0,70	0,5
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,80	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5 ²⁾	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4 ⁷⁾	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7	1,4

Tab. 7 Tabulka požadovaných, doporučených hodnot a hodnot pro pasivní domy součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující vnitřní návrhovou teplotou od 18-22 °C (ČSN 730540-2, 2011)

3.5.2 Šíření vlhkosti uvnitř konstrukce

Jak už bylo popsáno v kapitole č. 3.3.2.6, norma ČSN 730540-2/2011 stanovuje důležitá pravidla týkající se bilance zkondenzované a odpařené vodní páry v konstrukcích. Kondenzace vodní páry v konstrukci je považována za rizikový faktor, který může ohrozit trvanlivost staveb. Podle této normy může být kondenzace vodní páry povolena pouze za předpokladu, že se zkondenzovaná voda v konstrukci odpaří (Vaverka, 2008). Dle normy ČSN 730540-2/2011 může vlivem zkondenzované vody v konstrukci vznikat plísně, objemové změny a výrazné zvýšení konstrukce mimo rámec rezerv statického výpočtu může vést k fatálním následkům. Zejména musí být respektovány podmínky pro uplatnění dřeva a materiálů na bázi dřeva dle normy ČSN 732810 „Dřevěné stavební konstrukce – Provádění“.

Pro stavební konstrukce, které tolerují kondenzaci vodní páry uvnitř bez ohrožení jejich funkce, je požadováno omezení množství zkondenzované vodní páry během roku M_c ($\text{kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$) musí být dodržena podmínka $M_c \leq M_{cN}$, kde M_{cN} je roční množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce.

Pro jednoplášťové střechy, konstrukce s dřevěnými prvky, konstrukce s kontaktním zateplením a další konstrukce s málo propustnými vnějšími vrstvami platí limitní hodnoty M_{cN} : $M_{cN} = 0,10 \text{ kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ nebo 3 % plošné hmotnosti materiálu (nižší z těchto hodnot) pro materiály s objemovou hmotností nad 100 kg/m³. Pokud je objemová hmotnost materiálu nižší nebo rovna 100 kg/m³, použijí se dvojnásobné hodnoty, tj. 0,20 kg. ($\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ nebo 6 % plošné hmotnosti materiálu (nižší z těchto hodnot).

Pro ostatní stavební konstrukce platí limitní hodnoty M_{cN} : $M_{cN} = 0,50 \text{ kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ nebo 5 % plošné hmotnosti materiálu (nižší z těchto hodnot) pro materiály s objemovou hmotností nad 100 kg/m³. Pokud je objemová hmotnost materiálu nižší nebo rovna 100 kg/m³, použijí se dvojnásobné hodnoty, tj. 1,00 kg. ($\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ nebo 10 % plošné hmotnosti materiálu (nižší z těchto hodnot). Ve stavební konstrukci s povolenou omezenou kondenzací vodní páry uvnitř konstrukce nesmí v roční bilanci kondenzace a vypařování vodní páry zůstat žádné zkondenzované množství vodní páry, které by trvale zvyšovalo vlhkost konstrukce. Jinými slovy, roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce (M_c), vyjádřené v kg. ($\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$, musí být nižší než roční množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce (M_{ev}), vyjádřené v kg. ($\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$.

4 Metodika

4.1 Návrh variant obvodové konstrukce stěny

V praktické části práce byly zvoleny čtyři konstrukční systémy staveb na bázi dřeva. Konkrétně se jednalo o konstrukci roubené stavby, konstrukci z CLT panelů, rámovou konstrukci, a konstrukci těžkého dřevěného skeletu. Pro lepší názornost byly konstrukce upraveny do tloušťky 250 mm, tak aby nebyla narušena statická či jiná technická funkčnost skladby (šíření vlhkosti uvnitř konstrukce). Pro danou tloušťku konstrukce pak byla každá skladba posouzena na jednorozměrné šíření tepla a vodní páry v softwaru Teplo2017.

Jak již bylo popsáno v kapitole 3.4 je při návrhu staveb je důležité vzít v úvahu návrhové hodnoty okrajových podmínek pro danou lokalitu, protože ovlivňují tepelné ztráty a potřebu vytápění budov. Pro okrajové podmínky výpočtu byla zvolena Praha. Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. Návrhová venkovní teplota $T_e = -13 \text{ }^\circ\text{C}$, Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai} = 20,6 \text{ }^\circ\text{C}$, Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu $R_{He} = 84\%$, Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu $R_{Hi} = 55\%$. (ČSN 730540-2/2011)

U konstrukcí, kde se nachází nehomogenní vrstvy, jako například dřevěné rošty či sloupky vyplněné tepelnou izolací, je nutné provést pomocní výpočet, který zahrne tyto pravidelné nehomogenní vrstvy do výpočtu. Konkrétně se v tomto případě jedná o rámovou konstrukci, konstrukci těžkého dřevěného skeletu, ale i konstrukci roubené stavby kde se nachází tepelná izolace v dřevěném roštu.

4.1.1 Konstrukce roubené stavby

Pro tento typ konstrukce byla zvolena skladba firmy Dřevomont AZ s.r.o., jedná se o skladbu konstrukce s přiznanou roubenou konstrukcí v exteriéru. Mezi roubenou stěnou a zbytkem skladby konstrukce se nachází vzduchová mezera. Dřevěný rošt vyplněný minerální tepelnou izolací je oddělen ze strany exteriéru distanční tkaninou. Parobrzdu zde tvoří OSB desky spojené na pero-drážku s utěsněnými spoji. Skladba je z interiéru zaklopena sádrovláknitou deskou. Skladba je konkrétně popsána v detailu skladby v příloze 1. Z posouzení pomocí softwaru Teplo2017 vyplynulo, že pro tuto tloušťku skladby roubené

konstrukce o tloušťce 250 mm, skladba nevyhovuje požadovaným hodnotám součinitele prostupu tepla pro standardní budovy. Součinitel prostupu tepla U pro tuto skladbu dosáhl hodnoty $0,361 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$. Protokol s vypočtenými hodnotami je k dispozici v příloze 2.

4.1.2 Konstrukce z CLT panelů

Pro tento typ konstrukce byla zvolena skladba firmy Novatop s.r.o., konkrétně se jedná o konstrukci z CLT panelu zateplenou systémem ETICS, na které je provedena fasádní omítka. Ze strany interiéru je konstrukce opláštěna sádrovláknitou deskou. Skladba je z interiéru zaklopena sádrovláknitou deskou. Skladba je konkrétně i s rozměry jednotlivých vrstev konstrukce popsána v detailu skladby v příloze 3. Z posouzení pomocí softwaru Teplo2017 vyplynulo, že pro tuto tloušťku skladby roubené konstrukce o tloušťce 250 mm, skladba vyhovuje požadovaným hodnotám součinitele prostupu tepla U pro standardní budovy. Součinitel prostupu tepla U pro tuto skladbu dosáhl hodnoty $0,223 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$. Protokol s vypočtenými hodnotami je k dispozici v příloze 4.

4.1.3 Rámová konstrukce

Pro tento typ konstrukce byla zvolena skladba firmy RD Rýmařov s.r.o., konkrétně se jedná o rámovou konstrukci ze strany exteriéru zaklopenou sádrovláknitou deskou a izolací z kamenné vlny na které je provedena fasádní omítka. Ze strany interiéru se nachází montážní předstěna vyplněná tepelnou izolací z minerální vlny a je zaklopena sádrovláknitou deskou. Skladba je konkrétně i s rozměry jednotlivých vrstev konstrukce popsána v detailu skladby v příloze 5. Z posouzení pomocí softwaru Teplo2017 vyplynulo, že pro tuto tloušťku skladby roubené konstrukce o tloušťce 250 mm, skladba nevyhovuje požadovaným hodnotám součinitele prostupu tepla U pro standardní budovy. Součinitel prostupu tepla U pro tuto skladbu dosáhl hodnoty $0,325 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$. Protokol s vypočtenými hodnotami je k dispozici v příloze 6.

4.1.4 Konstrukce těžkého dřevěného skeletu

Pro tento typ konstrukce byla zvolena skladba firmy ATREA s.r.o., konkrétně se jedná o konstrukci z těžkého dřevěného skeletu. Tepelnou izolaci zde tvoří foukaná izolace na bázi celulózy. Ze strany exteriéru je konstrukce zaklopena dřevovláknitou deskou. Na které se nachází fasádní omítka. Ze strany interiéru se nachází parobrzda ve formě OSB desek s utěsněnými spoji, která je zaklopena sádrovláknitou deskou. Skladba je konkrétně i s rozměry jednotlivých vrstev konstrukce popsána v detailu skladby v příloze 7. Z posouzení pomocí softwaru Teplo2017 vyplynulo, že pro tuto tloušťku skladby roubené konstrukce o tloušťce 250

mm, skladba vyhovuje požadovaným hodnotám součinitele prostupu tepla U pro standardní budovy, hraničně vyhovuje součinitel prostupu tepla i normovým hodnotám pro nízkoenergetické domy. Součinitel prostupu tepla U pro tuto skladbu dosáhl hodnoty $0,200 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$. Protokol s vypočtenými hodnotami je k dispozici v příloze 8.

4.2 Optimalizace skladeb konstrukcí z hlediska jednorozměrného šíření tepla a vodní páry pro pasivní standard

Pro optimalizaci byly použity skladby z předchozí kapitoly č. 4. Optimalizované skladby byly posouzeny na jednorozměrné šíření tepla a vodní páry v softwaru Teplo2017. Snahou bylo skladby jednotlivých konstrukčních systémů optimalizovat, aby vyhovovaly doporučeným normovým požadavkům na hodnoty součinitele prostupu tepla U pro pasivní budovy. Součinitel prostupu tepla optimalizovaných skladeb tedy musel být menší nebo roven součiniteli prostupu tepla pro pasivní domy, $U_{\text{pas},20} = 0,18 - 0,12 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ (ČSN 730540 - 2, 2011).

U optimalizace skladeb jednotlivých konstrukcí bylo důležité vyvarovat se možným vznikům kondenzací v konstrukci, které by mohli vznikat vlivem úpravy tloušťky skladeb. Okrajové podmínky byly pro sjednocení podmínek použity stejně jako u tloušťky skladeb konstrukcí 250 mm, a to tedy pro Prahu. Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru $R_{\text{si}} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty $R_{\text{si}} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru $R_{\text{se}} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty $R_{\text{se}} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. Návrhová venkovní teplota $T_e = -13 \text{ }^\circ\text{C}$, Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{\text{ai}} = 20,6 \text{ }^\circ\text{C}$, Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu $R_{\text{He}} = 84 \%$, Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu $R_{\text{Hi}} = 55 \%$. (ČSN 730540-2/2011)

Stejně jako u skladeb tloušťky 250 mm, tak u konstrukcí, kde se nachází nehomogenní vrstvy, jako například dřevěné rošty či sloupky vyplněné tepelnou izolací, je nutné provést pomocný výpočet, který zahrne tyto pravidelné nehomogenní vrstvy do výpočtu. Konkrétně se v tomto případě jedná o rámovou konstrukci, konstrukci těžkého dřevěného skeletu, ale i konstrukci roubené stavby kde se nachází tepelná izolace v dřevěném roštu.

4.2.1 Konstrukce roubené stavby

U skladby konstrukce roubené stavby o tloušťce 250 mm vyšel součinitel prostupu tepla $U = 0,361 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, což nevyhovuje normovým požadavkům ani pro standardní budovy. Proto, aby konstrukce vyhověla požadovaným normovým hodnotám součinitele prostupu tepla U pro pasivní budovy, bylo zapotřebí optimalizovat konstrukci. Snahou bylo zvětšit tloušťku konstrukce o co nejméně. U této konstrukce se skladba optimalizovala, zvětšením tloušťky minerální tepelné izolace mezi dřevěným roštem z 60 mm na 150 mm a byla přidána instalační předstěna vyplněná minerální izolací. Vlivem zvětšení tloušťky konstrukce, došlo k posunutí kondenzační zóny do konstrukce, kde se zkondenzovaná voda nebyla schopna odpařit. Proto bylo potřeba místo dosavadní parobrady z OSB desek, použít fóliovou parobrzdu s větším difuzním odporem. Díky čemuž nedocházelo v konstrukci ke kondenzaci vodních par. Skladba optimalizované konstrukce i s tloušťkou jednotlivých vrstev skladby je zobrazena na detailu optimalizované skladby v příloze 9. Po optimalizaci skladby roubené konstrukce se zmenšil součinitel prostupu tepla U z hodnoty $0,361 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, na $0,175 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, která již vyhovuje normovým požadavkům dle normy ČSN 730540-2/2011 pro pasivní budovy. Celková tloušťka optimalizované skladby pro pasivní dům byla 395 mm. Protokol k výpočtu ze softwaru Teplo2017 se nachází v příloze 10.

4.2.2 Konstrukce z CLT panelů

U skladby konstrukce z CLT panelů o tloušťce 250 mm vyšel součinitel prostupu tepla $U = 0,223 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, což vyhovuje normovým požadavkům pro standardní budovy, ale pro pasivní budovy už nikoliv. Proto, aby konstrukce vyhověla požadovaným normovým hodnotám součinitele prostupu tepla U pro pasivní budovy, bylo tedy zapotřebí konstrukci optimalizovat. Snahou bylo opět zvětšit tloušťku konstrukce o co nejméně. U této konstrukce se skladba optimalizovala rovněž zvětšením tloušťky minerální tepelné izolace ze 150 mm na 200 mm. V konstrukci po optimalizaci nedochází ke kondenzaci vodních par, proto nemusí řešena náprava. Skladba optimalizované konstrukce i s tloušťkou jednotlivých vrstev skladby je zobrazena na detailu optimalizované skladby v příloze 11. Po optimalizaci skladby konstrukce z CLT panelů se zmenšil součinitel prostupu tepla U z hodnoty $0,223 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, na $0,176 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, která již vyhovuje normovým požadavkům dle normy ČSN 730540-2/2011 pro pasivní budovy. Celková tloušťka optimalizované skladby pro pasivní dům byla 296 mm. Protokol k výpočtu ze softwaru Teplo2017 se nachází v příloze 12.

4.2.3 Konstrukce rámové stavby

U skladby konstrukce z CLT panelů o tloušťce 250 mm vyšel součinitel prostupu tepla $U = 0,325 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, což nevyhovuje normovým požadavkům pro standardní budovy. Proto, aby konstrukce vyhověla požadovaným normovým hodnotám součinitele prostupu tepla U pro pasivní budovy, bylo tedy opět zapotřebí konstrukci optimalizovat. U této konstrukce se skladba optimalizovala zvětšením tepelné izolace z kamenného vlákna z tloušťky 40 mm na tloušťku 140 mm. V konstrukci i po optimalizaci dochází k odpaření veškeré zkondenzované vody uvnitř konstrukce, proto nemusela být řešena náprava. Skladba optimalizované konstrukce i s tloušťkou jednotlivých vrstev skladby je zobrazena na detailu optimalizované skladby v příloze 13. Po optimalizaci skladby rámové konstrukce se zmenšil součinitel prostupu tepla U z hodnoty $0,325 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, na $0,179 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, která již vyhovuje normovým požadavkům dle normy ČSN 730540-2/2011 pro pasivní budovy. Celková tloušťka optimalizované skladby pro pasivní dům byla 350 mm. Protokol k výpočtu ze softwaru Teplo2017 se nachází v příloze 14.

4.2.4 Konstrukce těžkého dřevěného skeletu

U skladby konstrukce těžkého dřevěného skeletu o tloušťce 250 mm vyšel součinitel prostupu tepla $U = 0,20 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, což vyhovuje normovým požadavkům pro standardní a nízkoenergetickou budovu, ale pro pasivní budovy nikoliv. Proto, aby konstrukce vyhověla požadovaným normovým hodnotám součinitele prostupu tepla U pro pasivní budovy, bylo tedy zapotřebí konstrukci optimalizovat. U této konstrukce se skladba optimalizovala zvětšením tepelné dřevovláknité izolace z tloušťky 33 mm na tloušťku 60 mm. V konstrukci i po optimalizaci dochází k odpaření veškeré zkondenzované vody uvnitř konstrukce, proto nemusí být řešena náprava. Skladba optimalizované konstrukce i s tloušťkou jednotlivých vrstev skladby je zobrazena na detailu optimalizované skladby v příloze 15. Po optimalizaci skladby konstrukce těžkého dřevěného skeletu se zmenšil součinitel prostupu tepla U z hodnoty $0,200 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, na $0,177 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, která již vyhovuje normovým požadavkům dle normy ČSN 730540-2/2011 pro pasivní budovy. Celková tloušťka optimalizované skladby pro pasivní dům byla 277 mm. Protokol k výpočtu ze softwaru Teplo2017 se nachází v příloze 16.

5 Výsledky

5.1 Porovnání optimalizovaných skladeb jednotlivých konstrukcí

V tabulce 8 jsou porovnané skladby konstrukcí s ohledem na jejich tloušťku a výsledný součinitel prostupu tepla před optimalizací a po optimalizaci.

Konstrukce před optimalizací tloušťky 250 mm	Součinitel prostupu tepla U [W.(m ² .K) ⁻¹]	Hodnoty vyhovují pro standardní budovu (ANO/NE)	Hodnoty vyhovují pro nízkoenergetickou budovu (ANO/NE)	Hodnoty vyhovují pro pasivní budovu (ANO/NE)
Roubená stavba	0,361	NE	NE	NE
Stavba z CLT panelů	0,223	ANO	NE	NE
Rámová stavba	0,325	NE	NE	NE
Stavba z těžkého skeletu	0,200	ANO	ANO	NE

Tab. 8 Tabulka vyhodnocených hodnot součinitele prostupu tepla pro tloušťku konstrukce 250 mm

Z tabulky 8 vyplývá, že konstrukce o tloušťce 250 mm z CLT panelů a konstrukce z těžkého dřevěného skeletu vyhovují, dle normy ČSN 730540-2 (2011), pro standardní budovu a rámové a roubené nikoliv. Těžký dřevěný skelet dokonce hraničně v této tloušťce vyhovuje i pro nízkoenergetické budovy.

Optimalizované konstrukce	Tloušťka konstrukce [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W.(m ² .K) ⁻¹]	Hodnoty vyhovují pro standardní budovu (ANO/NE)	Hodnoty vyhovují pro nízkoenergeti ckou budovu (ANO/NE)	Hodnoty vyhovují pro pasivní budovu (ANO/NE)
Roubená stavba	395	0,175	ANO	ANO	ANO

Stavba z CLT panelů	296	0,176	ANO	ANO	ANO
Rámová stavba	350	0,179	ANO	ANO	ANO
Stavba z těžkého skeletu	277	0,177	ANO	ANO	ANO

Tab. 9 Tabulka vyhodnocených hodnot součinitele prostupu tepla po optimalizaci skladby konstrukci pro normové hodnoty pro pasivní budovy

Z tabulky 9 vyplívá, že aby součinitel prostupu tepla U odpovídal normovým hodnotám pro pasivní dům má nejmenší tloušťku konstrukce z těžkého skeletu, a to konkrétně 277 mm. Následuje konstrukce z CLT panelů s tloušťkou 296 mm. Rámová konstrukce dosahuje pro pasivní standard 350 mm a nejhůře dopadla roubená konstrukce, kde je pro splnění hodnot pro pasivní domy potřeba 395 mm.

6 Závěr

V úvodní části této bakalářské práce byly popsány konstrukční systémy staveb na bázi dřeva. Nejdříve obecně, poté jen ty, které byly posuzovány v praktické části práce. Následně byly popsány materiály pro funkční vrstvy obvodových plášťů.

Závěr literárního přehledu byl věnován stavební fyzice. Konkrétně problematice termických a vlhkostních vlastností, požadavků na stavební konstrukce či materiály. Nakonec byly popsány normové požadavky na stavební konstrukce z hlediska tepelné a vlhkostní ochrany budov.

V praktické části byly vybrány konstrukční skladby zadaných systémů, roubené konstrukce, konstrukce z CLT panelů, rámové konstrukce a konstrukce těžkého dřevěného skeletu. Ty byly sjednoceny na tloušťku 250 mm, aby byly zachovány funkční vlastnosti skladby (statika, vlhkostní odolnost apod.). Zde si nejlépe vedly konstrukční systémy z CLT panelů a těžkého dřevěného skeletu ($CLT - U_n = 0,223 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, $TS - U_n = 0,200 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$), kde oba tyto systémy vyhověly normovým požadavkům na hodnotu součinitele prostupu tepla pro standardní dům v závislosti na normě ČSN 730540-2 (2011), nicméně konstrukční systémy rámové a roubené stavby nikoliv. Těžký dřevěný skelet dokonce hraničně splnil požadavky pro nízkoenergetický dům. Všechny tyto systémy byly optimalizovány tak, aby vyhověly požadavkům pro pasivní domy. Poté byla porovnána finální tloušťka jednotlivých systémů. Zde si dle očekávání opět vedly lépe konstrukce z CLT panelů a těžkého dřevěného skeletu. Konstrukce CLT panelů na normové hodnoty pro pasivní dům dosáhla s tloušťkou 296 mm. Konstrukce těžkého dřevěného skeletu normovým hodnotám vyhověla s tloušťkou 277 mm. Rámová a roubená konstrukce neměly optimální parametry, přičemž rámová konstrukce vyhověla s tloušťkou 350 mm a roubená konstrukce dokonce s tloušťkou 395 mm.

Pro konstrukční systém pasivních domů by bylo vhodné použít těžký dřevěný skelet nebo konstrukci z CLT panelů, které svou tloušťkou příliš neubírají vnitřní ploše interiéru. Zároveň je lze použít pro zajímavě řešené interiéry, kde v obou případech může být přiznaná nosná konstrukce. V případě CLT panelu je to celá stěna, u těžkého skeletu masivní dřevěné sloupy. Pro pasivní domy je těžký skelet výhodný i pro variabilitu prostorového uspořádání díky púdorysnému rastru, kde vzdálenost nosných sloupů může být 5-8 m.

Naopak by nebylo optimální použít konstrukci roubených staveb, kde je použití pro pasivní domy nevýhodné. Důvodem je velká tloušťka konstrukce, ale i finanční náklady ve vztahu k velkému množství masivního dřeva.

7 Literatura

Elektronické zdroje:

1. ČSÚ. *Bytová a nebytová výstavba a stavební povolení: časové řady* [online]. Praha: ČSÚ, 2022, 24.11.2022 [cit. 2022-11-26]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/bvz_cr
2. POTTER, Brian. Balloon Framing is Worse is Better. *Construction Physics* [online]. 5.1.2021 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://constructionphysics.substack.com/p/balloon-framing-is-worse-is-better>
3. M. AUGUSTIN, Graz University of Technology. Kapitola 3 - Materiály. Online. In: *Příručka 1 – Dřevěné konstrukce*. Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures – TEMTIS, 2008, s. 26-36. Dostupné z: https://ocel-drevo.fsv.cvut.cz/rpmt/wp-content/uploads/2024/01/handbook_1_CZ_new-compressed-1.pdf. [cit. 2024-02-21].
4. *BSH hranol, severský smrk – 100×100*. Online. In: Puidukoda. 2013. Dostupné z: <https://www.puidukoda.cz/produkt/bsh-hranol-seversky-smrk-100x100/>. [cit. 2024-02-21].
5. *Masivní konstrukční hranoly & GLT®: GLT® – Testované lepené nosníky*. Online. In: HASSLACHER HOLDING GMBH. HASSLACHER.com. 2024. Dostupné z: <https://www.hasslacher.com/masivni-konstrukcni-hranoly-glt>. [cit. 2024-02-21].
6. *Jednoduchá stěna s pero-drážkou, Dvojitá stěna*. Online. In: DEKWOOD. 2024. Dostupné z: <https://dekwood.cz/roubenky/konstrukcni-varianty-sten>. [cit. 2024-03-02].

7. *Schéma obvodové stěny s izolační předstěnou*. JPEG. In: RDRYMAROV. Rdrymarov.cz. 2024. Dostupné z: <https://www.rdrymarov.cz/schemata-sten-a-stropu>. [cit. 2024-03-18].
8. STEICO. *Technical Guide STEICO construction*. PDF. 2024. Dostupné z: https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/importer/downloads/4028b6097384810e01749ff1e1ce608c/STEICO_tec_guide_construction_en_i.pdf. [cit. 2024-03-18].
9. AMERICAN WOOD COUNCIL, 2001. *Details for Conventional Wood Frame Konstruktion*. Washington, DC 20036: American Forest and Paper Association. Dostupné z: <https://www.discountpdh.com/wp-content/themes/discountpdh/pdf-course/wood-frame-construction.pdf> [cit. 2024-03-02].
10. *CLT – Standard*. Online. In: NOVATOP. Novatop-system.cz. 2024. Dostupné z: <https://novatop-system.cz/produkt/clt-standard/>. [cit. 2024-03-18].
11. ČESKÁ, Dagmar. *Co je to vlastně parozábrana a parobrzdá?* Online. *Dřevo a Stavby*. 2022, roč. 2022, s. 1. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/6917-parozabrana-a-parobrzdau-drevostavby>. [cit. 2024-03-19].

Knižní zdroje:

1. PAVLAS, Marek. *Dřevostavby z vrstvených masivních panelů: technologie CLT*. Vyd. 2., aktualiz. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-271-0055-2.
2. VAVERKA, Jiří. *Dřevostavby pro bydlení*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2205-4.
3. PEŠTA, Jan. *Rekonstrukce roubených staveb*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-3239-8.

4. KOLB, Josef. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. 2., aktualiz. vyd. v České republice. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-4071-3.
5. TYWONIAK, Jan a , kolektiv. *Pozemní stavitelství VI*. Praha: Grada Publishing, 2014. ISBN 978-80-247-9437-2.
6. HOUDEK, Dalibor a KOUDELKA, Otakar. *Srubové domy z kulatin*. 5. vyd. Vážany nad Litavou: JoshuaCreative, c2013. ISBN 978-80-904414-6-0.
7. KOLÁŘ, Karel a REITERMAN, Pavel. *Stavební materiály: pro SPŠ stavební. Studium (Grada)*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4070-6.
8. BLASS, Hans Joachim a Carmen SANDHAAS. *Timber Engineering – Principles for Design*. 2013. ISBN 3731506734.
9. PEŠTA, Jan. *Rekonstrukce roubených staveb*. 2., upravené a rozšířené vydání. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 978-80-271-0525-0.
10. MORO, José Luis. *Holzbau*. In: *Baukonstruktion – vom Prinzip zum Detail*. Berlin: Springer Vieweg, 2019. ISBN 978-3-662-57399-0
11. NEUMANN, Dietrich. *Stavební konstrukce*. 33. vyd. Architektura, stavebnictví, bydlení. Bratislava: Jaga, 2005. ISBN 80-807-6025-X.
12. HUDEC, Mojmír; JOHANISOVÁ, Blanka a MANSBART, Tomáš. *Pasivní domy z přírodních materiálů*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-802-4742-434.

Normy:

1. ČSN 73 0540-1: *Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie*. Český normalizační institut. Praha, Česká republika., 2005.

2. ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Český normalizační institut. Praha, Česká republika., 2011.
3. ČSN 73 0540-3: Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Český normalizační institut. Praha, Česká republika., 2005.
4. ČSN 73 0540-4: Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody. Český normalizační institut. Praha, Česká republika., 2005.
5. ČSN EN ISO 6946: Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda. Český normalizační institut. Praha, Česká republika., 2018.

Použité softwary:

MS Office 2024 (Word, Excel)

Autocad 2024

Teplo2017

Seznam příloh

Příloha 1 Detail skladby roubené konstrukce tl. 250 mm

Příloha 2 Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 Roubené konstrukce tl. 250 mm

Příloha 3 Detail skladby konstrukce z CLT panelů tl. 250 mm

Příloha 4 Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 konstrukce z CLT panelu tl. 250 mm

Příloha 5 Detail skladby rámové konstrukce tl. 250 mm

Příloha 6 Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 rámové konstrukce tl. 250 mm

Příloha 7 Detail skladby konstrukce těžkého dřevěného skeletu tl. 250 mm

Příloha 8 Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 konstrukce těžkého dřevěného skeletu tl. 250 mm

Příloha 9 Detail skladby optimalizované roubené konstrukce pro pasivní standard

Příloha 10 Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 optimalizované roubené konstrukce pro pasivní standard

Příloha 11 Detail skladby optimalizované konstrukce z CLT pro pasivní standard

Příloha 12 Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 optimalizované konstrukce z CLT panelů pro pasivní standard

Příloha 13 Detail skladby optimalizované rámové konstrukce pro pasivní standard

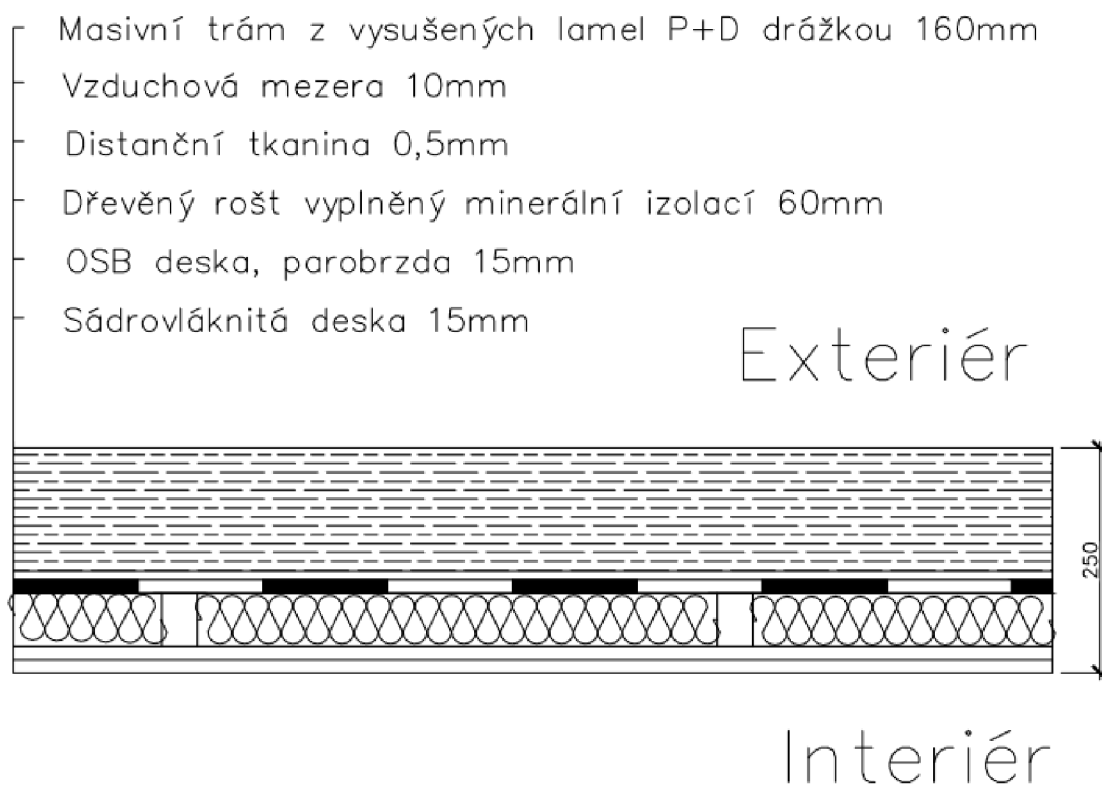
Příloha 14 Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 optimalizované rámové konstrukce pro pasivní standard

Příloha 15 Detail skladby optimalizované konstrukce těžkého dřevěného skeletu pro pasivní standard

Příloha 16 Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 optimalizované konstrukce těžkého dřevěného skeletu pro pasivní standard

Samostatné přílohy

Příloha 1 - Detail skladby roubené konstrukce tl. 250 mm



Příloha 2 - Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 Roubené konstrukce tl. 250 mm

SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

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

Název kece	Typ	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	Ma,max[kg/m ²]	Odpaření	DeltaT10 [C]
Obvodová stěna roubené...	stěna	2.508	0.361	0.2198	ano	---

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 EDU

Název úlohy : Obvodová stěna roubené stavby

Zpracovatel : TT 2017 Zakázka :

Datum : 25.02.2024

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 [J/(kg.K)]	D [kg/m ³]	Lambda [-]	c [kg/m ²]	Ro	Mi	Ma	[m]	[W/(m.K)]
1	Fermacell		0,0150	0,3200		1100,0	1150,0	13,0	0.0000
2	Egger OSB3		0,0150	0,1300		1700,0	600,0	180,0	0.0000
3	STEICO flex 03		0,0600	0,0460*		2126,2	81,8	2,0	0.0000
4	pro clima SOLI		0,0005	0,1700		1500,0	280,0	160,0	0.0000
5	Uzavřená vzduch		0,0100	0,0670		1010,0	1,2	1,0	0.0000
6	Dřevo měkké (t		0,1600	0,1800		2510,0	400,0	157,0	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

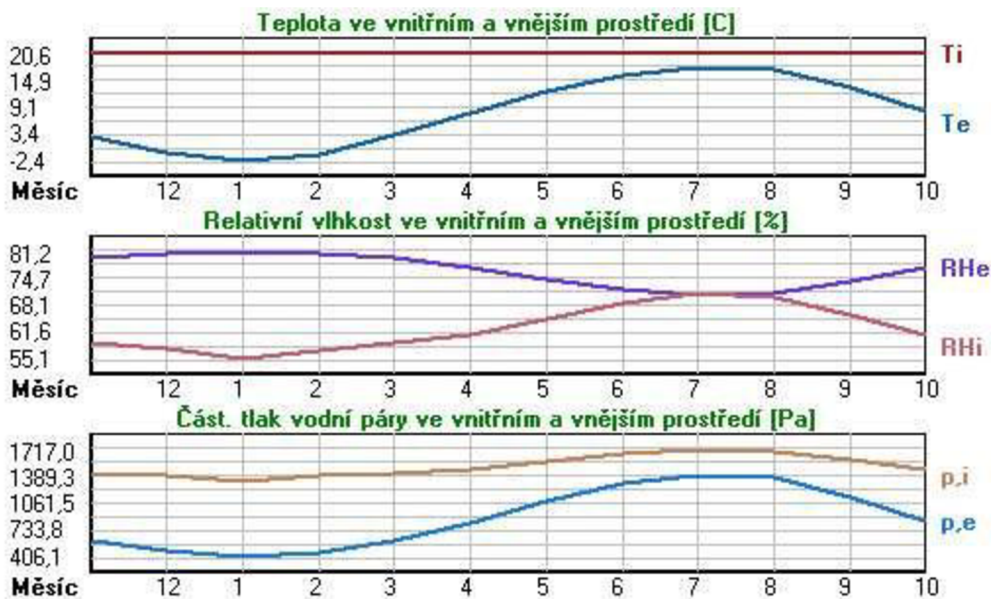
Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
-------	------------------------	--------------------------------

1	Fermacell	--	2	Egger OSB3	---
3	STEICO flex 036			vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946	
					Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.038 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	pro clima SOLITEX UD connect			---	
5	Uzavřená vzduch. dutina tl. 10 mm				
6	Dřevo měkké (tok kolmo k vláknům)				
	1			---	

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 :		0.13 m2K/W						
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse :		0.13 m2K/W						
Návrhová venkovní teplota Te :		-13.0 C						
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai :		20.6 C						
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe :		84.0 %						
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi :		55.0 %						
Měsíc	Délka [dny/hodiny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]	
1	31	744	20.6	55.1	1336.3	-2.4	81.2	406.1
2	28	672	20.6	57.3	1389.6	-0.9	80.8	457.9
3	31	744	20.6	58.8	1426.0	3.0	79.5	602.1
4	30	720	20.6	60.7	1472.1	7.7	77.5	814.1
5	31	744	20.6	64.9	1573.9	12.7	74.5	1093.5
6	30	720	20.6	68.7	1666.1	15.9	72.0	1300.1
7	31	744	20.6	70.8	1717.0	17.5	70.4	1407.2
8	31	744	20.6	70.1	1700.0	17.0	70.9	1373.1
9	30	720	20.6	65.6	1590.9	13.3	74.1	1131.2
10	31	744	20.6	61.0	1479.4	8.3	77.1	843.7
11	30	720	20.6	58.8	1426.0	2.9	79.5	597.9
12	31	744	20.6	57.7	1399.3	-0.6	80.7	468.9

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 : 5.0 %
 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 : 2.508 m²K/W
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.361 W/m²K

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.38 / 0.41 / 0.46 / 0.56 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} : 1.5E+0011 m/s
 Teplotní útlum konstrukce N_{y*} podle EN ISO 13786 : 117.1
 Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 12.0 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 17.69 C Teplotní faktor v návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : 0.913

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	14.7	0.743	11.3	0.595	18.6	0.913	62.4
2	15.3	0.753	11.9	0.594	18.7	0.913	64.3
3	15.7	0.721	12.3	0.526	19.1	0.913	64.6
4	16.2	0.659	12.7	0.391	19.5	0.913	65.0
5	17.2	0.576	13.8	0.135	19.9	0.913	67.7
6	18.2	0.479	14.6	-----	20.2	0.913	70.4
7	18.6	0.365	15.1	-----	20.3	0.913	72.0
8	18.5	0.409	15.0	-----	20.3	0.913	71.5
9	17.4	0.564	13.9	0.087	20.0	0.913	68.2
10	16.3	0.648	12.8	0.367	19.5	0.913	65.2
11	15.7	0.723	12.3	0.529	19.1	0.913	64.7
12	15.4	0.755	12.0	0.593	18.8	0.913	64.7

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:

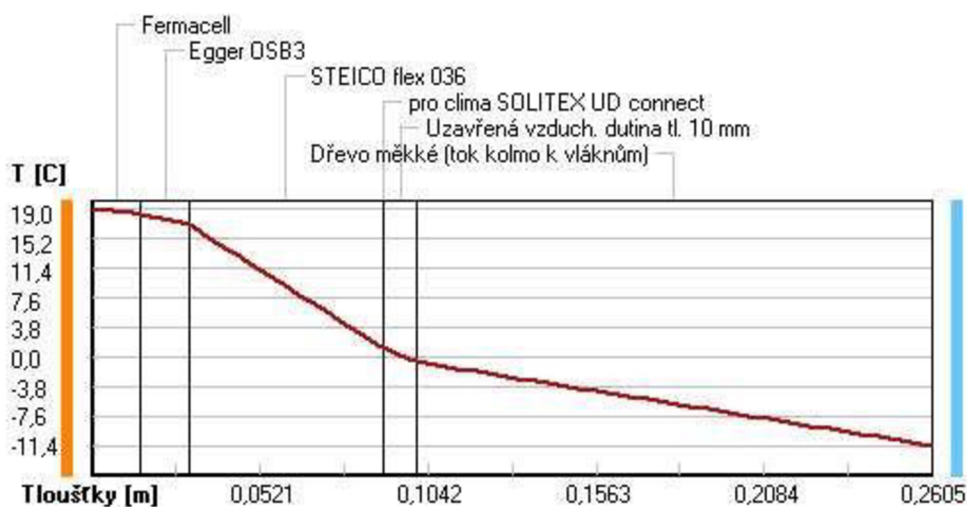
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

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

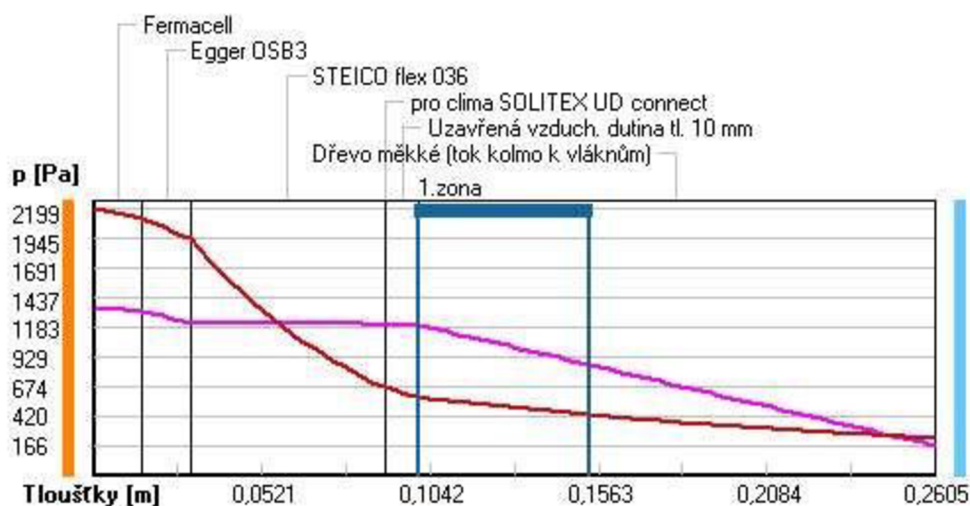
rozhraní: j 1 2 3 4 5 6 e theta [C]: 19.0 18.5 17.1 1.2 1.2 -0.6 -
 11.4 p [Pa]: 1334 1326 1214 1209 1206 1205 166 p_{sat} [Pa]: 2199 2122 1943
 667 665 580 228

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.

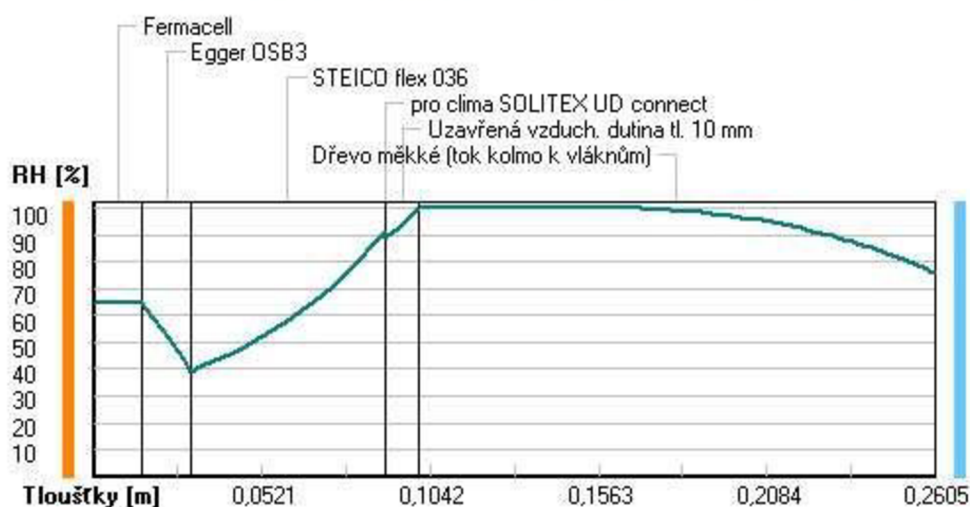
Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



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 Hranice kondenzační zóny Kondenzující množství číslo levá [m] pravá vodní páry [kg/(m2s)]

1	0.1005	0.1536	4.546E-0008
---	--------	--------	-------------

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

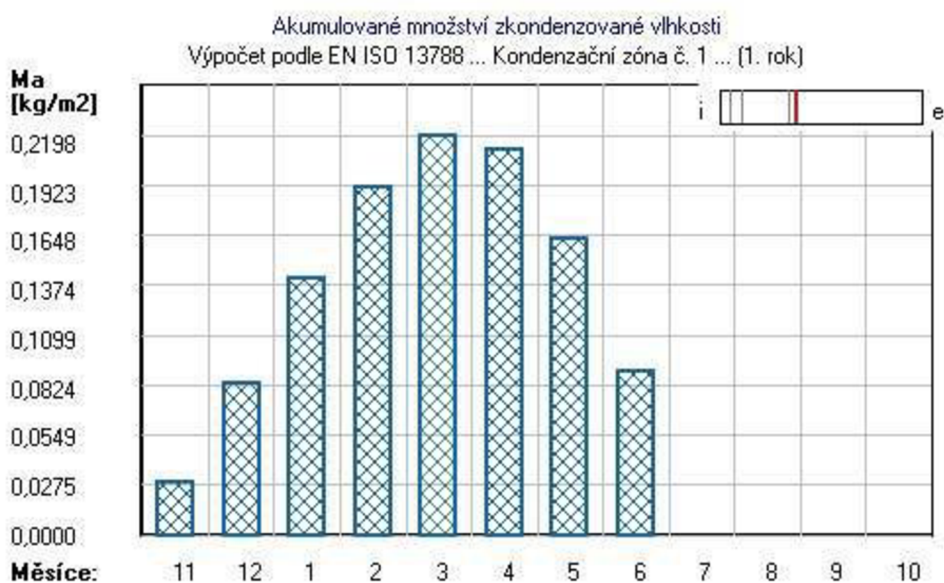
Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: 0.2063 kg/(m2.rok)
Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: 0.6967 kg/(m2.rok) Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 5.0 C.

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 kg/m2 za měsíc		Dif.tok do/ze zóny v kg/m2 za měsíc		Kondenz./vypař. v kg/m2 za měsíc M_c/M_{ev}	Akumul. vlhkost v m od interiéru M_a
	levá	pravá	g,in	g,out		
11	0.1005	0.1005	0.0411	0.0120	0.0290	0.0290
12	0.1005	0.1005	0.0662	0.0117	0.0546	0.0836
1	0.1005	0.1005	0.0663	0.0110	0.0553	0.1408
2	0.1005	0.1005	0.0603	0.0105	0.0499	0.1906
3	0.1005	0.1005	0.0416	0.0124	0.0291	0.2198
4	0.1005	0.1005	0.0047	0.0130	-0.0083	0.2115
5	0.1005	0.1005	-0.0342	0.0145	-0.0487	0.1628
6	0.1005	0.1005	-0.0583	0.0148	-0.0731	0.0897
7	---	---	-0.0743	0.0158	-0.0900	0.0000
8	---	---	---	---	---	---
9	---	---	---	---	---	---
10	---	---	---	---	---	---

Max. množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: 0.2198 kg/m2
Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$ je min.: 0.2198 kg/m2 z toho se odpaří do exteriéru: 0.0532 kg/m2 a do interiéru: 0.1665 kg/m2

Na konci modelového roku je zóna suchá (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):

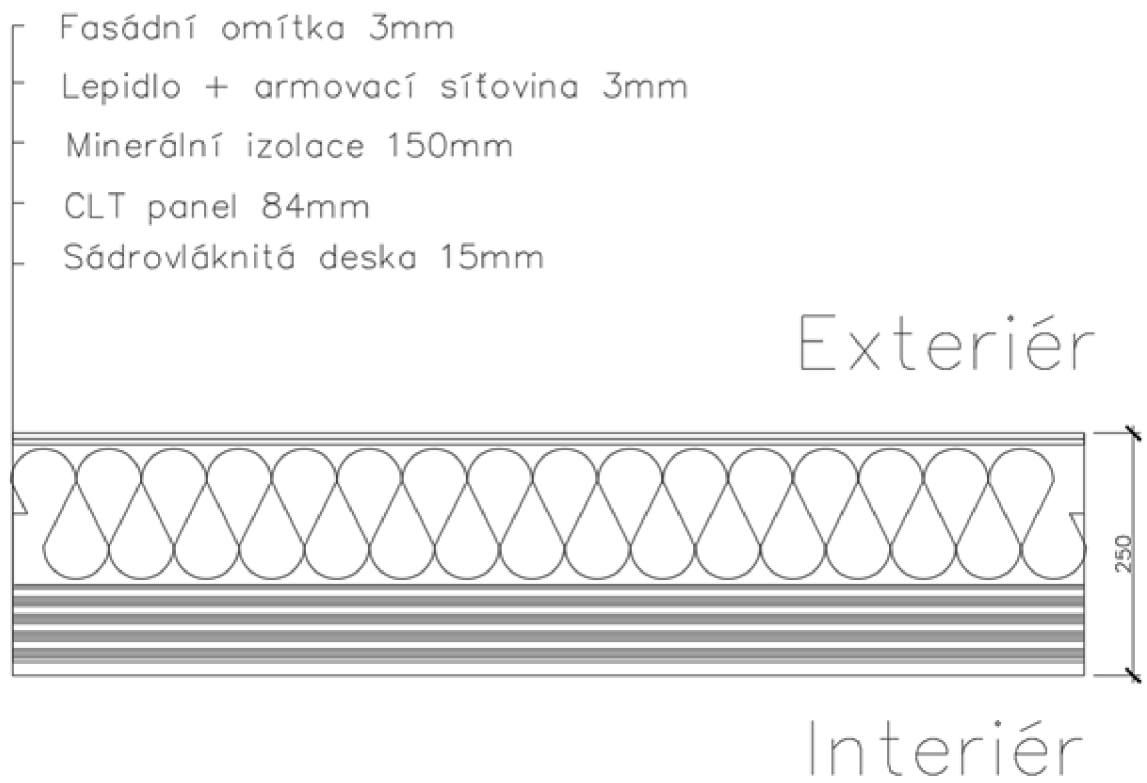
Číslo	Název	Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok				
		pod 60%	60-70%	70-80%	80-90%	nad 90%
1	Fermacell	31	242	92	---	---
2	Egger OSB3	31	211	93	30	---
3	STEICO flex 03	---	---	62	30	273
4	pro clima SOLI	---	---	62	30	273
5	Uzavřená vzduch	---	---	62	30	273
6	Dřevo měkké (t)	---	---	62	30	273

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 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Příloha 3 - Detail skladby konstrukce z CLT panelů tl. 250 mm



Příloha 4 - Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 konstrukce z CLT panelu tl. 250 mm

SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

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

Název kece	Typ	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	Ma,max[kg/m ²]	Odpaření	DeltaT10 [C]
Obvodová stěna CLT...	stěna	4.312	0.223	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 EDU

Název úlohy : Obvodová stěna CLT

Zpracovatel : TT 2017 Zakázka :

Datum : 25.02.2024

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	Lambda	c	Ro	Mi	Ma	[m]	[W/(m.K)]
	[J/(kg.K)]	[kg/m ³]	[-]	[kg/m ²]					
1	Fermacell	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	13,0	0.0000	2	Dřevo měkké (t 0,0840 0,1800 2510,0 400,0 157,0 0.0000
3	Isover TF Prof	0,0070	0,8000	920,0	1800,0	30,0	0.0000	4	weber.pas silni

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.

Číslo Kompletní název vrstvy Interní výpočet tep. vodivosti

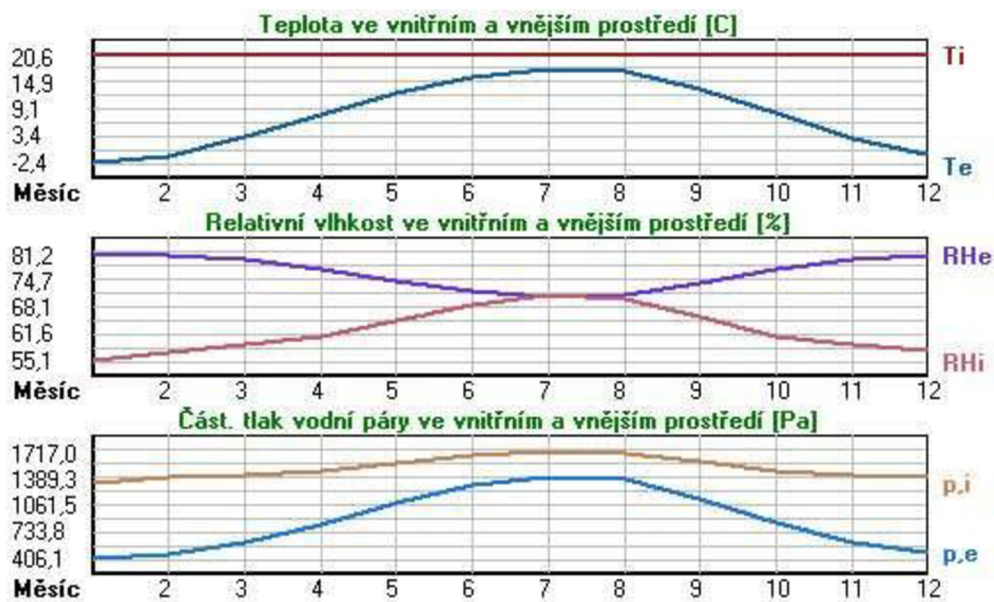
- 1 Fermacell ---
- 2 Dřevo měkké (tok kolmo k vláknům)
-
- 3 Isover TF Profi ---
- 4 weber.pas silikát - silikátová omítka

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} :	0.13 m ² K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{si} :	0.25 m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} :	0.04 m ² K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{se} :	0.04 m ² K/W
Návrhová venkovní teplota T_e :	-13.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} :	20.6 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu R_{He} :	84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu R_{Hi} :	55.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	T_{ai} [C]	R_{Hi} [%]	P_i [Pa]	T_e [C]	R_{He} [%]	P_e [Pa]	
1	31	744	20.6	55.1	1336.3	-2.4	81.2	406.1
2	28	672	20.6	57.3	1389.6	-0.9	80.8	457.9
3	31	744	20.6	58.8	1426.0	3.0	79.5	602.1
4	30	720	20.6	60.7	1472.1	7.7	77.5	814.1
5	31	744	20.6	64.9	1573.9	12.7	74.5	1093.5
6	30	720	20.6	68.7	1666.1	15.9	72.0	1300.1
7	31	744	20.6	70.8	1717.0	17.5	70.4	1407.2
8	31	744	20.6	70.1	1700.0	17.0	70.9	1373.1
9	30	720	20.6	65.6	1590.9	13.3	74.1	1131.2
10	31	744	20.6	61.0	1479.4	8.3	77.1	843.7
11	30	720	20.6	58.8	1426.0	2.9	79.5	597.9
12	31	744	20.6	57.7	1399.3	-0.6	80.7	468.9

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 : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788. Počet hodnocených let :

1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Teplotný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Teplotný odpor konstrukce R : 4.312 m²K/W Součinitel prostupu tepla konstrukce
U : 0.223 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 přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor a tepelně akumulční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce Z_{pT} : 7.3E+0010 m/s
Teplotní útlum konstrukce Ny* podle EN ISO 13786 : 95.9
Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 9.2 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 18.77 C Teplotní faktor v
návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : 0.946

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}				
1	14.7	0.743	11.3	0.595	19.4	0.946	59.5
2	15.3	0.753	11.9	0.594	19.4	0.946	61.6
3	15.7	0.721	12.3	0.526	19.6	0.946	62.4
4	16.2	0.659	12.7	0.391	19.9	0.946	63.4
5	17.2	0.576	13.8	0.135	20.2	0.946	66.6
6	18.2	0.479	14.6	-----	20.3	0.946	69.8
7	18.6	0.365	15.1	-----	20.4	0.946	71.5
8	18.5	0.409	15.0	-----	20.4	0.946	71.0
9	17.4	0.564	13.9	0.087	20.2	0.946	67.2
10	16.3	0.648	12.8	0.367	19.9	0.946	63.6
11	15.7	0.723	12.3	0.529	19.6	0.946	62.4
12	15.4	0.755	12.0	0.593	19.4	0.946	62.0

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

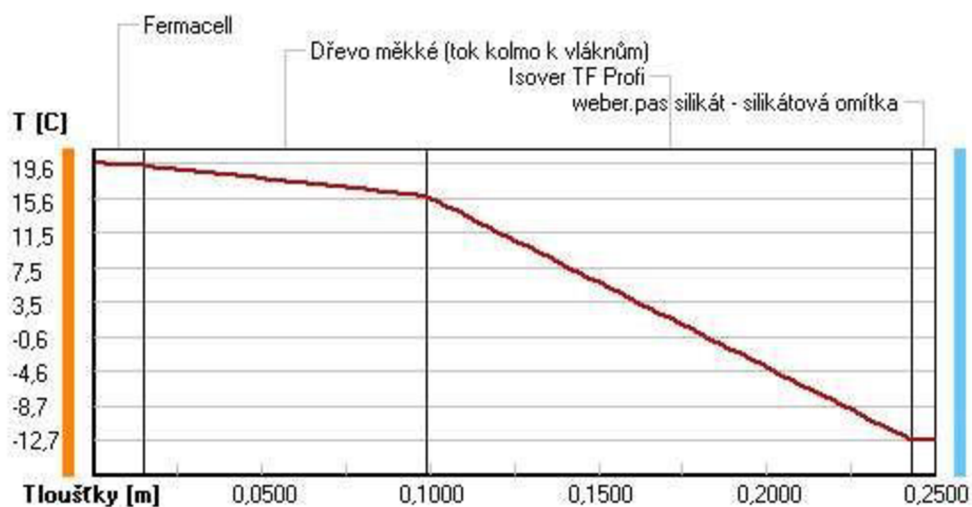
Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace) Průběh teplot a

částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

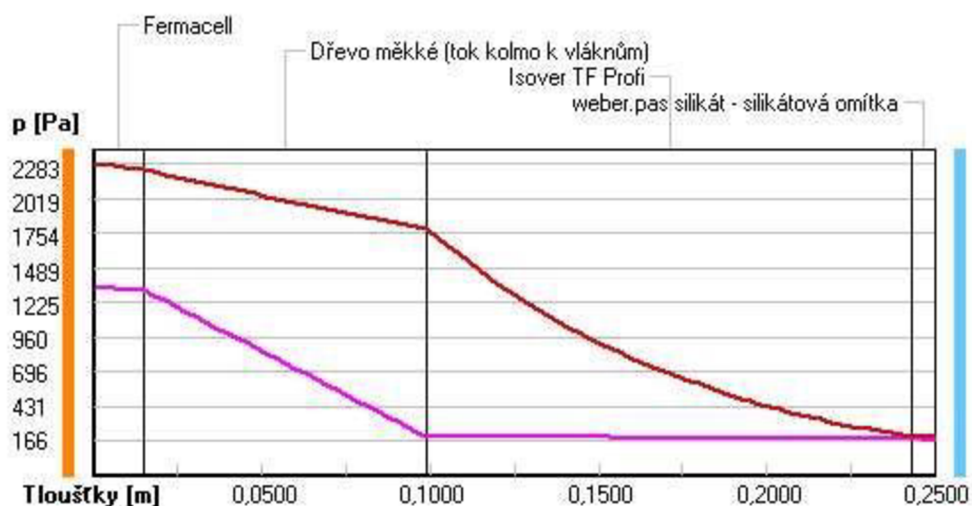
rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	e
theta [C]:	19.6	19.3	15.8	-12.6	-12.7
p [Pa]:	1334	1317	196	184	166
p _{sat} [Pa]:	2283	2234	1791	205	203

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.

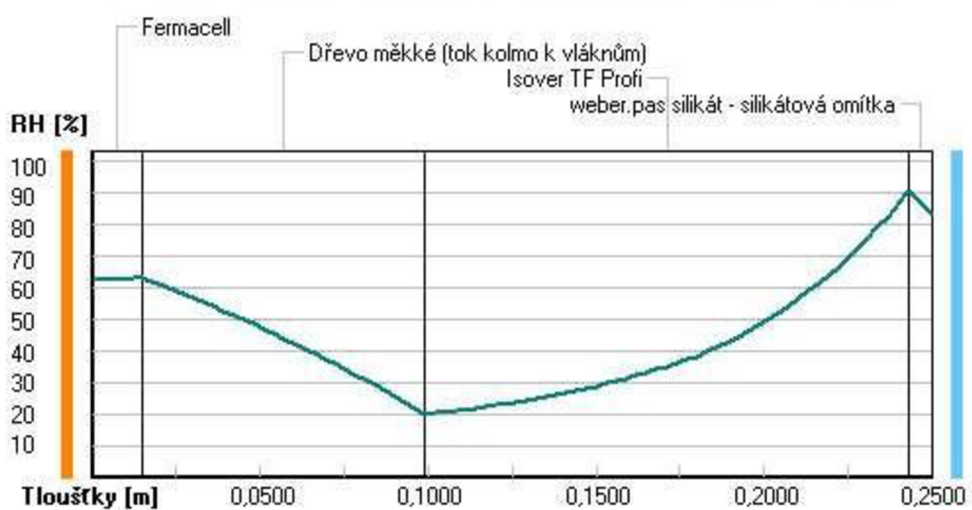
Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



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 : 1.700E-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):

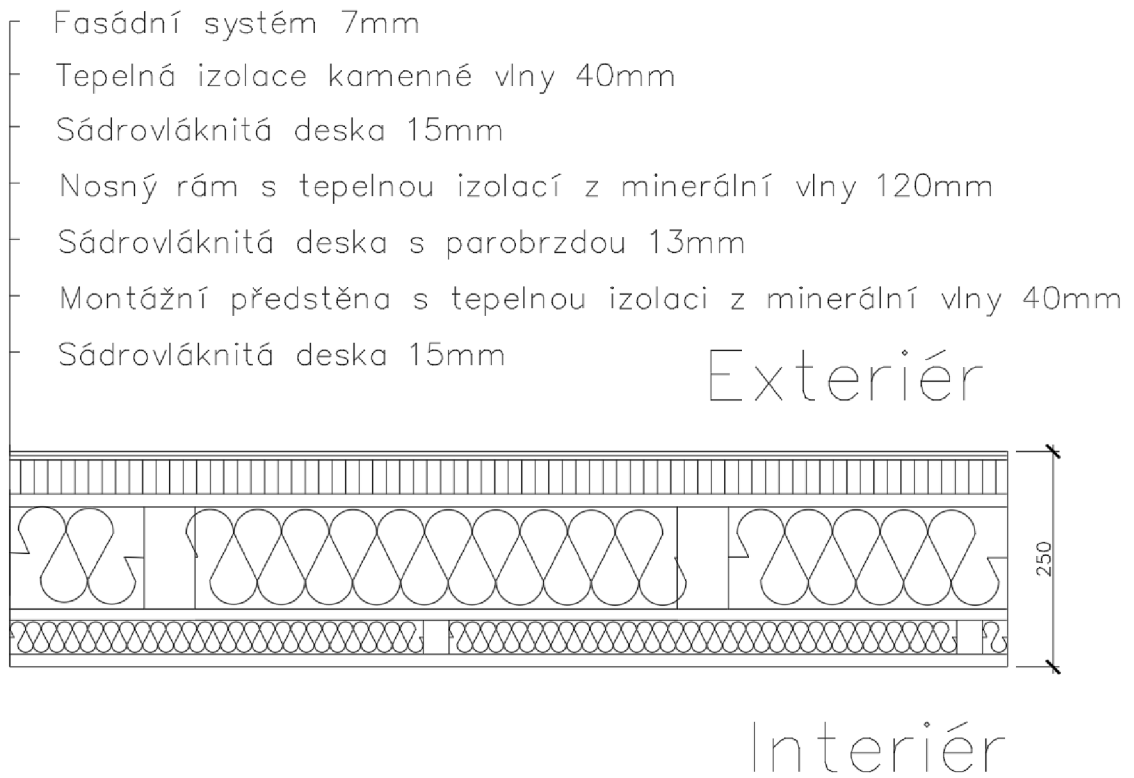
Číslo	Název	Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok				
		pod 60%	60-70%	70-80%	80-90%	nad 90%
1	Fermacell	59	244	62	---	---
2	Dřevo měkké (t	59	244	62	---	---
3	Isover TF Prof	---	---	214	151	---
4	weber.pas síli	---	---	214	151	---

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 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Příloha 5 - Detail skladby rámové konstrukce tl. 250 mm



Příloha 6 - Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 rámové konstrukce tl. 250 mm

SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

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

Název kece	Typ	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	Ma,max[kg/m ²]	Odpaření	DeltaT10 [C]
Obvodová stěna rámové ...	stěna	2.910	0.325	0.0058	ano	---

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 EDU

Název úlohy : Obvodová stěna rámové dřevostavby

Zpracovatel : TT 2017

Zakázka : BP

Datum : 25.02.2024

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	Fermacell	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	13,0	0.0000
2	Isover DOMO CO	0,0400	0,0540*	1000,3	48,8	1,0	0.0000
3	Fermacell Vapo	0,0130	0,3200	1100,0	1150,0	300,0	0.0000
4	Isover Akustik	0,1200	0,1170*	964,2	74,6	1,0	0.0000
5	Fermacell	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	13,0	0.0000
6	Rockwool Front	0,0400	0,0400	840,0	230,0	2,0	0.0000
7	weber.pas sili	0,0070	0,8000	920,0	1800,0	30,0	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

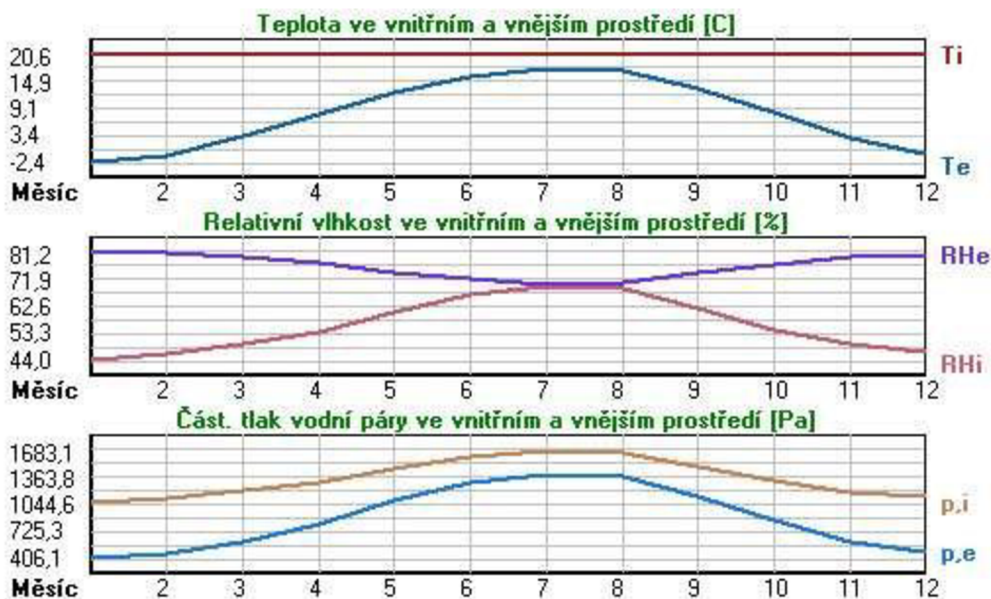
Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Fermacell ---	
2	Isover DOMO COMFORT	vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946 Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.043 W/(m.K) Tep. vodivost tep. mostů: 0.180 W/(m.K) Šířka tepelných mostů: 0.0600 m Tloušťka tepelných mostů: 0.0400 m Os. vzdálenost tep. mostů: 0.6250 m
3	Fermacell Vapor	---
4	Isover Akustik TP3	vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946 Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.111 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
5	Fermacell	---
6	Rockwool Frontrock MAX E	---
7	weber.pas silikát - silikátová omítka	---

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi :	0.13 m ² K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi :	0.25 m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse :	0.04 m ² K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse :	0.04 m ² K/W
Návrhová venkovní teplota Te :	-13.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai :	20.6 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe :	84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH _i :	55.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]	
1	31	744	20.6	44.0	1067.1	-2.4	81.2	406.1
2	28	672	20.6	46.1	1118.0	-0.9	80.8	457.9
3	31	744	20.6	49.4	1198.0	3.0	79.5	602.1
4	30	720	20.6	53.9	1307.2	7.7	77.5	814.1
5	31	744	20.6	60.8	1474.5	12.7	74.5	1093.5
6	30	720	20.6	66.5	1612.7	15.9	72.0	1300.1
7	31	744	20.6	69.4	1683.1	17.5	70.4	1407.2
8	31	744	20.6	68.5	1661.2	17.0	70.9	1373.1
9	30	720	20.6	61.8	1498.8	13.3	74.1	1131.2
10	31	744	20.6	54.5	1321.7	8.3	77.1	843.7
11	30	720	20.6	49.3	1195.6	2.9	79.5	597.9
12	31	744	20.6	46.6	1130.1	-0.6	80.7	468.9

Poznámka: Tai, RH_i 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 : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788. Počet hodnocených let :

1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Teplotní odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Teplotní odpor konstrukce R : 2.910 m²K/W
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.325 W/m²K

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.34 / 0.37 / 0.42 / 0.52 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 teplotně akumulční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce Z_{pT} : 2.5E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce N_y* podle EN ISO 13786 : 55.5

Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 7.6 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 17.97 C Teplotní faktor v návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : 0.922

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}			
1	11.2	0.593	7.9	0.449	18.8	0.922	49.2
2	12.0	0.598	8.6	0.443	18.9	0.922	51.2
3	13.0	0.569	9.6	0.377	19.2	0.922	53.8
4	14.3	0.515	10.9	0.251	19.6	0.922	57.4
5	16.2	0.446	12.8	0.009	20.0	0.922	63.2
6	17.6	0.369	14.1	-----	20.2	0.922	68.0
7	18.3	0.262	14.8	-----	20.4	0.922	70.4
8	18.1	0.307	14.6	-----	20.3	0.922	69.7
9	16.5	0.435	13.0	-----	20.0	0.922	64.0
10	14.5	0.505	11.1	0.229	19.6	0.922	57.8

11	13.0	0.569	9.6	0.379	19.2	0.922	53.7
12	12.1	0.600	8.8	0.442	18.9	0.922	51.6

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:

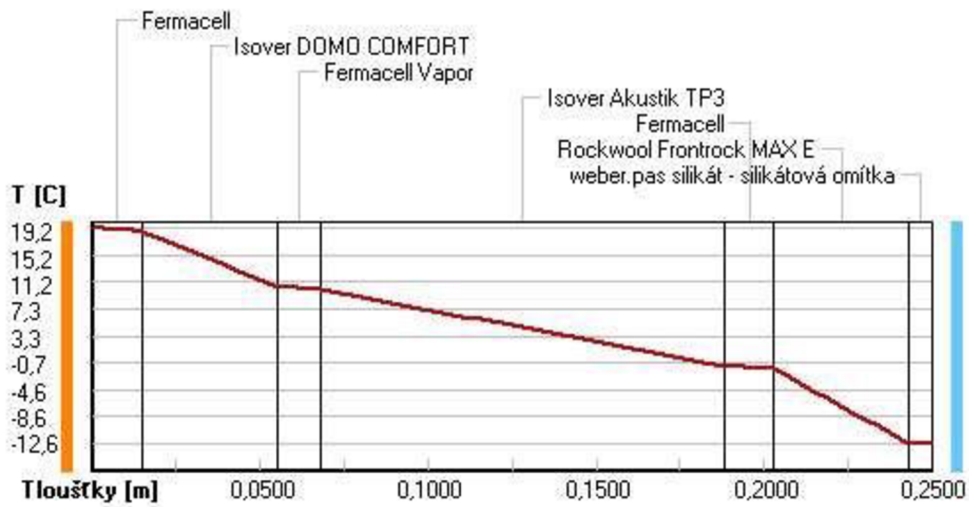
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

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

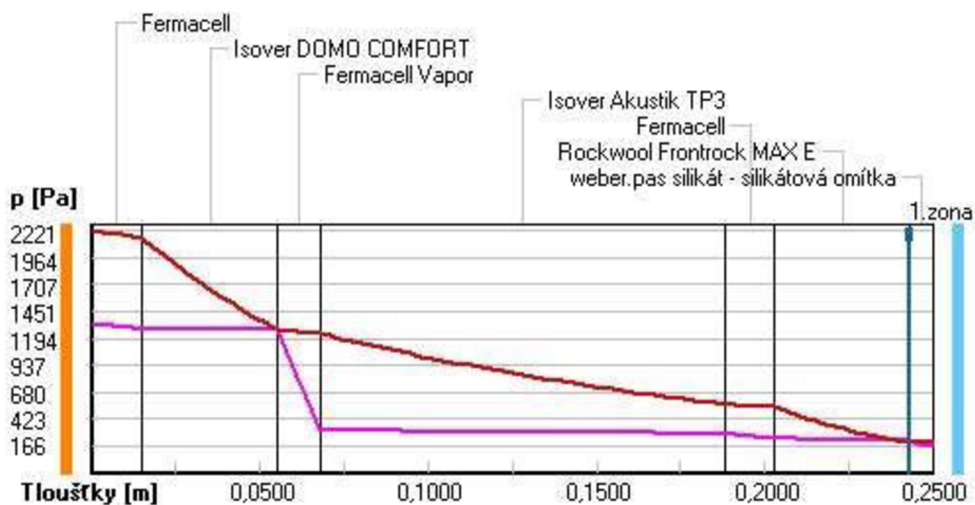
rozhraní: i 1-2 2-3 3-4 4-5 5-6 6-7 e theta [C]: 19.2 18.7 10.6 10.1 -1.0 -1.6 -12.5
 -12.6 p [Pa]: 1334 1286 1276 315 286 238 218 166 p,sat [Pa]: 2221 2151 1277
 1239 560 537 208 206

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.

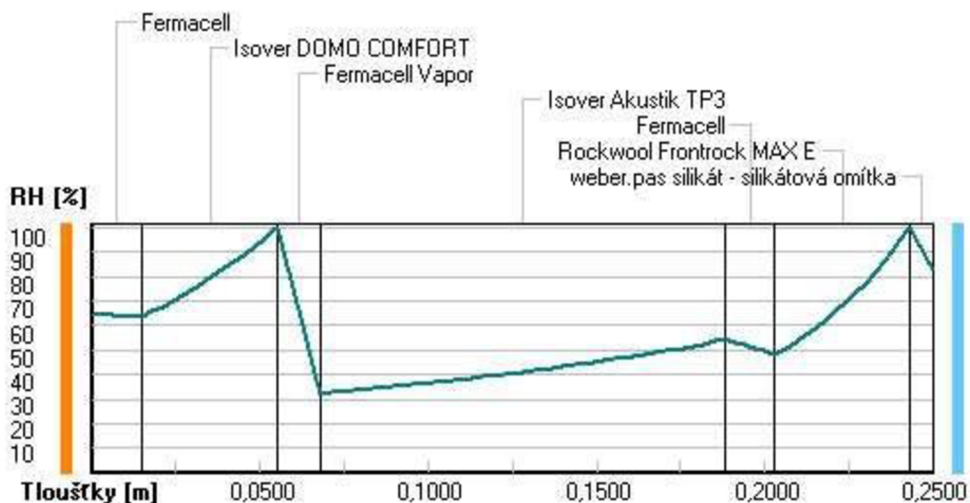
Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



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 Hranice kondenzační zóny Kondenzující množství číslo levá [m] pravá vodní páry [kg/(m²s)]

1	0.2430	0.2430	1.021E-0008
---	--------	--------	-------------

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: 0.0058 kg/(m².rok)
 Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: 9.1440 kg/(m².rok) Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -10.0 C.

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	Fermacell	212	153	---	---	---
2	Isover DOMO CO	---	273	92	---	---
3	Fermacell Vapo	---	273	92	---	---
4	Isover Akustik	151	214	---	---	---
5	Fermacell	151	214	---	---	---
6	Rockwool Front	---	---	214	151	---
7	weber.pas sili	---	---	214	151	---

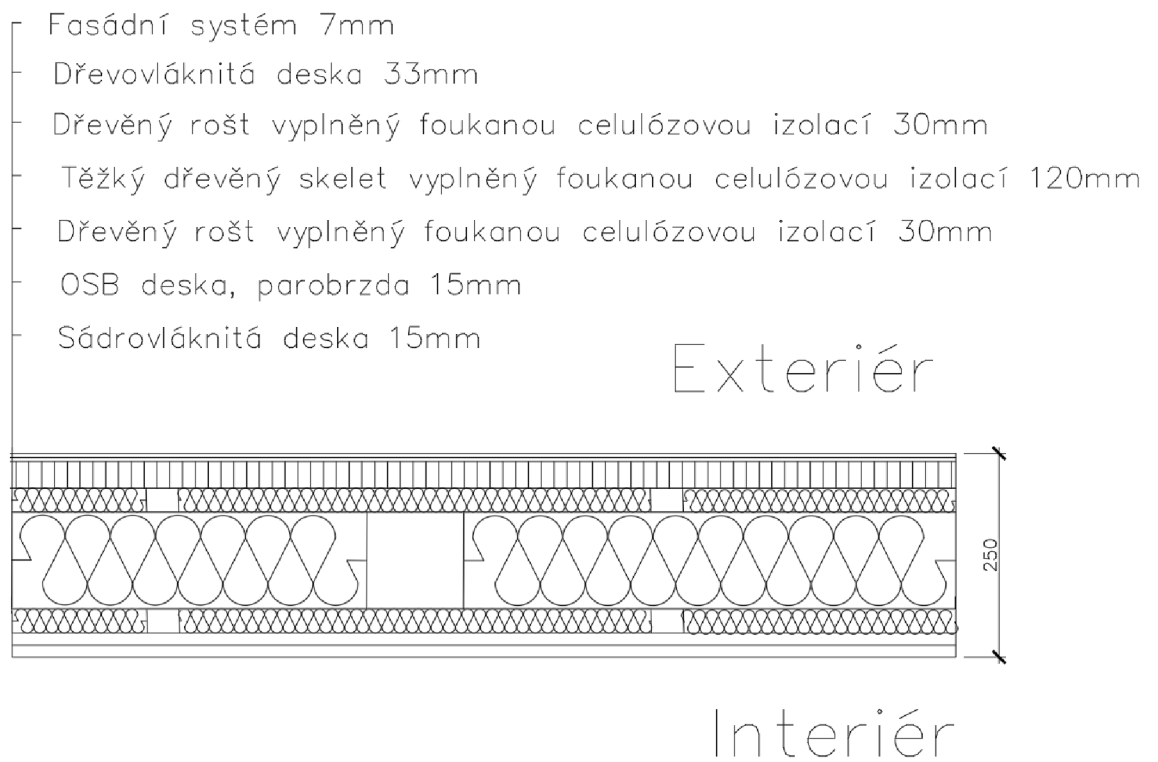
Poznámka: S pomocí této tabulky lze zjednodušeně odhadnout, jaké je riziko dosažení nepřipustné hmotnostní vlhkosti materiálu či riziko jeho koroze.

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 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Příloha 7 - Detail skladby konstrukce těžkého dřevěného skeletu tl. 250 mm



Příloha 8 - Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 konstrukce těžkého dřevěného skeletu tl. 250 mm

SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

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

Název kece	Typ	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	Ma,max[kg/m ²]	Odpaření	DeltaT10 [C]
Obvodová stěna těžký d...	stěna	4.835	0.200	0.0328	ano	---

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 EDU

Název úlohy : Obvodová stěna těžký dřevěný skelet

Zpracovatel : TT 2017 Zakázka :

Datum : 25.02.2024

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	Fermacell	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	13,0	0.0000
2	Egger OSB3	0,0150	0,1300	1700,0	600,0	180,0	0.0000
3	Isocell Celulo	0,0300	0,0480*	2032,6	72,4	1,5	0.0000
4	Isocell Celulo	0,1200	0,0460*	2024,5	66,8	1,5	0.0000
5	Isocell Celulo	0,0300	0,0480*	2032,6	72,4	1,5	0.0000
6	STEICO therm	0,0330	0,0410	2100,0	50,0	5,0	0.0000
7	weber.pas sili	0,0070	0,8000	920,0	1800,0	30,0	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

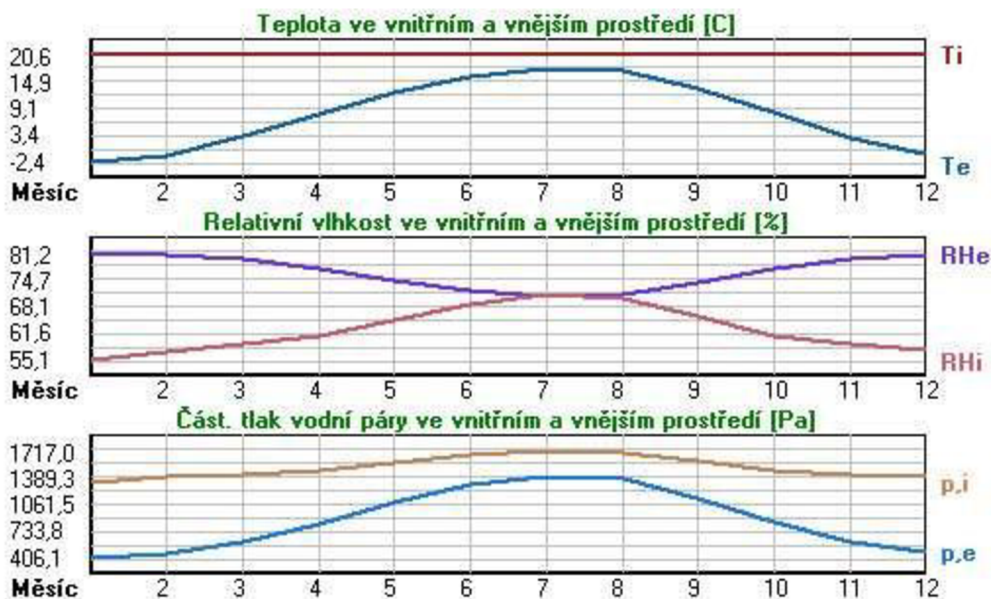
Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Fermacell	---
2	Egger OSB3	---
3	Isocell Celuloza	vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946 Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.040 W/(m.K) Tep. vodivost tep. mostů: 0.180 W/(m.K) Šířka tepelných mostů: 0.0400 m Tloušťka tepelných mostů: 0.0600 m Os. vzdálenost tep. mostů: 0.6250 m
4	Isocell Celuloza	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: 0.1200 m Tloušťka tepelných mostů: 0.1200 m Os. vzdálenost tep. mostů: 2.5000 m
5	Isocell Celuloza	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
6	STEICO therm ---	
7	weber.pas silikát - silikátová 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 :	-13.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai :	20.6 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe :	84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH _i :	55.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]	
1	31	744	20.6	55.1	1336.3	-2.4	81.2	406.1
2	28	672	20.6	57.3	1389.6	-0.9	80.8	457.9
3	31	744	20.6	58.8	1426.0	3.0	79.5	602.1
4	30	720	20.6	60.7	1472.1	7.7	77.5	814.1
5	31	744	20.6	64.9	1573.9	12.7	74.5	1093.5
6	30	720	20.6	68.7	1666.1	15.9	72.0	1300.1
7	31	744	20.6	70.8	1717.0	17.5	70.4	1407.2
8	31	744	20.6	70.1	1700.0	17.0	70.9	1373.1
9	30	720	20.6	65.6	1590.9	13.3	74.1	1131.2
10	31	744	20.6	61.0	1479.4	8.3	77.1	843.7
11	30	720	20.6	58.8	1426.0	2.9	79.5	597.9
12	31	744	20.6	57.7	1399.3	-0.6	80.7	468.9

Poznámka: Tai, RH_i 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 : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788. Počet hodnocených let :

1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Teplotní odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Teplotní odpor konstrukce R : 4.835 m²K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.200 W/m²K

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.22 / 0.25 / 0.30 / 0.40 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} : 1.9E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce N_y* podle EN ISO 13786 : 68.6

Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 7.7 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 18.96 C Teplotní faktor v

návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : 0.951

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% -----		Tsi[C]	f _{Rsi}	RHsi[%]
	Tsi,m[C]	f _{Rsi,m}	Tsi,m[C]	f _{Rsi,m}			
1	14.7	0.743	11.3	0.595	19.5	0.951	59.1
2	15.3	0.753	11.9	0.594	19.6	0.951	61.1
3	15.7	0.721	12.3	0.526	19.7	0.951	62.0
4	16.2	0.659	12.7	0.391	20.0	0.951	63.1
5	17.2	0.576	13.8	0.135	20.2	0.951	66.5
6	18.2	0.479	14.6	-----	20.4	0.951	69.7
7	18.6	0.365	15.1	-----	20.4	0.951	71.5
8	18.5	0.409	15.0	-----	20.4	0.951	70.9
9	17.4	0.564	13.9	0.087	20.2	0.951	67.1

10	16.3	0.648	12.8	0.367	20.0	0.951	63.3
11	15.7	0.723	12.3	0.529	19.7	0.951	62.0
12	15.4	0.755	12.0	0.593	19.6	0.951	61.5

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:

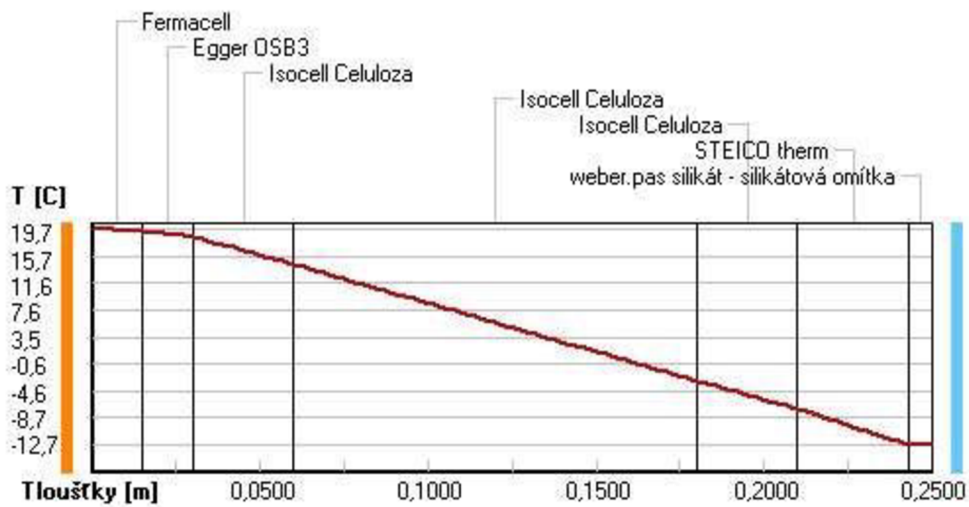
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

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

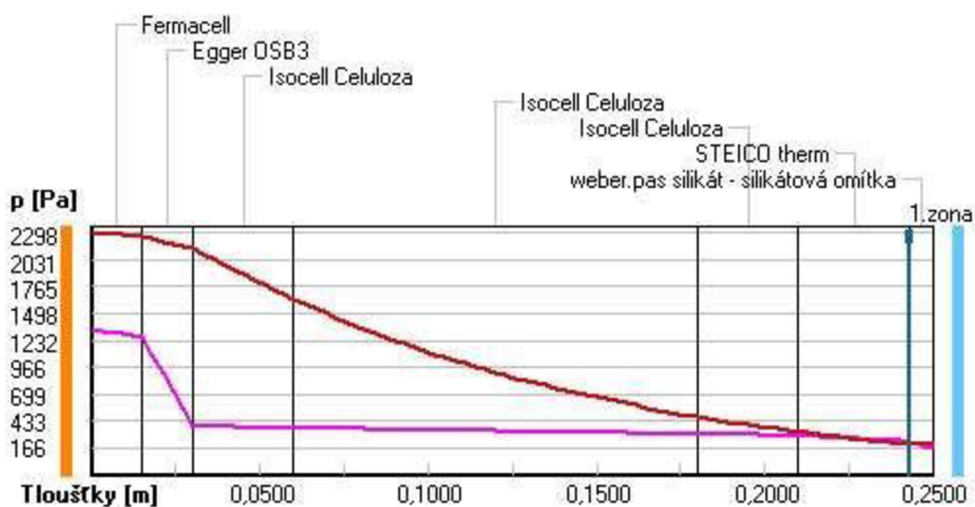
rozhraní: i 1-2 2-3 3-4 4-5 5-6 6-7 e theta [C]: 19.7 19.4 18.6 14.4 -3.1 -7.3 -12.7
 -12.7 p [Pa]: 1334 1270 379 364 305 290 236 166 p,sat [Pa]: 2298 2253 2147
 1644 473 330 204 203

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.

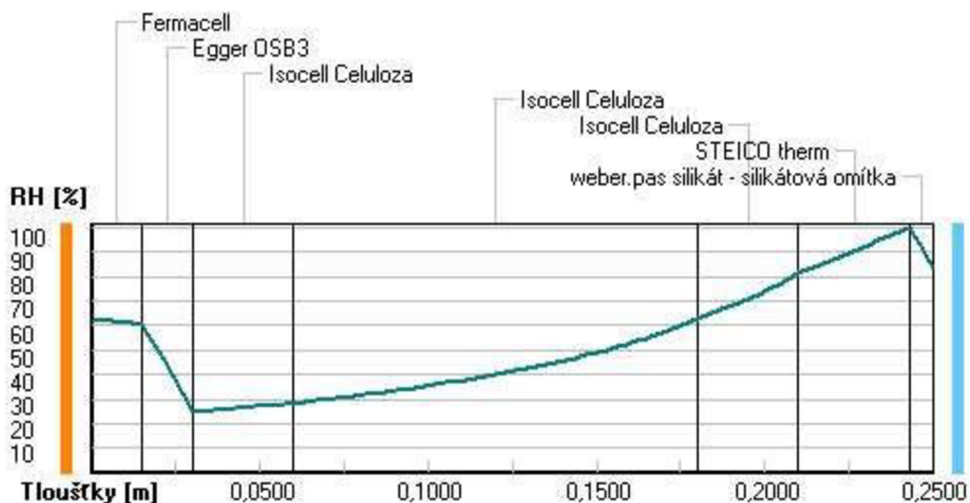
Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



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	Hranice kondenzační zóny	Kondenzující množství číslo	levá	pravá	[m]
1	0.2430	0.2430	3.200E-0008		

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: 0.0328 kg/(m².rok)
Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: 8.9785 kg/(m².rok) Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -5.0 C.

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):

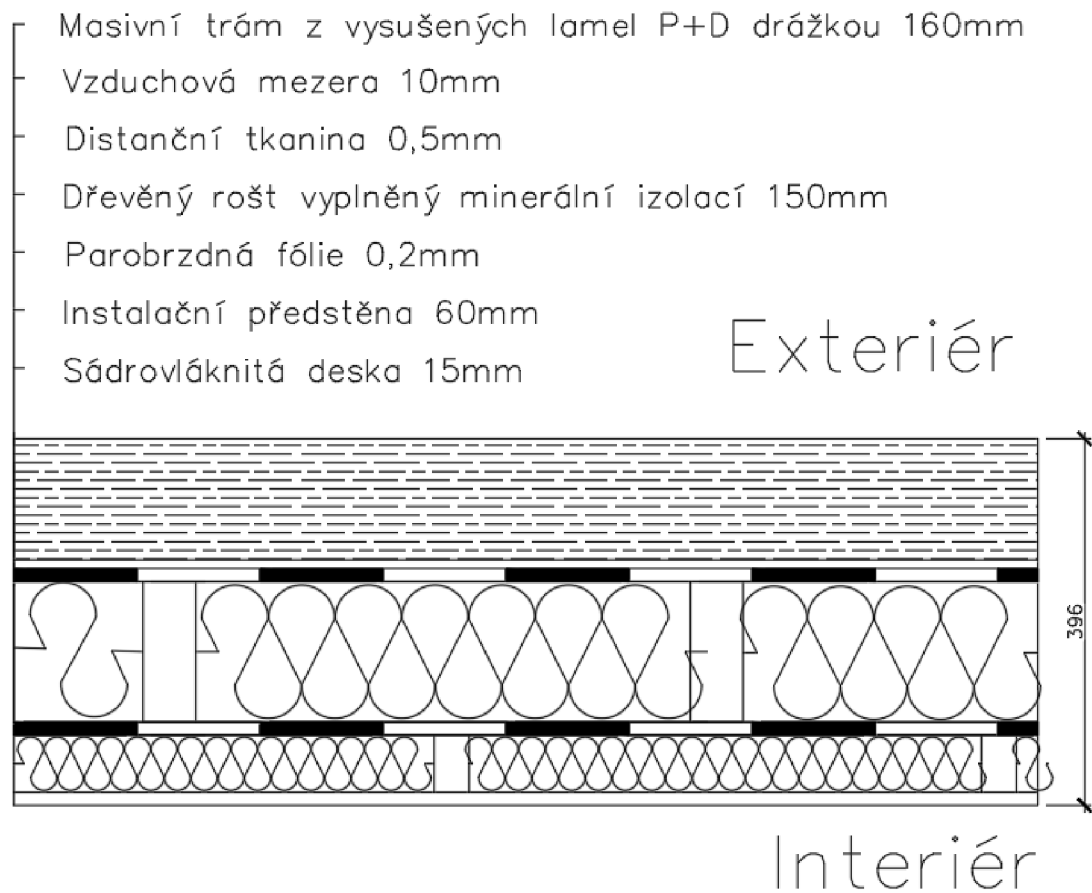
Číslo	Název	Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok				
		pod 60%	60-70%	70-80%	80-90%	nad 90%
1	Fermacell	90	213	62	---	---
2	Egger OSB3	151	183	31	---	---
3	Isocell Celulo	303	62	---	---	---
4	Isocell Celulo	---	365	---	---	---
5	Isocell Celulo	---	62	303	---	---
6	STEICO therm	---	---	184	150	31
7	weber.pas sili	---	---	184	150	31

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 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Příloha 9 - Detail skladby optimalizované roubené konstrukce pro pasivní standard



Příloha 10 - Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 optimalizované roubené konstrukce pro pasivní standard

SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

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

Název kece	Typ	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	Ma,max[kg/m ²]	Odpaření	DeltaT10 [C]
Obvodová stěna roubené...	stěna	5.348	0.178	0.4665	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 EDU

Název úlohy : Obvodová stěna roubené stavby

Zpracovatel : TT 2017 Zakázka :

Datum : 25.02.2024

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	Fermacell	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	13,0	0.0000
2	Isover DOMO CO	0,0400	0,0540*	1000,3	48,8	1,0	0.0000
3	Egger OSB3	0,0150	0,1300	1700,0	600,0	180,0	0.0000
4	STEICO flex 03	0,1600	0,0470*	2126,2	81,8	2,0	0.0000
5	pro clima SOLI	0,0005	0,1700	1500,0	280,0	160,0	0.0000
6	Uzavřená vzduch	0,0100	0,0670	1010,0	1,2	1,0	0.0000
7	Dřevo měkké (t	0,1600	0,1800	2510,0	400,0	157,0	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

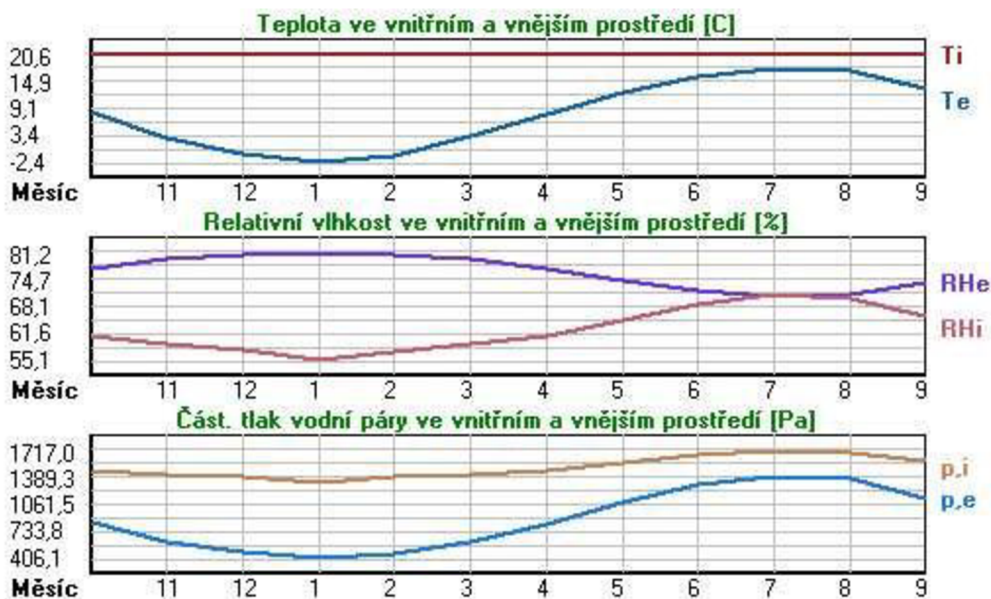
Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Fermacell	---
2	Isover DOMO COMFORT	vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946 Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.043 W/(m.K) Tep. vodivost tep. mostů: 0.180 W/(m.K) Šířka tepelných mostů: 0.0600 m Tloušťka tepelných mostů: 0.0400 m Os. vzdálenost tep. mostů: 0.6250 m
3	Egger OSB3	---
4	STEICO flex 036	vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946 Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.038 W/(m.K) Tep. vodivost tep. mostů: 0.180 W/(m.K) Šířka tepelných mostů: 0.0400 m Tloušťka tepelných mostů: 0.1600 m Os. vzdálenost tep. mostů: 0.6250 m
5	pro clima SOLITEX UD connect	---
6	Uzavřená vzduch. dutina tl. 10 mm	---
7	Dřevo měkké (tok kolmo k vláknům)	---

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi :	0.13 m ² K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi :	0.25 m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse :	0.13 m ² K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse :	0.13 m ² K/W
Návrhová venkovní teplota Te :	-13.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai :	20.6 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe :	84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH _i :	55.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]
1	31 744	20.6	55.1	1336.3	-2.4	81.2	406.1
2	28 672	20.6	57.3	1389.6	-0.9	80.8	457.9
3	31 744	20.6	58.8	1426.0	3.0	79.5	602.1
4	30 720	20.6	60.7	1472.1	7.7	77.5	814.1
5	31 744	20.6	64.9	1573.9	12.7	74.5	1093.5
6	30 720	20.6	68.7	1666.1	15.9	72.0	1300.1
7	31 744	20.6	70.8	1717.0	17.5	70.4	1407.2
8	31 744	20.6	70.1	1700.0	17.0	70.9	1373.1
9	30 720	20.6	65.6	1590.9	13.3	74.1	1131.2
10	31 744	20.6	61.0	1479.4	8.3	77.1	843.7
11	30 720	20.6	58.8	1426.0	2.9	79.5	597.9
12	31 744	20.6	57.7	1399.3	-0.6	80.7	468.9

Poznámka: Tai, RH_i 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 : 5.0 %

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 : 5.348 m²K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.178 W/m²K

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.20 / 0.23 / 0.28 / 0.38 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} : 1.5E+0011 m/s

Teplotní útlum konstrukce N_y* podle EN ISO 13786 : 662.3

Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 18.1 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 19.13 C Teplotní faktor v návrhových podmínkách

f_{Rsi,p} : 0.956

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% -----		Tsi[C]	f _{Rsi}	RHsi[%]
	Tsi,m[C]	f _{Rsi,m}	Tsi,m[C]	f _{Rsi,m}			
1	14.7	0.743	11.3	0.595	19.6	0.956	58.6
2	15.3	0.753	11.9	0.594	19.7	0.956	60.7
3	15.7	0.721	12.3	0.526	19.8	0.956	61.7
4	16.2	0.659	12.7	0.391	20.0	0.956	62.8
5	17.2	0.576	13.8	0.135	20.3	0.956	66.3
6	18.2	0.479	14.6	-----	20.4	0.956	69.6
7	18.6	0.365	15.1	-----	20.5	0.956	71.4
8	18.5	0.409	15.0	-----	20.4	0.956	70.8
9	17.4	0.564	13.9	0.087	20.3	0.956	66.9

10	16.3	0.648	12.8	0.367	20.1	0.956	63.1
11	15.7	0.723	12.3	0.529	19.8	0.956	61.7
12	15.4	0.755	12.0	0.593	19.7	0.956	61.1

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:

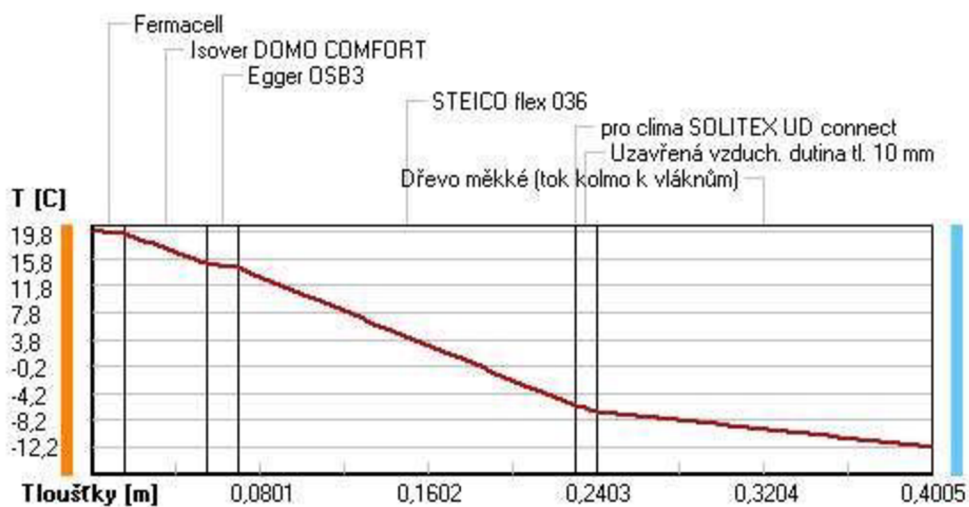
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

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 e theta [C]: 19.8 19.5 15.1 14.4 -6.0 -6.0 -6.9 -
12.2 p [Pa]: 1334 1326 1324 1213 1200 1197 1197 166 p,sat [Pa]: 2311 2271 1716
1641 369 368 341 212

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.

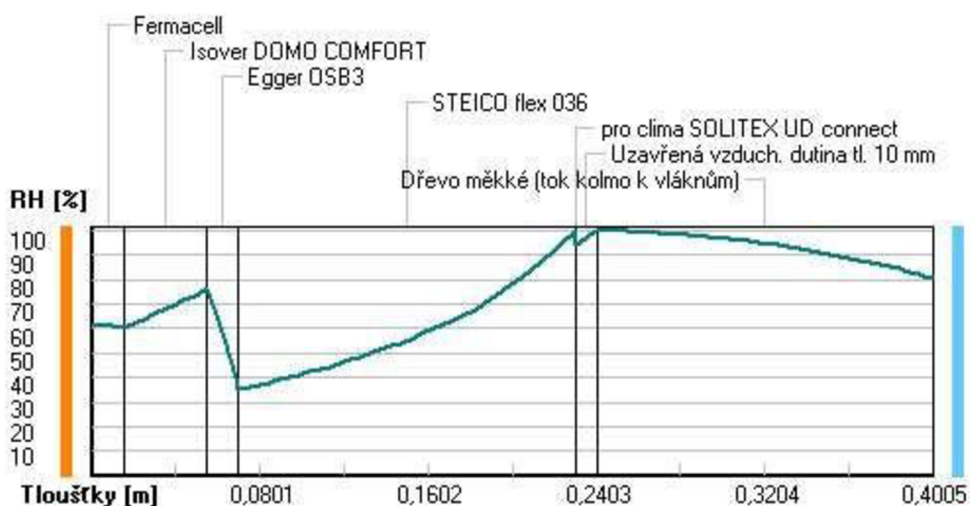
Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



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	Hranice kondenzační zóny	Kondenzující množství číslo	levá	práva	vodní páry [kg/(m2s)]	[m]
1	0.2405	0.2405	5.799E-0008			

1	0.2405	0.2405	5.799E-0008			
---	--------	--------	-------------	--	--	--

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: 0.4136 kg/(m2.rok)
 Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: 0.5272 kg/(m2.rok) Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 10.0 C.

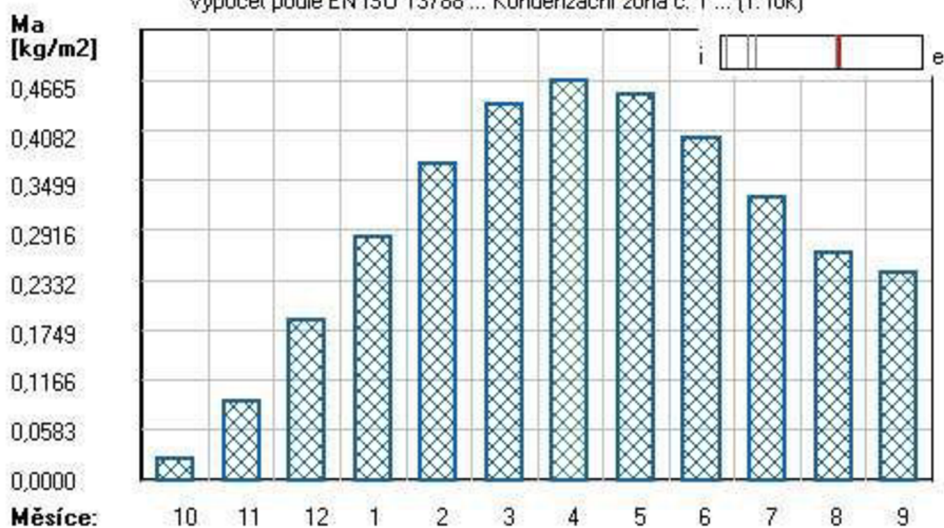
Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci dochází během modelového roku ke kondenzaci.

Kondenzační zóna č. 1

Akumulované množství zkondenzované vlhkosti
Výpočet podle EN ISO 13788 ... Kondenzační zóna č. 1 ... (1. rok)



Měsíc	Hranice kond.zóny v kg/m² za měsíc		Dif.tok do/ze zóny v kg/m² za měsíc		Kondenz./vypař. v kg/m² za měsíc	Akumul. vlhkost v m od interiéru
	levá	pravá	g.in	g.out	Mc/Mev	Ma
10	0.2405	0.2405	0.0332	0.0091	0.0241	0.0241
11	0.2405	0.2405	0.0750	0.0071	0.0679	0.0920
12	0.2405	0.2405	0.1006	0.0064	0.0942	0.1861
1	0.2405	0.2405	0.0995	0.0059	0.0936	0.2828
2	0.2405	0.2405	0.0914	0.0058	0.0856	0.3684
3	0.2405	0.2405	0.0766	0.0074	0.0693	0.4377
4	0.2405	0.2405	0.0374	0.0086	0.0288	0.4665
5	0.2405	0.2405	-0.0061	0.0111	-0.0171	0.4494
6	0.2405	0.2405	-0.0373	0.0125	-0.0498	0.3996
7	0.2405	0.2405	-0.0567	0.0142	-0.0709	0.3287
8	0.2405	0.2405	-0.0510	0.0138	-0.0647	0.2640
9	0.2405	0.2405	-0.0113	0.0110	-0.0223	0.2417

Max. množství zkondenzované vodní páry za rok Mc,a: 0.4665 kg/m²

Množství vypařitelné vodní páry za rok Mev,a: 0.2248 kg/m² z toho se odpaří
do exteriéru: 0.0625 kg/m²
..... a do interiéru: 0.1623 kg/m²

Na konci modelového roku je zóna stále vlhká (tj. Mc,a > Mev,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	Fermacell	90	213	62	---	---
2	Isover DOMO CO	---	212	153	---	---
3	Egger OSB3	---	212	61	92	---
4	STEICO flex 03	---	---	---	---	365
5	pro clima SOLI	---	---	---	---	365
6	Uzavřená vzduch	---	---	---	---	365
7	Dřevo měkké (t	---	---	---	---	365

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

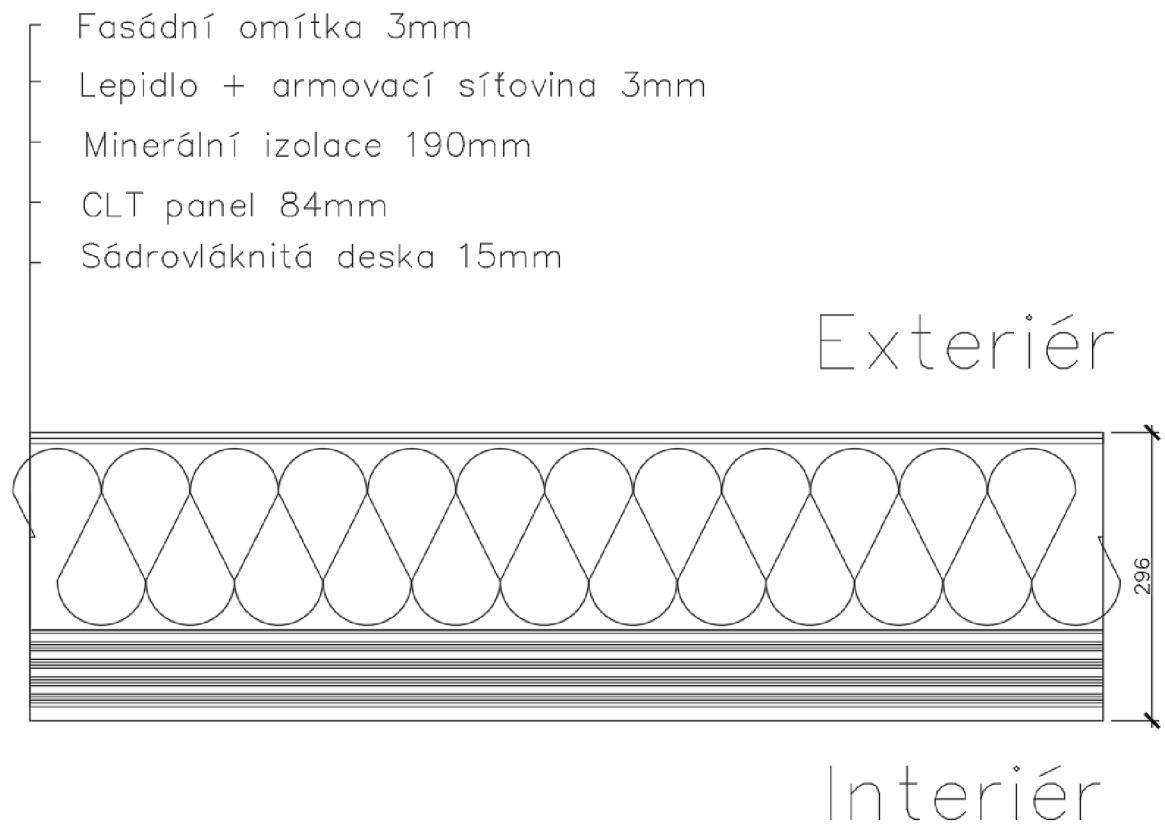
Konkrétně pro dřevo předepisuje ČSN 730540-2/Z1 maximální přípustnou hmotnostní vlhkost 18 %. Ze srovnání

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 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Příloha 11 - Detail skladby optimalizované konstrukce z CLT pro pasivní standard



Příloha 12 - Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 optimalizované konstrukce z CLT panelů pro pasivní standard

SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

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

Název kece	Typ	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	Ma,max[kg/m ²]	Odpaření	DeltaT10 [C]
Obvodová stěna CLT...	stěna	5.785	0.168	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 EDU

Název úlohy : Obvodová stěna CLT

Zpracovatel : TT 2017 Zakázka :

Datum : 25.02.2024

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější jednoplašťová Korekce součinitele

prostupu dU : 0.000 W/m²K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D	Lambda	c	Ro	Mi	Ma	[m]	[W/(m.K)]
	[J/(kg.K)]	[kg/m ³]	[-]	[kg/m ²]					
1	Fermacell	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	13,0	0.0000	2	Dřevo měkké (t 0,0840 0,1800 2510,0 400,0 157,0 0.0000
3	Isover TF Prof	0,0070	0,8000	920,0	1800,0	30,0	0.0000	4	weber.pas silni

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.

Číslo Kompletní název vrstvy Interní výpočet tep. vodivosti

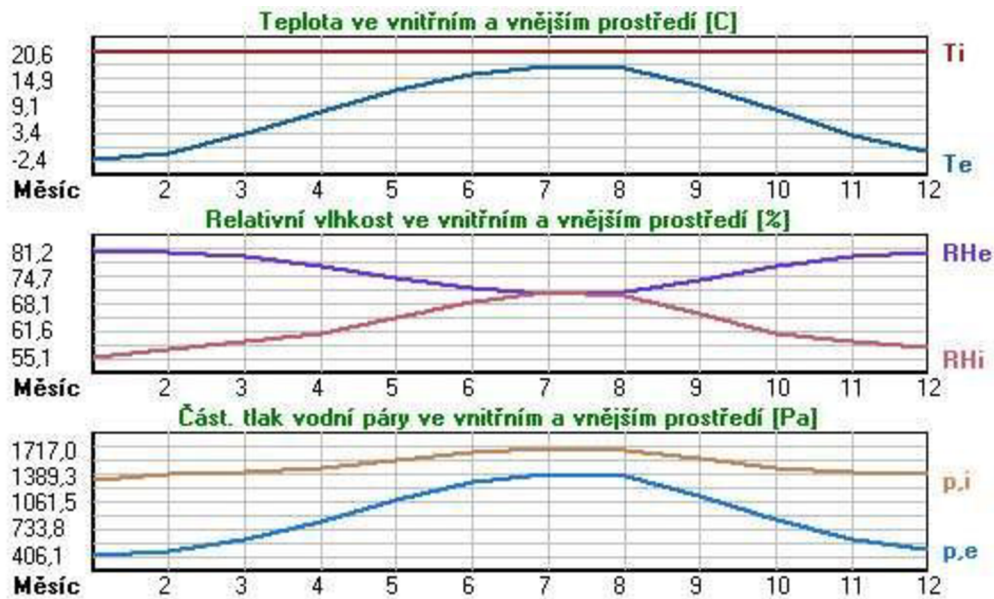
- 1 Fermacell ---
- 2 Dřevo měkké (tok kolmo k vláknům)
-
- 3 Isover TF Profi ---
- 4 weber.pas silikát - silikátová omítka

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 :	-13.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai :	20.6 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe :	84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH <i>i</i> :	55.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]	
1	31	744	20.6	55.1	1336.3	-2.4	81.2	406.1
2	28	672	20.6	57.3	1389.6	-0.9	80.8	457.9
3	31	744	20.6	58.8	1426.0	3.0	79.5	602.1
4	30	720	20.6	60.7	1472.1	7.7	77.5	814.1
5	31	744	20.6	64.9	1573.9	12.7	74.5	1093.5
6	30	720	20.6	68.7	1666.1	15.9	72.0	1300.1
7	31	744	20.6	70.8	1717.0	17.5	70.4	1407.2
8	31	744	20.6	70.1	1700.0	17.0	70.9	1373.1
9	30	720	20.6	65.6	1590.9	13.3	74.1	1131.2
10	31	744	20.6	61.0	1479.4	8.3	77.1	843.7
11	30	720	20.6	58.8	1426.0	2.9	79.5	597.9
12	31	744	20.6	57.7	1399.3	-0.6	80.7	468.9

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 : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788. Počet hodnocených let :

1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Teplotný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Teplotný odpor konstrukce R : 5.785 m²K/W Součinitel prostupu tepla konstrukce
U : 0.168 W/m²K

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.19 / 0.22 / 0.27 / 0.37 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 ZpT : 7.3E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny* podle EN ISO 13786 : 166.5

Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 11.4 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách Tsi,p : 19.22 C Teplotní faktor v
návrhových podmínkách f,Rsi,p : 0.959

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			
1	14.7	0.743	11.3	0.595	19.7	0.959	58.4
2	15.3	0.753	11.9	0.594	19.7	0.959	60.5
3	15.7	0.721	12.3	0.526	19.9	0.959	61.5
4	16.2	0.659	12.7	0.391	20.1	0.959	62.7
5	17.2	0.576	13.8	0.135	20.3	0.959	66.2
6	18.2	0.479	14.6	-----	20.4	0.959	69.5
7	18.6	0.365	15.1	-----	20.5	0.959	71.4
8	18.5	0.409	15.0	-----	20.5	0.959	70.7
9	17.4	0.564	13.9	0.087	20.3	0.959	66.8
10	16.3	0.648	12.8	0.367	20.1	0.959	62.9
11	15.7	0.723	12.3	0.529	19.9	0.959	61.5
12	15.4	0.755	12.0	0.593	19.7	0.959	60.9

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:

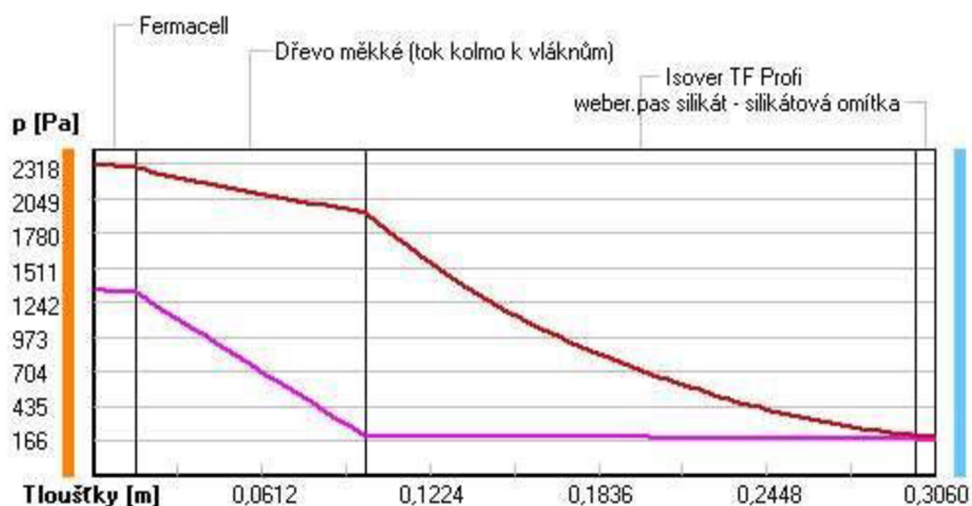
rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	e
theta [C]:	19.9	19.6	17.0	-12.7	-12.8
p [Pa]:	1334	1317	201	184	166
p,sat [Pa]:	2318	2280	1933	203	202

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.

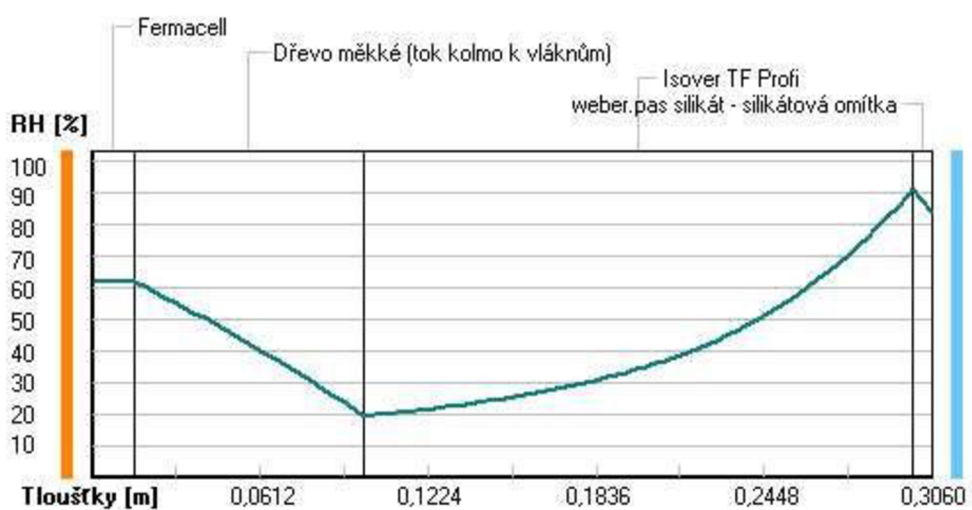
Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



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 : 1.693E-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):

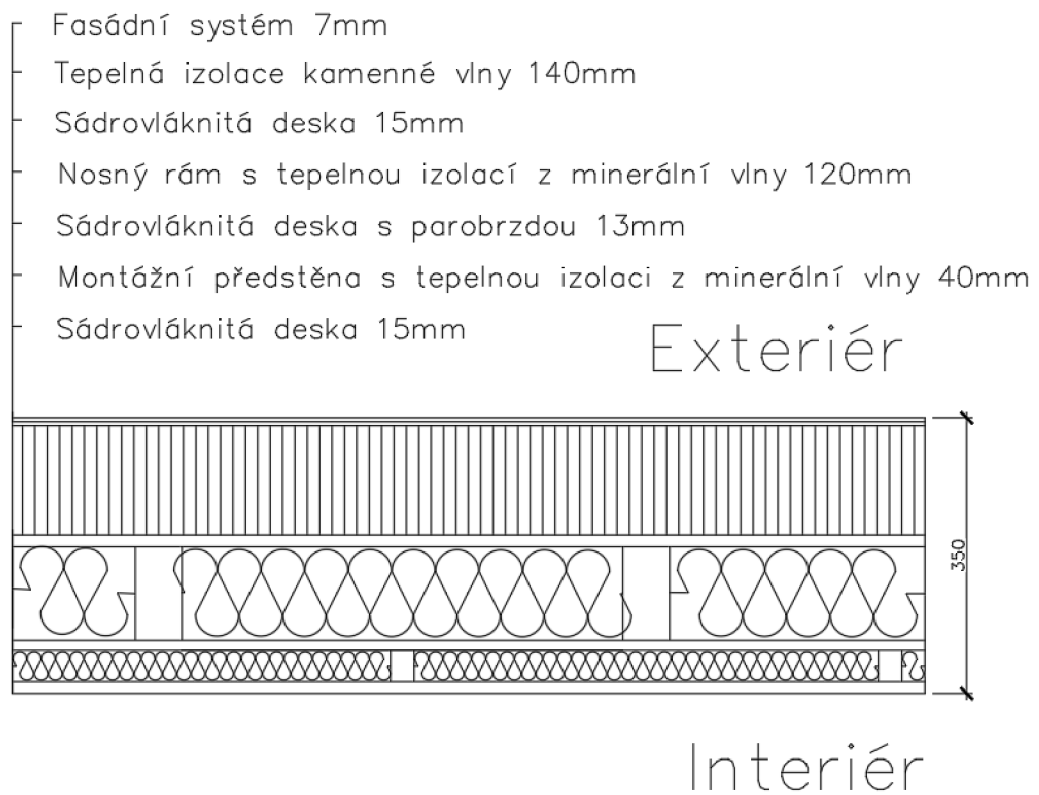
Číslo	Název	Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok				
		pod 60%	60-70%	70-80%	80-90%	nad 90%
1	Fermacell	90	213	62	---	---
2	Dřevo měkké (t	90	213	62	---	---
3	Isover TF Prof	---	---	214	151	---
4	weber.pas síli	---	---	214	151	---

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 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Příloha 13 - Detail skladby optimalizované rámové konstrukce pro pasivní standard



Příloha 14 - Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 optimalizované rámové konstrukce pro pasivní standard

SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

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

Název kece	Typ	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	Ma,max[kg/m ²]	Odpaření	DeltaT10 [C]
Obvodová stěna rámové ...	stěna	5.410	0.179	0.0071	ano	---

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 EDU

Název úlohy : Obvodová stěna rámové dřevostavby

Zpracovatel : TT 2017

Zakázka : BP

Datum : 25.02.2024

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	Fermacell	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	13,0	0.0000
2	Isover DOMO CO	0,0400	0,0540*	1000,3	48,8	1,0	0.0000
3	Fermacell Vapo	0,0130	0,3200	1100,0	1150,0	300,0	0.0000
4	Isover Akustik	0,1200	0,1170*	964,2	74,6	1,0	0.0000
5	Fermacell	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	13,0	0.0000
6	Rockwool Front	0,1400	0,0400	840,0	230,0	2,0	0.0000
7	weber.pas sili	0,0070	0,8000	920,0	1800,0	30,0	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

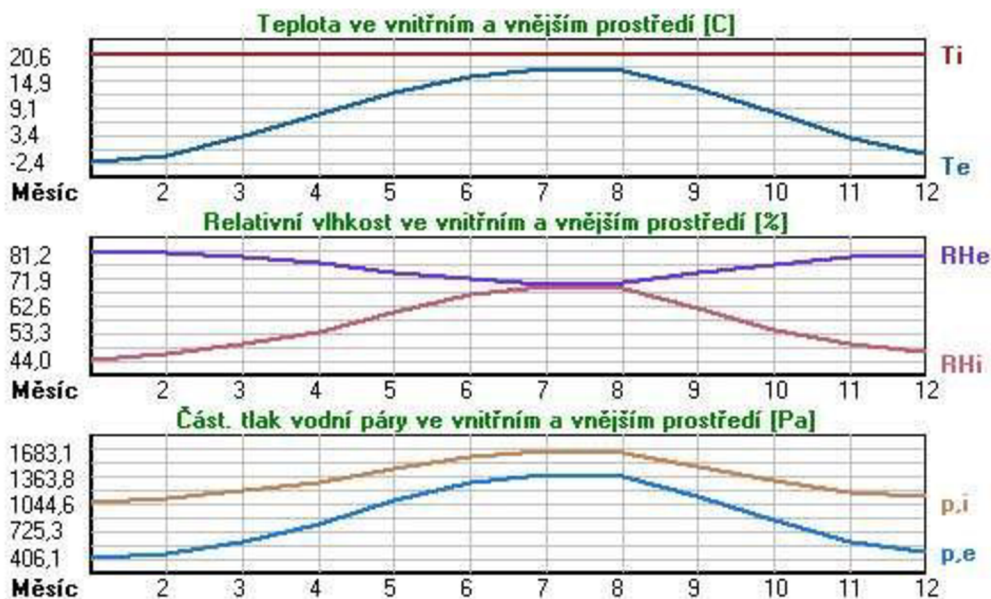
Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Fermacell ---	
2	Isover DOMO COMFORT	vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946 Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.043 W/(m.K) Tep. vodivost tep. mostů: 0.180 W/(m.K) Šířka tepelných mostů: 0.0600 m Tloušťka tepelných mostů: 0.0400 m Os. vzdálenost tep. mostů: 0.6250 m
3	Fermacell Vapor	---
4	Isover Akustik TP3	vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946 Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.111 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
5	Fermacell	---
6	Rockwool Frontrock MAX E	---
7	weber.pas silikát - silikátová omítka	---

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi :	0.13 m ² K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi :	0.25 m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse :	0.04 m ² K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse :	0.04 m ² K/W
Návrhová venkovní teplota Te :	-13.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai :	20.6 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe :	84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH _i :	55.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]	
1	31	744	20.6	44.0	1067.1	-2.4	81.2	406.1
2	28	672	20.6	46.1	1118.0	-0.9	80.8	457.9
3	31	744	20.6	49.4	1198.0	3.0	79.5	602.1
4	30	720	20.6	53.9	1307.2	7.7	77.5	814.1
5	31	744	20.6	60.8	1474.5	12.7	74.5	1093.5
6	30	720	20.6	66.5	1612.7	15.9	72.0	1300.1
7	31	744	20.6	69.4	1683.1	17.5	70.4	1407.2
8	31	744	20.6	68.5	1661.2	17.0	70.9	1373.1
9	30	720	20.6	61.8	1498.8	13.3	74.1	1131.2
10	31	744	20.6	54.5	1321.7	8.3	77.1	843.7
11	30	720	20.6	49.3	1195.6	2.9	79.5	597.9
12	31	744	20.6	46.6	1130.1	-0.6	80.7	468.9

Poznámka: Tai, RH_i 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 : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788. Počet hodnocených let :

1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Teplotní odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Teplotní odpor konstrukce R : 5.410 m²K/W
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.179 W/m²K

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.20 / 0.23 / 0.28 / 0.38 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 teplotně akumulční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce Z_{pT} : 2.6E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce N_y* podle EN ISO 13786 : 235.6

Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 12.2 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 19.13 C Teplotní faktor v návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : 0.956

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}			
1	11.2	0.593	7.9	0.449	19.6	0.956	46.8
2	12.0	0.598	8.6	0.443	19.7	0.956	48.9
3	13.0	0.569	9.6	0.377	19.8	0.956	51.8
4	14.3	0.515	10.9	0.251	20.0	0.956	55.8
5	16.2	0.446	12.8	0.009	20.3	0.956	62.1
6	17.6	0.369	14.1	-----	20.4	0.956	67.4
7	18.3	0.262	14.8	-----	20.5	0.956	70.0
8	18.1	0.307	14.6	-----	20.4	0.956	69.2
9	16.5	0.435	13.0	-----	20.3	0.956	63.0
10	14.5	0.505	11.1	0.229	20.1	0.956	56.3

11	13.0	0.569	9.6	0.379	19.8	0.956	51.7
12	12.1	0.600	8.8	0.442	19.7	0.956	49.4

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:

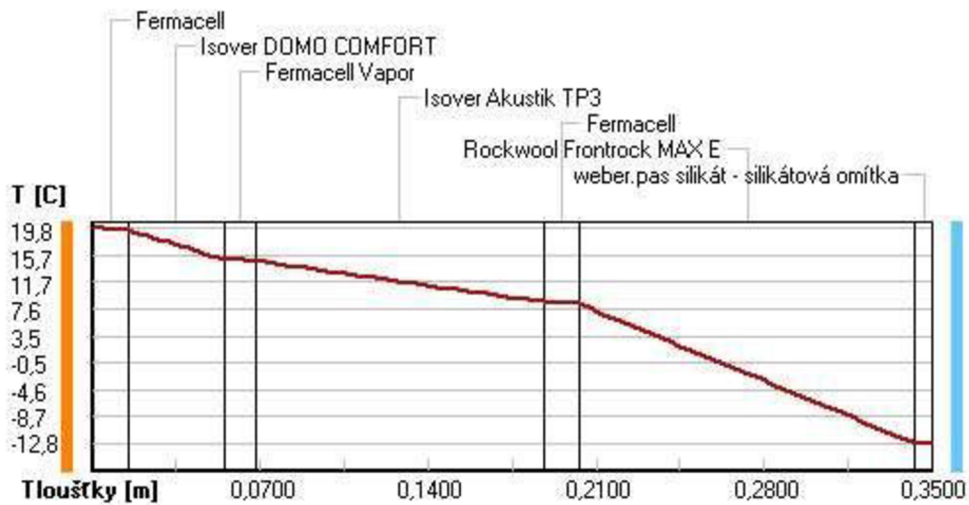
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

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

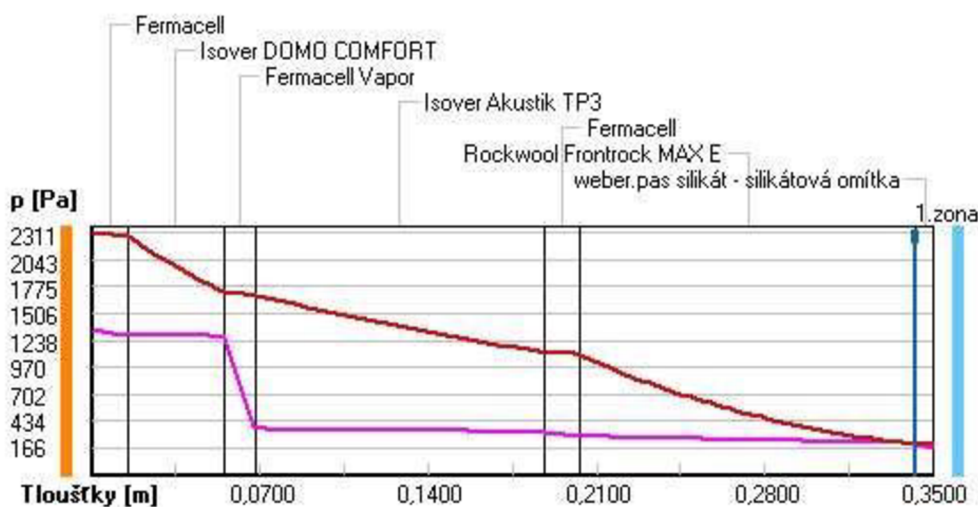
rozhraní: i 1-2 2-3 3-4 4-5 5-6 6-7 e theta [C]: 19.8 19.5 15.1 14.8 8.7 8.4 -12.7 -
12.8 p [Pa]: 1334 1288 1278 357 328 282 216 166 p,sat [Pa]: 2311 2271 1713
1686 1121 1100 203 202

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.

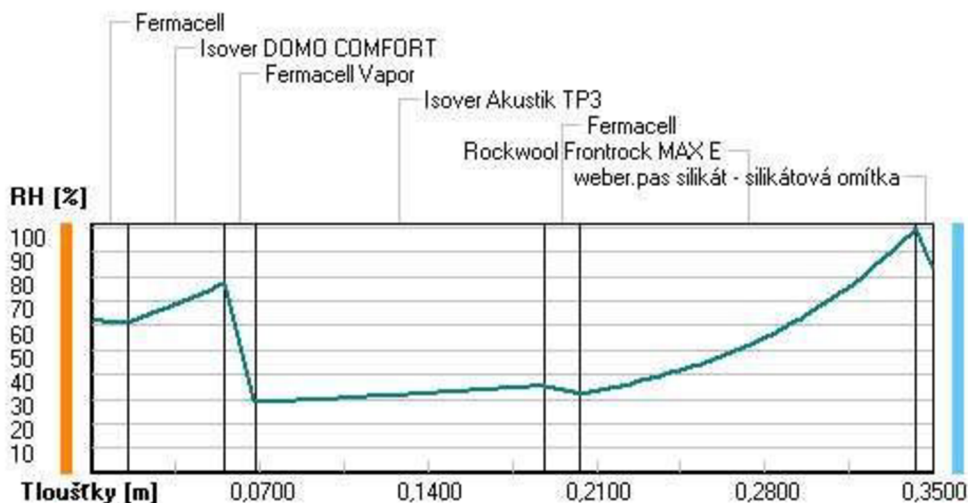
Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



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 Hranice kondenzační zóny Kondenzující množství číslo levá [m] pravá vodní páry [kg/(m2s)]

1	0.3430	0.3430	1.253E-0008
---	--------	--------	-------------

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: 0.0071 kg/(m2.rok)
Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: 9.0016 kg/(m2.rok) Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -10.0 C.

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	Fermacell	212	153	---	---	---
2	Isover DOMO CO	151	152	62	---	---
3	Fermacell Vapo	151	152	62	---	---
4	Isover Akustik	273	92	---	---	---
5	Fermacell	273	92	---	---	---
6	Rockwool Front	---	---	214	151	---
7	weber.pas sili	---	---	214	151	---

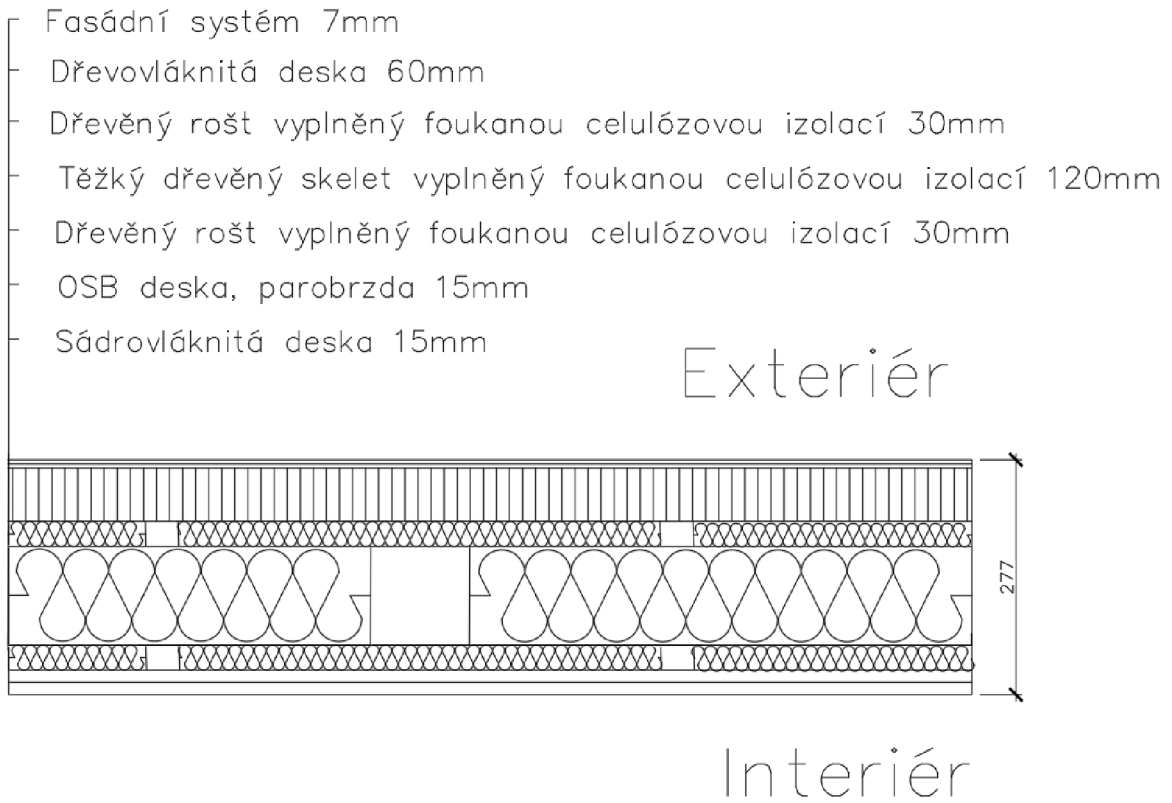
Poznámka: S pomocí této tabulky lze zjednodušeně odhadnout, jaké je riziko dosažení nepřijatelné hmotnostní vlhkosti materiálu či riziko jeho koroze.

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 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Příloha 15 - Detail skladby optimalizované konstrukce těžkého dřevěného skeletu pro pasivní standard



Příloha 16 - Protokol posouzení v softwaru Teplo2017 optimalizované konstrukce těžkého dřevěného skeletu pro pasivní standard

SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

Teplo 2017 EDU 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]
Obvodová stěna těžký d...	stěna	5.493	0.177	0.0302	ano	---

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 EDU

Název úlohy : Obvodová stěna těžký dřevěný skelet

Zpracovatel : TT 2017 Zakázka :

Datum : 25.02.2024

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	Fermacell	0,0150	0,3200	1100,0	1150,0	13,0	0.0000
2	Egger OSB3	0,0150	0,1300	1700,0	600,0	180,0	0.0000
3	Isocell Celulo	0,0300	0,0480*	2032,6	72,4	1,5	0.0000
4	Isocell Celulo	0,1200	0,0460*	2024,5	66,8	1,5	0.0000
5	Isocell Celulo	0,0300	0,0480*	2032,6	72,4	1,5	0.0000
6	STEICO therm	0,0600	0,0410	2100,0	50,0	5,0	0.0000
7	weber.pas sili	0,0070	0,8000	920,0	1800,0	30,0	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

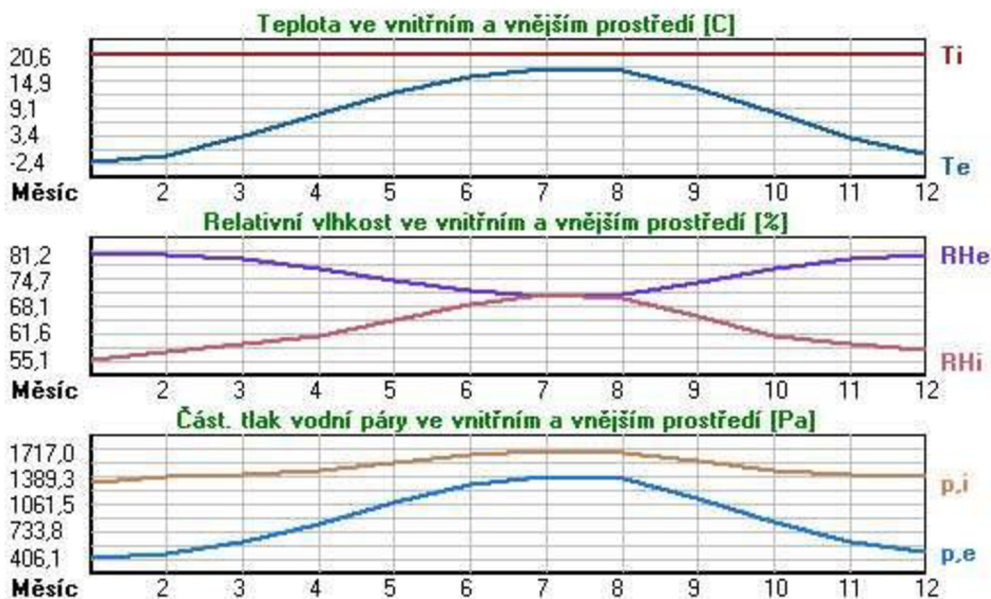
1	Fermacell	---
2	Egger OSB3	---
3	Isocell Celuloza	vliv systematických tep. mostů dle EN ISO 6946 Tep. vodivost zákl. materiálu: 0.040 W/(m.K) Tep. vodivost tep. mostů: 0.180 W/(m.K) Šířka tepelných mostů: 0.0400 m Tloušťka tepelných mostů: 0.0600 m Os. vzdálenost tep. mostů: 0.6250 m
4	Isocell Celuloza	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: 0.1200 m Tloušťka tepelných mostů: 0.1200 m Os. vzdálenost tep. mostů: 2.5000 m
5	Isocell Celuloza	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
6	STEICO therm	---
7	weber.pas silikát - silikátová omítka	---

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi :	0.13 m ² K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi :	0.25 m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse :	0.04 m ² K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse :	0.04 m ² K/W
Návrhová venkovní teplota Te :	-13.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai :	20.6 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe :	84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH _i :	55.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]	
1	31	744	20.6	55.1	1336.3	-2.4	81.2	406.1
2	28	672	20.6	57.3	1389.6	-0.9	80.8	457.9
3	31	744	20.6	58.8	1426.0	3.0	79.5	602.1
4	30	720	20.6	60.7	1472.1	7.7	77.5	814.1
5	31	744	20.6	64.9	1573.9	12.7	74.5	1093.5
6	30	720	20.6	68.7	1666.1	15.9	72.0	1300.1
7	31	744	20.6	70.8	1717.0	17.5	70.4	1407.2
8	31	744	20.6	70.1	1700.0	17.0	70.9	1373.1
9	30	720	20.6	65.6	1590.9	13.3	74.1	1131.2
10	31	744	20.6	61.0	1479.4	8.3	77.1	843.7
11	30	720	20.6	58.8	1426.0	2.9	79.5	597.9
12	31	744	20.6	57.7	1399.3	-0.6	80.7	468.9

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 : 5.0 %

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 : 5.493 m²K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.177 W/m²K

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.20 / 0.23 / 0.28 / 0.38 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} : 2.0E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce N_y* podle EN ISO 13786 : 91.6

Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 8.7 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 19.15 C Teplotní faktor v

návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : 0.957

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}			
1	14.7	0.743	11.3	0.595	19.6	0.957	58.6
2	15.3	0.753	11.9	0.594	19.7	0.957	60.7
3	15.7	0.721	12.3	0.526	19.8	0.957	61.6
4	16.2	0.659	12.7	0.391	20.0	0.957	62.8
5	17.2	0.576	13.8	0.135	20.3	0.957	66.3
6	18.2	0.479	14.6	-----	20.4	0.957	69.6
7	18.6	0.365	15.1	-----	20.5	0.957	71.4
8	18.5	0.409	15.0	-----	20.4	0.957	70.8
9	17.4	0.564	13.9	0.087	20.3	0.957	66.9

10	16.3	0.648	12.8	0.367	20.1	0.957	63.0
11	15.7	0.723	12.3	0.529	19.8	0.957	61.6
12	15.4	0.755	12.0	0.593	19.7	0.957	61.1

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:

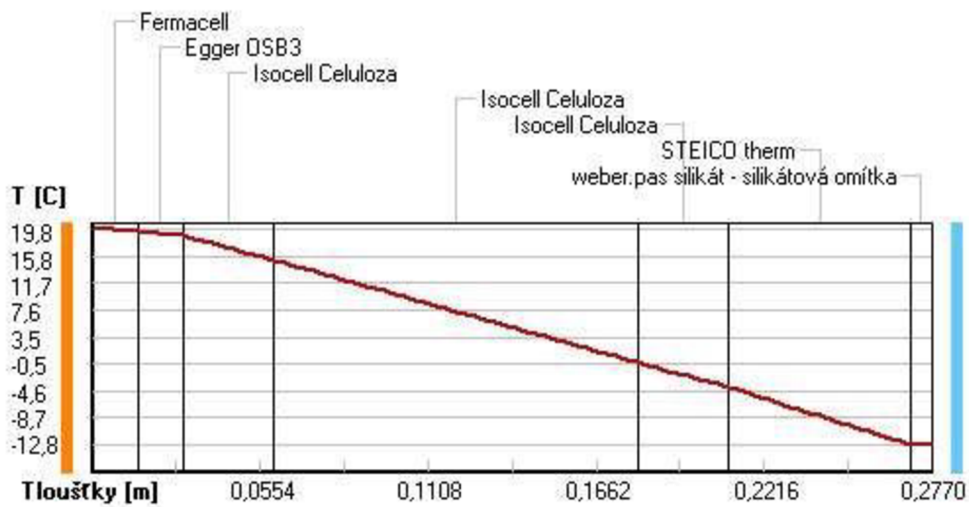
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

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

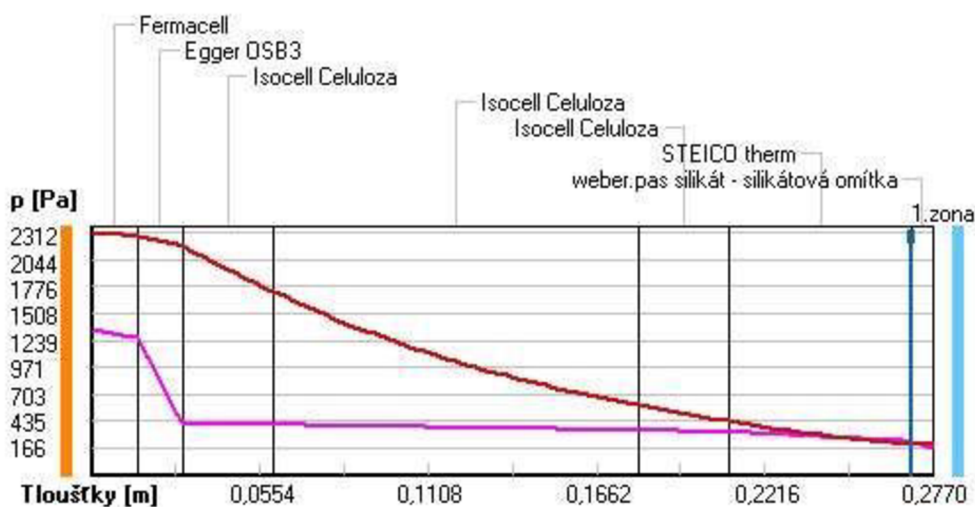
rozhraní: i 1-2 2-3 3-4 4-5 5-6 6-7 e theta [C]: 19.8 19.6 18.9 15.2 -0.3 -4.0 -12.7
 -12.8 p [Pa]: 1334 1272 414 400 343 328 233 166 p,sat [Pa]: 2312 2273 2178
 1722 595 436 203 202

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.

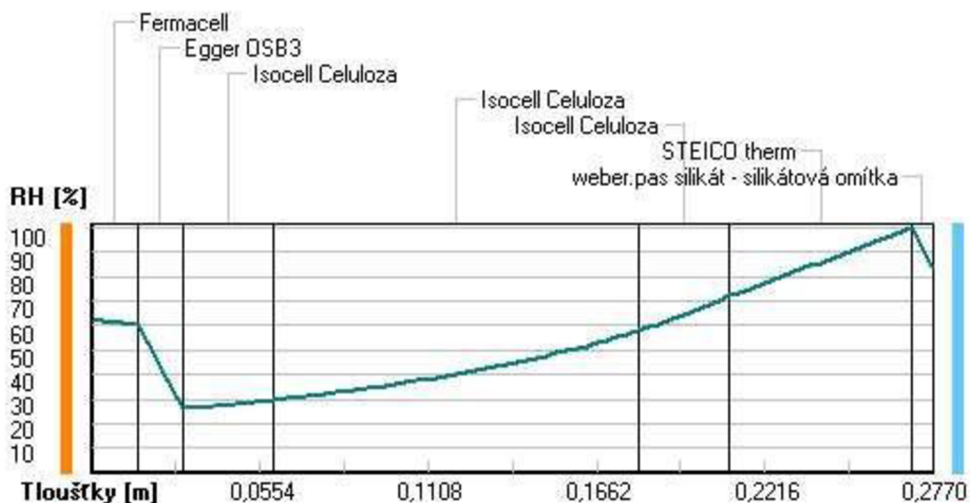
Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



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	Hranice kondenzační zóny	Kondenzující množství číslo	levá	pravá	[m]
1	0.2700	0.2700	3.007E-0008		

Kond.zóna	Hranice kondenzační zóny	Kondenzující množství číslo	levá	pravá	[m]
1	0.2700	0.2700	3.007E-0008		

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: 0.0302 kg/(m².rok)
Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: 8.9607 kg/(m².rok) Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -5.0 C.

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	Fermacell	90	213	62	---	---
2	Egger OSB3	151	183	31	---	---
3	Isocell Celulo	303	62	---	---	---
4	Isocell Celulo	90	275	---	---	---
5	Isocell Celulo	---	365	---	---	---
6	STEICO therm	---	---	184	150	31
7	weber.pas sili	---	---	184	150	31

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 EDU, (c) 2017 Svoboda Software