Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Stavebně - technická analýza dřevěných stavebních konstrukcí

Diplomová práce

Autor: Bc. Kateřina Pittnerová

Vedoucí práce: Ing. Martin Múčka, Ph.D.

2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kateřina Pittnerová

Dřevařské inženýrství

Název práce

Stavebně – technická analýza dřevěných stavebních konstrukcí

Název anglicky

Construction – Technical Analysis of wooden constructions

Cíle práce

Cílem práce je stavebně-fyzikální analýza obvodového pláště u vybraných dřevěných stavebních konstrukcí v pasivním standardu a následně nákladová optimalizace diagnostikovaných konstrukcí s ekonomickým vyhodnocením.

Metodika

1.Literární rešerš

2.Výběr dřevěných stavebních konstrukcí

3.Stavebně-fyzikální analýza

4.Nákladová optimalizace diagnostikovaných konstrukcí

5.Ekonomické vyhodnocení

Doporučený rozsah práce

60-70 stran vč. příloh

Klíčová slova

stavebně-fyzikální analýza, tepelný odpor, součinitel prostupu tepla, nákladová optimalizace, diagnostika, dřevostavba

---

Doporučené zdroje informací

BAHÝL,V.-IGAZ,R.Stavebná fyzika.TU, Zvolen, Vydanie I., 2010, ISBN 978-80-228-2219-0

ČSN EN ISO 6946. Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda

ČSN 73 0540. Tepelná ochrana budov. Část 1-4

CHMÚRNÝ, I. Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Bratislava, Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3

KOLDINSKÁ, K. – ŠTEFKO, M. *Sociální reformy ve střední Evropě – cesta k novému modelu sociálního státu?.* Praha: Auditorium, 2011. ISBN 978-80-87284-14-8.

KUKLÍK, P. – REINPRECHT, L. – ŠTEFKO, J. – BRAUNŠTEINOVÁ, Z. *Dřevěné stavby : konstrukce, ochrana a údržba.* Bratislava: Jaga, 2009. ISBN 978-80-8076-080-9.

PUŠKÁR, A. a kol. Obvodové pláště budov. Prvé vydanie. Bratislava, Jaga group, 2002, 311 s. ISBN 80-88905-72-9

PUŠKÁR, A. a kol. Okna, dveře, prosklené stěny. První české vydání. Bratislava, Jaga group, 2003, 255 s. ISBN 80-88905-47-8

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Martin Múčka, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Elektronicky schváleno dne 7. 1. 2016

doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2016

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2016

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Stavebně-technická analýza dřevěných stavebních konstrukcí vypracovala samostatně pod vedením Ing. Martina Múčky, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, 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 20. dubna 2016

Kateřina Pittnerová

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala Ing. Martinu Múčkovi, Ph.D., vedoucímu diplomové práce, za cenné rady, návrhy a připomínky, kterými přispěl k vytvoření této práce.

Stavebně-technická analýza dřevěných stavebních konstrukcí

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem čtyř typů obvodového pláště v pasivním standardu a jejich celkovým tepelně-technickým a ekonomickým zhodnocením. Nejprve jsou popsány materiály, které je možno použít v konstrukci svislého opláštění. Dále je postupně proveden návrh a tepelně technické posouzení jednotlivých konstrukcí. U třech typů obvodového pláště je navržena dřevěná svislá konstrukce za použití ekologicky šetrných izolací a návrh čtvrtého typu pláště spočívá v systému Ytong s vnějším zateplovacím systémem, který se v současnosti velmi často používá při stavbách pasivních domů v ČR. Následně bude navržena také skladba střechy a podlahy na terénu z důvodu komplexního posouzení celkové obálky budovy. Zhodnocení obálky budovy bude provedeno zvlášť pro všechny čtyři varianty svislého obvodového pláště. Dále bude provedeno ekonomické porovnání jednotlivých variant obvodového pláště na základě vytvořených položkových rozpočtů. Závěrem budou vyhodnoceny klady a zápory při použití jednotlivých návrhů skladeb obvodového pláště.

Klíčová slova: stavebně-fyzikální analýza, pasivní dům, dřevěná konstrukce, součinitel prostupu tepla

Construction Technical Analysis of Wooden Constructions

Abstract

This diploma thesis deals with four chosen types of vertical sheathing of houses in the passive standard and their overall thermo-technical and economic evaluation. At first, the materials which may be used in wood constructions of vertical sheathing of a house are described. Further, a design and thermo-technical assessment of each of the structures is performed. Wooden structures using environmentally friendly insulation are designed for three types of vertical sheathing and the system Ytong with external insulation is proposed for the fourth type, currently often used in the construction of passive houses in the Czech Republic. In order to comprehensively assess the building envelope, the composition of the roof and floor on the ground will be designed. The other part deals with the evaluation of the building envelope, separately for all four vertical sheathing options. An economic comparison of the envelope options based on the creation of itemized budgets will be carried out. Finally, the pros and cons of using each of the proposed envelope compositions will be evaluated.

Keywords: construction – physical analysis, passive house, wooden construction, coefficient of heat permeation

1. Úvod....14
2. Cíle práce....16
3. Dřevěné stavební konstrukce....17
3.1 Význam, vlastnosti a složení dřeva....17
3.2 Historie dřevěných konstrukcí na území ČR....18
3.3 Konstrukční systémy dřevostaveb....19
4. Základní požadavky pro návrh stavby v pasivním standardu....21
5. Charakteristika materiálů používaných ve svislé dřevěné konstrukci....22
5.1. Nosné konstrukční materiály dřevostaveb....22
5.1.1. ŘEZIVO – ROSTLÉ DŘEVO....22
5.1.2. KONSTRUKČNÍ DŘEVO....24
5.1.3. LEPENÉ LAMELOVÉ DŘEVO....25
5.1.4. SPECIÁLNÍ DŘEVĚNÉ NOSNÍKY....25
5.1.5. KOMPOZITNÍ MATERIÁLY NA BÁZI DŘEVA PRO NOSNÉ KONSTRUKCE....26
5.1.6. ÚPRAVY VLASTNOSTÍ DŘEVA....28
5.1.7. POŽÁRNÍ ODOLNOST DŘEVĚNÝCH NOSNÝCH KONSTRUKCÍ....28
5.2. Materiály nenosné dělící....31
5.2.1 MATERIÁLY Z MASIVNÍHO DŘEVA....31
5.2.1.1 Obklad stěn z rostlého dřeva....31
5.2.1.2 Spárovky....31
5.2.1.3 Biodesky....31
5.2.2 MATERIÁLY NA BÁZI DŘEVA PRO NENOSNÉ ÚČELY....31
5.2.2.1 Překližky – výrobek z dýh....31
5.2.2.2 Desky z velkoplošných třísek....32
5.2.2.3 Dřevotřískové desky....33
5.2.2.4 Modifikované třískové desky....33
5.2.2.5 Dřevovláknité desky....34
5.2.2.6 Desky pojené minerálními pojivy....34
5.2.2.7 Vylehčené deskové materiály....36

5.3. Přehled izolační materiálů vhodných do skladby svislého opláštění budovy.....37
5.3.1. TEPELNÉ IZOLACE.....37
5.3.2. PAROTĚSNÍCÍ VRSTVA V OBVODOVÉ KONSTRUKCI DŘEVOSTAVBY.....39
5.3.3. MATERIÁLY PRO UTĚSNĚNÍ PROSTUPŮ OBVODOVÝM PLÁŠTĚM.....39
6. Návrh skladeb opláštění budovy a jednotlivá tepelně technická posouzení.....40
6.1. Konstrukce A.....42
6.2. Konstrukce B.....56
6.3. Konstrukce C.....63
6.4. Konstrukce D.....69
6.5. Konstrukce E.....71
6.6. Konstrukce F.....77
6.7. Srovnání navržených konstrukcí A-F.....79
7. Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla Uem.....80
7.1. Návrh obestavěného prostoru domu.....80
7.2. Výpočet požadovaného průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy.....82
7.3. Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla navrženou obálkou budovy.....84
7.4. Určení klasifikační třídy obálky budovy.....87
8. Propočet nákladů na výstavbu jednotlivých typů navržených budov.....88
9. Tepelně – technické a ekonomické posouzení.....89
10. Závěr.....92
11. Seznam literatury a použitých zdrojů.....93
11.1. Knihy a odborné publikace.....93
11.2. Normy, vyhlášky.....93
11.3. Internetové zdroje.....94
12. Seznam příloh.....96

Seznam tabulek

Tabulka 1: Třídy reakce na oheň různých stavebních výrobků 30

Tabulka 2: Vstupní hodnoty jednotlivých vrstev skladby konstrukce A. 43

Tabulka 3: Vstupní hodnoty jednotlivých vrstev skladby konstrukce B. 56

Tabulka 4: Vstupní hodnoty jednotlivých vrstev skladby konstrukce C. 63

Tabulka 5: Vstupní hodnoty jednotlivých vrstev skladby konstrukce D. 69

Tabulka 6: Vstupní hodnoty jednotlivých vrstev skladby konstrukce F. 72

Tabulka 7: Vstupní hodnoty jednotlivých vrstev skladby konstrukce F. 77

Tabulka 8: Vypočítané součinitelé prostupu tepla u navržených skladeb opláštění. 79

Tabulka 9: Geometrické charakteristiky budovy. 82

Tabulka 10: Požadavky na požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em,N,20}$ 83

Tabulka 11: Požadavky na součinitel prostupu tepla navrženou obálkou domu. 85

Seznam obrázků

Obrázek 1: Speciální druhy nosníků 26

Obrázek 2: Schématické znázornění nosné dřevěné sendvičové konstrukce – 30

Obrázek 3: Modifikované třískové desky – Grenamat a Recoflex 33

Obrázek 4 a 5: Dřevovláknité desky – měkká (Hofatex) a polotvrdá (MDF) 34

Obrázek 6: Desky CETRIS – CTD Cetris Basic, CTD Cetris Profil a CTD Cetris Finish 35

Obrázek 7: Izolace foukanou celulózou 38

Obrázek 8: Vzorová skladba konstrukce obvodového pláště A 42

Obrázek 9: Návrh skladby obvodového pláště – konstrukce A 43

Obrázek 10: Návrh skladby obvodového pláště – konstrukce B 56

Obrázek 11: Návrh skladby obvodového pláště – konstrukce C 63

Obrázek 12: Návrh skladby obvodového pláště – konstrukce D 69

Obrázek 13: Návrh skladby obvodového pláště – konstrukce E 71

Obrázek 14: Návrh skladby obvodového pláště – konstrukce F.....77

Obrázek 15**:** Návrh půdorysu rodinného domu - studie.....80

Obrázek 16**:** Návrh fasády rodinného domu – studie – pohled od jihu a východu 81

Obrázek 17**:** Návrh fasády rodinného domu – studie – pohled od severu a západu 81

Seznam grafů

Graf 1: Porovnání navržených konstrukcí dle součinitele prostupu tepla. 79

Graf 2: Porovnání průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy A - D 86

Graf 3: Porovnání navržených konstrukcí dle orientačních nákladů na realizaci domu. 88

Graf 4: Porovnání průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy a nákladů na realizaci kompletní stavby 89

Seznam použitých zkratek

AL Hliník

CTD Cementotřískové desky

ČSN Česká technická norma

ČVUT České vysoké učení technické v Praze

DIN Německý ústav pro průmyslovou normalizaci

DP Klasifikace požární odolnosti konstrukčních části dle ČSN 73 0810

DVD Dřevovláknitá deska

EI Označení požární odolnosti konstrukce - požáru bránící

EN Evropská norma

EPS Expandovaný polystyren

EU Evropská unie

EW Označení požární odolnosti konstrukce - požáru odolávající

KVH Lepený konstrukční hranol

m.j. Měrná jednotka

MDF Dřevovláknitá deska střední tvrdosti

NKN Národní kalkulační nástroj

NP Nadzemní podlaží

OSB Deska z orientovaných plochých třísek

QSB Multifunkční desky

PE Polyethylen

PUR Polyuretan

XPS Extrudovaný polystyren

Seznam použitých veličin

A celková plocha hodnocené konstrukce [m_2]

A_x plocha x-tého úseku [m_2]

A_c energeticky vztažná plocha budovy [m_2]

b_x činitel teplotní redukce [-]

C_ε Stefan-Bolzmanova konstanta 5,67*10^{-8} [W/m_2K_4]

d tloušťka vrstvy [m]

e maximální chyba [%]

E upravený součinitel vzájemného sálání [-]

f_{a-f} poměrné plochy dílčích úseků hodnocené konstrukce [-]

f_x poměrná plocha x-tého úseku [-]

h_a součinitel přestupu tepla vedením a prouděním [W/m^{2}K]

h_r součinitel přestupu tepla sáláním [W/m^{2}K]

H_T měrná tepelná ztráta [K/W]

N_{50} maximální neprůvzdušnost obálky budovy [h^{-1}]

R tepelný odpor [m^{2}K/W]

R''$_T$ dolní mez tepelného odporu při prostupu tepla [m^{2}K/W]

R'$_T$ horní mez tepelného odporu při prostupu tepla [m^{2}K/W]

R_{a-f} tepelné odpory příslušné vrstvy v daném úseku [m^{2}K/W]

R_g tepelný odpor uzavřené vzduchové vrstvy [W/m^{2}K]

R_{se} tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [m^{2}K/W]

R_{si} tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [m^{2}K/W]

R_T tepelný odpor při prostupu tepla [m^{2}K/W]

R_{Ta-f} tepelné odpory při prostupu tepla ve směru tepelného toku [m^{2}K/W]

R_{Tx} tepelný odpor při prostupu tepla daným úsekem [m^{2}K/W]

R_x tepelný odpor konstrukce v daném úseku [m^{2}K/W]

T_m průměrná termodynamická teplota povrchu a jeho okolí [K]

U součinitel prostupu tepla [W/m^{2}k]

U_{em} průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy [W/m^{2}k]

$U_{em,N,20}$ průměrný součinitel prostupu tepla obálkou referenční budovy [W/m^{2}k]

U_N normou požadovaná hodnota součinitele tepla [W/m^{2}k]

$U_{pas,20}$ hodnota součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy [W/m^{2}k]

V objem budovy [m^3]

λ součinitel tepelné vodivosti [W/mK]

1. Úvod

V současnosti pozvolna narůstá zájem o využití dřeva pro ekologicky šetrné stavební konstrukce rodinných, bytových, občanských a halových staveb. Tento trend je způsoben zejména rozvojem vhodných materiálů na bázi dřeva a zlepšujících se možností zdokonalení vlastností dřeva vedoucích ke značným energetickým úsporám a dále také větším zájmem o ekologii. Nyní se podíl na celkové výstavbě rodinných domů na bázi dřeva pohybuje okolo 10%, výstavba vícepodlažních staveb a staveb pro občanskou vybavenost je ale prakticky stále nulová.[1] V České republice stále značně převládá výstavba domů ze zdiva či betonu. Požadavky Evropské unie, blíže Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov, počítá s tím, že do roku 2018 resp. 2020 bude snížena spotřeba energie v budovách o 20% při současném zvýšení podílu využití obnovitelných zdrojů energie na 20% a snížení produkce skleníkových plynů o 20%.[1] Tato perspektiva může být naplněna nejen novou výstavbou budov s energetickou efektivností, ale především revitalizací stávajících zastaralých konstrukcí budov.

Mezi hlavní výhody použití dřevěných stavebních konstrukcí patří větší energetické úspory při návrhu vhodné skladby oproti ostatním využívaným materiálům, rychlost výstavby kompletní konstrukce především z důvodu absence mokrých procesů a relativně jednoduchá montáž. Kratší lhůta výstavby má pozitivní vliv na finanční náklady, zejména pro investory či developery. Mezi klady lze zařadit také akustické vlastnosti sendvičových konstrukcí z důvodu vrstvení materiálu, snadná změna vnitřní dispozice u dřevostaveb, menší nároky na spodní stavbu z důvodu lehké konstrukce. Další z významných kladů je současná problematika životního prostředí, vyčerpatelnost zdrojů surovin a trvale udržitelný rozvoj. Jednou z cest snížení oxidu uhličitého v ovzduší a zlepšení tak životního prostředí v Evropě, je využití možností lesa jako zdroje environmentálního materiálu – dřeva, v současnosti je spojováno nejvíce se stavebnictvím. Mezi další příznivé aspekty patří recyklovatelnost dřeva, případně jeho druhotné využití jako zdroj energie, nízké náklady pro výrobu dřeva a materiálů na bázi dřeva v porovnání s materiály ocelovými, betonovými či keramickými. Například v případě domu o půdorysné ploše 100 m2 je spotřeba energie na jeho realizaci z materiálů na bázi dřeva přibližně 22 MWh a ze silikátových materiálů okolo 75 MWh[1].

[1] KUKLÍK Petr. Energetická náročnost dřevostaveb. [online] Dostupné z: w*ww.stpcr.cz/?download=_/sborinhob2013/28_kuklik.pdf*

Existují jisté obavy z využití dřeva pro stavební účely z důvodu jeho hořlavosti a zápalnosti, avšak při správném návrhu a výstavbě dřevěná konstrukce udrží statickou pevnost lépe nežli ocelová či betonová. Dřevěné nosné prvky při správném návrhu odolají požáru 30 minut a více, nechráněné ocelové konstrukce se po 15 minutách zdeformují a zřítí. Dřevo je sice hořlavý a zápalný materiál, ale také obsahuje tzv. rovnovážnou vlhkost a ta v podobě páry zpomaluje proces hoření.[2]

Diplomová práce má svou povahou rozšířit povědomí o možnostech použití materiálů pro výstavbu dřevěného domu, o konstrukčním návrhu obalové konstrukce a jejím tepelně – technickým a ekonomickým zhodnocením.

[2] KUJANOVÁ, Katarína, Ing.arch.Ph.D. Dom a bývanie. Drevostavby.Vieme o nich všetko? [online]. [cit.12.7.2013]. Dostupné z: http://www.domabyvanie.eu/page/index.php?log=clanok&uid=44

2. Cíle práce

Pro diplomovou práci byly stanoveny tyto cíle:

1. Návrh a tepelně - technické posouzení čtyř odlišných skladeb obvodového pláště budovy v pasivním standardu. U třech typů obvodového pláště je navržena dřevěná svislá konstrukce za použití ekologicky šetrných izolací a návrh čtvrtého typu pláště spočívá v systému Ytong s vnějším kontaktním zateplovacím systémem. Dílčím cílem je také stručný popis vybraných materiálů, které je možno použít při návrhu dřevěné svislé konstrukce.

2. Určení klasifikační třídy obálky domu na základě výpočtu průměrného součinitele prostupu tepla.

3. Vytvoření položkových rozpočtů konkrétní obálky budovy dle jednotlivých návrhů svislého obvodového pláště.

4. Závěrem práce bude provedeno technické a ekonomické vyhodnocení navržených konstrukcí.

3. Dřevěné stavební konstrukce

3.1 Význam, vlastnosti a složení dřeva

Dřevo patří k nejstarším a neoblíbenějším stavebním materiálům a pro svůj přírodní charakter, příznivé fyzikální vlastnosti a estetičnost je žádaným prvkem životního prostředí člověka. Dřevo dále představuje pružný, pevný a přitom lehký materiál, který má dobré tepelně-izolační vlastnosti, je lehce opracovatelné a odolné proti chemikáliím. Výrobky získané ze dřeva mohou mít i několik nedostatků, příkladem je velká variabilita vlastností v důsledku měnících se podmínek při jeho tvorbě, lehká zápalnost a hořlavost, značná navlhavost a nasáklivost, nízká odolnost proti působení dřevokazného hmyzu a hub. Tyto nedostatky lze ale vhodným způsobem omezit nebo úplně vyloučit. Jedním ze způsobů odstranění nedostatků dřeva je zpracování dřeva chemickou nebo chemicko-mechanickou cestou, kdy výsledkem mohou být listové či deskové materiály, například dřevovláknité desky, dřevotřískové desky a dýhy.[3]

Mezi další vlastnosti dřeva patří anizotropie, hygroskopicita a heterogennost. Dřevo je dále pokládáno za ekologicky příznivý materiál, jelikož z vody, oxidu uhličitého a světla vznikají fotosyntézou sacharidy a pro člověka životně důležitý kyslík. Rostoucí dřevo váže fotosyntézou stromu oxid uhličitý a pokácené dřevo ho dále zadržuje, což je pozitivní fakt v problematice vzniku skleníkového efektu na naší planetě.[4] Chemické složení dřeva je z 49,5 % uhlík, z 44,2 % kyslík, z 6,1% vodík a z 0,2 % dusík. Tyto prvky vytvářejí řadu složitých organických látek, z nichž nejpodstatnější je celulóza, hemicelulózy a lignin.[5]

V České republice je přibližně 33,5 % území zalesněno. Na dřevěné stavební konstrukce je možné použít dřevo jehličnatých i listnatých dřevin s vhodnými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi, materiály na bázi dřeva a kompozity na bázi dřeva. [5] Materiály na bázi dřeva se vyrábějí různým průmyslovým zpracováním, většinou se jedná o lisování dřevních částic za tepla. Během růstu stromu vznikají ve dřevě značné nehomogennosti nepříznivě ovlivňující vlastnosti dřeva, proto se dřevo dělí na menší částice, které se poté opět spojí a jsou tak potlačeny nepříznivé charakteristiky materiálu.

---

[3] GANDELOVÁ, L.; HORÁČEK, P.; ŠLEZINGEROVÁ, J. Nauka o dřevě. Brno: MZLU, 2009. 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2

[4] KOLB, Josef. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2008, 320 s. ISBN 978-80-247-2275-7.

[5] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*, 1. vydání, ČKAIT s.r.o., Sokolská 15, Praha 2 - 148. publikace, 172 s., ISBN 80-86769-72-0.

3.2 Historie dřevěných konstrukcí na území ČR

První skuteční stavitelé byli lidé v období neolitu kolem roku 3000 př.n.l., kteří stavěli relativně pevné domy s životností okolo 20 let. Největší obtížnost dělaly těmto rolníkům konstrukční detaily, zejména tesařské spoje. Základní konstrukci domu vytvářely řady kůlů vetknuté do země, nesoucí okapové, středové a vrcholové vaznice. Opláštění tvořilo proutí upevněné ke kůlům a omazané hlínou. Konstrukce obydlí byla bez oken z důvodu neznalosti možností zabudování rámů a možností zasklení. Zastřešení tvořila sedlová střecha a krytinu tvořily především došky. V období kolem roku 400 př.n.l. stavěli Keltové na území Čech a Moravy poměrně lehké dřevěné stavby na kamenné podezdívce. Slovani, kolem roku 400-550 našeho letopočtu, stavěli nejprve podobná obydlí jako Keltové, avšak později byl v prvních raně středověkých městech tento typ stavby zaměněn za dokonalejší nadzemní stavby, především za stavby roubené. Lidová vesnická architektura rozvinutá v 13. až 15. století si zachovala svojí podobu až do 19. století. Největším a nejpevnějším zástupcem této architektury byla konstrukce roubená. Sekerou opracovaná kulatina a trámy byly rovnány na sebe a v nárožích spojovány. Poslední řada trámů tvořila vaznicový věnec, nesoucí konstrukci stropu nebo střechy. V tomto období byly dále vyvinuty složitější hrázděné konstrukce, které umožňovaly použití lacinějších materiálů jako výplň dřevěné kostry. Od 14. století se začaly stavět městské domy z kamene a cihel. Od 16. století se dřevo používalo většinou pouze na stropy, příčky a krovy domů. Novodobé využití dřeva jako stavebního materiálu je zaznamenáno přibližně v 19. století s výstavbou dočasných divadelních arén, výstavních pavilonů a chat. Po první světové válce byly vyvinuty první lepené a lamelové konstrukce a uplatnění získali i sbíjené konstrukce. V meziválečném období se dřevo uplatnilo jako materiál pro bednění betonových konstrukcí. V novém poválečném Československu bylo později dřevo degradováno pouze jako pomocný materiál a v 60. letech 20. století se výrobou materiálů na bázi dřeva zabývalo pouze 200 pracovníků. K velké změně došlo až v 70. letech 20. století rozvojem materiálů na bázi dřeva a dřevo se tak zase začalo více používat také jako nosná konstrukce budovy a opláštění. [5]

Velký zvrat přinesl v 80. a 90. letech 20. století široce založený výzkum pro podporování dřeva. Nové materiály na bázi dřeva, moderní spojovací prostředky, racionální metody zpracování umožnily nové formy stavění s využitím dřeva. [4]

---

[4] KOLB, Josef. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Strana 18. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2008, celkem 320 s. ISBN 978-80-247-2275-7.
[5] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*, 1. vydání, ČKAIT s.r.o., Sokolská 15, Praha 2 - 148. publikace, 172 s., ISBN 80-86769-72-0.

3.3 Konstrukční systémy dřevostaveb

Základními typy konstrukčních systémů dřevostaveb jsou stavby roubené, srubové, hrázděné, sloupkové, skeletové a panelové stavby z masivního dřeva. V současné době nacházejí využití převážně konstrukce sloupkové, skeletové a masivní panelové [4]. Dřevěné prvky se používají pro nosné i nenosné stavební konstrukce nebo jako vnitřní vybavení domu.

Roubené stavby se dříve skládaly z jediné vrstvy složené z masivních hranolů, která měla současně nosnou i obkladovou funkci. Tato konstrukce však již nedokáže splnit dnešní tepelně-technické požadavky na obvodový plášť. V současnosti je možné pro návrh konstrukce volit například třívrstvý systém, kdy je mezi dřevěnými hranoly vložena tepelná izolace, avšak je nutno počítat s vyššími investičními náklady. Rohové spojení trámů je zajištěno nejčastěji rybinovým spojem či přeplátováním.

Srubová stavba je složena z jednotlivých dřevěných kruhových kmenů vodorovně ukládaných na sebe. Rohové spojení kulatiny je zajištěno přeplátováním.

Hrázděné stavby mají nosnou výztužnou konstrukci tradičně viditelnou z venkovní strany a je tvořena nejčastěji ze smrkového či jedlového dřeva nebo z materiálů na bázi dřeva. Spojení dřevěných hranolků je nejčastěji zajištěno pomocí čepů a dlabů. Mezi dřevěnými nosnými hranolky je provedena vyzdívka, nejčastěji z cihel. Jelikož vývoj nových materiálů a konstrukčních metod jde stále kupředu, využití tradiční hrázděné stavby najde opodstatnění spíše jen u účelových přízemních staveb pro zemědělství. [4]

Sloupková dřevěná konstrukce představuje nosnou svislou kostru složenou nejčastěji z fošen nebo hranolů, která přenáší svislá zatížení ze střechy a mezipatrových stropů do základů. Opláštění z desek poté přenáší zatížení vodorovná, vznikající účinkem větru. Svislé nosné sloupky jsou rozmístěny pravidelně v osových vzdálenostech 400, 600 nebo 625 mm. V Evropě se nejčastěji využívá rozměr konstrukčních prvků 60x120 mm nebo 60x180 mm. V oblasti Severní Ameriky je používán systém two-by-four, kde základním konstrukčním prvkem jsou dřevěné profily s průřezem 2x4 palce, tedy přibližně 50x100 mm.

---

[4] KOLB, Josef. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2008, 320 s. ISBN 978-80-247-2275-7.

Mezi další sloupkové konstrukce patří Ballon-frame a Platform-frame. U systému Ballon-frame jsou sloupky umístěné přes dvě a více podlaží a stropní nosníky jsou uloženy na stojatých fošnách, které jsou zapuštěné do zářezů ve sloupcích. U konstrukce Platform-frame je svislá nosná konstrukce pouze přes jedno podlaží.

Skeletová stavba představuje nosnou dřevěnou konstrukci v pravidelném rastru složenou ze svislých štíhlých čtyřstranných prvků spojených v úrovni podlaží vodorovnými průvlaky. Velké rozpony nosníků umožňují velkou kompoziční volnost při návrhu dispozice stavby. Skeletové systémy jsou vhodné pro návrh občanských, bytových i průmyslových staveb. U tohoto typu staveb se nejvíce používá lepené lamelové dřevo. [4]

Stavby z masivních dřevěných panelů představují nosnou vrstvu z masivní plošně působící desky, která dále přenáší zatížení do základů. Předpokladem této konstrukce je, že masivní dřevo, nejčastěji lepené, činí alespoň 50% uzavřené nosné kostry. Konstrukční dřevo může být vytvořené také z desek z materiálů na bázi dřeva, např. z třískových desek nebo desek OSB.[4]

[4] KOLB, Josef. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2008, 320 s. ISBN 978-80-247-2275-7.
[6] Ing. arch. Josef Smola a Ing. Jiří Šála, CSc. Nízká energetická náročnost budov a její zajištění ve výstavbě. [online]. Dostupné z: http://www.pasivnidomy.cz/data/files/3629.pdf

4. Základní požadavky pro návrh stavby v pasivním standardu

Název „pasivní“ dům je odvozen od faktu, že tepelné ztráty jsou pokryty pasivními solárními zisky, vnitřními tepelnými zisky z provozu zařízení budovy, metabolickým teplem osob a rekuperací.[6] V tuzemských klimatických podmínkách je v zimním období zapotřebí ještě druhotný malý zdroj tepla. Pod pojmem „pasivní dřevostavba“ je možno si představit dům, konstruovaný ze dřeva či materiálů na bázi dřeva, splňující požadavky kladené na pasivní stavby.

Pro zařazení projektu stavby do pasivního standardu je nutno splnit 3 požadavky[7]:

- měrná potřeba tepla nesmí u pasivního domu překročit 15 kWh/m2/rok.
- neprůvzdušnost obálky budovy nesmí překročit $0,6^{-1}$/hod, to znamená, že při přetlaku či podtlaku o hodnotě 50 Pa se nesmí za 1 hodinu vyměnit netěsnostmi obalové konstrukce více než 60% vnitřního objemu vzduchu.
- celková potřeba primární energie spojená s provozem budovy včetně domácích spotřebičů je nižší než 120 kWh/(m2a)

Kvalitní pasivní dům by měl dále dokladovat dodržení předepsaných parametrů prostřednictvím oficiální kontroly kvality – nejlépe dle mezinárodně uznávané certifikace stanovené Passivhaus Institutem. V ČR jsou zatím častěji užívané jiné metodiky, které nejsou dostatečně přesné, například „pasivní domy pro Zelenou úsporám“ hodnocené podle TNI 73 0329 (30) nebo hodnocení podle průkazu energetické náročnosti budov (PENB). [8]

Základní informace o pasivních budovách jsou uvedeny v ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky, s účinností od 11/2011.

---

[6] Ing. arch. Josef Smola a Ing. Jiří Šála, CSc. Nízká energetická náročnost budov a její zajištění ve výstavbě. [online]. Dostupné z: http://www.pasivnidomy.cz/data/files/3629.pdf

[7] TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 195 s. ISBN 978-80-247-3832-1.

[8] Certifikovaný pasivní dům = ověřená kvalita. Pasivní domy [online]. Ze dne 26.9.2011. Dostupné z: http://www.pasivnidomy.cz/certifikovany-pasivni-dum-overena-kvalita/t683

5. Charakteristika materiálů používaných ve svislé dřevěné konstrukci

Pro laickou veřejnost stále představují budovy ze dřeva či materiálů na bázi dřeva provizorní konstrukci s nízkou trvanlivostí, špatnými tepelně a zvukově izolačními a požárními vlastnostmi. Většinou jsou dřevostavby přiřazovány ke konstrukcím dočasným. Avšak při správném návrhu skladby obvodové stěny mají současné konstrukční systémy dřevostaveb srovnatelné fyzikální vlastnosti jako například zdivo ze silikátových tvárnic, lepší tepelně-technické parametry a přitom podstatně kratší lhůtu výstavby v porovnání s ostatními materiály. Jednou z hlavních výhod použití dřeva jako stavební materiál je skutečnost, že dřevo je přírodní obnovitelný zdroj a jeho použití má velice kladný dopad na ekologii.

Níže uvádím materiály využívané do konstrukce stěny.

5.1. Nosné konstrukční materiály dřevostaveb

5.1.1. ŘEZIVO – ROSTLÉ DŘEVO

Dřevo pro konstrukční účely musí dosahovat vhodných mechanických a fyzikálních vlastností. Jeho použití je omezeno především výskytem vad a limitovanými rozměry pilařské kulatiny. Silnější průřezy se mohou bortit z důvodu nepravidelného sesychání. Současné zpracovatelské technologie však dokáží zajistit umělé vysušení řeziva, příčné vyřezání vad a délkové nastavení zubovitým spojem.

Je možno použít dřevo jehličnatých i listnatých dřevin, většinou se ale používá dřevo jehličnaté, především smrk [9]. Po pořezu kulatiny vzniká řezivo [10]:

- deskové – příčný pravoúhlý průřez, šířka je větší než dvojnásobek tloušťky
    - prkna – do tloušťky 40 mm (15,18,24 a 32 mm)
    - fošny – tloušťka 40 – 100 mm (38,45,50,60,75 a 100 mm)

- hraněné – příčný pravoúhlý průřez, šířka je menší než dvojnásobek tloušťky
    - hranolky – tloušťka do 100 mm, plocha průřezu 25 – 100 cm^2
    - hranoly - tloušťka nad 100 mm, plocha průřezu nad 100 cm^2

[9] Vaverka, J., Havířová, Z., Jindrák, M., a kol.. Dřevostavby pro bydlení. 1.vydání. Praha: Grada, 2008. 376 s. ISBN 978-80-247-2205-4.
[10] ČSN 73 2824-1. Třídění dřeva podle pevnosti: Část1: Jehličnaté řezivo. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

- polohraněné – dvoustraně řezané, šířka je menší než dvojnásobek tloušťky
    - polštáře – tloušťka do 100 mm
    - trámy - tloušťka nad 100 mm

- drobné - plocha do 25 cm^2
    - lišty - plocha průřezu do 10 cm^2
    - latě - plocha průřezu nad 10 cm

Statický návrh dřevěné nosné konstrukce závisí na rovnovážné vlhkosti dřeva zabudované v konstrukci. Ta je závislá na provozních a klimatických podmínkách dané stavby. Dle ČSN EN 1995-1-1 – Eurokódu 5 [11] jsou třídy namáhání vlhkostí popsány takto:

- Třída použití 1 – vlhkost dřevěných konstrukčních materiálů při teplotě 20˚C a relativní vlhkostí vzduchu překračující 65% pouze několik dní v roce, např. vytápěné uzavřené budovy
- Třída použití 2 – vlhkost dřevěných konstrukčních materiálů při teplotě 20˚C a relativní vlhkostí vzduchu překračující 85% pouze několik dní v roce, např. třída zastřešené otevřené stavby
- použití 3 – klimatické podmínky vyšší než ve třídě použití 2, např. u konstrukcí vystavených povětrnosti

V jedné konstrukci se na hlavní nosné prvky má použít jen jeden druh jakosti řeziva.

Konstrukční řezivo se podle pevnosti třídí dvěma způsoby:

- Vizuální třídění – jedná se o vizuální kontrolu a následné posouzení a zařazení do třídy, ke které jsou dále přiřazeny charakteristiky (pevnost, hustota, modul pružnosti).
- Strojní třídění – nedestruktivním strojním snímáním jedné nebo více vlastností dřeva strojem při vizuální kontrole se prvek zařadí do příslušné třídy, ke které jsou dále přiřazeny materiálové charakteristiky (pevnost, hustota, modul pružnosti).

Dle normy ČSN 73 2824-1[10] rozlišujeme třídy vizuálního třídění u deskového a hraněného řeziva takto:

- Třída S13 – třída pevnosti C27

[10] ČSN 73 2824-1. Třídění dřeva podle pevnosti: Část1: Jehličnaté řezivo. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
[11] ČSN EN 1995-1-1 (ČSN 73 1701) - Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2006.

- Třída S10 – třída pevnosti C22
- Třída S7 – třída pevnosti C16

Aktualizací normy ČSN EN 338 (731711) [12] byla zrušena možnost přímého použití řeziva dle obchodní jakosti pro návrh nosných konstrukcí. Řezivo obchodní jakosti je značeno:

- Jehličnaté deskové řezivo (I,II,II,IV)
- Jehličnaté hraněné a polohraněné řezivo (I,II,II,IV)
- Listnaté řezivo (I,II,II,IV)

Pro dřevěné spojovací prostředky (hmoždíky, kolíky, aj.) musí být použito dřevo zdravé bez suků a jiných vad, s vlákny rovnoběžně s podélnou osou prvku.

5.1.2. KONSTRUKČNÍ DŘEVO

Jak již bylo zmíněno, použití rostlého dřeva pro konstrukční účely je částečně omezeno například výskytem vad či limitovanými rozměry. Pro odstranění těchto požadavků se postupně vyvinula technologie, která dokáže zajistit vysušení řeziva na požadovanou vlhkost, eliminaci vad a délkové nastavení do podoby nekonečného vlysu.

Dřevo nastavované zubovitým spojem - KVH

Jedná se o délkově nastavovaný, čtyřstraně frézovaný materiál o délce až 18 metrů. Je vyroben ze silného fošnového řeziva a při pořezu je dbáno především na podélné rozříznutí v oblasti dřeně, z důvodu snížení pozdějšího výskytu velkých trhlin. Nejčastěji se využívá smrkové dřevo, méně častěji pak modřín, jedle nebo douglaska. Řezivo vyrobené s nadmírou je sušeno v komorových sušárnách na vlkost okolo 14% což způsobuje větší tvarovou stálost výsledného prvku. Během sušení se aplikuje také ochrana proti biologickým činitelům. Z vysušeného dřeva jsou dále vyřezány vady (nejčastěji suky) a poté je přířez čistě zaříznut a na obou koncích jsou vyfrézovány zubovité spoje. Po nanesení lepidla do tohoto spoje jsou jednotlivé díly podélně stlačeny a tím vzniká nekonečně dlouhý vlys. Nakonec je slepený hranol frézován na čtyřstranné frézce a uskladněn v klimatizační hale. Výroba většinou probíhá pomocí automatizovaných linek. Průřezy hranolů jsou od rozměrů 40x60 mm až do 140x240 mm. Cena se pohybuje v rozmezí od 8 000 – 13 000 Kč/m^3. [13]

---

[12] ČSN EN 338 (73 1711). Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti. Praha: Český normalizační institut, 2010.
[13] Böhm, M., Reisner, J., Bomba, J.. Materiály na bázi dřeva. 1.vydání. ČZÚ FLD Praha, 2012. Ph.D. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6

Dvouvrstvé a třívrstvé konstrukční dřevo

Vznikají z plošně spojených dvou nebo tří fošen či hranolů technicky vysušeného jehličnatého dřeva (DUO, TRIO nosníky). [9] Přířezy pro lepený spoj jsou hoblované, délkově mohou být nastaveny zubovitým spojem. Lepení k sobě navzájem probíhá levou stranou (stranou vzdálenější od středu kmene), z důvodu zajištění větší tvarové stability. Přůřezy hranolů se pohybují od rozměrů 60x80 mm do 240x240 mm. Cena je většinou o 20 - 30% vyšší než u KVH. [13]

5.1.3. LEPENÉ LAMELOVÉ DŘEVO

Výroba lamelového dřeva se provádí plošným slepením délkově již nastavených dřevěných lamel.[9] Z pevnostně tříděných prken jsou nejprve vyřeznány suky, a dále jsou prkna zubovitým spojem pomocí lepidla délkově nastavena a lisována. Takto vzniklé lamely jsou po vytvrzení lepidla frézovány na čtyřstranné frézce a poté jsou jednotlivé kusy k sobě plošně lepeny a několik hodin lisovány ve šroubových lisech. Po vyjmutí z lisu je prvek frézován na dvoustranné tloušťkovací frézce a probíhá konečné zkrácení prvku dle požadované délky. Použití je většinou pro nosníky střešních konstrukcí, kdy je možno vyrobit přímé i zakřivené tvary o délkách až 50 m, dále pro skeletové systémy. Nosníky, které nedokáží zajistit požadovanou délku se spojují z více kusů. Pro výrobu se většinou používá smrkové dřevo, ale někteří výrobci nabízejí i dub nebo modřín. Výhodou této výroby je možnost dosažení požadovaného tvaru a rozměrů dřevěného prvku, a to z důvodu vysušení lamel před lepením na rovnovážnou vlhkost okolo 15%. Další výhodou je vysoká pevnost a tuhost z důvodu rovnoměrného rozložení suků po celém nosníku[9]. Cena závisí na kvalitě provedení, přůřezech a jakosti, nejčastěji se pohybuje v rozmezí od 8 000 – 13 000 Kč/m^3. [13]

5.1.4. SPECIÁLNÍ DŘEVĚNÉ NOSNÍKY

Zvyšování únosnosti dřevěných prvků se dále může rozvíjet vznikem speciálních typů nosníků, například nosníky se stěnou ze sbíjených prken, nosníky se stěnami z materiálů na bázi dřeva, duté kruhové nosníky, nosníky tvaru I a T.

---

[9] Vaverka, J., Havířová, Z., Jindrák, M., a kol.. Dřevostavby pro bydlení. 1.vydání. Praha: Grada, 2008. 376 s. ISBN 978-80-247-2205-4.
[13] Böhm, M., Reisner, J., Bomba, J.. Materiály na bázi dřeva. 1.vydání. ČZÚ FLD Praha, 2012. Ph.D. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6

Obrázek 1: Speciální druhy nosníků – dutý kruhový nosník vyztužený uhlíkovými vlákny, **I** nosníky různých provedení se stojnami z OSB desek, vláknité desky a vlnité překližky
Zdroj: [[13] *Böhm, M., Reisner, J., Bomba, J.. Materiály na bázi dřeva, 2012]*

Nosníky tvaru I

Tyto nosníky jsou vyrobeny ze stojny a dále z horní a dolní pásnice. K výrobě pásnic se využívá masivní délkově nastavované nebo vrstvené dřevo, stojny pak bývají z překližek, vrstveného dřeva, tvrdých vláknitých desek či desek OSB. Oproti nosníkům z masivního dřeva mají tyto prvky výhodu v tom, že pro jejich výrobu je spotřebováno méně materiálu a jsou velmi pevné vzhledem k jejich hmotnosti. Z důvodu vysokých štíhlých prvků je ale nutno prvky zajistit proti klopení.

Vyztužované nosníky

Největší napětí u nosníků působí v jeho povrchových vrstvách a to napětí tahové u spodních vláken a tlakové u horních vláken. Vyztužování se tedy provádí na spodní straně nosníku materiály s větší pevností v tahu – např. předpjaté ocelové pruty a vlákna s vysokou pevností a na horní straně materiály s větší pevností v tlaku, tj. dřevo-betonové spřažené konstrukce.

5.1.5. KOMPOZITNÍ MATERIÁLY NA BÁZI DŘEVA PRO NOSNÉ KONSTRUKCE

Z důvodu nedostatku dřevní suroviny požadovaných vlastností zejména pro velkorozponové nosníky byly vyvinuty kompozitní materiály na bázi dřeva, které dnes stále častěji nahrazují prvky z masivního rostlého dřeva. Tyto prvky jsou odolnější proti kroucení, borcení, praskání

[13] Böhm, M., Reisner, J., Bomba, J.. Materiály na bázi dřeva. 1.vydání. ČZÚ FLD Praha, 2012. Ph.D. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6

a méně sesychají. Stěžejní stránkou u těchto materiálů bývá návrh a provedení detailů nosné konstrukce, zejména výpočet zatížení ve spojích. Materiály jsou určeny primárně pro výrobu dlouhých nosníků, ale mohou být využity i pro překlady, vaznice, sloupy nebo jako velkoplošný materiál pro konstrukci stěn, střech nebo podlah u dřevostaveb.

LVL – Laminated veneer lumber (řezivo z vrstvených dýh)

Vyrábí se slisováním souboru dýh, obvykle smrkových březových či bukových. Dýhy se před nalepením na sebe ukládají tak, aby vlákna byla rovnoběžně se směrem výroby – s delší stranou lisované desky. Výrobou vznikne deskový materiál o tloušťce do 90 mm a šířce 2,5 m, který se dále řeže na požadované rozměry. Vrstvené dýhové dřevo se obchodně označuje například pod názvy KERTO a MICROLLAM. [9,13] Více informací viz ČSN EN 14279+A1 - Vrstvené dřevo (LVL) - Definice, klasifikace a specifikace, s účinností od 10/2009.

PSL – Parallel Strand Lumber (vrstvené dřevo z dýhových pásků) – např.Parallam

Vyrábí se zejména z jedle, douglasky nebo kanadské borovice. Dýhové pásky se před nalepením skládají do bloků paralelně s vlákny a lisují se pásovými lisy s mikrovlnným ohřevem. Výrobou vzniknou nosníky o tloušťce 9 - 18 cm, šířce 24 – 45 cm a délce 20 m. Parallam se vyznačuje svou typickou texturou.

LSL – Laminet strand lumber (vrstvené dřevo z dlouhých třísek) - např. Intrallam

Výroba Intrallamu se provádí lepením velkých třísek převážně osikového dřeva a slouží především jako náhrada za dražší vrstvené dřevo. Po slepení, formování a lisování třísek o rmaximálních rozměrech 30x300 mm vzniknou desky o tloušťce až 14 cm.

DeltaStrnad

Vyrábí se z cca 1,2 m dlouhých přířezů, ze kterých jsou zhotoveny dřevěné částice ve tvaru rovnostranného trojúhelníku s délkou strany 9,5 mm. Na částice se před lisováním nanese lepidlo a dále jsou částice formovány a orientovány paralelně s delší stranou nosníku a zároveň se provádí délkové napojování překrytím v délce cca 5 cm. Tvar částic umožňuje vyhovující propojení do jednoho celku, tudíž je možno pro výrobu použít i dřeviny s vyšší hustotou, například buk nebo javor.

---

[9] Vaverka, J., Havířová, Z., Jindrák, M., a kol.. Dřevostavby pro bydlení. 1.vydání. Praha: Grada, 2008. 376 s. ISBN 978-80-247-2205-4.
[13] Böhm, M., Reisner, J., Bomba, J.. Materiály na bázi dřeva. 1.vydání. ČZÚ FLD Praha, 2012. Ph.D. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6

5.1.6. ÚPRAVY VLASTNOSTÍ DŘEVA

Chemicky modifikované dřevo

Tato úprava dřeva způsobuje, že dřevo je odolné proti dřevokazným houbám a dále nebobtná ani nesesychá. Modifikace dřeva je zajištěna náhradou hydroxylové skupiny OH v molekulární struktuře dřeva, za větší methylové skupiny CH_3.[5] Dřevo najde své využití například při výrobě oken, okenic a lepených prvků pro mostní konstrukce.

Tepelně upravené dřevo

Tato úprava se provádí různými postupy už asi deset let a roční výrobní kapacity pro tepelně upravené dřevo v Evropě přesahují 50 000 m^3. Při této úpravě se dřevo ohřívá při vyloučení kyslíku v průběhu více fází na teplotu až 250 ˚C. Toto ošetření, z části také stupňované přidáním vlhkosti a přetlakem, vede k chemickým změnám především složek, které vstřebávají nebo vážou vlhkost. Výhodou této úpravy je především redukce přijímání vlhkosti z okolního vzduchu, redukce deformací sesycháním a bobtnáním, rozměrová stabilita, lepší odolnost proti biotickým činitelům. Avšak tepelným zušlechtěním se zmenšuje pevnost dřeva a dřevo se skládá křehčím. [4]

5.1.7. POŽÁRNÍ ODOLNOST DŘEVĚNÝCH NOSNÝCH KONSTRUKCÍ

Nosné konstrukce se musí dimenzovat tak, aby po určitou dobu odolávaly ohni. Tato doba je různá (podle koncepce požární ochrany) a stanovuje se dle protipožárních předpisů a závisí na užití budovy a například na počtu podlaží. Cílem požárního úseku je prostorově omezit šíření požáru, usnadnit likvidaci požáru a omezit možné vzniklé škody. Vznik požáru u dřevěného nosného prvku má také zásadní vliv na statiku konstrukce.

Požární odolnost nosných konstrukčních prvků může být zajištěna použitím obkladů s protipožární funkcí. Tato metoda má výhodu v tom, že vnitřní vrstva konstrukce (izolace, nosné sloupky, aj.) se nezapálí a proto na ni nejsou kladeny žádné další požadavky požární odolnosti. Dále může být požární odolnost zajištěna celou konstrukcí stavebního prvku, kdy vnitřní vrstva konstrukce také přispívá k požární odolnosti. Celá konstrukce musí vyhovovat určitým požadavkům na tloušťky jednotlivých vrstev a vlastnosti materiálu.

---

[4] KOLB, Josef. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2008, 320 s. ISBN 978-80-247-2275-7.
[5] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*, 1. vydání, ČKAIT s.r.o., Sokolská 15, Praha 2 - 148. publikace, 172 s., ISBN 80-86769-72-0.

Normy vztahující se k požární odolnosti dřevěných konstrukcí jsou zejména tyto:

- ČSN 73 0833. Požární bezpečnost staveb – Budovy pro bydlení a ubytování.
- ČSN 73 0802. Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty.
- ČSN EN 1363-1. Zkoušení požární odolnosti – Část 1: Základní požadavky.
- ČSN EN 13501-1. Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí.

Kritéria požární odolnosti pro konstrukční prvky – tzv. mezní stavy jsou: [14]

- R – nosná funkce – mezní stav únosnosti a stability
- E – požárně dělící funkce – mezní stav celistvosti
- I – tepelně izolační funkce – mezní stav izolační schopnosti
- W – mezní stav radiace

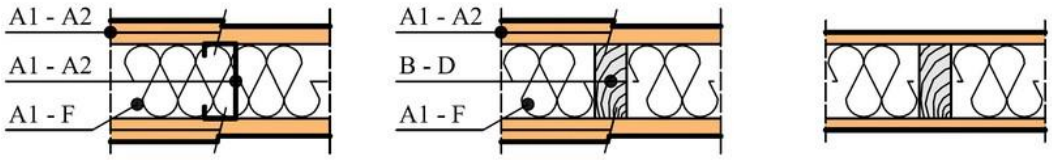
Dřevěné prvky bez dodatečných úprav je možné zařadit dle klasifikační normy ČSN EN 13501 z hlediska reakce na oheň do třídy D,E a F (materiály středně až lehce hořlavé – závisí dle dřeviny). Dále se dřevěné konstrukční části řadí do skupiny DP2 a DP3. [15]

- skupina DP2 – tato konstrukce nezvyšuje v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru. Za konstrukci tohoto typu je považována například stěna s dřevěnou nosnou konstrukcí opláštěná výrobky třídy reakce na oheň A1 a A2 (např. deskové materiály, jejichž tloušťka byla ověřena zkouškou E15 nebo je alespoň 12 mm, a to bez ohledu na tepelnou či zvukovou izolaci uvnitř stěny). Požární odolnost těchto konstrukcí většinou nepřesahuje 45 minut.
- skupina DP3 – tato konstrukce zvyšuje v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru (jsou zde zahrnuty podstatné složky konstrukcí, které nesplňují požadavky na konstrukce DP2 či DP1). Tato skupina má požárně méně chráněné konstrukční prvky oproti konstrukci DP2 nebo zcela nechráněné.

Většina dnes používaných konstrukcí pro dřevostavby, byť opláštěných protipožárními deskami, je druhu DP3, avšak může u nich být dosažena požární odolnost až 90 nebo 120 minut. [16]

---

[14] ČSN EN 1363-1. Zkoušení požární odolnosti – Část 1: Základní požadavky. Praha: ÚNMZ, 2012.
[15] Dufková, M.,ČVUT Praha. stavba.tzb-info.cz. Požadavky na požární bezpečnost dřevostaveb. 28.2.2011. [online]. Dostupné z: http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby-nove/7184-pozadavky-na-pozarni-bezpecnost-drevostaveb
[16] Pokorný, M.,ČVUT Praha. stavba.tzb-info.cz. Hlediska požární bezpečnosti dřevostaveb v České republice, 1. díl. 18.11.2013. [online]. Dostupné z: http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/10599-hlediska-pozarni-bezpecnosti-drevostaveb-v-ceske-republice-1-dil



a) b) c)

Obrázek 2: Schématické znázornění nosné dřevěné sendvičové konstrukce –
a) DP1; b)DP2; c)DP3; poznámka: A1-F = požadované třídy reakce na oheň
Zdroj: [[16] Pokorný, M.,ČVUT Praha]

Třídy reakcí na oheň jsou ukazatelem, jak který výrobek přispívá svou hořlavostí k rozvoji a intenzitě vznikajícího požáru. Dle ČSN EN 13501-1[17] rozeznáváme celkem 7 tříd s označením A1, A2, B, C, D, E a F. Třídy A jsou nehořlavé a třídy B až F jsou výrobky s postupně zvyšující se hořlavostí.

Tabulka 1: Třídy reakce na oheň různých stavebních výrobků
Zdroj: [[16] Pokorný, M.,ČVUT Praha]

Třída reakce výrobku na oheň	**Obecný příklad stavebního výrobku**	
Nehořlavé výrobky	A1	Deska na bázi vermikulitu, kalciumsulfátu nebo cementu Tepelný izolant z minerálních vláken
	A2	Deska sádrokartonová nebo sádrovláknitá
Hořlavé výrobky	B	Deska cementotřísková [1)]
	C	---
	D	Konstrukční dřevo (rostlé, lepené), desky OSB, překližované, třískové
	E	Tepelné izolace z dřevovláknitých desek, fasádního expandovaného polystyrenu, ovčí vlny nebo foukané celulózy (papír, dřevo) [2)]
	F	Výrobky s neprokázanou třídou reakce na oheň
Poznámka: [1)] Údaje dle ČSN 73 0810, Příloha A [2], výrobce desek CETRIS uvádí třídu reakce na oheň A2. [2)] Výrobce CIUR uvádí pro foukanou celulózu (papír), CLIMATIZER třídu reakce na oheň C [3].		

V zápisu požární odolnosti stěny se vyskytuje jeden mezní stav či kombinace více mezních stavů, klasifikační doba a obvykle se uvádí i druh konstrukční části – např. REI 30 DP2, EW 30 DP1. Mezní stavy pro různé typy stavebních konstrukcí definuje norma ČSN 73 0810[18].

Například obvodová stěna hodnocená pro vnější požár nebo nosná požární stěna oddělující dva požární úseky musí vykazovat mezní stavy REI (nenosná stěna pouze EI), obvodová stěna pro vnitřní požár REW (nenosná stěna EW). Požadovaná požární odolnost konstrukce vychází z požárně bezpečnostního řešení, jakožto nedílné součásti projektové dokumentace stavby a z příslušných platných norem.

---

[16] Pokorný, M.,ČVUT Praha. stavba.tzb-info.cz. Hlediska požární bezpečnosti dřevostaveb v České republice, 1. díl. 18.11.2013. [online]. Dostupné z: http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/10599-hlediska-pozarni-bezpecnosti-drevostaveb-v-ceske-republice-1-dil

[17] ČSN EN 13501-1. Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň. Praha: ÚNMZ, 2010.

[18] ČSN 73 0810. Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. Praha: ÚNMZ, 2009

5.2. Materiály nenosné dělící

Velkoplošné deskové materiály plní v mnoha skladbách konstrukcí obvodového pláště budovy důležitou roli. U většiny novodobých konstrukčních sytémů dřevostaveb přenášejí zatížení účinkem vodorovných sil (větru), dále mohou plnit funkci vzduchotěsnou, izolační či parobzdnou. Některé deskové materiály je možno také použít do konstrukce podlah nebo stropu.

5.2.1 MATERIÁLY Z MASIVNÍHO DŘEVA

5.2.1.1 Obklad stěn z rostlého dřeva

Pro obklad stěn vnitřních nebo obvodových může být využito řezivo z rostlého dřeva, především prkna (řezivo tenší než 40 mm) a fošny (řezivo tloušťky 40 – 100 mm).

5.2.1.2 Spárovky

Jedná se o desky vytvořené vzájemným šířkovým slepením jednotlivých přířezů masivního dřeva. Jednou z největších předností tohoto materiálu je zachování vzhledu rostlého dřeva. Spárovky se využívají nejvíce na výrobu nábytku, ale mohou být použity i na obklady pohledových konstrukcí a ploch.

5.2.1.3 Biodesky

Jedná se o křížem slepené tři vrstvy spárovek. Mezi příznivé vlastnosti biodesek je odstranění anizotropního charakteru desky a větší tvarová stabilita. Oproti aglomerovaným materiálům se u tohoto typu desek vyskytuje výrazně nižší množství lepidla. Využití těchto desek je hlavně ve stolařství a truhlářství, avšak také pro obklady stěn a stropů. Desky lepené melamin-formaldehydovým lepidlem se vyrábějí pro použití ve stavebnictví (horší kvalita C), kde jsou využity pro nosné konstrukce nebo bednící dílce. [13]

5.2.2 MATERIÁLY NA BÁZI DŘEVA PRO NENOSNÉ ÚČELY

5.2.2.1 Překližky – výrobek z dýh

Jedná se o desky vyráběné křížovým slepením dýh, u kterých jsou potlačeny některé nežádoucí vlastnosti masivního dřeva, například anizotropie a výrazné snížení bobtnání či

---

[13] Böhm, M., Reisner, J., Bomba, J.. Materiály na bázi dřeva. 1.vydání. ČZÚ FLD Praha, 2012. Ph.D. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6

sesychání. Použitím různých dřevin, lepidel, úpravou povrchu, volbou počtu vrstev a tlouštěk jednotlivých dýh vznikají překližky různého estetického vzhledu a vlastností. Překližky se využívají v truhlářství, nábytkářství a ve stavebnictví. Stavební vodovzdorné překližky je možné použít pro opláštění budov, lešenové podlážky a bednící desky a jejich tloušťka se většinou pohybuje okolo 12 – 20 mm. Stavební překližky jsou nejčastěji výráběny z buku a jsou určené pro přímý styk s vlhkostí – například při betonáži.

5.2.2.2 Desky z velkoplošných třísek

- *Desky OSB (Oriented strand board)*

Jedná se o desky vyráběné lisováním dřevních částí uspořádaných do vrstev (nejčastěji tří), které jsou vzájemně orientovány do pravého úhlu a nakonec za použití tlaku a teploty spojeny voděodolným lepidlem. Částečné zamezení nežádoucích vlastností jako je anizotropie či tvarová nestálost je zde zajištěna uložením jednotlivých vrstev třísek na sebe, a to tak že střední vrstvy svírají pravý úhel s třískami v povrchových vrstvách. Avšak toto způsobuje rozdílnost fyzikálních a mechanických vlastností desek v příčném a podélném směru, jelikož jen jedna vrstva desky je orientovaná kolmo na směr výrobního toku a zbylé dvě vrstvy jsou po směru. Z toho vyplývá, že například pevnost v ohybu v podélném směru je cca 2x větší než ve směru příčném a modul pružnosti ve směru podélném je asi 2,5x větší než ve směru kolmém. Při použití desek do konstrukce je tedy zapotřebí zohlednit směr uložení desky. OSB desky se používají hlavně ve stavebnictví, kde postupně nahrazují překližky. [5] OSB deska má oproti překližce o 25 – 30% vyšší tloušťkové bobtnání a s tím spojené ztráty pevnosti, avšak tuto nevýhodu vyvažuje cca o 25% nižší cena za OSB desky, spojená s produktivnější výrobou a nižšími nároky na vstupní surovinu. [13] Desky z orientovaných třísek se používají zejména jako konstrukční materiál stěn, střech i podlah dřevostaveb, dále pro výrobu speciálních dřevěných nosníků a sendvičových panelů. Druhotně mohou být použity i jako dočasné oplocení staveniště nebo pro výrobu palet či obalových materiálů. K dostání jsou OSB desky o různých vlastnostech a povrchových úpravách, například OSB desky typu Airstop nebo Superfinish vyráběné společností Kronospan.

- *Multifunkční desky – QSB (Quality Strand Board)*

Tyto desky mohou být možnou alternativou za desky OSB – jedná se o jednovrstvé třískové

---

[5] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*, 1. vydání, ČKAIT s.r.o., Sokolská 15, Praha 2 - 148. publikace, 172 s., ISBN 80-86769-72-0.
[13] Böhm, M., Reisner, J., Bomba, J.. Materiály na bázi dřeva. 1.vydání. ČZÚ FLD Praha, 2012. Ph.D. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6

desky, u kterých jsou ploché netříděné třísky rozvrstveny neuspořádaně a doplněny vyšším podílem jemných třísek. Při této výrobě se spotřebuje větší množsví lepidla, což způsobuje větší hmotnost desek. Multifunkční desky mají stejnou pevnost v obou směrech, hladký povrch a mohou být využity pro stavební konstrukce, ale i pro výrobu nábytku či obalů.

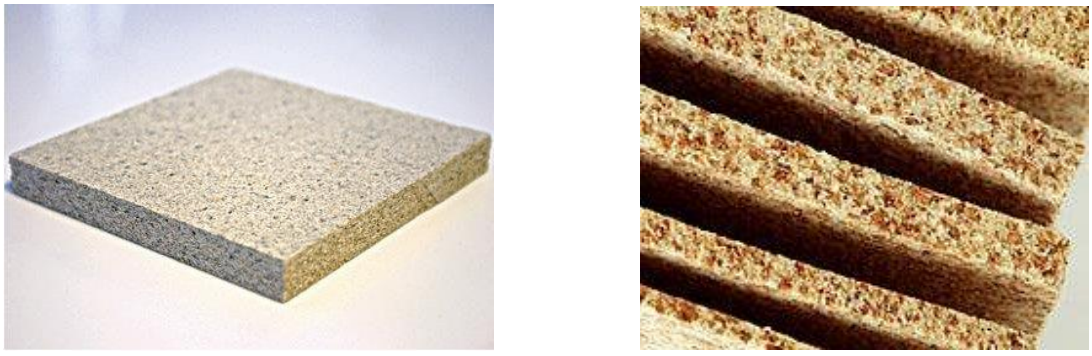
5.2.2.3 Dřevotřískové desky

Vznikem výroby těchto desek se zásadně změnilo využití zbytkového dřeva, které nebylo předtím v dostatečné míře využito. Vlastnosti těchto desek jsou jako u většiny ostatních desek z materiálů na bázi dřeva ovlivněny řadou činitelů, mezi které patří například velikost třísek, druh dřeviny a také typ lepidla. Největší výhodou výroby desek je využití zbytkového dřeva a dále cena, jelikož tyto desky jsou nejlevnějším druhem aglomerovaných materiálů. Nevýhodou těchto desek jsou horší mechanické vlastnosti a dále malá odolnost proti vlhkosti, avšak je možné tyto vlastnosti eliminovat například vhodným konstrukčním řešením výrobků nebo použitím lepidel. Dřevotřískové desky s povrchem z lamina či folie se využívají nejčastěji v nábytkářském průmyslu.

5.2.2.4 Modifikované třískové desky

Desky se vyrábějí přidáním ostatních materiálů do základní třískové desky.

- Protipožární desky Grenamat – vyrábějí se z dřevěných třísek, expandovaného vermikulitu (směs magnézia, hliníku a železitého silikátu) a organických pojiv. Vyrábějí se v provedeních jako hořlavé, nesnadno hořlavé a těžce hořlavé. Desky se využívají pro obklady nosných konstrukcí, pro konstrukce příček a požárních uzávěrů.
- Ohýbatelná dřevotříska Recoflex – desky se vyrábí z třísek, korkové drti, latexového zrna a polyuretanového pojiva. Používá se spíše pro nábytkářský průmysl.



Obrázek 3: Modifikované třískové desky – Grenamat [vlevo] a Recoflex
Zdroj: [[19] http://www.n-i-s.cz *]*

[19] NIS – Nábytkářský informační systém. www.n-i-s.cz. Aglomerované materiály s přídavkem nedřevěných materiálů. [online]. Dostupné z: http://www.n-i-s.cz/cz/aglomerovane-materialy-s-pridavkem-nedrevenych-materialu/page/216/

5.2.2.5 Dřevovláknité desky

Výroba těchto desek vzniká z dřevěných vláken, které vznikají při hydrotermické úpravě a rozvláknění dřevěných štěpek. Dřevěná vlákna jsou vrstvena a lisována rozdílným tlakem a to buď za použití lepidla nebo bez jeho přidání. Podle stupně lisování vznikají desky o různé hustotě a pevnosti, které se dělí na měkké, polotvrdé nebo tvrdé.

- Měkká DVD – je známa pod obchodním názvem Hobra (již neexistující) nebo Hofatex. Desky se používají zejména jako izolace vnějších stěn nebo stropů, při stavbě příček nebo jako podklad do podlah. Jako finální úprava desek pro stavební účel může být tenkovrstvá omítka.
- Polotvrdá DVD – známá pod označení MDF (Medium Density Fiberboard). Desky MDF se vyznačují homogenní strukturou v celém průřezu desky, což umožňuje čisté opracování frézováním a profilováním, dále poměrně vysokou pevností v tahu kolmo na plochu. Nejvíce jsou využívány na výrobu nábytku.
- Tvrdá DVD – vyznačuje se vysokou hustotou, homogenitou a v porovnání s překližkou horšími mechanickými vlastnostmi ale také nižší cenou. Největší využití mají tyto desky na výrobu zad nábytku, dna zásuvek nebo interiérových obkladů.

Obrázek 4: Měkká deska DVD - Hofatex
Zdroj: [[20] http://www.hobra-hofatex.cz *]*

Obrázek 5: Polotvrdá deska DVD - MDF
Zdroj: [[13] *Böhm, M., Reisner, J., Bomba, J.. Materiály na bázi dřeva, 2012]*

5.2.2.6 Desky pojené minerálními pojivy

Vyrábí se z dřevěných třísek nebo celulózových vláken a soudržnost částic zajišťují minerální pojiva, především cement nebo sádra. Tyto pojiva také zapříčiňují značnou tvrdost desek, vyšší hmotnost a obtížnost obrábění. Výhodou těchto desek je odolnost proti vlhkosti a požáru. Používají se nejčastěji ve stavebnictví, jak v interiéru tak v exteriéru.

[20] Hofatex. Hofatex Therm. http://www.hobra-hofatex.cz. [online]. Dostupné z: http://www.hobra-hofatex.cz/produkty/stropy/hofatex-therm

- *Desky z dřevité vlny a cementu – označované Heraklit*

Desky se vyrábí spojením krájených jemných podélných pásků dřeva (dřevité vlny) a cementu a následným lisováním. Hustota těchto desek je velmi nízká z důvodu vzduchových dutin v desce, avšak desky mají dobré tepelné a zvukové izolační schopnosti. Použití je většinou pro stavbu lehkých příček s tenkovrstvou omítkou.

- *Cementoštěpkové desky – například obchodní název Velox, Durisol*

Cementoštěpkové desky se vyrábějí z větších účelově vyráběných třísek a cementu. Desky jsou mrazuvzdorné, odolné proti vlhkosti a mají vysokou požární odolnost a dobré mechanické, zvukově a tepelně izolační vlastnosti. Často se využívají jako součást stavebních bednících systémů, suché příčky nebo jako nosič tepelné izolace.

- *Cementotřískové desky – označované např. Cetris*

Tyto desky patří k nejčastěji vyráběným druhům. Vyrábějí se z třísek o dvou frakcích – hrubé pro střední vrstvu a jemné pro vrstvu povrchovou. Jemná frakce je zajištěna domíláním v kladivových mlýnech. Dále se třísky smíchají s cementem, vodou a hydratačními přísadami a pomocí tří vrstvících zařízení se třísky řadí na sebe a lisují se. Desky jsou lehčí než cementovláknité desky a mezi další výhody patří pevnost, mrazuvzdornost a odolnost proti povětrnosti a plísním. Tyto materiály jsou častěji využívané nežli štepkocementové nebo sádrokartonové desky. Využívají se pro konstrukce stěn, příček, odvětrávaných fasád, podlah, podhledů i protipožárních zábran.

Obrázek 6: Desky CETRIS – CTD Cetris Basic [vlevo], CTD Cetris Profil [uprostřed] a CTD Cetris Finish [vpravo]
Zdroj: [[19] http://www.n-i-s.cz *]*

[13] Böhm, M., Reisner, J., Bomba, J.. Materiály na bázi dřeva. 1.vydání. ČZÚ FLD Praha, 2012. Ph.D. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6
[19] NIS – Nábytkářský informační systém. www.n-i-s.cz. Aglomerované materiály s přídavkem nedřevěných materiálů. [online]. Dostupné z: http://www.n-i-s.cz/cz/aglomerovane-materialy-s-pridavkem-nedrevenych-materialu/page/216/

- *Cementovláknité desky – označovaná Cembrit*

Výroba desek se skládá z celulózových vláken (buničiny), sysntetických vláken a minerálních pojiv. Díky velmi jemné struktuře a velmi vysoké hustotě jsou vhodné do konstrukce sendvičového panelu nebo jako obklady větraných fasád, vnitřních stěn a stropů.

- *Sádrovláknité desky – označovaná Fermacell*

Při výrobě těchto desek se využívají dřevní vlákna, často získaná rozmělněním starého papíru, a sádra. Vlákna jsou v celém průřezu rovnoměrně rozmístěna. Desky jsou nehořlavé, dají se dobře obrábět a používají se zejména v interiéru, nejčastěji jako vnitřní plášť sendvičových dřevostaveb.

- *Sádrotřískové desky*

Složení desek je z dřevěných třísek, sádry a vody. V porovnání s klasickými třískovými deskami mají desky s přídavkem sádry horší mechanické vlastnosti, avšak nevykazují žádné emise volného formaldehydu a mají lepší rozměrovou stabilitu a požární odolnost.[19] Používají se zejména ve stavebnictví pro konstrukce vnitřních stěn a podhledů.

- *Sádrokartonové desky (využívané taktéž do skladby konstrukce, avšak nepatří mezi materiály na bázi dřeva)*

Jedná se o desky ze sádrového jádra, ke kterému je pevně připojen silný trvanlivý papír. [21] Mají dobré požární a akustické vlastnosti a využívají se především na suché obložení zdí, pevné nebo zavěšené stropy a příčky, dále mají nižší pevnost a jsou poměrně levné.

5.2.2.7 Vylehčené deskové materiály

Charakterizuje je nižší hmotnost oproti původnímu materiálu použitému k výrobě a obvykle se takto označují desky s objemovou hmotností nižší než 450 kg/m^3. Do této skupiny desek můžeme zařadit voštinové desky a materiály se sendvičovou konstrukcí, u kterých je střední vrstva tvořena například polystyrenem nebo PUR pěnou a pohledovou vrstvu tvoří materiály na bázi dřeva. Nejčastější použití těchto desek je při výrobě nábytku a vnitřních dveří.

---

[13] Böhm, M., Reisner, J., Bomba, J.. Materiály na bázi dřeva. 1.vydání. ČZÚ FLD Praha, 2012. Ph.D. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6

[19] NIS – Nábytkářský informační systém. www.n-i-s.cz. Aglomerované materiály s přídavkem nedřevěných materiálů. [online]. Dostupné z: http://www.n-i-s.cz/cz/aglomerovane-materialy-s-pridavkem-nedrevenych-materialu/page/216/

[21] ČSN EN 520+A1 (72 3611). Sádrokartonové desky - Definice, požadavky a zkušební metody Praha: Český normalizační institut, 2010.

5.3. Přehled izolačních materiálů vhodných do skladby svislého opláštění budovy

5.3.1. TEPELNÉ IZOLACE

Tepelné izolace plní v opláštění budovy velmi důležitou roli, jelikož brání úniku tepla. Mají nízký stupeň tepelné vodivosti a mohou zastupovat i izolace akustické.

Pěnové materiály

Mezi tyto materiály patří například pěnové polystyreny EPS, extrudované polystyreny XPS, polyuretany a pěnové sklo.

- Pěnový polystyren – výhodou jeho použití je například nízká hmotnost, jednodušší manipulace a relativně nízká cena, naopak nevýhodou těchto materiálů může být nižší požární odolnost, nižší schopnost zvukové izolace, vyšší difúzní odpor a nasákavost.
- Extrudovaný polystyren – tento materiál má uzavřené póry a tudíž je nenasákavý a je možno ho použít do vlhkého prostředí. Tento polystyren je nutno chránit před UV zářením a jednou z nevýhod může být jeho vyšší cena.
- Polyuretany nebo polyizokyanuráty jsou velmi dobré tepelně izolační materiály s nízkou hodnotou součinitele tepelné vodivosti.
- Pěnové sklo – izolace odolná vůči vnějším vlivům, je mrazuvzdorná, nehořlavá, zdravotně nezávadná, recyklovatelná, má nízkou hmotnost a dobrou pevnost v tlaku. Nevýhodou je vysoká cena. Používá se nejčastěji jako izolace spodní stavby.

Minerální materiály

- Minerální vata - předností této izolace je nízký difúzní odpor a tím i vysoká paropropustnost, což umožňuje dobré odpařování vlhkosti ze svislé obvodové konstrukce a tak bývá často používána u difúzně otevřených konstrukcí. Další výhodou je také malá teplotní roztažnost, odolnost vůči vysokým teplotám, dobrá schopnost zvukové izolace. Nevýhodou může být vyšší hmotnost, větší spotřeba materiálu při aplikaci.
- Skelná vlna – dodává se ve formě desek, rolí nebo foukané izolace. Má podobné vlastnosti jako minerální vata. Při aplikaci foukáním může mírně sesedat, avšak pouze okolo objemu 2%. [22] Výrobou skelné vaty je možné také zpracovat určitý podíl recyklovaného skla. [23]

---

[22] Šála, J.. Zateplování budov. Praha, Grada Publishing, 2008. 176 s. ISBN 80-7169-833-4

[23] Asociace výrobců minerální izolace. Skelná vlna nebo celulóza. Převzato ze studie: NAHB Research Center, Inc..NAIMA Loose-Fill Settling Study. [online] Dostupné z: http://www.mineralniizolace.cz/skelna-vlna-nebo-celuloza-1310395487.html

Foukaná celulóza

Celulóza je materiál, který má velmi dobrý dopad na životní prostředí, má nízkou tepelnou vodivost a dobré akustické vlastnosti. Nyní je velmi rozšířená mezi nově vybudovanými dřevostavbami navrženými nejčastěji v pasivním standardu, avšak má tu nevýhodu, že při nedostatečném zhutnění v konstrukci sedá a celý foukaný prostor není vyplněn rovnoměrně. Většina výrobců uvádí míru sesednutí okolo 20%.[23] Celulóza je izolace z rozdrcených novin a tudíž je přirozeně hořlavá a je třeba ji před aplikací ošetřit tzv. retardéry hoření, avšak tyto chemické prostředky se mohou v průběhu času z izolace ztrácet. V případě jejího znehodnocení vlhkostí (např. při záplavách), není možné její opětovné použití.

Obrázek 7: Izolace foukanou celulózou
Zdroj: [[24] http://www.stavebnictvi3000.cz *]*

Dřevovláknité desky měkké

Viz článek 5.2.2.5..

Ostatní přírodní materiály

Mezi přírodní materiály patří konopí, ze kterého jsou vyráběny tepelně izolační desky či rouna, případně konopná foukaná sypká izolace. Postupně rozšiřujícím se materiálem v současnosti může být ovčí vlna, která je zdravotně nezávadná a je schopna pohltit velké množství vlhkosti. Mezi další přírodní materiály lze zařadit také slámu, korek nebo len.

---

[23] Asociace výrobců minerální izolace. Skelná vlna nebo celulóza. [online] Dostupné z: http://www.mineralniizolace.cz/skelna-vlna-nebo-celuloza-1310395487.html

[24] Stavebnictví 3000. Tepelné izolace – přehled, materiály, druhy, způsoby použití. [online] Dostupné z: http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tepelne-izolace-prehled-materialy-druhy-zpusoby-po/

5.3.2. PAROTĚSNÍCÍ VRSTVA V OBVODOVÉ KONSTRUKCI DŘEVOSTAVBY

Konstrukce obvodového pláště dřevostavby mohou být difúzně otevřené či uzavřené.

U difúzně otevřené konstrukce používáme parotěsnící vrstvu – tzv. parobrzdu z důvodu částečného omezení prostupu vodní páry do konstrukce. Parobrzdou ve skladbě stěny bývají často OSB desky nebo dřevovláknité MDF desky se zvýšeným difúzním odporem pro tento účel. Návrh konstrukčních vrstev se provádí tak, aby difúzní odpor materiálů směrem z interiéru do exteriéru klesal.

U difúzně uzavřené konstrukce je důležité, aby se vlhkost z vnitřního prostředí nedostala do konstrukce. Skladba je tedy řešena přidáním parotěsnící vrstvy – tzv. parozábrany, která díky vysokému difuznímu odporu nepropustí vodní páru z interiéru do konstrukce stěny. U této konstrukce jsou kladeny velmi vysoké nároky na spolehlivé provedení parotěsnící vrstvy, která musí plnit svoji funkci po celou dobu životnosti dřevostavby. Veškeré spoje musí být těsné. Nedoporučuje se dávat parozábranu ihned za interiérovou desku z důvodu možného porušení, například při montáži instalačních zařízení nebo při osazení vnitřních obrazů.

Parotěsnící vrstva [25] – je vrstva stavební konstrukce, která zabraňuje pronikání vodní páry obvykle z vnitřního prostředí do stavební konstrukce, kde může v důsledku poklesu teploty zkondenzovat a ohrozit tak funkci stavební konstrukce. Parotěsnící vrstvu tvoří buď parozábrana (nejčastěji PE nebo AL folie) nebo parobrzda (nižší hodnota ekvivalentní difúzní tloušťky oproti parozábraně a mohou ji tvořit například OSB nebo MDF desky).

5.3.3. MATERIÁLY PRO UTĚSNĚNÍ PROSTUPŮ V OBVODOVÉM PLÁŠTI

Jakékoliv netěsnosti v obvodovém plášti budovy mohou způsobit tepelné ztráty. Problematická místa netěsností mohou být například v detailech kolem oken, základů, v místech napojení vnitřních příček na obvodový plášť nebo v prostupech pro instalace.

K tomuto účelu se používají například speciální pásky – s vysokým či nízkým difúzním odporem, pro připojovací spáry oken, aj., dále pak manžety – především jako kruhová těsnění pro potrubí a kabely a dále mohou být použity různé typy tmelů.

---

[25] Slanina, P.. Odborný článek. Parotěsná vrstva – terminologie, rozdělení, navrhování. Tepelná ochrana budov. 2004. [online] Dostupné z: http://slanina.cz/publikace/

[26] Vodička, A., Mlejnek, P., Včelák, J. a kol.. Vlastnosti dřevostaveb. Může být vlhkost nepřítelem dřevostaveb?. 2015. [online] Dostupné z: http://stavba.tzb-info.cz/vlastnosti-drevostaveb/12847-muze-byt-vlhkost-nepritelem-drevostaveb

6. Návrh skladeb opláštění budovy a jednotlivá tepelně technická posouzení

Obvodový plášť budovy musí splňovat řadu požadavků. Musí plnit tepelnou funkci a také chránit budovu proti povětrnosti, průvzdušnosti, vlhkosti, hluku a požáru. [4] V případě nosné konstrukce obvodového pláště musí plnit také funkci statickou. Zajištění všech těchto požadavků závisí zejména na vhodném návrhu skladby obvodové konstrukce při použití vhodných materiálů a technologie.

Úvodem je vždy popsána skladba jednotlivé konstrukce (dle označení A, B, C, D, E a F) a dále jsou uvedeny všechny vrstvy konstrukce s potřebnými parametry k výpočtu tepelného odporu konstrukce, kterými jsou tloušťka jednotlivé vrstvy a součinitel tepelné vodivosti značený **λ**. Tloušťka vrstvy je navržena a součinitel tepelné vodivosti je deklarován výrobcem materiálu. Samotná metodika výpočtu je zvolena dle Chmúrného [28] a v souladu s normou ČSN EN ISO 6946 [33]. Nejprve je tedy spočítán tepelný odpor **R** celé konstrukce a následně jsou provedeny kroky pro zjištění tepelného odporu konstrukce při prostupu tepla $\mathbf{R_T}$. Nakonec je vypočítán součinitel prostupu tepla **U**, který je porovnán s požadovanou hodnotou prostupu tepla dané konstrukce $\mathbf{U_N}$, kterou definuje norma ČSN 73 0540 – 2. [27] Jelikož cílem je navrhnout skladbu vyhovující požadavku pro pasivní budovy, je vypočítaná hodnota součinitele prostupu tepla **U** porovnána s požadovaným součinitelem prostupu tepla pro pasivní budovy značeným $\mathbf{U_{pas,20}}$. V případě, že konstrukce nevyhoví tomuto požadavku, bude proveden nový výpočet na základě zvětšení tloušťky izolace v konstrukci nebo alternativním řešením použitého materiálu.

Nejprve budou provedeny návrhy svislého obvodového pláště budovy označené A,B,C a D a dále bude doplňkově navržena konstrukce střechy a podlahy na terénu z důvodu možného komplexního tepelně-technického a ekonomického posouzení celé obálky budovy.

---

[4] KOLB, Josef. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2008, 320 s. ISBN 978-80-247-2275-7.
[27] ČSN 73 0540 – 2. Tepelná ochrana budov – část 2 - Požadavky. Praha, 2011
[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3
[33] ČSN EN ISO 6946 – 73 0558. Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda. Praha. Český normalizační institut, 2009.

Stručný popis analyzovaných konstrukcí:

Konstrukce A – nosná dřevěná rámová konstrukce, ke které jsou upevněny svislé latě nesoucí bednící desky z materiálů na bázi dřeva a výplň mezi deskami je tvořena celulózovou izolací.

Konstrukce B – nosná sloupková konstrukce tvořená nosníky tvaru I opláštěná deskami z materiálů na bázi dřeva a vnitřní izolaci tvoří sláma.

Konstrukce C – nosná sloupková konstrukce tvořená nosníky tvaru I a dřevěnými hranolky, opláštění tvoří materiály na bázi dřeva a mezi nosné prvky je umístěna ovčí vlna.

Konstrukce D – tepelněizolační pórobetonové tvárnice Ytong se zateplením z desek Multipor.

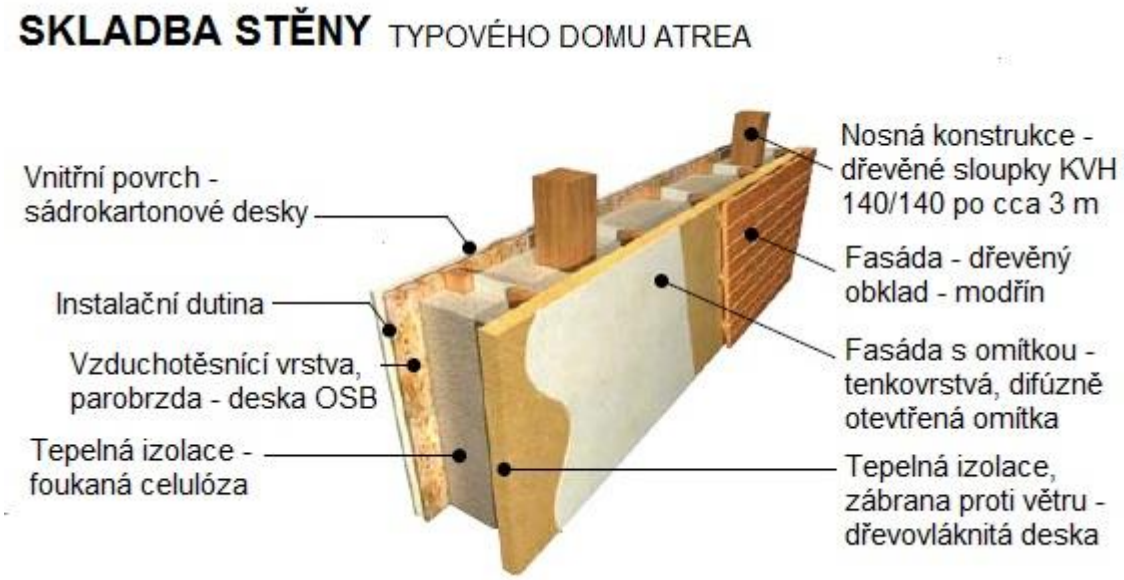
Konstrukce E – střešní plášť pultové střechy je složený z nosníků tvaru I, které jsou opláštěny deskami na bázi dřeva a výplň tvoří tepelná celulózová izolace typu Vatizol. Ze spodní části jsou nosníky opláštěny deskami OSB a sádrokartonem a ve vrchní části tvoří záklop desky Steico Therm a Steico Universal. Nad deskami typu Steico je větraná mezera, kde jsou postupně umístěny kontralatě a latě nesoucí lehkou střešní krytinu.

Konstrukce F – podlahu na terénu tvoří směrem z interiéru vrstvy - keramická dlažba vložená do lepidla, desky na bázi dřeva typu Fermacell, tepelná izolace EPS Stabil S, vyrovnávací podsyp, hydroizolace z asfaltových pásů vč. penetrace, betonová deska, hutněný podsyp ze štěrkodrti a geotextilie uložená na terénu.

Níže je uveden podrobnější popis a tepelně technické posouzení jednotlivých konstrukcí.

6.1. Konstrukce A

Jedná se o nosnou dřevěnou rámovou konstrukci navrženou dle typového pasivního domu nabízeného společností Atrea [29]. Obecná skladba charakteristického úseku obvodové konstrukce je patrná z obrázku č. 8.



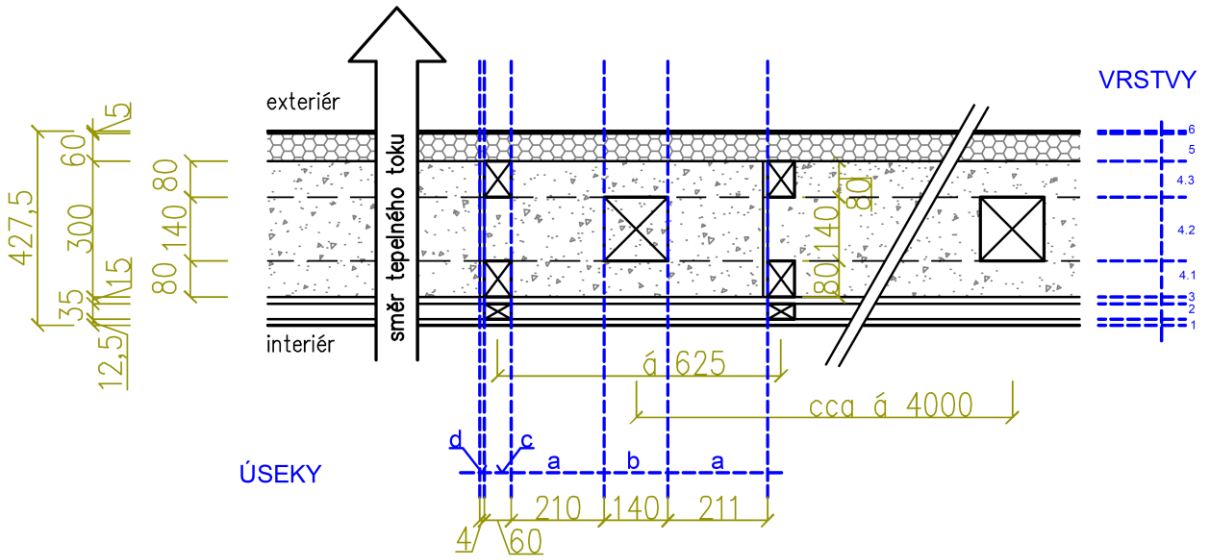
Obrázek 8: Vzorová skladba konstrukce obvodového pláště A
Zdroj: [[29] Pasivní domy Atrea. Typový dům ATREA – katalog (PDF 2,7 MB) [online] Dostupné z: http://www.domyatrea.cz/cz/ke-stazeni]

Navržená konstrukce se skládá z nosných svislých sloupů o rozměrech 140/140 mm, např. KVH DUO, v charakteristické rozteči cca 4 m a ztužujících vodorovných trámů. Vodorovné nosné trámy mají ve spodní části průřez 140/140 mm a v horní části rozměr 140/240 mm. K těmto vodorovným nosníkům jsou kotveny svislé latě o průřezech 60/80 mm a na tyto latě jsou dále upevněny bednící desky z materiálů na bázi dřeva. Z vnější strany je tvoří měkké dřevovláknité desky Steico Protect, které slouží v konstrukci také jako tepelný izolant. Z vnitřní strany je základ proveden z OSB desek, tvořících v konstrukci parobrzdu. Veškerý vnitřní prostor je tvořen foukanou celulózovou izolací typu Vatizol. Vnější omítka je navržena jako difúzně otevřená. Mezi výhody této konstrukce patří zejména zamezení tepelných mostů v místě nosného prvku konstrukce. Schematické rozmístění nosných sloupků v půdoryse navrženého rodinného domu, tvoří přílohu č. 8 této diplomové práce. Detaily ukotvení latí k nosné konstrukci a detail řešení v rohu objektu tvoří přílohy č. 9 a 10.

[29] Pasivní domy Atrea. Typový dům ATREA – katalog (PDF 2,7 MB) [online] Dostupné z: http://www.domyatrea.cz/cz/ke-stazeni

Z důvodu nehomogenní konstrukce v jednotlivých vrstvách konstrukce A a tudíž vlivu tepelných mostů v konstrukci je zvolen výpočet metodou charakteristického výseku, jehož metodika spočívá ve výpočtu součinitele prostupu tepla stanoveném ze zjištěných hodnot horní a dolní meze tepelného odporu při prostupu tepla.

Navržená skladba konstrukce A je zřejmá z obrázku č. 9 a vstupní hodnoty pro výpočet tepelně technických parametrů dále uvádí tabulka č.2.



Obrázek 9: Návrh skladby obvodového pláště – konstrukce A
Zdroj: [vlastní zpracování]

Tabulka 2: Vstupní hodnoty jednotlivých vrstev skladby konstrukce A.
Zdroj: [vlastní zpracování]

Vrstvy	Úseky	Název skladby	d_j [m]	λ_j [W/m K]	R_a [(m²K)/W]	R_b [(m²K)/W]	R_c [(m²K)/W]	R_d [(m²K)/W]
1	a,b,c,d	Sádrokarton	0,0125	0,2200	0,057	0,057	0,057	0,057
2	a,b,d	Vzduch. mezera	0,0350	0,1913	0,183	0,183	--------	0,183
2	c	Laťový rošt	0,0350	0,1800	--------	--------	0,194	--------
3	a,b,c,d	OSB desky	0,0150	0,1300	0,115	0,115	0,115	0,115
4	a	Celulóza - Vatizol	0,3000	0,0430	6,977	--------	--------	--------
4.1	b	Celulóza - Vatizol	0,0800	0,0430	--------	1,861	--------	--------
4.2	b	Trám 140/140	0,1400	0,1800	--------	0,777	--------	--------
4.3	b	Celulóza - Vatizol	0,0800	0,0430	--------	1,861	--------	--------
4.1	c	Lať 80/60	0,0800	0,1800	--------	--------	0,444	--------
4.2	c	Celulóza - Vatizol	0,1400	0,0430	--------	--------	3,256	--------
4.3	c	Lať 80/60	0,0800	0,1800	--------	--------	0,444	--------
4	d	Překližka	0,0030	0,1300	--------	--------	--------	2,308
5	a,b,c,d	DVD Steico Protect	0,0600	0,0520	1,1539	1,1539	1,1539	1,1539
6	a,b,c,d	Lepící stěrka	0,0020	0,8000	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
7	a,b,c,d	Omítka	0,0030	0,7000	0,0043	0,0043	0,0043	0,0043
					R_a **Σ8,493**	R_b **Σ6,015**	R_c**Σ 5,671**	R_d**Σ 3,823**

Legenda k tabulce č.2:

d_j	je tloušťka j-té vrstvy	[m]
λ_j	je součinitel tepelné vodivosti v j-té vrstvy	[W/(m K)]
R_{a-d}	jsou tepelné odpory jednotlivých vrstev dle úseků	[(m^2 K)/W]

Tepelné odpory jednotlivých vrstev v tabulce č. 2 jsou určeny ze vztahu (11).

Jelikož neznáme ekvivalentní hodnotu součinitele tepelné vodivosti vzduchové mezery, je možno ji vyjádřit ze vzorce (6).

kde:	d	je tloušťka vzduchové mezery	[m]
	R_g	tepelný odpor uzavřené mezery určený vztahem (1)	[(m^2 K)/W]

Před výpočtem tepelně technických vlastností je třeba nejdříve určit tepelný odpor vzduchové mezery a to na základě vztahu[28]:

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \qquad [(m^2 \bullet K)/W\ ] \tag{1}$$

kde:	h_a	součinitel přestupu tepla vedením a prouděním	$[W/(m^2 \bullet K)]$
	h_r	součinitel přestupu tepla sáláním	$[W/(m^2 \bullet K)]$

Tepelný tok v konstrukci zaujímá vodorovný směr a je zde třeba vybrat větší z hodnot součinitele přestupu tepla vedením a prouděním h_a :

$$h_a = 1{,}25 \quad [W/(m^2 \bullet K)] \tag{2}$$

$$h_a = \frac{0{,}025}{d} \quad [W/(m^2 \bullet K)] \tag{3}$$

kde: d vyjadřuje tloušťku vzduchové mezery, tedy zde 0,035 m.

[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3

Hodnota h_a určená dle vztahu (3):

$$h_a = \frac{0{,}025}{0{,}035} = 0{,}714 \;\; W/(m^2 \bullet K)$$

Porovnání konstanty h_a určené vztahem (2) a hodnoty h_a vypočítané dle vztahu (3):

$$0{,}714 \;\; W/(m^2 \bullet K) \;\; < \;\; 1{,}25 \;\; W/(m^2 \bullet K)$$

Do vztahu (1) tedy dosadíme větší hodnotu h_a, tedy 1,25 $W/(m^2 \bullet K)$.

Pro výpočet vztahu (1) je dále nutno určit hodnotu h_r. Součinitel přestupu tepla sáláním h_r lze vypočítat ze vztahu:

$$h_r = 4 \bullet c_\varepsilon \bullet E \bullet T_m{}^3 [W/(m^2 \bullet K^4)] \qquad (4)$$

kde:	c_ε	Stefan-Bolzmanova konstanta	[W/(m^2 K)]
	E	součinitel vzájemného sálání	[-]
	T_m	průměrná termodynamická teplota povrchu	[K]

Stefan-Bolzmanova konstanta je vyjádřena:

$$c_\varepsilon = 5{,}67 \bullet 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{ K}^4\text{)}$$

Součinitel vzájemného sálání je definován vztahem:

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0{,}9} + \frac{1}{0{,}9} - 1} = 0{,}818 \qquad (5)$$

kde: $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ hodnoty emisivity materiálů obklopujících uzavřenou vrstvu [W/(m^2 K)]

Za hodnoty $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ se do výpočtu dosazují upravené hodnoty emisivity povrchu, avšak pro zjednodušení výpočtu jsou zde použity hodnoty normálové emisivity povrchu, tedy:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0{,}9$$

Průměrná termodynamická teplota je dále definována takto:

$$T_m = 283K$$

Součinitel přestupu tepla sáláním dle vztahu (4) lze tedy vypočítat následně:

$$h_r = 4 \bullet 5{,}67 \bullet 10^{-8} \bullet 0{,}818 \bullet 283^3 = 4{,}2 \;\; W/(m^2 \bullet K)$$

Tepelný odpor vzduchové mezery dle vztahu (1) a za použití výše vypočítaných hodnot h_a a h_r určíme takto:

$$R_g = \frac{1}{1{,}25 + 4{,}2} \quad [(m^2 \bullet K)/W] \qquad\qquad R_g = 0{,}183 \; (m^2 \bullet K)/W$$

Vypočítanou hodnotu tepelného odporu vzduchové vrstvy R_g dosadíme do tabulky č.2, a součinitel tepelné vodivosti této vrstvy dopočítáme dle vztahu:

$$\lambda_{vzduch._mezery} = \frac{d}{R_g} \; [W/(m \bullet K)] \qquad (6)$$

Dále je nutno ověřit, zda lze navrženou konstrukci posuzovat jako konstrukci s jednosměrným šířením tepla, a to výpočtem tzv. maximální vzniklé chyby. Pro tento výpočet byla skladba rozdělena na dílčí úseky, jejichž vrstvy jsou homogenní. Nejprve musí být určen vztah[28] pro výpočet součinitele prostupu tepla včetně vlivu tepelného mostu, tedy:

$$U = \frac{2}{R'_T + R''_T} \quad [W/(m^2 \bullet K)] \qquad (7)$$

kde:

U	je součinitel prostupu tepla	[W/(m^2 K)]
R'_T	horní mez tepelného odporu při prostupu tepla	[(m^2 K)/W]
R''_T	dolní mez tepelného odporu při prostupu tepla	[(m^2 K)/W]

Hodnotu horní meze tepelného odporu R'_T vyjádříme ze vztahu:

$$\frac{1}{R'_T} = \left(\frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \frac{f_c}{R_{Tc}} + \frac{f_d}{R_{Td}} \right) \quad [(m^2 \bullet K)/W] \qquad (8)$$

kde:

R'_T	horní mez tepelného odporu při prostupu tepla	[(m^2 K)/W]
f_{a-d}	poměrné plochy dílčích úseků konstrukce	[-]
R_{Ta-d}	tepelné odpory při prostupu tepla ve směru tepelného toku pro dílčí úseky	[(m^2 K)/W]

[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3

Poměrné plochy f_{a-d} vyjádříme ze vzorce:

$$f_{a-d} = \frac{A_{a-d}}{A} [-] \quad (9)$$

kde: A_{a-d} plocha daného úseku konstrukce ozn. a, b, c, d [m^2]
A celková plocha konstrukce [m^2]

Délka celkového hodnoceného úseku konstrukce je 0,625 m a tloušťka skladby obvodové konstrukce je 0,4275 m. Celková plocha hodnoceného úseku je tedy:

$$A = (0{,}004 + 0{,}06 + 0{,}21 + 0{,}14 + 0{,}211) \bullet 0{,}4275 = 0{,}267 m^2$$

Následně je proveden výpočet poměrných ploch dle vztahu (9):

$$f_a = \frac{(0{,}21 + 0{,}211) \bullet 0{,}4275}{0{,}267} = 0{,}675$$

$$f_b = \frac{0{,}14 \bullet 0{,}4275}{0{,}267} = 0{,}224$$

$$f_c = \frac{0{,}06 \bullet 0{,}4275}{0{,}267} = 0{,}096$$

$$f_d = \frac{0{,}003 \bullet 0{,}4275}{0{,}267} = 0{,}005$$

Dále je třeba vyjádřit tepelné odpory při prostupu tepla R_{Ta-d} ve směru tepelného toku pro každý dílčí úsek:

$$R_{Ta-d} = R_{si} + R_{a-d} + R_{se} \quad (10)$$

kde: R_{Ta-d} tepelný odpor při prostupu tepla úsekem [$(m^2K)/W$]
R_{si} odpor při přestupu tepla – vnitřní strana [$(m^2K)/W$]
R_{se} odpor při přestupu tepla – vnější strana [$(m^2K)/W$]
R_{a-d} celkový tepelný odpor v daném úseku [$(m^2K)/W$]

Tepelné odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně určíme dle normy[30]:

$$R_{si} = 0{,}13\ (m^2 \bullet K)/W \qquad a \qquad R_{se} = 0{,}04\ (m^2 \bullet K)/W$$

Celkový tepelný odpor v daných úsecích značených a, b, c, d lze vyjádřit jako součet jednotlivých tepelných odporů v každé vrstvě. Pro výpočet tepelných odporů R_j jednotlivých vrstev v tabulce č.2 byl použit vztah[28]:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \qquad [(m^2 \bullet K)/W\,] \tag{11}$$

kde: d_j je tloušťka j-té vrstvy [m]

λ_j je součinitel tepelné vodivosti j-té vrstvy [W/(m*K)]

přičemž platí, že:

$R_{a-d} = \sum$ jednotlivých R_j v daných úsecích značených a, b, c, d.

Tepelné odpory při prostupu tepla jednotlivými úseky je možno vyjádřit dle vztahu (10) na základně hodnot R_{si}, R_{se} a celkovými R_{a-d} jednotlivých úseků dle tabulky č. 2.

$$R_{Ta} = 0{,}13 + 8{,}493 + 0{,}04 = 8{,}663\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_{Tb} = 0{,}13 + 6{,}015 + 0{,}04 = 6{,}185\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_{Tc} = 0{,}13 + 5{,}671 + 0{,}04 = 5{,}841\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_{Td} = 0{,}13 + 3{,}823 + 0{,}04 = 3{,}993\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

Horní mez tepelného odporu při prostupu tepla R'_T lze následně vypočítat ze vztahu (8):

$$\frac{1}{R'_T} = \left(\frac{0{,}675}{8{,}663} + \frac{0{,}224}{6{,}185} + \frac{0{,}096}{5{,}841} + \frac{0{,}005}{3{,}933}\right) = 0{,}132\ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R'_T = 7{,}585\ (m^2 \bullet K)/W$$

---

[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3
[30] ČSN 73 0540 – 3. Tepelná ochrana budov – část 3 - Návrhové hodnoty veličin. Praha, 2005.

Hodnotu dolní meze tepelného odporu R''_T lze dle Chmúrného [28] vyjádřit ze vztahu:

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + ... + R_7 + R_{se} \quad [(m^2 \bullet K)/W] \tag{12}$$

kde: R''_T dolní mez tepelného odporu při prostupu tepla [(m^2 K)/W]
R_{si} odpor při přestupu tepla – vnitřní strana [(m^{2}K)/W]
R_{se} odpor při přestupu tepla – vnější strana [(m^{2}K)/W]
$R_{1,2,..7}$ ekvivalentní tepelné odpory jednotlivých vrstev [(m^{2}K)/W]

Hodnoty tepelných odporů homogenních vrstev, tedy vrstev 1,3,5,6 a 7 jsou zřejmé z tabulky č. 2. Vrstva č. 2 a 4 není homogenní, proto je nutno vypočítat tepelný odpor této vrstvy kolmé na směr tepelného toku, a to ze vztahu[28]:

$$R_{het,k} = \frac{d_{het,k}}{\lambda_{het,k.}} \qquad [(m^2 \bullet K)/W] \tag{13}$$

kde: $d_{het,k}$ je tloušťka k-té heterogenní vrstvy [m]
$\lambda_{het,k}$ je součinitel tepelné vodivosti k-té heterogenní vrstvy [W/(m*K)]

Tloušťka heterogenních vrstev je zřejmá z tabulky č.2.

Součinitel tepelné vodivosti heterogenních vrstev je možno spočítat ze vztahu:

$$\lambda_{het.,k} = \lambda_{k,a} \bullet f_a + \lambda_{k,b} \bullet f_b + \lambda_{k,c} \bullet f_c + \lambda_{k,d} \bullet f_d \tag{14}$$

kde: $\lambda_{k,a-d}$ je součinitel tepelné vodivosti k-té vrstvy a dílčích úseků [W/(m*K)]
f_{a-d} poměrné plochy dílčích úseků konstrukce [-]

Tepelný odpor ve druhé vrstvě vypočítáme dle vztahu (13) a (14) takto:

$$\lambda_{het.,2} = 0{,}18 \bullet 0{,}508 + 0{,}18 \bullet 0{,}339 + 0{,}191 \bullet 0{,}146 + 0{,}18 \bullet 0{,}007 = 0{,}182 \quad W/(m^2 \bullet K)$$

$$R_{het,2} = \frac{0{,}035}{0{,}182} = 0{,}192 \ \ (m^2 \bullet K)/W$$

[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3

Čtvrtá vrstva je dle obrázku č. 9 ve směru kolmo na směr tepelného toku rozdělena do tří částí označených 4.1, 4.2 a 4.3. Tepelné odpory ve čtvrté vrstvě vypočítáme zvlášť podle jednotlivých částí a podle vztahu (13) a (14) takto:

$$R_{het,4} = \frac{d_{het,4.1}}{\lambda_{het,4.1}} + \frac{d_{het,4.2}}{\lambda_{het,4.2}} + \frac{d_{het,4.3}}{\lambda_{het,4.3}} \quad [(m^2 \bullet K)/W]$$

$$\lambda_{het,4.1} = 0{,}043 \bullet 0{,}508 + 0{,}043 \bullet 0{,}339 + 0{,}18 \bullet 0{,}146 + 0{,}13 \bullet 0{,}007 = 0{,}0636\ W/(m \bullet K)$$

$$\lambda_{het,4.2} = 0{,}043 \bullet 0{,}508 + 0{,}18 \bullet 0{,}339 + 0{,}043 \bullet 0{,}146 + 0{,}13 \bullet 0{,}007 = 0{,}0901\ W/(m \bullet K)$$

$$\lambda_{het,4.3} = 0{,}0636\ W/(m \bullet K) \quad \text{(vrstva 4.3 je totožná s vrstvou 4.1)}$$

$$R_{het,4} = \frac{0{,}08}{0{,}0636} + \frac{0{,}14}{0{,}0901} + \frac{0{,}08}{0{,}0636} = 4{,}07 \quad (m^2 \bullet K)/W$$

Následně sečteme tepelné odpory všech vrstev, tedy 1-7:

$$\sum R_{1-7} = 0{,}057 + 0{,}185 + 0{,}115 + 4{,}070 + 1{,}1539 + 0{,}0025 + 0{,}0043 = 5{,}5878\ (m^2 \bullet K)/W$$

Hodnotu $\sum R_{1-7}$ dále dosadíme do vztahu (12):

$$R''_T = 0{,}13 + 5{,}588 + 0{,}04 = 5{,}758\ (m^2 \bullet K)/W$$

Jakmile známe hodnoty horní meze R'_T a dolní meze R''_T tepelného odporu při prostupu tepla, lze dále vypočítat součinitel prostupu tepla dle vztahu (7):

$$U = \frac{2}{R'_T + R''_T} \quad [W/(m^2 \bullet K)]$$

$$U = \frac{2}{7{,}577 + 5{,}758} = 0{,}1552\ W/(m^2 \bullet K) \qquad (15)$$

Dále je třeba vypočítat maximální vzniklou chybu e spojenou s použitím vztahu (7):

$$e = 100 \bullet \frac{R'_T - R''_T}{2} \bullet U \quad [\%] \tag{16}$$

kde: e maximální vzniklá chyba použitím vztahu (7) [%]

R'_T horní mez tepelného odporu při prostupu tepla [(m^2 K)/W]

R''_T dolní mez tepelného odporu při prostupu tepla [(m^2 K)/W]

U je součinitel prostupu tepla [W/(m^2 K)]

Dle vztahu (16) vyjádříme hodnotu e:

$$e = 100 \bullet \frac{7{,}577 - 5{,}758}{2} \bullet 0{,}1552 = 14{,}11\%$$

Maximální přípustná chyba $e_{\max}$ dle normy **ČSN EN ISO 6946** [31] je dána takto:

$e_{\max} = 20\%$

Doporučená maximální přípustná chyba $e_{\max}$ je dle Chmúrného[28] dána takto:

$e_{doporuč.} = 10\%$

Vzájemné porovnání s vypočítanou hodnotou e dle postupu výpočtu dle Chmúrného [28]:

$e < e_{\max}$ $\qquad$ $e < e_{doporuč.}$

$14{,}11\% < 20\%$ $\qquad$ $14{,}11\% \geq 10\%$

Zjištěná chyba e je menší než maximální přípustná chyba $e_{\max}$, avšak dle Chmúrného [28] je doporučená hodnota $e_{\max}$ pouze do 10%. Pro srovnání výsledných hodnot součinitele prostupu tepla a chyby spojené s tímto výpočtem, bude dále proveden výpočet dolní meze tepelného odporu podle metodiky výpočtu dle Skotnicové [32]. Metodika výpočtu horní meze tepelného odporu je u obou použitých zdrojů totožná, tudíž vypočítaná hodnota R'_T vstupuje do následujícího výpočtu součinitele prostupu tepla.

---

[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3

[31] ČSN EN ISO 6946. Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda. Praha, 2008.

[32] Skotnicová, I.. Změny ve výpočtových metodách tepelně technických norem. VŠB-TUO.[online]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/60230/FAST-2006-6-1-205-skotnicova.pdf?sequence=4

Vztah pro výpočet dolní meze tepelného odporu dle Skotnicové[32].

$$\frac{1}{R_j} = \left(\frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \frac{f_c}{R_{cj}} + \frac{f_d}{R_{dj}} \right) \quad [(m^2 \bullet K)/W] \tag{17}$$

kde: R_j ekvivalentní tepelný odpor j-té vrstvy zřejmý z tabulky č.2 [(m^{2}K)/W]
R_{aj-dj} ekvivalentní tepelný odpor j-té vrstvy v daném úseku a – d [(m^{2}K)/W]

Hodnoty tepelných odporů homogenních vrstev, tedy vrstev 1,3,5,6 a 7 jsou zřejmé z tabulky č. 2. Vrstva č. 2 a 4 není homogenní, proto je nutno vypočítat tepelný odpor této vrstvy kolmé na směr tepelného toku, nyní ze vztahu (17).

Ekvivalentní tepelný odpor ve druhé vrstvě vypočítáme dle vztahu (17) takto:

$$\frac{1}{R_2} = \frac{f_a}{R_{a2}} + \frac{f_b}{R_{b2}} + \frac{f_c}{R_{c2}} + \frac{f_d}{R_{d2}} \qquad [(m^2 \bullet K)/W]$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{0{,}675}{0{,}183} + \frac{0{,}224}{0{,}183} + \frac{0{,}096}{0{,}194} + \frac{0{,}005}{0{,}183} = 5{,}435 \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_2 = 0{,}184 \ (m^2 \bullet K)/W$$

Pro výpočet ekvivalentního tepelného odporu ve čtvrté vrstvě bude také použit vztah (17), avšak z důvodu heterogennosti vrstvy v úsecích B a C je třeba nejdříve přepočítat tepelný odpor v těchto dílčích úsecích na vrstvu homogenní. Čtvrtá vrstva je dle obrázku č. 9 ve směru kolmo na směr tepelného toku rozdělena do tří částí označených 4.1, 4.2 a 4.3.

Hodnotu ekvivalentního tepelného odporu ve čtvrté vrstvě jednotlivými úseky můžeme vyjádřit takto:

$$R_{a-d,4} = \frac{d_{a-d,4.1}}{\lambda_{a-d,4.1}} + \frac{d_{a-d,4.2}}{\lambda_{a-d,4.2}} + \frac{d_{a-d,4.3}}{\lambda_{a-d,4.2}} \ [(m^2 \bullet K)/W] \tag{18}$$

kde: $R_{a-d,4}$ je dílčí ekvivalentní tepelný odpor 4. vrstvy v úseku a-d [(m^{2}K)/W]
$d_{a-d,4.1-4.3}$ je tloušťka v příslušné části 4. vrstvy v úseku a-d [m]
$\lambda_{a-d,4.1-4.3}$ je součinitel tepelné vodivosti v příslušné části 4. vrstvy v úseku a-d [W/(m K)]

Hodnoty $d_{a-d,4.1-4.3}$ a $\lambda_{a-d,4.1-4.3}$ jsou zřejmé z tabulky č.2.

Jelikož v úsecích ***a*** a ***d*** je celá vrstva č. 4 homogenní, uvažujeme za dílčí ekvivalentní tepelné odpory dosazené do vztahu (17) hodnoty R_a a R_d, které jsou zřejmé z tabulky č. 2.

Dílčí ekvivalentní odpor ve čtvrté vrstvě v úseku ***b*** můžeme vypočítat:

$$R_{b4} = \frac{d_{b4.1}}{\lambda_{b4.1}} + \frac{d_{b4.2}}{\lambda_{b4.2}} + \frac{d_{b4.3}}{\lambda_{b4.2}} \quad [(m^2 \bullet K)/W]$$

$$R_{b4} = \frac{0{,}08}{0{,}043} + \frac{0{,}14}{0{,}18} + \frac{0{,}08}{0{,}043} = 4{,}499 \quad (m^2 \bullet K)/W$$

Obdobně jako u výpočtu ekvivalentního tepelného odporu ve čtvrté vrstvě úsekem ***b*** vyjádříme hodnotu v úseku ***c***, tedy:

$$R_{c4} = \frac{d_{c4.1}}{\lambda_{c4.1}} + \frac{d_{c4.2}}{\lambda_{c4.2}} + \frac{d_{c4.3}}{\lambda_{c4.2}} \quad [(m^2 \bullet K)/W]$$

$$R_{c4} = \frac{0{,}08}{0{,}18} + \frac{0{,}14}{0{,}0{,}43} + \frac{0{,}08}{0{,}18} = 4{,}144 \quad (m^2 \bullet K)/W$$

Hodnota ekvivalentního tepelného odporu čtvrté vrstvy ve směru kolmo na směr tepelného toku dle vztahu (17) bude tedy:

$$\frac{1}{R_4} = \frac{f_a}{R_{a4}} + \frac{f_b}{R_{b4}} + \frac{f_c}{R_{c4}} + \frac{f_d}{R_{d4}} \qquad [(m^2 \bullet K)/W]$$

$$\frac{1}{R_4} = \frac{0{,}675}{6{,}977} + \frac{0{,}224}{4{,}499} + \frac{0{,}096}{4{,}144} + \frac{0{,}005}{2{,}308} = 0{,}172 \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_4 = 5{,}818 \ (m^2 \bullet K)/W$$

Následně sečteme tepelné odpory všech vrstev, tedy 1-7:

$$\sum R_{1-7} = 0{,}057 + 0{,}184 + 0{,}115 + 5{,}818 + 1{,}1539 + 0{,}0025 + 0{,}0043 = 7{,}3347 \ (m^2 \bullet K)/W$$

Hodnotu $\sum R_{1-7}$ dále dosadíme do vztahu (12):

$$R''_T = 0{,}13 + 7{,}3347 + 0{,}04 = 7{,}5047 \ (m^2 \bullet K)/W$$

Použitím vypočítané hodnoty horní meze tepelného odporu R'_T konstrukce A dle předchozího postupu a vypočítanou hodnotou dolní meze tepelného odporu R''_T dle metodiky výpočtu dle Skotnicové, lze nyní vypočítat součinitel prostupu tepla dle vztahu (7):

$$U = \frac{2}{R'_T + R''_T} \quad [W/(m^2 \bullet K)]$$

$$U = \frac{2}{7{,}585 + 7{,}505} = 0{,}133\ W/(m^2 \bullet K)$$

Dále je třeba vypočítat maximální vzniklou chybu e, a to ze vztahu (16):

$$e = 100 \bullet \frac{7{,}585 - 7{,}505}{2} \bullet 0{,}133 = 5{,}32\%$$

Maximální přípustná chyba $e_{\max}$ dle normy **ČSN EN ISO 6946** [31] je dána takto:

$$e_{\max} = 20\%$$

Doporučená maximální přípustná chyba $e_{\max}$ je dle Chmúrného[28] dána takto:

$$e_{doporuč.} = 10\%$$

Vzájemné porovnání s vypočítanou hodnotou e dle postupu výpočtu dle Skotnicové [32]:

$$e < e_{\max} \qquad e < e_{doporuč.}$$

$$5{,}32\% < 20\% \qquad 5{,}32\% < 10\%$$

Při výpočtu dle vztahů (17) a (18) dle Skotnicové je vypočítaná chyba e **nižší** než hodnota vzniklé chyby vypočítané ze vztahů (13) a (14) dle Chmúrného[28].

---

[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3
[31] ČSN EN ISO 6946. Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda. Praha, 2008.
[32] Skotnicová, I.. Změny ve výpočtových metodách tepelně technických norem. VŠB-TUO.[online]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/60230/FAST-2006-6-1-205-skotnicova.pdf?sequence=4

Pro porovnání součinitele prostupu tepla **U** s požadavky dané normou ČSN 73 0540 [27] bude použita hodnota vypočítaná dle postupu Chmúrného[28], tedy hodnota vyšší (15) a tudíž s horšími tepelně-technickými vlastnostmi v porovnání s vypočítanou hodnotou podle postupu výpočtu dle Skotnicové [32].

Hodnota součinitele prostupu tepla je tedy dle vztahu (15):

U = 0,1552 $W/(m^2 \bullet K)$

Navržená konstrukce A je kategorizována jako „stěna vnější“ a doporučená hodnota součinitele prostupu tepla $\mathbf{U_{pas,20}}$ pro tuto konstrukci je v rozmezí 0,18 W/(m^{2}K) až 0,12 W/(m^{2}K).

$$U_{pas,\min.} \leq U \leq U_{pas,\max.} \quad [W/(m^2 \bullet K)]$$

kde: $U_{pas,\min.} = 0{,}12$; $W/(m^2 \bullet K)$

$U_{pas,\max.} = 0{,}18\ W/(m^2 \bullet K)$

$$0{,}12\ W/(m^2 \bullet K) \leq 0{,}155\ W/(m^2 \bullet K) \leq 0{,}18\ W/(m^2 \bullet K)$$

Dle výše uvedeného porovnání bylo zjištěno, že vypočítaný součinitel prostupu tepla splňuje požadavky dané normou ČSN 73 0540-2 ($U_{pas,\ 20}$) [27] a tudíž konstrukci můžeme definovat jako vyhovující požadavkům pro návrh pasivních budov.

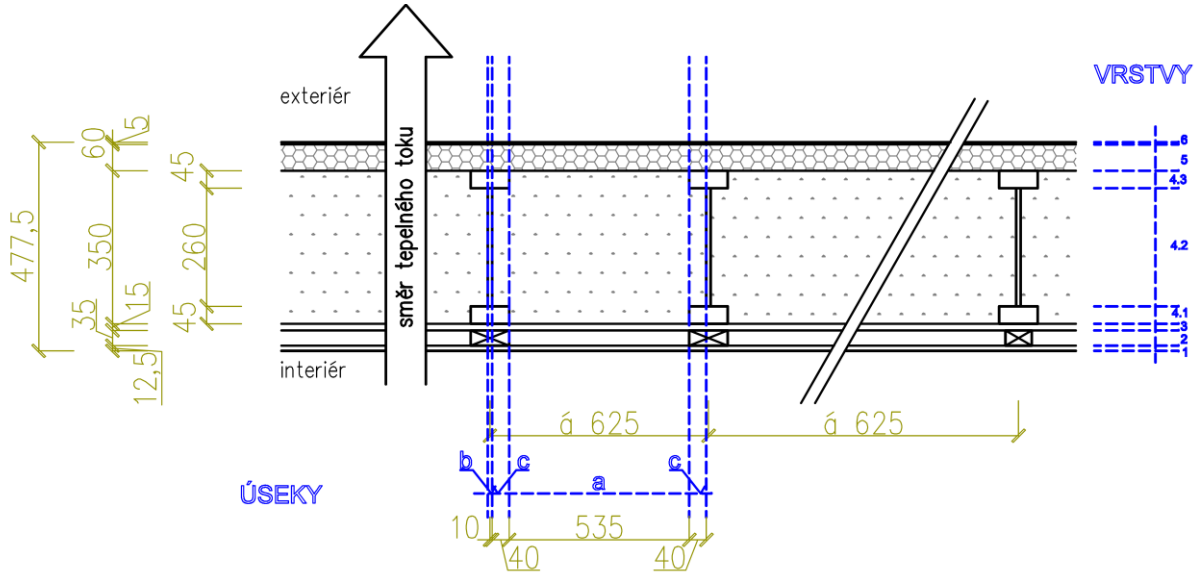
---

[27] ČSN 73 0540 – 2. Tepelná ochrana budov – část 2 - Požadavky. Praha, 2011.
[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3
[32] Skotnicová, I.. Změny ve výpočtových metodách tepelně technických norem. VŠB-TUO.[online]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/60230/FAST-2006-6-1-205-skotnicova.pdf?sequence=4

6.2. Konstrukce B

Jedná se o sloupkovou konstrukci tvořenou nosníky tvaru I a obvodovým pláštěm z desek z materiálů na bázi dřeva, přičemž vnitřní izolaci tvoří sláma.

Navržená skladba konstrukce B je zřejmá z obrázku č. 10 a vstupní hodnoty pro výpočet tepelně technických parametrů dále uvádí tabulka č.3.



Obrázek 10: Návrh skladby obvodového pláště – konstrukce B
Zdroj: [vlastní zpracování]

Tabulka 3: Vstupní hodnoty jednotlivých vrstev skladby konstrukce B.
Zdroj: [vlastní zpracování]

Vrstvy	Úseky	Název skladby	d_j [m]	λ_j [W/m K]	R_a [(m²K)/W]	R_b [(m²K)/W]	R_c [(m²K)/W]
1	a,b,c	Sádrokarton	0,0125	0,2200	0,057	0,057	0,057
2	a	Vzduch.mezera	0,0350	0,1913	0,183	--------	--------
2	b,c	Laťový rošt	0,0350	0,1800	--------	0,194	0,194
3	a,b,c	OSB desky	0,0150	0,1300	0,115	0,115	0,115
4	a	Balíky slámy *	0,3500	0,0520	6,731	--------	--------
4.1	b,c	Nosník - pásnice, smrk	0,0450	0,1800	--------	0,250	0,250
4.2	b	Nosník - stojina, OSB	0,2600	0,1300	--------	2,000	--------
4.2	c	Balíky slámy *	0,2600	0,0520	--------	--------	5,000
4.3	b,c	Nosník - pásnice, smrk	0,0450	0,1800	--------	0,250	0,250
5	a,b,c	DVD Steico Protect	0,0600	0,0520	1,1539	1,1539	1,1539
6	a,b,c	Lepící stěrka	0,0020	0,8000	0,0025	0,0025	0,0025
7	a,b,c	Omítka	0,0030	0,7000	0,0043	0,0043	0,0043
					R_a Σ 8,250	**R_b Σ 4,027**	**R_c Σ 7,027**

**λ kolmo ke stéblům*

Legenda k tabulce č.3:

d_j	je tloušťka j-té vrstvy	[m]
λ_j	je součinitel tepelné vodivosti v j-té vrstvy	[W/(m K)]
R_{a-c}	jsou tepelné odpory jednotlivých vrstev dle úseků	[(m^2 K)/W]

Tepelné odpory jednotlivých vrstev v daném úseku v tabulce č. 3 jsou určeny ze vztahu (11).

Uvedená skladba svislého obvodového pláště bude stejně tak jako u skladby konstrukce A posuzována jako heterogenní konstrukce. Metodika výpočtu byla zvolena jako u konstrukce A dle Chmúrného[28] a v souladu s normou ČSN EN ISO 6946 [33].

Jelikož tloušťka vzduchové mezery i materiály obklopující tuto vrstvu jsou totožné s konstrukcí A, můžeme uvažovat, že součinitel tepelné vodivosti vzduchové mezery vyjádřený dle vztahu (6) bude stejný jako u konstrukce A, tedy:

$$\lambda_{vzduch_mezery} = \frac{d}{R_g} = \frac{0{,}035}{0{,}183} = 0{,}1913 \ [W/(m \bullet K)]$$

Dále je nutno ověřit, zda lze navrženou konstrukci posuzovat jako konstrukci s jednosměrným šířením tepla, a to výpočtem tzv. maximální vzniklé chyby. Pro tento výpočet byla skladba rozdělena na dílčí úseky, jejichž vrstvy jsou homogenní. Vztah pro výpočet součinitele prostupu tepla včetně vlivu tepelného mostu je určen vztahem (7). Pro dosazení do vztahu (7) je nutno nejprve znát hodnoty horní a dolní meze tepelného odporu.

Výpočet horní meze tepelného odporu R'_T vyjádříme ze vztahu (8).

Pro výpočet poměrných ploch je nutno nejprve vypočítat celkovou plochu hodnoceného úseku konstrukce:

$$A = (0{,}01 + 0{,}0445 + 0{,}526 + 0{,}0445) \bullet 0{,}4775 = 0{,}298 m^2$$

[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3

Následně vypočítáme poměrné plochy dle vztahu (9):

$$f_a = \frac{0{,}526 \bullet 0{,}4775}{0{,}298} = 0{,}842$$

$$f_b = \frac{0{,}01 \bullet 0{,}4775}{0{,}298} = 0{,}016$$

$$f_c = \frac{2 \bullet 0{,}0445 \bullet 0{,}4775}{0{,}298} = 0{,}142$$

Ze vztahu (10) jsou dále vyjádřeny tepelné odpory při prostupu tepla R_{Ta-c}. Vstupní hodnoty R_{a-c} jsou zřejmé z tabulky č.3.

Tepelné odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně jsou určeny normou[30]:

$$R_{si} = 0{,}13\ (m^2 \bullet K)/W \qquad a \qquad R_{se} = 0{,}04\ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_{Ta} = 0{,}13 + 8{,}25 + 0{,}04 = 8{,}42\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_{Tb} = 0{,}13 + 4{,}027 + 0{,}04 = 4{,}197\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_{Tc} = 0{,}13 + 7{,}027 + 0{,}04 = 7{,}197\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

Horní mez tepelného odporu při prostupu tepla R'_T je stanovena na základě vztahu (8):

$$\frac{1}{R'_T} = \left(\frac{0{,}842}{8{,}420} + \frac{0{,}016}{4{,}197} + \frac{0{,}142}{7{,}197}\right) = 0{,}124\ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R'_T = 8{,}095\ (m^2 \bullet K)/W$$

[30] ČSN 73 0540 – 3. Tepelná ochrana budov – část 3 - Návrhové hodnoty veličin. Praha, 2005.

Hodnotu dolní meze tepelného odporu R''_T lze dle Chmúrného [28] vyjádřit ze vztahu (12).

Hodnoty tepelných odporů homogenních vrstev, tedy vrstev 1,3,5,6 a 7 jsou zřejmé z tabulky č. 3. Vrstva č. 2 a 4 není homogenní, proto je nutno vypočítat tepelný odpor této vrstvy kolmé na směr tepelného toku, a to ze vztahu (13) a (14).

Tepelný odpor ve druhé vrstvě je dle výše uvedených vztahů vypočítán takto:

$$\lambda_{het.,2} = 0{,}183 \bullet 0{,}842 + 0{,}194 \bullet 0{,}016 + 0{,}194 \bullet 0{,}142 = 0{,}185 \quad W/(m^2 \bullet K)$$

$$R_{het,2} = \frac{0{,}035}{0{,}185} = 0{,}189 \quad (m^2 \bullet K)/W$$

Čtvrtá vrstva je dle obrázku č. 10 ve směru kolmo na směr tepelného toku rozdělena do tří částí označených 4.1, 4.2 a 4.3. Tepelné odpory ve čtvrté vrstvě vypočítáme zvlášť dle jednotlivých částí a podle vztahu (13) a (14) takto:

$$\lambda_{het,4.1} = 0{,}052 \bullet 0{,}842 + 0{,}13 \bullet 0{,}016 + 0{,}18 \bullet 0{,}142 = 0{,}0714 \; W/(m \bullet K)$$

$$\lambda_{het,4.2} = 0{,}052 \bullet 0{,}842 + 0{,}13 \bullet 0{,}016 + 0{,}052 \bullet 0{,}142 = 0{,}0532 \; W/(m \bullet K)$$

$$\lambda_{het,4.3} = 0{,}0714 \; W/(m \bullet K)$$ (vrstva 4.3 je totožná s vrstvou 4.1)

$$R_{het,4} = \frac{0{,}045}{0{,}0714} + \frac{0{,}26}{0{,}0532} + \frac{0{,}045}{0{,}0714} = 6{,}14 \quad (m^2 \bullet K)/W$$

Následně sečteme tepelné odpory všech vrstev, tedy 1-7:

$$\sum R_{1-7} = 0{,}057 + 0{,}189 + 0{,}115 + 6{,}14 + 1{,}1539 + 0{,}0025 + 0{,}0043 = 7{,}661 \; (m^2 \bullet K)/W$$

Hodnotu $\sum R_{1-7}$ dále dosadíme do vztahu (12):

$$R''_T = 0{,}13 + 7{,}661 + 0{,}04 = 7{,}831 \; (m^2 \bullet K)/W$$

---

[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3

Jakmile známe hodnoty horní meze $R´_T$ a dolní meze $R´´_T$ tepelného odporu při prostupu tepla, lze dále vypočítat součinitel prostupu tepla dle vztahu (7):

$$U = \frac{2}{R´_T + R´´_T} \quad [W/(m^2 \bullet K)]$$

$$U = \frac{2}{8{,}095 + 7{,}831} = 0{,}126\ W/(m^2 \bullet K) \tag{19}$$

Dále je třeba vypočítat maximální vzniklou chybu e spojenou s použitím vztahu (7), a to dle vztahu (16):

$$e = 100 \bullet \frac{8{,}095 - 7{,}831}{2} \bullet 0{,}126 = 1{,}6632\%$$

Maximální přípustná chyba $e_{\max}$ dle normy **ČSN EN ISO 6946** [31] je dána takto:

$e_{\max} = 20\%$

Doporučená maximální přípustná chyba $e_{\max}$ je dle Chmúrného[28] dána takto:

$e_{doporuč.} = 10\%$

Vzájemné porovnání s vypočítanou hodnotou e dle postupu výpočtu Chmúrného [28]:

$e < e_{\max}$ $\qquad$ $e < e_{doporuč.}$

$1{,}66\% < 20\%$ $\qquad$ $1{,}66\% < 10\%$

Zjištěná chyba e je menší než maximální přípustná chyba $e_{\max}$ a také menší než doporučená chyba $e_{doporuč.}$ dle Chmúrného [28]. Tak jako u výpočtu dolní meze tepelného odporu u konstrukce A bude i zde pro srovnání použit postup výpočtu dolní meze tepelného odporu také dle Skotnicové [32]. Metodika výpočtu horní meze tepelného odporu je u obou použitých zdrojů totožná, tudíž vypočítaná hodnota $R´_T$ vstupuje do následujícího výpočtu součinitele prostupu tepla.

---

[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3

[31] ČSN EN ISO 6946. Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda. Praha, 2008.

[32] Skotnicová, I.. Změny ve výpočtových metodách tepelně technických norem. VŠB-TUO.[online]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/60230/FAST-2006-6-1-205-skotnicova.pdf?sequence=4

Výpočet dolní meze tepelného odporu heterogenních vrstev dle Skotnicové [32] bude proveden dle vztahu (17). Hodnoty tepelných odporů homogenních vrstev, tedy vrstev označených 1,3,5,6 a 7, jsou zřejmé z tabulky č. 3.

Tepelný odpor ve druhé vrstvě je tedy dle vztahu (17) vypočítán takto:

$$\frac{1}{R_2} = \frac{0{,}842}{0{,}183} + \frac{0{,}016}{0{,}194} + \frac{0{,}142}{0{,}194} = 5{,}415 \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_2 = 0{,}185 \ (m^2 \bullet K)/W$$

Ekvivalentní tepelný odpor ve čtvrté vrstvě vyjádříme vztahem (17), avšak z důvodu členitosti a různorodého materiálového složení vrstvy číslo 4 v úsecích **b** a **c** nejprve určíme hodnoty tepelných odporů v těchto úsecích dle vztahu (18).

$$R_{b4} = \frac{0{,}045}{0{,}18} + \frac{0{,}26}{0{,}13} + \frac{0{,}045}{0{,}18} = 2{,}5 \quad (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_{c4} = \frac{0{,}045}{0{,}18} + \frac{0{,}26}{0{,}052} + \frac{0{,}045}{0{,}18} = 5{,}5 \quad (m^2 \bullet K)/W$$

$$\frac{1}{R_4} = \frac{0{,}842}{6{,}731} + \frac{0{,}016}{2{,}5} + \frac{0{,}142}{5{,}5} = 0{,}1573 \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_4 = 6{,}357 \ (m^2 \bullet K)/W$$

Následně sečteme tepelné odpory všech vrstev a dosadíme do vztahu (12):

$$\sum R_{1-7} = 0{,}057 + 0{,}185 + 0{,}115 + 6{,}357 + 1{,}1539 + 0{,}0025 + 0{,}0043 = 7{,}875 \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R''_T = 0{,}13 + 7{,}875 + 0{,}04 = 8{,}045 \ (m^2 \bullet K)/W$$

Použitím vypočítané hodnoty horní meze tepelného odporu R'_T konstrukce B dle předchozího postupu a vypočítanou hodnotou dolní meze tepelného odporu R''_T dle metodiky výpočtu Skotnicové, lze nyní vypočítat součinitel prostupu tepla dle vztahu (7):

$$U = \frac{2}{8{,}095 + 8{,}045} = 0{,}124 \ W/(m^2 \bullet K)$$

Dle vztahu (16) lze vyjádřit maximální vzniklou chybu e spojenou s použitím vztahu (7):

$$e = 100 \bullet \frac{8{,}095 - 8{,}045}{2} \bullet 0{,}124 = 3{,}1\%$$

Maximální přípustná chyba $e_{\max}$ dle normy **ČSN EN ISO 6946** [31] je dána takto:

$$e_{\max} = 20\%$$

Doporučená maximální přípustná chyba $e_{\max}$ je dle Chmúrného[28] dána takto:

$$e_{doporuč.} = 10\%$$

Vzájemné porovnání s vypočítanou hodnotou e dle postupu Skotnicové [32]:

$e < e_{\max}$ $\qquad$ $e < e_{doporuč.}$

$3{,}1\% < 20\%$ $\qquad$ $3{,}1\% < 10\%$

Při výpočtu dle vztahů (17) a (18) dle Skotnicové je vypočítaná chyba e **vyšší** než hodnota vzniklé chyby vypočítané ze vztahů (13) a (14) dle Chmúrného[28], avšak obě hodnoty jsou v obou případech nižší než je maximální přípustná chyba dle normy ČSN EN ISO 6946 [31] a také nižší než doporučená maximální hodnota chyby 10%.

Pro porovnání součinitele prostupu tepla U s požadavky dané normou ČSN 73 0540 [27] bude tak jako u konstrukce A použita hodnota U vypočítaná dle postupu Chmúrného[28], určená vztahem (19):

U = 0,126 $W/(m^2 \bullet K)$

Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla $\mathbf{U_{pas,20}}$ pro konstrukci B je v rozmezí 0,18 W/(m^{2}K) až 0,12 W/(m^{2}K).

$$U_{pas,\min.} \le U \le U_{pas,\max.} \quad [W/(m^2 \bullet K)]$$

kde: $U_{pas,\min.} = 0{,}12$; $W/(m^2 \bullet K)$

$U_{pas,\max.} = 0{,}18\ W/(m^2 \bullet K)$

$$0{,}12\ W/(m^2 \bullet K) \ \le\ 0{,}126\ W/(m^2 \bullet K) \ \le\ 0{,}18\ W/(m^2 \bullet K)$$

Dle výše uvedeného porovnání bylo zjištěno, že vypočítaný součinitel prostupu tepla splňuje požadavky dané normou ČSN 73 0540-2 ($U_{pas,\ 20}$) [27] a tudíž konstrukci můžeme definovat jako vyhovující požadavkům pro návrh pasivních budov.

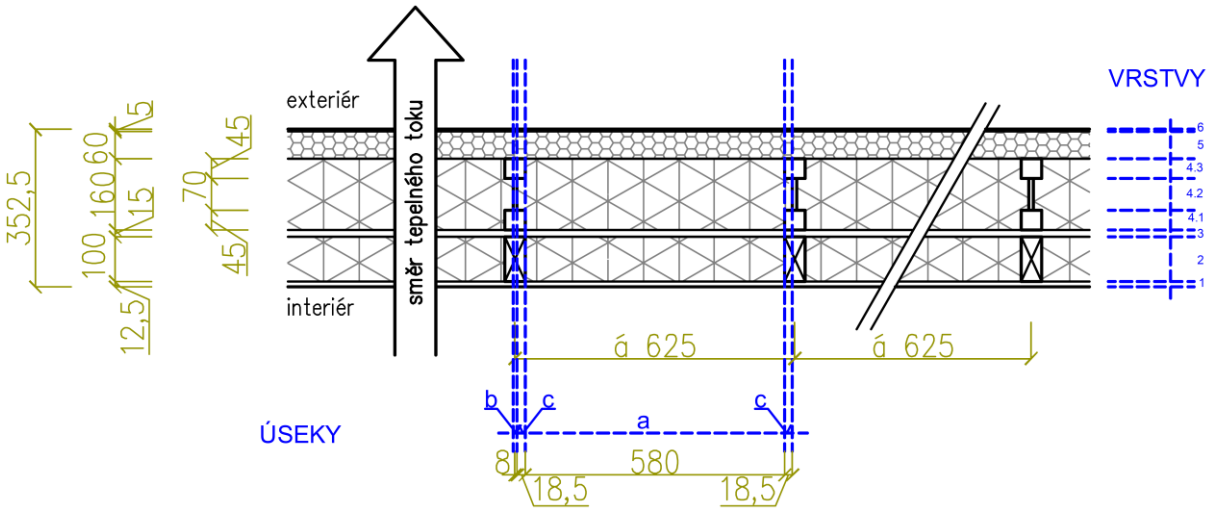
---

[27] ČSN 73 0540 – 2. Tepelná ochrana budov – část 2 - Požadavky. Praha, 2011.

6.3. Konstrukce C

Jedná se o sloupkovou konstrukci tvořenou nosníky tvaru I a dřevěnými hranolky, opláštění tvoří materiály na bázi dřeva a mezi nosné prvky je umístěna ovčí vlna.

Navržená skladba konstrukce C je zřejmá z obrázku č. 11 a vstupní hodnoty pro výpočet tepelně technických parametrů dále uvádí tabulka č.4.



Obrázek 11: Návrh skladby obvodového pláště – konstrukce C
Zdroj: [vlastní zpracování]

Tabulka 4: Vstupní hodnoty jednotlivých vrstev skladby konstrukce C.
Zdroj: [vlastní zpracování]

Vrstvy	Úseky	Název skladby	d_j [m]	λ_j [W/m K]	R_a [(m^{2}K)/W]	R_b [(m^{2}K)/W]	R_c [(m^{2}K)/W]
1	a,b,c	Sádrokarton	0,0125	0,2200	0,057	0,057	0,057
2	a	Ovčí vlna Isolena	0,1000	0,0370	2,703	--------	--------
2	b,c	Laťový rošt	0,1000	0,1800	--------	0,556	0,556
3	a,b,c	OSB desky	0,0150	0,1300	0,115	0,115	0,115
4	a	Ovčí vlna Isolena	0,1600	0,0370	4,234	--------	--------
4.1	b,c	Nosník - pásnice, smrk	0,0450	0,1800	--------	0,250	0,250
4.2	b	Nosník - stojina, DVD	0,0700	0,1300	--------	0,539	--------
4.2	c	Ovčí vlna Isolena	0,0700	0,0370	--------	--------	1,892
4.3	b,c	Nosník - pásnice, smrk	0,0450	0,1800	--------	0,250	0,250
5	a,b,c	DVD Steico Protect	0,0600	0,0520	1,1539	1,1539	1,1539
6	a,b,c	Lepící stěrka	0,0020	0,8000	0,0025	0,0025	0,0025
7	a,b,c	Omítka	0,0030	0,7000	0,0043	0,0043	0,0043
					R_a Σ 8,360	**R_b Σ 2,928**	**R_c Σ 4,281**

Legenda k tabulce č.4:

d_j	je tloušťka j-té vrstvy	[m]
λ_j	je součinitel tepelné vodivosti v j-té vrstvy	[W/(m K)]
R_{a-c}	jsou tepelné odpory jednotlivých vrstev dle úseků	[(m^2 K)/W]

Tepelné odpory jednotlivých vrstev v daném úseku v tabulce č. 4 jsou určeny ze vztahu (11).

Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce C bude stejně tak jako u předešlých návrhů konstrukcí A a B zvolena metodou vlivu tepelných mostů dle Chmúrného[28] a v souladu s normou ČSN EN ISO 6946 [33].

Nejprve je tedy nutno ověřit, zda lze navrženou konstrukci posuzovat jako konstrukci s jednosměrným šířením tepla, a to výpočtem tzv. maximální vzniklé chyby. Z tohoto důvodu byla skladba rozdělena na dílčí úseky, jejichž vrstvy jsou homogenní. Vztah pro výpočet součinitele prostupu tepla včetně vlivu tepelného mostu je určen vztahem (7). Pro dosazení do vztahu (7) je nutno nejprve znát hodnoty horní a dolní meze tepelného odporu.

Výpočet horní meze tepelného odporu R'_T vyjádříme ze vztahu (8).

Pro výpočet poměrných ploch je nutno nejprve vypočítat celkovou plochu hodnoceného úseku konstrukce:

$$A = (0{,}008 + 0{,}0185 + 0{,}58 + 0{,}0185) \bullet 0{,}3525 = 0{,}22 m^2$$

Následně vypočítáme poměrné plochy dle vztahu (9):

$$f_a = \frac{0{,}58 \bullet 0{,}3525}{0{,}22} = 0{,}928$$

$$f_b = \frac{0{,}008 \bullet 0{,}3525}{0{,}22} = 0{,}013$$

$$f_c = \frac{2 \bullet 0{,}0185 \bullet 0{,}3525}{0{,}22} = 0{,}059$$

Ze vztahu (10) jsou dále vyjádřeny tepelné odpory při prostupu tepla R_{Ta-c}. Vstupní hodnoty R_{a-c} jsou zřejmé z tabulky č.4.

---

[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3
[30] ČSN 73 0540 – 3. Tepelná ochrana budov – část 3 - Návrhové hodnoty veličin. Praha, 2005.

Tepelné odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně jsou určeny normou[30]:

$R_{si} = 0{,}13\ (m^2 \bullet K)/W$ a $R_{se} = 0{,}04\ (m^2 \bullet K)/W$

Výpočet hodnot R_{Ta-c} dle vztahu (10):

$$R_{Ta} = 0{,}13 + 8{,}36 + 0{,}04 = 8{,}53\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_{Tb} = 0{,}13 + 2{,}928 + 0{,}04 = 3{,}098\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_{Tc} = 0{,}13 + 4{,}281 + 0{,}04 = 4{,}451\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

Horní mez tepelného odporu při prostupu tepla R'_T se stanoví na základě vztahu (8).

$$\frac{1}{R'_T} = \left(\frac{0{,}928}{8{,}530} + \frac{0{,}013}{3{,}098} + \frac{0{,}059}{4{,}451}\right) = 0{,}126\ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R'_T = 7{,}921\ (m^2 \bullet K)/W$$

Hodnotu dolní meze tepelného odporu R''_T lze dle Chmúrného vyjádřit ze vztahu (12).

Hodnoty tepelných odporů homogenních vrstev, tedy vrstev 1,3,5,6 a 7 jsou zřejmé z tabulky č. 4. Vrstva č. 2 a 4 není homogenní, proto je nutno vypočítat tepelný odpor této vrstvy kolmé na směr tepelného toku, a to ze vztahu (13) a (14).

$$\lambda_{het.,2} = 0{,}037 \bullet 0{,}928 + 0{,}18 \bullet 0{,}013 + 0{,}18 \bullet 0{,}059 = 0{,}0473\ \ W/(m^2 \bullet K)$$

$$R_{het,2} = \frac{0{,}1}{0{,}0473} = 2{,}114\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

Čtvrtá vrstva je dle obrázku č. 11 ve směru kolmo na směr tepelného toku rozdělena do tří částí označených 4.1, 4.2 a 4.3. Tepelné odpory ve čtvrté vrstvě vypočítáme zvlášť dle jednotlivých částí a podle vztahu (13) a (14) takto:

$$\lambda_{het,4.1} = 0{,}037 \bullet 0{,}928 + 0{,}13 \bullet 0{,}013 + 0{,}18 \bullet 0{,}059 = 0{,}0466\ W/(m \bullet K)$$

$$\lambda_{het,4.2} = 0{,}037 \bullet 0{,}928 + 0{,}13 \bullet 0{,}013 + 0{,}037 \bullet 0{,}059 = 0{,}0382\ W/(m \bullet K)$$

$\lambda_{het,4.3} = 0{,}0466\ W/(m \bullet K)$ (vrstva 4.3 je totožná s vrstvou 4.1)

$$R_{het,4} = \frac{0{,}045}{0{,}0466} + \frac{0{,}07}{0{,}0382} + \frac{0{,}045}{0{,}0466} = 3{,}7644\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

Následně sečteme tepelné odpory všech vrstev, tedy 1-7:

$$\sum R_{1-7} = 0{,}057 + 2{,}114 + 0{,}115 + 3{,}764 + 1{,}1539 + 0{,}0025 + 0{,}0043 = 7{,}211\ (m^2 \bullet K)/W$$

Hodnotu $\sum R_{1-7}$ dále dosadíme do vztahu (12):

$$R''_T = 0{,}13 + 7{,}211 + 0{,}04 = 7{,}381\ (m^2 \bullet K)/W$$

Jakmile známe hodnoty horní meze R'_T a dolní meze R''_T tepelného odporu při prostupu tepla, lze dále vypočítat součinitel prostupu tepla dle vztahu (7):

$$U = \frac{2}{7{,}921 + 7{,}381} = 0{,}131\ W/(m^2 \bullet K) \qquad (20)$$

Dále je třeba vypočítat maximální vzniklou chybu e spojenou s použitím vztahu (7), a to dle vztahu (16):

$$e = 100 \bullet \frac{7{,}921 - 7{,}381}{2} \bullet 0{,}131 = 3{,}537\%$$

Maximální přípustná chyba $e_{\max}$ dle normy ČSN EN ISO 6946 [31] je dána takto:

$$e_{\max} = 20\%$$

Doporučená maximální přípustná chyba $e_{\max}$ je dle Chmúrného[28] dána takto:

$$e_{doporuč.} = 10\%$$

Vzájemné porovnání s vypočítanou hodnotou e dle postupu výpočtu Chmúrného [28]:

$e^{28} < e_{\max}$ $\qquad$ $e^{28} < e_{doporuč.}$

$3{,}537\% < 20\%$ $\qquad$ $3{,}537\% < 10\%$

Zjištěná chyba e je menší než maximální přípustná chyba $e_{\max}$ a také menší než doporučená chyba $e_{doporuč.}$ dle Chmúrného [28]. Tak jako u výpočtu dolní meze tepelného odporu u konstrukce A a B bude i zde pro srovnání použit postup výpočtu také dle Skotnicové [32]. Vypočítaná hodnota horní meze tepelného odporu R'_T u konstrukce C vstupuje do následujícího výpočtu součinitele prostupu tepla.

---

[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3

[31] ČSN EN ISO 6946. Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda. Praha, 2008.

[32] Skotnicová, I.. Změny ve výpočtových metodách tepelně technických norem. VŠB-TUO.[online]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/60230/FAST-2006-6-1-205-skotnicova.pdf?sequence=4

Výpočet dolní meze tepelného odporu heterogenních vrstev dle Skotnicové [32], tedy vrstev označených 2 a 4, bude proveden pomocí vztahu (17). Hodnoty tepelných odporů homogenních vrstev, tedy vrstev označených 1,3,5,6 a 7, jsou zřejmé z tabulky č. 4.

$$\frac{1}{R_2} = \frac{0{,}928}{2{,}703} + \frac{0{,}013}{0{,}556} + \frac{0{,}059}{0{,}556} = 0{,}473\ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_2 = 2{,}115\ (m^2 \bullet K)/W$$

Ekvivalentní tepelný odpor ve čtvrté vrstvě vyjádříme vztahem (17), avšak z důvodu členitosti a různorodého materiálového složení vrstvy číslo 4 v úsecích B a C nejprve určíme hodnoty tepelných odporů v těchto úsecích dle vztahu (18).

$$R_{b4} = \frac{0{,}045}{0{,}18} + \frac{0{,}07}{0{,}13} + \frac{0{,}045}{0{,}18} = 1{,}038 \quad (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_{c4} = \frac{0{,}045}{0{,}18} + \frac{0{,}07}{0{,}037} + \frac{0{,}045}{0{,}18} = 2{,}392 \quad (m^2 \bullet K)/W$$

$$\frac{1}{R_4} = \frac{0{,}928}{4{,}324} + \frac{0{,}013}{1{,}038} + \frac{0{,}059}{2{,}392} = 0{,}2518\ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_4 = 3{,}971\ (m^2 \bullet K)/W$$

Následně sečteme tepelné odpory všech vrstev a dosadíme do vztahu (12):

$$\sum R_{1-7} = 0{,}057 + 2{,}115 + 0{,}115 + 3{,}971 + 1{,}1539 + 0{,}0025 + 0{,}0043 = 7{,}42\ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R''_T = 0{,}13 + 7{,}875 + 0{,}04 = 7{,}59\ (m^2 \bullet K)/W$$

Použitím vypočítané hodnoty horní meze tepelného odporu R'_T konstrukce C dle předchozího postupu a vypočítanou hodnotou dolní meze tepelného odporu R''_T dle metodiky výpočtu dle Skotnicové[32], lze nyní vypočítat součinitel prostupu tepla dle vztahu (7):

$$U = \frac{2}{7{,}921 + 7{,}59} = 0{,}129\ W/(m^2 \bullet K)$$

[32] Skotnicová, I.. Změny ve výpočtových metodách tepelně technických norem. VŠB-TUO.[online]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/60230/FAST-2006-6-1-205-skotnicova.pdf?sequence=4

Dle vztahu (16) lze vyjádřit maximální vzniklou chybu e spojenou s použitím vztahu (7):

$$e = 100 \bullet \frac{7{,}921 - 7{,}59}{2} \bullet 0{,}129 = 2{,}1\%$$

Maximální přípustná chyba $e_{\max}$ dle normy ČSN EN ISO 6946 [31] je dána takto:

$$e_{\max} = 20\%$$

Doporučená maximální přípustná chyba $e_{\max}$ je dle Chmúrného[28] dána takto:

$$e_{doporuč.} = 10\%$$

Vzájemné porovnání s vypočítanou hodnotou e dle postupu výpočtu Skotnicové [32]:

$e < e_{\max}$ $\qquad$ $e < e_{doporuč.}$

$2{,}1\% < 20\%$ $\qquad$ $2{,}1\% < 10\%$

Při výpočtu dle vztahů (17) a (18) dle Skotnicové je vypočítaná chyba e **nižší** než hodnota vzniklé chyby určená ze vztahů (13) a (14) dle Chmúrného[28], avšak obě hodnoty jsou v obou případech nižší než je maximální přípustná chyba dle normy ČSN EN ISO 6946 [31] a nižší než doporučená maximální hodnota chyby 10%.

Pro porovnání součinitele prostupu tepla U s požadavky dané normou ČSN 73 0540 [27] bude tak jako u konstrukcí A i B použita hodnota U vypočítaná dle postupu Chmúrného[28], tedy hodnota určená vztahem (20):

U = 0,131 $W/(m^2 \bullet K)$

Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla $\mathbf{U_{pas,20}}$ pro konstrukci C je v rozmezí 0,18 W/(m^{2}K) až 0,12 W/(m^{2}K).

$$U_{pas,\min.} \le U \le U_{pas,\max.} \quad [W/(m^2 \bullet K)]$$

kde: $U_{pas,\min.} = 0{,}12$; $W/(m^2 \bullet K)$

$U_{pas,\max.} = 0{,}18\ W/(m^2 \bullet K)$

$$0{,}12\ W/(m^2 \bullet K) \ \le\ 0{,}131\ W/(m^2 \bullet K) \ \le\ 0{,}18\ W/(m^2 \bullet K)$$

Dle výše uvedeného porovnání bylo zjištěno, že vypočítaný součinitel prostupu tepla splňuje požadavky dané normou ČSN 73 0540-2 ($U_{pas,\ 20}$) [27] a tudíž konstrukci můžeme definovat jako vyhovující požadavkům pro návrh pasivních budov.

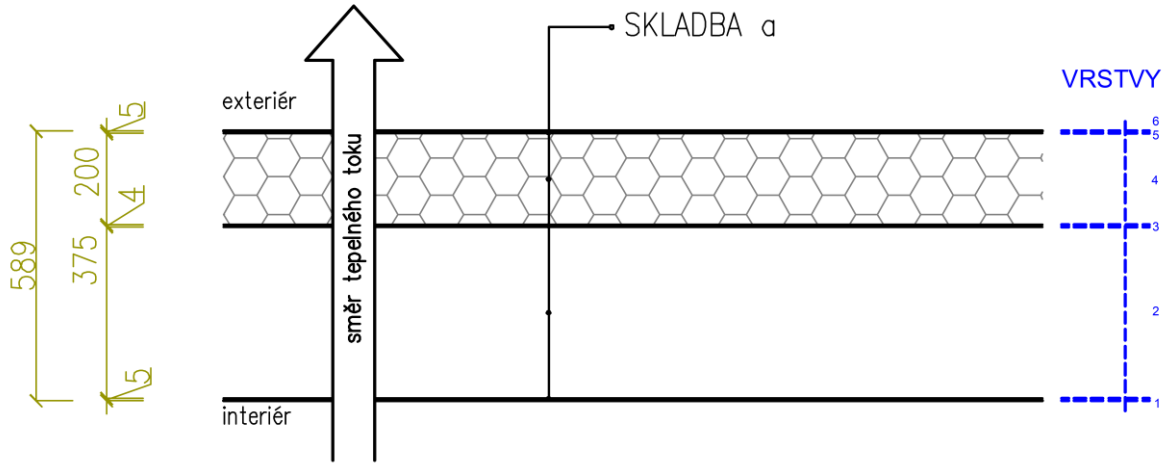
---

[27] ČSN 73 0540 – 2. Tepelná ochrana budov – část 2 - Požadavky. Praha, 2011.

6.4. Konstrukce D

Jedná se o tepelněizolační pórobetonové tvárnice Ytong se zateplením z desek Multipor, které jsou vyrobené z přírodních minerálních materiálů - z kalciumsilikát-hydrátu, vápence, písku, cementu, vody a dalších příměsí.

Navržená skladba konstrukce D je zřejmá z obrázku č. 12 a vstupní hodnoty pro výpočet tepelně technických parametrů dále uvádí tabulka č.5.



Obrázek 12: Návrh skladby obvodového pláště – konstrukce D
Zdroj: [vlastní zpracování]

Tabulka 5: Vstupní hodnoty jednotlivých vrstev skladby konstrukce D.
Zdroj: [vlastní zpracování]

Vrstvy	Název skladby	d_j [m]	λ_j [W/m K]	R [(m^{2}K)/W]
1	Sádrová omítka	0,0050	0,4700	0,011
2	Ytong P2 - 400	0,3000	0,1080	2,777
3	Lehká malta Multipor	0,0400	0,1800	0,222
4	Ytong Multipor	0,2000	0,0450	4,444
5	Lehká malta Multipor	0,0300	0,1800	0,167
6	Šlechtěná minerální omítka	0,0200	0,5700	0,035

R **Σ 7,657**

Legenda k tabulce č.5:

d_j	je tloušťka j-té vrstvy	[m]
λ_j	je součinitel tepelné vodivosti v j-té vrstvě	[W/(m K)]
R	je tepelný odpor jednotlivých vrstev	[(m^2 K)/W]

Tepelné odpory jednotlivých vrstev v daném úseku v tabulce č. 5 jsou určeny ze vztahu (11).

Metodikou výpočtu skladby konstrukce D bude postup dle Chmúrného[28], avšak z důvodu homogenní konstrukce, zde bude využit jednodušší výpočet součinitele prostupu tepla U bez vlivu tepelných mostů, a to pomocí vztahů:

$$R_T = R_{si} + \sum R + R_{se} \quad [(m^2 \bullet K)/W] \tag{21}$$

kde: R_T celkový tepelný odpor při prostupu tepla [(m^2 K)/W]
R_{si}, R_{se} tepelné odpory na vnitřní a vnější straně konstrukce [(m^2 K)/W]
R tepelný odpor jednotlivé vrstvy [(m^2 K)/W]

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [W/(m^2 \bullet K)] \tag{22}$$

Vstupní hodnota celkového tepelného odporu konstrukce $\sum R$ je zřejmá z tabulky č.5.

Tepelné odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně jsou určeny normou[30]:

$$R_{si} = 0{,}13\ (m^2 \bullet K)/W \qquad a \qquad R_{se} = 0{,}04\ (m^2 \bullet K)/W$$

Nyní je možno dosadit hodnoty do vztahu (21) a (22):

$$R_T = 0{,}13 + 7{,}657 + 0{,}04 = 7{,}827\ (m^2 \bullet K)/W$$

$$U = \frac{1}{7{,}827} = 0{,}128 \quad W/(m^2 \bullet K)$$

Pro navrženou konstrukci D je doporučená hodnota součinitele prostupu tepla **$U_{pas,20}$** v rozmezí 0,18 W/(m^{2}K) až 0,12 W/(m^{2}K).

$$U_{pas,\min.} \le U \le U_{pas,\max.} \quad [W/(m^2 \bullet K)]$$

kde: $U_{pas,\min.} = 0{,}12$; $W/(m^2 \bullet K)$ *a* $U_{pas,\max.} = 0{,}18\ W/(m^2 \bullet K)$

$$0{,}12\ W/(m^2 \bullet K) \le 0{,}128\ W/(m^2 \bullet K) \le 0{,}18\ W/(m^2 \bullet K)$$

Dle výše uvedeného porovnání bylo zjištěno, že vypočítaný součinitel prostupu tepla splňuje požadavky dané normou ČSN 73 0540-2 ($U_{pas,\ 20}$) [27] a tudíž konstrukci můžeme zařadit jako vyhovující požadavkům pro návrh pasivních budov.

---

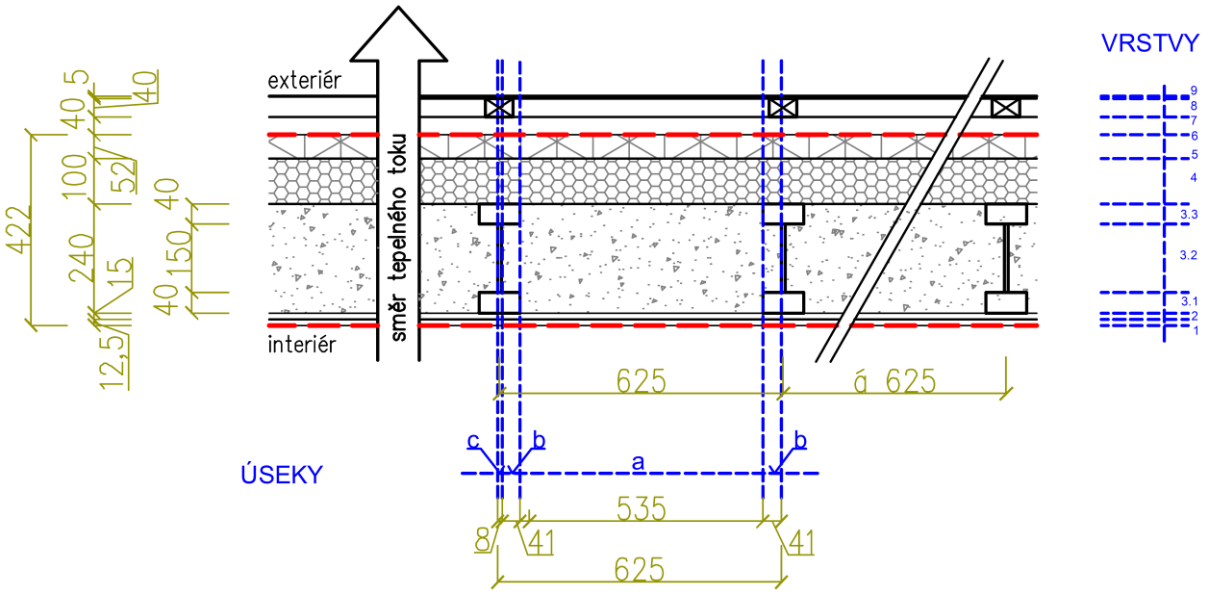
[27] ČSN 73 0540 – 2. Tepelná ochrana budov – část 2 - Požadavky. Praha, 2011.
[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3
[30] ČSN 73 0540 – 3. Tepelná ochrana budov – část 3 - Návrhové hodnoty veličin. Praha, 2005.

6.5. Konstrukce E

Konstrukce pultové střechy je navržena z dřevěných nosníků Steico Joist SJ 60. Nosníky oplášťují ze spodní části OSB desky a z vrchní části tepelně izolační dřevovláknité desky Steico Therm a Steico Universal. Prostor mezi nosníky je vyplněn izolací z foukané celulózy. Nad dřevovláknitými deskami je větraná mezera, v níž jsou křížem umístěny kontralatě a latě pro ukotvení střešní krytiny. Interiérovou pohledovou část tvoří sádrokartonové desky.

Do výpočtu součinitele prostupu tepla vstupují pouze vrstvy pod větranou mezerou, tedy vrstvy označené 1 až 6. Z důvodu nehomogenní konstrukce v jednotlivých vrstvách střešní konstrukce a tudíž vlivu tepelných mostů v místě krokví je zvolen postup výpočtu metodou charakteristického výseku, tak jako u konstrukce A.

Navržená skladba konstrukce E je zřejmá z obrázku č. 13 a vstupní hodnoty pro výpočet tepelně technických parametrů dále uvádí tabulka č.6.



Obrázek 13: Návrh skladby obvodového pláště – konstrukce E
Zdroj: [vlastní zpracování]

Tabulka 6: Vstupní hodnoty jednotlivých vrstev skladby konstrukce F.
Zdroj: [vlastní zpracování]

Vrstvy	Úseky	Název skladby	d_j [m]	λ_j [W/m K]	R_a [(m^{2}K)/W]	R_b [(m^{2}K)/W]	R_c [(m^{2}K)/W]
1	a,b,c	Sádrokarton	0,0125	0,2200	0,057	0,057	0,057
2	a,b,c	OSB desky	0,0150	0,1300	0,115	0,115	0,115
3	a	Celulóza - Vatizol	0,2400	0,0430	5,581	--------	--------
3.1	b,c	Nosník - pásnice, smrk	0,0450	0,1800	--------	0,250	0,250
3.2	b	Nosník - stojina, DVD	0,1500	0,1300	--------	1,154	--------
3.2	c	Celulóza - Vatizol	0,1500	0,0430	--------	--------	3,488
3.3	b,c	Nosník - pásnice, smrk	0,0450	0,1800	--------	0,250	0,250
4	a,b,c	DVD Steico Therm	0,1000	0,0390	2,5640	2,5640	2,5640
5	a,b,c	DVD Steico Universal	0,0520	0,0480	1,0830	1,0830	1,0830
6	a,b,c	Pojistná diúzní folie	0,0025	0,3000	0,0830	0,0830	0,0830
					R_a **Σ 9,483**	R_b **Σ 5,556**	R_c **Σ 7,890**

Legenda k tabulce č.6:

d_j	je tloušťka j-té vrstvy	[m]
λ_j	je součinitel tepelné vodivosti v j-té vrstvy	[W/(m K)]
R_{a-c}	jsou tepelné odpory jednotlivých vrstev dle úseků	[(m^2 K)/W]

Tepelné odpory jednotlivých vrstev v daném úseku v tabulce č. 6 jsou určeny ze vztahu (11).

Metodikou výpočtu konstrukce E bude stejně tak jako u předešlých návrhů konstrukcí A, B a C postup metodou vlivu tepelných mostů dle Chmúrného[28].

Nejprve je tedy nutno ověřit, zda lze navrženou konstrukci posuzovat jako konstrukci s jednosměrným šířením tepla, a to výpočtem tzv. maximální vzniklé chyby. Z tohoto důvodu byla skladba rozdělena na dílčí úseky, jejichž vrstvy jsou homogenní. Vztah pro výpočet součinitele prostupu tepla včetně vlivu tepelného mostu je určen vztahem (7).

Výpočet horní meze tepelného odporu R'_T vyjádříme ze vztahu (8).

Nejprve je nutno vypočítat celkovou plochu hodnoceného úseku konstrukce:

$$A = (0{,}535 + 0{,}041 + 0{,}008 + 0{,}041) \bullet 0{,}422 = 0{,}26375 m^2$$

Následně vypočítáme poměrné plochy dle vztahu (9):

$$f_a = \frac{0{,}535 \bullet 0{,}422}{0{,}26375} = 0{,}856$$

$$f_b = \frac{2 \bullet 0{,}041 \bullet 0{,}422}{0{,}26375} = 0{,}1312$$

[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3

$$f_c = \frac{0{,}008 \bullet 0{,}422}{0{,}26375} = 0{,}0128$$

Ze vztahu (10) jsou dále vyjádřeny tepelné odpory při prostupu tepla R_{Ta-c}. Vstupní hodnoty R_{a-c} jsou zřejmé z tabulky č.6.

Tepelné odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně jsou určeny normou[30]:

$R_{si} = 0{,}1\ (m^2 \bullet K)/W$ a $R_{se} = 0{,}04\ (m^2 \bullet K)/W$

$$R_{Ta} = 0{,}1 + 9{,}483 + 0{,}04 = 9{,}623\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_{Tb} = 0{,}1 + 5{,}556 + 0{,}04 = 5{,}696\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_{Tc} = 0{,}1 + 7{,}89 + 0{,}04 = 8{,}03\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

Horní mez tepelného odporu při prostupu tepla R'_T se stanoví na základě vztahu (8).

$$\frac{1}{R'_T} = \left(\frac{0{,}856}{9{,}623} + \frac{0{,}1312}{5{,}696} + \frac{0{,}0128}{8{,}03} \right) = 0{,}1136\ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R'_T = 8{,}804\ (m^2 \bullet K)/W$$

Dolní mez tepelného odporu se stanoví na základě vztahu (12). Hodnoty ekvivalentních tepelných odporů homogenních vrstev, tedy vrstvy 1,2,4,5 a 6 jsou zřejmé z tabulky č. 6. Třetí, heterogenní vrstva je dle obrázku č. 12 ve směru kolmo na směr tepelného toku rozdělena do tří částí označených 3.1, 3.2 a 3.3. Tepelné odpory v této vrstvě vypočítáme zvlášť dle jednotlivých částí a podle vztahu (13) a (14) takto:

$$\lambda_{het,4.1} = 0{,}043 \bullet 0{,}856 + 0{,}18 \bullet 0{,}1312 + 0{,}13 \bullet 0{,}0128 = 0{,}0621\ W/(m \bullet K)$$

$$\lambda_{het,4.2} = 0{,}043 \bullet 0{,}856 + 0{,}043 \bullet 0{,}1312 + 0{,}13 \bullet 0{,}0128 = 0{,}0441\ W/(m \bullet K)$$

$\lambda_{het,4.3} = 0{,}0621\ W/(m \bullet K)$ (vrstva 4.3 je totožná s vrstvou 4.1)

$$R_{het,4} = \frac{0{,}04}{0{,}0621} + \frac{0{,}15}{0{,}0441} + \frac{0{,}04}{0{,}0621} = 4{,}69\ \ (m^2 \bullet K)/W$$

[30] ČSN 73 0540 – 3. Tepelná ochrana budov – část 3 - Návrhové hodnoty veličin. Praha, 2005.

Následně sečteme tepelné odpory všech vrstev, tedy 1-7:

$$\sum R_{1-7} = 0{,}057 + 0{,}115 + 4{,}69 + 2{,}564 + 1{,}083 + 0{,}083 = 8{,}592 \ (m^2 \bullet K)/W$$

Hodnotu $\sum R_{1-7}$ dále dosadíme do vztahu (12):

$$R''_T = 0{,}1 + 8{,}592 + 0{,}04 = 8{,}732 \ (m^2 \bullet K)/W$$

Jakmile známe hodnoty horní meze R'_T a dolní meze R''_T tepelného odporu při prostupu tepla, lze dále vypočítat součinitel prostupu tepla dle vztahu (7):

$$U = \frac{2}{8{,}804 + 8{,}732} = 0{,}114 \ W/(m^2 \bullet K) \qquad (23)$$

Dále je třeba vypočítat maximální vzniklou chybu e [28] spojenou s použitím vztahu (7), a to dle vztahu (16):

$$e = 100 \bullet \frac{8{,}804 - 8{,}732}{2} \bullet 0{,}114 = 0{,}41\%$$

Maximální přípustná chyba $e_{\max}$ dle normy **ČSN EN ISO 6946** [31] je dána takto:

$$e_{\max} = 20\%$$

Doporučená maximální přípustná chyba $e_{\max}$ je dle Chmúrného[28] dána takto:

$$e_{doporuč.} = 10\%$$

Vzájemné porovnání s vypočítanou hodnotou e dle postupu výpočtu Chmúrného [28]:

$$e^{28} < e_{\max} \qquad e^{28} < e_{doporuč.}$$

$$0{,}41\% < 20\% \qquad 0{,}41\% < 10\%$$

Zjištěná chyba e je menší než maximální přípustná chyba $e_{\max}$ a také menší než doporučená chyba $e_{doporuč.}$ dle Chmúrného [28]. Tak jako u výpočtu dolní meze tepelného odporu u konstrukce A, B i C bude i zde pro srovnání použit postup výpočtu také dle Skotnicové [32]. Vypočítaná hodnota horní meze tepelného odporu R'_T u konstrukce C vstupuje do následujícího výpočtu součinitele prostupu tepla.

---

[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3

[31] ČSN EN ISO 6946. Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda. Praha, 2008.

[32] Skotnicová, I.. Změny ve výpočtových metodách tepelně technických norem. VŠB-TUO.[online]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/60230/FAST-2006-6-1-205-skotnicova.pdf?sequence=4

Výpočet dolní meze tepelného odporu heterogenní vrstvy dle Skotnicové [32], tedy vrstvy označené 3, bude proveden pomocí vztahu (17). Hodnoty tepelných odporů homogenních vrstev, tedy vrstev označených 1,2,4,5 a 6 , jsou zřejmé z tabulky č. 6.

Ekvivalentní tepelný odpor ve třetí vrstvě vyjádříme vztahem (17), avšak z důvodu členitosti a různorodého materiálového složení vrstvy číslo 3 v úsecích B a C nejprve určíme hodnoty tepelných odporů v těchto úsecích dle vztahu (18).

$$R_{b3} = \frac{0{,}045}{0{,}18} + \frac{0{,}15}{0{,}13} + \frac{0{,}045}{0{,}18} = 1{,}654 \quad (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_{c3} = \frac{0{,}045}{0{,}18} + \frac{0{,}15}{0{,}043} + \frac{0{,}045}{0{,}18} = 3{,}988 \quad (m^2 \bullet K)/W$$

$$\frac{1}{R_3} = \frac{0{,}856}{5{,}581} + \frac{0{,}1312}{1{,}654} + \frac{0{,}0128}{3{,}988} = 0{,}2359 \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R_3 = 4{,}239 \ (m^2 \bullet K)/W$$

Následně sečteme tepelné odpory všech vrstev a dosadíme do vztahu (12):

$$\sum R_{1-7} = 0{,}057 + 0{,}115 + 4{,}239 + 2{,}564 + 1{,}083 + 0{,}083 = 8{,}141 \ (m^2 \bullet K)/W$$

$$R''_T = 0{,}1 + 8{,}419 + 0{,}04 = 8{,}281 \ (m^2 \bullet K)/W$$

Použitím vypočítané hodnoty horní meze tepelného odporu R'_T konstrukce E dle předchozího postupu a vypočítanou hodnotou dolní meze tepelného odporu R''_T dle metodiky výpočtu dle Skotnicové[32], lze nyní vypočítat součinitel prostupu tepla dle vztahu (7):

$$U = \frac{2}{8{,}804 + 8{,}281} = 0{,}117 \ W/(m^2 \bullet K)$$

Dle vztahu (16) lze vyjádřit maximální vzniklou chybu e spojenou s použitím vztahu (7):

$$e = 100 \bullet \frac{8{,}804 - 8{,}281}{2} \bullet 0{,}117 = 3{,}06\%$$

---

[32] Skotnicová, I.. Změny ve výpočtových metodách tepelně technických norem. VŠB-TUO.[online]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/60230/FAST-2006-6-1-205-skotnicova.pdf?sequence=4

Maximální přípustná chyba $e_{\max}$ dle normy ČSN EN ISO 6946 [31] je dána takto:

$e_{\max} = 20\%$

Doporučená maximální přípustná chyba $e_{\max}$ je dle Chmúrného[28] dána takto:

$e_{doporuč.} = 10\%$

Vzájemné porovnání s vypočítanou hodnotou e dle postupu Skotnicové [32]:

$e < e_{\max}$ $\qquad$ $e < e_{doporuč.}$

$3{,}06\% < 20\%$ $\qquad$ $3{,}06\% < 10\%$

Při výpočtu dle vztahů (16) a (17) dle Skotnicové je vypočítaná chyba e **vyšší** než hodnota vzniklé chyby vypočítané ze vztahů (13) a (14) dle Chmúrného[28], avšak obě hodnoty jsou v obou případech nižší než je maximální přípustná chyba dle normy ČSN EN ISO 6946 [31] a také než doporučená maximální hodnota chyby 10%.

Pro porovnání součinitele prostupu tepla U s požadavky dané normou ČSN 73 0540-2 ($U_{pas,\ 20}$) [27] bude tak jako u konstrukcí A, B i C použita hodnota U vypočítaná dle postupu dle Chmúrného[28], tedy hodnota určená vztahem (23).

U = 0,114 $W/(m^2 \bullet K)$

Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla $\mathbf{U_{pas,20}}$ pro konstrukci E je v rozmezí 0,15 až 0,1 W/(m^{2}K).

$U_{pas,\min.} \le U \le U_{pas,\max.} \quad [W/(m^2 \bullet K)]$

kde: $U_{pas,\min.} = 0{,}10$; $W/(m^2 \bullet K)$

$U_{pas,\max.} = 0{,}15\ W/(m^2 \bullet K)$

$0{,}10\ W/(m^2 \bullet K) \ \le\ 0{,}114\ W/(m^2 \bullet K) \ \le\ 0{,}15\ W/(m^2 \bullet K)$

Dle výše uvedeného porovnání bylo zjištěno, že vypočítaný součinitel prostupu tepla splňuje požadavky dané normou ČSN 73 0540-2 ($U_{pas,\ 20}$) [27] a tudíž konstrukci můžeme definovat jako vyhovující požadavkům pro návrh pasivních budov.

---

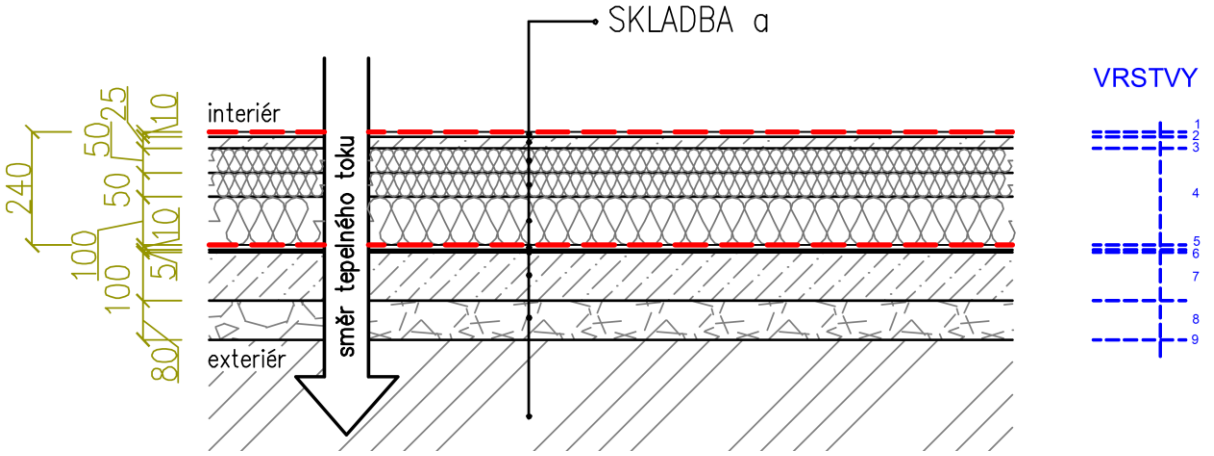
[27] ČSN 73 0540 – 2. Tepelná ochrana budov – část 2 - Požadavky. Praha, 2011.

6.6. Konstrukce F

Konstrukce podlahy je navržena směrem z interiéru z jednotlivých vrstev popsaných na obrázku č. 15. Nejdůležitějším prvkem z tepelně-technického hlediska je tu tepelná izolace EPS Stabil v tloušťce 200 mm a desky Fermacell FCEE v tloušťce 25 mm. Hydroizolaci tvoří asfaltové pásy. Do výpočtu součinitele prostupu tepla vstupují pouze vrstvy 1 až 4, tj. vrstvy nad vyrovnávacím podsypem umístěným nad hydroizolací a betonovou deskou.

Metodikou výpočtu součinitele prostupu tepla U konstrukce bez vlivu tepelných mostů je, stejně tak jako u konstrukce D, postup dle Chmúrného[28].

Navržená skladba konstrukce F je zřejmá z obrázku č. 14 a vstupní hodnoty pro výpočet tepelně technických parametrů dále uvádí tabulka č.7.



Obrázek 14: Návrh skladby obvodového pláště – konstrukce F
Zdroj: [vlastní zpracování]

Tabulka 7: Vstupní hodnoty jednotlivých vrstev skladby konstrukce F.
Zdroj: [vlastní zpracování]

Vrstvy	Název skladby	d_j [m]	λ_j [W/m K]	R [(m^{2}K)/W]
1	Keramická dlažba	0,0100	1,0100	0,0099
2	Lepidlo	0,0050	0,7400	0,0068
3	Desky Fermacell	0,0250	0,3200	0,7810
4	EPS Stabil 200 S	0,2000	0,0350	5,7143

R **Σ 5,8700**

Legenda k tabulce č.7:

d_j	je tloušťka j-té vrstvy	[m]
λ_j	je součinitel tepelné vodivosti v j-té vrstvě	[W/(m K)]
R	je tepelný odpor jednotlivých vrstev	[(m^2 K)/W]

Tepelné odpory jednotlivých vrstev v daném úseku v tabulce č. 7 jsou určeny ze vztahu (11).

Hodnoty součinitele prostupu tepla vypočítat použitím vztahů (21) a (22):

Vstupní hodnota celkového tepelného odporu všech vrstev konstrukce $\sum R$ je zřejmá z tabulky č.7.

Tepelné odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně jsou určeny normou[30]:

$$R_{si} = 0{,}17\ (m^2 \bullet K)/W \qquad a \qquad R_{se} = 0{,}04\ (m^2 \bullet K)/W$$

Nyní je možno dosadit hodnoty do vztahu (21) a (22):

$$R_T = 0{,}17 + 5{,}87 + 0{,}04 = 6{,}08\ (m^2 \bullet K)/W$$

$$U = \frac{1}{6{,}08} = 0{,}164 \quad W/(m^2 \bullet K)$$

Pro navrženou konstrukci F je doporučená hodnota součinitele prostupu tepla $\mathbf{U_{pas,20}}$ p v rozmezí 0,22 W/(m^{2}K) až 0,15 W/(m^{2}K).

$$U_{pas,\min.} \le U \le U_{pas,\max.} \qquad [W/(m^2 \bullet K)]$$

kde: $U_{pas,\min.} = 0{,}15$; $W/(m^2 \bullet K)$

$$U_{pas,\max.} = 0{,}22\ W/(m^2 \bullet K)$$

$$0{,}15\ W/(m^2 \bullet K) \ \le\ 0{,}164\ W/(m^2 \bullet K) \ \le\ 0{,}22\ W/(m^2 \bullet K)$$

Dle výše uvedeného porovnání bylo zjištěno, že vypočítaný součinitel prostupu tepla splňuje požadavky dané normou ČSN 73 0540-2 ($U_{pas,\ 20}$) [27] a tudíž konstrukci můžeme zařadit jako vyhovující požadavkům pro návrh pasivních budov.

---

[27] ČSN 73 0540 – 2. Tepelná ochrana budov – část 2 - Požadavky. Praha, 2011.
[30] ČSN 73 0540 – 3. Tepelná ochrana budov – část 3 - Návrhové hodnoty veličin. Praha, 2005.

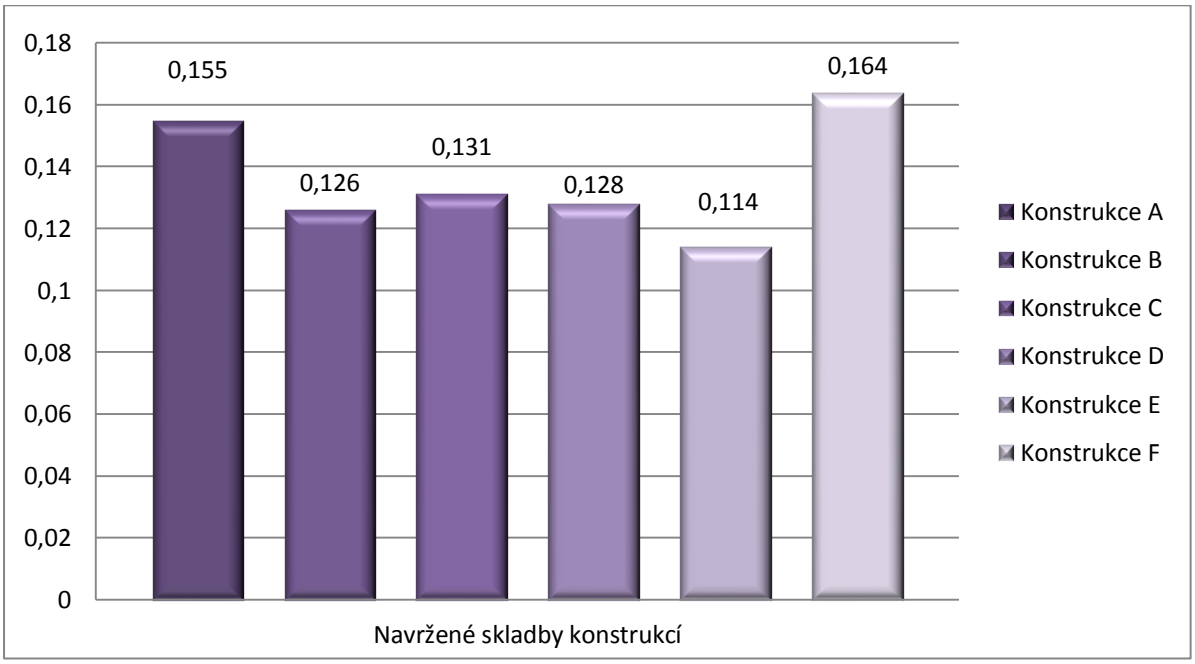
6.7. Srovnání navržených konstrukcí A-F

Vypočítané hodnoty součinitele prostupu tepla všech navržených konstrukcí jsou zřejmé z tabulky č. 8 a jejich vzájemné porovnání znázorňuje graf č. 1.

Tabulka 8: Vypočítané součinitele prostupu tepla u navržených skladeb opláštění.
Zdroj: [vlastní zpracování]

Konstrukce	Název skladby	U [W/(m^{2}K)]
A	Obvodová stěna - dřevěná sloupková konstrukce - izolace z celulózy	0,155
B	Obvodová stěna - dřevěná sloupková konstrukce - izolace ze slámy	0,126
C	Obvodová stěna - dřevěná sloupková konstrukce - izolace z ovčí vlny	0,131
D	Obvodová stěna - pórobetonové tvárnice Ytong + izolace Multipor	0,128
E	Střešní plášť - plochá střecha s izolací z celulózy	0,114
F	Podlaha nad terénem - tepelná izolace z desek EPS Stabil	0,164

Graf 1: Porovnání navržených konstrukcí dle součinitele prostupu tepla.
Zdroj: [vlastní zpracování]



Z důvodu tepelně-technického i ekonomického zhodnocení celkové obálky domu dle jednotlivých návrhů skladeb obvodového svislého pláště, je nutno dále provést návrh konkrétního domu o rozměrech, z nichž je poté možno spočítat obestavěný objem domu. Navrženou obálku lze následně porovnat s hodnotami požadovaného součinitele prostupu tepla.

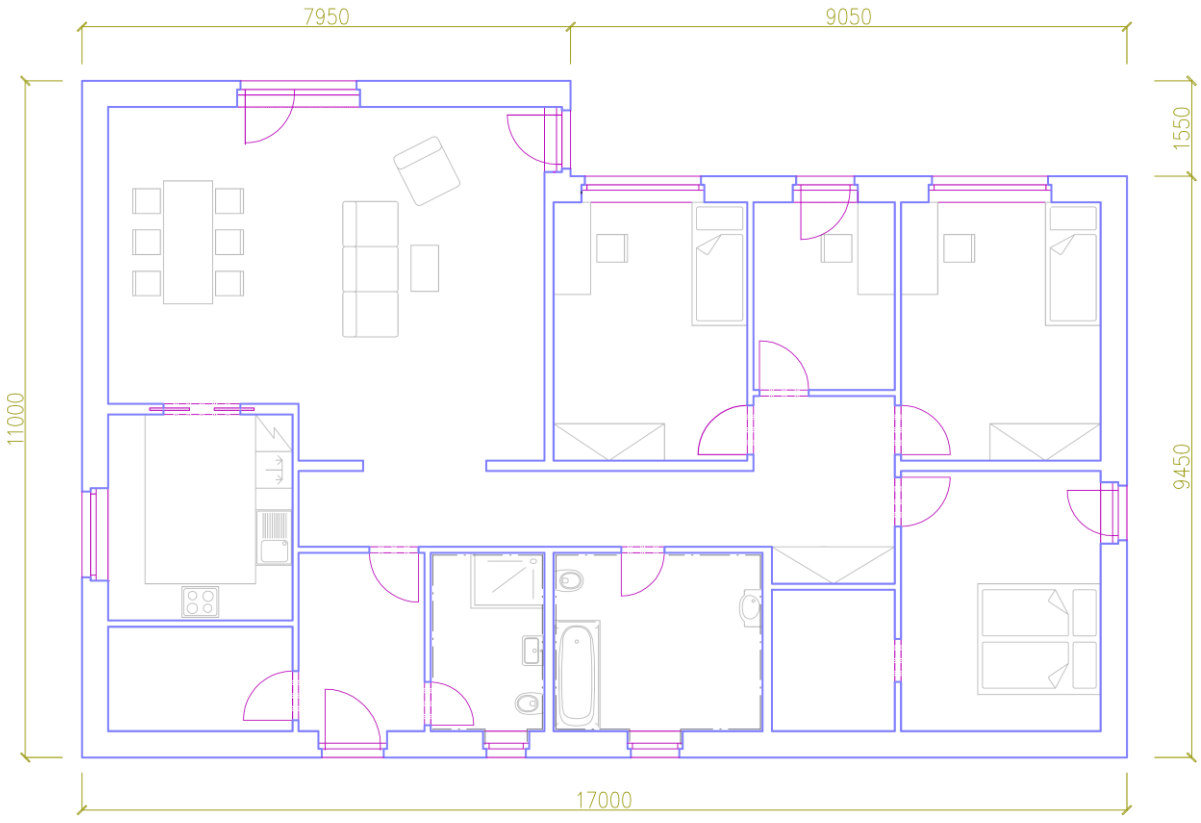
7. Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla Uem

7.1. Návrh obestavěného prostoru domu

Novostavba rodinného domu je navržena jako jednopodlažní, nepodsklepená a zastřešení tvoří pultová střecha. Všechny obytné místnosti budou umístěny s ohledem ke světovým stranám, tj. od východu po západ. K severní straně bude umístěna druhá doplňková koupelna, technická místnost pro technologii TZB a šatna, přiléhající k ložnici umístěné směrem k východní straně. Vhodně zvolená orientace domu vůči světovým stranám má důležitý vliv na tepelně-technické vlastnosti. K severní straně je navrženo minimální množství výplní otvorů z důvodu zamezení tepelných ztrát. Zastavěná plocha činní 173 m^2.

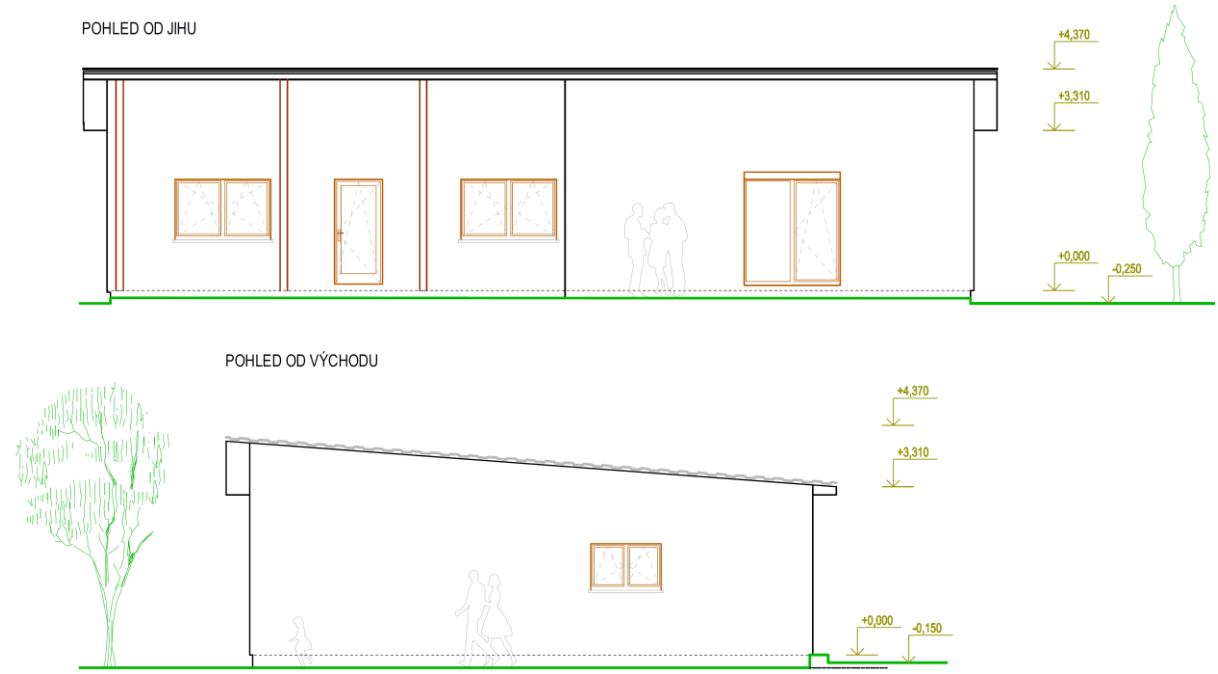
Dům je uvažován téměř obdélníkového tvaru – viz obrázek č.15.

Pohledy na navržený dům – viz obrázek č. 16 a 17.

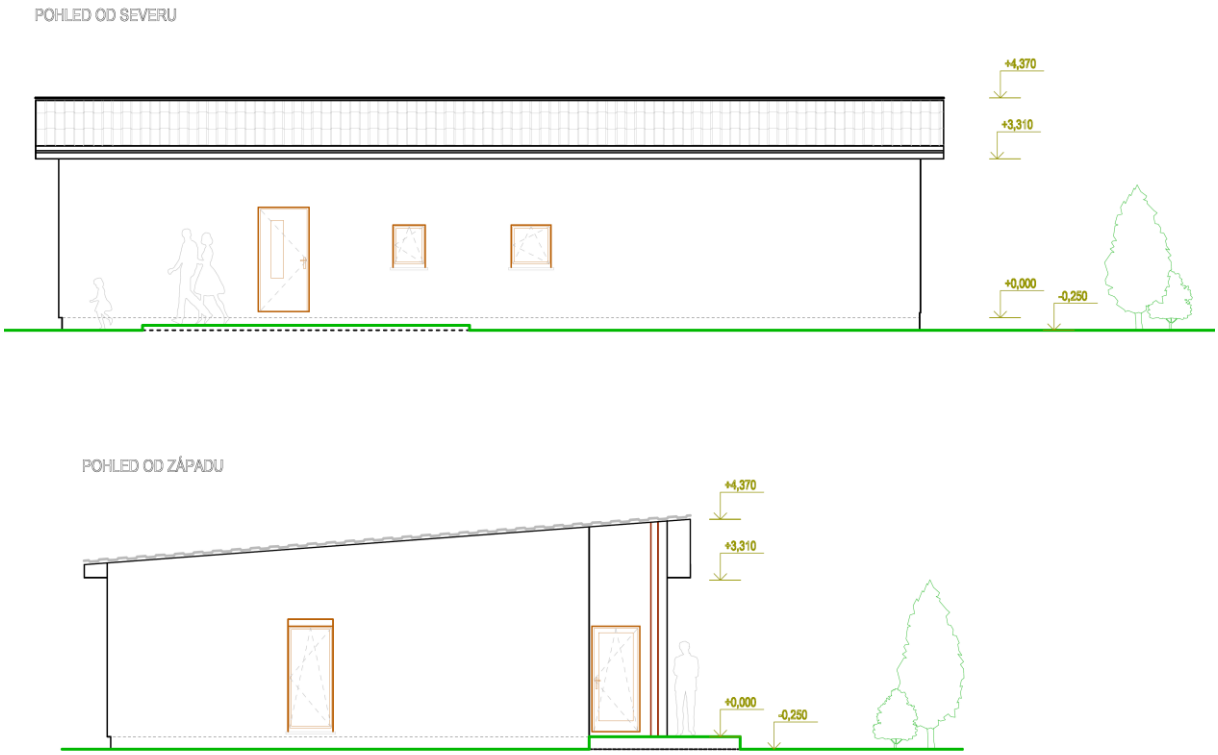


Obrázek 15**:** Návrh půdorysu rodinného domu - studie
Zdroj: [vlastní zpracování]

NÁVRH FASÁDY:



Obrázek 16**:** Návrh fasády rodinného domu – studie – pohled od jihu a východu
Zdroj: [vlastní zpracování]



Obrázek 17**:** Návrh fasády rodinného domu – studie – pohled od severu a západu
Zdroj: [vlastní zpracování]

7.2. Výpočet požadovaného průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy

Z důvodu určení klasifikační třídy tepelně technických vlastností navržených obálek domů, které jsou dle odlišné svislé konstrukce označeny A – D, je třeba dále stanovit požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla. Tento součinitel je následně dle normy[27] porovnán s vypočítanými průměrnými součiniteli prostupu tepla jednotlivých obálek domů ozn. A - D.

V tabulce č.9 jsou uvedené hodnoty geometrické charakteristiky budovy pro následné použití pro výpočet průměrného součinitele tepla obálkou domu.

Tabulka 9: Geometrické charakteristiky budovy.
Zdroj: [vlastní zpracování]

Geometrické charakteristiky budovy		
Parametr	**Jednotky**	**Hodnota**
Objem budovy V *(objem částí budovy s upravovaným vnitřním prostředím vymezený vnějšími povrchy konstrukcí obálky budovy)*	[m^3]	664,215
Celková plocha obálky A *(součet vnějších ploch konstrukcí ohraničujících objem budovy V)*	[m^2]	537,509
Objemový faktor tvaru budovy A/V	[m^2/m^3]	0,809
Celková energeticky vztažná plocha budovy A_c	[m^2]	172,973

Jednotlivé plochy v tabulce č. 9 jsou zvoleny na základě rozměrů uvedených v architektonické studii rodinného domu.

Měrná tepelná ztráta $H_{T,j}$ je stanovena:

$$H_{T,j} = A_j \bullet U_j \bullet b_j \qquad [W/K] \tag{24}$$

kde: A_j plocha konstrukce ohraničující vytápěný prostor [m^2]
U_j požadovaný součinitel prostupu tepla určen normou[27] [W/(m^2 K)]
b_j činitel teplotní redukce určený normou[30] [-]

[27] ČSN 73 0540 – 2. Tepelná ochrana budov – část 2 - Požadavky. Praha, 2011.
[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3
[30] ČSN 73 0540 – 3. Tepelná ochrana budov – část 3 - Návrhové hodnoty veličin. Praha, 2005.

Měrná tepelná ztráta H_T včetně vlivu tepelných mostů na hranici domu lze stanovit na základě vztahu:

$$H_T = \sum H_{T,j} + \sum A_j \bullet \Delta U_{tbm} \qquad [W/K] \tag{25}$$

kde: $H_{T,j}$ měrná ztráta prostupem tepla bez vlivu tepelných mostů [W/K]

A_j plocha konstrukce ohraničující vytápěný prostor [m^2]

ΔU_{tbm} průměrný vliv tepelných vazeb mezi ochlazovanými konstrukcemi na systémové hranici budovy [W/(m^2 K)]

Hodnota ΔU_{tbm} pro zateplené konstrukce je převzata dle Chmúrného[28]:

$$\Delta U_{tbm} = 0{,}05 \quad [W/(m^2 \bullet K)] \tag{26}$$

Požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} lze obecně vyjádřit ze vztahu:

$$U_{em} = H_T / \sum A_j \qquad [W/(m^2 \bullet K)] \tag{27}$$

kde: H_T měrný tepelný tok vč. vlivu tepelných mostů [W/K]

A_j průměrný vliv tepelných vazeb na hranici budovy [m^2]

Tabulka 10: Požadavky na požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em,N,20}$

Zdroj: [vlastní zpracování]

Požadavky na požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla				
Konstrukce obálky budovy	**Plocha A_j**	**Vypočítaná hodnota součinitele prostupu tepla U_j**	**Činitel tepl. redukce b_j**	**Měrná ztráta prostupem tepla $H_{T,j}$**
	[m^2]	[W/(m^2K)]	[-]	[W/K]
Obvodová stěna - skladba A-D	194,34	0,3	1	58,302
Střecha	172,284	0,24	1	41,348
Podlaha na terénu	150,185	0,45	0,49	33,116
Dveře	2,4	1,7	1	4,080
Okna	18,3	1,5	1	27,450
Celkem - při použití skladby A-D	537,509	---	---	164,296

Měrná tepelná ztráta $H_{T,j}$ v tabulce č. 10 je stanovena dle vztahu (24).

[27] ČSN 73 0540 – 2. Tepelná ochrana budov – část 2 - Požadavky. Praha, 2011.
[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3

Jednotlivé plochy v tabulce č. 10 jsou zvoleny na základě rozměrů uvedených v architektonické studii rodinného domu a činitel teplotní redukce je určen dle normy[30]. Výplně otvorů jsou navrženy jako dřevěné s izolačním trojsklem a součinitel prostupu tepla je odhadnut.

Měrná tepelná ztráta budovy je vyjádřena dle vztahu (25) A (26) takto:

$$H_T = 164{,}296 + 537{,}509 \bullet 0{,}05 = 191{,}171 \quad W/K$$

Hodnota požadovaného průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy $U_{em,20}$ je dle vztahu (27) vyjádřena takto:

$$U_{em} = H_T / \sum A_j \qquad \left[W/(m^2 \bullet K)\right]$$

$$U_{em,N,20} = 191{,}171 / 537{,}509 = 0{,}356 \quad W/(m^2 \bullet K)$$

Vypočítaná hodnota požadovaného průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy $U_{em,20}$ je nižší než 0,5 W/(m^2*K), čímž je splněna podmínka daná Vyhláškou č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov.

7.3. Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla navrženou obálkou budovy

Následně vypočítáme průměrný součinitel prostupu tepla navrženou obálkou domu, který nakonec porovnáme s požadovaným průměrným součinitelem prostupu tepla $U_{em,N,20}$.

Vstupní hodnoty pro výpočet měrného tepelného toku H_T a následně průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} uvádí tabulka č. 11.

[30] ČSN 73 0540 – 3. Tepelná ochrana budov – část 3 - Návrhové hodnoty veličin. Praha, 2005.

Tabulka 11: Požadavky na součinitel prostupu tepla navrženou obálkou domu.
Zdroj: [vlastní zpracování]

Požadavky na součinitel prostupu tepla				
Konstrukce obálky budovy	**Plocha** A_j	**Vypočítaná hodnota souč. prostupu tepla** U_j	**Činitel tepl. redukce** b_j	**Měrná ztráta prostupem tepla** $H_{T,j}$
	[m^2]	[W/(m^2K)]	[-]	[W/K]
Obvodová stěna - skladba A	194,34	0,155	1	30,123
Obvodová stěna - skladba B	194,34	0,126	1	24,487
Obvodová stěna - skladba C	194,34	0,131	1	25,459
Obvodová stěna - skladba D	194,34	0,128	1	24,876
Střecha	172,284	0,114	1	19,640
Podlaha na terénu	150,185	0,164	0,49	12,069
Dveře	2,4	0,9	1	2,160
Okna	18,3	0,7	1	12,810
Celkem - při použití skladby A	537,509	---	---	76,802
Celkem - při použití skladby B	537,509	---	---	71,166
Celkem - při použití skladby C	537,509	---	---	72,138
Celkem - při použití skladby D	537,509	---	---	71,555

Měrná tepelná ztráta $H_{T,j}$ v tabulce č. 11 je stanovena dle vztahu (24). Činitel teplotní redukce je určen dle normy [30].

Jednotlivé plochy v tabulce č. 11 jsou zvoleny na základě rozměrů uvedených v architektonické studii rodinného domu. Výplně otvorů jsou navrženy jako dřevěné s izolačním trojsklem a součinitel prostupu tepla je odhadnut.

Měrná tepelná ztráta H_T včetně vlivu tepelných mostů na hranici domu dle jednotlivých návrhů skladeb konstrukcí svislého opláštění označených A, B, C a D je následně určena dle vztahu (25) a (26) takto:

$$H_{T,A} = 76{,}802 + 537{,}509 \bullet 0{,}05 = 103{,}678 \quad W/K$$

$$H_{T,B} = 71{,}166 + 537{,}509 \bullet 0{,}05 = 98{,}041 \quad W/K$$

$$H_{T,C} = 72{,}138 + 537{,}509 \bullet 0{,}05 = 99{,}014 \quad W/K$$

$$H_{T,D} = 71{,}555 + 537{,}509 \bullet 0{,}05 = 98{,}430 \quad W/K$$

[28] Chmúrný,I..Tepelná ochrana budov. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3
[30] ČSN 73 0540 – 3. Tepelná ochrana budov – část 3 - Návrhové hodnoty veličin. Praha, 2005.

Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} je následně vyjádřen zvlášť pro jednotlivé obálky budov s odlišnou svislou konstrukcí, označené A,B,C a D, dle vztahu (27):

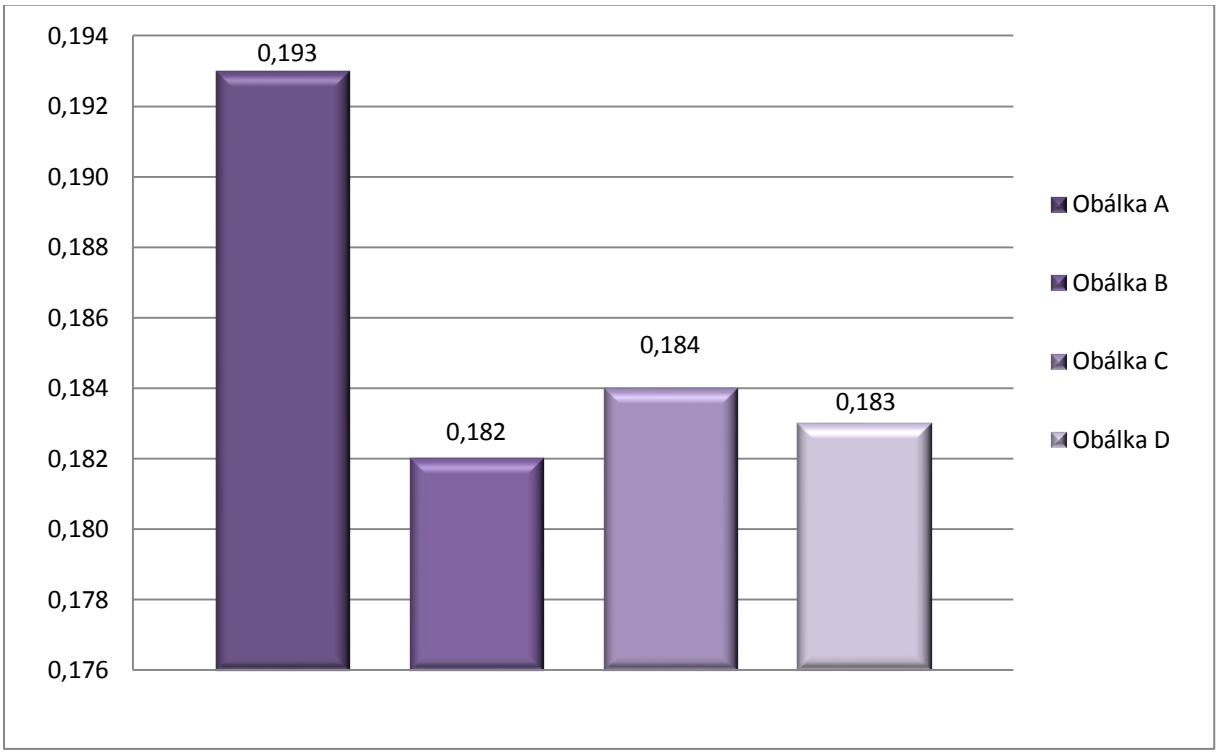
$$U_{em,A} = 103{,}678 / 537{,}509 = 0{,}193 \quad W/(m^2 \bullet K)$$

$$U_{em,B} = 98{,}041 / 537{,}509 = 0{,}182 \quad W/(m^2 \bullet K)$$

$$U_{em,C} = 99{,}014 / 537{,}509 = 0{,}184 \quad W/(m^2 \bullet K)$$

$$U_{em,D} = 98{,}430 / 537{,}509 = 0{,}183 \quad W/(m^2 \bullet K)$$

Graf 2: Porovnání průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy A - D
Zdroj: [vlastní zpracování]



7.4. Určení klasifikační třídy obálky budovy

Dle zjištěných výsledných hodnot průměrných součinitelů prostupu tepla obálkami budov s odlišným svislým opláštěním $U_{em,A-D}$ a požadovaného průměrného součinitele tepla $U_{em,N,20}$, lze určit jejich vzájemný poměr dle normy[27]. Na základě tohoto zařazení můžeme vyhodnotit klasifikační třídy prostupu tepla hodnocenými konstrukcemi.

Nejprve posoudíme, zdali hodnocené konstrukce můžeme zařadit do klasifikační třídy a slovního hodnocení „ A – velmi úsporná“. Jednotlivé poměry mezi porovnávanými součiniteli prostupu tepla uvádí norma ČSN 73 0540 – 2 [27].

$$U_{em} \leq 0{,}5 \bullet U_{em,N,20}$$

$U_{em,A-D} \geq 0{,}5 \bullet U_{em,N,20}$; přičemž $U_{em,N,20} = 0{,}356 \quad W/(m^2 \bullet K)$

$$U_{em,A-D} \geq 0{,}178$$

Dle výše uvedeného porovnání je zřejmé, že ani jedna z navržených obálek budov nesplňuje podmínku pro začlenění z hlediska tepelně technických vlastností obálky budovy do klasifikační třídy „ A“.

Nyní je možno posoudit, zdali hodnocené obálky budov ozn. A - D můžeme zařadit do klasifikační třídy a slovního hodnocení „B - úsporná“. Norma [27] uvádí pro toto zatřídění vztah:

$$0{,}5 \bullet U_{em,N,20} \leq U_{em} \leq 0{,}75 \bullet U_{em,N,20}$$

$0{,}5 \bullet U_{em,N,20} \leq U_{em,A-D} \leq 0{,}75 \bullet U_{em,N,20}$; přičemž $U_{em,N,20} = 0{,}356 \quad W/(m^2 \bullet K)$

$$0{,}178 \leq U_{em,A-D} \leq 0{,}267$$

Porovnáním bylo zjištěno, že všechny navržené obálky budov označené A,B,C a D splňují požadavek pro začlenění do klasifikační třídy a slovního hodnocení „ B - úsporná“.

Výše uvedená metodika použití normy [27] však zohledňuje **pouze tepelně technické hledisko**, dále se nezabývá např. orientací budovy vůči světovým stranám nebo navrženou technologií TZB. Komplexní posouzení energetické bilance domu může zhodnotit Národní kalkulační nástroj, avšak z důvodu náročnosti návrhu technologického zařízení budovy nebude toto v této diplomové práci hodnoceno.

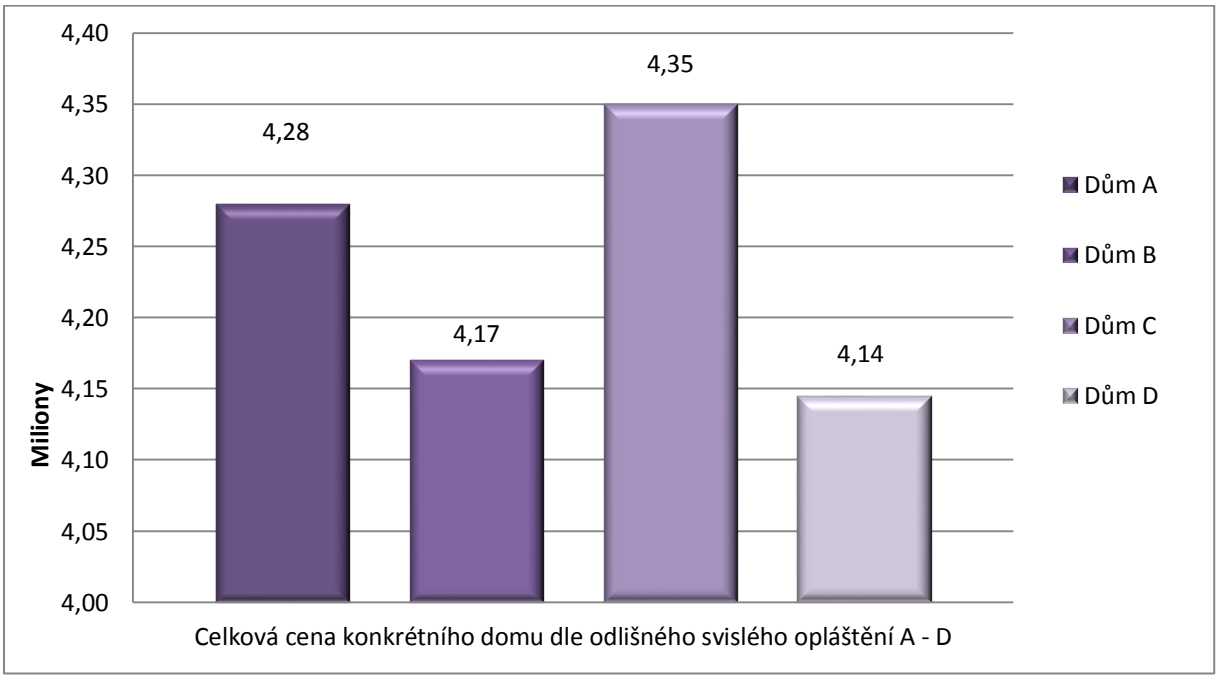
---

[27] ČSN 73 0540 – 2. Tepelná ochrana budov – část 2 - Požadavky. Praha, 2011.

8. Propočet nákladů na výstavbu jednotlivých typů navržených budov

Na základě položkových rozpočtů, které tvoří přílohy č. 13,14,15 a 16, je níže uveden graf zobrazující orientační ceny za výstavbu domu „ na klíč “ dle jednotlivých návrhů domů s odlišným konstrukčním řešením svislého obvodového pláště. Pro ocenění položkových rozpočtů byly z důvodu reálné současné ceny na trhu osloveny dvě realizační společnosti, které následně zpracovaly cenovou nabídku. Pro účel diplomové práce byla vybrána ta nabídka, jejíž celková cena byla nejnižší. Množství, uvedené v položkových rozpočtech bylo spočítáno z architektonické studie, vyjma vnitřního vybavení a TZB, které bylo oceněno odhadem dle vlastních zkušeností z praxe s obdobnými stavebními záměry.

Graf 3: Porovnání navržených konstrukcí dle orientačních nákladů na realizaci domu.
Zdroj: [vlastní zpracování]



Stručný popis svislých konstrukcí dle označení A – D:

Dům A – vnitřní nosná konstrukce z dřevěných trámů, izolace z foukané celulózy

Dům B – konstrukce z I nosníků (stojina za OSB), izolaci tvoří sláma

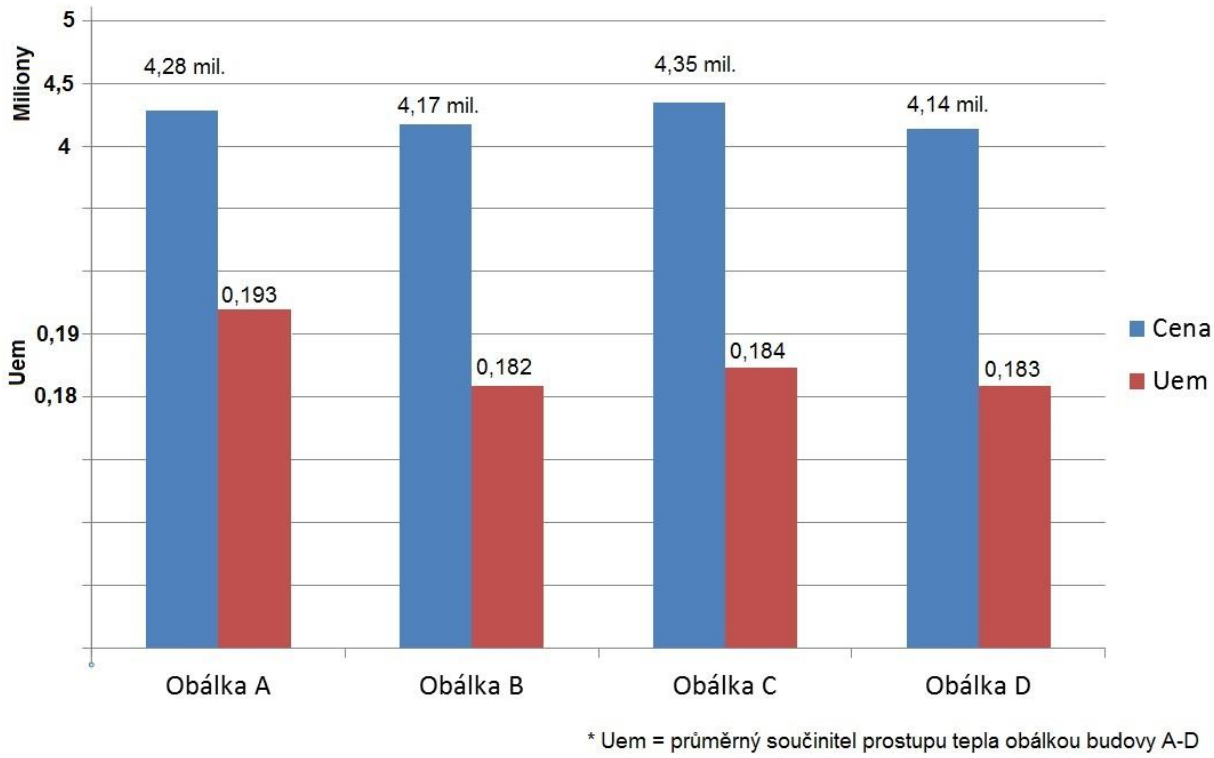
Dům C – konstrukce z I nosníků Steico (stojina z MDF), izolaci tvoří ovčí vlna

Dům D – zdivo ze sytému Ytong P2 se zateplením Multipor

9. Tepelně – technické a ekonomické posouzení

Všechny konstrukce byly navrženy a postupně upravovány tak, aby součinitel prostupu tepla danou konstrukcí splnil požadavky dané normou pro návrh pasivních budov. Výsledné zatřídění do klasifikační třídy u všech čtyř variant obálek budovy vyšlo ve třídě „ B - úsporná“. Pro začlenění do klasifikační třídy „ A – velmi úsporná“ je obecně možno zvýšit tloušťku izolace v konstrukci.

Graf 4: Porovnání průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy a orientačních nákladů na realizaci kompletní stavby
Zdroj: [vlastní zpracování]



Nejnižší průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy vychází u konstrukce B.

Nejnižší orientační náklady na realizaci domu vychází u konstrukce D.

Rozvoj výstavby domu z dřevěných materiálů je v České republice bohužel stále pozvolný, což může být způsobeno například nedostatečnou informovaností potencionálních stavebníků nebo stále malým počtem odborníků a společností, které tyto materiály používají. Je pravdou, že návrh pasivního domu sice řeší energetickou náročnost budovy, avšak ve většině těchto případů se bohužel stále jedná o domy s vysokou aktivní bilancí CO_2.

Přednosti navržených konstrukcí na bázi dřeva s ekologicky šetrnou izolací

Materiály na bázi dřeva a dřevo samotné jsou jednoznačně ekologicky nejpřijatelnější volbou pro téměř jakýkoliv stavební záměr. To je dáno mnohonásobně nižšími náklady na výrobu oproti zejména betonu či oceli, jejichž energeticky náročnou výrobou vznikají emise CO_2, které negativně působí na životní prostředí. Výrobou materiálů na bázi dřeva se dále zpracovává dřevařský odpad, který by již nemusel být jinak využit a vznikají tak poměrně levné a kvalitní stavební materiály. Dřevo a dřevěné výrobky jsou recyklovatelné. Tepelná izolace využitá v navržených dřevěných konstrukcích je také přírodního původu a jejím využitím jsou zpracovány většinou nevyužité a energeticky nenáročné suroviny. V případě izolace z celulózy je využit starý sběrný papír. Sláma většinou slouží jako funkčně nevyužitá surovina v zemědělství. Ovčí vlna je zpracována z bílkovinových ovčích vláken a jako jediný stavební materiál prokazatelně neutralizuje škodlivé látky a stará se tak aktivně o zdravý vzduch v prostoru.

Konstrukce svislého opláštění A

- *Vnitřní nosná konstrukce z dřevěných trámů, izolaci tvoří foukané celulóza*

Mezi přednosti této konstrukce patří zejména zamezení tepelných mostů v místě nosného prvku konstrukce, lepší požární odolnost a stabilita konstrukce oproti konstrukčním návrhům B a C. Další výhodou může být jednodušší řešení osazení francouzského okna či lehkého obvodového pláště, avšak u tohoto návrhu je nutno brát v úvahu, že součinitel prostupu tepla v místě zasklení je několikanásobně vyšší než v místě zateplené konstrukce, a tudíž nesprávný návrh lehkého obvodového pláště u této budovy může mít veliký vliv při výpočtu průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy. Nevýhodou může být vyšší cena z důvodu nákladů na masivní nosnou dřevěnou konstrukci a také horší součinitel prostupu tepla oproti porovnávaným konstrukcím, který může být způsoben návrhem nedostatečné tloušťky tepelné izolace a také nepřesností výpočtu – nejvyšší chyba spojená s výpočtem součinitele prostupu tepla byla zjištěna u konstrukce A a činí 14,11 %. Montáž je provedena na stavbě, kdy je nejprve provedena nosná kostra a následně svislé laťování nesoucí bednící desky, avšak oproti konstrukcím B a C, není tato realizace nijak více zdlouhavá.

Jelikož součinitel prostupu tepla svislou konstrukcí a průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy byl vyhodnocen jako nejvyšší z diagnostikovaných konstrukcí, je možné jejich hodnotu snížit zvýšením tloušťky tepelné izolace, například z každé strany o 1 cm a zároveň i zvětšit průřez svislých latí nesoucích bednící desky.

Konstrukce svislého opláštění B

- *Konstrukce z nosníků tvaru I (stojina za OSB), izolaci tvoří sláma*

Výhodou této konstrukce jsou dobré tepelně-technické vlastnosti a nižší cena při použití slámy jako tepelné izolace. Slámové balíky se vkládají podélně vlákny mezi nosníky na bázi dřeva, avšak tato montáž, i když se jeví jako téměř jednoduchá, může být pro dosažení deklarovaného tepelně-technického výsledku součinitele prostupu tepla technologicky složitá.

Konstrukce svislého opláštění C

- *Konstrukce z I nosníků Steico (stojina z MDF), izolaci tvoří ovčí vlna*

Předností této konstrukce je použití izolace z ovčí vlny a tudíž využití jejích příznivých vlastností. Nevýhodou použití této konstrukce může být dle orientačního propočtu vysoká cena, kterou způsobuje zejména dodávka ovčí vlny. Montáž spočívá ve vložení izolačního pásu z jehlové plsti ze střižní ovčí vlny mezi nosníky na bázi dřeva.

Konstrukce svislého opláštění D

- *Zdivo ze systému Ytong P2 se zateplením Multipor*

Výhodou použití této konstrukce může být nižší cena a současně dobré tepelně-technické vlastnosti, avšak při stavbě celého domu je rozdíl nákladů na její realizaci oproti dřevostavbám nevýrazný. Nevýhodou použití této konstrukce je mnohonásobně vyšší spotřeba energie na produkci výrobků v systému Ytong a také jejich likvidace po ukončení životnosti stavby. Ve srovnání s použitím materiálů na bázi dřeva má tento stavební systém značně nepříznivý dopad na životní prostředí.

Z výše uvedeného zhodnocení lze usoudit, že při správném návrhu dřevostavby dosáhneme téměř stejného součinitele prostupu tepla a zároveň zanedbatelného finančního rozdílu v nákladech na její pořízení ve srovnání s obecně rozšířeným systémem Ytong s vnějším zateplením Multipor. Volbou výstavby domu ze dřeva tedy můžeme získat energeticky nenáročnou stavbu za přijatelnou cenu a zároveň podpořit budoucnost této planety tím, že nebudeme zatěžovat životní prostředí výrobou energeticky náročných materiálů.

10. Závěr

Diplomová práce byla zaměřena především na návrh a zhodnocení vybraných dřevěných svislých stavebních konstrukcí. Úvodem byl tedy stručně popsán význam a vlastnosti dřeva jako stavebního materiálu, historický vývoj dřevěných konstrukcí a konstrukční systémy dřevostaveb. Dále byl okrajově vysvětlen záměr výstavby dřevostaveb v pasivním standardu. Následně byla práce již rozsáhleji věnována charakteristice materiálů vhodných pro použití do skladby konstrukce svislého opláštění. Tyto materiály byly děleny jako nosné, nenosné a izolační. U nosných dřevěných konstrukcí bylo obecně zhodnoceno také požární hledisko.

Pro naplnění cílů diplomové práce byl dále postupně proveden tepelně-technický návrh šesti stavebních konstrukcí, z nichž konstrukce označené A až D tvoří svislé opláštění budovy a konstrukce E a F představují střešní plášť a podlahu na terénu. U každé konstrukce byl proveden nejprve její návrh a dále podrobný ruční výpočet součinitele prostupu tepla konstrukcí dle předem popsané metodiky. Na základě tohoto výpočtu bylo zjištěno, zda navržená skladba vyhovuje požadavkům pro návrh pasivních budov. V případě, že konstrukce tyto požadavky nesplňuje, byla dále provedena úprava skladby konstrukce, nejčastěji zvýšením tloušťky tepelné izolace. Výsledné hodnoty součinitele prostupu tepla všech konstrukcí byly zakresleny v grafické podobě. Následně byl proveden jednotný návrh studie rodinného domu z důvodu začlenění konkrétní obálky budovy do klasifikační třídy. Všechny čtyři obálky budovy s odlišným svislým opláštěním, byly z tepelně – technického hlediska zařazeny do klasifikační třídy „ B - úsporná“. Za účelem ekonomického zhodnocení byly dále provedeny cenové propočty těchto čtyř staveb, a určena celková cena díla za každý objekt zvlášť. Dále bylo provedeno vzájemné zhodnocení navržených konstrukcí dle všech zjištěných hodnot a také byly uvedeny přednosti využití dřeva jako stavebního materiálu.

11. Seznam literatury a použitých zdrojů

11.1. Knihy a odborné publikace

GANDELOVÁ, L.; HORÁČEK, P.; ŠLEZINGEROVÁ, J. *Nauka o dřevě*. Brno: MZLU, 2009. 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2

KOLB, Josef. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2008, 320 s. ISBN 978-80-247-2275-7.

KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*, 1. vydání, ČKAIT s.r.o., Sokolská 15, Praha 2 - 148. publikace, 172 s., ISBN 80-86769-72-0.

TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3*: nulové, pasivní a další. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 195 s. ISBN 978-80-247-3832-1.

VAVERKA, J., HAVÍŘOVÁ, Z., JINDRÁK, M., a kol.. *Dřevostavby pro bydlení*. 1.vydání. Praha: Grada, 2008. 376 s. ISBN 978-80-247-2205-4.

BÖHM, M., REISNER, J., BOMBA, J.. *Materiály na bázi dřeva*. 1.vydání. ČZÚ FLD Praha, 2012. Ph.D. 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6

ŠÁLA, J.. *Zateplování budov*. Praha, Grada Publishing, 2008. 176 s. ISBN 80-7169-833-4

CHMÚRNÝ,I..*Tepelná ochrana budov*. Prvé vydanie. Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-88905-27-3.

11.2. Normy, vyhlášky

ČSN EN 1995-1-1 (ČSN 73 1701) - Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2006.

ČSN 73 1702. Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2007.

ČSN 73 2824-1. Třídění dřeva podle pevnosti: Část1: Jehličnaté řezivo. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

ČSN EN 338 (73 1711). Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti. Praha: Český normalizační institut, 2010.

ČSN EN 14279+A1.Vrstvené dřevo (LVL) - Definice, klasifikace a specifikace. Evropský výbor pro normalizaci, 2009.

ČSN EN 1363-1. Zkoušení požární odolnosti – Část 1: Základní požadavky. Praha: ÚNMZ, 2012.

ČSN EN 13501-1. Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň. Praha: ÚNMZ, 2010.

ČSN 73 0810. Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení. Praha: ÚNMZ, 2009

ČSN 73 0833. Požární bezpečnost staveb – Budovy pro bydlení a ubytování. Praha: ÚNMZ, 2010.

ČSN 73 0802. Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty. Praha: ÚNMZ, 2009.

ČSN EN 73 0821. Požární bezpečnost staveb – Požární odolnost stavebních konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2007.

ČSN EN 520+A1 (72 3611). Sádrokartonové desky - Definice, požadavky a zkušební metody Praha: Český normalizační institut, 2010.

ČSN EN ISO 6946 – 73 0558. Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda. Praha. Český normalizační institut, 2009.

ČSN 73 0540 – 2. Tepelná ochrana budov – část 2 - Požadavky. Praha, 2011.

ČSN 73 0540 – 3. Tepelná ochrana budov – část 3 - Návrhové hodnoty veličin. Praha, 2005.

ČSN EN ISO 6946. Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda. Praha, 2008.

11.3. Internetové zdroje

KUKLÍK, Petr. Energetická náročnost dřevostaveb. [online]. Dostupné z: www.stpcr.cz/?download=_/sborinhob2013/28_kuklik.pdf

KUJANOVÁ, Katarína, Ing.arch.Ph.D. Dom a bývanie. Drevostavby. Vieme o nich všetko? [online]. [cit.12.7.2013]. Dostupné z: http://www.domabyvanie.eu/page/index.php?log=clanok&uid=44

SMOLA, J., Šála, J. Nízká energetická náročnost budov a její zajištění ve výstavbě. [online]. Dostupné z: http://www.pasivnidomy.cz/data/files/3629.pdf

Certifikovaný pasivní dům = ověřená kvalita. Pasivní domy [online]. Ze dne 26.9.2011. Dostupné z: http://www.pasivnidomy.cz/certifikovany-pasivni-dum-overena-kvalita/t683

Dufková, M.,ČVUT Praha. stavba.tzb-info.cz. Požadavky na požární bezpečnost dřevostaveb. 28.2.2011. [online]. Dostupné z: http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby-nove/7184-pozadavky-na-pozarni-bezpecnost-drevostaveb

Pokorný, M.,ČVUT Praha. stavba.tzb-info.cz. Hlediska požární bezpečnosti dřevostaveb v České republice, 1. díl. 18.11.2013. [online]. Dostupné z: http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/10599-hlediska-pozarni-bezpecnosti-drevostaveb-v-ceske-republice-1-dil

NIS – Nábytkářský informační systém. www.n-i-s.cz. Aglomerované materiály s přídavkem nedřevěných materiálů. [online]. Dostupné z: http://www.n-i-s.cz/cz/aglomerovane-materialy-s-pridavkem-nedrevenych-materialu/page/216/

Hofatex. Hofatex Therm. http://www.hobra-hofatex.cz. [online]. Dostupné z: http://www.hobra-hofatex.cz/produkty/stropy/hofatex-therm

Asociace výrobců minerální izolace. Skelná vlna nebo celulóza. [online] Dostupné z: http://www.mineralniizolace.cz/skelna-vlna-nebo-celuloza-1310395487.html

Stavebnictví 3000. Tepelné izolace – přehled, materiály, druhy, způsoby použití. [online] Dostupné z: http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tepelne-izolace-prehled-materialy-druhy-zpusoby-po/

Slanina, P.. Odborný článek. Parotěsná vrstva – terminologie, rozdělení, navrhování. Tepelná ochrana budov. 2004. [online] Dostupné z: http://slanina.cz/publikace/

Vodička, A., Mlejnek, P., Včelák, J. a kol.. Vlastnosti dřevostaveb. Může být vlhkost nepřítelem dřevostaveb?. 2015. [online] Dostupné z: http://stavba.tzb-info.cz/vlastnosti-drevostaveb/12847-muze-byt-vlhkost-nepritelem-drevostaveb

Pasivní domy Atrea. Typový dům ATREA – katalog (PDF 2,7 MB) [online] Dostupné z: http://www.domyatrea.cz/cz/ke-stazeni

Skotnicová, I.. Změny ve výpočtových metodách tepelně technických norem. VŠB-TUO.[online]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/60230/FAST-2006-6-1-205-skotnicova.pdf?sequence=4

12. Seznam příloh

Příloha č. 1 - Skladba konstrukce A ……..…….....97

Příloha č. 2 - Skladba konstrukce B …….…… 98

Příloha č. 3 - Skladba konstrukce C ……..……..... 99

Příloha č. 4 - Skladba konstrukce D ……..……... 100

Příloha č. 5 - Skladba konstrukce E ……..…….. 101

Příloha č. 6 - Skladba konstrukce F ……..…..... 102

Příloha č. 7 – Vzorový půdorys 1.NP ……. . 103

Příloha č. 8 – Konstrukce A - půdorys 1.NP ……..……. 104

Příloha č. 9 – Konstrukce A – detail 1 ……..…….. 105

Příloha č. 10 – Konstrukce A – detail 2 ……..…. 106

Příloha č. 11 – Pohledy – východ, jih ……..…. 107

Příloha č. 12 – Pohledy – sever, západ ..……. 108

Příloha č. 13 – Konstrukce A – položkový propočet nákladů na realizaci ……..…..…. 109

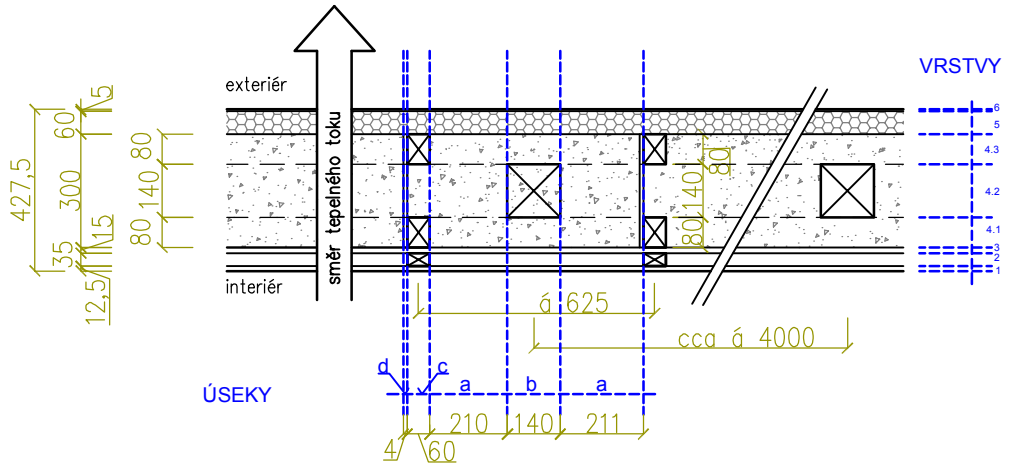
Příloha č. 14 – Konstrukce B – položkový propočet nákladů na realizaci ……...……. 110

Příloha č. 15 – Konstrukce C – položkový propočet nákladů na realizaci ……. 111

Příloha č. 16 – Konstrukce D – položkový propočet nákladů na realizaci ……...……. 112

NÁVRH SKLADBY KONSTRUKCE **A**

M 1 : 20



SKLADBA ÚSEKU a

TENKOVRSTVÁ DIFÚZNĚ OTEVŘENÁ OMÍTKA, tl. 5 mm
DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA – STEICO Protect, tl. 60 mm
TEPELNÁ IZOLACE VATIZOL– foukaná celuloza, 65kg/m3, tl.300mm
DESKY OSB 3, 15 mm
VZDUCHOVÁ INSTALAČNÍ DUTINA, 35 mm
SDK DESKY, 12.5 mm

SKLADBA ÚSEKU b

TENKOVRSTVÁ DIFÚZNĚ OTEVŘENÁ OMÍTKA, tl. 5 mm
DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA – STEICO Protect, tl. 60 mm
TEPELNÁ IZOLACE VATIZOL– foukaná celuloza, 65kg/m3, tl.80 mm
TRÁMY 140/140 (dřevěná nosná konstrukce)
TEPELNÁ IZOLACE VATIZOL– foukaná celuloza, 65kg/m3, tl.80 mm
DESKY OSB 3, 15 mm
VZDUCHOVÁ INSTALAČNÍ DUTINA, 35 mm
SDK DESKY, 12.5 mm

SKLADBA ÚSEKU c

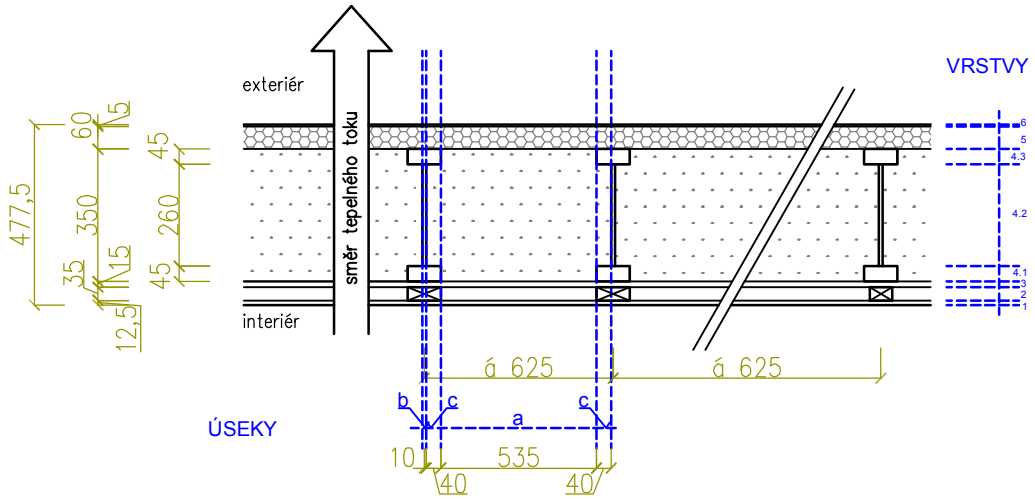
TENKOVRSTVÁ DIFÚZNĚ OTEVŘENÁ OMÍTKA, tl. 5 mm
DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA – STEICO Protect, tl. 60 mm
LAŤ 80/60
TEPELNÁ IZOLACE VATIZOL– foukaná celuloza, 65kg/m3, tl.140 mm
LAŤ 80/60
DESKY OSB 3, 15 mm
LAŤOVÝ ROŠT, tl. 35 mm ve vzduchové mezeře
SDK DESKY, 12.5 mm

SKLADBA ÚSEKU d

TENKOVRSTVÁ DIFÚZNĚ OTEVŘENÁ OMÍTKA, tl. 5 mm
DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA – STEICO Protect, tl. 60 mm
PŘEKLIŽKA tl. 4 mm, á 700, tl.300mm
DESKY OSB 3, 15 mm
VZDUCHOVÁ INSTALAČNÍ DUTINA, 35 mm
SDK DESKY, 12.5 mm

NÁVRH SKLADBY KONSTRUKCE **B**

M 1 : 20



SKLADBA ÚSEKU a

TENKOVRSTVÁ DIFÚZNĚ OTEVŘENÁ OMÍTKA, tl. 5 mm
DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA – STEICO Protect, tl. 60 mm
TEPELNÁ IZOLACE – BALÍKY SLÁMY, tl. 350 mm
DESKY OSB 3, 15 mm
VZDUCHOVÁ INSTALAČNÍ DUTINA, 35 mm
SDK DESKY, 12.5 mm

SKLADBA ÚSEKU b

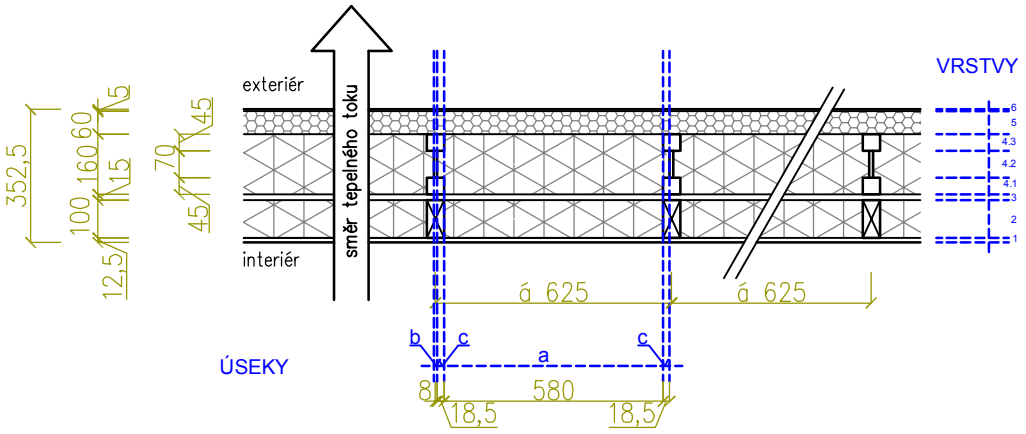
TENKOVRSTVÁ DIFÚZNĚ OTEVŘENÁ OMÍTKA, tl. 5 mm
DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA – STEICO Protect, tl. 60 mm
PÁSNICE I NOSNÍKŮ – SMRK, tl. 45 mm
STOJINY I NOSNÍKU – OSB 3, tl. 260 mm
PÁSNICE I NOSNÍKŮ – SMRK, tl. 45 mm
DESKY OSB 3, 15 mm
LAŤOVÝ ROŠT, tl. 35 mm ve vzduchové mezeře
SDK DESKY, 12.5 mm

SKLADBA ÚSEKU c

TENKOVRSTVÁ DIFÚZNĚ OTEVŘENÁ OMÍTKA, tl. 5 mm
DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA – STEICO Protect, tl. 60 mm
PÁSNICE I NOSNÍKŮ – SMRK, tl. 45 mm
TEPELNÁ IZOLACE – BALÍKY SLÁMY, tl. 260 mm
PÁSNICE I NOSNÍKŮ – SMRK, tl. 45 mm
DESKY OSB 3, 15 mm
LAŤOVÝ ROŠT, tl. 35 mm ve vzduchové mezeře
SDK DESKY, 12.5 mm

NÁVRH SKLADBY KONSTRUKCE **C**

M 1 : 20



SKLADBA ÚSEKU a

TENKOVRSTVÁ DIFÚZNĚ OTEVŘENÁ OMÍTKA, tl. 5 mm
DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA – STEICO Protect, tl. 60 mm
TEPELNÁ IZOLACE – OVČÍ VLNA ISOLENA, tl. 160 mm
DESKY OSB 3, 15 mm
TEPELNÁ IZOLACE – OVČÍ VLNA ISOLENA, tl. 100 mm
SDK DESKY, 12.5 mm

SKLADBA ÚSEKU b

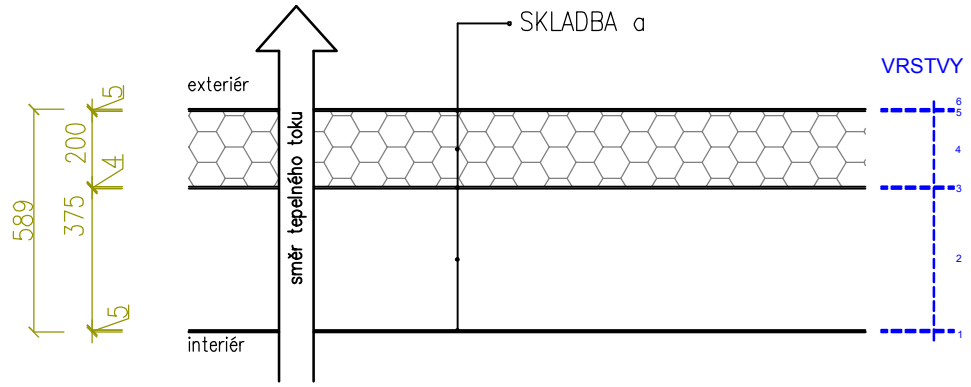
TENKOVRSTVÁ DIFÚZNĚ OTEVŘENÁ OMÍTKA, tl. 5 mm
DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA – STEICO Protect, tl. 60 mm
PÁSNICE I NOSNÍKŮ – SMRK, tl. 45 mm
STOJINY I NOSNÍKU – OSB 3, tl. 70 mm
PÁSNICE I NOSNÍKŮ – SMRK, tl. 45 mm
DESKY OSB 3, 15 mm
LATĚ tl. 100 mm
SDK DESKY, 12.5 mm

SKLADBA ÚSEKU c

TENKOVRSTVÁ DIFÚZNĚ OTEVŘENÁ OMÍTKA, tl. 5 mm
DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA – STEICO Protect, tl. 60 mm
PÁSNICE I NOSNÍKŮ – SMRK, tl. 45 mm
TEPELNÁ IZOLACE – OVČÍ VLNA ISOLENA, tl. 70 mm
PÁSNICE I NOSNÍKŮ – SMRK, tl. 45 mm
DESKY OSB 3, 15 mm
LATĚ tl. 100 mm
SDK DESKY, 12.5 mm

NÁVRH SKLADBY KONSTRUKCE **D**

M 1 : 20

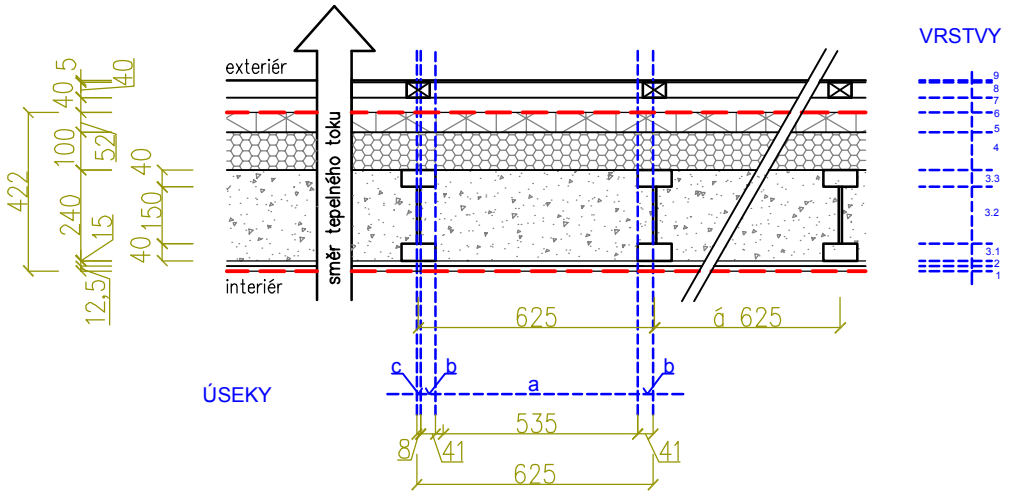


SKLADBA ÚSEKU a

MINERÁLNÍ ŠLECHTĚNÁ OMÍTKA, tl. 2 mm
LEHKÁ MALTA MULTIPOR, 3 mm
YTONG MULTIPOR, tl. 200 mm
LEHKÁ MALTA MULTIPOR, 4 mm
YTONG LAMBDA, tl. 375 mm
SÁDROVÁ OMÍTKA, tl. 5 mm

NÁVRH SKLADBY KONSTRUKCE **E**

M 1 : 20



SKLADBA ÚSEKU a

LEHKÁ KRYTINA – PLECH
LATĚ 50X50 mm
KONTRALATĚ 50X50 mm
POJISTNÁ DIFÚZNÍ FOLIE
STEICO UNIVERSAL DESKY, tl. 52 mm
STEICO THERM DESKY, tl. 100 mm
TEPELNÁ IZOLACE VATIZOL– foukaná celuloza, 65kg/m3, tl.240 mm
OSB DESKY, 15 mm
SDK DESKY, 12.5 mm

SKLADBA ÚSEKU b

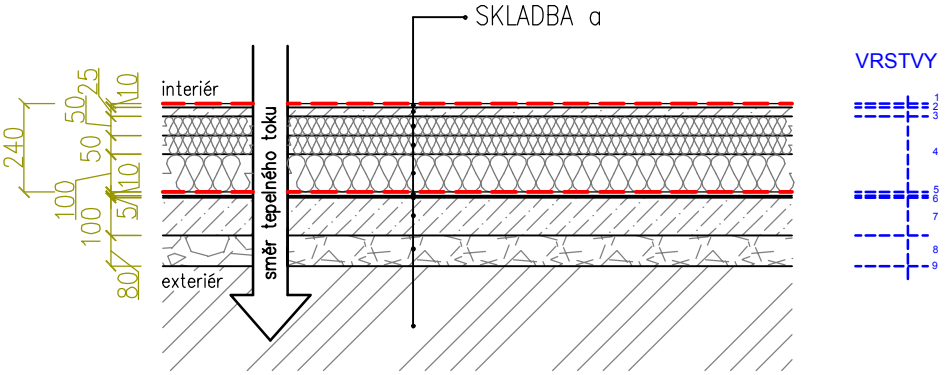
LEHKÁ KRYTINA – PLECH
LATĚ 50X50 mm
KONTRALATĚ 50X50 mm
POJISTNÁ DIFÚZNÍ FOLIE
STEICO UNIVERSAL DESKY, tl. 52 mm
STEICO THERM DESKY, tl. 100 mm
PÁSNICE STEICO I NOSNÍKŮ – SMRK, tl. 40 mm
TEPELNÁ IZOLACE VATIZOL– foukaná celuloza, 65kg/m3, tl.150 mm
PÁSNICE STEICO I NOSNÍKŮ – SMRK, tl. 40 mm
OSB DESKY, 15 mm
SDK DESKY, 12.5 mm

SKLADBA ÚSEKU c

LEHKÁ KRYTINA – PLECH
LATĚ 50X50 mm
KONTRALATĚ 50X50 mm
POJISTNÁ DIFÚZNÍ FOLIE
STEICO UNIVERSAL DESKY, tl. 52 mm
STEICO THERM DESKY, tl. 100 mm
PÁSNICE STEICO I NOSNÍKŮ – SMRK, tl. 40 mm
STOJINY STEICO I NOSNÍKU – DVD, tl. 150 mm
PÁSNICE STEICO I NOSNÍKŮ – SMRK, tl. 40 mm
OSB DESKY, 15 mm
SDK DESKY, 12.5 mm

NÁVRH SKLADBY KONSTRUKCE **F**

M 1 : 20



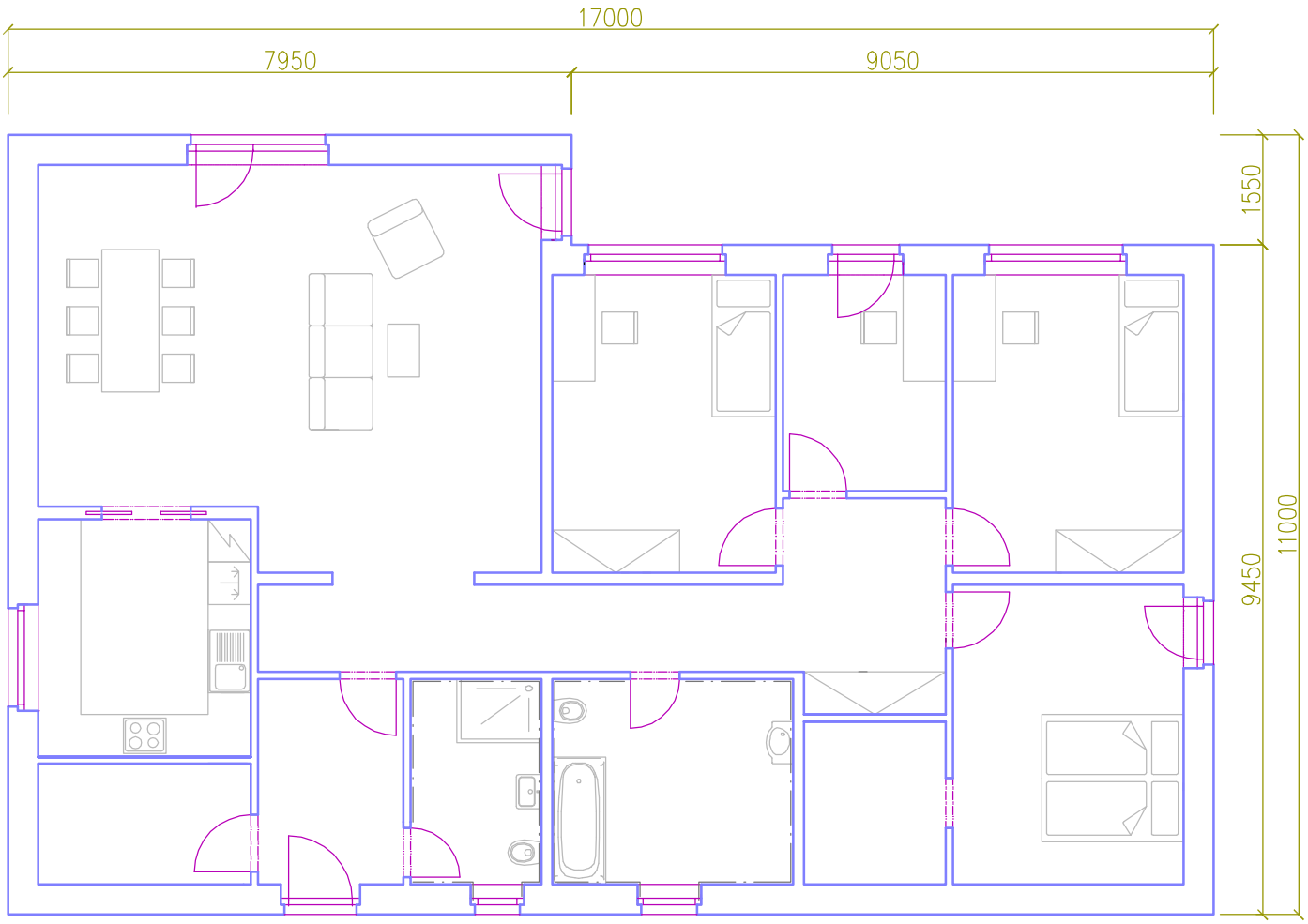
SKLADBA ÚSEKU a

KERAMICKÁ DLAŽBA, tl. 10 mm
LEPIDLO
DESKY FERMACELL FCEE, tl. 25 mm
DESKA EPS STABIL 200, tl. 50 mm
DESKA EPS STABIL 200, tl. 50 mm
DESKA EPS STABIL 200, tl. 100 mm
VYROVNÁVACÍ PODSYP, tl. 50 mm
OCHRANNÁ ASFALTOVÁ LEPENKA
HI – MODIFIKOVANÁ ASFALTOVÁ LEPENKA
PENETRAČNÍ NÁTĚR
BETONOVÁ DESKA C 16/20 S KARI SÍŤÍ
HUTNĚNÝ PODSYP ZE ŠTĚRKODRŤI
GEOTEXTILIE
ROSTLÁ ZEMINA

PŘÍLOHA č. 7

VZOROVÝ PŮDORYS 1NP

M 1 : 100

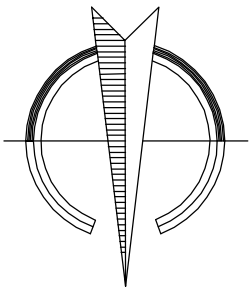


LEGENDA:

SVISLÉ KONSTRUKCE

VÝPLNĚ OTVORŮ - OKNA, DVEŘE

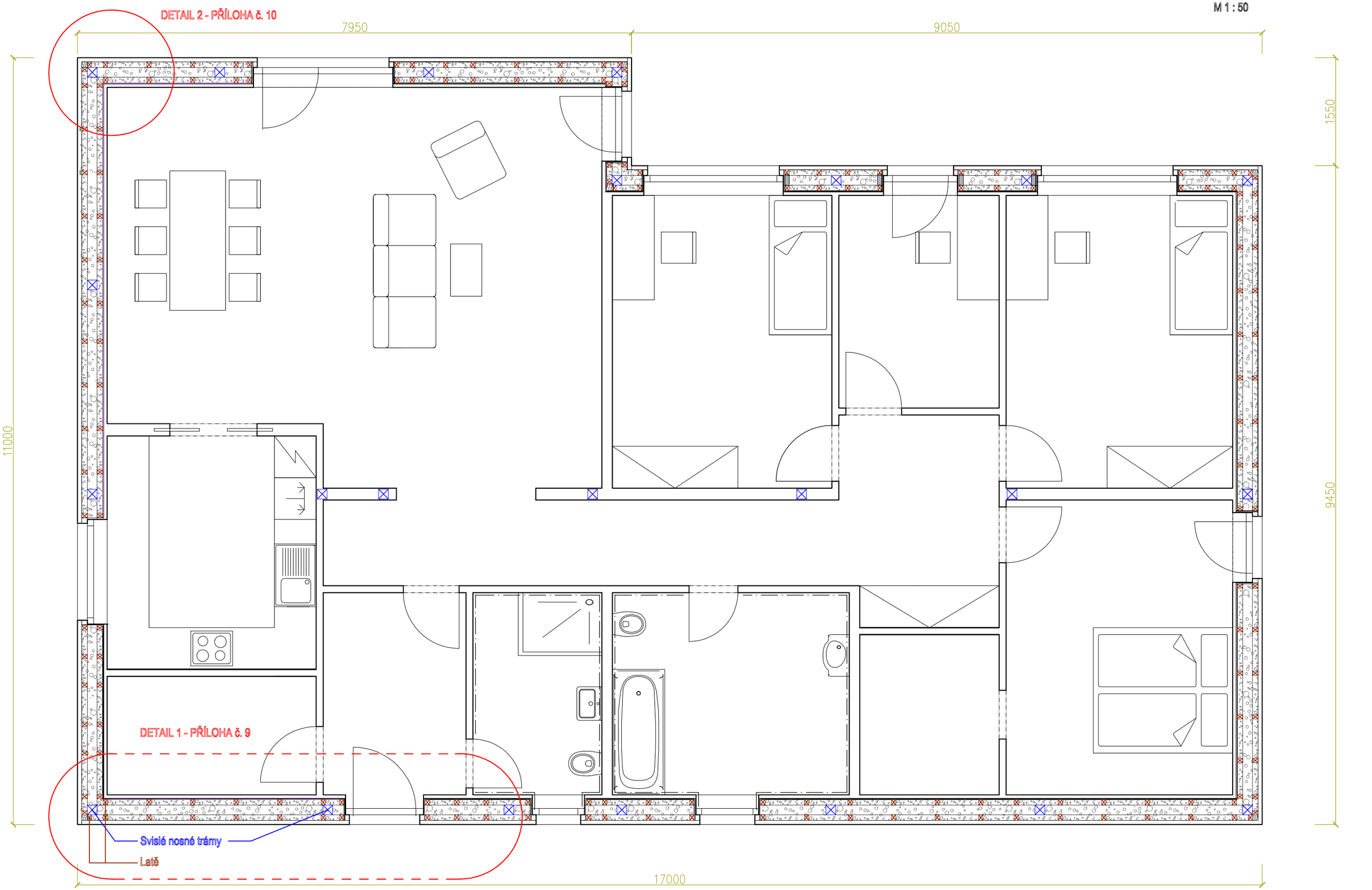
VNITŘNÍ VYBAVENÍ



PŘÍLOHA č. 8

KONSTRUKCE A - PŮDORYS 1NP

M 1 : 50

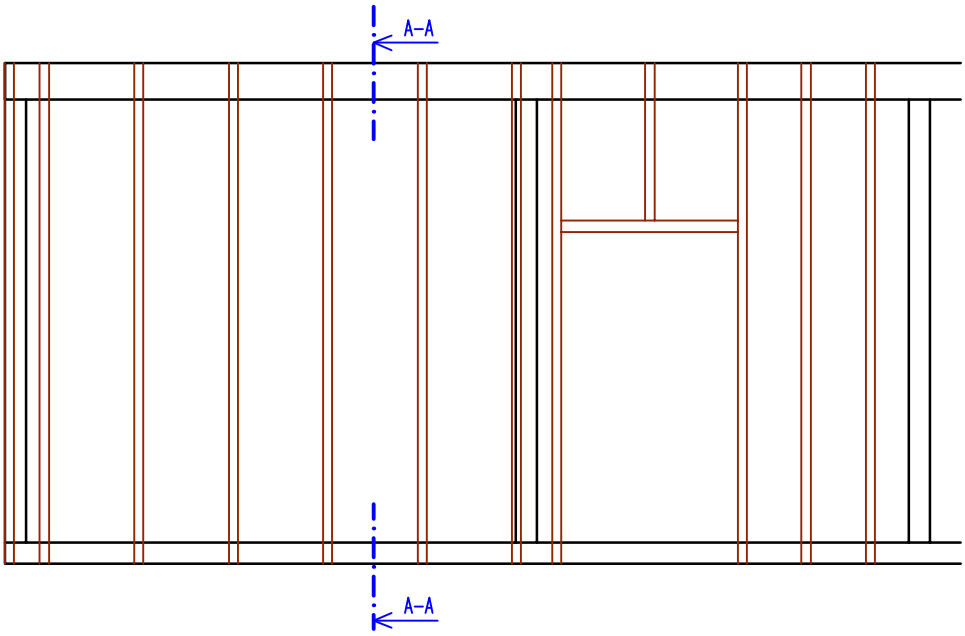


PŘÍLOHA č. 9

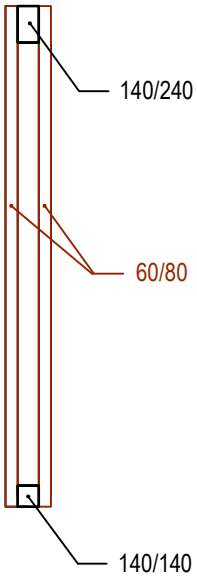
DETAIL 1

M 1 : 50

POHLED NA OBVODOVOU SVISLOU KONSTRUKCI - UMÍSTĚNÍ LAŤÍ NA NOSNÉ KONSTRUKCI



ŘEZ A - A´



LEGENDA:

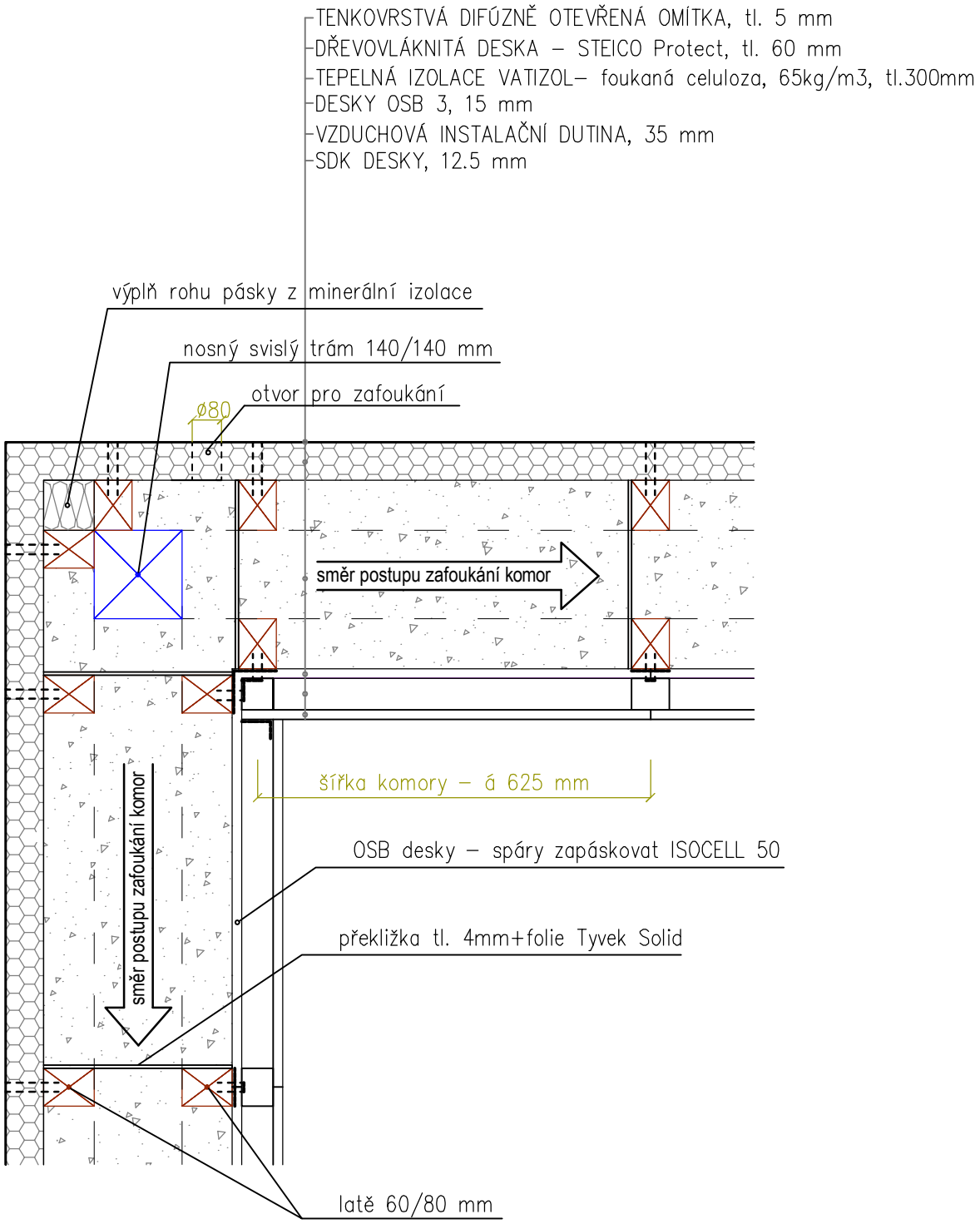
NOSNÁ KONSTRUKCE - SVISLÉ SLOUPY A VODOROVNÉ NOSNÍKY

SVISLÉ LATĚ KOTVENÉ K NOSNÉ KONSTRUKCI DLE SCHEMATICKÉHO ŘEZU A - A´ - umístění á 625 mm

* svislé latě jsou v obvodové konstrukci uvažovány z důvodu ukotvení bednících desek z materiálů na bázi dřeva

DETAIL 2

M 1 : 10

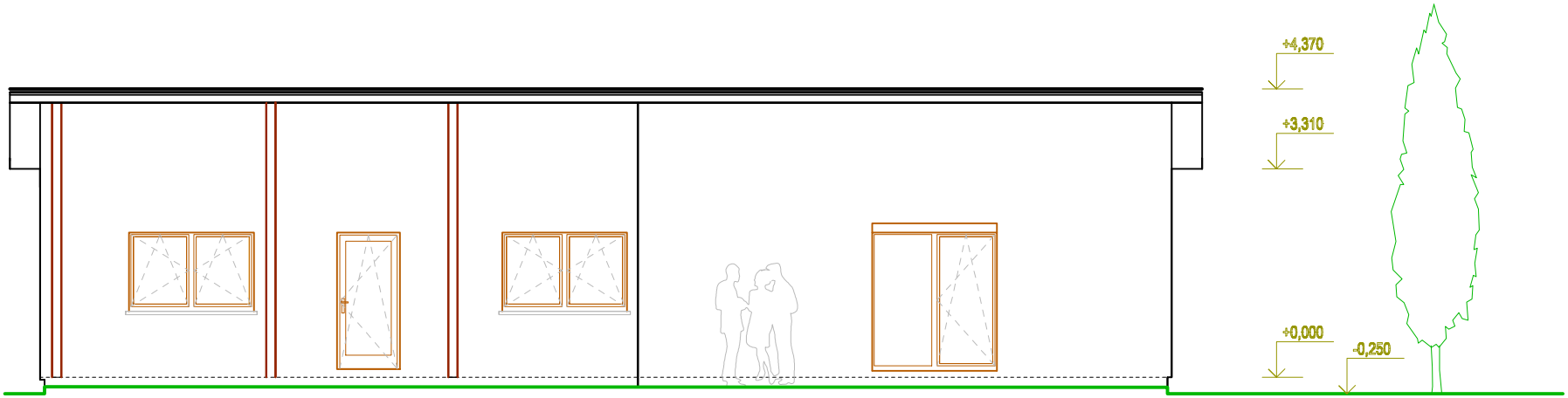


PŘÍLOHA č. 11

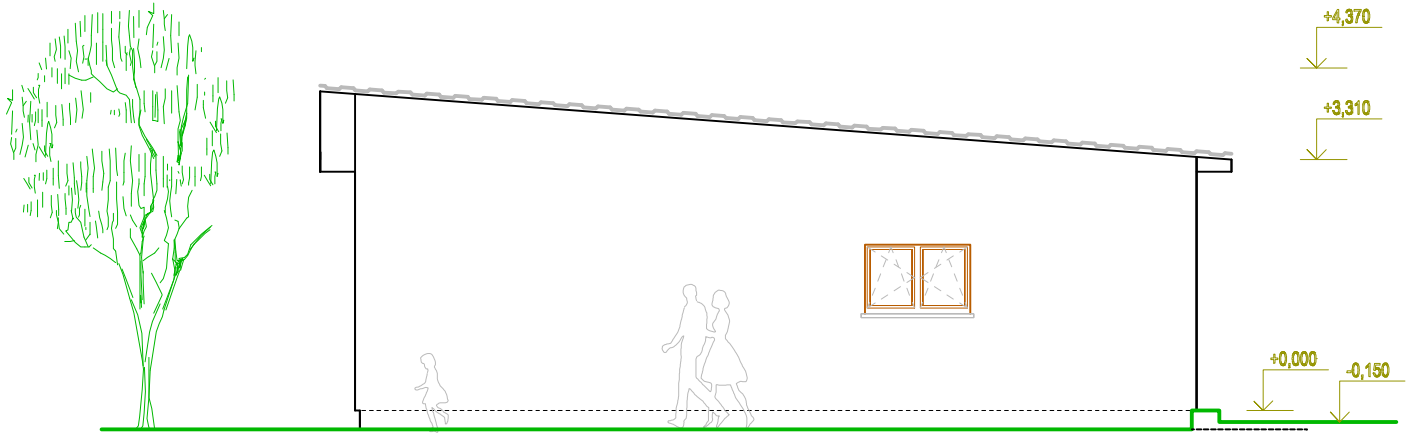
POHLEDY - VÝCHOD, JIH

M 1 : 100

POHLED OD JIHU



POHLED OD VÝCHODU

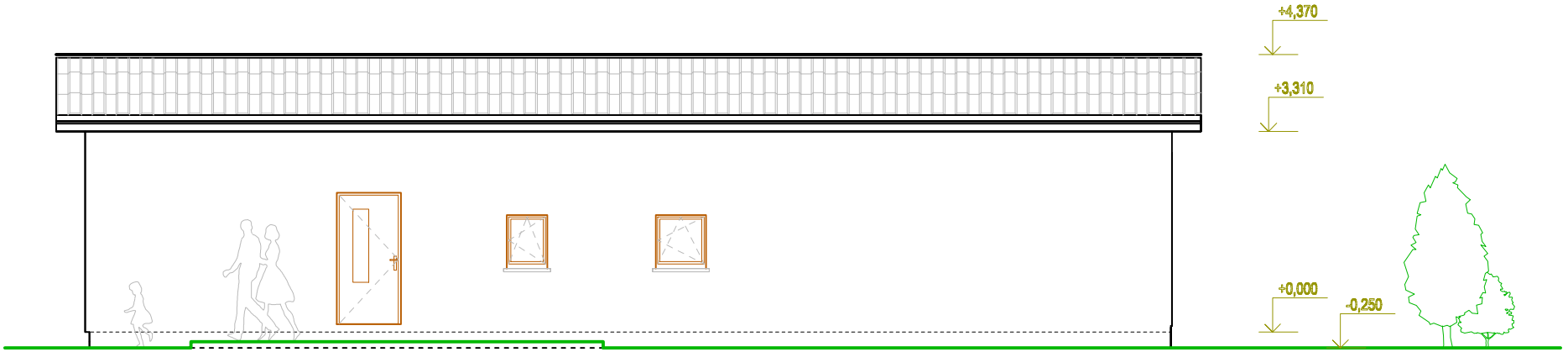


PŘÍLOHA č. 12

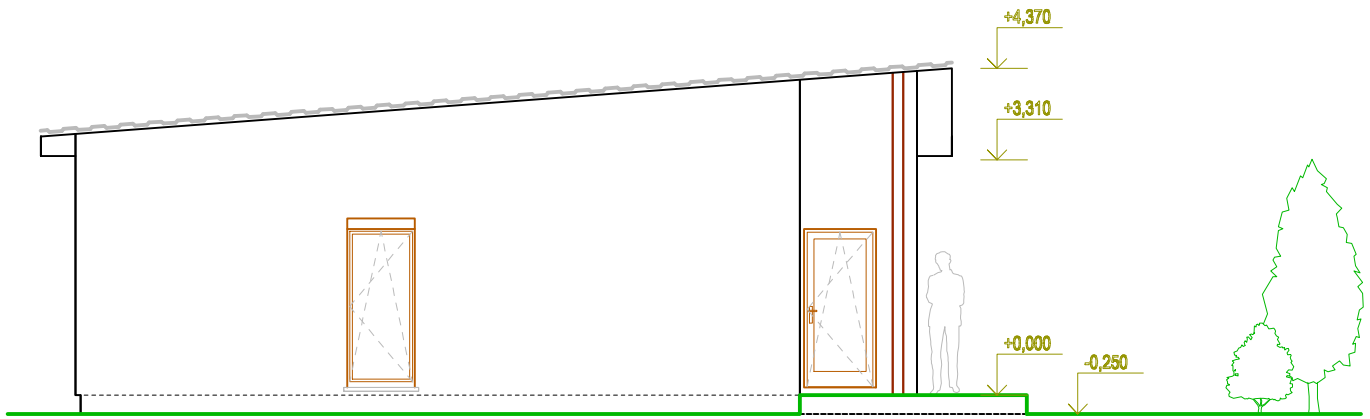
POHLEDY - SEVER, ZÁPAD

M 1 : 100

POHLED OD SEVERU



POHLED OD ZÁPADU



Položkový rozpočet domu se skladbou opláštění A				
Popis položky	**MJ**	**Počet MJ**	**Jednotková cena**	**Cena celkem**
Zemní práce:				
Výkop rýh pro základy (výkopek ponechán na stavbě)	m3	26,30	750	19 722
Geotextilie pod štěrkový podsyp	m2	150,40	40	6 016
Podsyp ze štěrkodrti pod základovou desku - zhutněný 100%PS, tl. 100mm	m3	16,54	900	14 890
Základy- návrh skladby:				
Beton prostý základových pasů C20/25-XC2-S3	m3	15,00	2 500	37 500
Tvárnice ztraceného bednění tl. 300mm, pevnost v tlaku 15MPa, výška 500mm	m2	35,35	200	7 070
Železobeton základových pasů C20/25-XC2-S3 - prolití tvárnic	m3	7,07	2 850	20 150
Výztuž do prolévaných tvárnic, vč. trnů na propojení pasů a prolévaných tvárnic a desky	kg	133,16	15	1 997
Železobeton základových desek C20/25-XC2-S3 tl. 100mm	m3	17,15	2 850	48 878
Výztuž základových desek - 2xKARI sítě 6/150/150 překryty o 300mm při obou površích	kg	1 080,45	25	27 011
Izolace proti vodě a radonu spodní stavby:				
Hydroizolace - modifikovaná asfaltová lepenka - vodorovná, vč. penetrace	m2	171,50	136	23 324
Ochranná asfaltová lepenka - vodorovná	m2	171,50	136	23 324
Hydroizolace - modifikovaná asfaltová lepenka - svislá (150mm), vč. penetrace	m2	8,40	136	1 142
Ochranná asfaltová lepenka - svislá (150mm)	m2	8,40	136	1 142
Hrubá stavba - obálka budovy:				
Obodová stěna + nosný skelet				
Tenkovrstvá certifikovaná omítka s perlinkou difúzně otevřená tl. min. 5mm (zrnitost 2mm), vč. ostění	m2	184,24	700	128 968
Dřevovláknitá deska, tl. 100mm, vč. ostění	m2	182,28	1 040	189 571
Nosná dřevěná kostra	m3	5,39	30 000	161 640
Latě	kpl	1	28 397	28 397
Foukaná celuloza tl. 320mm (65kg/m3)	m3	53,19	1 500	79 788
Desky EUROSTRAND OSB 3 15N-4PD, vč. ostění	m2	155,37	303	47 077
Střecha				
Lehká plechová krytina	m2	196,01	400	78 404
Latě + kontralatě	kpl	1,00	29 300	29 300
Pojistná difúzní folie	m2	196,01	50	9 801
Dřevovláknité desky Steico Universal, tl. 52 mm	kpl	196,01	395	77 424
Dřevovláknité desky Steico Therm, tl. 100 mm	m2	196,01	426	83 500
Tepelná izolace Vatizol - foukaná celuloza, tl. 240 mm, (65kg/m3)	m3	41,50	1 500	62 244
Nosníky Steico	m	424,00	520	220 480
Desky EUROSTRAND OSB 3 15N-4PD, vč. ostění	m2	252,24	303	76 428
Vnější výplně otvorů				
Vnější výplně otvorů - materiál Sibiřský modřín	kpl	1,00	210 000	210 000
Klempířské prvky				
Venkovní parapety	kpl	1,00	4 694	4 694
Oplechování soklu - délka 56,5m	kpl	1,00	5 000	5 000
Okapnička - r.š. 190mm	m	60,20	30	1 806
Okapní půlkruhový žlab - r.š. 250 mm	m	60,20	250	15 050
Dešťový svod kulatý o průměru 100 mm	m	14,40	150	2 160
Ostatní				
Vyzdívka prahů Ytong+ vyzdívka vany	kpl	1,00	8 000	8 000
Soklová deska RIGIPS EPS 200 tl. 40mm, výška 650mm	m2	36,60	260	9 515
Dokončovací práce - interiér:				
Sádrokartonové konstrukce				
Sádrokartonové příčky a obložení obvodových stěn	kpl	1,00	184 433	184 433
Sádrokartonové podhledy	m2	279,24	450	125 658
Podhledy SDK - do vlhkého prostředí	m2	15,23	480	7 310
Podlahy:				
Kompletní skladba hrubé podlahy bez finálních povrchů	m2	142,47	958	136 486
Truhlářské práce				
Vnitřní parapety	kpl	1,00	5 800	5 800
Interiérové dveře - materiál CPL- 11 kusů vč. pouzdra pro posuvné dveře	kpl	11,00	7 500	82 500
Finální povrchy:				
Hydroizolační stěrka pod obklady či dlažbu v koupelnách	m2	28,97	310	8 981
Keramické obklady a dlažby	m2	78,20	920	71 944
Vinylová podlaha (dekor dřevo)	m2	106,23	720	76 486
Malby	m2	550,00	35	19 250
Vnitřní instalace - odhad:				
Zdravotechnika - voda + kanalizace	kpl	1,00	270 000	270 000
Vytápění a vzduchotechnika	kpl	1,00	450 000	450 000
Elektro - silnoproud	kpl	1,00	180 000	180 000
Elektro - slaboproud	kpl	1,00	75 000	75 000
Vedlejší rozpočtové náklady		1,00	80 000	80 000
CELKEM				3 535 260
DPH				742 405
CENA CELKEM VČ. DPH				**4 277 665**

Položkový rozpočet domu se skladbou opláštění B

Popis položky	MJ	Počet MJ	Jednotková cena	Cena celkem
Zemní práce:				
Výkop rýh pro základy (výkopek ponechán na stavbě)	m3	26,30	750	19 722
Geotextilie pod štěrkový podsyp	m2	150,40	40	6 016
Podsyp ze štěrkodrti pod základovou desku - zhutněný 100%PS, tl. 100mm	m3	16,54	900	14 890
Základy- návrh skladby:				
Beton prostý základových pasů C20/25-XC2-S3	m3	15,00	2 500	37 500
Tvárnice ztraceného bednění tl. 300mm, pevnost v tlaku 15MPa, výška 500mm	m2	35,35	200	7 070
Železobeton základových pasů C20/25-XC2-S3 - prolití tvárnic	m3	7,07	2 850	20 150
Výztuž do prolévaných tvárnic, vč. trnů na propojení pasů a prolévaných tvárnic a desky	kg	133,16	15	1 997
Železobeton základových desek C20/25-XC2-S3 tl. 100mm	m3	17,15	2 850	48 878
Výztuž základových desek - 2xKARI sítě 6/150/150 překryty o 300mm při obou površích	kg	1 080,45	25	27 011
Izolace proti vodě a radonu spodní stavby:				
Hydroizolace - modifikovaná asfaltová lepenka - vodorovná, vč. penetrace	m2	171,50	136	23 324
Ochranná asfaltová lepenka - vodorovná	m2	171,50	136	23 324
Hydroizolace - modifikovaná asfaltová lepenka - svislá (150mm), vč. penetrace	m2	8,40	136	1 142
Ochranná asfaltová lepenka - svislá (150mm)	m2	8,40	136	1 142
Hrubá stavba - obálka budovy:				
Obodová stěna + nosný skelet				
Tenkovrstvá certifikovaná omítka s perlinkou difúzně otevřená tl. min. 5mm (zrnitost 2mm), vč. ostění	m2	184,24	700	128 968
Dřevovláknitá deska, tl. 100mm, vč. ostění	m2	182,28	1 040	189 571
Nosná dřevěná kostra ze I nosníků, výška 350 mm	m	390,45	315	122 992
Balíky slámy, tl. 350 mm	m2	182,28	240	43 747
Desky EUROSTRAND OSB 3 15N-4PD, vč. ostění	m2	155,37	303	47 077
Laťový rošt	kpl	1	13 062	13 062
Střecha				
Lehká plechová krytina	m2	196,01	400	78 404
Latě + kontralatě	kpl	1,00	29 300	29 300
Pojistná difúzní folie	m3	196,01	50	9 801
Dřevovláknité desky Steico Universal, tl. 52 mm	kpl	196,01	395	77 424
Dřevovláknité desky Steico Therm, tl. 100 mm	m2	196,01	426	83 500
Tepelná izolace Vatizol - foukaná celuloza, tl. 240 mm, (65kg/m3)	m3	41,50	1 500	62 244
Nosníky Steico	m	424,00	520	220 480
Desky EUROSTRAND OSB 3 15N-4PD, vč. ostění	m2	252,24	303	76 428
Vnější výplně otvorů				
Vnější výplně otvorů - materiál Sibiřský modřín	kpl	1,00	210 000	210 000
Klempířské prvky				
Venkovní parapety	kpl	1,00	4 694	4 694
Oplechování soklu - délka 56,5m	kpl	1,00	5 000	5 000
Okapnička - r.š. 190mm	m	60,20	30	1 806
Okapní půlkruhový žlab - r.š. 250 mm	m	60,20	250	15 050
Dešťový svod kulatý o průměru 100 mm	m	14,40	150	2 160
Ostatní				
Vyzdívka prahů Ytong+ vyzdívka vany	kpl	1,00	8 000	8 000
Soklová deska RIGIPS EPS 200 tl. 40mm, výška 650mm	m2	36,60	260	9 515
Dokončovací práce - interiér:				
Sádrokartonové konstrukce				
Sádrokartonové příčky a obložení obvodových stěn	kpl	1,00	184 433	184 433
Sádrokartonové podhledy	m2	279,24	450	125 658
Podhledy SDK - do vlhkého prostředí	m2	15,23	480	7 310
Podlahy:				
Kompletní skladba hrubé podlahy bez finálních povrchů	m2	142,47	958	136 486
Truhlářské práce				
Vnitřní parapety	kpl	1,00	5 800	5 800
Interiérové dveře - materiál CPL- 11 kusů vč. pouzdra pro posuvné dveře	kpl	11,00	7 500	82 500
Finální povrchy:				
Hydroizolační stěrka pod obklady či dlažbu v koupelnách	m2	28,97	310	8 981
Keramické obklady a dlažby	m2	78,20	920	71 944
Vinylová podlaha (dekor dřevo)	m2	106,23	720	76 486
Malby	m2	550,00	35	19 250
Vnitřní instalace - odhad:				
Zdravotechnika - voda + kanalizace	kpl	1,00	270 000	270 000
Vytápění a vzduchotechnika	kpl	1,00	450 000	450 000
Elektro - silnoproud	kpl	1,00	180 000	180 000
Elektro - slaboproud	kpl	1,00	75 000	75 000
Vedlejší rozpočtové náklady		1,00	80 000	80 000
CELKEM				3 445 236
DPH				723 500
CENA CELKEM VČ. DPH				**4 168 736**

Položkový rozpočet domu se skladbou opláštění C				
Popis položky	**MJ**	**Počet MJ**	**Jednotková cena**	**Cena celkem**
Zemní práce:				
Výkop rýh pro základy (výkopek ponechán na stavbě)	m3	26,30	750	19 722
Geotextilie pod štěrkový podsyp	m2	150,40	40	6 016
Podsyp ze štěrkodrti pod základovou desku - zhutněný 100%PS, tl. 100mm	m3	16,54	900	14 890
Základy- návrh skladby:				
Beton prostý základových pasů C20/25-XC2-S3	m3	15,00	2 500	37 500
Tvárnice ztraceného bednění tl. 300mm, pevnost v tlaku 15MPa, výška 500mm	m2	35,35	200	7 070
Železobeton základových pasů C20/25-XC2-S3 - prolití tvárnic	m3	7,07	2 850	20 150
Výztuž do prolévaných tvárnic, vč. trnů na propojení pasů a prolévaných tvárnic a desky	kg	133,16	15	1 997
Železobeton základových desek C20/25-XC2-S3 tl. 100mm	m3	17,15	2 850	48 878
Výztuž základových desek - 2xKARI sítě 6/150/150 překryty o 300mm při obou površích	kg	1 080,45	25	27 011
Izolace proti vodě a radonu spodní stavby:				
Hydroizolace - modifikovaná asfaltová lepenka - vodorovná, vč. penetrace	m2	171,50	136	23 324
Ochranná asfaltová lepenka - vodorovná	m2	171,50	136	23 324
Hydroizolace - modifikovaná asfaltová lepenka - svislá (150mm), vč. penetrace	m2	8,40	136	1 142
Ochranná asfaltová lepenka - svislá (150mm)	m2	8,40	136	1 142
Hrubá stavba - obálka budovy:				
Obodová stěna + nosný skelet				
Tenkovrstvá certifikovaná omítka s perlinkou difúzně otevřená tl. min. 5mm (zrnitost 2mm), vč. ostění	m2	184,24	700	128 968
Dřevovláknitá deska, tl. 100mm, vč. ostění	m2	182,28	1 040	189 571
Nosná dřevěná kostra ze Steico nosníků, výška 160 mm	m	390,45	235	91 756
Ovčí vlna Isolena, tl. 160mm + 100mm	m3	47,39	4 500	213 268
Laťový rošt	kpl	1	20 992	20 992
Desky EUROSTRAND OSB 3 15N-4PD, vč. ostění	m2	155,37	303	47 077
Střecha				
Lehká plechová krytina	m2	196,01	400	78 404
Latě + kontralatě	kpl	1,00	29 300	29 300
Pojistná difúzní folie	m3	196,01	50	9 801
Dřevovláknité desky Steico Universal, tl. 52 mm	kpl	196,01	395	77 424
Dřevovláknité desky Steico Therm, tl. 100 mm	m2	196,01	426	83 500
Tepelná izolace Vatizol - foukaná celuloza, tl. 240 mm, (65kg/m3)	m3	41,50	1 500	62 244
Nosníky Steico	m	424,00	520	220 480
Desky EUROSTRAND OSB 3 15N-4PD, vč. ostění	m2	252,24	303	76 428
Vnější výplně otvorů				
Vnější výplně otvorů - materiál Sibiřský modřín	kpl	1,00	210 000	210 000
Klempířské prvky				
Venkovní parapety	kpl	1,00	4 694	4 694
Oplechování soklu - délka 56,5m	kpl	1,00	5 000	5 000
Okapnička - r.š. 190mm	m	60,20	30	1 806
Okapní půlkruhový žlab - r.š. 250 mm	m	60,20	250	15 050
Dešťový svod kulatý o průměru 100 mm	m	14,40	150	2 160
Ostatní				
Vyzdívka prahů Ytong+ vyzdívka vany	kpl	1,00	8 000	8 000
Soklová deska RIGIPS EPS 200 tl. 40mm, výška 650mm	m2	36,60	260	9 515
Dokončovací práce - interiér:				
Sádrokartonové konstrukce				
Sádrokartonové příčky a obložení obvodových stěn	kpl	1,00	184 433	184 433
Sádrokartonové podhledy	m2	279,24	450	125 658
Podhledy SDK - do vlhkého prostředí	m2	15,23	480	7 310
Podlahy:				
Kompletní skladba hrubé podlahy bez finálních povrchů	m2	142,47	958	136 486
Truhlářské práce				
Vnitřní parapety	kpl	1,00	5 800	5 800
Interiérové dveře - materiál CPL- 11 kusů vč. pouzdra pro posuvné dveře	kpl	11,00	7 500	82 500
Finální povrchy:				
Hydroizolační stěrka pod obklady či dlažbu v koupelnách	m2	28,97	310	8 981
Keramické obklady a dlažby	m2	78,20	920	71 944
Vinylová podlaha (dekor dřevo)	m2	106,23	720	76 486
Malby	m2	550,00	35	19 250
Vnitřní instalace - odhad:				
Zdravotechnika - voda + kanalizace	kpl	1,00	270 000	270 000
Vytápění a vzduchotechnika	kpl	1,00	450 000	450 000
Elektro - silnoproud	kpl	1,00	180 000	180 000
Elektro - slaboproud	kpl	1,00	75 000	75 000
Vedlejší rozpočtové náklady		1,00	80 000	80 000
CELKEM				3 591 451
DPH				754 205
CENA CELKEM VČ. DPH				**4 345 656**

Položkový rozpočet domu se skladbou opláštění D				
Popis položky	**MJ**	**Počet MJ**	**Jednotková cena**	**Cena celkem**
Zemní práce:				
Výkop rýh pro základy (výkopek ponechán na stavbě)	m3	26,30	750	19 722
Geotextilie pod štěrkový podsyp	m2	150,40	40	6 016
Podsyp ze štěrkodrti pod základovou desku - zhutněný 100%PS, tl. 100mm	m3	16,54	900	14 890
Základy- návrh skladby:				
Beton prostý základových pasů C20/25-XC2-S3	m3	15,00	2 500	37 500
Tvárnice ztraceného bednění tl. 300mm, pevnost v tlaku 15MPa, výška 500mm	m2	35,35	200	7 070
Železobeton základových pasů C20/25-XC2-S3 - prolití tvárnic	m3	7,07	2 850	20 150
Výztuž do prolévaných tvárnic, vč. trnů na propojení pasů a prolévaných tvárnic a desky	kg	133,16	15	1 997
Železobeton základových desek C20/25-XC2-S3 tl. 100mm	m3	17,15	2 850	48 878
Výztuž základových desek - 2xKARI sítě 6/150/150 překryty o 300mm při obou površích	kg	1 080,45	25	27 011
Izolace proti vodě a radonu spodní stavby:				
Hydroizolace - modifikovaná asfaltová lepenka - vodorovná, vč. penetrace	m2	171,50	136	23 324
Ochranná asfaltová lepenka - vodorovná	m2	171,50	136	23 324
Hydroizolace - modifikovaná asfaltová lepenka - svislá (150mm), vč. penetrace	m2	8,40	136	1 142
Ochranná asfaltová lepenka - svislá (150mm)	m2	8,40	136	1 142
Hrubá stavba - obálka budovy:				
Obodová stěna + nosný skelet				
Omítka, tl. 5 mm	m2	184,24	400	73 696
Zdivo z cihel Ytong P2, tl. 300 mm na lehkou maltu Multipor	m2	182,28	1 047	190 847
Ytong Multipor, tl. 200 mm	m2	182,28	1 690	308 053
Sádrová omítka vnitřní tl. 5mm	m2	155,37	265	41 173
Střecha				
Lehká plechová krytina	m2	196,01	400	78 404
Latě + kontralatě	kpl	1,00	29 300	29 300
Pojistná difúzní folie	m3	196,01	50	9 801
Dřevovláknité desky Steico Universal, tl. 52 mm	kpl	196,01	395	77 424
Dřevovláknité desky Steico Therm, tl. 100 mm	m2	196,01	426	83 500
Tepelná izolace Vatizol - foukaná celuloza, tl. 240 mm, (65kg/m3)	m3	41,50	1 500	62 244
Nosníky Steico	m	424,00	520	220 480
Desky EUROSTRAND OSB 3 15N-4PD, vč. ostění	m2	252,24	303	76 428
Vnější výplně otvorů				
Vnější výplně otvorů - materiál Sibiřský modřín	kpl	1,00	210 000	210 000
Klempířské prvky				
Venkovní parapety	kpl	1,00	4 694	4 694
Oplechování soklu - délka 56,5m	kpl	1,00	5 000	5 000
Okapnička - r.š. 190mm	m	60,20	30	1 806
Okapní půlkruhový žlab - r.š. 250 mm	m	60,20	250	15 050
Dešťový svod kulatý o průměru 100 mm	m	14,40	150	2 160
Ostatní				
Vyzdívka prahů Ytong+ vyzdívka vany	kpl	1,00	8 000	8 000
Soklová deska RIGIPS EPS 200 tl. 40mm, výška 650mm	m2	36,60	260	9 515
Dokončovací práce - interiér:				
Sádrokartonové konstrukce				
Sádrokartonové příčky	kpl	1,00	96 425	96 425
Sádrokartonové podhledy	m2	279,24	450	125 658
Podhledy SDK - do vlhkého prostředí	m2	15,23	480	7 310
Podlahy:				
Kompletní skladba hrubé podlahy bez finálních povrchů	m2	142,47	958	136 486
Truhlářské práce				
Vnitřní parapety	kpl	1,00	5 800	5 800
Interiérové dveře - materiál CPL- 11 kusů vč. pouzdra pro posuvné dveře	kpl	11,00	7 500	82 500
Finální povrchy:				
Hydroizolační stěrka pod obklady či dlažbu v koupelnách	m2	28,97	310	8 981
Keramické obklady a dlažby	m2	78,20	920	71 944
Vinylová podlaha (dekor dřevo)	m2	106,23	720	76 486
Malby	m2	550,00	35	19 250
Vnitřní instalace - odhad:				
Zdravotechnika - voda + kanalizace	kpl	1,00	270 000	270 000
Vytápění a vzduchotechnika	kpl	1,00	450 000	450 000
Elektro - silnoproud	kpl	1,00	180 000	180 000
Elektro - slaboproud	kpl	1,00	75 000	75 000
Vedlejší rozpočtové náklady		1,00	80 000	80 000
CELKEM				3 425 581
DPH				719 372
CENA CELKEM VČ. DPH				**4 144 953**