

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

HODNOCENÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ
NÍZKOENERGETICKÝCH DŘEVOSTAVEB

Diplomová práce

Autor: Petr Nováček

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

2014

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Nováček Petr

Dřevařské inženýrství

Název práce

Hodnocení tepelně-izolačních vlastností nízkoenergetických dřevostaveb

Anglický název

Evaluation of the thermal-insulating properties of low-energy wooden houses

Cíle práce

Cílem práce je zhodnocení tepelně-izolačních vlastností nízkoenergetických dřevostaveb postavených v posledních letech na území ČR. Součástí práce je posouzení důležitosti jednotlivých parametrů, které tepelně-izolační vlastnosti ovlivňují.

Metodika

1. Vytvoření osnovy a časového harmonogramu zpracování DP
2. Podrobné prostudování uvedené problematiky a metodiky hodnocení tepelně-izolačních vlastností
3. Vypracování literární rešerše
4. Výběr vhodných vzorků pro hodnocení
5. Vyhodnocení zjištěných výsledků výpočtů
6. Dokončení a odevzdání práce v tištěné i elektronické podobě (součástí diplomové práce je abstrakt a klíčová slova v českém a světovém jazyce – angličtině).

Harmonogram zpracování

- 2/2013 - zadání diplomové práce
- 3/2013 - 9/2013 - zpracování literární rešerše
- 10/2013 - 1/2014 - provedení zkušebních výpočtů
- 2/2014 - 3/2014 - vyhodnocování výpočtů a průběžné zpracovávání výsledků
- 31. 3. 2014 - odevzdání práce ke kontrole vedoucímu
- 20. 4. 2014 - odevzdání práce v tištěné i elektronické podobě

Rozsah textové části

textová část 40-60 stran, přílohy 10-20 stran

Klíčová slova

dřevostavba, nízkoenergetická, izolační vlastnosti, izolace, konstrukce

Doporučené zdroje informací

DOLEŽAL, J. Matematickostatistické metody v dřevařském průmyslu. 1. vyd. Praha: Vyzkumný a vývojový ústav dřevařský, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Středisko interních publikací, 1973. 130 s. ISBN 80-7203-254-2.
KUKLÍK, P. Dřevěné konstrukce. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2005, 188 s. ISBN 80-01-03310-4.
KUKLÍK, P.; REINPRECHT, L.; ŠTEFKO, J. Dřevěné stavby – Konstrukce, ochrana a údržba. 3. vyd. Praha: Jaga, 2009, 200 s. ISBN: 978-80-8076-080-9.
TYWONIAK, J. Nízkoenergetické domy: Principy a příklady. 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 193 s. ISBN 80-247-1101-X.
TYWONIAK, J. Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 193 s. ISBN 978-80-247-2061-6.
Příslušné normy ISO ČSN EN.

Vedoucí práce

Böhm Martin, doc. Ing., Ph.D.

Konzultant práce

Ing. Jitka Beránková, Ph.D.

Termín odevzdání

duben 2014

Elektronicky schváleno dne 25.4.2014

doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25.4.2014

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma "Hodnocení tepelně izolačních vlastností nízkoenergetických dřevostaveb" vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Martina Böhma, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne

.....

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Martinu Böhmovi, Ph.D. za vedení, cenné rady, konzultace a informace během tvorby této práce. Dále můj dík patří VVÚD, Praha, s.p. za poskytnutí materiálů a odborné literatury. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během celého studia a při psaní této práce.

Hodnocení tepelně technických vlastností nízkoenergetických dřevostaveb

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na zhodnocení tepelně izolačních vlastností nízkoenergetických dřevostaveb postavených v posledních letech na území ČR různými technologiemi. Součástí práce je posouzení důležitosti jednotlivých parametrů, které tepelně izolační vlastnosti ovlivňují. Za účelem zjištění požadovaných vlastností je vybráno pět typů konstrukčních systémů používaných pro stavby nízkoenergetických dřevostaveb. K hodnocení tepelně izolačních parametrů jednotlivých konstrukcí je zvolen hodnotící parametr součinitel prostupu tepla. Tento parametr je zjišťován pomocí speciálního softwaru. Vypočtené hodnoty jsou porovnány jak s požadovanými normovými hodnotami tak i mezi sebou navzájem. U každé konstrukce je uvedena stručná charakteristika toho, co tento parametr nejvíce ovlivňuje a co je jeho výhodou.

Klíčová slova:

tepelně technické vlastnosti, dřevostavba, izolace, tepelně technická norma, konstrukce.

Evaluation of the thermal-insulating properties of low-energy wooden houses

Abstract

This thesis is focused on the evaluation of thermal insulating properties of low-energy wooden houses built using different technologies in recent years in the Czech republic. Part of this thesis is to assess the significance of the various parameters that affect thermal insulating properties. In order to find required properties there are chosen five types of construction systems that are used in low-energy wooden houses. To evaluate thermal insulating parameters of each construction there was chosen evaluation parameter thermal transfer coefficient. This parameter is detected by using special software. The calculated values are compared both with required standard values as well as with each other. For each of construction there is mentioned a brief characteristic of what this parameter affects the most and what is its advantage.

Key words:

thermal technical properties, wooden house, insulation, thermal technical standard, construction.

Obsah

1_ Úvod.....	12
2_ Cíl práce.....	13
3_ Literární rešerše	14
3.1 Charakteristika dřevostaveb	14
3.1.1 Konstrukční systémy dřevostaveb.....	14
3.1.1.1 Dřevostavby z lehkého skeletu	14
3.1.1.2 Dřevostavby z těžkého skeletu.....	15
3.1.1.3 Dřevostavby z masivních panelů	16
3.1.1.4 Dřevostavby ze sendvičových panelů	16
3.1.1.5 Roubenky	17
3.1.1.6 Sruby.....	18
3.2 Dělení dřevostaveb podle energetické náročnosti.....	18
3.2.1 Nulové dřevostavby.....	19
3.2.2 Pasivní dřevostavby.....	19
3.2.3 Nízkoenergetické dřevostavby	20
3.3 Legislativní požadavky na nízkoenergetické dřevostavby.....	21
3.3.1 Šíření tepla konstrukcí a obálkou budovy	21
3.3.2 Šíření vlhkosti konstrukcí.....	23
3.4 Průkaz energetické náročnosti budov.....	24
3.5 Energetický štítek obálky budovy	25
3.6 Energetický audit.....	27
3.7 Materiály pro nízkoenergetické dřevostavby	27
3.7.1 Vývoj tepelně izolačních materiálů.....	27
3.7.2 Požadavky a vlastnosti izolačních materiálů.....	28
3.7.3 Přehled tepelně izolačních materiálů.....	28
3.7.3.1 Polystyrenové izolace	29
3.7.3.2 Minerální izolace.....	33
3.7.3.3 Pěnové sklo	37
3.7.3.4 Izolace PUR, PIR	38
3.7.3.5 Izolace z obnovitelných surovin	40
3.8 Hodnocení tepelně izolačních vlastností NED.....	46
4_ Metodika	48
4.1 Charakteristika hodnocených konstrukcí	48

4.1.1	Konstrukce č. 1 – sendvičová difuzně uzavřená konstrukce.....	49
4.1.2	Konstrukce č. 2 – sendvičová difuzně otevřená konstrukce	50
4.1.3	Konstrukce č. 3 – konstrukce s CLT panelem.....	52
4.1.4	Konstrukce č. 4 – konstrukce s využitím SIP panelu	53
4.1.5	Konstrukce č. 5 – novodobá roubená konstrukce.....	55
4.2	Charakteristika výpočetního programu	56
4.3	Okrajové podmínky pro výpočet.....	56
4.4	Vlastní výpočet.....	57
5_	Výsledky	58
5.1	Vypočtené hodnoty konstrukce č.1	58
5.2	Vypočtené hodnoty konstrukce č.2	59
5.3	Vypočtené hodnoty konstrukce č.3	61
5.4	Vypočtené hodnoty konstrukce č.4	62
5.5	Vypočtené hodnoty konstrukce č.5	64
6_	Diskuze	68
7_	Závěr	70
	Použitá literatura a zdroje	71
	Seznam příloh	73

Seznam obrázků

Obr. 1.: Lehký skelet [Lev-Fotolia.com].	15	
Obr. 2.: Těžký skelet [Christian Delbert – Fotolia.com].	15	
Obr. 3.: Vrstvené masivní dřevo – NOVATOP [AGROP NOVA a.s.]	16	
Obr. 4.: Sendvičové panely – EUROPANEL [EUROPANEL s.r.o.]	17	
Obr. 5.: Roubenka [SRUBY BERNAT s.r.o.]	17	
Obr. 6.: Srub [aigarsr – Fotolia.com]	18	
Obr. 7.: První nulová dřevostavba v ČR z plně ekologických materiálů [Vize Ateliér].	19	
Obr. 8.: Pasivní dřevostavba [Mojmír Hudec, ELAM].	20	
Obr. 9.: Nízkoenergetická dřevostavba v Nové Vsi pod Pleší [3AE]	21	
Obr. 10.: Průkaz energetické náročnosti budov [TZB-info.cz].	25	
Obr. 11.: Energetický štítek obálky budovy [TZB-info.cz]	26	
Obr. 12.: Polystyren [drevostavitel.cz].	30	
Obr. 13.: Izolační desky [Wolfgang Kruck – Fotolia.com]	31	
Obr. 14.: Grafitový polystyren [Isover].	32	
Obr. 15.: Extrudovaný polystyren [Gerhard Seybert – Fotolia.com].	33	
Obr. 16.: Minerální izolace – deska	Obr. 17.: Minerální izolace – role	34
Obr. 18.: Minerální izolace – kamenná [www.stavomarket.cz].	36	
Obr. 19.: Minerální izolace – skelná [kosoff – Fotolia.com]	36	
Obr. 20.: Bloky z pěnového skla [Dektrade.cz]	37	
Obr. 21.: Granulát z pěnového skla Refaglass [TZB-info.cz].	38	
Obr. 22.: PUR a PIR izolace [www.linzmeier.de]	39	
Obr. 23.: Aplikace PUR pěny [svet-drevostavby.cz]	39	
Obr. 24.: Dřevovláknitá izolace – desky [STEICO]	41	
Obr. 25.: Izolace z technického konopí [Canabest, s.r.o.]	42	
Obr. 26.: Celulózová izolace [minicel73 – Fotolia.com]	43	
Obr. 27.: Izolace z ovčí vlny [MoonBloom – Fotolia.com].	44	
Obr. 28.: Korková izolace s minerální omítkou [svet-drevostavby.cz]	45	
Obr. 29.: Skladba konstrukce č. 1.	Obr. 30.: Konstrukce č. 1 ve 3D	49
Obr. 31.: Skladba konstrukce č. 2	Obr. 32.: Konstrukce č. 2 ve 3D	50
Obr. 33.: Skladba konstrukce č. 3.	Obr. 34.: Konstrukce č. 3 ve 3D	52
Obr. 35.: Skladba konstrukce č. 4.	Obr. 36.: Konstrukce č. 4 ve 3D	53
Obr. 37.: Skladba konstrukce č. 5.	Obr. 38.: Konstrukce č. 5 ve 3D	55
Obr. 39.: Rozložení teplot v konstrukci č. 1	59	
Obr. 40.: Rozložení teplot v konstrukci č.2	60	
Obr. 41.: Rozložení teplot v konstrukci č.3	62	
Obr. 42.: Rozložení teplot v konstrukci č.4	63	
Obr. 43.: Rozložení teplot v konstrukci č.5	65	

Seznam tabulek

Tab. 1.: Kategorie domů podle měrné potřeby tepla [EkoWATT, 2010].....	18
Tab. 2.: Třídy energetické náročnosti budov [MPO].....	25
Tab. 3.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 1.	49
Tab. 4.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 2.	51
Tab. 5.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 3.	52
Tab. 6.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 4.	54
Tab. 7.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 5.	55
Tab. 8.: Návrhové okrajové podmínky pro výpočet	56
Tab. 9.: Požadované a vypočtené hodnoty konstrukce č. 1	58
Tab. 10.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 2	59
Tab. 11.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 3	61
Tab. 12.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 4	62
Tab. 13.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 5	64
Tab. 14.: Porovnání vypočtených hodnot jednotlivých konstrukcí	66

1_ Úvod

Les je opěvován v mnoha písních, slouží mnohým lidem k odpočinku, zlepšuje klimatické podmínky, je domovem velkého množství zvířat a rostlin, chrání půdu před erozí, poskytuje lidem při pobytu v něm zdravé ovzduší a stín. To nejdůležitější však je, že nám dává vysoce hodnotnou surovinu, která zpříjemňuje naše domovy – dřevo.

Dřevo jako stavební prvek používají lidé už od nepaměti. S postupem času naši předkové získali s využitím tohoto materiálu ve stavebnictví velké zkušenosti. Důvodů, proč se dřevo dostává stále častěji do popředí zájmu stavitelů, je opravdu mnoho. Dřevo je téměř zcela recyklovatelný materiál a zároveň patří mezi obnovitelné zdroje. Také jeho zpracování je šetrné k přírodě a životnímu prostředí. Oproti ostatním významným stavebním materiálům je úsporné při spotřebě energie, a to jak během počátečního zpracování, tak i při samotné stavbě. A v neposlední řadě i v závěru své existence, kdy není zapotřebí pro likvidaci dřeva energii dodávat, ale naopak je možné ji získat. Z hlediska tepelné techniky je dřevo třikrát lepším izolantem než pálená cihla a devětkrát lepším izolantem než beton.

Z výše uvedeného lze tedy konstatovat, že dřevostavby jsou velmi perspektivní technologií, která má velkou budoucnost.

V současné době většina firem nabízí nízkoenergetické dřevostavby, které jsou výsledkem mnohaletého vývoje konstrukčních systémů a použitých materiálů. S rostoucími náklady na energii a ochranu životního prostředí bylo potřeba začít řešit otázku, jak tyto aspekty zohlednit ve výstavbě. To se vyznačuje především snižováním potřeby energie na provoz staveb a co možná nejvíce tak snížit stopu na životním prostředí zanechanou stavbou a provozem domů. Nízkoenergetické dřevostavby jsou trendem dnešní doby, a dalo by se říct, že již minimálním standardem, neboť tyto stavby jsou, co se týká užívání a ekonomického hlediska na provoz ideálním řešením a zároveň jsou velmi šetrné k životnímu prostředí.

Rok od roku se zvyšují tepelně technické požadavky na výstavbu jako takovou. Tepelně technické vlastnosti posuzujeme u konstrukcí, které jsou ve styku s venkovním prostředím. Konstrukce se špatnými tepelně technickými vlastnostmi zapříčiňují velké tepelné ztráty budov. Tepelně technické vlastnosti materiálů tvořících obvodový plášť budovy jsou významnými činiteli, které značně ovlivňují celkovou energetickou náročnost. Spotřeba energie na vytápění představuje největší podíl z celkové spotřeby energií budovy a to je důvod k zamýšlení nejen z důvodu stoupajících cen energií, ale především z hlediska ekologického požadavku na snižování energetické náročnosti staveb. Dodržení tepelně technických požadavků zamezí vzniku tepelně technických vad a poruch budov a zároveň vytvoří tepelnou pohodu uživatelů uvnitř objektu.

2_ Cíl práce

Cílem práce je zhodnocení tepelně-izolačních vlastností nízkoenergetických dřevostaveb postavených v posledních letech na území ČR různými technologiemi. Zhodnocení je provedeno na pěti nejpoužívanějších stěnových konstrukcích různých konstrukčních systémů používaných ke stavbě nízkoenergetických dřevostaveb. Součástí práce je posouzení důležitosti jednotlivých parametrů ovlivňujících tepelně izolační vlastnosti. Práce obsahuje výpočet tepelně technických vlastností provedený v softwaru TEPLO, který je pro tento výpočet ideální a používá ho převážná část českých firem. Hodnotícím parametrem je součinitel prostupu tepla vyjadřující množství tepla prostupujícího danou konstrukcí. Vypočtené hodnoty jsou porovnány s normovými požadavky a také vzájemně mezi sebou.

3_ Literární řešení

3.1. Charakteristika dřevostaveb

Dřevostavby jsou stavby, jejichž hlavním konstrukčním prvkem je dřevo.

Ostatní (nenosné) prvky stavby mohou tvořit i jiné materiály. Kromě dřeva tak budovu tvoří především izolačními materiály, keramická či betonová krytina, ocelové spojovací prvky, speciální folie, obklady, nátěry aj. Základy stavby jsou zpravidla z betonu nebo zděné. Kombinace těchto materiálů ve výsledku zaručuje vynikající technologické vlastnosti stavby a přináší vysokou kvalitu bydlení.

Konstrukční systémy budov na bázi dřeva se zpravidla odvozují od hlavních svislých a vodorovných nosných konstrukcí, respektive konstrukčních prvků. Vyznačují se zejména různým stupněm prefabrikace a návazně staveništní pracností [Kolb, 2007].

3.1.1. Konstrukční systémy dřevostaveb

Postupem času a mnohaletým vývojem staveb ze dřeva vzniklo hned několik typů konstrukčních systémů.

Mezi běžné konstrukční systémy dřevěných staveb patří:

- dřevostavby z lehkého skeletu;
- dřevostavby z těžkého skeletu;
- dřevostavby z masivních panelů;
- dřevostavby ze sendvičových panelů;
- roubenky;
- sruby [Havířová, 2006].

3.1.1.1. Dřevostavby z lehkého skeletu

Svislá nosná konstrukce stavby je tvořena subtilními tyčovými prvky obdélníkového průřezu. Předem vyrobené prvky se sestavují na stavbě do rastru (tzv. staveništní montáž), který tvoří základní dispozici domu. Svislé zatížení přenášejí svislé sloupky, ukončené vodorovnými prvky. Vodorovné prvky rovněž vymezují parapety a nadpraží budoucích otvorů ve stěnách.

Konečná tuhost stěn je dosažena až po doplnění rastru deskovými materiály. Používají se sádrovláknité desky a desky na bázi dřeva jako např. dřevotřískové či OSB desky. Prostor mezi jednotlivými sloupky rastru se vyplňuje tepelnou izolací (minerální, konopná apod.). Z tyčových a deskových materiálů se vytváří i strop. Dřevěná nosná konstrukce není po dokončení stavby viditelná. Z vnější strany obvodových stěn se provádí vrstvy další tepelné izolace a fasádní konstrukce. Výhodou konstrukce z lehkého skeletu je možnost snadno změnit dispozici a polohu otvorů ještě v průběhu stavby nosné konstrukce, při nutnosti ověřit změnu z hlediska statiky a dalších požadavků [TZB-info.cz].



Obr. 1.: Lehký skelet [Lev-Fotolia.com].

3.1.1.2. Dřevostavby z těžkého skeletu

Nosná konstrukce je tvořena sloupy a průvlaky masivních nebo složených průřezů. Většinou se využívá lepeného lamelového dřeva nebo vrstveného dýhovaného dřeva (LVL). Skeletovou konstrukci je nutné vhodně vyztužit proti působení vodorovných sil. Velmi důležité je věnovat pozornost řešení stropní konstrukce, jejíž tuhost ovlivňuje celkovou tuhost celé stavby, dále pak řešení celkového statického schématu konstrukce. Přenos vodorovných sil do základů je pak řešen ztužidly stěnovými nebo příhradovými. Dimenze prvků se podřizuje statickým požadavkům v závislosti na dispozici, vzdálenosti sloupů a rozpětí průvlaků. Nosná konstrukce je obvykle přiznaná v interiéru. Na skelet se z vnější strany montuje obvodový plášť, který zajišťuje veškeré izolační funkce. Výhodou staveb z těžkého skeletu je možnost poměrně snadno upravovat dispozici i po dokončení stavby, např. posunutím příčky nebo vnitřního otvoru. Často se takový systém využívá u staveb většího rozsahu, jako jsou školy, administrativní objekty, atd.



Obr. 2.: Těžký skelet [Christian Delbert – Fotolia.com].

3.1.1.3. Dřevostavby z masivních panelů

Masivní dřevěné konstrukční systémy jsou složeny z plošných dřevěných elementů – panelů. Nejvíce používaným materiálem je tzv. cross laminated timber. Oficiální český překlad neexistuje, a tak se setkáme s pojmy křížem vrstvené dřevo nebo zkratkami CLT nebo X-lam. Jedná se o panely, které jsou složeny ze tří a více vrstev. Ty jsou k sobě slepeny a vůči sobě otočeny o 90°. Jednotlivá vrstva je pak složena z vedle sebe poskládaných prken, které mohou být mezi sebou slepeny. Existuje mnoho konstrukčních variant, a to jak v podobě skládání jednotlivých vrstev na sebe, tak v celkovém tvaru průřezu a výsledné podobě výrobku [www.novatop-system.cz].

Jednotlivé nosné prvky se řezou z velkoplošných panelů ve výrobě na automatických strojích. Po dodání na stavbu se jako stavebnice ihned montují. Z panelů je možné provádět i nosnou konstrukci střechy. Z vnější strany obvodové nosné konstrukce se provádějí další izolační vrstvy obvodového pláště. Vnitřní líc a vnitřní stěny mohou zůstat bez další zakrývající povrchové úpravy, interiéry pak mají povrchy z masivního dřeva.

Hlavní výhodami tohoto systému jsou eliminace ortotropního chování dřeva díky křížem orientované vrstvě prken. Mezi další výhody patří velká prostorová tuhost objektů a velká statická i dynamická odolnost systému. Určitě je potřeba zmínit i další nespornou výhodu a to je rychlost výstavby a zcela přírodní materiál konstrukcí a jejich povrchů.



Obr. 3.: Vrstvené masivní dřevo – NOVATOP [AGROP NOVA a.s.].

3.1.1.4. Dřevostavby ze sendvičových panelů

Nosné systémové panely jsou obvykle tvořeny dvěma deskami na bázi dřeva a vnitřní vrstvou tepelné izolace, nejčastěji z pěnového polystyrenu. Tepelná izolace může být tvořena i měkkým materiálem, např. deskami z minerálních vláken. V takovém případě obvykle tvoří distanční konstrukci mezi deskami sendviče jiné tuhé prvky, např. KVH profily apod. Jednotlivé prvky nosné konstrukce se vyrábějí ve výrobě a na stavbě se po

dodání ihned montují. Pokud je to žádoucí, je možné i dodatečně na stavbě vyříznout otvor pro okno nebo dveře [TZB-info.cz].

Na připravenou nosnou konstrukci se z vnější strany provádějí další vrstvy obvodového pláště. Z vnitřní strany se obvykle dává obklad s deskových materiálů. Z panelů se provádí i nosná konstrukce střechy. Výhodou konstrukce z panelů je především rychlost výstavby.

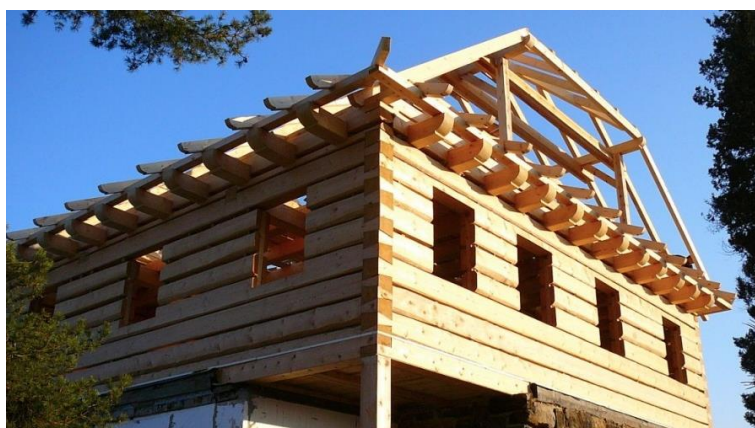


Obr. 4.: Sendvičové panely – EUROPANEL [EUROPANEL s.r.o.].

3.1.1.5. Roubenky

Mají nosnou konstrukci vytvořenou z masivních opracovaných dřevěných prvků, obvykle trámů. Pro vzhled roubenek je charakteristický roh stěn s rybinovým spojem trámů tzv. roubení. Konstrukce moderních roubenek se ve spárách obvodových trámů doplňuje izolací vloženou do drážek v trámech, případně tmelem a dalšími utěšňujícími úpravami.

Roubený dům má dnes obvykle podobu stavebnice, která je předem vyrobena, odzkoušena a potom až načisto sestavena. Pro zajištění co nejdelší životnosti roubenky je třeba zajistit, aby byl obvodový plášť co nejméně smáčen vodou, a to dostatečně velkými přesahy střechy a dalšími konstrukčními úpravami. Důležitá je rovněž pravidelná údržba dřeva [TZB-info.cz].



Obr. 5.: Roubenka [SRUBY BERNAT s.r.o.].

3.1.1.6. Sruby

Nosná konstrukce srubů je tvořena obvykle opracovanou kulatinou. V rozích jednotlivé prvky přečnivají a tím vytváří charakteristický vzhled srubu. Konstrukce moderních srubů se ve spárách obvodové kulatiny utěšňuje pro zajištění spojitého obvodového pláště. Doplňit jej lze rovněž izolací vloženou do drážek v kulatině. Spoj kulatiny je klíčovým detailem. Jeho řešení musí zajistit dlouhodobý těsnost a stálý tvar [TZB-info.cz].

Srub se dnes celý vyrábí jako stavebnice. Na stavbě se již sestavuje po předcházejícím zkušebním sestavení ve výrobě. Vzhledem k tomu, že je dřevo po celou dobu životnosti vystaveno povětrnosti, je třeba při návrhu ctít zásady konstrukční ochrany dřeva a po dokončení stavby provádět pravidelnou údržbu stanovenou výrobcem domu.



Obr. 6.: Srub [aigarsr – Fotolia.com].

3.2. Dělení dřevostaveb podle energetické náročnosti

Nejen konstrukční systém, ale i energetická náročnost je rozhodující při výstavbě dřevostavby. V současné době se setkáváme se standardním provedením dřevostavby, nízkoenergetickou, pasivní či nulovou dřevostavbou.

Tab. 1.: Kategorie domů podle měrné potřeby tepla [EkoWATT, 2010].

Kategorie	Potřeba energie na vytápění [kWh/(m ² a)]
nulové dřevostavby	< 5
pasivní dřevostavby	< 15
nízkoenergetické dřevostavby	< 50
obvyklá dřevostavba	80 – 140
starší výstavba	často dvojnásobek hodnot pro obvyklé novostavby a více

3.2.1. Nulové dřevostavby

V poslední době se objevují skupiny lidí, kteří propagují objekty, z hlediska úspory energií, dokonalejší, než samotné pasivní domy. Jde o tzv. „nulové domy“ (dům s nulovou potřebou energie) jejichž měrná potřeba tepla na vytápění je menší než $5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ a blíží se téměř k hodnotě $0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, proto tento název. Těchto parametrů však většinou není dosaženo pomocí výrazného zlepšení tepelné izolace, ale např. navýšením plochy fotovoltaických panelů. Domu s nulovou potřebou energie lze dosáhnout jen při mimořádných podmínkách, proto se v praxi s tímto typem výstavby setkáme jen velmi zřídka [EkoWATT, 2010].



Obr. 7.: První nulová dřevostavba v ČR z plně ekologických materiálů [Vize Ateliér].

3.2.2. Pasivní dřevostavby

Pasivní domy mají výrazně menší měrnou potřebu tepla na vytápění, než je tomu u nízkoenergetických domů. Zmíněná hodnota v tomto případě nepřesahuje $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Pasivní domy se v českých normách objevily ještě mnohem dříve, než byl na našem území vůbec nějaký postaven.

Termín „pasivní dům“ se používá pro mezinárodně uznávaný standard budovy s velmi nízkou spotřebou energie. Oproti stávajícím budovám, které jsou spíše tepelnými zářiči, spotřebují o 85 - 90% méně energie, při současném zajištění vysokého komfortu v zimě i létě. V porovnání s novostavbami splňujícími současně platné normy činí tato úspora až tři čtvrtiny. Jde o to nepustit skoro žádné teplo ven a přitom využít co nejefektivněji tepelné zisky, které jsou k dispozici. Tím dochází k výraznému snížení výkonu zdroje, objemu technologií i celkové závislosti objektu na dodávkách energie. Jednoduše řečeno, malé tepelné ztráty pasivního domu lze pokrýt prakticky čímkoliv.

Radikální snížení potřeby tepla na vytápění u pasivních domů by nebylo možné bez mimořádně kvalitního zateplení a bez eliminace tepelných mostů [Hudec, 2008].

Výhody pasivních domů:

- pohodlí
- čerství vzduch
- úspornost
- odolnost vůči letním vedrům
- zajištění v případě krize
- nezávislost
- ekonomická a technická hodnota
- návratnost



Obr. 8.: Pasivní dřevostavba [Mojmír Hudec, ELAM].

3.2.3. Nízkoenergetické dřevostavby

Princip výstavby energeticky úsporných objektů pochází z německy mluvících zemí, kde vznikla myšlenka zabývat se snižováním provozních nákladů, především na vytápění, promyšleným způsobem výměny vzduchu (dnes známé jako rekuperace).

Jak již bylo zmíněno, nízkoenergetické dřevostavby jsou považovány za nízkoenergetické, pokud dosahují roční měrné potřeby tepla na vytápění do 50 kWh/(m²a). Jsou kombinací výborně zkombinovaných stavebních materiálů, tepelně-izolačních výplňových otvorů a fungující vzduchotechniky. Nízkoenergetické domy mají oproti standardním domům o třetinu až o polovinu menší spotřebu tepla na vytápění.

Všechny tyto technické nutnosti, které jsou spojené s realizací nízkoenergetického domu, jsou ale vykoupené sníženými náklady na provoz celého objektu [EkoWATT, 2010].

Nízkoenergetické domy by měly vykazovat tyto základní znaky:

- důkladně propracovaný architektonický návrh
- kompaktní tvar bez zbytečných výčnělků
- orientace prosklených ploch na jih nebo na jihozápad

- velmi kvalitní zasklení
- maximální tepelná izolace
- efektivní řešení tepelných mostů
- regulace vytápění využívající tepelné zisky
- strojní větrání s rekuperací tepla
- spotřeba tepla na vytápění do 50 kWh/m²

Jednotlivé komponenty domu spolu musí vzájemně spolupracovat a doplňovat se. Dům by neměl být jen kumulací nejmodernějších technologií. Například volba způsobu vytápění zpravidla ovlivňuje konstrukční systém domu. Nepřerušované vytápění nutně nevyžaduje akumulaci schopnost konstrukcí, a umožňuje zvolit tzv. lehkou stavbu nebo stěny s vnitřní izolací či jiné možnosti.



Obr. 9.: Nízkoenergetická dřevostavba v Nové Vsi pod Pleší [3AE].

Vzhledem k tomu, že se práce zaměřuje na nízkoenergetické dřevostavby, budeme se v dalších kapitolách věnovat požadavkům kladeným na tento typ staveb.

3.3. Legislativní požadavky na nízkoenergetické dřevostavby

Jako na všechny stavby tak i na nízkoenergetické dřevostavby jsou mimo jiné kladeny i tepelně technické požadavky dle českých státních norem (ČSN) a platných předpisů.

V České republice jsou tyto požadavky zabezpečovány tepelně technickou normou ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov, část 2: Požadavky.

3.3.1. Šíření tepla konstrukcí a obálkou budovy

Požadavky na šíření tepla konstrukcí jsou detailně popsány v ČSN 73 0540-2, a tato kapitola v sobě zahrnuje několik dílčích bodů, ze kterých jsou zde představeny ty nejdůležitější, a to:

- nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce;
- součinitel prostupu tepla;
- průměrný součinitel prostupu tepla.

Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce

Konstrukce musí v zimním období za normových podmínek vykazovat v každém místě takovou vnitřní povrchovou teplotu, aby odpovídající teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} , bezrozměrný, splňoval podmínku:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$$

kde $f_{Rsi,N}$ je požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu, stanovená ze vztahu:

$$f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr}$$

kde $f_{Rsi,cr}$ je kritický teplotní faktor vnitřního povrchu stanovený dle normových postupů.

Splnění těchto požadavků je opatření, které předchází vzniku plísní a jejich růstu na povrchu stavebních konstrukcí a povrchové kondenzaci vodní páry u výplní otvorů.

Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla se používá pro hodnocení jednotlivých konstrukcí. Budova, jako celek, se hodnotí pomocí průměrného činitele prostupu tepla. Obě tyto podmínky však musí být současně splněny.

Konstrukce musí při daných návrhových podmínkách splňovat podmínku součinitele prostupu tepla U , ve $W/(m^2 \cdot K)$ tak, aby platilo:

$$U \leq U_N$$

kde U_N je požadovaná hodnota součinitel prostupu tepla U , ve $W/(m^2 \cdot K)$.

Poznámka: požadované hodnoty pro jednotlivé typy konstrukcí jsou uvedeny v ČSN 73 0540-2: Požadavky.

Průměrný součinitel prostupu tepla

Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} , ve $W/(m^2 \cdot K)$, budovy nebo hodnocené vytápěné zóny při návrhových teplotách, musí splňovat podmínku:

$$U_{em} \leq U_{em,N}$$

kde $U_{em,N}$ je požadovaná hodnota průměr. součinitele prostupu tepla, ve $W/(m^2 \cdot K)$ [ČSN 73 0540-2, 2011].

3.3.2. Šíření vlhkosti konstrukcí

Zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce

Pro stavební konstrukci, u které by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce M_c v $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, mohla ohrozit její požadovanou funkci, nesmí dojít ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce, tedy: $M_c = 0$.

Tímto opatřením se má zamezit snížení předpokládané životnosti konstrukce, snížení vnitřní povrchové teploty a tím vzniku plísní, zamezit objemovým změnám a zvýšení hmotnosti konstrukce mimo rámec statického výpočtu, zamezení degradace izolačního materiálu vlivem zvýšené vlhkosti.

Pro stavební konstrukci, u které kondenzace vodní páry uvnitř neohrozí její požadovanou funkci, se požaduje omezení ročního množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce M_c , v $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ tak, aby splňovalo podmínku: $M_c \leq M_{c,N}$.

Pro jednoplášťovou střechu, konstrukci se zabudovanými dřevěnými prvky, konstrukci s vnějším tepelně izolačním systémem nebo vnějším obkladem, popř. jinou obvodovou konstrukci s difúzně málo propustnými vnějšími povrchovými vrstvami, je nižší z hodnot: $M_{c,N} = 0,10 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ nebo 3 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází k plošné kondenzaci vodní páry, je-li jeho objemová hmotnost vyšší než $100 \text{ kg}/\text{m}^3$, pro materiál s objemovou hmotností $\rho \leq 100 \text{ kg}/\text{m}^3$ se použije 6% plošné hmotnosti.

Pro ostatní stavební konstrukce je nižší z hodnot $M_{c,N} = 0,50 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ nebo 5 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází k plošné kondenzaci vodní páry, je-li jeho objemová hmotnost vyšší než $100 \text{ kg}/\text{m}^3$, pro materiál s objemovou hmotností $\rho \leq 100 \text{ kg}/\text{m}^3$ se použije 10 % plošné hmotnosti.

Pro stavební konstrukce ovšem platí i požadavek na roční bilanci zkondenzované vodní páry.

Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce

Ve stavební konstrukci s připuštěnou 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. Roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce M_c , v $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ tedy musí být nižší než roční množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce M_{ev} , v $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

U konstrukcí s větranou vzduchovou vrstvou se požaduje ověřit průběh relativní vlhkosti vzduchu proudícího v této vrstvě φ_{cv} , která musí po celé délce této vrstvy splňovat podmínku: $\varphi_{cv} < 90 \%$ [ČSN 73 0540-2, 2011].

3.4. Průkaz energetické náročnosti budov

Domy jsou považovány za významné konzumenty energie a všeobecným cílem, na který apeluje Evropská unie, je energetickou náročnost snižovat. Od roku 2013 vstoupila v platnost novela zákona o hospodaření energií, která do české legislativy implementovala evropskou směrnici 2010/31/EU o energetické náročnosti budov. Novela mj. rozšiřuje povinnost využívání tzv. průkazů energetické náročnosti budov (PENB).

PENB je celkové zhodnocení objektu z energetického pohledu. V porovnání s energetickým auditem nejde do takových podrobností a nevyhodnocuje výhodnost jednotlivých úsporných opatření a je celkově stručnější. Platnost průkazu je 10 let.

Průkaz energetické náročnosti budovy slouží k vyhodnocení energetické náročnosti budovy – kvantifikuje veškeré energie spotřebované při standardizovaném provozu hodnocené budovy a, podobně jako energetický štítek spotřebiče, řadí budovu do příslušné třídy energetické náročnosti. Průkaz energetické náročnosti budovy lze zpracovat pro jakoukoliv budovu.

Požadavky na energetickou náročnost budov upravuje zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií (ve znění novely zákona č. 177/2006 Sb.) a vyhláška č. 148/2007 Sb. Stavebník, vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek je podle tohoto zákona od 1. 1. 2009 povinen zajistit splnění požadavků na energetickou náročnost budovy a doložit je průkazem energetické náročnosti budovy.

Průkaz nesmí být starší 10 let a musí být přiložen stavebnímu úřadu při prokazování dodržení obecných technických požadavků na výstavbu.

Provozovatelé budov určených pro poskytování služeb veřejnosti, tedy budov využívaných pro účely školství, zdravotnictví, kultury, obchodu, sportu, ubytovacích a stravovacích služeb, zákaznických středisek odvětví vodního hospodářství, energetiky, dopravy a telekomunikací a veřejné správy o celkové podlahové ploše nad 1000 m² mají povinnost umístit průkaz na veřejně přístupném místě v budově. Podle stanoviska Ministerstva průmyslu a obchodu a Státní energetické inspekce tato povinnost platí pouze pro nové stavby nebo budovy po rekonstrukci dle § 6a zákona 406/2000 Sb.

Průkaz energetické náročnosti budovy hodnotí veškeré energie potřebné pro provoz budovy, tedy energie na vytápění, přípravu teplé vody, chlazení, úpravu vzduchu větráním a klimatizací a na osvětlení. Posuzovanou budovu zařadí do jedné ze sedmi tříd (A až G) od "mimořádně úsporné" (A) až po "mimořádně nehošpodárnou" (G).

Tab. 2.: Třídy energetické náročnosti budov [MPO].

Třída energetické náročnosti budovy	Slovní vyjádření energetické náročnosti budovy
A	Mimořádně úsporná
B	Úsporná
C	Vyhovující
D	Nevyhovující
E	Nehospodárná
F	Velmi nehospodárná
G	Mimořádně nehospodárná

Požadavky na energetickou náročnost budovy splňují budovy zařazené do tříd A až C. Budovy s vyšší energetickou náročností jsou považovány za nevyhovující.

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY				
Typ budovy, místní označení			Hodnocení budovy	
Adresa budovy			stávající stav	po realizaci doporučení
Celková podlahová plocha:				
Měrná vypočtená roční spotřeba energie v kWh/m ² rok			XY	XY
Celková vypočtená roční dodaná energie v GJ			XY	XY
Podíl dodané energie připadající na:				
Vytápění	Chlazení	Větrání	Teplá voda	Osvětlení
%	%	%	%	%
Doba platnosti průkazu		DD.MM.RRRR		
Průkaz vypracoval		Jméno a příjmení		
		Osvědčení č. XY		

Obr. 10.: Průkaz energetické náročnosti budov [TZB-info.cz].

Průkaz energetické náročnosti budov hodnotí celou budovu z pohledu energetické náročnosti [www.mpo-efekt.cz].

3.5. Energetický štítek obálky budovy

Energetický štítek (správně energetický štítek obálky budovy) hodnotí tepelně technické vlastnosti obálky budovy a lze jím doložit jen splnění požadavků na prostup tepla obálkou budovy. O celkové energetické náročnosti tedy nevyovídá.

V souvislosti s kategorií energetický štítek obálky budovy dochází často k matení pojmů a zkreslování významu. Pojem jednoznačně vymezuje technická norma ČSN 73 0540-2 - tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky.

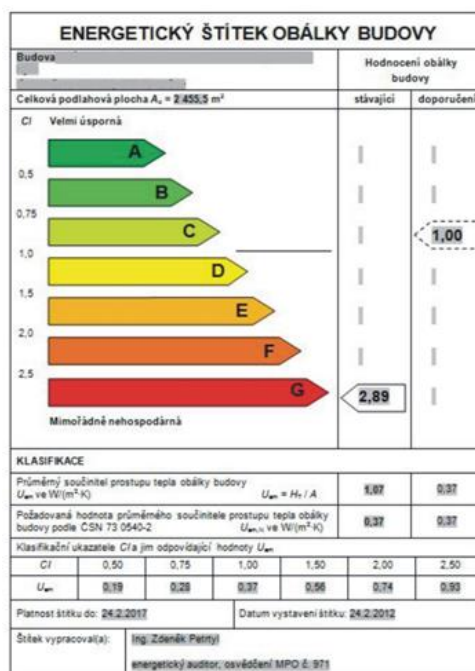
Energetický štítek obálky budovy a protokol k němu jsou přehledné technické dokumenty, kterými lze doložit splnění požadavku na prostup tepla obálkou budovy.

Je tedy zřejmé, že pouhý energetický štítek obálky budovy nemá vůbec žádnou vypovídací hodnotu o celkové energetické náročnosti budovy, ale pouze o vlastnostech obálky, tedy o souhrnu všech stavebních konstrukcí, které oddělují budovu od venkovního prostředí.

Přes výše uvedená fakta se nejedná o bezvýznamný dokument. Energetický štítek obálky budovy je součástí Průkazu energetické náročnosti budovy (PENB) zpracovávaného podle vyhlášky 148/2007 Sb. o energetické náročnosti budov a dále je povinnou součástí energetického auditu budovy zpracovávaného podle zákona 406/2000 Sb. o hospodaření energií pro podání žádosti o finanční příspěvek podle některého z vypisovaných dotačních titulů.

Energetický štítek obálky budovy sice neříká nic o celkové energetické náročnosti, neboť v té hraje podstatnou roli kromě kvality stavby jako takové též úroveň technického zařízení budovy (TZB). Nicméně v kontextu celé zprávy o energetickém auditu nebo celého protokolu PENB lze spolehlivě vyčíst, jak velký potenciál možných energetických úspor lze očekávat například od investice do zateplení budovy.

Pokud se k výpočtům používá některý z profesionálních software, je energetický štítek obálky budovy jedním ze zcela objektivních výstupů na rozdíl od hodnocení TZB, kde do hry vstupuje někdy subjektivní pohled energetického experta [energetika.tzb-info.cz].



Obr. 11.: Energetický štítek obálky budovy [TZB-info.cz].

3.6. Energetický audit

Energetický audit je nejkompexnější zhodnocení budovy jak z pohledu všech využívaných energií (voda, elektřina, plyn, teplo), tak i používaných technologií v budově (TZB) a její stavební konstrukce. Obsahuje i návrh úsporných opatření, výběr nejvhodnější varianty a ekonomickou rozvahu pro toto opatření. Povinně musí dle energetického zákona č. 406/2000 Sb. energetický audit zajistit vlastníci budov, stavebník či společenství vlastníků jednotek u zařízení, kde jejich celková roční energetická spotřeba na všech odběrných místech (provozovaných pod jedním identifikačním číslem) převyšuje následující stanovené hranice:

- 1 500 GJ/rok v případě org. složek státu, krajů, obcí a příspěvkových org.;
- 35 000 GJ/rok pro ostatní právnické a fyzické osoby, např. bytová družstva, sdružení vlastníků, firmy.

Energetický audit se pak musí zpracovávat pouze u těch budov, jejichž celková spotřeba je vyšší než 700 GJ/rok.

Povinnost zpracovat energetický audit vzniká při dodržení obou výše uvedených podmínek, tj. překročení hranice celkové energetické spotřeby vlastníka (1500 resp. 35 000 GJ/rok) a hranice energetické spotřeby uvažované budovy (700 GJ/rok).

Energetický audit je také často podmínkou pro získání dotací např. na rekonstrukci budovy.

Zpracování energetického auditu může po absolvování příslušného přezkoušení provádět pouze energetický auditor s osvědčením Ministerstva průmyslu a obchodu (MPO) [www.mpo-efekt.cz].

3.7. Materiály pro nízkoenergetické dřevostavby

Nízkoenergetické dřevostavby se skládají z velkého množství rozmanitých materiálů. Nejčastěji jsou tvořeny sendvičovou konstrukcí, kde jejich tepelně izolační vrstvu tvoří materiály na bázi skelné nebo minerální vaty, polystyrenu, celulózy apod.

V následujícím textu je přehled nejpoužívanějších a nejběžnějších materiálů pro nízkoenergetické stavby zabezpečujících tepelně technické vlastnosti těchto dřevostaveb.

3.7.1. Vývoj tepelně izolačních materiálů

Současné vývojové trendy, které se zákonitě nemohou architektuře a stavebnictví vyhnout, jsou úzce spjaty s trvale udržitelným rozvojem. Uvedené tendence se promítají i do výzkumu a vývoje nových konstrukcí a materiálů. Nejen ve vyspělých zemích, ale i u nás se pozornost zvolna přesouvá od energeticky náročných technologií k organické materiálové bázi, poskytované přírodními surovinami. Právě ony většinu požadavků udržitelného rozvoje splňují. Především dřevo díky svému původu a dobrým vlastnostem je k nim potřeba jednoznačně přiřadit.

Ve starších stavbách nacházíme celou řadu v minulosti používaných materiálů, které zcela nebo alespoň z části byly vyrobeny z přírodních surovin. Nejčastěji se jednalo o snahu využít odpady, které doprovázely zpracování jinak bezcenného odpadu dřevařského a textilního průmyslu nebo zemědělské výroby. Ve své době jistě sehrály významnou roli. Podle některých z nich se dodnes lehké, zpravidla přízemní domy nazývají "likusák". O deskách z lisovaných dřevěných vláken se zase hovoří jako o "sololitu" nebo "hobře".

Tyto materiály ve své době obohacovaly stavební výrobu a k některým z nich se vracíme i v současnosti.

Použité materiály mají velmi významný vliv na konečné vlastnosti stavby. K výběru jednotlivých materiálů se musí přistupovat zodpovědně s důrazem na konečné použití domu a použitého stavebního systému [stavba.tzb-info.cz].

3.7.2. Požadavky a vlastnosti izolačních materiálů

Správný výběr a použití izolačních materiálů výrazným způsobem ovlivňuje vlastnosti a kvalitu staveb. Izolační materiály neurčují pouze míru ochrany před únikem tepla z interiéru, ale jejich rozličné vlastnosti mají vliv na celou řadu dalších faktorů.

Ideální izolační materiál by měl vykazovat:

- minimální tepelnou vodivost
- velkou objemovou hmotnost
- vysokou tepelnou kapacitu
- minimální modul pružnosti
- nehořlavost
- chemickou stálost
- zdravotní nezávadnost
- cenovou přijatelnost

Základní vlastnosti izolačních materiálů:

- tepelná vodivost
- objemová hmotnost (hustota)
- měrná tepelná kapacita
- tepelná jímavost

3.7.3. Přehled tepelně izolačních materiálů

Tepelně izolační materiály dělíme na syntetické a přírodní (z obnovitelných surovin).

Polystyrenové izolace:

- expandovaný polystyren (bílý) – desky
- expandovaný polystyren (grafitový) – desky

- expandovaný polystyren – rozvolněný
- expandovaný polystyren vyráběný do forem (perimetr)
- extrudovaný polystyren – XPS
- vysokopevnostní polystyren (kompaktní)

Minerální izolace:

- kamenná vlna (desky nebo role, popřípadě rozvlákněná)
- skelná vlna (desky nebo role, popřípadě rozvlákněná)

Pěnové sklo:

- bloky z pěnového skla
- šterk z pěnového skla

Izolace PUR, PIR a fenolická pěna:

- PUR a PIR (desky)
- fenolická pěna
- polyuretanová pěna – PUR (stříkaná, litá)
- polyisokyanurátová pěna PIR (stříkaná, litá)

Izolace z obnovitelných surovin (dřevo, celulóza, konopí, ovčí vlna, sláma)

- dřevovláknité izolace (desky)
- dřevovláknitá foukaná izolace
- izolace z technického konopí (role, rohože, měkké desky)
- celulózová izolace (suchá aplikace)
- celulózová izolace (mokrý aplikace)
- izolace z ovčí vlny
- sláma

V následujících kapitolách budou nejpoužívanější izolační materiály rozebrány podrobněji.

3.7.3.1. Polystyrenové izolace

Polystyren byl vynalezen v roce 1949 v Německu (Fritz Stastny). Dnes se v praxi často využívá. Má nízkou objemovou hmotnost, velmi dobré mechanické, tepelně technické a akustické vlastnosti.

Polystyren je jedním z nejčastěji vyráběných termoplastů. Jeho forma nemusí být pouze v podobě pěnového izolačního materiálu, ale toto zpracování je nejrozšířenější. Polystyren je pro využití ve stavebnictví dodáván v plošných deskách do tloušťky 200 mm. U dřevostaveb se používá pro izolaci základů, podlah a pro izolaci obvodového pláště. Obvodový plášť dřevostavby se izoluje polystyrenem v difúzně uzavřených konstrukčních

systemech. Kvůli vysokému difúznímu odporu se totiž polystyren nedá použít do difúzně otevřených systémů.



Obr. 12.: Polystyren [drevostavitel.cz].

Pěnový (expandovaný) polystyren (EPS)

Expandovaný pěnový polystyren patří k nejpoužívanějším typům tepelné izolace. Tento polystyren se používá zejména pro zateplovací systémy a kontaktní termofasády. Vyrábí se buď vypěňováním do forem nebo řezáním z vypěněných kvádrů. Označuje se zkratkou EPS a číslem, které vyjadřuje napětí v kPa při 10% stlačení. Vykazuje v poměru k nízké objemové hmotnosti velmi dobré mechanické vlastnosti. Je nerozpustný ve vodě, nenabobtnává. Je velmi pórovitý, jeho objem je tvořen ze 2 % polystyrenem a z 98 % vzduchem.

Pro stavební účely se používá EPS 70 až 150. EPS 70 se uplatňuje v zateplovacích systémech a jako spodní vrstva tepelné izolace nepochůzných plochých střech. EPS 100 se nejčastěji používá právě do plochých střech jako vrchní vrstva tepelně izolačních vrstev plochých střech nebo jako izolace do podlah s malou zátěží. EPS 150 lze použít pro zatížené izolace – pochůzná střechy, podlahy apod.

Do stavebních konstrukcí se používá EPS samozhášivý, který obsahuje tzv. retardéry hoření způsobující, že při odstranění zdroje hoření materiál sám uhasne a stabilizovaný, tzn., že desky dané tloušťky byly z bloků nařezány až po tom, co proběhlo přirozené smrštění materiálu obvyklé v prvních týdnech po jeho vyrobení. EPS se používá do stavebních konstrukcí bez zvláštních požárních požadavků. V případech, kdy to požární předpisy vyžadují (například u zateplovacích systémů budov o větších výškách a u skladeb střech), se obvykle nahrazuje deskami z minerálních vláken. Objemová nasákavost je při úplném ponoření do 5 % (tj. 300% hmotnostní nasákavost) v závislosti na typu výrobku a objemové hmotnosti.

Expandovaný polystyren se používá pro izolaci vnějších stěn, podlah, šikmých střech a stropů, je vhodný pro kontaktní fasádní zateplovací systémy. Foukaný pěnový polystyren lze využít u sendvičových konstrukcí.

Výhody polystyrenu EPS:

- dobrá opracovatelnost
- nízká hustota (malá hmotnost)
- příznivá cena

Nevýhody polystyrenu EPS:

- při teplotách nad 70°C dochází k zrychlené degradaci
- nasákavost
- hořlavost
- stárnutí materiálu a degradace v organických rozpouštědlech
- malá odolnost v tlaku
- objemově nestálý
- neekologický

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$
- faktor difuzního odporu $\mu = 20\text{--}100$
- objemová hmotnost běžně užívaného EPS $\rho = 15 \text{ až } 40 \text{ kg/m}^3$
- třída reakce na oheň E (dle ČSN EN 13501-1)
- měrná tepelná kapacita dosahuje hodnot přibližně 1250 J/kg.K
- EPS odolává teplotám od -150°C do $+80^\circ\text{C}$, dlouhodobě neodolává účinkům UV záření



Obr. 13.: Izolační desky [Wolfgang Kruck – Fotolia.com].

Expandovaný polystyren (grafitový) – desky

Novinkou je pěnový polystyren s příměsí grafitu. Grafit zajišťuje pohlcování infra složky záření, a tím zajišťuje lepší tepelně izolační vlastnosti materiálu.

Jedná se o obdobný materiál, jako bílý EPS. Do materiálu je přidána přísada z grafitových nanočástic, díky níž se významně snižuje sálavá složka přenosu tepla v izolačním materiálu. Grafitový EPS dosahuje lepších hodnot součinitele tepelné vodivosti λ .

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,030$ až $0,033$ W/mK
- faktor difuzního odporu $\mu = 20$ – 100
- objemová hmotnost běžně užívaného EPS $\rho = 15$ až 40 kg/m³
- třída reakce na oheň E



Obr. 14.: Grafitový polystyren [Isover].

Extrudovaný polystyren (XPS)

Extrudovaný polystyren se označuje zkratkou XPS a číslem, které označuje napětí při 10% stlačení materiálu. Prvotní surovinou pro výrobu XPS je ropa, dále polystyrenový granulát, který se extruduje společně s rozpínavými plyny. Hlavní předností extrudovaného polystyrenu je uzavřená struktura pórů, což zaručuje téměř nulovou nasákavost. XPS se vyznačuje velkou pevností v tlaku. Ve srovnání s EPS má ještě výhodnější poměr objemové hmotnosti a mechanických vlastností. Je téměř absolutně nenasákavý, má uzavřenou pórovou strukturu. Používá se zejména v místech, kde má izolační materiál styk s vlhkostí. Proto je polystyren XPS používán při izolaci základů, ale i jako kontaktní zateplovací systém podlah či plochých střech.

Extrudovaný polystyren je určen k použití pro ploché, obrácené a zelené střechy, podlahy, vnější střechy, vnější stěny pro styk se zemí a spodní stavby.

Polystyren obecně je odolný proti jakýmkoliv biologickým škůdcům. Snadno se s ním manipuluje [www.svet-drevostavby.cz].

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,030\text{--}0,038 \text{ W/mK}$
- faktor difuzního odporu $\mu = 180$
- objemová hmotnost $\rho = 25$ až 30 kg/m^3
- třída reakce na oheň E
- měrná tepelná kapacita dosahuje hodnot přibližně 2050 J/kg.K
- extrudovaný polystyren (XPS) odolává teplotám od -150°C do $+70^\circ\text{C}$, neodolává účinkům UV záření

Výhody polystyrenu XPS:

- dobrá opracovatelnost
- nízká hustota (malá hmotnost)
- nízká nasákavost
- objemová stálost
- vysoká pevnost v tlaku
- spoje hran desek lze profilovat jako polodrážku nebo perodrážku

Nevýhody polystyrenu XPS:

- vyšší cena než u EPS
- při teplotách nad 75°C dochází k zrychlené degradaci
- degradace organickými rozpouštědly
- neekologický



Obr. 15.: Extrudovaný polystyren [Gerhard Seybert – Fotolia.com].

3.7.3.2. Minerální izolace

Minerální izolace je na našem trhu nejrozšířenějším typem izolace. Její největší předností je vysoká požární odolnost, reakce na oheň třída A1 (dle ČSN EN 13501-1).

Minerální izolace jsou odolné proti jakýmkoliv biologickým škůdcům, jsou prakticky nehořlavé, chemicky neutrální. Součinitel tepelné vodivosti se pohybuje v rozmezí $0,032\text{--}0,050 \text{ W/m.K}$. Při nízkých objemových hmotnostech vykazuje minerální izolace vysokou

průvzdušnost. Velmi dobré jsou také akustické vlastnosti. Nevhodné jsou však tyto izolace do míst s vyšší vlhkostí, pak rychle ztrácí své tepelně technické vlastnosti.

Dnešní rámové dřevostavby si bez použití minerální izolace již ani nelze představit. Používají se pro tepelnou i akustickou izolaci rámových stěn, stropů i podkroví. Dlouholetou izolační klasiku, skelnou vatu, doplňují izolace kamenné, které začínají nahrazovat i fasádní polystyren.

Vstupní surovinou pro výrobu minerálních izolací jsou těžené nerosty nebo recyklovatelné materiály jako skleněné střepy, struska. Základní surovina je s tavídlou roztavena v peci. K roztavení suroviny dochází v závislosti na jejím složení a na přídavku taviv přibližně okolo teploty 1500°C. Tavenina pak putuje přes rozvláknovací stroje, kde vzniká vlna. Vlna se pak dále mísí s pojivem, tvaruje se (do desek nebo rohoží) a následně se vytvrzuje. Dle vstupní suroviny a některých odlišností ve výrobě rozeznáváme kamennou (někdy také čedičovou) vlnu a skelnou vlnu. Vlastnostmi i použitím jsou si tyto materiály podobné.

Minerální izolace, jak již název napovídá, vzniká z přírodních minerálních látek. V případě, že je původ materiálu z vulkanické horniny nebo z recyklovaného materiálu na její bázi, jedná se o kamennou vlnu. Pokud se vyrábí z písku nebo recyklovaného skla jedná se o skelnou vatu. Pro lepší soudržnost se do směsi přidává také pojivo ve formě pryskyřice.

Díky struktuře jednotlivých pásů či desek minerální izolace je prostup vodních par touto izolací velmi snadný. Pro tuto schopnost se minerální izolace využívá v difúzně otevřených dřevostavbách. Nejpodstatnější důvod využití uvnitř rámových konstrukcí je dobrá opracovatelnost a možnost vyplnit jednotlivé dutiny bez mezer. Při práci s kamennou izolací se počítá s přesahem izolace oproti délce a šířce dutiny o 1 cm u skelné vaty je vhodný přesah 2 cm. Oproti polystyrenu navíc vyšší hustota izolačního materiálu zajišťuje delší fázový posun, což zabraňuje přehřívání místností v letních měsících.

Minerální izolace nelze využít ve vlhkém prostředí. Proto bude například pro izolaci soklu extrudovaný polystyren nenahraditelný. V ostatních případech je možné polystyren nahradit.



Obr. 16.: Minerální izolace – deska
[svet-drevostavby.cz].



Obr. 17.: Minerální izolace – rolo
[svet-drevostavby.cz].

Výhody minerální izolace:

- výborný akustický a tepelný izolant (tepelná vodivost: 0,30-0,42 W/mK)
- nehořlavost, třída reakce na oheň A1
- možnost aplikovat do libovolné výšky budovy
- odolnost vůči mikroorganismům
- nízký faktor difuzního odporu ($\mu \sim 1$)
- recyklovatelnost odpadu
- snadná opracovatelnost
- objemová stálost
- dlouhá životnost

Nevýhody minerální izolace:

- nevhodné do vlhkého prostředí
- vyšší cena v porovnání s polystyrenem
- při zpracování možnost vzniku zdraví škodlivého prachu

Kamenná vlna (desky nebo role)

Kamenná tepelná izolace je vyráběna za vysokých teplot rozvlákněním čediče, bazaltu či gabra v peci a zformováním těchto vláken do rohoží či desek.

Vyrábí se ve dvou základních variantách jako měkké rohože a tuhé desky. Měkké rohože se používají pro nezátížené stavební izolace, jako jsou např. půdní prostory, a také pro technické izolace. Tuhé desky se používají pro zatížené izolace stavebních konstrukcí, do kontaktních zateplovacích systémů ETICS, provětrávaných fasád, jako výplňové izolace do rámových dřevostaveb, izolace šikmých střech s krovovými soustavami atd. Desky s vyšší objemovou hmotností (nad 100 kg/m³) lze využít i k tepelné izolaci podlah.

Kamenná vlna je nehořlavá, proto nachází uplatnění v konstrukcích se zvýšenými požadavky na požární bezpečnost – požárně dělicí pásy v kontaktních zateplovacích systémech, konstrukce s vyšší požární odolností atd.

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,035\text{--}0,045$ W/mK
- faktor difuzního odporu $\mu = 1$ až 2
- objemová hmotnost $\rho = 30\text{--}100$ kg/m³
- třída reakce na oheň A1



Obr. 18.: Minerální izolace – kamenná [www.stavomarket.cz].

Skelná vlna (desky nebo role)

Skelná vlna se vyrábí jednak z nového skla nebo recyklací a rozvlákněním obalového skla. Roztavené sklo je rozfukáváno na vlákna a formováno do desek nebo rohoží. Použití skelné vlny je obdobné jaké u vlny kamenné. Běžně se výrobky užívají k izolaci mezi krokve krovů či sloupky lehkých skeletových staveb, do stropů a podhledů i provětrávaných fasád. Jako nehořlavý materiál je lze užít i jako požární izolaci [Drevostavitel.cz].

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,030\text{--}0,045 \text{ W/mK}$
- difuzní odpor $\mu = 1$
- objemová hmotnost $\rho = 15\text{--}35 \text{ kg/m}^3$
- třída reakce na oheň A1



Obr. 19.: Minerální izolace – skelná [kosoff – Fotolia.com].

3.7.3.3. Pěnové sklo

Bloky z pěnového skla

Pěnové sklo se vyrábí jak z nového skla, tak z recyklovaného materiálu. Zpěnění skelné hmoty zajišťuje uhlíkový prach, který se za tepla mění na oxid uhličitý. Zchlazený blok se upravuje do finálních rozměrů řezáním a broušením.

Hlavními přednostmi pěnového skla je relativně vysoká únosnost v tlaku a absolutní difuzní uzavřenost materiálu. Používá se pro speciální detaily a konstrukce, kde je třeba tepelnou izolaci přenést vyšší namáhání v tlaku, střechy s vyšším provozním zatížením, průmyslové stavby apod. Pro vysoký difuzní odpor se používá do konstrukcí oddělujících prostory s vysokou vlhkostí, kde by jiné materiály nezajistily příznivý tepelně-vlhkostní režim konstrukcí. Charakteristické použití bloků pěnového skla je do tzv. kompaktní střechy, kde je vyloučena difuze vodní páry skrz střechu. Pěnové sklo je odolné proti veškerým běžným biologickým vlivům a většině chemických vlivů.

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,040\text{--}0,060 \text{ W/mK}$
- faktor difuzního odporu μ – materiál zcela parotěsný
- objemová hmotnost $\rho = 120\text{--}190 \text{ kg/m}^3$
- třída reakce na oheň A1



Obr. 20.: Bloky z pěnového skla [Dektrade.cz].

Štěrky z pěnového skla

Výroba je obdobná jako u pěnového skla v blocích (napěněním skelné hmoty nové či získané recyklací obalového skla), s následným drcením a tříděním.

Štěrky z pěnového skla se používá pro tepelně izolační zásypy a podsypy. Příkladem pro užití je způsob založení objektu na betonové desce na ztuhlé vrstvě štěrku pěnového skla. Ten tak odizoluje celou stavbu, včetně základů. Únosnost takového podsypu po ztuhnutí je 0,6–1,2 MPa. Používají se i menší frakce pro zásyp do podlah (rekonstrukce),

zásypů a násypů, izolace zapuštěných bazénů do zeminy, jako lehké kamenivo do betonů a maltových směsí [TZB-info.cz].

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,075 \text{ W/mK}$
- faktor difuzního odporu – zrna parotěsná, zásyp jako celek zcela prodyšný
- sypná hmotnost $\rho = 150\text{--}180 \text{ kg/m}^3$
- třída reakce na oheň A1



Obr. 21.: Granulát z pěnového skla Refaglass [TZB-info.cz].

3.7.3.4. Izolace PUR, PIR

PUR a PIR (desky)

Polyuretanová i polyisokianurátová pěna se používá mimo lití a stříkání přímo na stavbě i pro výrobu deskových materiálů. Desky je možno vyrábět způsobem řezání z bloků vzniklých volným pěněním nebo ve formách.

Pokud mají být desky pevně spojeny s jinými materiály (například s hliníkovou fólií, plechem, skelnou tkaninou) vyrábí se výhradně napěňováním do finální tloušťky. Suroviny pro výrobu pěny se nalévají mezi tenké materiály tvořící budoucí povrch desek. Proběhne chemická reakce a prostor je vyplněn pěnou, zároveň dojde ke spojení pěny s vloženými materiály.

Kompozity z PUR a PIR pěny se užívají pro izolaci střech, podlah, stěn, popřípadě se vyrábějí jako hotové celostěnové panely s hliníkovým pláštěm (k montáži na průmyslové haly apod.). V České republice se používají pro nadkroevní systémy šikmých střech, kde se využívá jejich pevnosti při zachování jejich tepelněizolačních charakteristik.



Obr. 22.: PUR a PIR izolace [www.linzmeier.de].

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,025\text{--}0,075 \text{ W/mK}$
- faktor difuzního odporu: dle konkrétního složení kompozitu
- objemová hmotnost $\rho = 30\text{--}100 \text{ kg/m}^3$ (dle konkrétního složení kompozitu)
- třída reakce na oheň C–E dle konkrétního složení kompozitu

Polyuretanová pěna – PUR (stříkaná, litá)

Polyuretanová pěna existuje dvojího druhu – tvrdá a měkká. Měkká pěna je známá jako molitan, ve stavebnictví se využívá polyuretanová pěna tvrdá – zkratkou označovaná jako PUR pěna. Široké uplatnění má v detailech konstrukcí jako výplň a izolace spár apod. Lze ji využít i pro zateplení plošných konstrukcí, stropů, střech. Aplikuje se nástřikem nebo litím. Jelikož pěna na povrchu ulpívá, přizpůsobí se i složitě tvarovaným povrchům.



Obr. 23.: Aplikace PUR pěny [svet-drevostavby.cz].

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,033 \text{ až } 0,045 \text{ W/mK}$
- faktor difuzního odporu $\mu = 30\text{--}100$ (dle objemové hmotnosti)

- objemová hmotnost $\rho = 30\text{--}100 \text{ kg/m}^3$
- třída reakce na oheň C–E (dle konkrétního chemického složení)

Použitím izolační pěny je u obalových konstrukcí dosaženo vysoké vzduchotěsnosti, což je mimo jiné základním předpokladem správného fungování jednotek nuceného větrání - rekuperace. Pěna vytvoří vzduchotěsnou bariéru bez nutnosti provedení parozábrany. Funguje také jako akustická izolace. Výhodou tepelně izolační pěny je rychlá aplikace, také životnost, která je dána životností stavby a zcela kompaktní izolační vrstva bez jakýchkoliv netěsností a spojů. Je to ideální technologie pro dodatečné zateplování podkroví a rekonstrukce. Materiál je odolný vůči plísním, hmyzu a jiným biologickým škůdcům.

Polyisokyanurátová pěna PIR (stříkaná, litá)

Materiál je tvořen kombinací uretanových a isokyanurátových vazeb. Jde o velmi podobný materiál jako známější polyuretan (PUR), PIR má ale obecně vyšší pevnost v tlaku (PUR 100 kPa, PIR 170 kPa) a menší tepelnou vodivost. Aplikovat se může jak litím, tak stříkáním na povrch či do dutin [svet-drevostavby.cz].

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,021$ až $0,023 \text{ W/mK}$
- faktor difuzního odporu $\mu = 35$
- objemová hmotnost $\rho = 30\text{--}100 \text{ kg/m}^3$
- třída reakce na oheň C–E (dle konkrétního chemického složení)

3.7.3.5. Izolace z obnovitelných surovin

Izolace v této materiálové kategorii mají společnou vlastnost – vysokou akumulaci tepla při současném zachování nízkého součinitele prostupu tepla. To je výhodné především pro izolaci podkroví nebo lehkých staveb. Díky vysoké tepelné kapacitě dochází k prodloužení fázového posunu při prostupu tepla. Další výhodou je nízká ekologická stopa. Jednou z nevýhod je ovšem jejich vyšší cena.

Dřevovláknité izolace (desky)

Na bázi dřeva se úspěšně vyrábějí dřevovláknité desky. Jde o moderní materiály, které mají velmi dobré tepelně-izolační vlastnosti, nízký difuzní odpor a v porovnání s jinými běžně užívanými tepelně izolačními hmotami současně i dobré mechanické parametry.

Měkké dřevovláknité izolační desky se vyrábí ze smrkového nebo borového dřeva. Při výrobě dřevovláknitých desek způsobuje teplota a tlak uvolnění přírodních pryskyřic obsažených ve dřevě. Pryskyřice po vyschnutí propůjčují deskám požadovanou pevnost bez potřeby přidání dalších příměsí. Do desek, které mají být odolné vůči vlhkosti, se s

ohledem na jejich oblast použití přidávají různé vodoodpudivé (hydrofobizační) prostředky jako například bitumeny, latexy, vosk nebo přírodní pryskyřice.

Jako jediný běžně užívaný tepelný izolant má tento materiál i příznivou schopnost akumulovat teplo. Proto se velmi dobře hodí pro konstrukci dodatečného zateplení budov i pro tvorbu obvodových plášťů dřevostaveb a tepelné izolace půdních prostor. Je z něj možno konstruovat i tepelné nebo akustické izolace do podlah. Zcela ekologický materiál se dodává ve formě desek. Ty jsou konstrukčním prvkem, oblíbeným především při tvorbě difuzně otevřených konstrukcí.

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,039$ až $0,045$ W/mK
- faktor difuzního odporu $\mu = 1-2$
- objemová hmotnost $\rho = 50$ kg/m³
- třída reakce na oheň E



Obr. 24.: Dřevovláknitá izolace – desky [STEICO].

Izolace z technického konopí

Materiál vyrobený z konopí výborně tepelně i zvukově izoluje, propouští vodní páry, špatně hoří, je nepoživatelný pro hlodavce, termity a hmyz, odpuzuje vodu, je lehký a trvanlivý. Výrobky z konopí se dodávají jako tepelné a zvukové izolace střeš, stěn a podlah. Používají se v novostavbách i v rekonstrukcích. Z konopí vyrobené tepelné a zvukové izolační materiály neobsahují těžké kovy nebo formaldehydy zatěžující životní prostředí. Při výrobě, zabudování i při dlouhodobém užívání budovy s konopnými materiály je vyloučeno poškození zdraví osob, které se v nich zdržují. Výrobky jsou po jejich dožití plně recyklovatelné. Předností materiálů z konopí je, že jsou tvarově stálé. Mají dobré difuzní vlastnosti, které umožňují optimální prostup vlhkosti a v průběhu celého roku zajišťují v místnostech zdravé klima. Konopná izolace je díky houževnatosti konopného vlákna dostatečně pružná, po krátkodobém stlačení se navrátí do svého původního tvaru. Tato vlastnost je důležitá zejména při montáži, kdy se nelze vyvarovat

zmáčknutí rohoží při vkládání mezi konstrukční prvky. Zároveň si konopná izolace dlouhodobě udržuje svůj tvar, takže nedochází k jejímu sedání.

Kromě vysoké difúzní propustnosti má konopná izolace schopnost redistribuce vlhkosti, tzn. je schopná pojmout a vyrovnat se s velkým množstvím vlhkosti. Objemová vlhkost může narůst až na 20 %, aniž by byla snížena účinnost izolačních schopností. Izolace tedy odvádí přebytečnou vlhkost z interiéru a naopak při nízké vlhkosti vzduchu je schopna ji opět uvolnit. Díky vysoké prodyšnosti a vlhkostní vodivosti zachovává konopná izolace zdravé mikroklima domu bez množících se bakterií, plísní a jiných mikroorganismů. V samotné izolaci také nebyl zjištěn žádný růst plísní.

Ideální použití této izolace je právě ve dřevostavbách a krovech běžných staveb, kde lze s výhodou využít difúzně otevřené skladby.

Základní fyzikální vlastnosti:

- tepelná kapacita $c = 1600 \text{ J/kgK}$
- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$
- faktor difúzního odporu $\mu = 1-2$
- objemová hmotnost $\rho = 30-100 \text{ kg/m}^3$
- třída reakce na oheň E



Obr. 25.: Izolace z technického konopí [Canabest, s.r.o.].

Celulózová izolace (suchá aplikace)

Jedná se o papírovou cupaninu, získanou recyklací papíru. Vyrábí se s přidavkem příměsí, boritých solí, síranu hořečnatého, fosforečnanu amonného. Kombinace těchto přísad v celulózové tepelné izolaci způsobuje zvýšenou odolnost proti ohni, plísním a houbám a současně odpuzuje hmyz a drobné hlodavce. Jde o nejznámější materiál pro foukané izolace. Potrubím s hnaným vzduchem se hmota ukládá do dutin v konstrukci. Aplikace je možná i jako volně ložená například do nepochůzných půdních prostorů. Materiál má obdobnou měrnou tepelnou kapacitu jako výrobky z dřevitého vlákna $c = 2000 \text{ J/kgK}$.

Výhodou této izolace je bezspárové provedení. Kromě tepelné ochrany slouží i jako zvuková izolace, má vysokou specifickou měrnou tepelnou kapacitu. Časové zpoždění

průniku tepla je až 16 hodin. Tato vlastnost zaručuje vyrovnanější teploty v interiéru. Materiál má také dlouhou životnost, nepodléhá plísním ani hnilobě, nepůsobí korozivně.

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,040$ až $0,050$ W/mK
- faktor difuzního odporu $\mu = 1-3$
- objemová hmotnost $\rho = 30-60$ kg/m³
- třída reakce na oheň C-E (dle přidaných retardérů hoření)



Obr. 26.: Celulózová izolace [minicel73 – Fotolia.com].

Celulózová izolace (mokrý aplikace)

Materiálem je celulózová izolace pro mokrou aplikaci shodná s celulózou pro suchou aplikaci. Rozdíl nastává při realizaci, kdy se do stříkací trysky přidává k rozvlákněnému papíru malé množství vody. To způsobí lepkavé vlastnosti mokrého papíru a jeho ulpívání na povrchu konstrukce. Mimo vody, lze použít chemická pojiva, která mohou ovlivňovat třídu reakce na oheň.

Mokrý způsob nanášení není určen do nepřístupných dutin, je nutné zajistit k povrchu celoplošně přístup. Výhodou je okamžitá vizuální kontrola míry vyplnění prostoru izolantem. Lepivý mokrý materiál následně schne (doba vysychání v řádu hodin) a tvrdne. Tím je zaručeno jeho nulové sedání v průběhu času. Další výhodou tvarové stálosti je chování při požáru, kdy se materiál ani prohořelou dutinou nevysype. Nevýhodou oproti suchému způsobu nanášení je větší časová náročnost a větší pracnost aplikace.

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,045$ až $0,055$ W/mK
- faktor difuzního odporu $\mu = 1-3$
- objemová hmotnost $\rho = 40-50$ kg/m³
- třída reakce na oheň C-E (dle přidaných retardérů hoření či lepidel)

Izolace z ovčí vlny

Vstupní materiál je ovčí vlna s příměsí proti biologické degradaci a molům. Pro hlodavce je ovčí vlna nestavitelná. Výrobky jsou s výhodou využitelné v dřevostavbách, jelikož ovčí vlna je hygroskopická (dokáže absorbovat a opět vydávat vzdušnou vlhkost bez zhoršení λ). Ovčí vlna má vynikající izolační vlastnosti. V létě tak chrání obytný prostor před přehříváním a v zimě před mrazem. Další příjemnou vlastností ovčí vlny je její schopnost vázat vodu. Navázané množství vody může dosáhnout až do 30% hmotnosti vlny a tím je tak regulována vnitřní vlhkost vzduchu., protože přebytečná vlhkost je navázána a ta je zase v případě nutnosti uvolněna. A i když ovčí vlna může pojmout relativně veliké množství vody, tak si stále zachovává svůj objem. Vynikající akustické vlastnosti a prodyšnost patří mezi další výhody vlny jako izolačního materiálu. Ovčí vlna svou „přírodní“ čistotou působí aktivně na vnitřní klima takovým způsobem jako žádné jiné stavební materiály. Je schopna neutralizovat škodlivé látky a udržovat tak stále zdravé ovzduší v celém prostoru objektu. Navíc, ovčí vlna nepředstavuje živnou půdu pro plísně, není potřebná žádná ochrana. Nejčastěji je používána ovčí vlna ve formě rohoží a ty jsou vyráběny v různých rozměrech [TZB-info.cz].

Základní fyzikální vlastnosti:

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$
- faktor difuzního odporu $\mu = 1-2$
- objemová hmotnost $\rho = 13-30 \text{ kg/m}^3$
- třída reakce na oheň E



Obr. 27.: Izolace z ovčí vlny [MoonBloom – Fotolia.com].

Korek

Korek je získáván coby odumřelá kůra korkového dubu. Tento strom se vyskytuje především na Pyrenejském poloostrově, ale setkat se s ním lze i na Korsice, na Sicílii i na severu Afriky. Korkový dub roste 150 let a první kůra se odlupuje po 25 letech jeho života.

Další kolo loupání přichází cca po 8 až 12 letech. Oloupaná kůra se suší pod stromem, ze kterého byla získána. Po procesu vysušování je rozemleta na zrno o velikosti 2 – 30 mm. Takto rozemletá korková kůra se vystaví teplotě 270°C a drť změní barvu z hnědé na černou. Korková zrna při 270°C zvětší svůj objem, sníží se jejich tepelná vodivost a současně získají odolnost vůči plísním a hnilobě. Korková surovina se vyznačuje velmi nízkou hmotností při velkém objemu.

Korek je čistě přírodní produkt, který jako stále se obnovující zdroj splňuje i ty nejnáročnější požadavky na ochranu životního prostředí. Korek si stále drží objem a tvar, nesmršťuje se a jeho vlastnosti se nemění. Objem korku zůstává stejný i při vysokých nebo naopak, při velmi nízkých teplotách. Tepelná izolace z korku „dýchá“. Korek má schopnost regulovat relativní vlhkost v interiéru budovy. Plynný prvek nacházející se v korku prakticky neumožňuje vodivost z hlediska tepelného, zvukového nebo vibračního působení. Díky své struktuře má korek dobrou stlačitelnost a je velice flexibilní. Pokud je korková drť sypána coby tepelná izolace mezi masivní hranoly obvodových stěn, tak vzniká difúzně otevřená stěnová konstrukce. Do takto postavené a „korkově“ izolované stěny již není nutné díky vynikajícím vlastnostem korku napínat parotěsnou fólii a všechny interiéry budovy se tak nemusí neprodyšně uzavírat.

Korková izolace má dlouhou životnost, výrobci udávají až 50ti letou záruku. Dalšími výhodnými vlastnostmi je vysoká tepelná odolnost -200°C až +200°C a v podstatě nulová rozměrová deformace. Izolace je paropropustná, antibakteriální, antialergická, antistatická, zabraňuje vzniku kondenzátu. Je možno ji použít i jako podklad podlah s podlahovým vytápěním. Korková role tloušťky 2 mm vyrovnává výškové nerovnosti až do 1,2 mm, kročejový útlum má cca 17-19 dB. Součinitel tepelné vodivosti korku bývá, dle použitého prvku a tloušťky izolace, v rozmezí 0,035-0,041 W/m.K. Korek je odolný vůči houbám a hmyzu - vyjma vos, třída reakce na oheň E [svet-drevostavby.cz].



Obr. 28.: Korková izolace s minerální omítkou [svet-drevostavby.cz].

3.8. Hodnocení tepelně izolačních vlastností NED

Požadavky tepelné ochrany na dřevostavby jsou stejné jako na ostatní budovy a jejich konstrukce. Rozdílem je přísnější hledisko kondenzace vodních par uvnitř konstrukcí, vyloučené šíření vzduchu napříč konstrukcí a zvýšení bezpečnosti pro nejnižší povrchovou teplotu.

Hodnotí se jednotlivé vlastnosti, podstatná je však jejich harmonie navzájem i soulad s ostatními funkcemi budovy. Vyváženost je významnější než vynikající jednotlivost.

Jednou z možností jak hodnotit tepelně technické vlastnosti může být pomocí výpočtu v softwaru k tomuto určenému (např. TEPLO 2011) a to již během návrhu samotné konstrukce.

Pro dosažení co nejlepších tepelně technických vlastností dřevostaveb je potřeba o daných konstrukcích získat základní údaje o tom jak se budou v průběhu užívání chovat a jestli jsou správně navrženy a nebude-li během jejich užívání docházet k neočekávaným problémům, spojených s prostupem tepla a tím souvisejících problémů, jako je například vznik kondenzace a apod.

Výpočtová metoda ověření tepelně technických vlastností

Tato metoda se používá během návrhu projektované stavby. Cílem těchto výpočtů je navrhnout jednotlivé konstrukce stavby tak, aby odpovídali požadovaným parametrům, a aby byla ověřena jejich funkčnost a spolehlivost během jejich životnosti.

Základní tepelně technickou veličinou vyjadřující šíření, respektive prostup tepla konstrukcí je součinitel prostupu tepla U . Výpočet a ověření hodnot součinitele prostupu tepla patří mezi závazné požadavky při navrhování obvodových konstrukcí pro bytové stavby. Mezní hodnoty, které jsou požadovány, určuje ČSN 73 0540-2.

Hodnoty jsou stanoveny především ze dvou základních hledisek:

- omezení spotřeby energie na vytápění,
- zamezení stavebně fyzikálních poruch (vyloučení povrchové kondenzace).

V dřívějších dobách se výpočty prováděli ručně. Z důvodů relativně velkého množství materiálů v dnešních moderních sendvičových konstrukcích by byly tyto výpočty poměrně pracné a zdlouhavé.

V současnosti se pro výpočty základních parametrů šíření tepla a vlhkosti v konstrukcích používá velká řada různých výpočtových softwarů, které podstatně práci ulehčují.

Do softwaru zadáme potřebné informace a program za nás udělá výpočet dle platné metodiky.

Mezi zadávací parametry patří:

- materiálová skladba konstrukce
- okrajové podmínky jako je vnitřní a vnější teplota
- vlhkost prostředí atd.

Ve výstupech z výpočtů jsou uvedené výsledné hodnoty i s grafem průběhu teplot, vyznačeným místem možné kondenzace, teplotou jednotlivých vrstev konstrukce atd.

Výpočetní metody pomocí různých softwarů jsou dnes velmi používané a to nejen z časového důvodu, ale především kvůli přesnosti výsledku, jednoduchosti a intuitivnosti při zadávání vstupních údajů. Avšak pro správné provedení samotného výpočtu je potřeba, aby autor těchto výpočtů věděl a hlavně rozuměl tomu co má do programu zadat za hodnoty.

Výpočty součinitele prostupu tepla konstrukcí lze provádět pomocí nejrůznějších excelovských tabulek běžně dostupných na internetu až po více či méně sofistikovanější softwary od nejrůznějších výrobců. Mezi nejznámější softwary patří například software TEPLO 2011 od společnosti Svoboda software, popřípadě software TOB 2011 od společnosti PROTECH, a mnohé další.

Program TEPLO 2011 nabízí:

- výpočet tepelného odporu a součinitele prostupu tepla se zohledněním mnoha typů systematických tepelných mostů
 - výpočet roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry
 - výpočet poklesu dotykové teploty podlahové konstrukce, teplotního útlumu a fázového posunu
 - výpočet vnitřní povrchové teploty a teplotního faktoru
 - schéma konstrukce s průběžně aktualizovanými základními vlastnostmi již při zadávání
 - bohaté možnosti modelování
 - požadavky a vyhodnocení výsledků
 - rozsáhlou nápovědu s nabídkou doporučených hodnot
 - katalogy stavebních materiálů, konstrukcí a okrajových podmínek pro snazší zadávání vstupních dat
 - pomocné výpočty pro řadu zadávaných parametrů (např. pro tepelnou vodivost, faktor difuzního odporu, vliv tepelných mostů, spárovou difúzi, efektivní tloušťku spádových vrstev)
 - bohaté grafické výstupy (např. průběh teplot a průběh částečných tlaků vodní páry s oblastí kondenzace pro jednotlivé měsíce v roce, akumulované množství kondenzátu a aktuální míra kondenzace či odparu v průběhu roku, průběh povrchových teplot a teplotního faktoru, průběh okrajových podmínek)
- [kcad.cz].

V metodice bude provedeno porovnání několika konstrukcí hodnocených v softwaru TEPLO 2011.

4_ Metodika

Tepelně izolační vlastnosti nízkoenergetických dřevostaveb, potažmo konstrukcí, ze kterých se skládají, nejvíce ovlivňují, k jak velkým ztrátám tepla bude v budově docházet. Vyskytují se u všech typů konstrukcí, ať už se jedná o stěnové či střešní konstrukce, otvorové výplně atd. Pro tuto práci byly vybrány pouze stěnové konstrukce.

Jedním ze základních parametrů je výpočet součinitele prostupu tepla a šíření vlhkosti v těchto konstrukcích, které jsou důležité především z důvodu ověření, zda daná konstrukce může v praxi vůbec fungovat a zda může splnit základní požadavky, které jsou na ni kladené.

Pro hodnocení tepelně izolačních vlastností byly vybrány stěnové konstrukce běžně používané a nejrozšířenější na českém trhu. Tyto konstrukce byly vybírány napříč všemi stavebními systémy bez ohledu na společnost, která je realizuje a to z důvodu stručného přehledu tepelně izolačních vlastností jednotlivých typů konstrukcí, které se ke stavbě nízkoenergetických dřevostaveb nejvíce používají.

Z výsledků by mělo být zjištěno, jestli jsou tepelně technické vlastnosti závislé na typu konstrukčního systému nebo ne. Další záměrem je poukázat na to jak se od sebe jednotlivé konstrukční systémy liší a čím jsou jejich tepelně izolační vlastnosti ovlivněny.

K zjištění výsledků byla použita metoda hodnocení výpočtu součinitele prostupu tepla, který je jedním z důležitých parametrů udávající jaké množství tepla je schopné danou konstrukcí projít. Pomocí tohoto parametru lze porovnat jednotlivé konstrukce a stanovit, která je v tomto ohledu nejlepší.

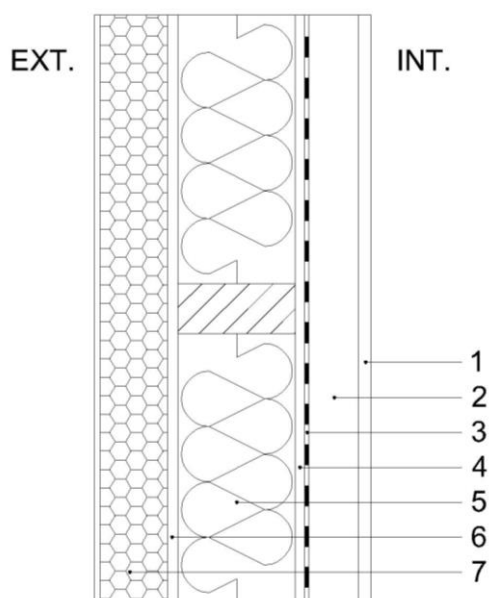
4.1. Charakteristika hodnocených konstrukcí

V následující části práce je stručně charakterizováno 5 různých konstrukčních systémů nejběžněji používaných ke stavbě nízkoenergetických dřevostaveb. Jednotlivé stěnové konstrukce jsou zde představeny pomocí vodorovného řezu, 3D obrázkem, materiálovou skladbou s uvedením vlastností použitých materiálů a stručným popisem.

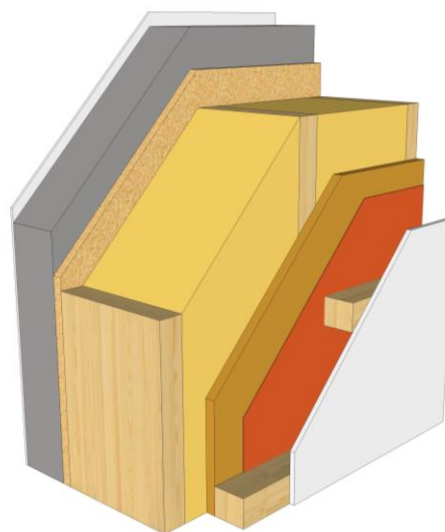
Sledované konstrukce:

- sendvičová konstrukce difuzně uzavřená (č. 1)
- sendvičová konstrukce difuzně otevřená (č. 2)
- konstrukce s využitím CLT panelu (č. 3)
- konstrukce s využitím SIP panelu (č. 4)
- novodobá roubená konstrukce (č. 5).

4.1.1. Konstrukce č. 1 – sendvičová konstrukce difuzně uzavřená



Obr. 29.: Skladba konstrukce č. 1.



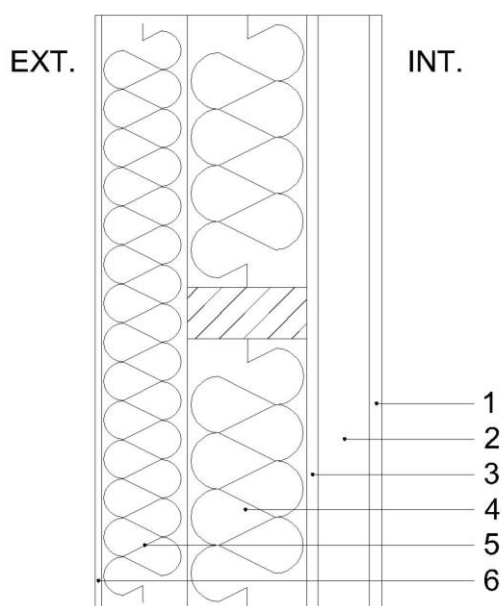
Obr. 30.: Konstrukce č. 1 ve 3D.

Tab. 3.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 1.

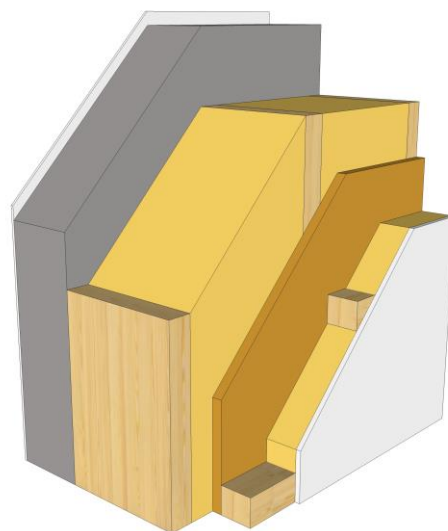
Č. vrstvy	Název materiálu	Tl. [mm]	Tepel. vod. λ [W/m.K]	Faktor difúz. odpor. μ	Poznámka
1	Sádrovláknitá deska	15	0,32	13	<i>Fermacell</i>
2	Dřevěný rošt 40/60mm	60	0,13	157	<i>40/60mm po 400mm</i>
2	Tepelná izolace	60	0,044	1	<i>tepelná izolace URSA TWP 1</i>
3	Parozábrana	0,2	0,35	475000	<i>PE fólie</i>
4	Sádrovláknitá deska	15	0,32	13	<i>Fermacell</i>
5	Konstrukční řezivo KVH 60/140mm	140	0,13	157	<i>60/140mm po 625mm</i>
5	Tepelná izolace	140	0,044	1,0	<i>tepelná izolace URSA TWP 1</i>
6	Sádrovláknitá deska	12,5	0,32	13	<i>Fermacell</i>
7	Kontaktní zateplovací systém STO THERM CLASSIC 1 (EPS 80mm) se systémovou omítkou	87	-	-	

Tato konstrukce se v České republice řadí mezi ty nejpoužívanější a je to klasická konstrukce používaná pro systémy lehkého skeletu. Nosná část se sestává z dřevěných konstrukčních prvků (KVH, rostlé dřevo, atd.), tvořících nosný rám, který je opláštěn konstrukční deskou. V našem případě sádrovláknitou deskou jak z vnější, tak vnitřní strany. Na ztužující desce na vnitřní straně je umístěna parotěsnicí vrstva, tvořena fólií s velkým difuzním odporem. Tato vrstva zabraňuje průchodu vlhkého vzduchu a tím tak zamezuje kondenzaci vodních par v konstrukci. Tepelně izolační vlastnosti jsou tvořeny jak izolací umístěnou mezi nosnými prvky konstrukce (ve většině případů to bývá minerální izolace) tak vnější vrstvou tzv. vnějším zateplovacím systémem. Tato vrstva je zpravidla tvořena kontaktním zateplovacím systémem, který je v 90 % případů řešen použitím fasádního polystyrenu. Zvolená tloušťka této vrstvy nejvíce ovlivňuje konečné tepelně izolační vlastnosti celé konstrukce. Vnější povrch je dokončen systémovou omítkou kontaktního zateplovacího systému, vnitřní povrch pak sádrovláknitou deskou umístěnou na roštu s povrchovou úpravou dle konkrétního použití.

4.1.2. Konstrukce č. 2 – sendvičová konstrukce difuzně otevřená



Obr. 31.: Skladba konstrukce č. 2



Obr. 32.: Konstrukce č. 2 ve 3D.

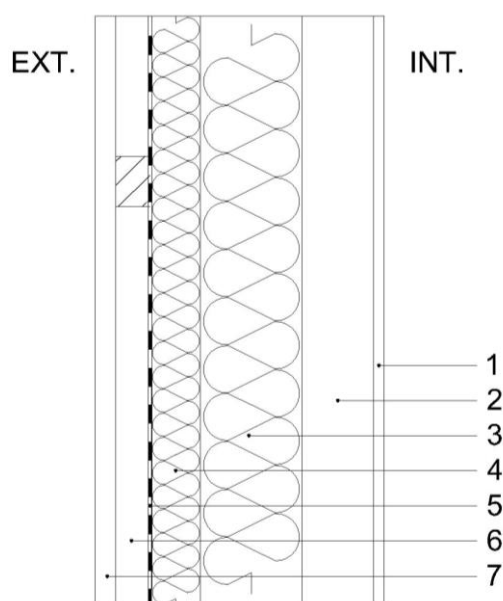
Tab. 4.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 2.

Č. vrstvy	Název materiálu	Tl. [mm]	Tepel. vod. λ [W/m.K]	Faktor difúz. odpor. μ	Poznámka
1	Sádrovláknitá deska	15	0,32	13	<i>Fermacell</i>
2	Dřevěný rošt 40/60mm	60	0,13	157	<i>40/60mm po 400mm</i>
2	Tepelná izolace	60	0,040	1	<i>tepelná izolace URSA TWP 1</i>
3	Parobrzdná deska	12,5	0,32	240	<i>Fermacell Vapor</i>
4	Konstrukční řezivo KVH 60/140mm	140	0,13	157	<i>60/140mm po 625mm</i>
4	Tepelná izolace	140	0,044	1,0	<i>tepelná izolace URSA TWP 1</i>
5	Dřevovláknitá deska	100	0,040	5	<i>tepelná izolace STEICOtherm</i>
6	Tenkovrstvá omítka zateplovacího systému STO THERM WOOD	8	-	-	

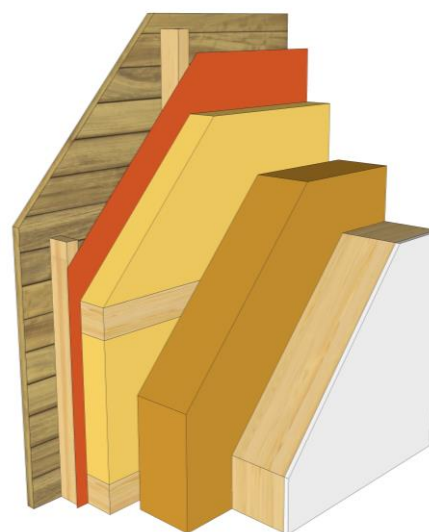
Difuzně otevřená stěnová konstrukce se skládá z nosné části, která je zabezpečena pomocí dřevěných konstrukčních prvků (KVH hranolů, rostlé dřevo,..). Tato nosná konstrukce je z vnitřní strany oplášťena sádrovláknitou deskou se zvýšeným difuzním odporem, která zabezpečuje relativně kontrolovatelné šíření vlhkosti v konstrukci. Tepelná izolace je rovněž umístěna jak mezi nosnými prvky, tak na vnější straně konstrukce, kde tvoří tepelně izolační plášť. K tomu účelu je velmi často, jako i v našem případě, používána dřevovláknitá deska, která je zároveň dostatečně difuzně otevřená, aby jí v případě nutnosti mohla prostupovat vlhkost, která se do konstrukce dostane z interiéru a přitom má znamenité tepelně izolační vlastnosti. Dřevovláknitá deska je zároveň dostatečně tuhý materiál odolný vůči mechanickému poškození a nechá se na něj aplikovat vnější povrchová úprava v jakékoliv podobě. Vnější povrch může být upraven jak kontaktní omítkou (jako je tomu u naší konstrukce), tak odvětrávanou fasádou, tvořenou z palubek na roštu. Vnitřní povrch je dokončen sádrovláknitou deskou na roštu s povrchovou úpravou dle konkrétního použití konstrukce.

Základním principem difuzně otevřené konstrukce je, že faktor difuzního odporu použitých materiálů klesá v závislosti na umístění v konstrukci. Materiál na vnitřní straně má nejvyšší hodnotu difuzního odporu, naproti tomu materiál na vnější straně má hodnotu difuzního odporu co nejnižší, a to z důvodu plynulého prostupu vodních par konstrukcí.

4.1.3. Konstrukce č. 3 – konstrukce s využitím CLT panelu



Obr. 33.: Skladba konstrukce č. 3.



Obr. 34.: Konstrukce č. 3 ve 3D.

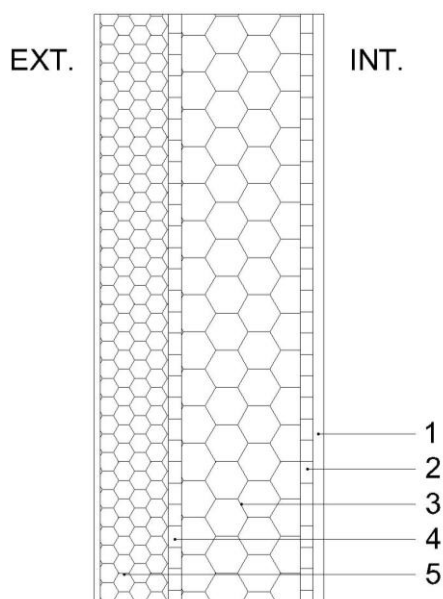
Tab. 5.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 3.

Č. vrstvy	Název materiálu	Tl. [mm]	Tepel. vod. λ [W/m.K]	Faktor difúz. odpor. μ	Poznámka
1	Sádrovláknitá deska	12,5	0,32	13	Fermacell
2	Stěnový panel CLT	84	0,13	157	křížem lepené vícevrstvé dřevo systém NOVATOP solid
3	Dřevovláknitá deska	120	0,040	5	tepelná izolace STEICOtherm
4	Dřevěný rošt 40/60mm	60	0,13	157	40/60mm po 400mm
4	Dřevovláknitá deska	60	0,038	5	tepelná izolace STEICOflex
5	Difuzní fólie	0,3	0,17	67	Dorken delta Fassade
6	Dřevěný rošt 40/60mm	40	0,18	157	40/60mm po 400mm
6	Větraná vzduchová mezera	40	-	-	
7	Dřevěný obklad	24	0,18	157	dřevěné palubky

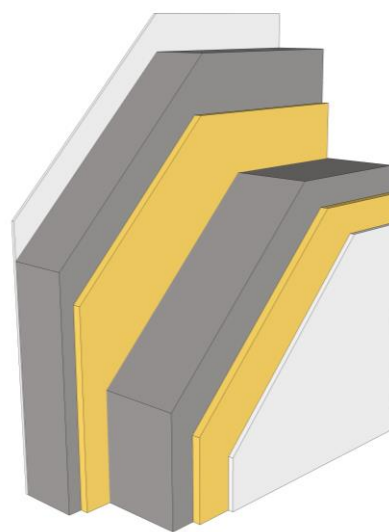
U této konstrukce je nosná část tvořena masivní dřevěnou vrstvou, která je vyrobená slepením dřevěných lamel ve třech na sebe navzájem kolmých vrstvách dřeva, tzv. CLT panelem (panelem sestávajícím se z křížem lepeného dřeva).

Tepelně izolační vlastnosti této konstrukce jsou zabezpečeny souvislou tepelně izolační vrstvou na vnější straně těchto panelů. Tato vrstva bývá zpravidla tvořena dřevovláknitou deskou, která zabezpečuje jak výborné tepelně izolační parametry, tak i prostup vodních par celou konstrukcí. Pro konečné dokončení stěnové konstrukce je nutné zvolit vhodné materiály pro finální úpravu povrchů a to buď difúzně otevřenou kontaktní omítku, nebo jako v našem případě odvětrávanou fasádu. Odvětrávaná fasáda se skládá z difúzní fólie umístěné na izolaci, která zabraňuje prostupu vzduchu a vody do konstrukce, dále dřevěného roštu, na kterém je přichycena dokončovací vrstva (např. palubky). Vnitřní strana dřevěného masivního panelu může zůstat pohledová, popřípadě může být dokončena jakýmkoliv jiným materiálem (sádkartón, sádrovláknitá deska, atd.).

4.1.4. Konstrukce č. 4 – konstrukce s využitím SIP panelu



Obr. 35.: Skladba konstrukce č. 4.



Obr. 36.: Konstrukce č. 4 ve 3D.

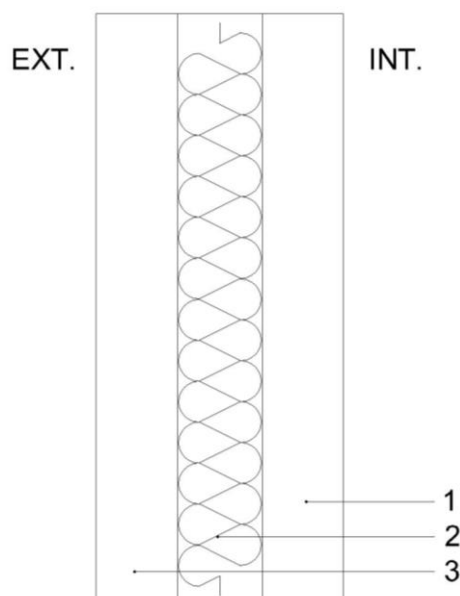
Tab. 6.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 4.

Č. vrstvy	Název materiálu	Tl. [mm]	Tepel. vod. λ [W/m.K]	Faktor difúz. odpor. μ	Poznámka
1	Sádrokartonová deska	12,5	0,22	9	<i>Rigips</i>
2	OSB 4	15	0,13	200	<i>dohromady tvoří</i>
3	EPS 70 F	140	0,039	20	<i>EUROPANEL</i>
4	OSB 4	15	0,13	200	<i>tloušťky 170mm</i>
5	Kontaktní zateplovací systém STO THERM CLASSIC 1 (EPS 80mm)	87	-	-	

Základním prvkem této konstrukce a zároveň nosnou částí je konstrukční izolovaný panel. Tento panel je vyroben slepením velkoplošných materiálů na bázi dřeva (nejčastěji OSB desky) na jádro tvořené tepelným izolantem. Jádro bývá zpravidla tvořeno stabilizovaným polystyrenem, který má dostatečnou pevnost.

Tyto panely mají sami o sobě zajímavé tepelně izolační vlastnosti, které jsou následně zlepšeny další tepelně izolační vrstvou umístěnou na jejich vnější straně. V našem případě je tato vrstva zabezpečena pomocí kontaktního tepelně izolačního zateplovacího systému s polystyrenem tloušťky 80 mm. Vnější povrch je dokončen systémovou omítkou daného zateplovacího systému. Vnitřní strana panelu bývá dokončena dle konkrétních požadavků, případně postačí sádrokartonová deska s požadovanou finální omítkou.

4.1.5. Konstrukce č. 5 – novodobá roubená konstrukce



Obr. 37.: Skladba konstrukce č. 5.



Obr. 38.: Konstrukce č. 5 ve 3D.

Tab. 7.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 5.

Č. vrstvy	Název materiálu	Tl. [mm]	Tepel. vod. λ [W/m.K]	Faktor difúz. odpor. μ	Poznámka
1	Dřevěné konstrukční prvky	96	0,13	157	96/196mm lepená borovice
2	Tepelná izolace	100	0,04	6	konopná izolace
3	Dřevěné konstrukční prvky	96	0,13	157	96/196mm lepená borovice

Novodobá roubená konstrukce se oproti původní klasické roubené konstrukci vyznačuje tím, že se již nejedná o jednoduchou homogenní konstrukci, nýbrž o tzv. sendvičovou konstrukci. Tato konstrukce byla doplněna o další části z důvodu zvýšení tepelně izolačních vlastností. Vznikla tak sendvičová konstrukce, jejíž vnitřní a vnější strana je tvořena roubenou stěnou z lepeného borového dřeva a střední část je vyplněna tepelnou izolací. V našem případě přírodní konopnou izolací, která je velmi vhodná do těchto konstrukcí vzhledem k jejím vlastnostem uvedeným v předešlém textu.

4.2. Charakteristika výpočetního programu

Pro tepelně technické posouzení jednotlivých konstrukcí byl zvolen výpočetní software *TEPLO 2011*. Tento program je součástí balíčku programů pro „Stavební fyziku“ od Svoboda software.

Program *TEPLO 2011* umožňuje výpočet základních tepelně technických parametrů stavebních konstrukcí podle ČSN EN ISO 6946, ČSN EN ISO 13788 a ČSN 730540. Program provádí výpočet tepelného odporu, součinitele prostupu tepla, vnitřní povrchové teploty, teplotního faktoru, teplotního útlumu, poklesu dotykové teploty podlahové konstrukce a roční bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti. Je možné řešit konstrukce o maximálně 15 vrstvách v libovolných okrajových podmínkách. Výpočet celoroční bilance vodní páry je v programu proveden jednak podle evropské metodiky předepsané v ČSN EN ISO 13788 a jednak podle tradiční národní metodiky uvedené v ČSN 730540-4. Program je současně schopen do obou zmíněných bilancí zahrnout i případ povrchové kondenzace a vypařování z vnitřního povrchu [Manuál *TEPLO 2011*].

4.3. Okrajové podmínky pro výpočet

Okrajové podmínky jsou voleny dle ČSN 73 0540-3 a z podkladů Českého hydrometeorologického ústavu na základě předpokládaného umístění stavby případně dle zvláštních požadavků (např. dle DNK, ...).

V našem případě byly na základě výše zmíněných požadavků a pro srovnání jednotlivých skladeb zvoleny následující okrajové podmínky (viz. tab. 3). Tyto návrhové podmínky odpovídají podmínkám pro oblast Prahy.

Tab. 8.: Návrhové okrajové podmínky pro výpočet

<i>Parametr</i>	<i>Hodnota</i>
Návrhová teplota vnějšího vzduchu Θ_e	-15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Θ_{ai}	20,6 °C
Návrhová relativní vlhkost vnějšího vzduchu φ_e	84,0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu φ_i	55,0 %
Odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si}	0,13 m ² K/W
Odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se}	0,04 m ² K/W

4.4. Vlastní výpočet

Zahájení výpočtu začíná po otevření programu, kde je potřeba vyplnit základní údaje o výpočtu (typ konstrukce, název zakázky, jméno zpracovatele a datum zpracování) sloužících pro pozdější identifikaci výpočtu. Po těchto formálních úkonech se může přistoupit k samotnému zadávání jednotlivých parametrů.

V prvním fázi výpočtu je potřeba zvolit typ konstrukce (např. stěna, strop, apod.), kterým se automaticky zvolí i podmínky tepelného odporu při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně posuzované konstrukce. Každá typ konstrukce má tyto hodnoty rozdílné.

Poté následuje zadávání jednotlivých vrstev konstrukce do formuláře. Postupuje se vždy od interiéru směrem k exteriéru, materiál po materiálu (vrstva po vrstvě). Většina dnes běžně používaných materiálů je obsažena v katalogu materiálů v programu, čehož lze s velkou výhodou využít, neboť při výběru materiálu se nám automaticky vloží i všechny potřebné materiálové charakteristiky. Je-li potřeba, lze tyto údaje kdykoliv upravit. Pokud požadovaný materiál v tomto katalogu není, musíme jednotlivé parametry zadat ručně. Tyto parametry lze získat od výrobce z technických listů, popřípadě lze použít hodnoty dané normou. Skládá-li se jedna vrstva ze dvou materiálů, je potřeba tento fakt zohlednit a to úpravou součinitele tepelné vodivosti této vrstvy pomocí doplňkového výpočtu. Program je pro tuto úpravu přizpůsoben, a tak tento krok lze velmi rychle vyřešit.

Po zadání všech materiálů následuje definování okrajových podmínek. Tento úkon je pro výpočet nezbytný, neboť nám podstatně ovlivňuje výsledné hodnoty. Za prvé je potřeba zvolit typ „vnitřní vlhkostní podmínky“. Tato podmínka je závislá na plánovaném použití konstrukcí. V našem případě pro klasický rodinný domek se volí standardně 4. třída vlhkosti (vysoká vlhkost – bytové domy, kuchyně, sportovní haly) a to z důvodu větší bezpečnosti. Při tomto výpočtu se často zvolí špatná třída vlhkosti. Pokud bychom zvolili nižší třídu (např. 3. třídu vlhkosti) vycházel by výpočet příznivěji, ale mohlo by nastat větší riziko nečekaných vlhkostních problémů již zabudovaných konstrukcí při nečekaném výkyvu reálných okrajových podmínek oproti okrajovým podmínkám výpočtovým.

Dále je potřeba zadat okrajové podmínky návrhové teploty a relativní vlhkosti pro interiér a exteriér dle místa použití konstrukce. Podmínky pro exteriér se liší v závislosti na umístění v rámci polohy a nadmořské výšky a jsou zadány podle parametrů uvedených v odstavci „okrajové podmínky výpočtu“ a za pomoci katalogu okrajových podmínek.

Pro výpočet kondenzace vodní páry v konstrukci během roku a její roční bilance je potřeba zadat ještě měsíční průměrné hodnoty teplot a vlhkostí. Tyto parametry byly rovněž zadány pomocí katalogu programu.

Po zadání všech potřebných údajů může proběhnout samotný výpočet, který probíhá na základě platných vztahů uvedených v souboru norem ČSN 73 0540: Tepelná ochrana budov (části 1- 4).

Výsledný protokol o výpočtu je automaticky vygenerován a obsahuje přehled vstupních údajů a výsledných vypočtených hodnot (viz. příloha práce).

5_ Výsledky

Výpočet proběhl na základě postupů uvedených v předcházející kapitole.

V následujících tabulkách jsou uvedeny vypočtené hodnoty pro dané typy konstrukcí. Tyto hodnoty jsou porovnány mezi sebou a zároveň s minimálními požadovanými hodnotami dle aktuálně platné legislativy. Pod každou tabulkou je stručný popis s vysvětlením zjištěných hodnot. Pro názornost je také uveden grafický výstup průběhu teplot v jednotlivých konstrukcích, na kterém je patrné v jakém materiálu (v jaké vrstvě) dochází k největšímu poklesu teplot.

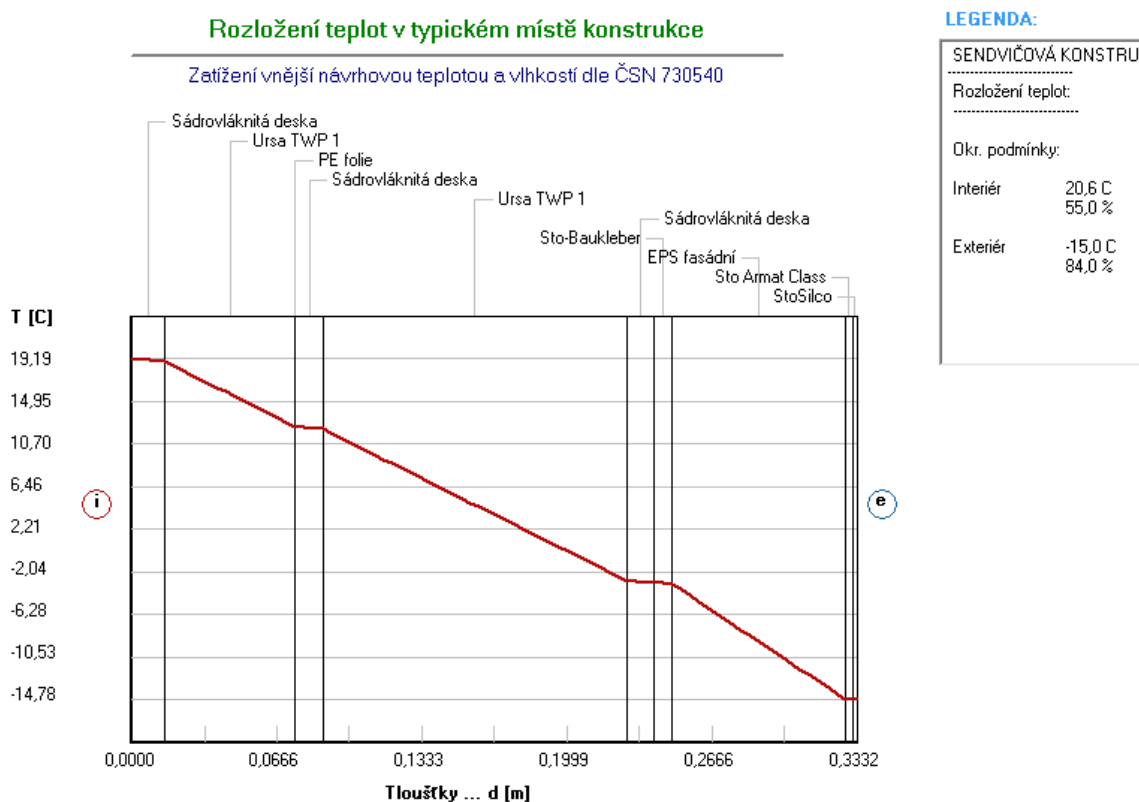
5.1 Vypočtené hodnoty konstrukce č. 1

Tab. 9.: Požadované a vypočtené hodnoty konstrukce č. 1

Počítaný parametr	Vypočtená hodnota	Požadovaná hodnota	Požadavek dle ČSN 73 0540-2
Součinitel prostupu tepla $U [W/m^2K]$	0,16	0,30	je splněn
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f, R_{si}	0,961	0,747	je splněn
Maximální množství zkondenzované vodní páry $M_c [kg/m^2, rok]$	nedochází ke kondenzaci	0,1	je splněn
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry $M_c < M_{ev} [kg/m^2, rok]$	nedochází ke kondenzaci	0	je splněn

Podmínky stanovené normou ČSN 73 0540-2 uvedené v bodě 3.3. této práce jsou pro tuto konstrukci splněny ve všech jednotlivých parametrech.

Hodnota součinitele prostupu tepla pro konstrukci č. 1 je typická vzhledem k tomuto konstrukčnímu systému, kde tepelně izolační vlastnosti jsou ovlivněny typem a především tloušťkou zvolené vnější izolace. Jak je patrné z vypočtených hodnot, použití fasádního polystyrenu o tloušťce 80 mm zabezpečuje kvalitní tepelně izolační vlastnosti této konstrukce. Výsledná hodnota je dokonce na takové úrovni, že splňuje doporučené hodnoty pro nízkoenergetické a dokonce až pasivní domy.



Obr. 39.: Rozložení teplot v konstrukci č. 1

Na obr. 39 je zobrazeno rozložení teplot v konstrukci č. 1. Teplota v interiéru je zadána 21°C a v exteriéru -15°C. Rozložení teplot je závislé na druhu použitého materiálu v dané vrstvě. Jak lze z obrázku vyčíst, k největšímu poklesu teploty dochází mezi vnitřními a vnějšími povrchy tepelně izolačních materiálů. Tato skutečnost je zapříčiněna nízkou hodnotou součinitele tepelné vodivosti λ [W/m·K], který je pro tyto materiály charakteristický. Prostup tepla přes tyto materiály je obtížnější, proto se teploty jednotlivých povrchů budou výrazně lišit. U ostatních materiálů jako jsou v tomto případě sádroláknité desky, bude rozdíl teplot jejich povrchů téměř nulový, a to z důvodu vyššího součinitele tepelné vodivosti.

5.2 Vypočtené hodnoty konstrukce č. 2

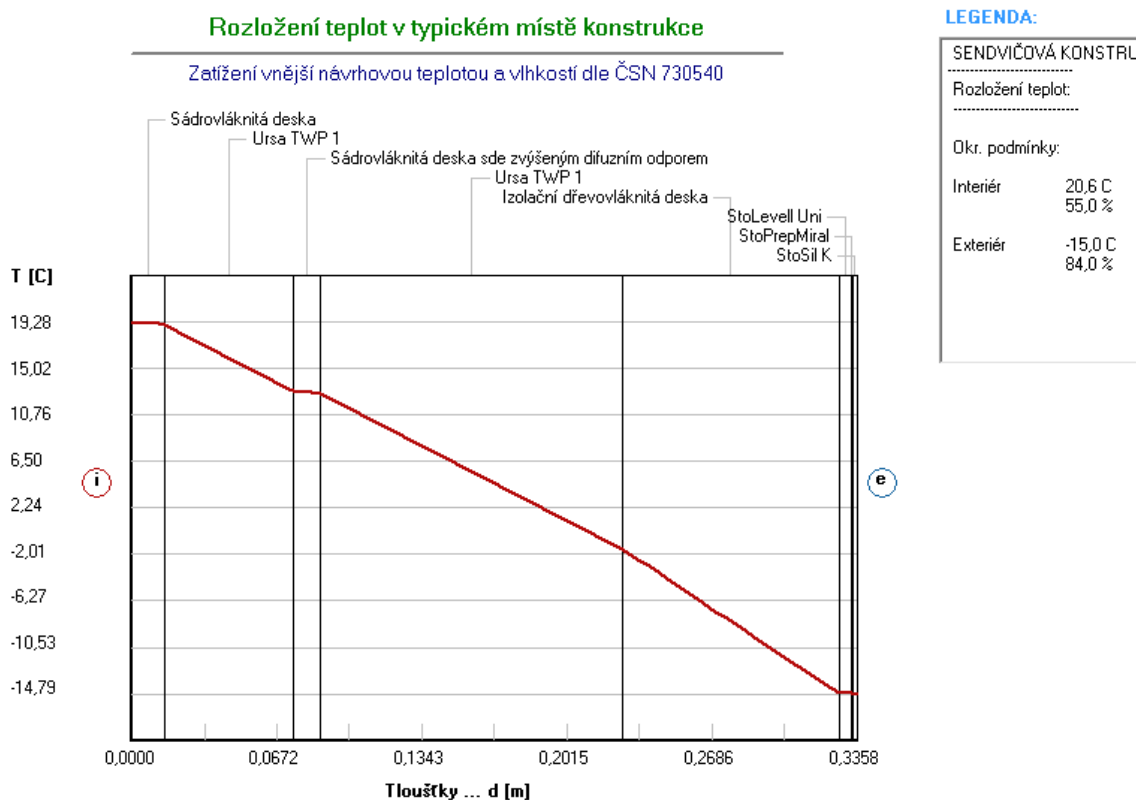
Tab. 10.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 2

Počítaný parametr	Vypočtená hodnota	Požadovaná hodnota	Požadavek dle ČSN 73 0540-2
Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	0,15	0,30	je splněn

Teplotní faktor v návrhových podmínkách f, R_{si}	0,963	0,747	je splněn
Maximální množství zkondenzované vodní páry $M_c [kg/m^2, rok]$	0,046	0,1	je splněn
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry $M_c < M_{ev} [kg/m^2, rok]$	0	0	je splněn

Podmínky stanovené normou ČSN 73 0540-2 uvedené v bodě 3.3. této práce jsou pro tuto konstrukci splněny ve všech jednotlivých parametrech.

Jako u předchozí konstrukce, je i zde hodnota součinitele prostupu tepla velmi příznivá a to díky použití vhodných materiálů, tvořících dohromady systém, který vyniká nejen tepelně izolačními vlastnostmi ale zároveň tzv. difuzní otevřeností. Použití dřevovláknité desky jako izolačního materiálu je vhodnou alternativou na místo použití polystyrenu. Tato konstrukce rovněž splnila maximální požadovaný součinitel prostupu tepla a proto je vhodná jak do nízkoenergetických tak i pasivních domů. Výsledná vypočtená hodnota byla ze všech počítaných konstrukcí nejpříznivější.



Obr. 40.: Rozložení teplot v konstrukci č. 2

Pro výpočet byla zvolena teplota v interiéru 21°C a v exteriéru -15°C. Jak je patrné z obr. 40, k největšímu poklesu teplot dochází ve vrstvách, které jsou tvořeny tepelnou izolací. Tato skutečnost je zapříčiněna tím, že materiály v těchto vrstvách použité (tepelné izolace) se vyznačují nízkou hodnotou součinitele tepelné vodivosti λ [W/m·K]. Čím je tato hodnota nižší, tím méně daný materiál propouští teplo, tzn. že je lepší izolant a tudíž rozdíl teplot na jeho povrchu bude značně rozdílný. Naproti tomu materiály jako jsou sádrovláknité desky a atd. mají součinitel tepelné vodivosti vyšší, tudíž lépe vedou teplo, takže teplota na jejich vnitřním a vnějším povrchu bude téměř stejná.

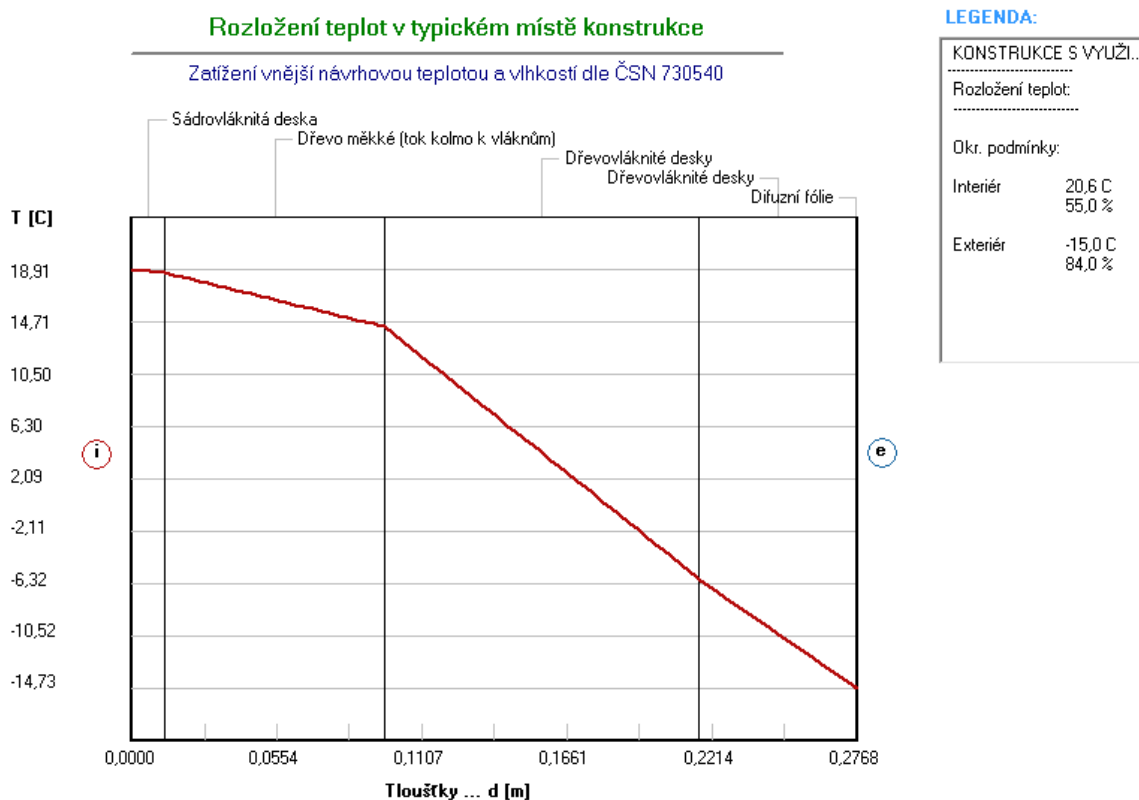
5.3 Vypočtené hodnoty konstrukce č. 3

Tab. 11.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 3

Počítaný parametr	Vypočtená hodnota	Požadovaná hodnota	Požadavek dle ČSN 73 0540-2
Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	0,19	0,30	je splněn
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f,Rsi	0,953	0,747	je splněn
Maximální množství zkondenzované vodní páry M_c [kg/m ² ,rok]	nedochází ke kondenzaci	0,1	je splněn
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry $M_c < M_{ev}$ [kg/m ² ,rok]	nedochází ke kondenzaci	0	je splněn

Podmínky stanovené normou ČSN 73 0540-2 uvedené v bodě 3.3. této práce jsou pro tuto konstrukci splněny ve všech jednotlivých parametrech.

Tepelně izolační vlastnosti u tohoto typu konstrukce zabezpečuje jak samotná nosná konstrukce tvořená dřevem (jeho tepelná vodivost, zejména v suchém stavu je relativně zajímavá) tak především vhodná tepelná izolace na vnější straně konstrukce. V našem případě se jedná o dřevovláknitou desku měkkou umístěnou ve dvou vrstvách. Pro zlepšení hodnoty součinitele prostupu tepla stačí pouze zvýšit tloušťku již zmiňované izolace, popřípadě přidat určité množství izolace na vnitřní stranu konstrukce. Nutnost tohoto opatření je potřeba zvážit, neboť byla splněná jak požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla tak i ta doporučená.



Obr. 41.: Rozložení teplot v konstrukci č. 3

Teplota na vnitřní straně konstrukce je 21°C a na vnější -15°C. Materiály jako jsou sádroláknité desky, jak již bylo, řečeno mají poměrně vysokou hodnotu součinitele tepelné vodivosti a tak jimi v této konstrukci může teplo nejsnadněji procházet, jak je vidět na obr. 41. Dalším materiálem, který má tyto vlastnosti o trochu lepší je dřevo. Avšak mezi materiál, který v dané konstrukci nejvíce zajišťuje tepelně izolační vlastnosti je tepelná izolace. V této vrstvě dochází k nejvýraznějšímu rozdílu teplot na jeho vnitřním a vnějším povrchu, tzn. že daný materiál nepropouští teplo ven, respektive zimu dovnitř.

5.4 Vypočtené hodnoty konstrukce č. 4

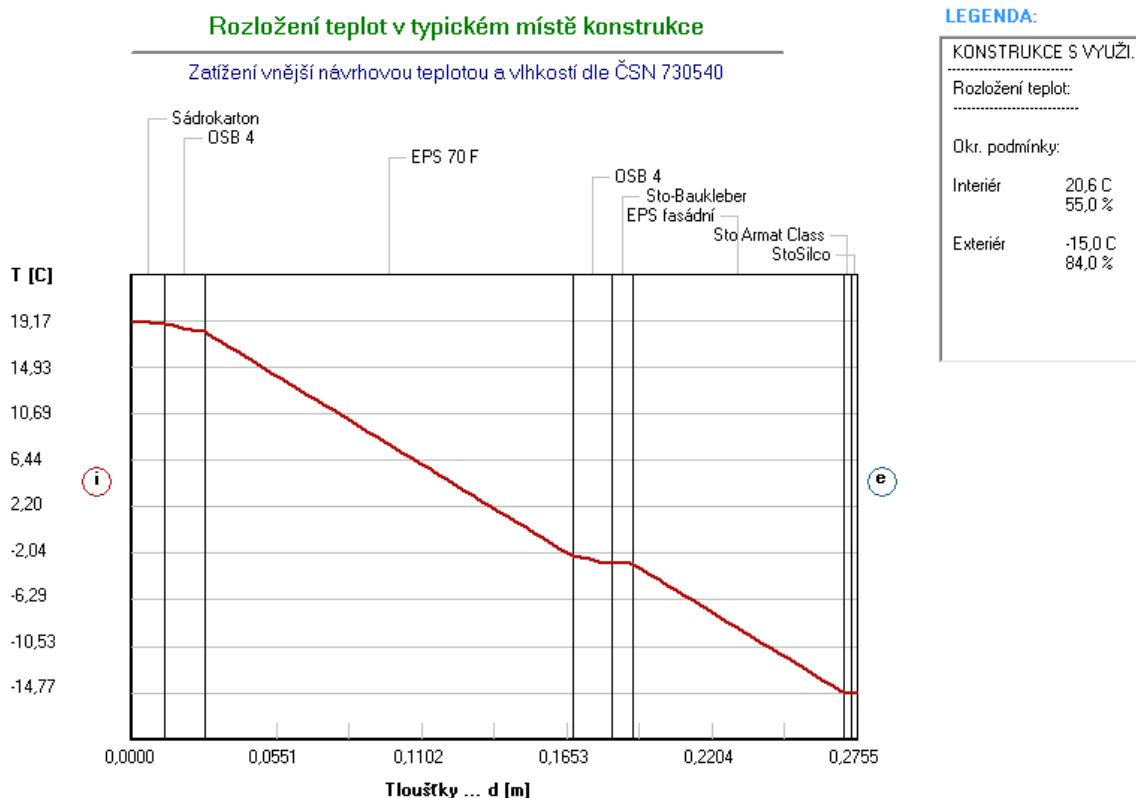
Tab. 12.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 4

Počítaný parametr	Vypočtená hodnota	Požadovaná hodnota	Požadavek dle ČSN 73 0540-2
Součinitel prostupu tepla $U [W/m^2K]$	0,16	0,30	je splněn
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f,Rsi	0,960	0,747	je splněn

Maximální množství z kondenzované vodní páry M_c [kg/m ² ,rok]	0,026	0,1	je splněn
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry $M_c < M_{ev}$ [kg/m ² ,rok]	0	0	je splněn

Podmínky stanovené normou ČSN 73 0540-2 uvedené v bodě 3.3. této práce jsou pro tuto konstrukci splněny ve všech jednotlivých parametrech.

Konstrukce, jejíž nosnou část tvoří tzv. SIP panel, je poměrně výhodná, co se týká prostupu tepla, jak je vidět na vypočtených hodnotách. Tato konstrukce se vyznačuje minimálním množstvím tzv. tepelných mostů, které mají na konečný prostup tepla konstrukcí nezanedbatelný vliv. V případě, doplní-li se tento panel zateplovacím systémem, jeho tepelně izolační vlastnosti budou na vysoké úrovni. Avšak námi vybraná konstrukce tepelně technické požadavky na součinitel prostupu tepla splnila, a zároveň svými hodnotami spadá do kategorie doporučených pro nízkoenergetické až pasivní dřevostavby.



Obr. 42.: Rozložení teplot v konstrukci č. 4

Pro posouzení této konstrukce byla zvolena teplota v interiéru 21°C a v exteriéru -15°C. Na obr. 42, kde je zobrazeno rozložení teplot v konstrukci č. 4 je dobře patrné, že tepelně izolační vlastnosti ovlivňuje jak samotný SIP panel složený z tepelně izolačního jádra a plášťovacích desek tak dodatečná tepelně izolační vrstva na vnější straně. U těchto vrstev je největší rozdíl teplot mezi jejich povrchy. Ostatní materiály na bázi dřeva, sádry, atd. mají, co se týká tepelně izolačních vlastností, horší parametry.

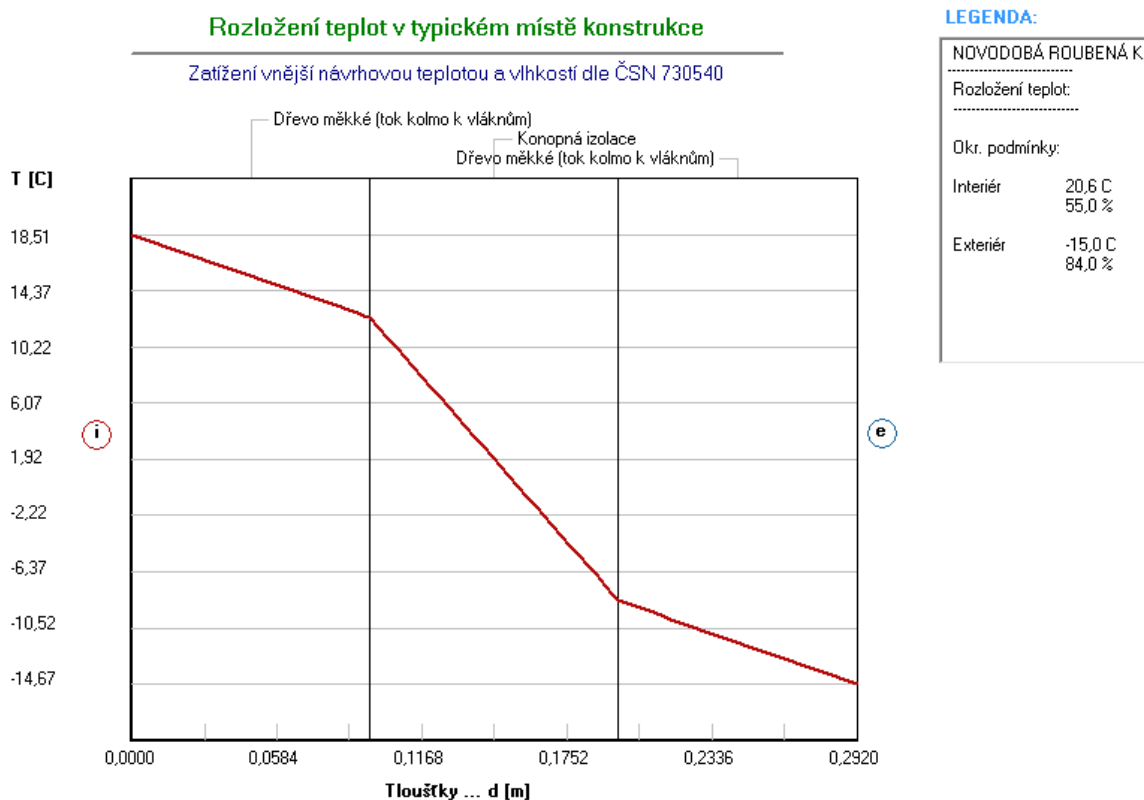
5.5 Vypočtené hodnoty konstrukce č. 5

Tab. 13.: Charakteristika jednotlivých materiálů konstrukce č. 5

Počítaný parametr	Vypočtená hodnota	Požadovaná hodnota	Požadavek dle ČSN 73 0540-2
Součinitel prostupu tepla $U [W/m^2K]$	0,24	0,30	je splněn
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f, R_{si}	0,941	0,747	je splněn
Maximální množství zkondenzované vodní páry $M_c [kg/m^2, rok]$	0,039	0,1	je splněn
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry $M_c < M_{ev} [kg/m^2, rok]$	0	0	je splněn

Podmínky stanovené normou ČSN 73 0540-2 uvedené v bodě 3.3. této práce jsou pro tuto konstrukci splněny ve všech jednotlivých parametrech.

Klasické roubené stěny již z dnešního hlediska nevyhovují požadavkům na prostup tepla a tak vznikla snaha o jejich zdokonalování. Ve výpočtu je počítáno se sendvičovou roubenou stěnou sestávající se ze dvou základních roubených stěn, mezi kterými je umístěna přírodní tepelná izolace z konopí. Tloušťkou této izolace je pak ovlivněn celkový prostup tepla konstrukcí. Jedině po této úpravě je možné použít tuto konstrukci na stavbu domu s relativně dobrými tepelně technickými vlastnostmi. Po provedení výpočtu bylo zjištěno, že námi počítaná konstrukce požadavek na součinitel prostupu tepla splnila, a to ještě s určitou rezervou.



Obr. 43.: Rozložení teplot v konstrukci č.5

Pro výpočet byla zvolena teplota v interiéru 21°C a v exteriéru -15°C. Rozložení teplot v konstrukci č. 5, jak je znázorněno na obr. 43 je charakteristická svými použitými materiály. Dřevo samo o sobě má relativně zajímavé tepelně technické vlastnosti, a když je vhodně doplněné o tepelnou izolaci (v našem případě vloženou) pak jako celek vytváří konstrukci s relativně dobrými tepelně izolačními vlastnostmi. K největšímu teplotnímu rozdílu v konstrukci dochází ve vrstvě tepelné izolace. Tento materiál má poměrně nízký součinitel tepelné vodivosti, tudíž klade poměrně velký odpor proti prostupu tepla. Proto teploty na vnitřním a vnějším povrchu tohoto materiálu budou nejvíce rozdílné.

Vzájemné porovnání jednotlivých konstrukcí

Z tabulek pro jednotlivé typy konstrukcí, kde jsou uvedeny a porovnány vypočtené hodnoty a hodnoty požadované, je patrné, že požadavek normy je ve všech parametrech u všech konstrukcí splněn.

Výsledné hodnoty byly vypočteny pro nejpoužívanější konstrukce. Tyto výsledky slouží pro představu, jaké možné typy konstrukcí jsou na českém trhu k dispozici a jestli splňují požadavky na pro nízkoenergetické dřevostavby. Obecně lze říci, že každá jednotlivá konstrukce se liší v závislosti na použitých materiálech a to především tepelně izolačních a požadavku na jaký typ domu bude použita (např. pasivní, nízkoenergetický, standardní). V neposlední řadě je důležitá i lokalita, v jaké bude dům postaven.

Tab. 14.: Porovnání vypočtených hodnot jednotlivých konstrukcí

Počítaný parametr	Požadovaná hodnota	Vypočtené hodnoty jednotlivých konstrukcí				
		č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
Součinitel prostupu tepla $U [W/m^2K]$	0,30	0,16	0,15	0,19	0,16	0,24
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f,Rsi	0,747	0,961	0,963	0,953	0,960	0,941
Maximální množství zkondenzované vodní páry $M_c [kg/m^2, rok]$	0,1	nedochází ke kondenzaci	0,046	nedochází ke kondenzaci	0,026	0,039
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry $M_c < M_{ev} [kg/m^2, rok]$	0	nedochází ke kondenzaci	0	nedochází ke kondenzaci	0	0

Pro tepelně izolační vlastnosti každé konstrukce je nejdůležitější stanovení hodnoty součinitele prostupu tepla. Normovaná hodnota součinitele prostupu tepla je 0,30 W/m²K. Aby konstrukce splnila tento požadavek, musí být hodnota součinitele prostupu tepla sledovaných konstrukcí nižší. Z tab. 14. je patrné, že všechny sledované konstrukce tento požadavek splnily. U některých konstrukcí se vypočtené hodnoty pohybovaly v rozsahu hodnot doporučených pro pasivní budovy. Proto lze konstatovat, že všechny námi sledované konstrukce jsou vhodné pro použití při stavbě nízkoenergetických dřevostaveb. Nejlepší hodnota byla vypočtena u konstrukce č. 2 – sendvičová konstrukce difuzně otevřená, která je tímto vhodná pro použití u nízkoenergetických i pasivních dřevostaveb.

Konstrukce č. 1 – sendvičová konstrukce difuzně uzavřená a konstrukce č. 4 – konstrukce s využitím SIP panelu vykazovaly stejnou hodnotu součinitele prostupu tepla $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ a jsou taktéž vhodné pro nízkoenergetické i pasivní dřevostavby.

Hodnota $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$, která byla vypočítána pro konstrukci č. 3 – konstrukce s využitím CLT panelu již není vhodná pro pasivní dřevostavby, ale pouze pro nízkoenergetické.

Z našeho výpočtu dopadla nejhůře konstrukce č. 5 – novodobá roubená konstrukce. Výsledná hodnota $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ jen těsně splňuje doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla, která je $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Povrchová teplota vyjádřená teplotním faktorem a kondenzace vodních par, jsou další parametry, které byly při výpočtu sledovány. Tyto parametry úzce souvisejí s šířením a prostupem tepla konstrukcí. Námi sledované konstrukce splnily i tyto požadavky s téměř podobnými výsledky. Jediné v čem se liší konstrukce č. 1 a č. 3 oproti ostatním je jejich difuzní otevířenost a s tím spojené určité množství kondenzace vodních par v těchto konstrukcích. Avšak jak je z výsledků patrné, ani v jednom případě není množství kondenzátu takové, aby tím byla nějak zásadně ovlivněna funkčnost a životnost konstrukce.

6_ Diskuze

Zhodnotit tepelně izolační vlastnosti nízkoenergetických dřevostaveb realizovaných v posledních letech na území ČR různými technologiemi bylo hlavní náplní práce. Důležité bylo také posouzení jednotlivých parametrů, které tepelně izolační vlastnosti ovlivňují. Za účelem zjištění požadovaných vlastností bylo vybráno pět typů nejčastěji používaných konstrukčních systémů – sendvičová konstrukce difuzně uzavřená a otevřená, konstrukce s využitím CLT panelu a SIP panelu a novodobá roubená konstrukce. Tyto konstrukce byly vybrány napříč všemi stavebními systémy bez ohledu na společnost, která je realizuje a to z důvodu stručného přehledu tepelně izolačních vlastností jednotlivých typů konstrukcí, které se ke stavbě nízkoenergetických dřevostaveb nejvíce používají.

Tepelně izolační vlastnosti jednotlivých konstrukcí nejvíce ovlivňují, k jak velkým ztrátám tepla bude v budově docházet. Proto byla práce zaměřena pouze na stěnové konstrukce, na které se v současné době upíná největší pozornost. Jedním ze základních parametrů pro porovnání vybraných konstrukcí byl zvolen součinitel prostupu tepla, se kterým rovněž souvisí i šíření vlhkosti. Oba parametry jsou důležité především z důvodu ověření, zda daná konstrukce může v praxi vůbec fungovat a zda může splnit základní požadavky, které jsou na ni kladené.

Jednotlivé konstrukce byly vypočteny pomocí výpočetního softwaru a pro všechny sledované konstrukce byly použity stejné okrajové podmínky (vnitřní a vnější návrhová teplota, relativní vlhkosti, atd.), aby dané výsledky bylo možné porovnat jak s normovými hodnotami, tak mezi sebou navzájem.

K zjištění výsledků byla použita metoda hodnocení výpočtu součinitele prostupu tepla, který je jedním z důležitých parametrů udávající jaké množství tepla je schopné danou konstrukcí projít. Pomocí tohoto parametru lze porovnat jednotlivé konstrukce a stanovit, která je v tomto ohledu nejlepší. Z důvodu odlišné náročnosti a požadavků kladených na jednotlivé skladby konstrukcí jsou používány rozdílné tepelně izolační materiály. Při jejich výběru se zohledňuje mnoho faktorů jako např. jejich tepelná vodivost, difuzní otevřenost, objemová hmotnost, apod.

Po provedení výpočtu a porovnání jednotlivých hodnot bylo zjištěno, že z hlediska tepelně izolačních vlastností vychází nejlépe systémy tvořené celistvou nosnou částí, na které je poté dodatečně přidána tepelně izolační vrstva. Jedná se zejména o systémy s využitím CLT panelu, popřípadě SIP panelu. Tyto systémy jsou charakteristické minimálním výskytem tzv. tepelných mostů.

Rovněž mezi velmi používané konstrukční systémy, vyznačující se kvalitními tepelně izolačními vlastnostmi, patří také sendvičové konstrukce lehkého skeletu, které se v současnosti používají nejvíce pro stavbu rodinných domů, kde tepelně izolační vrstva může být až ve třech vrstvách – vnitřní, v nosné části a na vnějším líci konstrukce. Celkový prostup tepla je pak nejvíce ovlivněn tloušťkou izolace na vnější straně konstrukce.

Dřívější konstrukce srubových a roubených stěn by současné tepelně technické požadavky nesplnili, a proto se v dnešní době používají novodobé, rovněž sendvičové konstrukce. Nejčastěji se jedná o roubenou konstrukci z lepeného dřeva, která je doplněna o tepelně izolační vrstvu z interiéru, popřípadě z exteriéru a následně je obložena opět roubenou konstrukcí, popřípadě palubkami.

Na základě provedeného hodnocení tepelně technických vlastností, bylo zjištěno, že všechny posuzované konstrukce splnili veškeré požadavky dle platné legislativy. Hodnota součinitele prostupu tepla se pohybovala v rozmezí 0,15 a 0,24 W/m²K. Tato skutečnost je zapříčiněna především rozdílnou materiálovou skladbou jednotlivých stěnových konstrukcí.

Neméně zajímavým zjištěním je i porovnání jednotlivých konstrukcí podle jejich celkové tloušťky. Pokud bychom tedy jednotlivé konstrukce porovnali podle jejich tloušťky, dospěli bychom k závěru, že tloušťka stěny nemá přímý vliv na hodnotu součinitele prostupu tepla, tzn. že tepelné vlastnosti konstrukce nejsou tímto faktorem zcela ovlivněny. Výraznější vliv na tepelně izolační vlastnosti konstrukce mají spíše druhy použitých materiálů a to především tepelných izolací.

Výsledek plynoucí z této práce je, že každá konstrukce může tepelně technické požadavky splnit, ovšem vždy za jiných podmínek a s jinými parametry, ať už se to týká tloušťky stěny jako takové nebo investice na její realizaci. V případě, že by každá konstrukce měla stejnou hodnotu součinitele prostupu tepla, bude se lišit jejich výsledná tloušťka, a to v závislosti na použitých materiálech a složení jednotlivých konstrukčních systémů.

Zajímavé se v tomto případě jeví porovnání se zděnou stavbou, kde platí, že s klesající hodnotou součinitele prostupu tepla U rapidně stoupá tloušťka stěn, což je nežádoucí.

7_ Závěr

Metoda hodnocení pomocí výpočtu součinitele prostupu tepla, který je jedním z důležitých parametrů udávajících jaké množství tepla je schopné danou konstrukcí projít, byla aplikovaná na pěti nejčastěji používaných konstrukčních systémech pro výstavbu nízkoenergetických dřevostaveb v ČR.

Na základě výsledků uvedených v této práci bylo zjištěno, že každý určitý typ konstrukce má své specifické tepelně izolační vlastnosti, které lze do jisté míry velmi snadno ovlivňovat dle aktuálních potřeb a pro konkrétní stavbu. U některých typů konstrukčních systémů můžeme tuto vlastnost ovlivnit zvětšením tloušťky použitých materiálů, u jiných konstrukcí je potřeba použít jiné materiály s jinými vlastnostmi.

Rozhodujícím faktorem omezující výborné tepelně technické parametry jednotlivých konstrukcí na bázi dřeva používaných pro stavby nízkoenergetických dřevostaveb je cena materiálů, které budou použity. Jako ve všem tak i při výstavbě nízkoenergetických domů platí pravidlo, co nejlepší kvalita za co nejnižší cenu.

Parametry pro jednotlivé konstrukce jsou brány v úvahu s konečným použitím a vzhledem k předpokladům, které od nich očekáváme. Jednotlivé konstrukce se tedy navrhují v souvislostech očekávaného použití (pasivní, nízkoenergetický či jiný dům) a tepelně technických požadavků, které pro tyto konstrukce budou předepsány. Avšak vždy je potřeba zvolit určitý kompromis, který bude zahrnovat jak počáteční míru vstupní investice, tak i její návratnost v reálné době užívání konkrétního domu.

Tepelně izolační vlastnosti hrají v dnešní době velmi důležitou roli a proto je potřeba se tomuto tématu neustále věnovat a neustále se snažit o inovace. Je to trend dnešní doby a hlavní téma budoucnosti spojené jak s rostoucími cenami energií potřebnými na vytápění tak i zejména z ekologického hlediska. Je snaha snížit ekologickou zátěž jak při provozu nízkoenergetických, pasivních, nulových a jiných budov, tak i při samotné výrobě daných stavebních i izolačních materiálů.

Závěrem lze říci, že vypočtené hodnoty sledovaných konstrukcí se vyznačují výbornými tepelně izolačními vlastnostmi i v případě použití relativně subtilní konstrukce. Hodnocené tepelně izolační vlastnosti jednotlivých konstrukcí se vyznačují splněním a mnohdy i mnohem lepšími výslednými hodnotami součinitele prostupu tepla, než jaké jsou v této sledované oblasti požadovány.

Použitá literatura a zdroje:

Odborná literatura

- [1] DOLEŽAL, J., Matematickostatistické metody v dřevařském průmyslu. 1.vyd. Praha: Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Středisko interních publikací, 1973.130s. ISBN 80-7203-254-2.
- [2] HAVÍŘOVÁ, Z., 2006. Dům ze dřeva, 1.vyd. Brno: vydavatelství ERA, 104 s. ISBN 80-7366-060-1
- [3] HÁJEK, P., Udržitelná výstavba budov - východiska a principy. In: sborník z konference Pasivní domy-Passivhäuser 2005. Centrum pasivního domu, Brno, s. 8-14.
- [4] HUDCOVÁ, L. a kol., Energetická náročnost budov, Praha, EkoWATT, 2009, 48 s. ISBN: 978-80-87333-03-7
- [5] HUDEC, M., Pasivní rodinný dům, 1. vyd. Praha: Grada Publishing a.s. 2008, 112s, ISBN 978-80-247-2555-0
- [6] CHYBÍK, J., Přírodní stavební materiály, 1.vyd. Praha: Grada Publishing a.s., 2009, 268s. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [7] KOLB, J., Dřevostavby, 1. vydání Havlíčkův Brod: Nakladatelství Grada Publishing a.s., 2003. 252 s. ISBN 80-247-9056-4
- [8] KUKLÍK, P., Dřevěné konstrukce, 1.vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2005, 188 s. ISBN 80-01-03310-4.
- [9] KULHÁNEK, F., Stavební fyzika II - Stavební tepelná technika, nakladatelství ČVUT, 2006. 143 s. ISBN 80-01-03408-9
- [10] KULHÁNEK F., TYWONIAK J., STAVEBNÍ FYZIKA 20 – Stavební tepelná technika, vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01392-8
- [11] LADENER, H. a kol., Jak pořídit ze staré stavby nízkoenergetický dům. HEL, 2001.
- [12] MACHOLDA, F., SRDEČNÝ, K., Úspory energie v domě, Praha: Grada Publishing a.s., 2004.
- [13] NAGY, E., Nízkoenergetický ekologický dům, Jaga, 2002.
- [14] POČINKOVÁ, M., ČUPROVÁ, D., Úsporný dům, Brno: ERA, 2004.
- [15] RŮŽIČKA, M., Stavíme dům ze dřeva, dotisk 2007, Grada Publishing a.s., 2006, 120 s. ISBN 80-247-1461-2
- [16] SVOBODA, L., Stavební hmoty, 1.vyd. Bratislava: Jaga, 2004, 471 s. ISBN 80-8076-007-1.
- [17] ŠÁLA J., KEIM L., SVOBODA Z., TYWONIAK J., Tepelná ochrana budov – Komentář k ČSN 73 0540, vydalo ČKAIT, Praha 2008. 292 s. ISBN 978-80-87093-30-6
- [18] ŠTEFKO J., REINPRECHT L., KUKLÍK P., Dřevěné stavby – Konstrukce, ochrana a údržba, 3.vyd. Praha: Jaga, 2009. 200s. ISBN 978-80-8076-080-9
- [19] ŠUBRT, R., Tepelná izolace v otázkách a odpovědích, Praha: BEN, 2005.
- [20] TYWONIAK, J., Nízkoenergetické domy: Principy a příklady. 1.vyd. Praha: Grada Publishing a.s., 2005, 193 s. ISBN 80-247-1101-X.
- [21] TYWONIAK, J., Nízkoenergetické domy 2: Principy a příklady. 1.vyd. Praha: Grada Publishing a.s., 2008, 193 s. ISBN 978-80-247-206-6.

Normy

- [22] ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie, ČNI, Praha, 2005
- [23] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky, ČNI, Praha, 2011
- [24] ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin, ČNI, Praha, 2007
- [25] ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody, ČNI, Praha, 2005
- [26] ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda, ČNI, Praha, 2008
- [27] ČSN EN ISO 13788 Tepelně-vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků - Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce - Výpočtové metody, ČNI, Praha, 2013

Webové stránky

- [28] Dřevostavby [Online]. *Web Tzb-info*. [5.1.2014]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby>
- [29] Izolační materiály 1. [Online]. *Web Drevostavitel*. [18.2.2014]. Dostupné z: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/izolacni-materialy-1-dil>
- [30] Izolační materiály 2. [Online]. *Web Drevostavitel*. [18.2.2014]. Dostupné z: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/izolacni-materialy-2-dil>
- [31] Izolační materiály 3. [Online]. *Web Drevostavitel*. [18.2.2014]. Dostupné z: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/izolacni-materialy-3-dil-mineralni-izolace-je-pritel-drevostaveb>
- [32] Izolační materiály 4. [Online]. *Web Drevostavitel*. [18.2.2014]. Dostupné z: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/izolacni-materialy-4-dil--drevovlaknita-izolace-hreje-i-chladi>
- [33] NOVATOP. [Online]. *Web Novatop*. [12.1.2014]. Dostupné z: <http://www.novatop-system.cz/co-je-novatop/>
- [34] Prostup tepla stavební konstrukcí. [Online]. *Web Tzb-info*. [12.2.2014]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci>
- [35] Průkaz energetické náročnosti a energetický audit. [Online]. *Web Tzb-info*. [30.1.2014]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticke-narocnost-budov/10584-prukaz-energeticke-narocnosti-budovy-a-energeticky-audit>
- [36] Průkaz energetické náročnosti budov. [Online]. *Web mpo-efekt*. [31.1.2014]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/cz/energeticke-expertizy/prukaz-energeticke-narocnosti-budov>
- [36] Stavební fyzika. [Online]. *Web kcad.cz*. [10.2.2014]. Dostupné z: <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/teplo/>

Seznam příloh:

Příloha č. 1 - Protokol o výpočtu – základní tepelně technické posouzení sledovaných konstrukcí vypočtených v programu TEPLO 2011

Příloha č. 1

Protokol o výpočtu – základní tepelně technické posouzení sledovaných konstrukcí vypočtených v programu TEPLO 2011.

ZÁKLADNÍ KOMPLEXNÍ TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE

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

Teplo 2011

Název úlohy : **sendvičová konstrukce - difuzně uzavřená**

Zpracovatel : Petr Nováček

Zakázka :

Datum : 11.3.2014

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

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

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m ³]	Mi[-]	Ma[kg/m ²]
1	Sádrovláknitá	0,0150	0,3200	1000,0	1250,0	13,0	0.0000
2	Ursa TWP 1	0,0600	0,0520*	1007,0	130,0	1,0	0.0000
3	PE folie	0,0002	0,3500	1470,0	900,0	475000,0	0.0000
4	Sádrovláknitá	0,0125	0,3200	1000,0	1250,0	13,0	0.0000
5	Ursa TWP 1	0,1400	0,0520*	1000,3	128,8	1,0	0.0000
6	Sádrovláknitá	0,0125	0,3200	1000,0	1250,0	13,0	0.0000
7	Sto-Baukleber	0,0080	0,8700	900,0	1400,0	25,0	0.0000
8	EPS fasádní	0,0800	0,0390	1270,0	15,0	20,0	0.0000
9	Sto Armat Clas	0,0030	0,7000	900,0	1550,0	240,0	0.0000
10	StoSilco	0,0020	0,7000	900,0	1800,0	120,0	0.0000

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

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Sádrovláknitá deska	---
2	Ursa TWP 1	vliv běžných tep. mostů dle EN ISO 6946
3	PE folie	---
4	Sádrovláknitá deska	---
5	Ursa TWP 1	vliv běžných tep. mostů dle EN ISO 6946
6	Sádrovláknitá deska	---
7	Sto-Baukleber	---
8	EPS fasádní	---
9	Sto Armat Class	---
10	StoSilco	---

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m²K/W
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rsi : 0.25 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m²K/W
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rse : 0.04 m²K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -15.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 20.6 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH_i : 55.0 %

Měsíc	Délka[dny]	Tai[C]	RHi[%]	Pi[Pa]	Te[C]	RHe[%]	Pe[Pa]
1	31	20.6	55.3	1341.1	-2.3	81.1	409.0
2	28	20.6	57.6	1396.9	-0.7	80.7	465.0
3	31	20.6	58.2	1411.4	3.0	79.5	602.1
4	30	20.6	59.0	1430.8	7.6	77.5	808.6
5	31	20.6	62.1	1506.0	12.5	74.7	1082.2
6	30	20.6	65.3	1583.6	15.7	72.2	1287.1
7	31	20.6	66.9	1622.4	17.2	70.7	1386.7
8	31	20.6	66.3	1607.9	16.7	71.2	1352.9
9	30	20.6	62.6	1518.2	13.1	74.2	1118.0
10	31	20.6	59.3	1438.1	8.2	77.2	839.1
11	30	20.6	58.2	1411.4	3.0	79.5	602.1
12	31	20.6	57.7	1399.3	-0.6	80.7	468.9

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %
Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.
Počet hodnocených let : 1

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

Teplotní odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 6.04 m²K/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.161 W/m²K

Součinitel prostupu zabudované kce U_k : 0.18 / 0.21 / 0.26 / 0.36 W/m²K
Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou dle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor konstrukce Z_{pT} : 5.2E+0011 m/s
Teplotní útlum konstrukce Ny* : 362.1
Fázový posun teplotního kmitu Psi* : 12.0 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 19.19 C
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : 0.961

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	0.744	11.3	0.595	19.7	0.961	58.5
2	15.4	0.755	11.9	0.594	19.8	0.961	60.7
3	15.5	0.712	12.1	0.517	19.9	0.961	60.8
4	15.8	0.627	12.3	0.362	20.1	0.961	60.9
5	16.6	0.500	13.1	0.073	20.3	0.961	63.3
6	17.3	0.336	13.9	-----	20.4	0.961	66.1
7	17.7	0.156	14.2	-----	20.5	0.961	67.5
8	17.6	0.227	14.1	-----	20.4	0.961	66.9
9	16.7	0.477	13.2	0.015	20.3	0.961	63.8
10	15.8	0.615	12.4	0.338	20.1	0.961	61.1
11	15.5	0.712	12.1	0.517	19.9	0.961	60.8
12	15.4	0.755	12.0	0.593	19.8	0.961	60.8

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 návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540: **(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)**

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:											
rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	e
tepl.[C]:	19.2	18.9	12.4	12.4	12.2	-2.9	-3.1	-3.2	-14.7	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1334	1331	1331	178	176	174	172	169	150	141	138
p _{sat} [Pa]:	2223	2187	1443	1443	1422	478	470	468	169	168	168

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

Množství difundující vodní páry G_d : 2.428E-0009 kg/m2s

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Poznámka: Hodnocení difuze 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.

STOP, Teplo 2011

ZÁKLADNÍ KOMPLEXNÍ TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE

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

Teplo 2011

Název úlohy : **sendvičová konstrukce - difuzně otevřená**

Zpracovatel : Petr Nováček

Zakázka :

Datum : 11.3.2014

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

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

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	Sádrovláknitá	0,0150	0,3200	1000,0	1250,0	13,0	0.0000
2	Ursa TWP 1	0,0600	0,0520*	1007,0	130,0	1,0	0.0000
3	Sádrovláknitá	0,0125	0,3200	1100,0	1250,0	240,0	0.0000
4	Ursa TWP 1	0,1400	0,0520*	1000,3	128,8	1,0	0.0000
5	Izolační dřevo	0,1000	0,0400	2100,0	160,0	5,0	0.0000
6	StoLevell Uni	0,0060	0,8700	900,0	1400,0	25,0	0.0000
7	StoPrepMiral	0,0003	0,7000	900,0	1500,0	30,0	0.0000
8	StoSil K	0,0020	0,7000	900,0	1800,0	80,0	0.0000

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

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Sádrovláknitá deska	---
2	Ursa TWP 1	vliv běžných tep. mostů dle EN ISO 6946
3	Sádrovláknitá deska se zvýšeným difuzním odporem	---
4	Ursa TWP 1	vliv běžných tep. mostů dle EN ISO 6946
5	Izolační dřevovláknitá deska	---
6	StoLevell Uni	---
7	StoPrepMiral	---
8	StoSil K	---

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0.13 m2K/W
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot R_{si} : 0.25 m2K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0.04 m2K/W
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot R_{se} : 0.04 m2K/W

Návrhová venkovní teplota T_e : -15.0 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]	$T_{ai}[C]$	$R_{Hi}[%]$	$P_i[Pa]$	$T_e[C]$	$R_{He}[%]$	$P_e[Pa]$
1	31	20.6	55.3	1341.1	-2.3	81.1	409.0
2	28	20.6	57.6	1396.9	-0.7	80.7	465.0
3	31	20.6	58.2	1411.4	3.0	79.5	602.1
4	30	20.6	59.0	1430.8	7.6	77.5	808.6
5	31	20.6	62.1	1506.0	12.5	74.7	1082.2
6	30	20.6	65.3	1583.6	15.7	72.2	1287.1
7	31	20.6	66.9	1622.4	17.2	70.7	1386.7
8	31	20.6	66.3	1607.9	16.7	71.2	1352.9
9	30	20.6	62.6	1518.2	13.1	74.2	1118.0
10	31	20.6	59.3	1438.1	8.2	77.2	839.1
11	30	20.6	58.2	1411.4	3.0	79.5	602.1
12	31	20.6	57.7	1399.3	-0.6	80.7	468.9

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %
 Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.
 Počet hodnocených let : 1

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 6.44 m²K/W
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.151 W/m²K

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.17 / 0.20 / 0.25 / 0.35 W/m²K
 Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou dle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Dífuzní odpor konstrukce $Z_p T$: 2.2E+0010 m/s
 Teplotní útlum konstrukce N_y^* : 342.7
 Fázový posun teplotního kmitu Ψ_i^* : 14.2 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách $T_{si,p}$: 19.28 C
 Teplotní faktor v návrhových podmínkách $f_{Rsi,p}$: 0.963

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	0.744	11.3	0.595	19.7	0.963	58.3
2	15.4	0.755	11.9	0.594	19.8	0.963	60.5
3	15.5	0.712	12.1	0.517	19.9	0.963	60.6
4	15.8	0.627	12.3	0.362	20.1	0.963	60.8
5	16.6	0.500	13.1	0.073	20.3	0.963	63.3
6	17.3	0.336	13.9	-----	20.4	0.963	66.0
7	17.7	0.156	14.2	-----	20.5	0.963	67.4
8	17.6	0.227	14.1	-----	20.5	0.963	66.9
9	16.7	0.477	13.2	0.015	20.3	0.963	63.7
10	15.8	0.615	12.4	0.338	20.1	0.963	61.0
11	15.5	0.712	12.1	0.517	19.9	0.963	60.6
12	15.4	0.755	12.0	0.593	19.8	0.963	60.6

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

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	e
tepl.[C]:	19.3	19.0	12.9	12.7	-1.5	-14.7	-14.8	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1334	1279	1262	410	371	229	186	184	138
p,sat [Pa]:	2235	2200	1490	1470	538	169	168	168	168

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

Kond.zóna číslo	Hranice levá	kondenzační zóny [m]	pravá	Kondenzující množství vodní páry [kg/m2s]
1	0.3275		0.3275	4.073E-0008

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a}$: 0.046 kg/m2,rok

Množství vypařitelné vodní páry $M_{ev,a}$: 5.852 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -5.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Poznámka: Hodnocení difuze 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.

STOP, Teplo 2011

ZÁKLADNÍ KOMPLEXNÍ TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE

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

Teplo 2011

Název úlohy : **konstrukce s využitím CLT panelu**

Zpracovatel : Petr Nováček

Zakázka :

Datum : 11.3.2014

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

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

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	Sádrovláknitá	0,0125	0,3200	1000,0	1250,0	13,0	0.0000
2	Dřevo měkké (t	0,0840	0,1300	2510,0	400,0	157,0	0.0000
3	Dřevovláknité	0,1200	0,0400	2100,0	160,0	5,0	0.0000
4	Dřevovláknité	0,0600	0,0460*	2141,0	85,0	2,0	0.0000
5	Difuzní fólie	0,0003	0,1700	1000,0	930,0	67,0	0.0000

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

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Sádrovláknitá deska	---
2	Dřevo měkké (tok kolmo k vláknům)	---
3	Dřevovláknité desky	---
4	Dřevovláknité desky	vliv běžných tep. mostů dle EN ISO 6946
5	Difuzní fólie	---

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m²K/W
 dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rsi : 0.25 m²K/W
 Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.13 m²K/W
 dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rse : 0.04 m²K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -15.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 20.6 C
 Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %
 Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH_i : 55.0 %

Měsíc	Délka[dny]	Tai[C]	RHi[%]	Pi[Pa]	Te[C]	RHe[%]	Pe[Pa]
1	31	20.6	55.3	1341.1	-2.3	81.1	409.0
2	28	20.6	57.6	1396.9	-0.7	80.7	465.0
3	31	20.6	58.2	1411.4	3.0	79.5	602.1
4	30	20.6	59.0	1430.8	7.6	77.5	808.6
5	31	20.6	62.1	1506.0	12.5	74.7	1082.2
6	30	20.6	65.3	1583.6	15.7	72.2	1287.1
7	31	20.6	66.9	1622.4	17.2	70.7	1386.7
8	31	20.6	66.3	1607.9	16.7	71.2	1352.9
9	30	20.6	62.6	1518.2	13.1	74.2	1118.0
10	31	20.6	59.3	1438.1	8.2	77.2	839.1
11	30	20.6	58.2	1411.4	3.0	79.5	602.1
12	31	20.6	57.7	1399.3	-0.6	80.7	468.9

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %
 Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.
 Počet hodnocených let : 1

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 4.99 m²K/W
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.190 W/m²K

Součinitel prostupu zabudované kce U_k : 0.21 / 0.24 / 0.29 / 0.39 W/m²K
 Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou dle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difuzní odpor konstrukce ZpT : 7.5E+0010 m/s
 Teplotní útlum konstrukce Ny* : 309.5
 Fázový posun teplotního kmitu Psi* : 15.0 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 18.91 C
 Teplotní faktor v návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : 0.953

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	0.744	11.3	0.595	19.5	0.953	59.1
2	15.4	0.755	11.9	0.594	19.6	0.953	61.3
3	15.5	0.712	12.1	0.517	19.8	0.953	61.3
4	15.8	0.627	12.3	0.362	20.0	0.953	61.3
5	16.6	0.500	13.1	0.073	20.2	0.953	63.6
6	17.3	0.336	13.9	-----	20.4	0.953	66.2
7	17.7	0.156	14.2	-----	20.4	0.953	67.6

8	17.6	0.227	14.1	-----	20.4	0.953	67.1
9	16.7	0.477	13.2	0.015	20.2	0.953	64.0
10	15.8	0.615	12.4	0.338	20.0	0.953	61.5
11	15.5	0.712	12.1	0.517	19.8	0.953	61.3
12	15.4	0.755	12.0	0.593	19.6	0.953	61.4

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

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540: **(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)**

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	e
tepl.[C]:	18.9	18.7	14.3	-5.9	-14.7	-14.7
p [Pa]:	1334	1320	201	150	140	138
p,sat [Pa]:	2185	2149	1629	371	169	169

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

Množství difundující vodní páry Gd : 1.697E-0008 kg/m2s

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Poznámka: Hodnocení difuze 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.

STOP, Teplo 2011

ZÁKLADNÍ KOMPLEXNÍ TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE

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

Teplo 2011

Název úlohy : **konstrukce s využitím SIP panelu**

Zpracovatel : Petr Nováček

Zakázka :

Datum : 11.3.2014

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

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

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	Sádrokarton	0,0125	0,2200	1060,0	750,0	9,0	0.0000
2	OSB 4	0,0150	0,1300	1700,0	600,0	200,0	0.0000
3	EPS 70 F	0,1400	0,0390	1270,0	15,0	20,0	0.0000
4	OSB 4	0,0150	0,1300	1700,0	600,0	200,0	0.0000
5	Sto-Baukleber	0,0080	0,8700	900,0	1400,0	25,0	0.0000
6	EPS fasádní	0,0800	0,0390	1270,0	15,0	20,0	0.0000
7	Sto Armat Clas	0,0030	0,7000	900,0	1550,0	240,0	0.0000
8	StoSilco	0,0020	0,7000	900,0	1800,0	120,0	0.0000

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Sádrokarton	---
2	OSB 4	---
3	EPS 70 F	---
4	OSB 4	---
5	Sto-Baukleber	---
6	EPS fasádní	---
7	Sto Armat Class	---
8	StoSilco	---

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m2K/W
 dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rsi : 0.25 m2K/W
 Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m2K/W
 dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rse : 0.04 m2K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -15.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 20.6 C
 Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %
 Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 55.0 %

Měsíc	Délka[dny]	Tai[C]	RHi[%]	Pi[Pa]	Te[C]	RHe[%]	Pe[Pa]
1	31	20.6	55.3	1341.1	-2.3	81.1	409.0
2	28	20.6	57.6	1396.9	-0.7	80.7	465.0
3	31	20.6	58.2	1411.4	3.0	79.5	602.1
4	30	20.6	59.0	1430.8	7.6	77.5	808.6
5	31	20.6	62.1	1506.0	12.5	74.7	1082.2
6	30	20.6	65.3	1583.6	15.7	72.2	1287.1
7	31	20.6	66.9	1622.4	17.2	70.7	1386.7
8	31	20.6	66.3	1607.9	16.7	71.2	1352.9
9	30	20.6	62.6	1518.2	13.1	74.2	1118.0
10	31	20.6	59.3	1438.1	8.2	77.2	839.1
11	30	20.6	58.2	1411.4	3.0	79.5	602.1
12	31	20.6	57.7	1399.3	-0.6	80.7	468.9

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %
 Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.
 Počet hodnocených let : 1

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 5.94 m2K/W
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.164 W/m2K

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.18 / 0.21 / 0.26 / 0.36 W/m2K
 Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou dle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difuzní odpor konstrukce ZpT : 6.2E+0010 m/s
 Teplotní útlum konstrukce Ny* : 142.8
 Fázový posun teplotního kmitu Psi* : 6.9 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách Tsi,p : 19.17 C
 Teplotní faktor v návrhových podmínkách f,Rsi,p : 0.960

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	0.744	11.3	0.595	19.7	0.960	58.5
2	15.4	0.755	11.9	0.594	19.7	0.960	60.7
3	15.5	0.712	12.1	0.517	19.9	0.960	60.8
4	15.8	0.627	12.3	0.362	20.1	0.960	60.9
5	16.6	0.500	13.1	0.073	20.3	0.960	63.4
6	17.3	0.336	13.9	-----	20.4	0.960	66.1
7	17.7	0.156	14.2	-----	20.5	0.960	67.5
8	17.6	0.227	14.1	-----	20.4	0.960	66.9
9	16.7	0.477	13.2	0.015	20.3	0.960	63.8
10	15.8	0.615	12.4	0.338	20.1	0.960	61.1
11	15.5	0.712	12.1	0.517	19.9	0.960	60.8
12	15.4	0.755	12.0	0.593	19.7	0.960	60.8

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

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	e
tepl.[C]:	19.2	18.8	18.2	-2.3	-3.0	-3.0	-14.7	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1334	1322	1015	728	421	401	237	163	138
p,sat [Pa]:	2220	2175	2088	504	477	475	169	169	168

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

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny		Kondenzující množství vodní páry [kg/m2s]
	levá	pravá	
1	0.1675	0.1675	1.411E-0008
2	0.2705	0.2705	7.605E-0009

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry Mc,a: 0.026 kg/m2,rok

Množství vypařitelné vodní páry Mev,a: 1.138 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Poznámka: Hodnocení difuze 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.

STOP, Teplo 2011

ZÁKLADNÍ KOMPLEXNÍ TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE

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

Teplo 2011

Název úlohy : **novodobá roubená konstrukce**

Zpracovatel : Petr Nováček

Zakázka :

Datum : 12.3.2014

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

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

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	Dřevo měkké (t	0,0960	0,1300	2510,0	400,0	157,0	0.0000
2	Konopná izolac	0,1000	0,0400	1500,0	100,0	6,0	0.0000
3	Dřevo měkké (t	0,0960	0,1300	2510,0	400,0	157,0	0.0000

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Dřevo měkké (tok kolmo k vláknům)	---
2	Konopná izolace	---
3	Dřevo měkké (tok kolmo k vláknům)	---

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m2K/W
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rsi : 0.25 m2K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m2K/W
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rse : 0.04 m2K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -15.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 20.6 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 55.0 %

Měsíc	Délka[dny]	Tai[C]	RHi[%]	Pi[Pa]	Te[C]	RHe[%]	Pe[Pa]
1	31	20.6	55.3	1341.1	-2.3	81.1	409.0
2	28	20.6	57.6	1396.9	-0.7	80.7	465.0
3	31	20.6	58.2	1411.4	3.0	79.5	602.1
4	30	20.6	59.0	1430.8	7.6	77.5	808.6
5	31	20.6	62.1	1506.0	12.5	74.7	1082.2
6	30	20.6	65.3	1583.6	15.7	72.2	1287.1
7	31	20.6	66.9	1622.4	17.2	70.7	1386.7
8	31	20.6	66.3	1607.9	16.7	71.2	1352.9
9	30	20.6	62.6	1518.2	13.1	74.2	1118.0
10	31	20.6	59.3	1438.1	8.2	77.2	839.1
11	30	20.6	58.2	1411.4	3.0	79.5	602.1
12	31	20.6	57.7	1399.3	-0.6	80.7	468.9

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %
Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.
Počet hodnocených let : 1

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 3.98 m2K/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.241 W/m2K

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.26 / 0.29 / 0.34 / 0.44 W/m2K
Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou dle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor konstrukce Z_{pT} : 1.6E+0011 m/s
Teplotní útlum konstrukce Ny* : 245.4
Fázový posun teplotního kmitu Psi* : 15.1 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 18.51 C
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : 0.941

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	0.744	11.3	0.595	19.3	0.941	60.1
2	15.4	0.755	11.9	0.594	19.4	0.941	62.2
3	15.5	0.712	12.1	0.517	19.6	0.941	62.0
4	15.8	0.627	12.3	0.362	19.8	0.941	61.8
5	16.6	0.500	13.1	0.073	20.1	0.941	63.9
6	17.3	0.336	13.9	-----	20.3	0.941	66.5
7	17.7	0.156	14.2	-----	20.4	0.941	67.7
8	17.6	0.227	14.1	-----	20.4	0.941	67.2
9	16.7	0.477	13.2	0.015	20.2	0.941	64.3
10	15.8	0.615	12.4	0.338	19.9	0.941	62.0
11	15.5	0.712	12.1	0.517	19.6	0.941	62.0
12	15.4	0.755	12.0	0.593	19.4	0.941	62.3

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

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	e
tepl.[C]:	18.5	12.4	-8.5	-14.7
p [Pa]:	1334	748	724	138
p,sat [Pa]:	2130	1435	296	170

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

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá	Kondenzující množství vodní páry [kg/m2s]
1	0.1960	0.1995	1.115E-0008

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry Mc,a: 0.043 kg/m2,rok

Množství vypařitelné vodní páry Mev,a: 0.226 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 5.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci dochází během modelového roku ke kondenzaci.

Kondenzační zóna č. 1

Měsíc	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá	Akt.kond./vypař. Gc [kg/m2s]	Akumul.vlhkost Ma [kg/m2]
11	0.1960	0.1960	1.31E-0009	0.0034
12	0.1960	0.1960	3.99E-0009	0.0141
1	0.1960	0.1960	4.34E-0009	0.0257
2	0.1960	0.1960	4.02E-0009	0.0354
3	0.1960	0.1960	1.31E-0009	0.0390
4	0.1960	0.1960	-2.90E-0009	0.0314
5	0.1960	0.1960	-7.95E-0009	0.0102
6	---	---	-1.18E-0008	0.0000
7	---	---	---	---
8	---	---	---	---
9	---	---	---	---
10	---	---	---	---

Maximální množství kondenzátu Mc,a: 0.0390 kg/m2

Na konci modelového roku je zóna suchá (tj. Mc,a < Mev,a).

Poznámka: Hodnocení difuze 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.