

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí



Hodnocení tepelných technických vlastností dřevostaveb

Diplomová práce

Autor: Bc. Marek Pecháček

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

2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Marek Pecháček

Dřevařské inženýrství

Název práce

Hodnocení tepelně technických vlastností dřevostaveb

Název anglicky

Evaluation of thermal properties of wooden buildings

Cíle práce

Cílem diplomové práce bude hodnocení energetické náročnosti dřevostaveb v daných teplotních oblastech, měření tepelně technických parametrů konstrukce a následné vyhodnocení dat.

Metodika

1. Podrobné nastudování uvedené problematiky
2. Vypracování literární rešerše
3. Výběr dřevostaveb s vhodným konstrukčním systémem ve zvolených teplotních oblastech
4. Měření tepelně technických vlastností dřevostaveb kontaktními teplotně – vlhkostními sondami
5. Termovizní diagnostika stavebních konstrukcí
6. Zpracování a výpočty naměřených hodnot dle ČSN 730540
7. Porovnání výsledků mezi jednotlivými budovami
8. Závěr

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran, technické a grafické přílohy

Klíčová slova

Tepelně technické vlastnosti, energetická náročnost budov, dřevostavba, součinitel tepelné propustnosti, srubová konstrukce, prefabrikovaná konstrukce.

Doporučené zdroje informací

ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha, 2011.

ČSN 73 0540-3: Tepelná ochrana budov. Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Český normalizační institut. Praha, 2005.

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

KOLB, Josef: Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště.

KUKLÍK, Petr. Dřevěné konstrukce. 1. vydání, Praha 6: ČVUT, 2005, 188 s. ISBN 80-247-0076-x.

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Martin Múčka, PhD.

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2015

Ing. Jan Bomba, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 3. 2015

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 14. 04. 2015

Prohlášení

"Prohlazuji, že jsem diplomovou práci na téma Hodnocení tepelných vlastností dřevostaveb vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Múky, Ph.D. a použil jsem jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů .

Jsem si v domě, 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 16. 4. 2015

..õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ ..

Podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Martinovi Múkoví, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat manželce Votavovým a manželce Křížovým, za poskytnutí prostor jejich domů pro úkony této práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu a jazykovou korekturu textu.

Abstrakt

Obsah této diplomové práce je zaměřen na hodnocení tepelných technických vlastností dvou sledovaných dřevostaveb postavených v České republice v klimatické oblasti II. Jedná se o novodobou prefabrikovanou dřevostavbu a o starší srubový dům z kulatiny.

Za hlavní hodnotící kritérium byl zvolen součinitel prostupu tepla U , který obecně patří k nejsledovanějším parametrům z hlediska energetické náročnosti staveb. Přístrojem pro kontaktní měření povrchových teplot Testo 635-2 byly v obou budovách změřeny hodnocené tepelné parametry a pomocí termokamery Testo 875-2i byla nasnímána problematická místa možných úniků tepla.

V další části se práce zabývá výpočty sledovaných faktorů. V závěru byly všechny získané a vypočítané údaje porovnány mezi sebou, s normou ČSN 73 0540 - tepelná ochrana budov a vzešlé výsledky byly vyhodnoceny.

Klíčová slova: tepelné technické vlastnosti, energetická náročnost budov, dřevostavba, součinitel prostupu tepla, srubová konstrukce, prefabrikovaná konstrukce

Abstract

The content of this diploma thesis is focused on the evaluation of thermal and technical properties of two monitored wooden buildings, built in the Czech Republic, in the climatic region II. The monitored buildings are a contemporary prefabricated wooden building and an older wooden house made of logs.

As the main evaluation criterion the heat transfer coefficient U has been chosen, which is generally one of the most closely monitored parameters in terms of the energy performance of buildings. Using a Testo 635-2 probe thermometer surface temperatures were measured in both buildings rated thermal parameters. With the thermal camera Testo 875-2i problematic areas of possible heat dissipation were scanned.

In the next part the thesis deals with calculations of the studied factors. Finally, all collected and calculated data were compared with each other and with the industry standard CSN 73 0540 . the thermal protection of buildings, and the scientific findings were evaluated.

Keywords: thermal and technical properties, energy performance of buildings, wooden building, heat transfer coefficient, log construction, prefabricated construction

Obsah

1	Úvod	13
2	Cíle práce a metodika	14
2.1	Cíle práce	14
2.2	Metodika	14
3	Rozbor problematiky	15
3.1	Historický vývoj dřevostaveb v ČR	15
3.2	Charakteristika dřevostaveb	20
3.2.1	Druhy konstrukčních systémů dřevostaveb	22
3.2.1.1	Rámové stavby	22
3.2.1.2	Skeletové stavby	23
3.2.1.3	Stavby z masivních panelů	25
3.2.1.4	Stavby ze sendvičových panelů	26
3.2.1.5	Balloon-frame a Platform-frame stavby	27
3.2.1.6	Srubové a roubené stavby	28
3.2.1.7	Hrázděné stavby	30
3.3	Dělení dřevostaveb podle energetické náročnosti	31
3.3.1	Aktivní dřevostavby (s energetickým přebytkem)	32
3.3.2	Dřevostavby s téměř nulovou spotřebou energie	32
3.3.3	Pasivní dřevostavby	32
3.3.4	Nízkoenergetické dřevostavby	33
3.4	Související normativní a legislativní předpisy	34
3.4.1	Zákon č. 318/2012 Sb., kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů	34
3.4.2	Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov, ve znění pozdějších předpisů	37
3.4.3	ČSN 73 0540-2: tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky	39
3.4.3.1	Šíření tepla konstrukcí a obálkou budovy	41
3.4.4	Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů	44
4	Hodnocení tepelně technických vlastností dřevostaveb	45
4.1	Výpočty tepelně technických parametrů teplo-směnné obálky budovy	46
4.1.1	Okrajové podmínky	46

4.1.2	Rodinný dům s prefabrikovanou konstrukcí	48
4.1.2.1	Výpočet součinitele prostupu tepla U.....	50
4.1.2.2	Výpočet nejnižší vnitřní povrchové teploty konstrukce.....	54
4.1.2.3	Výpočet zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce	55
4.1.2.4	Výpočet součinitele prostupu tepla okenní výplně	58
4.1.3	Rodinný dům se srubovou konstrukcí	61
4.1.3.1	Výpočet součinitele prostupu tepla U.....	63
4.1.3.2	Výpočet nejnižší vnitřní povrchové teploty konstrukce.....	68
4.1.3.3	Výpočet zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce	69
4.2	Měření klimatických parametrů v interiéru	71
4.2.1	Měření povrchových teplot obvodových svislých konstrukcí a termovizní diagnostika	72
4.2.1.1	Naměřené hodnoty prefabrikované konstrukce	73
4.2.1.2	Termogramy prefabrikované dřevostavby	75
4.2.1.3	Naměřené hodnoty srubové konstrukce	77
4.2.1.4	Termogramy srubové dřevostavby	80
5	Analýza naměřených údajů.....	82
5.1	Termografie	82
5.2	Vypočítané tepelně technické parametry.....	82
5.2.1	Prefabrikovaná konstrukce.....	83
5.2.2	Srubová konstrukce	84
5.2.3	Vzájemné porovnání sledovaných konstrukcí	85
5.3	Diskuze.....	87
6	Závěr	89
7	Seznam literatury a použitých zdrojů.....	91
7.1	Knihy a odborné publikace	91
7.2	Odborné články	92
7.3	Webové stránky.....	93
7.4	Zákony, vyhlášky a normy ČSN.....	94
7.5	Akademické práce	95
	Seznam příloh:	96

Seznam obrázků

Obr. 1.: Roubená chalupa v Krkonoších	16
Obr. 2.: Dřevěné divadlo Uranie v Praze Holešovicích	17
Obr. 3.: Rámová konstrukce rodinného domu	23
Obr. 4.: Skeletová konstrukce	24
Obr. 5.: Rodinný dům z vrstveného masivního dřeva	25
Obr. 6.: Rodinný dům ze sendvičových panelů	26
Obr. 7.: Balloon-Frame konstrukce	27
Obr. 8.: Platform-Frame konstrukce	28
Obr. 9.: Srubová konstrukce rodinného domu	28
Obr. 10.: Roubená konstrukce rodinného domu	29
Obr. 11.: Hrázděná konstrukce	30
Obr. 12.: Příklad grafické části průkazu energetické náročnosti budovy	38
Obr. 13.: Příklad energetického štítku obálky budovy	40
Obr. 14.: Hranice teplotních oblastí v zimním a letním období v rámci ČR	45
Obr. 15: Prefabrikovaná dřevostavba v obci Olešná, rok 2014	49
Obr. 16: Rozdělení charakteristické oblasti stěny konstrukce na vrstvy a úseky	51
Obr. 17: Skladba konstrukce stěny	51
Obr. 18: Srubový dům z kulatiny v obci Podlesí u Miličína, únor 2015	63
Obr. 19: Schematické znázornění dvou bodů vybraných pro měření součinitele prostupu tepla na srubové konstrukci. Varianta A zobrazuje měření v nejširším bodě kulatiny, varianta B měření v ložné spáře	64
Obr. 20: Kontaktní sonda fixovaná na zeď pomocí termoplastické hmoty	73
Obr. 21: Detail rohu dřevěného okna s trojitým zasklením	75
Obr. 22: Detail dveří do chodby	75
Obr. 23: Pohled na dům z exteriéru	76
Obr. 24: Termogram vlhkosti v ostění dřevěného okna	76
Obr. 25: Termogram teploty v ostění dřevěného okna s vyznačenou přímkou teplotního grafu	76
Obr. 26: Termogram rohových spojů	80
Obr. 27: Detail uložení stropní konstrukce	80
Obr. 28: Nedotěsněné místo u obložky okna	80

Obr. 29: Pohled na štít srubu z exteriéru.....	81
Obr. 30: Ložná spára kulatiny s přímkou teplotního grafu.....	81

Seznam tabulek

Tab. 1: <i>Struktura bytů dokončených v letech 1997-2012 v ČR podle nosné konstrukce v procentech.....</i>	19
Tab. 2: <i>Podíl dokončených dřevostaveb na trhu RD v ČR.....</i>	20
Tab. 3: <i>Slovní vyjádření klasifikačních tříd energetické náročnosti budov.....</i>	38
Tab. 4: <i>Klasifikace prostupu tepla obálkou budovy.....</i>	39
Tab. 5: <i>Výběr požadovaných a doporučených hodnot součinitele prostupu tepla U_N pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou v intervalu 18°C až 22°C včetně.....</i>	42
Tab. 6: <i>Teplotní oblasti ČR v zimním období, jejich průměrná nadmořská výška, základní návrhová teplota venkovního vzduchu a teplotní gradient.....</i>	46
Tab. 7: <i>Návrhové okrajové podmínky pro výpočet tepelně technických požadavků v zimním období dle ČSN 73 0540-3 a ČSN 73 0540-2.....</i>	47
Tab. 8: <i>Základní informace o nízkoenergetickém RD.....</i>	49
Tab. 9: <i>Součinitel tepelné vodivosti a tloušťky jednotlivých vrstev konstrukce..</i>	52
Tab. 10: <i>Naměřené hodnoty součinitele prostupu tepla U_g zasklení dřevěného okna.....</i>	58
Tab. 11: <i>Základní informace o srubovém RD.....</i>	62
Tab. 12: <i>Součinitelé tepelné vodivosti srubové svislé konstrukce.....</i>	64
Tab. 13: <i>Součinitelé tepelné vodivosti srubové vodorovné konstrukce.....</i>	65
Tab. 14: <i>Naměřené hodnoty tepelně technických parametrů prefabrikované konstrukce.....</i>	73
Tab. 15: <i>Naměřené hodnoty tepelně technických parametrů srubové konstrukce.....</i>	77
Tab. 16: <i>Naměřené hodnoty tepelně technických parametrů srubové konstrukce – ložná spára.....</i>	78
Tab. 17: <i>Výsledné hodnoty posuzovaných veličin a jejich porovnání s ČSN 73 0540-2.....</i>	83

Tab. 18: Výsledné hodnoty posuzovaných veličin a jejich porovnání s ČSN 73 0540-2	84
--	----

Seznam grafů

<i>Graf 1: Rozdělení dřevostaveb dle měrné potřeby tepla na vytápění v kWh/m².a</i>	31
<i>Graf 2: Histogram obrázku číslo 21</i>	75
<i>Graf 3: Teplotní profil podél přímky termogramu na obr. 25</i>	77
<i>Graf 4: Teplotní profil podél přímky termogramu na obr. 30</i>	81
<i>Graf 5: Porovnání naměřené a vypočítané U hodnoty sledovaných konstr.</i>	85
<i>Graf 6: Porovnání sledovaných konstrukcí dle jejich vypočítaných a naměřených hodnot</i>	85
<i>Graf 7: Porovnání naměřených U hodnot srubové konstrukce</i>	86
<i>Graf 8: Porovnání vypočítaných hodnot tepelného odporu R sledovaných konstrukcí</i>	86
<i>Graf 9: Porovnání vypočítaných hodnot ročního množství zkondenzované vodní páry M_c sledovaných konstrukcí</i>	87

Seznam použitých zkratk

ČSN	Česká technická norma
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
RD	Rodinný dům
NP	Nadzemní podlaží
PP	Podzemní podlaží
PD	Projektová dokumentace
EPS	Expandable polystyrene stabilized – expandovaný stabilizovaný polystyren
OSB	Oriented strand board – deska z plochých orientovaných třísek
KVH	Masivní konstrukční dřevo nastavované zubovitým spojem
PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy
EŠOB	Energetický štítek obálky budovy

1 Úvod

Dřevo jako surovinu využívá lidstvo již od nepaměti. Používalo se ve všech historických epochách k nejrůznějším účelům. Především se však uplatňovalo jako stavební materiál a palivo. Tak jako se v průběhu vývoje civilizace postupně zjišťovaly a získávaly informace o nejrůznějších stavebních materiálech, tak se v průběhu času vyvíjely i informace o dřevu. V současnosti, kdy dřevěné materiály znovu objevuje stále více lidí, především díky rozvoji materiálů na bázi dřeva, prožívají veliký nárůst popularity také dřevostavby a snaží se určovat trendy v moderním bydlení. Aktuálně se jedná především o snižování spotřeby energie. Ať už je to při výrobě konstrukčních prvků, anebo při samotném provozování staveb. Nízkoenergetické dřevostavby představují z pohledu udržitelné výstavby velmi silného konkurenta klasických domů pro bydlení. Jedním z mnoha hledisek, které ovlivňují spotřebu energií, jsou tepelně technické vlastnosti budov. Největší podíl z celkové spotřeby energií budov představuje spotřeba energie na vytápění, což vzhledem k narůstajícím cenám nerostných surovin a energií celkově, přináší významný negativní ekonomický dopad na provoz budov.

Vzhledem k tomu, že problematika tepelně technických vlastností dřevostaveb je značně rozsáhlá, bylo potřeba hned na začátku stanovit směr, kterým se bude práce ubírat. Kombinace narůstajících požadavků na snižování energetické náročnosti staveb, rychle se rozvíjejících nových technologií, vzrůstající poptávky po dřevostavbách spolu s nedávno zakoupenými přístroji pro kontaktní měření povrchových teplot a termovizní diagnostiku katedrou dřevěných výrobků a konstrukcí vytvořila perfektní základ pro specifikaci daného tématu.

Mezi hlavní důvody, které výběr zvoleného tématu výrazně ovlivnily, patřily především možnost seznámení se s praktickým průběhem vlastního měření a použití moderních měřících přístrojů v reálném prostředí jednotlivých staveb. Velmi zajímavá byla také příležitost využít vyhodnocená měření při konzultacích s majiteli zkoumaných domů.

2 Cíle práce a metodika

2.1 Cíle práce

Cílem předmětné diplomové práce je hodnocení energetické náročnosti dřevostaveb v daných teplotních oblastech České republiky, měření tepelně technických parametrů jejich konstrukcí a následné zpracování a vyhodnocení změřených a vypočítaných dat.

Jako dílčí cíle práce jsou stanoveny: rozbor dané problematiky týkající se historického vývoje dřevostaveb na území České republiky, rozdělení dřevostaveb z hlediska použitého konstrukčního systému a energetické náročnosti. Seznámení se s aktuálně platnými normativními a legislativními předpisy ČR, které se zabývají dřevostavbami a energetickou náročností budov. Dále uvedení vlastních výpočtů vybraných tepelně technických parametrů jednotlivých konstrukcí a naměřených hodnot uvedených spolu s popisem, jak se při jejich získávání postupuje. A následně uvedení pořizené termografie stavebních konstrukcí spolu se závěrečným porovnáním a vyhodnocením získaných dat.

2.2 Metodika

- 1) Podrobné nastudování uvedené problematiky
- 2) Vypracování literární rešerše
- 3) Výběr budov s vhodným konstrukčním systémem ve zvolených teplotních oblastech
- 4) Měření tepelně technických vlastností dřevostaveb kontaktními teplotně - vlhkostními sondami
- 5) Termovizní diagnostika stavebních konstrukcí
- 6) Zpracování a výpočty naměřených hodnot dle ČSN 73 0540
- 7) Porovnání výsledků mezi jednotlivými budovami
- 8) Závěr

3 Rozbor problematiky

3.1 Historický vývoj dřevostaveb v ČR

První stopy prokázané na základě archeologických nálezů sahají do období starší a střední doby kamenné. Za první stavby s dřevěnou nosnou konstrukcí v historii lidstva lze považovat příbytky lovců a rybářů. Díky neolitické revoluci v mladší době kamenné lze v tomto období hovořit o masivním rozvoji pravěkého stavitelství ze dřeva. Dochází ke vzniku trvalejších staveb, neboť přechod z kočovného způsobu života na usedlý s sebou nesl zakládání sídlišť a osad. Rozvoj technologie při stavbě obydlí se vyvíjel v souběhu s rozvojem nástrojů a klimatickými podmínkami daného regionu. Za jedny z prvních konstrukčních spojů jsou považovány opěry do rostlé vidlice následované otvory a čepy. Postupně docházelo k různým vylepšováním obydlí, jako například nahrazování proutěných stěn dřevěnými masivními povaly, což lze považovat za prvopočátek srubových konstrukcí. Přibližně kolem roku 4 000 před naším letopočtem se ve střední Evropě začal stavět takzvaný dlouhý dům, který měl konstrukci z dubového dřeva a rozměry 25 x 7 x 5 metrů. Stěny byly z masivní kulatiny a jeho životnost je odhadována na 20 - 25 let, to lze v měřítku tehdejší doby přirovnat k dnešním domům sloužícím jako obydlí pro více generací. Dalším významným historickým mezníkem ve vývoji dřevostaveb, bylo antické Řecko a Řím. Obecně lze říci, že i když se ze dřeva stavělo po celém světě a existuje mnoho dochovaných staveb na různých kontinentech, ovlivnila vývoj v českých zemích nejvíce Evropská kultura. Veliký vliv na stavění domů v českých zemích v období středověku měli němečtí osadníci, kteří zde rozšířili technologii hrázděné stavby. Převládajícím řešením však v tomto období byl pro obytné domy systém roubení, který se v původní podobě dochoval v některých oblastech ČR dodnes [Kuklík, 2005]. Roubení, které lze vidět na obrázku číslo 1, je sestava vodorovně na sebe vrstvených trámů vázaných v nárožích tesařskými spoji [Houdek, 2009]. Se vznikem vesnic se začala upravovat lidská obydlí a měnit jejich poloha. To mělo za následek

například vznik dřevěného čtyřbokého dvoru, později používaného, jako nedílnou součást hospodářské usedlosti.

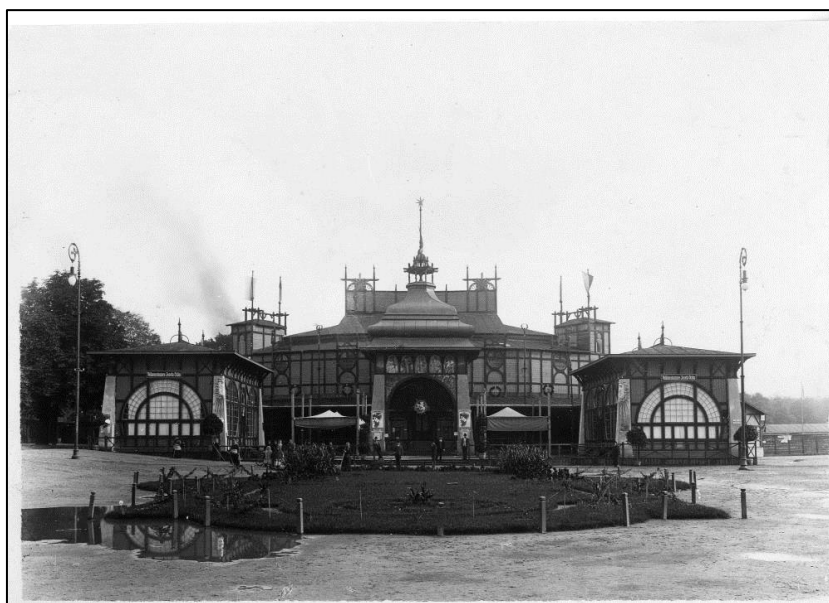


Obr. 1.: *Roubená chalupa v Krkonoších* [www.ko-a.cz].

V období novověku se dřevo jako stavební materiál objevuje až na přelomu sedmnáctého a osmnáctého století. Jeho cena je však závislá na ceně palivového a důlního dříví. V druhé polovině osmnáctého století totiž došlo v důsledku velikých nároků na kapacitu důlního a palivového dříví k vyčerpání zásob dřeva a vzniklá krize byla zažehnána až s nástupem těžby uhlí. Cena dřeva začala razantně stoupat a dřevo tak postupně začalo ztrácet na oblibě. Celodřevěná stavba se vytrácí i z oblasti lidového stavitelství, to postihuje nejen města, kde dochází k zprísňení protipožárních předpisů, ale i vesnice. Důsledkem nastalé situace se dřevo jako konstrukční materiál začalo používat pouze v oblasti navrhování krovů a dalších střešních i stropních konstrukcí. Jedinou výjimku tvořily pozemní stavby pro železnici, jako například drážní domky, remízy, výtopy a skladiště.

Charakteristickou výstavbu v období 19. století především v době národního obrození tvoří dočasné dřevěné divadelní arény, které byly realizovány zejména ve větších městech. Jako příklady lze uvést divadlo Uranie (1889 - 1946) v Praze Holešovicích od architekta Osvalda Polívky pro 750 diváků, Nové české divadlo v Praze (1876 - 1885) od architekta Antonína Bauma pro téměř 2 200 diváků a divadlo Smíchovská aréna či Novoměstské divadlo pražské [SMOLA, 2014].

Na přelomu 19. a 20. století vynikaly dřevěné stavby z oblasti výstavních pavilónů, jednalo se zejména o zemědělské a lesnické expozice, a také lázeňské stavby. K předním českým architektům této doby patří Dušan Jurkovič, který dokázal skloubit lidové umění s velkými veřejnými stavbami. K jeho nejslavnějším dílům patří vícepodlažní dřevěné stavby Pekla na Náchodsku, Poustevny pod Radhoštěm a soubor lázeňských domů v Luhačovicích [Dušan Samo Jurkovič, 2009]. Velmi častými stavbami jsou také plovárny s dřevěnými šatnami, dřevěné sokolovny a turistické i rekreační chaty. Dřevo se začíná hojně používat také pro dotváření klasických zděných staveb. Využívá se pro členění jejich fasád a uplatňují se rovněž nejrůznější dřevěné dekorace a detaily. Na počátku 20. století, později také kvůli první světové válce, získávají dřevěné stavby pověst méně hodnotných levnějších staveb s nižší životností.



Obr. 2.: *Dřevěné divadlo Uranie v Praze Holešovicích*
[www.theatre-architecture.eu].

Po první světové válce došlo k rozvoji průmyslové výroby a tím i k významnému rozkvětu dřevostaveb s užitím prvních lepených a lamelových konstrukcí. Dochází k rozšiřování obchodních a hospodářských styků se zahraničními zeměmi a díky tomu se do Československa dostává systém založený na dřevěném hranolu o rozměrech 2 x 4 palce neboli two by four. Tento stavební systém byl vyvinut v USA koncem 19. století, kdy v důsledku narůstajících požadavků na rychlost a četnost výstavby a zlepšení tepelné

izolace objektů, dochází k odklonu od roubených dřevěných domů k častějšímu využívání sendvičové fošnové stěnové konstrukce. Vzniká spousta nových úsporných halových konstrukcí reprezentovaných filmovým studiem Barrandov, pekárnou v Praze Hostivaři, vozovnou v Praze Střešovicích, ale i typizovaná výroba v podobě lesních hájoven. Podél vodních toků dochází v té době k ještě zcela neregulované výstavbě trampských osad a chatových kolonií. Ty jsou mnohdy budovány i na velmi nepřístupných místech vysoko ve skalách a to jen díky technologii prvkové dřevostavby. Výstavbou dřevěných staveb byl po válce řešen také zoufalý nedostatek bytů. V meziválečném období se většinový objem těžby dřeva využívá zejména pro bednění betonových a jiných pomocných konstrukcí. Situace se vyhrtila natolik, že potřeba dřeva pro pomocné konstrukce byla stejně vysoká, jako kdyby se ze dřeva stavěly všechny ostatní běžné stavby. Tento prvorepublikový trend se velmi nepříznivě projevil v poválečném dřevěném stavitelství.

Krátce po druhé světové válce se proto zavedla prefabrikace a produkce konstrukcí bez užití dřeva. Dřevo bylo degradováno pouze na pomocný stavební materiál a jeho výroba stála mimo hlavní průmysl země. Díky zákonu č. 22/1955 Sb., který zavedl vznik Státní dřevařské inspekce pro vyloučení dřeva ze stavebnictví, se vývoj dřevěných konstrukcí v Československu v podstatě zastavil. V průběhu 70. a 80. let minulého století se velmi omezila rovněž výuka dřevěných konstrukcí na odborných a vysokých školách. Nevydávaly se žádné knihy s tímto tématem. Navíc byl zakázán dovoz zahraničních časopisů a odborných publikací. Veřejnosti byl soustavně podsouván názor, že dřevostavby jsou nekvalitní, mají kratší životnost a nehezky vzhled.

První moderní dřevostavby se v západní Evropě začínají objevovat na počátku 70. let minulého století. V souvislosti s první ropnou krizí a následně vlivem války mezi Irákem a Íránem se dřevo stává výhodným stavebním materiálem pro energeticky nenáročné stavby. Postupem doby dochází k masivní výstavbě rodinných a bytových domů v severských a německy mluvících zemích.

Tab. 1: *Struktura bytů dokončených v letech 1997-2012 v ČR podle nosné konstrukce v procentech [www.čsú.cz].*

rok	Nosná konstrukce rodinných domů				Nosná konstrukce bytových domů			
	Zděná	Montovaná	Dřevěná	jiná	Zděná	Montovaná	Dřevěná	jiná
1997	93,7	2,7	1,4	2,2	58,5	22,5	0,0	19,0
1998	93,6	2,4	1,5	2,4	65,3	10,6	0,1	24,0
1999	94,6	2,5	1,1	1,8	52,1	19,8	0,7	27,5
2000	95,4	1,3	1,3	2,0	70,3	9,4	0,0	20,3
2001	95,0	1,6	1,6	1,8	71,3	2,8	0,0	25,9
2002	94,3	1,7	1,4	2,6	63,7	6,8	0,5	29,0
2003	93,9	1,7	2,4	2,0	68,0	9,7	0,1	22,3
2004	94,1	1,6	2,6	1,7	75,9	4,6	0,5	19,0
2005	93,6	1,6	2,9	1,9	63,8	6,2	0,8	29,2
2006	92,6	1,6	3,7	2,2	67,3	6,9	0,4	25,3
2007	92,0	1,4	4,6	2,1	57,2	4,9	0,2	37,6
2008	91,4	1,6	5,2	1,8	69,2	3,8	0,4	26,6
2009	89,8	1,6	6,4	2,2	64,1	3,4	0,1	32,4
2010	88,9	1,9	6,9	2,3	56,7	6,6	0,9	35,8
2011	87,2	2,0	8,6	2,2	59,6	4,5	0,6	35,3
2012	84,9	3,0	9,9	2,2	53,5	4,9	0,4	41,2

Po pádu komunismu a otevření hranic novým ekonomickým a hospodářským možnostem v roce 1989 se i v České republice začaly pomalu, ale jistě dřevostavby dostávat ke slovu. Na trhu se začaly uplatňovat moderní technologie v podobě deskových konstrukčních materiálů, různé typy tepelných a zvukových izolací, nové spojovací a konstrukční kování a stavební chemie. Dřevostavby se stávaly čím dál více populárnější a v současnosti jsou již běžnou a zavedenou technologií výstavby a to nejen v prostředí rodinných domů [SMOLA, 2014].

I když podle aktuálních statistik stavebnictví jako celek v České republice meziročně pokleslo o 6,6 % a v posledních několika letech zažívá krizové období, dřevostavby naopak zaznamenávají pozitivní vývoj, co se týká počtu nově postavených objektů [Stavebnictví, byty, 2014]. Tento trend potvrzují tabulky 1 a 2, kde je možné si všimnout, jak počet staveb na bázi dřeva

od konce devadesátých let postupně rostl. Zatímco v roce 1998 bylo v České republice postaveno pouhých 123 kusů dřevostaveb, v roce 2012 jich bylo téměř 1 700 kusů. V roce 2012 byla v České republice dokončena výstavba celkem 17 100 kusů nových rodinných domů a z toho bylo 1 699 domů s využitím technologie výstavby na bázi dřeva. To znamená, že podíl dřevostaveb v roce 2012 na českém trhu dosáhl téměř deseti procent a nadále meziročně roste.

Tab. 2: Podíl dokončených dřevostaveb na trhu RD v ČR [www.čsú.cz].

ROK	Rodinné domy v ČR celkem		Dřevostavby - ČR		Podíl dřevostaveb na trhu RD v ČR (v %)
	všechny technologie (v ks)	(v ks)	Nové rod. domy (v ks)	(v ks)	
	Domy 2*) přepočít	byty 1*) dle ČSU	Domy 3*) dle ÚRS	byty dle ÚRS	
1998	8 138	8 336	123	126	1,51
1999	8 251	9 238	92	103	1,11
2000	10 235	10 466	133	136	1,30
2001	10 504	10 693	167	170	1,59
2002	11 499	11 716	159	162	1,38
2003	11 143	11 397	263	269	2,36
2004	12 951	13 302	332	341	2,56
2005	13 231	13 472	384	391	2,90
2006	12 519	13 230	458	484	3,66
2007	16 572	16 988	756	775	4,56
2008	19 211	19 611	1 008	1 029	5,25
2009	18 778	19 124	1 195	1 217	6,36
2010	19 382	19 760	1 332	1 358	6,87
2011	17 025	17 385	1 465	1 496	8,61
2012	17 100	17 442	1 699	1 733	9,94
Total	206 538	212 160	9 566	9 790	

Dřevostavby - bytové domy	
Nové bytové domy	
v ks	v ks
Byt. domy 4*) ÚRS	byty v byt. Domech
1	8
3	44
4	32
1	6
7	53
10	87
5	45
7	39
3	48
3	16
13	95
5	38
4	28
66	539

Zdroje dat:

- 1) Počet dokončených bytů v RD v jednotlivých letech: statistiky ČSÚ
- 2) Počet zahájených rodinných domů: přepočít z bytů koeficientem: 1 rodinný dům = ca 1,024 bytů
- 3) Počet postavených nových dřevostaveb: ÚRS Praha, RNDr. Jan Müller, tel.: 267 219 324, 271 751 328
- 4) Počet dokončených bytových domů - dřevostaveb a počet bytů v nich: ÚRS Praha, RNDr. Jan Müller

3.2 Charakteristika dřevostaveb

Pod pojmem dřevostavba se rozumí dům, jehož hlavním konstrukčním prvkem je dřevo. Zbylé stavební prvky mohou být tvořeny materiály na bázi dřeva nebo i jinými materiály jako jsou například keramická krytina, nejrůznější izolační materiály, ocelové spojovací prvky, speciální fólie, štuková omítka, obklady, nátěry a podobně. Na základě výše uvedeného lze konstatovat, že i dřevostavby mají charakter heterogenní konstrukce, protože již kromě

uvedených materiálů, podobně jako jiné konstrukce, mají i železobetonovou vodorovnou stavební konstrukci (základové pasy, základové desky). Kombinace několika materiálů má za důsledek výborné technologické vlastnosti stavby a zvyšuje užitnou kvalitu bydlení. Pro výstavbu nosných konstrukcí dřevostaveb je nejčastěji používáno dřevo jehličnatých dřevin: smrku, jedle, modřínu a borovice. A to hlavně z důvodu přijatelných vlastností v porovnání s jejich cenovou dostupností [Kolb, 2007].

Stejně tak jako jiné nedřevěné stavební systémy mají i dřevostavby své klady a zápory.

Výhody dřevostaveb [Štefko, 2006]:

- suchý proces výstavby
- rychlost a nižší náročnost při výstavbě
- variabilní stavební technologie
- schopnost regulovat interiérovou vlhkost
- dobré tepelné a akustické vlastnosti
- vysoká únosnost konstrukcí v porovnání s hmotností
- estetické a funkční vlastnosti
- malé množství stavebního odpadu
- šetrnost k životnímu prostředí
- výroba z obnovitelných zdrojů [Múčka, 2011]
- příznivé environmentální dopady (záporná bilance CO₂) [Múčka, 2011]
- požární předvídatelnost [Múčka, 2011]

Nevýhody dřevostaveb [Štefko, 2006]:

- nižší životnost a trvanlivost nechráněných dřevěných částí a s tím spojená náročnější údržba
- objemové a tvarové změny dřeva a jeho vady

3.2.1 Druhy konstrukčních systémů dřevostaveb

Konstrukční systémy budov na bázi dřeva se zpravidla dělí podle hlavních svislých a vodorovných nosných konstrukcí, respektive konstrukčních prvků. Dále se mohou dělit na základě různého stupně prefabrikace a návazné staveništní pracnosti.

Dělení dřevostaveb na základě konstrukčního systému [Kolb, 2007]:

- rámové stavby
- skeletové stavby
- stavby z masivních panelů
- stavby ze sendvičových panelů
- Balloon-frame, Platform-frame
- srubové a roubené stavby
- hrázděné stavby

Dělení dřevostaveb podle způsobu výstavby [Zahradníček, 2011]:

- klasický způsob - sloupková konstrukce (výstavba přímo na staveništi)
- prefabrikace (předvýroba jednotlivých dílů stavby mimo staveniště)

3.2.1.1 Rámové stavby

Samonosná rámová konstrukce je tvořena jednotlivými svislými dřevěnými prvky z řeziva, které jsou opláštěné plošnými prvky. Stojky, které jsou obvykle navrhovány v rozpětí 400, 600 nebo 625 mm, plní statickou funkci převážně ve svislém vertikálním směru a jsou zapuštěny do vodorovného dolního a horního pasu. Tak vznikne kompaktní dřevěný celek, který vytvoří stabilní rám. Statickou funkci v horizontálním směru plní opláštění rámové konstrukce velkoplošnými deskami na bázi dřeva. Tím dojde k zamezení klopení stojek do stran a výsledná rámová konstrukce vykazuje velkou tuhost ve všech směrech. Výsledná dřevostavba je tvořena jednotlivými rámovými stěnovými konstrukcemi spolu se stropními trámy, dřevěnými průvlaky a s krovem. Rámové konstrukce jsou nejběžnějším a tradičním typem stavebního systému

dřevostaveb, oblíbeného především proto, že se jedná o velmi rychlou, flexibilní a suchou montáž výstavby. Navíc lze dosáhnout velmi dobrých tepelně-izolačních vlastností při zachování vysoké variability dispozičního a architektonického řešení. Velikou výhodou těchto typů konstrukcí je, že veškeré tesařské práce a montáž probíhají až na místě stavby, díky čemuž je možné částečně provádět změny v započaté stavbě [Technologie stavby/rámová nosná konstr., 2015].



Obr. 3.: *Rámová konstrukce rodinného domu* [www.woodsystm.cz].

3.2.1.2 Skeletové stavby

Tento typ konstrukcí se vyvinul z hrázděných staveb a je jednou z nejstarších konstrukcí dřevostaveb. Základním principem skeletové stavby je její nosná konstrukce z prutových prvků vytvořená v určité síti. Základní skelet je doplněn o plošné konstrukční prvky, které však nemají nosnou funkci, ale pouze plní roli ochrany a uzavírají vnitřní prostor [Havířová, 2005].

Do této kategorie lze zařadit systém dřevěných skeletů, kterým se říká Two by four, což je odvozeno od nejrozšířenějšího fošnového profilu 2" x 4", tedy zhruba 50 x 100 mm. Moderní dřevostavby využívají i jiných rozměrů než je 2" x 4", ovšem tendence je dosáhnout co nejmenšího počtu svislých prvků. Nosná konstrukce skeletových dřevostaveb se ve většině případů vyrábí z lepeného dřeva. Skeletové konstrukce jsou vhodné pro překlenutí velkých

rozponů, což podněcuje jejich použití pro výstavbu průmyslových objektů. V současnosti se používají také pro bytovou výstavbu. Není zde potřeba dělit vnitřní prostor objektů nosnými prvky a dochází tak k vytváření prostorných ploch jednak v rámci dispozičního řešení a jednak v obvodovém plášti budovy, kde je poté možné navrhnout veliké zasklené plochy. Výhodou těchto konstrukcí je velká kompoziční volnost a variabilita půdorysu [Skeletové dřevostavby, 2015].



Obr. 4.: *Skeletová konstrukce* [www.asb.sk].

Kolb ve své knize [Kolb, 2007] uvádí následujících pět nejběžnějších typů konstrukce skeletových dřevostaveb:

- sloup a dvojitý nosník
- dvojitý sloup a nosník
- nosníky uložené na sloupech
- sloup a přilehlý nosník
- vidlicový sloup

3.2.1.3 Stavby z masivních panelů

Masivní dřevěné konstrukční systémy jsou charakteristické tím, že jejich nosné stěny jsou vytvořeny z opracovaných přířezů, které jsou navzájem spojeny do masivních plošných elementů – panelů. To se provádí různými způsoby, nejčastěji desky vznikají skládáním, vrstvením nebo lepením do požadovaných tvarů. Velmi používaným materiálem je takzvaný cross laminated timber neboli křížem vrstvené dřevo nebo také X-lam. Jedná se o panely, které jsou složeny ze tří a více navzájem na sebe kolmých vrstev. Jednotlivé vrstvy jsou složeny z prken spojených vedle sebe.



Obr. 5.: *Rodinný dům z vrstveného masivního dřeva*
[www.novatop-system.cz].

V dnešní době existuje mnoho variant masivních panelů, například skládané přířezy spojené kolíky, skládané přířezy spojené lepením, vrstvený masiv spojený kolíky, lepený vrstvený masiv nebo masiv složený z dílcových prvků. Stavba se montuje na staveništi z předem připravených prefabrikovaných panelů, které je možné použít i na nosnou konstrukci střechy. Izolační vrstva se pokládá z vnější strany obvodové nosné konstrukce. Interiér stavby tak může zůstat bez jakýchkoliv vnitřních úprav a je přitom z příjemného dřevěného masivního materiálu.

Mezi hlavní výhody těchto konstrukcí patří eliminace izotropního chování dřeva díky křížem orientované vrstvě prken, velká statická a dynamická odolnost systému, velká prostorová tuhost objektů, rychlost výstavby a přírodní materiál konstrukce a jejích povrchů [Veselý, 2013].

3.2.1.4 Stavby ze sendvičových panelů

Dřevostavby ze sendvičových panelů jsou stejně jako dřevostavby z masivních panelů skládány a montovány přímo na staveništi z předem vyrobených dílců. Tyto nosné panely jsou nejčastěji tvořeny dvěma deskami na bázi dřeva a vnitřní tepelnou izolací, obvykle z pěnového polystyrenu. Izolace může být i z jiných materiálů, jako například z tuhých plastových materiálů či měkkých minerálních vláken a podobně. V takovém případě obvykle tvoří distanční vrstvu mezi deskami sendviče jiné tuhé dřevěné prvky, například KVH profily. Panely se obvykle používají i na nosnou konstrukci střech, ať už šikmých nebo plochých, a také na konstrukci samotných střech. Na smontovanou nosnou konstrukci se z vnější strany instalují další vrstvy obvodového pláště. Z vnitřní strany se provádí obklad z různých deskových materiálů. Výhodou těchto stavebních systémů je především jednoduchost a rychlost výstavby a nízká pořizovací cena.



Obr. 6.: *Rodinný dům ze sendvičových panelů* [www.europanel.cz].

3.2.1.5 Balloon-frame a Platform-frame stavby

Tento typ dřevěných konstrukcí se zrodil ve Spojených státech amerických kolem roku 1850 kvůli narůstajícím požadavkům na rychlou výstavbu domů. Jedná se o žebrový systém sloupků postavených v malých vzdálenostech od sebe, které jsou vyztuženy prkny nebo deskami na bázi dřeva, přibitými hřebíky [Kolb, 2007].

Balloon-Frame konstrukce

Balloon-Frame neboli nosná konstrukce s průběžnými stěnovými sloupky, které procházejí přes dvě a více podlaží. Spodní a horní uzavření tvoří vodorovné prahy a vaznice. Stropní nosníky jsou připevněné na stojné fošně, která je zapuštěná do zářezů stěnových sloupků. Charakteristickými znaky je malá možnost předvýroby, vysoká pracnost na staveništi, budova je vyztužena pláští, štíhlé, vysoké průřezy a těsná vzdálenost sloupků [Kolb, 2007].



Obr. 7.: *Balloon-Frame konstrukce* [www.jsmillar.com].

Platform-Frame konstrukce

Platform-Frame neboli plošinová konstrukce je charakteristická poschodovou skladbou. Plošina je v průběhu stavby používána jako pracovní plocha a zároveň výrobní místo. To napomáhá k výrobě normalizovaných

konstrukčních prvků a umožňuje to snadnou standardizaci a prefabrikaci výroby [Kolb, 2007].



Obr. 8.: *Platform-Frame konstrukce* [www.jsmillar.com].

3.2.1.6 Srubové a roubené stavby

Jedná se o nejstarší typy konstrukcí dřevostaveb, které výrazně ovlivnily vývoj architektury dřevěných staveb v 18. a 19. století a stále jsou používané a široce rozšířené.



Obr. 9.: *Sрубová konstrukce rodinného domu* [www.tzb-info.cz].

Srubové konstrukce

Nosná konstrukce srubů je obvykle tvořena přírodní opracovanou kulatinou. Na rozdíl od roubenek není vodorovně kladená masivní kulatina v rozích zarovnaná, ale přesahuje, čímž je vytvořen charakteristický vzhled srubů. Moderní konstrukce srubů se ve spárách obvodové kulatiny utěsňuje pro zajištění spojitého obvodového pláště například paměťovou trvale pružnou páskou. Pro zajištění dokonalého těsnění a požární odolnosti jednotlivých spojů lze do drážek v kulatině vložit nenasákavou minerální vatu nebo jinou tepelnou izolaci. Z toho lze odvodit, že spoj kulatiny je pro správné fungování a dlouhodobou životnost srubů velmi důležitým detailem. Z hlediska výroby můžeme srubové stavby rozdělit do dvou kategorií. Jednak jsou to průmyslově vyráběné sruby, které mají na trhu převahu, a jednak jsou to řemeslně vyráběné sruby, které sice tvoří pouze jednu čtvrtinu celkového množství vyrobených srubových staveb ve světě, nicméně poptávka po nich se stále zvyšuje. Výhodou těchto druhů staveb je jejich přírodní vzhled a vůně [Houdek, 2009].

Roubené konstrukce

Hlavní rozdíl roubených konstrukcí od srubů je, že roubenky mají nosnou konstrukci vytvořenou z masivních opracovaných dřevěných dílců, obvykle trámů. Na rozdíl od srubových staveb je pro roubenky charakteristický



Obr. 10.: Roubená konstrukce rodinného domu [www.ju-srubby.cz].

nepřesahující roh stěn s rybinovým spojem trámů neboli roubení. Moderní konstrukce jsou ve spárách obvodových trámů doplněny o tepelnou izolaci vloženou do drážek v trámech popřípadě o izolační tmel nebo jiné těsnící prostředky. Stejně jako u srubů platí, že v případě průmyslově vyrobených konstrukcí se jejich části vyrobí předem a poté se až na stavbě montují [Dřevostavby, 2001-2015].

3.2.1.7 Hrázděné stavby

Konstrukci hrázděných staveb tvoří nosná kostra z dřevěných přířezů, která bývá viditelná z exteriéru. Kostra je tvořena převážně pravidelnou hustou sítí obdélníků a čtverců, která bývá vyplněna cihlovým zdivem. Při jejich konstrukci se spíše používají krátké části listnatého dřeva čtvercových průřezů. Dříve než se začala nechávat hlavní nosná konstrukce spolu s vyzdívkou viditelná, stavěly se hrázděné stavby omítnuté tak, aby napodobovaly masivní stavby z kamene a zdiva. V současnosti se již klasické hrázděné stavby s viditelnou nosnou konstrukcí z venkovní strany téměř nestaví. Výztužná vzpěrová konstrukce byla nahrazena novými materiály na bázi dřeva spolu s ekonomicky úspornějšími a méně pracnými metodami výstavby [Kolb, 2007].

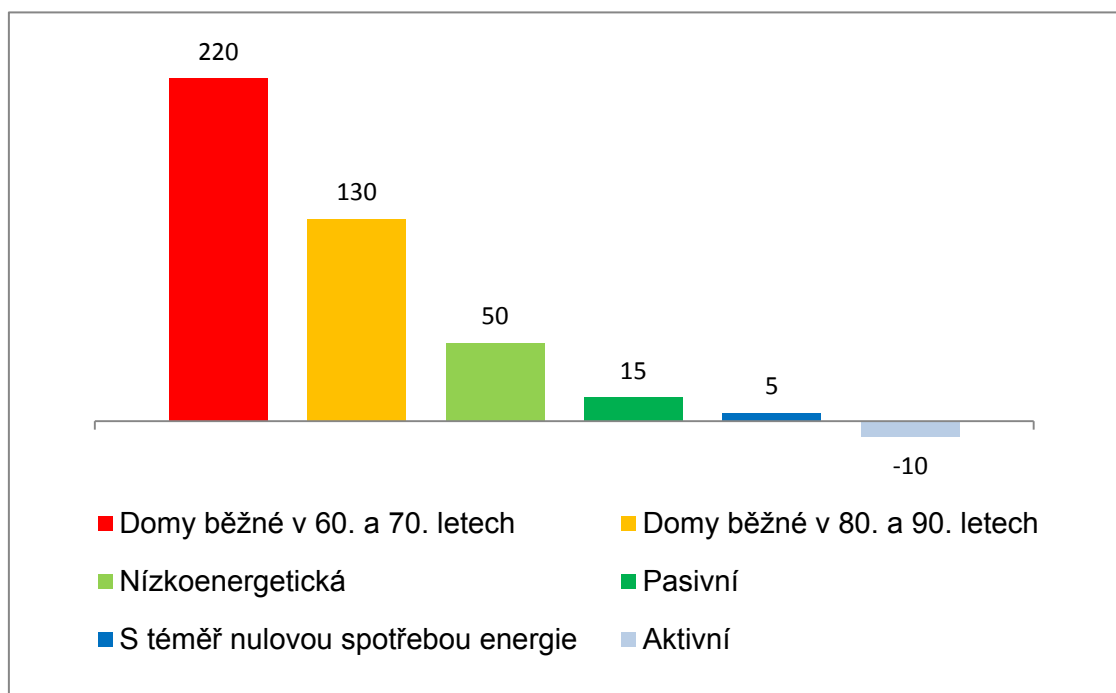


Obr. 11.: *Hrázděná konstrukce* [www.propamatky.cz].

3.3 Dělení dřevostaveb podle energetické náročnosti

Dřevostavby lze dělit nejen z pohledu jejich nosné konstrukce, ale i z pohledu spotřeby energie. V současnosti jsou na nově vznikající stavby kladeny značné nároky, co se týká energetické úspory, a také trvale udržitelného rozvoje. Budovy se totiž svou energetickou spotřebou podílí na celkové spotřebě primárních energetických zdrojů více než třetinově. Totéž platí i pro produkci emisí skleníkových plynů. U existujících dřevostaveb se posuzuje množství skutečně spotřebované energie a to především na vytápění, přípravu teplé vody, chlazení, osvětlení a na větrání nebo klimatizační systém. U nových staveb se množství energie stanovuje výpočtem podle požadavků na standardizované užívání budovy [Hudcová, 2009]. Na grafu 1 lze vidět, že vývojový trend v oblasti spotřeby energie na bydlení má klesající tendenci. Neboli požadavky ze strany legislativních a normativních dokumentů se přizpůsobují aktuálnímu vývoji v oblasti nízkoenergetické výstavby.

Graf 1: Rozdělení dřevostaveb dle měrné potřeby tepla na vytápění v kWh/m²a
[zdroj dat ČSN 730540-2 a Hudcová, 2009].



3.3.1 Aktivní dřevostavby (s energetickým přebytkem)

Jedná se o dřevostavby, které jsou nezávislé na vnějších zdrojích energie. Mají instalovány systémy na výrobu energie v dostatečné kapacitě tak, aby dokázaly zajistit vlastní provoz domácnosti. Případné přebytky energie mohou být dále distribuovány ke spotřebě, například k bezplatnému provozu domácích spotřebičů nebo ohřevu vody v integrovaném zásobníku tepla. Na rozdíl od západní Evropy, se však u nás tento typ domů zatím příliš nestaví, a to hlavně z důvodu nepružné legislativy, která je velmi pomalu novelizována.

3.3.2 Dřevostavby s téměř nulovou spotřebou energie

Podle zákona č. 318/2012 Sb. lze hovořit o budovách s téměř nulovou spotřebou energie neboli o budovách s velmi nízkou energetickou náročností, jejíž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů. V podstatě se jedná o pasivní domy jejichž měrná spotřeba tepla na vytápění je menší než $5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ a velmi se blíží k hodnotě $0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Odtud je také odvozen jejich název. Důležitým faktorem pro zařazení dřevostavby do této kategorie, aby v co největší možné míře pokrývala svoji energetickou spotřebu z obnovitelných zdrojů. Dle zákona by všechny nové budovy, včetně dřevostaveb, měly být od roku 2020 nulové, některé typy dokonce již od roku 2016. To je vzhledem k dnešnímu trendu výstavby více než pozitivní hlavně z hlediska úspory financí za energie [Co je nulový dům, 2012].

3.3.3 Pasivní dřevostavby

Název pasivní dům, který je v současné době velmi probíraným tématem, vznikl na základě principu využívání pasivních tepelných zisků v budově. Jedná se především o vnější zisky ze slunečního záření procházejícího skrze okna a zisky vnitřní, které vznikají teplem vyzařovaným lidmi a spotřebiči. Pomocí současných velmi kvalitních izolací a nejnovějších technologických materiálů se daří tyto tepelné zisky zachytit uvnitř budovy a nepropustit do exteriéru.

Následně zajišťují dosažení potřebné teploty v obytných místnostech. Pasivní dům potřebuje ročně mnohem méně energie na vytápění, než je tomu u nízkoenergetických nebo klasických starších domů. Dle Passiv haus Institut v Darmstadtu je energetická spotřeba pasivní dřevostavby maximálně 15 kWh/m² vytápěné plochy. U běžného rodinného domu s podlahovou plochou kolem 120 m² se tato hodnota může rovnat až 32 400 kWh/rok. Je dobré si uvědomit, že pro vytápění místnosti o velikosti 20 m² stačí 200 Wattů, to je v porovnání s tepelným výkonem člověka, který činí okolo 80 Wattů, téměř srovnatelné [About passive house, 2012].

Podle mezinárodně uznávaných standardů dle Passiv haus Institut v Darmstadtu musí pasivní domy splňovat několik nezbytných požadavků:

- Měrná roční potřeba tepla na vytápění je maximálně 15 kWh/m²a.
- Neprůvzdušnost obálky budovy n₅₀ ověřená tlakovou zkouškou nesmí překročit hodnotu 0,6⁻¹/hod. To znamená, že při přetlaku nebo podtlaku 50 Pa se nesmí za hodinu vyměnit netěsnostmi v obálce budovy více než 60% vnitřního objemu vzduchu.
- Celková spotřeba primární energie spojená s provozem budovy včetně domácích spotřebičů je nižší než 40 kWh/m² a.
- Ve všech obytných místnostech musí být splněn tepelný komfort 25 °C s ne více než 10% hodin za daný rok [About passive house, 2012].

3.3.4 Nízkoenergetické dřevostavby

Nízkoenergetické dřevostavby byly nezbytným vývojovým stupněm pro tři zmíněné předchozí kategorie dřevostaveb. Rozmezí hodnot měrné potřeby tepla na vytápění pro dosažení tohoto standardu je mezi 20 a 50 kWh/m²a. Koncept nízkoenergetického domu vznikl jako odpověď na rostoucí ceny energií ve Spojených státech amerických v 70. letech minulého století. Jak je uvedeno v grafu 1, nízkoenergetická dřevostavba má ve srovnání s běžnou novostavbou pouze poloviční až třetinovou spotřebu tepla na vytápění. Z toho lze vyvodit, že nízkoenergetický dům je v současnosti jakýmsi kompromisem mezi pasivním

domem a běžnou současnou výstavbou a jeho postavení na českém trhu se stále více upevňuje.

Nízkoenergetická dřevostavba se v podstatě skládá ze stejných komponentů jako pasivní a nulové stavby, pouze jich neobsahuje takové množství. Na rozdíl od pasivního standardu potřebuje větší zdroj tepla a rozsáhlejší otopný systém, čímž dochází k vyrovnávání investičních nákladů, ale provozní zůstávají stále mnohem vyšší [Jodidio, 2009].

Důležitou součástí správně postavené a fungující nízkoenergetické dřevostavby je mnoho podstatných faktorů jako například správná volba místa a orientace stavby, jednoduchý a kompaktní tvar, promyšlená dispozice, dobře vyřešená konstrukce včetně nadstandardní tepelné izolace, vhodný typ okenních a dveřních výplní s orientací na jih, zamezení vzniku tepelných mostů, strojní větrání s rekuperací tepla a dostatečná těsnost budovy. Kromě toho je důležité, aby jednotlivé komponenty domu byly vyvážené a vzájemně spolupracovaly. Například způsob vytápění může ovlivnit volbu konstrukčního systému domu [Beranovský, 2007].

3.4 Související normativní a legislativní předpisy

Ve stavební oblasti zabývající se dřevěnými domy a energetickou náročností budov je potřeba dodržovat mnoho platných zákonů, vyhlášek a norem. V následujícím přehledu jsou uvedeny nejdůležitější z nich.

3.4.1 Zákon č. 318/2012 Sb., kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů

Tímto zákonem je implantována Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2010/31/EU (dále jen „směrnice“), do českého právního řádu. Touto směrnicí se státy EU zavázaly naplnit rezoluci OSN na ochranu celosvětového klimatu. Tato rezoluce vyšla pod názvem Kjótský protokol, čímž se státy zavázaly do roku 2020 snížit emise skleníkových plynů (CO₂) o 20 %

a ke snížení spotřeby energie z fosilních paliv o 20 %. Tato rezoluce se dostala do podvědomí společnosti pod názvem 20:20:20. Zákon stanovuje některá opatření pro zvyšování hospodárnosti užití energie a povinnosti fyzických a právnických osob při nakládání s energií, pravidla pro tvorbu Státní energetické koncepce, Územní energetické koncepce a Národního programu hospodárného nakládání s energií a využívání jejich obnovitelných a druhotných zdrojů.

§ 3 Státní energetická koncepce

„(1) Státní energetická koncepce je strategickým dokumentem s výhledem na 30 let vyjadřujícím cíle státu v energetickém hospodářství v souladu s potřebami hospodářského a společenského rozvoje, včetně ochrany životního prostředí, sloužícím i pro vypracování územních energetických koncepcí“ [zákon č. 318/2012 Sb., 2012].

§ 4 Územní energetická koncepce

„(2) Územní energetická koncepce vychází ze státní energetické koncepce a obsahuje cíle a principy řešení energetického hospodářství na úrovni kraje, statutárního města, hlavního města Prahy a obce.“

„(5) Územní energetická koncepce obsahuje

- (a) rozbor trendů vývoje poptávky po energii,*
- (b) rozbor možných zdrojů a způsobů nakládání s energií,*
- (c) hodnocení využitelnosti obnovitelných a druhotných energetických zdrojů a kombinované výroby elektřiny a tepla,*
- (d) hodnocení využitelnosti energetického potenciálu komunálních odpadů,*
- (e) hodnocení technicky a ekonomicky dosažitelných úspor z hospodárnějšího využití energie,“ [zákon č. 318/2012 Sb., 2012].*

§ 7 Snižování energetické náročnosti budov

„(1) V případě výstavby nové budovy je stavebník povinen plnit požadavky na energetickou náročnost budovy podle prováděcího právního předpisu a při podání žádosti o stavební povolení nebo ohlášení stavby doložit

a) *kladným závazným stanoviskem dotčeného orgánu podle § 13 splnění požadavků na energetickou náročnost budovy na nákladově optimální úrovni od 1. ledna 2013,*“

„(8) Prováděcí právní předpis stanoví nákladově optimální úroveň požadavků na energetickou náročnost budovy pro nové budovy, větší změny dokončených budov, pro jiné než větší změny dokončených budov, pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie, dále stanoví metodu výpočtu energetické náročnosti budovy, vzor posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie a vzor stanovení doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy“ [zákon č. 318/2012 Sb., 2012].

§ 7a Průkaz energetické náročnosti

„1) Stavebník, vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek je povinen zajistit zpracování průkazu energetické náročnosti při výstavbě nových budov nebo při větších změnách dokončených budov,“ [zákon č. 318/2012 Sb., 2012].

§ 9 Energetický audit

„1) Stavebník, společenství vlastníků jednotek nebo vlastník budovy nebo energetického hospodářství jsou povinni zpracovat pro budovu nebo energetické hospodářství energetický audit v případě, že

a) budova nebo energetické hospodářství mají celkovou průměrnou roční spotřebu energie za poslední dva kalendářní roky vyšší, než je hodnota spotřeby energie stanovená prováděcím právním předpisem,

b) u větší změny dokončené budovy nejsou splněny požadavky na energetickou náročnost budovy podle § 7 odst. 5 písm. f)“ [zákon č. 318/2012 Sb., 2012].

Vedle zákona č. 318/2012 Sb. byly postupně vydány další prováděcí předpisy, které podrobněji rozvádějí a upřesňují hodnocení energetické náročnosti budov.

3.4.2 Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov, ve znění pozdějších předpisů

Tato vyhláška byla zpracována na základě směrnice Evropského Parlamentu a Rady EU 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a nařízení Komise č. 244/2012. Stanovuje požadavky na energetickou náročnost budovy pro nové budovy, větší změny dokončených budov, jiné než větší změny dokončených budov a pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie, porovnávací ukazatele, výpočtovou metodu energetické náročnosti budovy, vzor posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie, vzor stanovení doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy, vzor a obsah průkazu energetické náročnosti budovy a způsob jeho zpracování a umístění průkazu v budově.

§ 3 Ukazatele energetické náročnosti budovy a jejich stanovení

„(1) Ukazatele energetické náročnosti budovy jsou

- a) celková primární energie za rok,*
- b) neobnovitelná primární energie za rok,*
- c) celková dodaná energie za rok,*
- d) dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení za rok,*
- e) průměrný součinitel prostupu tepla,*
- f) součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici,*
- g) účinnost technických systémů“ [vyhláška č. 78/2013 Sb., 2013].*

Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB)

Ve své podstatě jde o celkové zhodnocení objektu z energetického hlediska. V porovnání s energetickým auditem není tolik podrobné. PENB zjišťuje všechny energie spotřebované při standardním provozu hodnocené budovy a podle toho ji zařadí do jedné ze sedmi příslušných tříd energetické náročnosti. Průkaz má dvě hlavní části. První z nich je písemný protokol, kde jsou tabulkovou formou uvedeny informace o energetických procesech daného

objektu, a druhou částí je grafické znázornění průkazu, které bylo inspirováno energetickými štítky elektrospotřebičů a kterou je možné vidět na obrázku č. 12. Lze z něho vyčíst identifikační údaje o budově, jaké třídy energetické náročnosti budova dosáhla, vypočtenou měrnou roční spotřebu energie, doporučená opatření, podíl energonositelů na dodané energii a ukazatele energetické náročnosti budovy.

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY
vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodářské energii, a vyhlášky č. xxx/2012 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, číslo: _____
PSC, místo: _____
Typ budovy: _____
Plocha obálky budovy: _____ m²
Objemový faktor tvaru A/V: _____ m³/m²
Celková energeticky vztázná plocha: _____ m²

ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

Celková dodaná energie (Energie na vstupu do budovy) Měrné hodnoty kWh/m²·rok

Neobnovitelná primární energie (Vše provozu budovy na životní prostředí) Měrné hodnoty kWh/m²·rok

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

PODÍL ENERGNOSITELŮ NA DODANÉ ENERGIÍ

DOPORUČENÁ OPATŘENÍ

Opatření pro Stanovena

Vnější stěny:
Okna a dveře:
Střešní:
Podlahy:
Vytápění:
Chlazení/klimatizaci:
Větrání:
Přípravu teplé vody:
Osvětlení:
Jiné:

ENERGONOSITELI

■ Elektrina ze sítě - XX.X
■ Biomas a ex. prostředí - XX.X
■ Zemní teplo - XX.X

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

Číslo budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
U _{hw} (kWh/m ² ·rok)	XX.X	XX.X	XX.X	XX.X	XX.X	XX.X

Zpracovatel: _____ Osvědčení č.: _____
Kontakt: _____ Vyhотовeno dne: _____
Podpis: _____

Obr. 12.: Příklad grafické části průkazu energetické náročnosti budovy [www.tzb-info.cz].

Tab. 3: Slovní vyjádření klasifikačních tříd energetické náročnosti budov [Vyhláška č. 78/2013 Sb.].

Klasifikační třída	Slovní vyjádření klasifikační třídy
A	Mimořádně úsporná
B	Velmi úsporná
C	Úsporná
D	Méně úsporná
E	Nehospodárná
F	Velmi nehospodárná
G	Mimořádně nehospodárná

Vedle zákonů a vyhlášek pro vyhodnocení energetické náročnosti budov, včetně dřevostaveb, se používá řada technických předpisů a norem. Ty jsou vzájemně značně provázané a často odkazují na další podrobnější předpisy. Z hlediska tepelně technických požadavků je nejpodstatnější česká technická norma ČSN 73 0540 a to především její druhá část: Požadavky.

3.4.3 ČSN 73 0540-2: tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky

Energetický štítek obálky budovy (EŠOB)

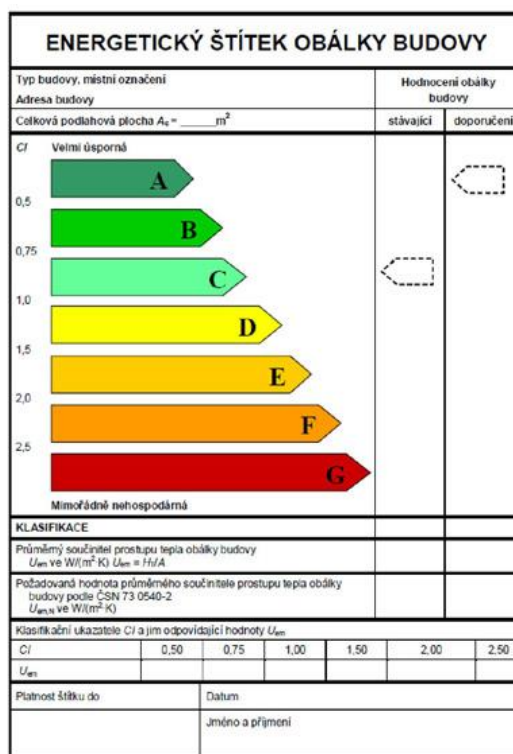
Vyhodnocuje tepelně-technické vlastnosti stavební konstrukce budovy. Jde zejména o hodnocení prostupu tepla obálkou budovy prostřednictvím průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} . Nejedná se tedy o celkovou energetickou náročnost stavby. Podle naměřených hodnot U_{em} a jejich porovnání s požadovanými a doporučenými hodnotami uvedenými v normě se stanoví klasifikační ukazatel CI a podle toho se budova zařadí do jedné ze sedmi energetických tříd A-G od velmi úsporných (A) až po mimořádně nevhodných (G).

Tab. 4: Klasifikace prostupu tepla obálkou budovy [ČSN 73 0540-2, 2011].

Klasifikační třídy	Slovní vyjádření klasifikační třídy	Klasifikační ukazatel CI
A	Velmi úsporná	$\leq 0,5$
B	Úsporná	$\leq 0,75$
C	Vyhovující	$\leq 1,0$
D	Nevyhovující	$\leq 1,5$
E	Nehospodárná	$\leq 2,0$
F	Velmi nevhodná	$\leq 2,5$
G	Mimořádně nevhodná	$>2,5$

Aby daná budova splňovala požadavky ČSN 73 0540-2, musí mít klasifikační ukazatel $CI \leq 1,0$. Z toho vyplývá, že musí spadat do klasifikačních

tříd A-C, přičemž klasifikační třída A odpovídá pasivním domům a třída B nízkoenergetickým domům. Klasifikační třídu C lze rozdělit na třídu C1, kdy budova vyhovuje doporučené úrovni součinitele prostupu tepla, a třídu C2, kdy budova vyhovuje požadované úrovni součinitele prostupu tepla. Rozmezí tříd D až E odpovídá průměrnému stavu stavebního fondu ČR do roku 2006. EŠOB se skládá ze dvou částí, z protokolu a z grafického vyjádření štítku. První část obsahuje identifikační údaje, charakteristiku budovy, charakteristiku ochlazovaných konstrukcí, stanovení prostupu tepla a klasifikační třídy. Druhá část je graficky velmi podobná PENB a obsahuje informace o identifikačních údajích budovy, průměrném součiniteli prostupu tepla, objemovém faktoru tvaru, hodnotě hranic klasifikačních tříd, době platnosti průkazu, kdo průkaz zpracoval a o klasifikační třídě, které budova dosáhla, viz. obrázek 13.



Obr. 13.: Příklad energetického štítku obálky budovy [www.energo.cz].

Podle ustanovení § 4 zákona č. 22/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů nejsou české technické normy a jejich požadavky závazné a mají pouze doporučující charakter. Některé části norem jsou však zezávněny zákony a vyhláškami, čímž vzniká povinnost se jimi řídit. EŠOB se proto stal nutným dokladem v rámci stavebního řízení jako součást stavební

dokumentace pro nové budovy, stavební úpravy a změny dokončených staveb [Hudcová, 2009].

Obálka budovy

„Je soubor všech teplosměnných konstrukcí na systémové hranici celé budovy nebo zóny, které jsou vystaveny přilehlému prostředí, jež tvoří venkovní vzduch, přilehlá zemina, vnitřní vzduch v přilehlém nevytápěném prostoru, sousední nevytápěné budově nebo sousední zóně budovy vytápěné na nižší vnitřní návrhovou teplotu“ [ČSN 73 0540-2, 2011].

3.4.3.1 Šíření tepla konstrukcí a obálkou budovy

Norma definuje požadavky na šíření tepla konstrukcí pomocí několika zásadních výpočtových postupů. Níže jsou uvedeny hlavní z nich.

Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce

Konstrukce v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu menší než 60% musí v zimním období za normovaných podmínek dosahovat v každém místě takové vnitřní povrchové teploty, aby odpovídající teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} , bezrozměrný, splňoval podmínku:

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

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

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

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

Součinitel prostupu tepla

Jeden z nejdůležitějších faktorů celého šíření tepla konstrukcí budovy se hodnotí dvěma způsoby. Jednak pro jednotlivé části konstrukcí a jednak pro budovu jako celek pomocí průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} . Oba tyto požadavky však musí být splněny zároveň.

Konstrukce vytápěných budov musí mít v prostorech s danými návrhovými podmínkami součinitel prostupu tepla U [W/m²K] takový, aby splňoval podmínku:

$$U \leq U_N$$

kde U_N je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla [W/m² K].

Tab. 5: Výběr požadovaných a doporučených hodnot součinitele prostupu tepla U_N pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou v intervalu 18 °C až 22 °C včetně [ČSN 730540-2, 2011].

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/m ² K]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	Těžká: 0,38	0,25	0,18 - 0,12
	Lehká: 0,30	0,20	
Střecha šikmá	0,24	0,16	0,15 - 0,10
Podlaha a stěna přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 - 0,15
Okna a dveře	1,7	1,2	0,9 - 0,6

Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/m² K] budovy nebo hodnocené vytápěné zóny objektu musí splňovat následující podmínku:

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

kde $U_{em,N}$ je požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla, ve W/m² K [ČSN 73 0540-2, 2011].

Šíření vlhkosti konstrukcí

Neméně podstatnou částí ČSN 73 0540-2 je výpočet šíření vlhkosti uvnitř konstrukce, který lze rozdělit na dvě části. Výpočet zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce a výpočet roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce.

Zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce

„Pro stavební konstrukci, u které by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce M_c v kg/m²·a, mohla ohrozit její požadovanou funkci, nesmí dojít

ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce, tedy: $M_c = 0$ " [ČSN 73 0540-2, 2011].

Pokud nedojde k zamezení kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce, může dojít ke snížení předpokládané životnosti této konstrukce, snížení vnitřní povrchové teploty, a tím ke vzniku plísní, k objemovým změnám, zvýšení hmotnosti konstrukce mimo rámec statického výpočtu, k degradaci izolačního materiálu a nebo ke zvýšení hmotností vlhkosti materiálu na úroveň způsobující jeho degradaci.

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

Pro jednoplášťovou střechu, konstrukci se zabudovanými dřevěnými prvky, konstrukci s vnějším tepelně izolačním systémem nebo vnějším obkladem, popř. jinou obvodovou konstrukci s difúzně málo propustnými vnějšími povrchovými vrstvami, je nižší z hodnot:

$$M_{c,N} = 0,10 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{a}$$

nebo 3 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází k plošné kondenzaci vodní páry, je-li jeho objemová hmotnost vyšší než 100 kg/m^3 , pro materiál s objemovou hmotností $\rho \leq 100 \text{ kg/m}^3$ se použije 6% plošné hmotnosti.

Pro ostatní stavební konstrukce je nižší z hodnot $M_{c,N} = 0,50 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{a}$ nebo 5 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází k plošné kondenzaci vodní páry, je-li jeho objemová hmotnost vyšší než 100 kg/m^3 , pro materiál s objemovou hmotností $\rho \leq 100 \text{ kg/m}^3$ se použije 10 % plošné hmotnosti" [ČSN 73 0540-2, 2011].

Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce

„Ve stavební konstrukci s připuštěnou omezenou kondenzací vodní páry uvnitř konstrukce nesmí v roční bilanci kondenzace a vypařování vodní páry zbýt žádné zkondenzované množství vodní páry, které by trvale zvyšovalo

vlhkost konstrukce. Roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce M_c , v $\text{kg/m}^2 \cdot \text{a}$ a tedy musí být nižší než roční množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce M_{ev} , v $\text{kg/m}^2 \cdot \text{a}$ " [ČSN 73 0540-2, 2011].

3.4.4 Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů

Stanovuje požadavky na rozsah energetického auditu a energetického posudku, obsah energetického auditu a způsob jeho zpracování a obsah energetického posudku a způsob jeho zpracování.

Nedílnou součástí legislativních dokumentů spjatých s tepelně technickými vlastnostmi dřevostaveb jsou i veškeré předpisy, které se týkají stavebnictví v obecném rozsahu. Zde jsou uvedeny některé z nich:

- Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
- Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů
- Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)
- Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby

4 Hodnocení tepelně technických vlastností dřevostaveb

Od této kapitoly začíná vlastní část práce, ve které jsou vybrané dřevěné stavební konstrukce podrobeny uvedené stavební diagnostice.

Pro účely této stavební diagnostiky byly vytipovány celkem dvě lokality v rámci České republiky se dvěma různými rodinnými dřevostavbami. Přičemž se jedná o jeden prefabrikovaný dům postavený v nízkoenergetickém standardu se skeletovou konstrukcí a jeden dům se srubovou konstrukcí. Pro verifikované porovnání byly vybrány tak, aby se nacházely ve stejné klimatické oblasti a to sice v klimatické oblasti II. Jejich poloha je znázorněna na obrázku 14.



Obr. 14.: Hranice teplotních oblastí v zimním a letním období v rámci ČR
[Vaverka a kol.,1995].

4.1 Výpočty tepelně technických parametrů teplosměnné obálky budovy

4.1.1 Okrajové podmínky

Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období dle ČSN 73 0540-3

Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období θ_e ve °C, se stanoví v závislosti na teplotní oblasti a nadmořské výšce místa budovy ze vztahu:

$$\theta_e = \theta_{e,100} + \Delta\theta_e$$

kde $\theta_{e,100}$ je základní návrhová teplota venkovního vzduchu v příslušné teplotní oblasti určená pro nadmořskou výšku 100 m.n.m., ve °C;

$\Delta\theta_e$ výškový teplotní gradient v K pro danou teplotní oblast dle tabulky 6, který se pro místo budovy určí ze vztahu:

$$\Delta\theta_e = \Delta\theta_{e,0} \cdot (\Delta h/100)$$

kde $\Delta\theta_{e,0}$ je základní teplotní gradient pro danou teplotní oblast dle tabulky 6

$\Delta h = h - 100$ rozdíl nadmořské výšky místa budovy h , v m.n.m., a základní nadmořské výšky 100 m.n.m.

Tab. 6: Teplotní oblasti ČR v zimním období, jejich průměrná nadmořská výška, základní návrhová teplota venkovního vzduchu a teplotní gradient [ČSN 73 0540-3, 2005].

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

Výpočet θ_e pro prefabrikovanou konstrukci:

Nadmořská výška zvolena dle tab. 8, teplotní oblast dle obr. 14.

$$\theta_e = -14 + ((360 - 100)/100) \cdot (-0,3) = -14,78 \text{ °C} = -15 \text{ °C}$$

Výpočet θ_e pro srubovou konstrukci:

Nadmořská výška zvolena dle tab. 11, teplotní oblast dle obr. 14.

$$\theta_e = -14 + ((620 - 100)/100) \cdot (-0,3) = -15,56 \text{ °C} = -16 \text{ °C}$$

Návrhová teplota venkovního vzduchu se dle ČSN 73 0540-3 zaokrouhluje na celé °C směrem k nižší hodnotě. I když obě konstrukce leží v klimatické oblasti II, jejich návrhové teploty venkovního vzduchu se liší. Je to dáno jejich rozdílnou výškovou polohou. Návrhovou teplotu venkovního vzduchu je možné zjistit i podle polohy obce vzhledem k některému z měst ČR uvedeném v tabulce H.2 přílohy H ČSN 73 0540-3. Pro účely této práce byl zvolen přesnější postup pomocí výpočtu uvedeného výše.

Pro následující výpočty tepelně technických požadavků jednotlivých konstrukcí posuzovaných dřevostaveb byly zvoleny okrajové podmínky dle výše uvedených výpočtů, ČSN 73 0540-3 a ČSN 73 0540-4 uvedené v tabulce 7.

Tab. 7: Návrhové okrajové podmínky pro výpočet tepelně technických požadavků v zimním období dle ČSN 73 0540-3, 2005 a ČSN 73 0540-2, 2011.

Podmínka	Hodnota
Návrhová teplota vnitřního vzduchu θ_{ai}	21 °C
Návrhová teplota vnějšího vzduchu v zimním období θ_e - platí pro prefabrikovanou konstrukci	-15 °C
Návrhová teplota vnějšího vzduchu v zimním období θ_e - platí pro srubovou konstrukci	-16 °C
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu φ_i	50 %
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu φ_e	84 %
Kritická vnitřní povrchová vlhkost $\varphi_{si,cr}$	80 %
Bezpečnostní vlhkostní přírážka $\Delta\varphi_i$	5 %
Odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si}	0,13 m ² .K/W
Odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se}	0,04 m ² .K/W

4.1.2 Rodinný dům s prefabrikovanou konstrukcí

Popis stavby

Novostavba nízkoenergetického rodinného domu s jednou bytovou jednotkou se nachází v obci Olešná, která leží 4 km severozápadně od města Rakovník. Jedná se o dřevostavbu s difúzně otevřenými skladbami konstrukcí obálky budovy.

Z konstrukčního hlediska jde o dřevěný skelet. Nosné prvky obvodových stěn jsou navrženy z dřevěných nosníků KVH 40/160 mm osově vzdáleny po 620 mm. Stěny jsou vyztuženy deskou OSB/3 P+D tl. 15 mm. Nosné prvky vnitřních stěn jsou z dřevěných nosníků KVH 60/100 a 60/140 mm osově vzdáleny po 640 mm. Vnitřní stěny jsou vyztuženy sádrovláknitými deskami. Vodorovné konstrukce stropů jsou tvořeny dřevěnými trémovými stropy z konstrukčních prvků KVH o rozměrech 60/140 mm a 60/220 mm, osově od sebe rozmístěny po 620 mm. Základy objektu jsou řešeny pomocí základových pasů z prostého betonu.

Z architektonického hlediska je objekt rozdělen na těleso o dvou hmotách. Dominantní hmota rodinného domu je tvarově řešena jako horizontálně postavený kvádr se sedlovou střechou, která má sklon 25°. Objekt s bytovou jednotkou 4+kk není podsklepen. Dle přílohy č. 1 této práce se v 1. NP nachází prostor zádveří, vstupní hala, šatna, hlavní obytný prostor s kuchyňským koutem, technická místnost a oddělená toaleta. Ve 2. NP se nachází dva dětské pokoje, ložnice, koupelna a oddělená toaleta. Druhou hmotu domu tvoří zastřešené parkovací stání se skladovací místností a zádveřím.

Pro povrchovou úpravu fasády byl zvolený dřevěný modřínový obklad tl. 20 mm a cementovláknité desky Cembonit FDA tl. 8 mm.

Otvorové výplně domu jsou tvořeny celo dřevěnými okny s izolačním trojsklem. Součinitel prostupu tepla skla U_g a součinitel prostupu tepla rámu a celého okna U_w je podle výtahu z PD uvedeného v příloze 1 této práce $U_g = \max. 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ a $U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vstupní dveře jsou tepelně izolační s parametrem $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tepelná izolace domu tvořená minerálními vlákny bez použití formaldehydu je vložena mezi konstrukční prvky KVH. Tepelnou a akustickou izolaci podlah tvoří dřevovláknité desky a šedý EPS.

V objektu je nainstalován systém nuceného větrání s rekuperací tepla - rekuperační jednotka Paul Focus. Jako zdroj tepla slouží tepelné čerpadlo vzduch/voda o výkonu 6 kW a vytápění je zajištěno teplovodní otopnou soustavou.

Tab. 8: Základní informace o nízkoenergetickém RD.

Katastrální území	710202 Olešná (Okres Rakovník)
Parcelní číslo	401/4
Nadmořská výška	360 m.n.m.
Teplotní oblast	2
Zastavěná plocha	73,15 m ²
Obestavěný prostor	497,60 m ³
Podlažnost	2 NP
Počet bytových jednotek	1 ks
Rok výstavby	2014
Počet osob s trvalým bydlištěm	3 osoby



Obr. 15: Prefabrikovaná dřevostavba v obci Olešná, rok 2014 [Chytrý dům s.r.o.].

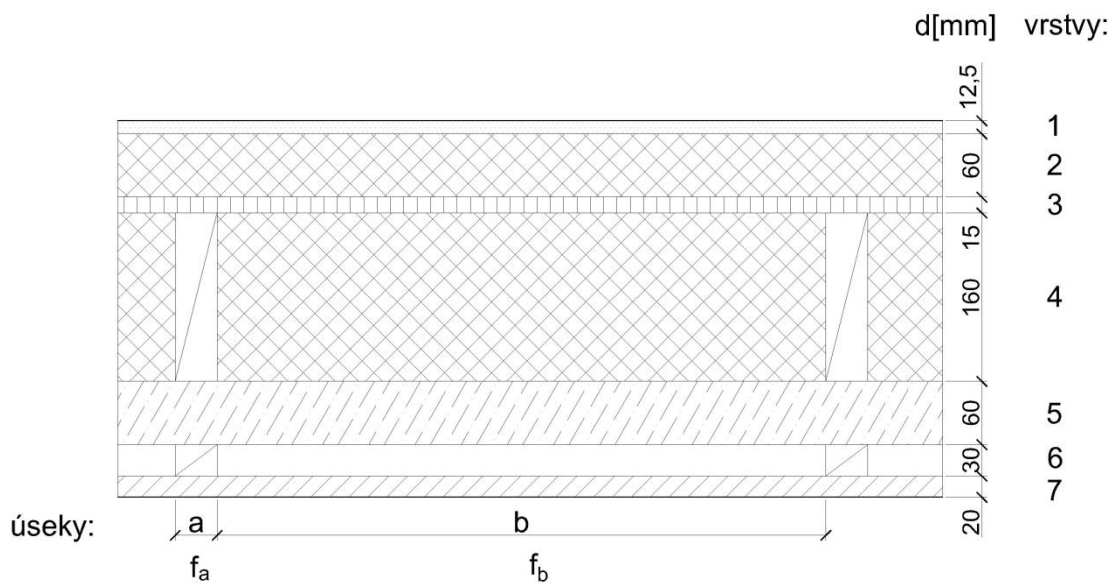
4.1.2.1 Výpočet součinitele prostupu tepla U

Metodika výpočtu součinitele prostupu tepla nehomogenní konstrukcí

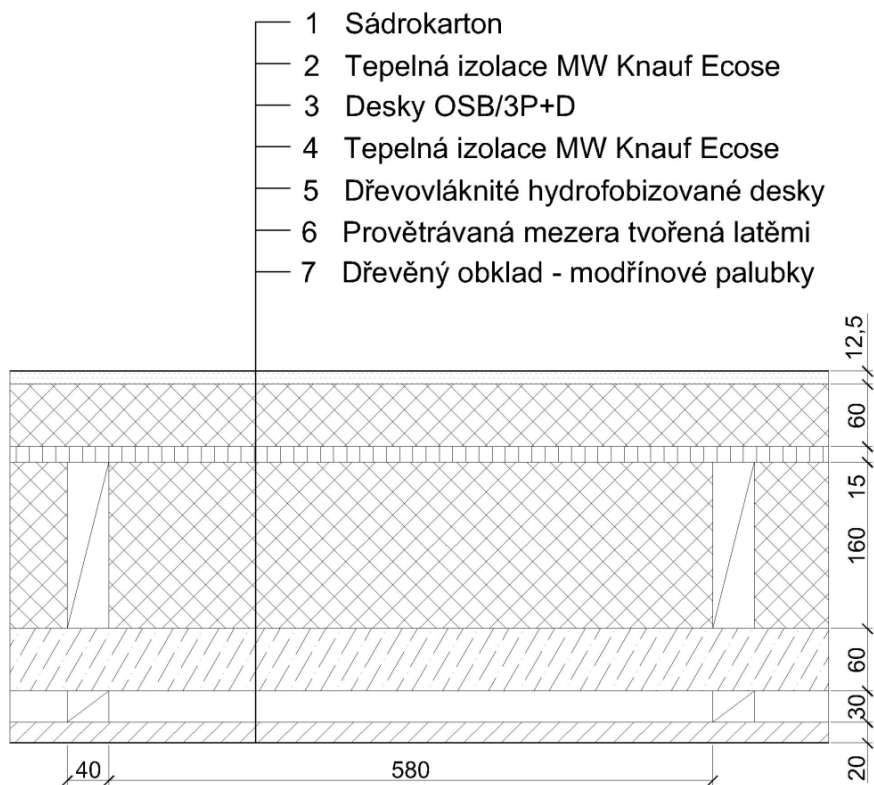
Ke zjištění hodnoty U součinitele prostupu tepla nehomogenní konstrukce obvodové stěny podle Chmúrného, 2003 je nejdříve potřeba určit výsledný tepelný odpor R_T dané konstrukce. Ten se zjišťuje pro charakteristickou oblast mezi osami symetrie. K jeho určení byl použit následující postup:

- Konstrukce se v charakteristické oblasti rozdělí na úseky a, b. Tyto úseky jsou rovnoběžné se směrem tepelného toku, viz. obrázek 16.
- Konstrukce se v charakteristické oblasti rozdělí na vrstvy 1,2,3,4,5,6 a 7, které jsou kolmé na směr tepelného toku. Vrstvy 4 a 6 jsou nehomogenní, ostatní vrstvy jsou homogenní, viz. obrázek 16.
- Vypočítá se horní hraniční hodnota odporu R_T' při přechodu tepla pomocí tepelných odporů úseků rovnoběžných se směrem tepelného toku.
- Vypočítá se dolní hraniční hodnota odporu R_T'' při přechodu tepla pomocí tepelných odporů homogenních a nehomogenních vrstev kolmých se směrem tepelného toku a pomocí odporů na vnitřní a vnější straně konstrukce.
- Pomocí aritmetického průměru horní hraniční hodnoty odporu R_T' a dolní hraniční hodnoty odporu R_T'' se vypočte výsledný odpor při přechodu tepla nehomogenní částí konstrukce R_T .

Následně se vypočte požadovaná hodnota U součinitele prostupu tepla a to s přesností na dvě desetinná místa. V poslední části výpočtu je potřeba ověřit, zda-li vybraná početní metoda je pro tuto konstrukci vyhovující. K tomu slouží relativní chyba výpočtu e. Její hodnota by podle této metody neměla být větší než 10 %. Pokud není tato podmínka splněna, je potřeba pro výpočet použít jinou vhodnější metodu, např. podle Vladimíra Bahýla a Rastislava Igaze. Pokud je splněna, znamená to také, že se jedná o šíření tepla jednorozměrným teplotním polem a není potřeba počítat pomocí vzorců pro dvojrozměrné pole.



Obr. 16: Rozdělení charakteristické oblasti stěny konstrukce na vrstvy a úseky.



Obr. 17: Skladba konstrukce stěny.

Tab. 9: Součinitel tepelné vodivosti a tloušťky jednotlivých vrstev konstrukce.

Číslo vrstvy	Stavební materiál	Tl. [mm]	λ [W/m.K]
1	Sádkarton	12,5	0,22 ^{1*)}
2	Tepelná izolace - MW Knauf Ecosse TP	60	0,037 ^{2*)}
3	Desky OSB 3/P+D	15	0,11 ^{3*)}
4a	Nosníky KVH 40/160 á 620 mm	160	0,18 ^{1*)}
4b	Tepelná izolace - MW Knauf Ecosse TP	160	0,037 ^{2*)}
5	Dřevovláknité desky Hofatex SysTem	60	0,045 ^{4*)}
6a	Dřevěné latě	30	0,18 ^{1*)}
6b	Provětrávaná mezera	30	-
7	Dřevěný obklad - modřínové palubky	20	0,18 ^{1*)}
tl. obvodové stěny celkem		357,5	

Zdroje hodnot:

- 1) [ČSN 73 0540-3, 2005]
- 2) dle technických parametrů výrobce Knauf
- 3) dle technických parametrů výrobce Kronospan
- 4) dle technických parametrů výrobce Hobra-hofatex

Vlastní výpočet

$$f_a = \frac{\text{posuzovaná plocha úseku a}}{\text{celková plocha obou úseků}} = \frac{0,04}{0,62} = 0,06$$

$$f_b = \frac{\text{posuzovaná plocha úseku b}}{\text{celková plocha obou úseků}} = \frac{0,58}{0,62} = 0,94$$

$$R_{Ta} = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_{4a}}{\lambda_{4a}} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_{6a}}{\lambda_{6a}} + \frac{d_7}{\lambda_7} + R_{se}$$

$$R_{Ta} = 0,13 + \frac{0,0125}{0,22} + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,015}{0,11} + \frac{0,16}{0,18} + \frac{0,06}{0,045} + \frac{0,03}{0,18} + \frac{0,02}{0,18} + 0,04$$

$$= 4,485 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{Tb} = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_{4b}}{\lambda_{4b}} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_{6b}}{\lambda_{6b}} + \frac{d_7}{\lambda_7} + R_{se}$$

$$R_{Tb} = 0,13 + \frac{0,0125}{0,22} + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,015}{0,11} + \frac{0,16}{0,037} + \frac{0,06}{0,045} + \frac{0,03}{0,16} + \frac{0,02}{0,18} + 0,04$$

$$= 7,934 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$\frac{1}{R_{T'}} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} = \frac{0,06}{4,485} + \frac{0,94}{7,934} = 0,132 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$R_{T'} = \frac{1}{0,132} = 7,576 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Tepelné odpory vrstev kolmých na směr tepelného toku:

$$R_1 = \frac{0,0125}{0,22} = 0,057 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_2 = \frac{0,06}{0,037} = 1,622 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_3 = \frac{0,015}{0,11} = 0,136 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

R_4 - nehomogenní vrstva

$$\lambda_{nv,4} = \lambda_a \cdot f_a + \lambda_b \cdot f_b = 0,18 \cdot 0,06 + 0,037 \cdot 0,94 = 0,046 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$R_{nv,4} = \frac{0,16}{0,046} = 3,47 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_5 = \frac{0,06}{0,045} = 1,333 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

R_6 - nehomogenní vrstva

$$R_{6a} = \frac{0,03}{0,18} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{6b} = R_g = 0,09 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, \text{ dle Chmúrného, 2003 (tabulka 4.4 kapitola 4.5.1)}$$

$$R_6 = R_{6a} + R_{6b} = 0,16 + 0,09 = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_7 = \frac{0,02}{0,18} = 0,111 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{T''} = 0,13 + 0,057 + 1,622 + 0,136 + 3,47 + 1,333 + 0,25 + 0,111 + 0,04 \\ = 7,149 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Tepelný odpor při přechodu tepla nehomogenní konstrukcí

$$R_T = \frac{R_{T'} + R_{T''}}{2} = \frac{7,576 + 7,149}{2} = 7,363 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Součinitel prostupu tepla

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{7,363} = 0,14 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$R = 7,363 - 0,13 - 0,04 = 7,193 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Relativní chyba - e:

$$e = \frac{R_{T'} - R_{T''}}{2 \cdot R_T} \cdot 100 = \frac{7,576 - 7,149}{2 \cdot 7,363} \cdot 100 = 2,89 \rightarrow 3 \%$$

podmínka: $e < 10 \%$ $\rightarrow 3 \%$ $< 10 \%$ - podmínka je splněna, není tedy potřeba počítat pomocí vzorců pro dvojrozměrné teplotní pole a výsledek je možné pokládat za dostatečně přesný.

Hodnota součinitele tepelné vodivosti λ pro dřevo byla stanovena dle normy ČSN 73 0540-3. V odborných publikacích a článcích se lze setkat i s udávanou hodnotou $\lambda = 0,13 \text{ W/m} \cdot \text{K}$. Proto byl proveden výpočet hodnoty U i s $\lambda = 0,13 \text{ W/m} \cdot \text{K}$. Výsledná hodnota U se ovšem nikterak nezměnila, tudíž lze konstatovat, že tento konkrétní rozdíl hodnot součinitele λ , nemá na výpočet součinitele prostupu tepla obvodové konstrukce žádný vliv neboli hodnota U se i s $\lambda = 0,13 \text{ W/m} \cdot \text{K}$. rovná $U = 0,14 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

4.1.2.2 Výpočet nejnižší vnitřní povrchové teploty konstrukce

Pro hodnocení požadavků na vnitřní povrchovou teplotu a s tím spojeného hodnocení rizika kondenzace vodní páry a vniku plísní na vnitřním povrchu

stavební konstrukce používá norma ČSN 73 0540-2 teplotní faktor vnitřního povrchu. Požadavky na teplotní faktor jsou stanoveny odlišně pro neprůsvitné konstrukce a pro výplně otvorů. Pro neprůsvitné konstrukce je kritériem vyloučení vzniku plísní, pro otvorové výplně je kritériem vyloučení povrchové kondenzace vodní páry.

Vlastní výpočet

určení teplotního faktoru vnitřního povrchu

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_{ai} - \theta_e}$$

$\theta_{si} = 24$ °C dle naměřených hodnot v tabulce 14

$$f_{Rsi} = (24 - (-15))/(21 - (-15)) = 1,083$$

určení kritického teplotního faktoru vnitřního povrchu konstrukce

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

$$f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{237,3 + 2,1 \cdot \theta_{ai}}{\theta_{ai} - \theta_e} \cdot \frac{1}{1,1 - \frac{17,269}{\ln(\varphi_{i,r} \div \varphi_{si,cr})}}$$

$$\varphi_{i,r} = \varphi_i - 10 + \Delta\varphi_i = 50 - 10 + 5 = 45 \%$$

$$f_{Rsi,cr} = 1 - [(237,3 + 2,1 \cdot 21)/(21 + 15)] \cdot 1/(1,1 - (17,269/\ln(45/80))) = 0,748$$

Z toho vyplývá, že $f_{Rsi,N} = 0,748$

a platí: $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$; $1,083 > 0,748$.

Vyhodnocení výpočtu vnitřní povrchové teploty konstrukce:

Znamená to, že požadavek na splnění podmínky pro konstrukce v běžných prostorech s relativní vlhkostí vzduchu do maximálně 60 % dle ČSN 73 0540-2 je dle vypočtených hodnot splněn. Na základě shora uvedeného výpočtu je možno konstatovat, že je vyloučeno riziko vzniku plísní.

4.1.2.3 Výpočet zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce

Pro tento výpočet byl použit program Teplo 2014 od společnosti Svoboda software. Pro použití výpočetního programu sloužícího ke zjištění hodnot M_c - ročního množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce a M_{ev} - roční

množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce bylo přistoupeno především kvůli přesnosti výsledků a zjednodušení výpočetních procesů.

V dnešní době se čím dál více přistupuje k používání výpočetních programů v prostředí navrhování staveb. Ať se jedná o dřevostavby, betonové konstrukce, ocelové konstrukce a nebo o klasické cihlové stavby. Jde zejména o software sloužící k zjišťování energeticko-technických vlastností, k projekční činnosti a ke statickým výpočtům. Hlavními výhodami programů pro zjišťování tepelně-technických atributů konstrukcí, kterých je na trhu celá řada, jsou jejich rychlost a přesnost výpočtů, možnost měnit a upravovat hodnoty zadání kdykoliv v průběhu práce s programem a snadná orientace v jejich prostředí.

Vlastní výpočet

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

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	e
tepl.[C]:	19.6	19.3	10.4	9.6	-9.5	-14.3	-16.9	-17.8
p [Pa]:	1243	1151	1102	490	359	192	114	104
p,sat [Pa]:	2284	2239	1259	1197	271	151	138	127

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

Kondenzační zóna číslo	Hranice kondenzační zóny počátek kond. [m]	Konec kond. [m]	Kondenzující množství vodní páry [kg/m ² s]
1	0.2475	0.2596	7.411E-0008

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a}$: 0.030 kg/m²,rok

Množství vypařitelné vodní páry $M_{ev,a}$: 9.441 kg/m²,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -10.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Z toho plyne:

$$M_c \leq M_{c,N} ; 0,030 < 0,10$$

$$M_c \leq M_{ev} ; 0,030 < 9.44$$

Podmínka dle normy ČSN 73 0540-2 je splněna. Množství zkondenzované vodní páry je menší než přípustná hodnota dle normy, viz. kapitola 3.4.3.1 a zároveň množství zkondenzované vodní páry je menší než množství vypařitelné vodní páry, tudíž konstrukce není z hlediska kondenzace ohrožena.

Popis uvedených dat ve výpočtu zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce:

Pro stanovení difúze vodní páry byly použity návrhové okrajové podmínky dle tabulky 7.

rozhraní: rozumí se rozhraní jednotlivých vrstev dané skladby konstrukce (tzv. mezivrstvy) tak, jak jdou za sebou směrem od interiéru (i) až k exteriéru (e), viz. obr. 17.

tepl.: je průběh teploty vnitřního povrchu na jednotlivých rozhraních vzhledem k okrajovým podmínkám

p: je částečný tlak vodní páry v místě rozhraní vrstev v Pa

p,sat: je částečný tlak nasycené vodní páry v místě rozhraní vrstev v Pa

Kondenzace vodní páry v konstrukci nenastane, jestliže je pro každou vrstvu v konstrukci splněna talková podmínka: $p, \text{sat} > p$

Z výsledků je zřejmé, že v konstrukci za těchto podmínek dochází ke kondenzaci a to v oblasti kondenzace, která se v tomto případě nachází na hranici vrstev tepelné izolace a dřevovláknitých desek. Její počátek a konec je uveden výše. Aktuální míru kondenzace vodní páry v kondenzační zóně stanovuje výpočetní program Teplo 2014 ze vztahů (22) až (24) v EN ISO 13788 (73 0544). Difúze vodní páry při návrhových podmínkách je posuzována především proto, aby bylo možno zjistit, zda při běžných teplotách v zimním období dochází v hodnocené konstrukci ke kondenzaci vodní páry a jak intenzivní je tato kondenzace.

Na posouzení kondenzace vodní páry v návrhových okrajových podmínkách navazuje výpočet roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry podle ČSN 73 0540-4. Jedná se o bilanční výpočet pomocí vztahů z ČSN 730540-4, příloha D. Výpočet se provádí po jednotlivých měsících s uvažováním průměrných měsíčních teplot a vlhkostí v interiéru i v exteriéru. Výchozí měsíc výpočtu se stanoví v programu volbou - zvolen říjen. Následně se podle čl. 6.4.4 a 6.4.5 v EN ISO 13788 stanoví průběh teplot, částečných tlaků vodní páry a částečných tlaků nasycené vodní páry v konstrukci v daném měsíci a stanoví se případné kondenzační zóny s aktuální mírou kondenzace vodní páry podle čl. 6.4.6 v EN ISO 13788. Pokud vyjde vypočtená míra kondenzace záporná, jedná se o odpařování.

4.1.2.4 Výpočet součinitele prostupu tepla okenní výplně

Na žádost majitelů prefabrikované dřevostavby bylo provedeno měření součinitele prostupu tepla zasklení dřevěného okna s izolačním trojsklem. Okno se nachází v přízemí, v hlavním obytném prostoru s kuchyňským koutem. Naměřené hodnoty U_g jsou uvedeny v tabulce 10.

Tab. 10: Naměřené hodnoty součinitele prostupu tepla U_g zasklení dřevěného okna.

měření	datum	čas	U_g [W/m ² K]	θ_{si} [°C]	θ_i [°C]	φ_i [%]	θ_e [°C]	θ_{dp} [°C]
1	13.2.2015	21:09:32	0,66	22,4	24,5	82,3	-0,1	-2,4
2	13.2.2015	21:10:32	0,69	22,3	24,5	82,5	-0,1	-2,4
3	13.2.2015	21:11:32	0,72	22,3	24,6	82,5	-0,1	-2,4
4	13.2.2015	21:12:32	0,75	22,3	24,7	82,6	-0,1	-2,4
5	13.2.2015	21:13:32	0,86	22,1	24,9	82,5	-0,2	-2,5
6	13.2.2015	21:14:32	0,86	22,1	24,9	82,6	-0,2	-2,5
7	13.2.2015	21:15:32	0,86	22,1	24,9	82,6	-0,2	-2,5
8	13.2.2015	21:16:32	0,89	22,0	24,9	82,7	-0,2	-2,5
9	13.2.2015	21:17:32	0,92	22,0	25,0	82,4	-0,2	-2,5
10	13.2.2015	21:18:32	0,98	21,8	25,0	82,2	-0,2	-2,5
11	13.2.2015	21:19:32	0,98	21,8	25,0	82,3	-0,1	-2,4
12	13.2.2015	21:20:32	0,98	21,8	25,0	82,3	-0,2	-2,4
13	13.2.2015	21:21:32	1,03	21,7	25,1	82,4	-0,2	-2,4
14	13.2.2015	21:22:32	1,07	21,6	25,1	82,4	-0,1	-2,5
15	13.2.2015	21:23:32	1,04	21,6	25,0	82,4	-0,1	-2,5

16	13.2.2015	21:24:32	1,04	21,6	25,0	82,5	-0,1	-2,5
17	13.2.2015	21:25:32	1,04	21,6	25,0	82,5	-0,2	-2,5
18	13.2.2015	21:26:32	0,98	21,7	24,9	82,5	-0,2	-2,5
19	13.2.2015	21:27:32	0,98	21,7	24,9	82,7	-0,2	-2,5
20	13.2.2015	21:28:32	0,99	21,7	24,9	82,7	-0,1	-2,4
Průměr			0,92					

Zkratky použité v tabulce 10:

U - součinitel prostupu tepla

θ_{si} - povrchová teplota konstrukce

θ_i - teplota vzduchu v interiéru

φ_i - relativní vlhkost vzduchu v exteriéru

θ_e - teplota vzduchu v exteriéru

θ_{dp} - hodnota rosného bodu v exteriéru

Základní informace o měřené okenní výplni:

Jedná se o dřevěné okno vyrobené v profilu 88 s izolačním trojsklem a s plastovým distančním rámečkem. Rozměry okna jsou 1200 x 2400 mm. Součinitel prostupu tepla zasklení dle projektové dokumentace $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ a propustnost tepelného záření z exteriéru $g = \text{min. } 62 \%$.

Vlastní výpočet

$$U_w = \frac{U_f \cdot A_f + U_g \cdot A_g + \Psi_g \cdot I_g}{A_w}$$

kde

U_w je součinitel prostupu tepla celého okna ve $\text{W/m}^2\text{K}$

U_f je součinitel prostupu tepla rámu a křídla okna ve $\text{W/m}^2\text{K}$

U_g je součinitel prostupu tepla zasklení ve $\text{W/m}^2\text{K}$

A_f je plocha rámu a křídla získaná průmětem na rovinu rovnoběžnou s rovinou zasklení v m^2

A_g je plocha zasklení získaná průmětem na rovinu rovnoběžnou s rovinou zasklení v m^2

A_w je celková plocha okna v m^2

Ψ_g je lineární ztrátový součinitel ve W/m.K

I_g je obvod zasklení v křídle okna v m

a) Pro hodnotu součinitele tepelné vodivosti dřevěného rámu dle Chmúrného, 2003, $\lambda = 0,13 \text{ W/m.K}$:

$$U_f = \frac{1}{R_f}$$

$$R_f = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,088}{0,13} = 0,677 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_f = \frac{1}{0,677} = 1,47 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$U_g = 0,92 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, dle změřených hodnot v tabulce 10

$$A_g = (1200 - 2 \cdot 88) \cdot (2400 - 2 \cdot 88) = 2,28 \text{ m}^2$$

$$A_w = 1200 \cdot 2400 = 2,88 \text{ m}^2$$

$$A_f = 2,88 - 2,28 = 0,6 \text{ m}^2$$

$\Psi_g = 0,042 \text{ W/m.K}$ dle Řehánka, 2002

$$I_g = [(1200 - 2 \cdot 88) \cdot 2] + [(2400 - 2 \cdot 88) \cdot 2] = 6,5 \text{ m}^2$$

$$U_w = \frac{1,47 \cdot 0,6 + 0,92 \cdot 2,28 + 0,042 \cdot 6,5}{2,88} = 1,13 \text{ W/m}^2\text{K}$$

b) Pro hodnotu součinitele tepelné vodivosti dřevěného rámu dle ČSN 73 0540-3, 2005 $\lambda = 0,18 \text{ W/m.K}$:

$$R_f = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,088}{0,18} = 0,489 \text{ m}^2\text{.K/W}$$

$$U_f = \frac{1}{0,489} = 2,045 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_w = \frac{2,045 \cdot 0,6 + 0,92 \cdot 2,28 + 0,042 \cdot 6,5}{2,88} = 1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vyhodnocení výpočtu součinitele prostupu tepla okenní výplně:

Pro výpočet U_w byly použity dvě varianty hodnot součinitele tepelné vodivosti dřevěného rámu. Pro $\lambda = 0,13 \text{ W/m.K}$ vyšlo $U_w = 1,13 \text{ W/m}^2.\text{K}$ a pro $\lambda = 0,18 \text{ W/m.K}$ vyšlo $U_w = 1,25 \text{ W/m}^2.\text{K}$. V obou variantách se tedy hodnoty U_w pohybují nad hranicí $1,0 \text{ W/m}^2.\text{K}$. Podle projektové dokumentace tohoto RD by měla být deklarovaná hodnota $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2.\text{K}$ a $U_w = 0,8 \text{ W/m}^2.\text{K}$. Lze proto dojít k tvrzení, že naměřená hodnota U_g a následně vypočítané hodnoty U_w v porovnání s dnešními běžně používanými hodnotami U_g a U_w neodpovídají současnému standardu zasklení trojsklem, ale spíše se blíží standardu zasklení dvojsklem. Proto by bylo vhodné podrobit zasklení oken laboratorním měřením.

4.1.3 Rodinný dům se srubovou konstrukcí

Popis stavby

Srubová dřevostavba rodinného domu dokončená v roce 2007 s jednou bytovou jednotkou se nachází na okraji obce Podlesí, nedaleko od obce Neustupov. Stavba je citlivě umístěna na úpatí lesa bez okolní zástavby na svažitém pozemku orientovaném k jihovýchodu. Realizační část stavby byla provedena dodavatelským způsobem firmou DREVODOM RAJEC s.r.o.

Z konstrukčního hlediska se jedná o řemeslně vyráběnou moderní srubovou stavbu. Nosná konstrukce a obvodový plášť objektu jsou tvořeny systémem ručně loupáné smrkové kulatiny o průměru 250 - 300 mm. Kulatina byla zbavena kůry ručním způsobem, proto má i nyní přírodní vzhled. Při takovémto opracování nedošlo ke kompenzaci sbíhavosti kulatiny, a proto bylo nutné její vliv vyloučit technologií výstavby. Základy domu jsou tvořeny betonovými pasy šířky 0,5 m. Suterén je vyzděn z betonových tvárnic. Nosnou konstrukci sedlové střechy tvoří vaznicový krov. Vaznice jsou podpírány sloupky zabudovanými do konstrukce štítu a ve středu opřených do konstrukce stropu. Na krokve je přibito palubkové bednění a položena konstrukce s tepelnou izolací. Střešní krytina je z betonových tašek uložených na laťování. Příčky v 1.PP jsou vyzděny z tvárnic, v přízemí jsou vyzděny z pálených lícových cihel a v podkroví jsou dřevěné sendvičové příčky s palubkovým obkladem. Podlahy

v přízemí, podkroví a strop nad podkrovím jsou tepelně izolovány. Všechny vnější i vnitřní dveře jsou dřevěné s dřevěnými zárubněmi. Okna zasklená izolačními dvojskly jsou také dřevěná a s obložkami z obou stran. Schodiště do podkroví je vyrobené ze sruboviny a to včetně zábradlí. Všechny vnější i vnitřní povrchy smrkové kulatiny jsou vybroušeny, impregnovány a natřeny hnědou lazurou. Jako izolační materiál byla mezi ložné spáry jednotlivých kusů kulatiny použita minerální vlna nspecifikované charakteristiky. Dům je napojen na vlastní ČOV a vodu čerpá ze studny, umístěné na pozemku. Pro vytápění domu je používán výhradně kombinovaný kotel elektřina/dřevo s tím, že v 90 % se používá vytápění dřevem a elektrické vytápění je koncipováno pouze pro využití v jarním a podzimním přechodném období a nebo pro udržování pobytové (tzv. tepelné) pohody za delší nepřítomnosti majitelů.

Z architektonického hlediska objekt tvoří jedno těleso, tvarově řešené jako vertikálně orientovaný kvádr se sedlovou střechou. Dle přílohy č. 2 této práce je rodinný dům s bytovou jednotkou 5+kk podsklepen. V 1. NP se nachází prostor zádveří, komory, vstupní haly, hlavního obytného prostoru s kuchyňským koutem, koupelna s oddělenou toaletou a jeden samostatný pokoj. Ve 2. NP se nachází dva dětské pokoje, ložnice, komora a šatna. V 1. PP se nachází sauna, sklep a komora, viz. příloha č. 2 této práce.

Tab. 11: Základní informace o srubovém RD.

Katastrální území	704245 Neustupov (Okres Benešov)
Parcelní číslo	82/3
Nadmořská výška	620 m.n.m.
Teplotní oblast	2
Zastavěná plocha	88,15 m ²
Obestavěný prostor	611,21 m ³
Podlažnost	2 NP + 1PP
Počet bytových jednotek	1 ks
Rok výstavby	2007
Počet osob s trvalým bydlištěm	4 osoby



Obr. 18: Srubový dům z kulatiny v obci Podlesí u Miličína, únor 2015.

4.1.3.1 Výpočet součinitele prostupu tepla U

Metodika výpočtu součinitele prostupu tepla homogenní obvodové svíslé konstrukce

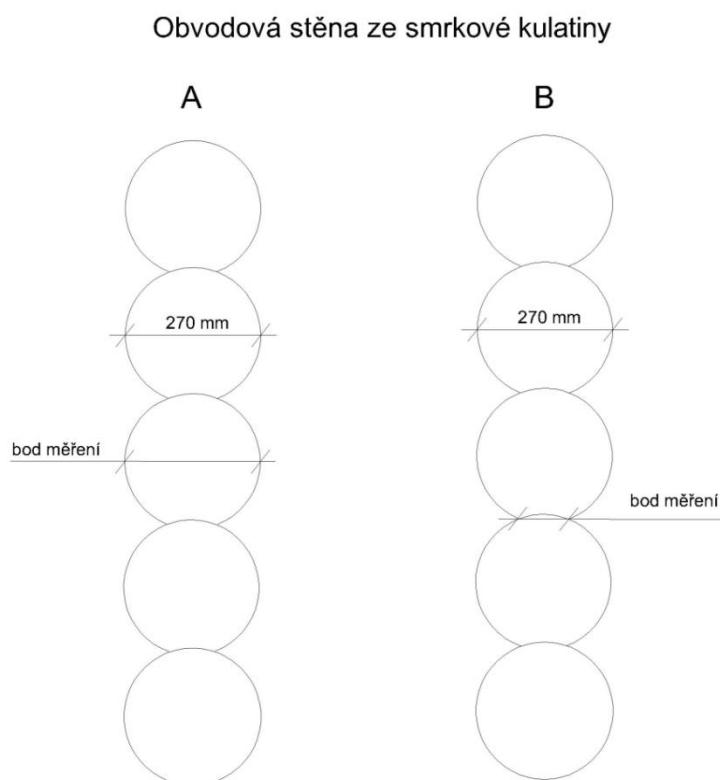
Ke zjištění hodnoty U součinitele prostupu tepla konstrukce obvodové stěny byl použit způsob výpočtu pro homogenní materiály dle Chmúrného, 2003. Nejdříve je potřeba určit tepelný odpor konstrukce při přestupu tepla R_0 . Z jeho převrácené hodnoty se následně vypočte součinitel přestupu tepla U ve $W/m^2 \cdot K$. Podle tabulky 12 lze výpočet rozdělit na dvě části - 1/A, 1/B. Část a obsahuje parametry pro výpočet součinitele prostupu tepla v nejširším místě kulatiny, část b obsahuje parametry pro výpočet hodnoty U v ložné spáře mezi dvěma kulatinami. Body měření na kulatině jsou zobrazeny na obrázku 19 níže. K výpočtu součinitele prostupu tepla byl použit následující postup:

Tab. 12: Součinitelé tepelné vodivosti srubové svislé konstrukce.

Číslo vrstvy/varianta	Stavební materiál	Tl. [mm]	λ [W/m.K]
1/A	Dřevo měkké, tepelný tok rovnoběžně s vlákny	270	0,41 ^{1*)}
1/B	Dřevo měkké s minerální vlnou, tepelný tok rovnoběžně s vlákny	70	0,45 ^{2*)}

Zdroje hodnot:

- 1) [ČSN 73 0540-3, 2005]
- 2) hodnota vypočtená pomocí programu TEPL0, 2014



Obr. 19: Schematické znázornění dvou bodů vybraných pro měření součinitele prostupu tepla na srubové konstrukci. Varianta A zobrazuje měření v nejširším bodě kulatiny, varianta B měření v ložné spáře.

Vlastní výpočet

Varianta A dle tabulky 12:

$$R_o = R_{si} + R + R_{se}$$

$$R = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,27}{0,41} = 0,66 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_o = 0,13 + 0,66 + 0,04 = 0,83 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Součinitel prostupu tepla

$$U = \frac{1}{0,83} = 1,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Varianta B dle tabulky 12:

$$R_o = R_{si} + R + R_{se}$$

$$R = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,070}{0,45} = 0,156 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_o = 0,13 + 0,156 + 0,04 = 0,325 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Součinitel prostupu tepla

$$U = \frac{1}{0,325} = 3,08 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Metodika výpočtu součinitele prostupu tepla nehomogenní vodorovné konstrukce

Je shodná s kapitolou 4.1.2.1 s tím rozdílem, že v tomto případě je vrstva č. 3 nehomogenní a ostatní vrstvy jsou homogenní.

Tab. 13: Součinitelé tepelné vodivosti srubové vodorovné konstrukce.

Číslo vrstvy	Stavební materiál	Tl. [mm]	λ [W/m.K]
1	Podlaha - hoblovaná prkna	25	0,18 ^{1*)}
2	Fólie Mirelon	10	0,038 ^{2*)}
3a	Tepelná izolace - ISOVER Orsil	160	0,035 ^{3*)}
3b	Hranolový rošt 100/160 á 500 mm	160	0,18 ^{1*)}

4	Keramobetonový strop Porotherm	250	0,86 ^{4*)}
5	Vápenco-cementová omítka	15	0,99 ^{1*)}
tl. vodorovné konstrukce podlahy celkem		460	

Zdroje hodnot:

- 1) [ČSN 73 0540-3, 2005]
- 2) dle technických parametrů výrobce Mirelon
- 3) dle technických parametrů výrobce ISOVER
- 4) dle technických parametrů výrobce Porotherm

Vlastní výpočet

$$f_a = \frac{\text{posuzovaná plocha úseku a}}{\text{celková plocha obou úseků}} = \frac{0,1}{0,5} = 0,2$$

$$f_b = \frac{\text{posuzovaná plocha úseku b}}{\text{celková plocha obou úseků}} = \frac{0,40}{0,5} = 0,8$$

$$R_{Ta} = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_{3a}}{\lambda_{3a}} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + R_{se}$$

$$R_{Ta} = 0,13 + \frac{0,025}{0,18} + \frac{0,01}{0,038} + \frac{0,16}{0,035} + \frac{0,25}{0,86} + \frac{0,015}{0,99} + 0,04 = 5,45 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{Tb} = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_{3b}}{\lambda_{3b}} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + R_{se}$$

$$R_{Tb} = 0,13 + \frac{0,025}{0,18} + \frac{0,01}{0,038} + \frac{0,16}{0,18} + \frac{0,25}{0,86} + \frac{0,015}{0,99} + 0,04 = 1,76 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$\frac{1}{R_{T'}} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} = \frac{0,2}{5,45} + \frac{0,8}{1,76} = 0,49 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$R_{T'} = \frac{1}{0,49} = 2,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Tepelné odpory vrstev kolmých na směr tepelného toku:

$$R_1 = \frac{0,025}{0,18} = 0,138 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_2 = \frac{0,01}{0,038} = 0,263 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$R_3 =$ nehomogenní vrstva

$$\lambda_{nv,3} = \lambda_a \cdot f_a + \lambda_b \cdot f_b = 0,035 \cdot 0,2 + 0,18 \cdot 0,8 = 0,151 \text{ W/m.K}$$

$$R_{nv,3} = \frac{0,16}{0,151} = 1,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_4 = \frac{0,25}{0,86} = 0,291 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_5 = \frac{0,015}{0,99} = 0,015 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{T''} = 0,13 + 0,138 + 0,263 + 1,06 + 0,291 + 0,015 + 0,04 = 1,94 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Tepelný odpor při přechodu tepla nehomogenní konstrukcí

$$R_T = \frac{R_{T'} + R_{T''}}{2} = \frac{2,04 + 1,94}{2} = 1,99 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Součinitel prostupu tepla

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{1,99} = 0,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$R = 1,99 - 0,13 - 0,04 = 1,82 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Relativní chyba - e:

$$e = \frac{R_{T'} - R_{T''}}{2 \cdot R_T} \cdot 100 = \frac{2,04 - 1,94}{2 \cdot 1,99} \cdot 100 = 2,5 \rightarrow 3 \%$$

podmínka: $e < 10 \%$ $\rightarrow 3 \%$ $< 10 \%$ - podmínka je splněna, není tedy potřeba počítat pomocí vzorců pro dvojrozměrné teplotní pole a výsledek je možné pokládat za dostatečně přesný.

4.1.3.2 Výpočet nejnižší vnitřní povrchové teploty konstrukce

určení teplotního faktoru vnitřního povrchu obvodové svislé konstrukce

Pro $U = 1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$$f_{\text{Rsi}} = \frac{\theta_{\text{si}} - \theta_{\text{e}}}{\theta_{\text{ai}} - \theta_{\text{e}}}$$

$\theta_{\text{si}} = 20,8 \text{ }^\circ\text{C}$ dle naměřených hodnot v tabulce 15

$$f_{\text{Rsi}} = (20,8 - (-16))/(21 - (-16)) = 0,99$$

Pro $U = 3,08 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$\theta_{\text{si}} = 11 \text{ }^\circ\text{C}$ dle naměřených hodnot v tabulce 16

$$f_{\text{Rsi}} = (11 - (-16))/(21 - (-16)) = 0,729$$

určení kritického teplotního faktoru vnitřního povrchu konstrukce

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

$$f_{\text{Rsi,cr}} = 1 - \frac{237,3 + 2,1 \cdot \theta_{\text{ai}}}{\theta_{\text{ai}} - \theta_{\text{e}}} \cdot \frac{1}{1,1 - \frac{17,269}{\ln(\varphi_{i,r} \div \varphi_{\text{si,cr}})}}$$

$$\varphi_{i,r} = \varphi_i - 10 + \Delta\varphi_i = 50 - 10 + 5 = 45 \%$$

$$f_{\text{Rsi,cr}} = 1 - [(237,3 + 2,1 \cdot 21)/(21 + 16)] \cdot 1/(1,1 - (17,269/\ln(45/80))) = 0,755$$

Z toho vyplývá, že $f_{\text{Rsi,N}} = 0,755$

a platí pro: pro variantu a - $f_{\text{Rsi}} \geq f_{\text{Rsi,N}}$; $0,99 \geq 0,755$

pro variantu b - $f_{\text{Rsi}} < f_{\text{Rsi,N}}$; $0,729 < 0,755$

Vyhodnocení výpočtu vnitřní povrchové teploty konstrukce:

Znamená to, že požadavek na splnění podmínky pro konstrukce v běžných prostorech s relativní vlhkostí vzduchu do maximálně 60 % dle ČSN 73 0540-2 byl dle vypočtených hodnot splněn pouze v jedné z posuzovaných variant. Pro variantu a platí, že konstrukce není ohrožena rizikem vzniku plísní. Naopak pro variantu b nelze vznik plísní na povrchu konstrukce v interiéru vyloučit.

4.1.3.3 Výpočet zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce

Pro tento výpočet byl stejně jako v případě předešlé konstrukce použit program TEPLO 2014 od společnosti Svoboda software.

Varianta A:

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

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

<u>rozhraní:</u>	<u>i</u>	<u>e</u>
tepl.[C]:	10.7	-16.4
p [Pa]:	1243	104
p,sat [Pa]:	1288	145

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

Kondenzační zóna číslo	Hranice kondenzační zóny počátek kond. [m]	konec kond.	Kondenzující množství vodní páry [kg/m ² s]
1	0.0454	0.0709	1.827E-0007

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a}$: 0.097 kg/m²,rok

Množství vypařitelné vodní páry $M_{ev,a}$: 8.334 kg/m²,rok

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

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Z toho plyne:

$$M_c \leq M_{c,N} ; 0,097 < 0,10$$

$$M_c \leq M_{ev} ; 0,097 < 8.334$$

Podmínka dle normy ČSN 73 0540-2 je splněna. Množství zkondenzované vodní páry je menší než přípustná hodnota dle normy, viz. kapitola 3.4.3.1 a zároveň množství zkondenzované vodní páry je menší než množství

vypařitelné vodní páry, tudíž konstrukce není z hlediska kondenzace ohrožena. Popis vypočtených dat je shodný s popisem uvedeným v kapitole 4.1.2.3.

Varianta B:

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

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

<u>rozhraní:</u>	<u>i</u>	<u>e</u>
tepl.[C]:	10.0	-16.2
p [Pa]:	1243	104
p,sat [Pa]:	1231	147

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

Kondenzační zóna číslo	Hranice kondenzační zóny počátek kond. [m]	konec kond.	Kondenzující množství vodní páry [kg/m ² s]
1	0.0000	0.0576	1.862E-0006

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a}$: 1.221 kg/m²,rok

Množství vypařitelné vodní páry $M_{ev,a}$: 8.265 kg/m²,rok

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

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Z toho plyne:

$$M_c > M_{c,N} ; 1,221 > 0,10$$

$$M_c \leq M_{ev} ; 1,221 < 8.265$$

Podmínka dle normy ČSN 73 0540-2 není splněna. Množství zkondenzované vodní páry je větší než přípustná hodnota dle normy, viz. kapitola 3.4.3.1. Znamená to, že kondenzovaná vodní pára může ohrozit základní funkci konstrukce. Zároveň však platí, že množství zkondenzované

vodní páry je menší než množství vypařitelné vodní páry, tudíž konstrukce není z hlediska kondenzace ohrožena navíc přírodní srubovina je schopna vzniklý kondenzát přijmout. Popis uvedených dat ve výpočtu zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce je shodný s popisem uvedeným v kapitole 4.1.2.3.

4.2 Měření klimatických parametrů v interiéru

Pro účely této práce byl využit přístroj pro kontaktní měření povrchových teplot Testo 635-2 a termokamera Testo 875-2i sloužící pro zjištění odpovídajících povrchových teplot a úniků tepla danými konstrukcemi. Pro lidské oko je teplo (infračervené záření) neviditelné a tak se k jeho zachycení používají přístroje. První z nich byly používány již v roce 1965 a od té doby prošly velkým vývojem. Termovize pracuje na principu zjišťování tepla vydaného sáláním. Termokamery používají metodu zjišťování teplotních polí na povrchu materiálů pomocí měření intenzity infračerveného záření. Jejich termovizní systém zaznamená tepelnou energii pomocí bezkontaktního měřicího systému a převede ji na elektrické signály pomocí citlivého infračerveného detektoru. Výstupem je dvourozměrný obraz tepelného pole se spektrem barev v podobě termogramu, nejčastěji v grafickém formátu JPEG [Šubrt, 2008].

Vzhledem ke stále se zvyšujícím nárokům na tepelnou izolaci staveb, je využití termografie ve stavebnictví velmi vhodným prostředkem ke zjišťování tepelně technických závad konstrukcí. Pomocí termokamery lze na objektu objevit místa s nízkým tepelným odporem, s netěsnostmi kolem otvorových výplní nebo s tepelnými mosty. Před použitím termokamery je potřeba správně nastavit některé důležité faktory - emisivitu prostředí materiálu použitého na fasádě a zdánlivou odraženou teplotu.

Emisivita - lze ji chápat jako efektivitu vyzařování. Je to poměr celkové vyzařované energie z určitého povrchu při dané teplotě k celkové vyzařované energii absolutně černého tělesa při stejné teplotě.

Zdánlivě odražená teplota - je okolní tepelné záření odražené od povrchu měřeného objektu dopadající na detektor termokamery. Termokamera tak není

schopna rozlišit, jestli se jedná o vlastní tepelné záření, nebo o odražené záření, musí se tedy zadat ručně [Chyby a omyly při měření, 2015].

K tomu, aby bylo možné uskutečnit měření pomocí přístroje Testo 635-2, je zapotřebí, aby teplotní gradient externí a interiérové teploty vzduchu byl alespoň 15 °C a daná konstrukce domu byla alespoň tři dny ochlazována teplotou pod bodem mrazu.

4.2.1 Měření povrchových teplot obvodových svislých konstrukcí a termovizní diagnostika

Přenosný přístroj Testo 635-2 se skládá z hlavního těla přístroje, ke kterému se připojí kontaktní tepelně - vlhkostní sonda pro měření hodnoty U, a bezdrátová tepelně - vlhkostní sonda pro měření venkovních parametrů. Senzory kontaktní sondy se pomocí termoplastické hmoty přichytí uvnitř objektu na konstrukci, která se bude měřit. Bezdrátová sonda se umístí vně objektu v dosahu radiového signálu, pomocí kterého se přenáší změřené hodnoty venkovního vzduchu do hlavního měřicího přístroje.

Ve vybraných dřevostavbách byly postupně v intervalu jedné minuty měřeny tyto veličiny: povrchová teplota konstrukce, teplota v interiéru, teplota v exteriéru, relativní vlhkost vzduchu v exteriéru a rosný bod v exteriéru. Z těchto veličin byla aktuálně vypočítávána hodnota součinitele prostupu tepla U. Poté byly výsledky měření přehrány do počítače a zpracovány pomocí programu Testo Comfort - Software X35. V tabulce 14 jsou uvedeny naměřené hodnoty na nosné obvodové zdi v rodinném domě s prefabrikovanou konstrukcí. V tabulce 15 jsou uvedeny hodnoty veličin měřených na nosné obvodové zdi srubové konstrukce. V tomto případě probíhalo měření v nejširším místě obvodové kulatiny, viz obrázek 19 varianta A. Hodnoty uvedené v tabulce 16 byly měřeny v ložné spáře kulatin obvodové zdi srubové konstrukce, viz. obrázek 19 varianta B.

Pomocí termokamery Testo 875-2i byly v obou dřevostavbách nasnímány prostory interiéru, které byly vytipovány jako místa s potenciálně problematickými hodnotami teploty, možným vznikem plísní a tepelnou

propustností. Jednalo se především o detaily kolem otvorových výplní, rohová spojení zdí a spojení štítu střechy s nosnou konstrukcí. Poté byly termosnímký uloženy do počítače, vyselektovány a zpracovány v programu Testo IIRSoft.



Obr. 20: Kontaktní sonda fixovaná na zeď pomocí termoplastické hmoty.

4.2.1.1 Naměřené hodnoty prefabrikované konstrukce

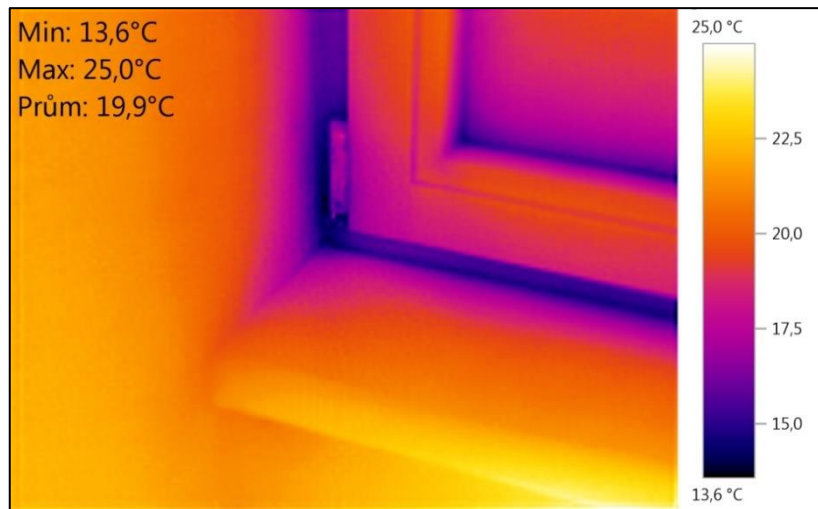
V prefabrikované dřevostavbě postavené v obci Olešná bylo kvůli podezření na nízkou hodnotu relativní vlhkosti v interiéru provedeno její měření. Výsledná hodnota φ_i je 38,5 %, teplota interiéru přitom byla 23,7 °C a hodnota rosného bodu v interiéru 8,6 °C.

Tab. 14: Naměřené hodnoty tepelně technických parametrů prefabrikované konstrukce.

Měření	Datum	Čas	U [W/m ² .K]	θ_{si} [°C]	θ_i [°C]	φ_i [%]	θ_e [°C]	θ_{dp} [°C]
1	13.2.2015	20:25:09	0,21	24,3	25,0	82,4	-0,1	-2,4
2	13.2.2015	20:26:09	0,24	24,3	25,1	81,9	-0,1	-2,4
3	13.2.2015	20:27:09	0,18	24,3	24,9	81,7	-0,1	-2,4
4	13.2.2015	20:28:09	0,18	24,3	24,9	82,0	-0,1	-2,5
5	13.2.2015	20:29:09	0,22	24,2	24,9	81,9	-0,1	-2,5

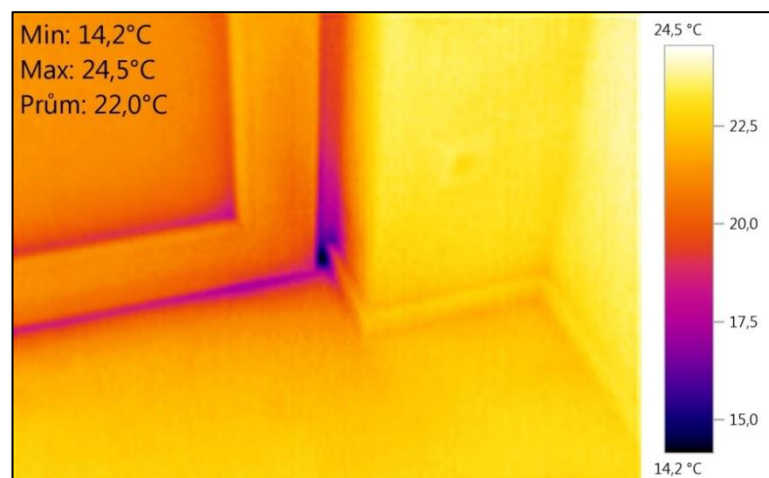
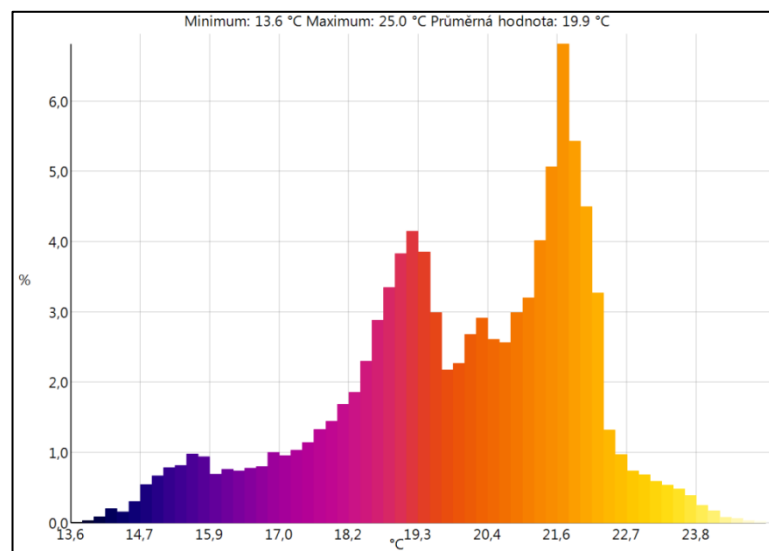
6	13.2.2015	20:30:09	0,19	24,2	24,8	81,8	-0,1	-2,5
7	13.2.2015	20:31:09	0,19	24,2	24,8	82,1	-0,1	-2,5
8	13.2.2015	20:32:09	0,19	24,2	24,8	82,3	-0,1	-2,5
9	13.2.2015	20:33:09	0,19	24,2	24,8	82,4	-0,1	-2,5
10	13.2.2015	20:34:09	0,19	24,2	24,8	82,2	-0,1	-2,5
11	13.2.2015	20:35:09	0,22	24,0	24,7	82,0	-0,1	-2,5
12	13.2.2015	20:36:09	0,22	24,0	24,7	81,9	-0,1	-2,5
13	13.2.2015	20:37:09	0,22	24,0	24,7	81,9	-0,1	-2,5
14	13.2.2015	20:38:09	0,22	24,0	24,7	81,9	-0,1	-2,5
15	13.2.2015	20:39:09	0,19	24,1	24,7	81,9	-0,1	-2,5
16	13.2.2015	20:40:09	0,16	24,1	24,6	82,1	-0,1	-2,5
17	13.2.2015	20:41:09	0,16	24,1	24,6	82,1	-0,1	-2,5
18	13.2.2015	20:42:09	0,19	24,0	24,6	82,1	-0,2	-2,6
19	13.2.2015	20:43:09	0,19	24,0	24,6	82,2	-0,2	-2,6
20	13.2.2015	20:44:09	0,19	24,0	24,6	82,2	-0,2	-2,6
21	13.2.2015	20:45:09	0,19	24,0	24,6	82,3	-0,2	-2,6
22	13.2.2015	20:46:09	0,19	23,9	24,5	82,3	-0,2	-2,6
23	13.2.2015	20:47:09	0,22	23,8	24,5	82,3	-0,2	-2,6
24	13.2.2015	20:48:09	0,22	23,8	24,5	82,3	-0,2	-2,6
25	13.2.2015	20:49:09	0,22	23,8	24,5	82,2	-0,2	-2,6
26	13.2.2015	20:50:09	0,22	23,8	24,5	82,2	-0,2	-2,6
27	13.2.2015	20:51:09	0,22	23,8	24,5	82,1	-0,2	-2,6
28	13.2.2015	20:52:09	0,19	23,9	24,5	82,1	-0,2	-2,6
29	13.2.2015	20:53:09	0,19	23,9	24,5	82,0	-0,2	-2,6
30	13.2.2015	20:54:09	0,19	23,9	24,5	81,9	-0,2	-2,6
31	13.2.2015	20:55:09	0,22	23,7	24,4	81,9	-0,2	-2,6
32	13.2.2015	20:56:09	0,19	23,8	24,4	81,9	-0,2	-2,6
33	13.2.2015	20:57:09	0,19	23,8	24,4	81,8	-0,2	-2,6
34	13.2.2015	20:58:09	0,19	23,8	24,4	81,8	-0,2	-2,6
35	13.2.2015	20:59:09	0,22	23,7	24,4	81,8	-0,2	-2,6
36	13.2.2015	21:00:09	0,22	23,7	24,4	81,8	-0,2	-2,6
37	13.2.2015	21:01:09	0,22	23,7	24,4	81,9	-0,2	-2,6
38	13.2.2015	21:02:09	0,22	23,7	24,4	81,9	-0,2	-2,7
39	13.2.2015	21:03:09	0,22	23,7	24,4	82,1	-0,2	-2,7
40	13.2.2015	21:04:09	0,22	23,7	24,4	82,1	-0,2	-2,7
Průměr			0,20	24,0				

4.2.1.2 Termogramy prefabrikované dřevostavby



Obr. 21: Detail rohu dřevěného okna s trojitým zasklením

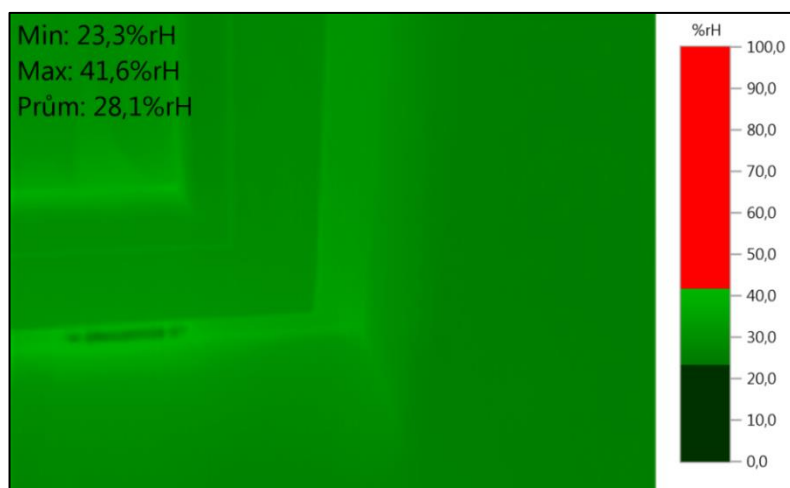
Graf 2: Histogram obrázku číslo 21.



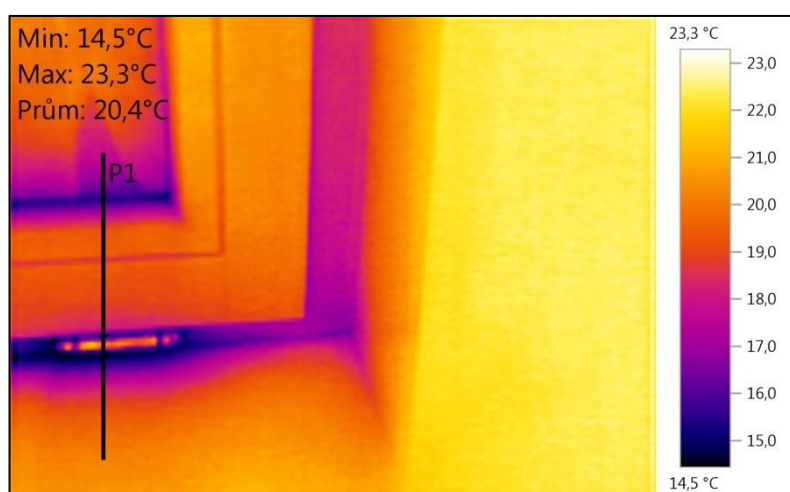
Obr. 22: Detail dveří do chodby.



Obr. 23: Pohled na dům z exteriéru.

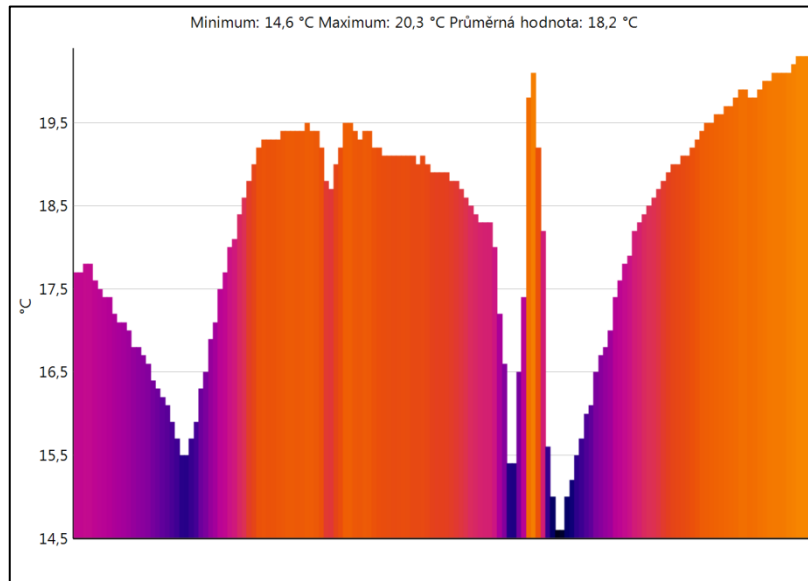


Obr. 24: Termogram vlhkosti v ostění dřevěného okna.



Obr. 25: Termogram teploty v ostění dřevěného okna s vyznačenou přímkou teplotního profilu.

Graf 3: Teplotní profil podél přímky termogramu na obr. 25.



Na rozdíl od kontaktního bodového měření, kde dochází ke zjištění teploty povrchu konstrukce pouze v jednom daném bodě, je na teplotních profilech zobrazených na grafech č. 3 a č. 4 možné pozorovat průběh teplot v každém bodě konstrukce dle zvolené přímky teplotního grafu. To je velice výhodné z hlediska porovnání povrchové teploty jednotlivých bodů na dané konstrukci.

4.2.1.3 Naměřené hodnoty srubové konstrukce

Tab. 15: Naměřené hodnoty tepelně technických parametrů srubové konstrukce.

Měření	Datum	Čas	U [W/m ² .K]	θ_{si} [°C]	θ_i [°C]	φ_i [%]	θ_e [°C]	θ_{dp} [°C]
1	14.2.2015	20:31:39	0,99	21,5	24,7	84,1	-0,1	-2,2
2	14.2.2015	20:32:39	0,97	21,4	24,5	84,1	-0,1	-2,2
3	14.2.2015	20:33:39	0,94	21,4	24,4	84,1	-0,1	-2,2
4	14.2.2015	20:34:39	0,95	21,3	24,3	84,0	-0,1	-2,2
5	14.2.2015	20:35:39	1,01	21,2	24,4	84,0	-0,1	-2,1
6	14.2.2015	20:36:39	1,01	21,2	24,4	83,9	-0,1	-2,1
7	14.2.2015	20:37:39	1,04	21,1	24,4	83,9	0,0	-2,1
8	14.2.2015	20:38:39	1,01	21,1	24,3	83,9	0,0	-2,1
9	14.2.2015	20:39:39	1,01	21,1	24,3	83,9	0,0	-2,1
10	14.2.2015	20:40:39	1,01	21,1	24,3	83,8	0,0	-2,2
11	14.2.2015	20:41:39	1,04	21,0	24,3	83,8	-0,1	-2,2
12	14.2.2015	20:42:39	1,04	21,0	24,3	83,7	-0,1	-2,2

13	14.2.2015	20:43:39	1,07	21,0	24,4	83,7	-0,1	-2,2
14	14.2.2015	20:44:39	1,06	21,0	24,4	83,9	-0,2	-2,2
15	14.2.2015	20:45:39	1,03	21,1	24,4	83,9	-0,2	-2,2
16	14.2.2015	20:46:39	1,03	21,1	24,4	83,9	-0,2	-2,2
17	14.2.2015	20:47:39	1,01	21,0	24,2	83,9	-0,2	-2,2
18	14.2.2015	20:48:39	1,07	20,8	24,2	83,9	-0,2	-2,1
19	14.2.2015	20:49:39	1,07	20,8	24,2	84,0	-0,2	-2,1
20	14.2.2015	20:50:39	1,07	20,8	24,2	84,0	-0,2	-2,1
21	14.2.2015	20:51:39	1,10	20,8	24,3	84,1	-0,2	-2,1
22	14.2.2015	20:52:39	1,13	20,8	24,4	84,1	-0,1	-2,1
23	14.2.2015	20:53:39	1,16	20,7	24,4	84,2	-0,1	-2,1
24	14.2.2015	20:54:39	1,14	20,7	24,3	83,9	-0,1	-2,1
25	14.2.2015	20:55:39	1,14	20,7	24,3	83,9	-0,1	-2,1
26	14.2.2015	20:56:39	1,14	20,7	24,3	83,9	-0,1	-2,1
27	14.2.2015	20:57:39	1,14	20,7	24,3	83,7	-0,1	-2,1
28	14.2.2015	20:58:39	1,14	20,7	24,3	83,7	-0,1	-2,1
29	14.2.2015	20:59:39	1,14	20,7	24,3	83,7	-0,1	-2,1
30	14.2.2015	21:00:39	1,08	20,8	24,2	83,7	-0,1	-2,1
31	14.2.2015	21:01:39	1,08	20,8	24,2	83,6	-0,1	-2,1
32	14.2.2015	21:02:39	1,08	20,8	24,2	83,6	-0,1	-2,3
33	14.2.2015	21:03:39	1,08	20,8	24,2	83,7	-0,1	-2,3
34	14.2.2015	21:04:39	1,05	20,9	24,2	83,7	-0,1	-2,3
35	14.2.2015	21:05:39	1,05	20,9	24,2	83,9	-0,1	-2,3
36	14.2.2015	21:06:39	1,04	20,9	24,2	83,9	-0,2	-2,3
37	14.2.2015	21:07:39	1,04	20,9	24,2	83,9	-0,2	-2,3
38	14.2.2015	21:08:39	1,04	20,9	24,2	83,9	-0,2	-2,3
39	14.2.2015	21:09:39	1,04	20,9	24,2	83,9	-0,2	-2,3
40	14.2.2015	21:10:39	1,04	20,9	24,2	84,0	-0,2	-2,3
Průměr			1,06	20,8				

Tab. 16: Naměřené hodnoty tepelně technických parametrů srubové kce. - ložná spára

Měření	Datum	Čas	U [W/m ² .K]	θ _{si} [°C]	θ _i [°C]	φ _i [%]	θ _e [°C]	θ _{dp} [°C]
1	14.2.2015	19:38:15	3,58	13,0	24,2	78,3	0,1	-2,7
2	14.2.2015	19:39:15	4,36	10,5	24,2	79,5	0,0	-2,5
3	14.2.2015	19:40:15	4,34	10,6	24,3	80,4	0,0	-2,5
4	14.2.2015	19:41:15	4,34	10,6	24,3	81,1	0,0	-2,5
5	14.2.2015	19:42:15	4,31	10,7	24,4	81,6	-0,1	-2,4
6	14.2.2015	19:43:15	4,29	10,7	24,3	82,1	-0,1	-2,4
7	14.2.2015	19:44:15	4,31	10,7	24,4	82,2	-0,1	-2,4
8	14.2.2015	19:45:15	4,31	10,7	24,4	82,2	-0,1	-2,4
9	14.2.2015	19:46:15	4,27	10,8	24,4	82,2	-0,1	-2,4
10	14.2.2015	19:47:15	4,27	10,8	24,4	82,3	-0,1	-2,4

11	14.2.2015	19:48:15	4,24	10,9	24,4	82,3	-0,1	-2,4
12	14.2.2015	19:49:15	4,21	10,9	24,3	82,5	-0,2	-2,4
13	14.2.2015	19:50:15	4,21	10,9	24,3	82,9	-0,2	-2,4
14	14.2.2015	19:51:15	4,21	10,9	24,3	82,9	-0,2	-2,4
15	14.2.2015	19:52:15	4,21	10,9	24,3	83,1	-0,2	-2,4
16	14.2.2015	19:53:15	4,21	10,9	24,3	83,1	-0,2	-2,4
17	14.2.2015	19:54:15	4,21	10,9	24,3	83,1	-0,2	-2,4
18	14.2.2015	19:55:15	4,18	11,0	24,3	83,3	-0,2	-2,3
19	14.2.2015	19:56:15	4,18	11,0	24,3	83,5	-0,2	-2,3
20	14.2.2015	19:57:15	4,18	11,0	24,3	83,6	-0,2	-2,3
21	14.2.2015	19:58:15	4,18	11,0	24,3	83,8	-0,2	-2,3
22	14.2.2015	19:59:15	4,19	11,0	24,4	84,0	-0,2	-2,3
23	14.2.2015	20:00:15	4,19	11,0	24,4	84,0	-0,2	-2,3
24	14.2.2015	20:01:15	4,19	11,0	24,4	84,0	-0,2	-2,3
25	14.2.2015	20:02:15	4,16	11,1	24,4	84,0	-0,2	-2,3
26	14.2.2015	20:03:15	4,16	11,1	24,4	84,0	-0,2	-2,3
27	14.2.2015	20:04:15	4,16	11,1	24,4	84,0	-0,2	-2,3
28	14.2.2015	20:05:15	4,16	11,1	24,4	84,0	-0,2	-2,3
29	14.2.2015	20:06:15	4,15	11,1	24,3	84,0	-0,2	-2,3
30	14.2.2015	20:07:15	4,15	11,1	24,3	84,0	-0,2	-2,3
31	14.2.2015	20:08:15	4,15	11,1	24,3	83,9	-0,2	-2,3
32	14.2.2015	20:09:15	4,12	11,2	24,3	83,9	-0,2	-2,3
33	14.2.2015	20:10:15	4,12	11,2	24,3	83,9	-0,2	-2,3
34	14.2.2015	20:11:15	4,17	11,0	24,2	83,9	-0,2	-2,3
35	14.2.2015	20:12:15	4,13	11,1	24,2	83,9	-0,2	-2,3
36	14.2.2015	20:13:15	4,13	11,1	24,2	83,9	-0,2	-2,3
37	14.2.2015	20:14:15	4,13	11,1	24,2	84,0	-0,2	-2,3
38	14.2.2015	20:15:15	4,13	11,1	24,2	84,0	-0,2	-2,3
39	14.2.2015	20:16:15	4,17	11,0	24,2	84,0	-0,2	-2,3
40	14.2.2015	20:17:15	4,18	11,0	24,3	84,0	-0,2	-2,3
Průměr			4,19	11,0				

Zkratky použité v tabulkách 10, 11 a 12:

U - součinitel prostupu tepla

θ_{si} - povrchová teplota konstrukce

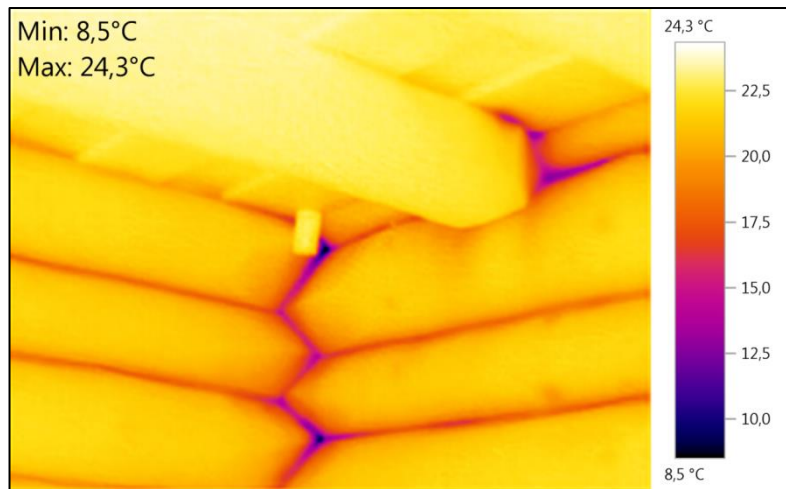
θ_i - teplota vzduchu v interiéru

φ_i - relativní vlhkost vzduchu v exteriéru

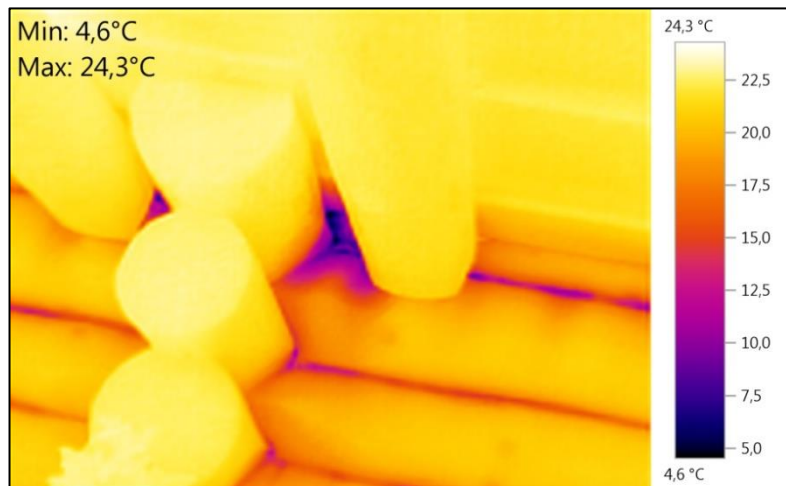
θ_e - teplota vzduchu v exteriéru

θ_{dp} - hodnota rosného bodu v exteriéru

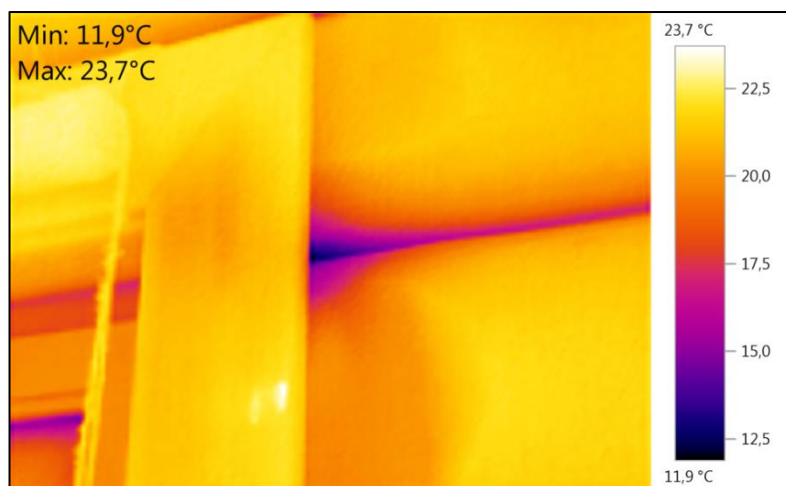
4.2.1.4 Termogramy srubové dřevostavby



Obr. 26: Termogram rohových spojů.



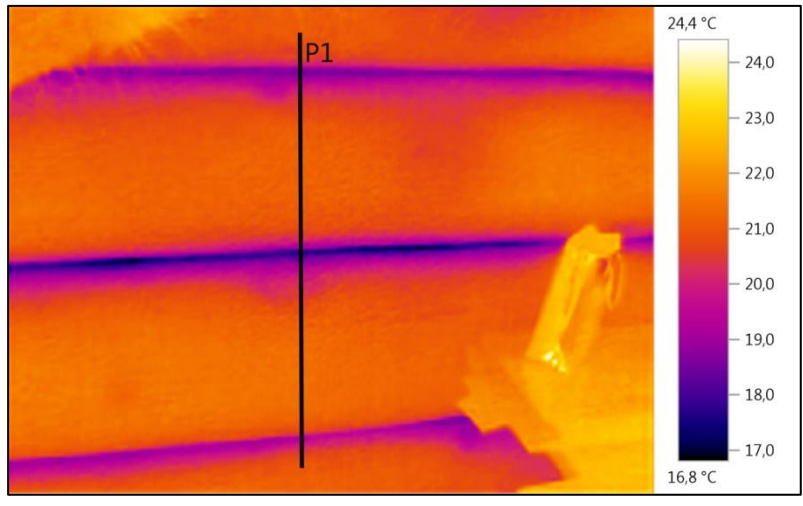
Obr. 27: Detail uložení stropní konstrukce.



Obr. 28: Nedotěsněné místo u obložky okna.

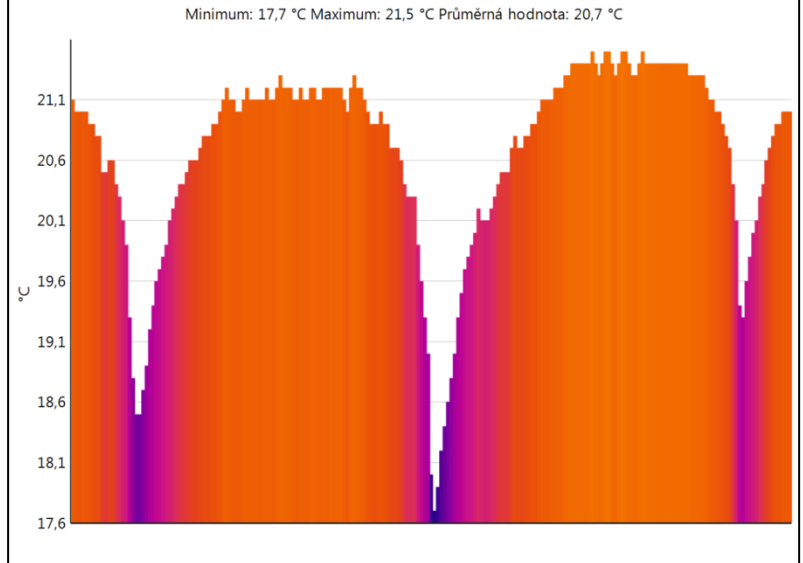


Obr. 29: Pohled na štít srubu z exteriéru.



Obr. 30: Ložná spára kulatiny s přímkou teplotního grafu.

Graf 4: Teplotní graf podél přímký termogramu na obr. 30.



5 Analýza naměřených údajů

5.1 Termografie

Z pořízených termosnímků si lze všimnout, že u dřevostavby se skeletovou konstrukcí je skladba její stěny dostatečně zaizolovaná a správně provedena. Největší nedostatek této konstrukce z hlediska tepelných ztrát je v ostění otvorových výplní. Ovšem hodnoty teplot, které termogramy v okolí oken a dveří vykazují, nejsou pod hranicí rosného bodu, a proto zde nedochází ke vzniku plísní.

U srubové konstrukce lze z termosnímků vyzorovat, že tloušťka kulatiny byla zvolena správně. Nepochází zde k tepelným ztrátám. Problémem však je ložná spára mezi jednotlivou kulatinou. V důsledku sesychání a sedání stavby, která jsou u tohoto typu konstrukcí zcela běžná, došlo k rozdílným velikostem spáry mezi jednotlivou kulatinou a vzniku mezer. Samotná minerální vlna není schopna zabránit únikům tepla a propouštění větru. Proto by bylo vhodné zaspárovat mezery tmelem vyvinutým speciálně pro srubové stavby dle vhodného technologického postupu tak, aby došlo ke zlepšení celkové tepelné bilance objektu.

5.2 Vypočítané tepelně technické parametry

V následujících tabulkách jsou uvedeny výsledné hodnoty tepelně technických parametrů pro jednotlivé typy konstrukcí. Jsou v nich uvedeny jak vypočtené hodnoty, tak naměřené hodnoty a ty jsou pak porovnány mezi sebou a zároveň s minimálními požadavky dle aktuálně platné normy. Výpočet těchto veličin a naměřené hodnoty jsou podrobně popsány v předcházejících kapitolách. Pod každou tabulkou se nachází celkové zhodnocení stavu konstrukce dle zjištěných hodnot.

Na závěr jsou uvedeny grafy, které porovnávají jednotlivé konstrukce z tepelně technického hlediska mezi sebou.

5.2.1 Prefabrikovaná konstrukce

Tab. 17: Výsledné hodnoty posuzovaných veličin a jejich porovnání s ČSN 73 0540-2.

Posuzovaná veličina	Vypočtená hodnota	Naměřená hodnota	Požadovaná hodnota	Hodnocení dle ČSN 730540-2
Součinitel prostupu tepla U [$W/m^2.K$]	0,14	0,20	0,30	VYHOVUJE
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} [-]	1,083	-	0,748	VYHOVUJE
Roční množství zkondenzované vodní páry M_c [$kg/m^2.a$]	0,03	-	0,1	VYHOVUJE
Roční množství vypařitelné vodní páry M_{ev} [$kg/m^2.a$]	9,441	-	$M_c < M_{ev}$	VYHOVUJE

Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla pro tuto konstrukci s převažující návrhovou vnitřní teplotou v intervalu 18 °C až 22 °C vyšla velmi nízká, dokonce je na takové úrovni, že splňuje doporučené hodnoty pro pasivní budovy. V porovnání s naměřenou hodnotou, která by se mezi pasivní domy již řadit nemohla, se ukazuje, že stavba splňuje požadavky pro nízkoenergetické budovy z hlediska požadovaného součinitele prostupu tepla. Stavební konstrukce této budovy má nejméně takový odpor, že její vnitřní povrchová teplota nezpůsobí kondenzaci vodní páry a zároveň u ní nedochází k vnitřní kondenzaci vodní páry respektive jen v množství, které neohrožuje její funkční způsobilost po dobu předpokládané životnosti. Naopak jediným nedostatkem konstrukce z hlediska klimatických činitelů je nízká relativní vlhkost v interiéru, která se dle měření uvedeného v kapitole 4.2.1.1 pohybuje v zimním období kolem 38,5 %, viz. termograf na obrázku č. 24. Tento nedostatek by bylo vhodné odstranit správným nastavením rekuperační jednotky. Závěrem lze konstatovat, že podmínky požadované normou ČSN 73 0540-2 uvedené

v kapitole 3.4.3.1 této práce jsou pro tuto konstrukci splněny ve všech pozorovaných parametrech.

5.2.2 Srubová konstrukce

Tab. 18: Výsledné hodnoty posuzovaných veličin a jejich porovnání s ČSN 73 0540-2.

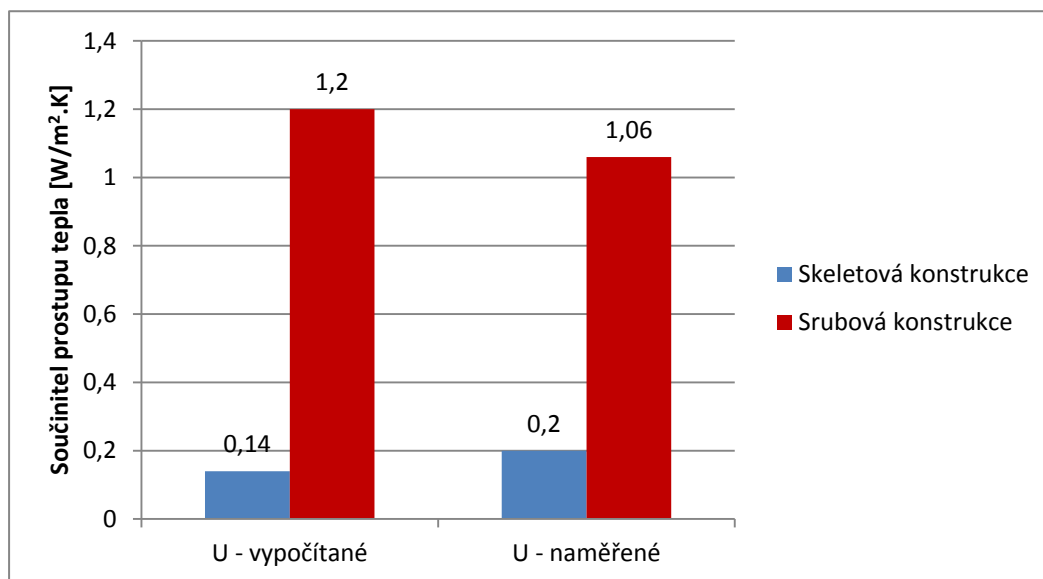
Posuzovaná veličina	Vypočtená hodnota	Naměřená hodnota	Požadovaná hodnota	Hodnocení dle ČSN 730540-2
Součinitel prostupu tepla U [$W/m^2.K$]	1,2	1,06	0,38	NEVYHOVUJE
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} [-]	0,99	-	0,755	VYHOVUJE
Roční množství zkondenzované vodní páry M_c [$kg/m^2.a$]	0,097	-	0,1	VYHOVUJE
Roční množství vypařitelné vodní páry M_{ev} [$kg/m^2.a$]	8,334	-	$M_c < M_{ev}$	VYHOVUJE

Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla pro tuto konstrukci s převažující návrhovou vnitřní teplotou v intervalu 18 °C až 22 °C vyšla velmi vysoká. Je na takové úrovni, že nespĺňuje doporučené hodnoty pro nízkoenergetické budovy. Je samozřejmě potřeba si uvědomit, že budova se stavěla v době, kdy platily jiné normativní dokumenty, které uváděly odlišné požadované hodnoty teplotních parametrů. V porovnání s naměřenou hodnotou se ukazuje, že stavba ani tak nespĺňuje požadavky pro nízkoenergetické budovy. Podmínka pro teplotní faktor vnitřního povrchu je splněna, proto lze vyloučit vznik plísni na povrchu konstrukce. Nedochozí zde ani k vnitřní kondenzaci vodní páry respektive jen v množství, které neohrožuje její funkční způsobilost po dobu předpokládané životnosti. Slabým článkem této konstrukce je již zmiňovaná nedostatečná tepelná izolace ložných spár jednotlivé obvodové kulatiny a mezer vytvořených v okolí obložení výplní otvorů. Závěrem lze

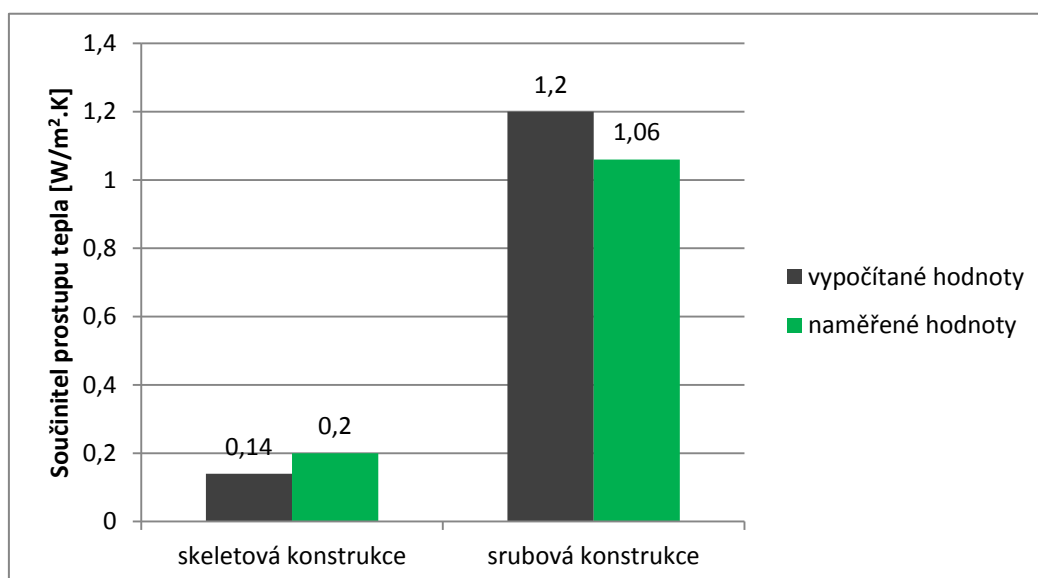
konstatovat, že podmínky požadované normou ČSN 73 0540-2 uvedené v kapitole 3.4.3.1 této práce nejsou pro tuto konstrukci splněny pouze v jednom posuzovaném parametru, hodnotě U.

5.2.3 Vzájemné porovnání sledovaných konstrukcí

Graf 5: Porovnání naměřené a vypočítané U hodnoty sledovaných konstrukcí.

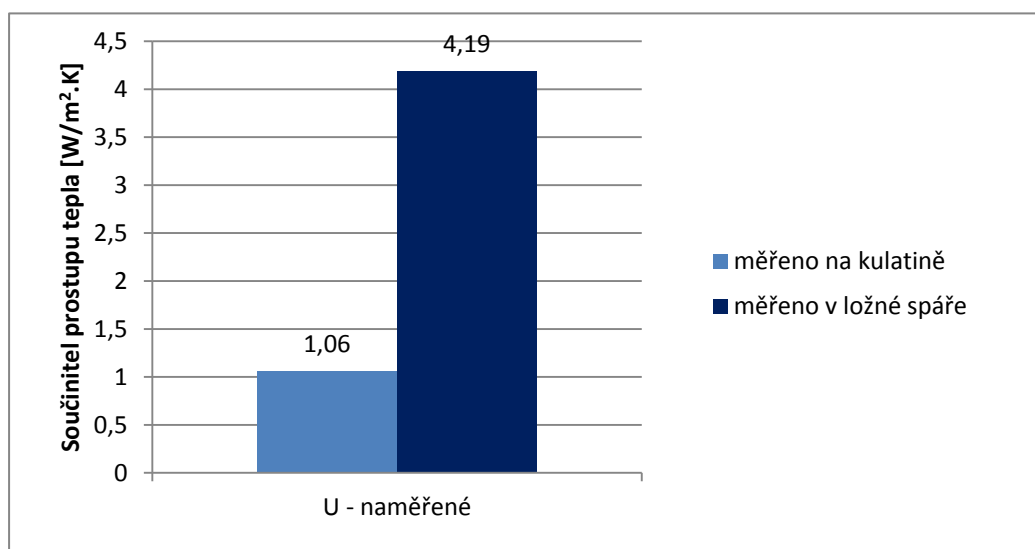


Graf 6: Porovnání sledovaných konstrukcí dle jejich vypočítaných a naměřených hodnot.

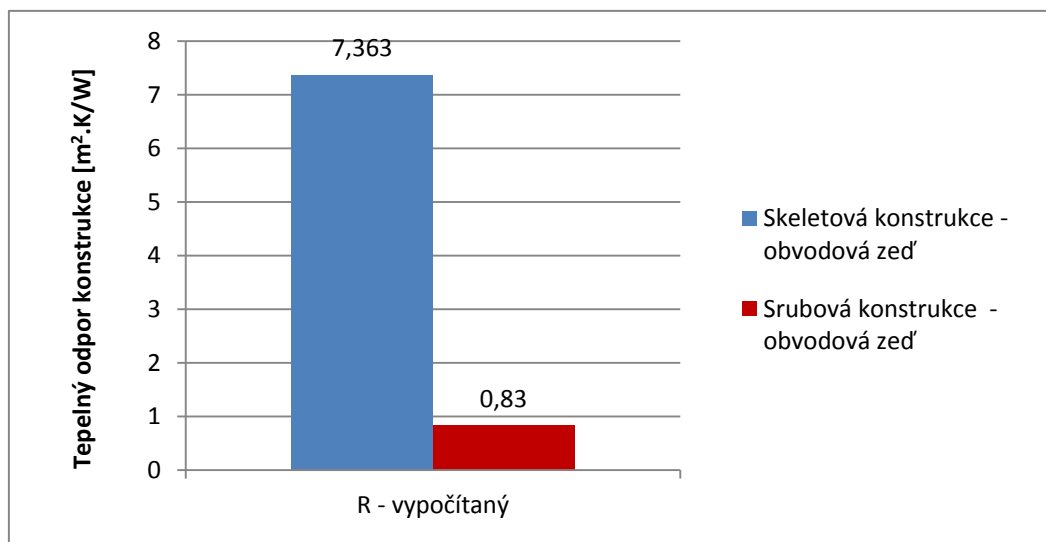


Součinitel prostupu tepla U udává tepelný tok šířící se z vnitřního prostředí do venkovního prostředí plochou 1 m^2 konstrukce. Čím nižší je jeho hodnota, tím lépe daná konstrukce odolává ztrátám tepla ve směru tepelného toku.

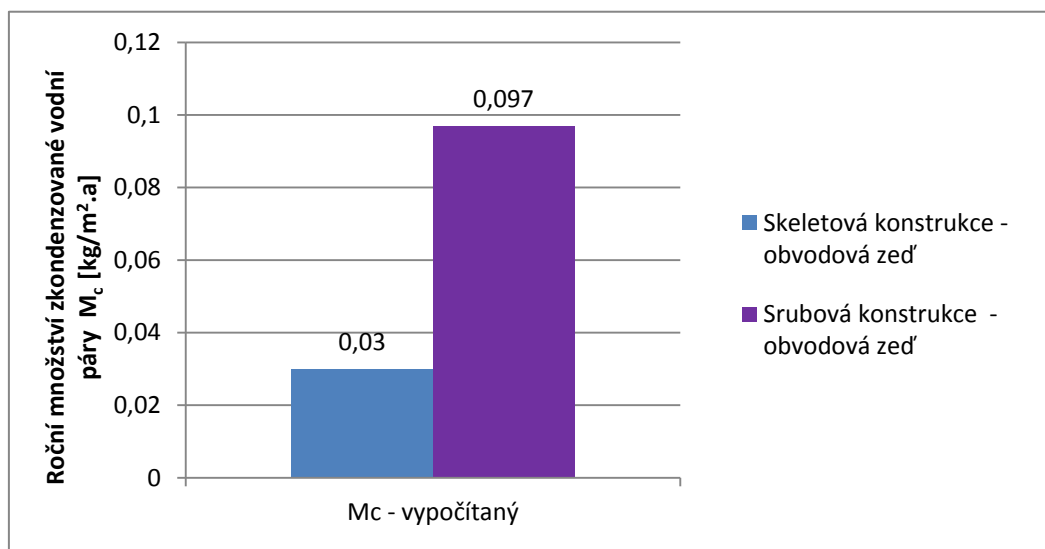
Graf 7: Porovnání naměřených U hodnot srubové konstrukce.



Graf 8: Porovnání vypočítaných hodnot tepelného odporu R sledovaných konstrukcí.



Graf 9: Porovnání vypočítaných hodnot ročního množství zkondenzované vodní páry M_c sledovaných konstrukcí.



5.3 Diskuze

Z výše uvedených grafů je patrné, že novější skeletová konstrukce má lepší tepelně technické vlastnosti než starší srubová konstrukce. U hodnota skeletové konstrukce se pohybuje v rozmezí 0,14 - 0,20 W/m².K. Tyto hodnoty odpovídají požadavkům nejnovější legislativy v oblasti výstavby nízkoenergetických budov. Hodnota součinitele prostupu tepla srubové konstrukce se pohybuje v rozmezí 1,2 - 4,19 W/m².K, dle uvažovaného místa měření či výpočtu (v průměru sruboviny vs. ložná spára). Tyto hodnoty nevyhovují současné legislativě. Je však potřeba přihlédnout k roku výstavby této srubové konstrukce, kdy byly normativní dokumenty nastaveny jinak, a proto nebylo potřeba zajistit splnění požadavků platných v dnešní době, kdy se normy neustále zpřísňují. Došlo také k inovaci technologie výstavby těchto konstrukcí, tak aby splňovaly aktuálně platnou legislativu.

Bydlení ve srubových dřevostavbách je specifické v kontaktu se dřevem a ve spojení s přírodou. Jejich umístění do volné krajiny malých obcí je mnohem vhodnější než poloha v městské či příměstské oblasti. Bydlení v nich je spojené s určitým životním stylem a tomu jsou přizpůsobeny i podmínky bydlení. Domnívám se, že srub v Podlesí je z řemeslného a estetického

hlediska velice zdařilou stavbou. Pro zlepšení funkčnosti je však potřeba zatmelit ložné spáry.

Z grafu č. 6 lze odvodit, že vypočítané hodnoty součinitele prostupu tepla se od naměřených hodnot v reálném prostředí částečně liší. U skeletové konstrukce to může být dáno nezaručenou přesností výrobce přístroje Testo, který uvádí, že pokud hranice součinitele prostupu tepla je nižší než $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ může dojít k nepřesnosti měření. U srubové konstrukce je naměřená hodnota dokonce nižší než vyšla ve výpočtu. To může být způsobeno rozdílnými vlastnostmi konkrétního dřeva oproti údajům uvedeným v normě. Každopádně je to důvod proč se daná měření vůbec provádí, aby došlo k reálnému zjištění hodnot v praxi.

Z grafu č. 7 lze vyzorovat, že srubová konstrukce dosahuje mnohem lepší hodnoty součinitele prostupu tepla měřeného na kulatině než měřeného v ložné spáře. To je způsobeno standardně užším profilem kulatiny v místě spoje styčných ploch jednotlivé sruboviny, ale hlavně chybějícími paměťovými trvale pružnými páskami, které dokážou reagovat na objemové a tvarové změny dřeva v průběhu sesychání a sedání stavby. Bylo by proto vhodné zatmelit vzniklé mezery příslušným srubařským tmelem dle správného technologického postupu.

Z grafu č. 8 lze vyzorovat, že skeletová konstrukce má výrazně lepší tepelný odpor obvodových zdí než srubová stavba. Je to dáno hlavně díky přítomnosti dostatečně široké tepelné izolace a kvalitními tepelnými vlastnostmi ostatních použitých materiálů.

Z grafu č. 9 lze vyzorovat, že u skeletové konstrukce se za rok vytvoří mnohem větší množství zkondenzované vodní páry M_c než u srubové konstrukce. V obou případech však hodnota M_c není větší než normou stanovená hraniční hodnota.

6 Závěr

V rámci diplomové práce byly porovnány tepelně technické vlastnosti dvou vybraných konstrukčních systémů dřevostaveb. Jako hlavní hodnotící kritérium byl zvolen součinitel prostupu tepla U . Ten je obecně považován za jeden z nejspolehlivějších parametrů z hlediska energetické náročnosti staveb. Došlo ke změření jednotlivých U hodnot pomocí přístroje pro zjišťování povrchových teplot Testo 635-2 přímo na stěnových konstrukcích obou staveb a k pořízení termosnímků pomocí termokamery Testo 875-2i. Následně byly dle jednotlivých skladeb konstrukcí vypočteny teoretické hodnoty součinitele prostupu tepla zcela nezávisle na změřených datech. Poté byly zjištěné hodnoty porovnány jednak vzájemně mezi sebou a jednak s požadavky normy ČSN 73 0540.

Bylo zjištěno, že novodobá moderní skeletová konstrukce s dostatečnou tloušťkou tepelné izolace a s novými technologiemi použitými ve skladbě obvodových zdí splnila tepelná očekávání a hlavně požadavky normy na nízkoenergetické budovy. Dle vypočtené U - hodnoty by dokonce mohla být zařazena mezi budovy postavené v pasivním standardu. Z porovnání naměřené a vypočítané U hodnoty, které se v tomto případě od sebe liší o 9 desetin $W/m^2.K$, byl vyvozen závěr, že teoretické hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukčních systémů vypočítaných dle normy a výrobců materiálů se od skutečných hodnot naměřených v reálných podmínkách liší. Z toho plyne, že by všeobecně měl být kladen větší důraz na sledování průběhů výstavby budov, skutečně dodávaných materiálů a provedení montáží.

Naopak moderní srubová konstrukce, postavená s minimálním množstvím tepelné izolace, tuto normu nesplnila. Její U hodnota přesáhla hranici, kterou požaduje norma. V rámci diplomové práce bylo navrženo opatření, které by zlepšilo celkové tepelné vlastnosti této konstrukce. I zde došlo k rozdílu mezi naměřenou a vypočítanou hodnotou součinitele prostupu tepla a to o 14 setin $W/m^2.K$. V tomto případě je však naměřená hodnota nižší, tedy lepší než vypočítaná hodnota.

Obecně lze říci, že energetická náročnost staveb, ať už se jedná o dřevostavby nebo klasické cihlové stavby, je tématem velice aktuálním a velmi diskutovaným. Snaha o snižování potřeby energií je díky postupnému

prosazování dnes již správně nastavené politiky na velmi dobré cestě. Aktuálně dochází k neustálému vývoji stavebních materiálů a inovaci konstrukčních řešení, které posouvají hranice výstavby směrem vpřed. Postupně se o této problematice dozvídá také laická veřejnost, a proto lze v budoucnu očekávat masivní nárůst nízkoenergetických rodinných domů s minimálními požadavky na spotřebu energií. Je samozřejmě potřeba zvážit poměr počátečních investic vložených do stavby a jejich návratnosti v podobě ušetřené energie a celkové prospěšnosti užívání stavby.

Z výsledků této práce lze soudit, že stavební tepelně izolační materiály a konstrukční systémy novodobých dřevostaveb jsou na velmi vysoké úrovni. Je však potřeba předem důkladně zvážit, za jakým účelem se postavená budova bude v budoucnu užívat, z toho vyvodit v jakém energetickém standardu by se měla postavit a následně nastavit správnou kombinaci použitých materiálů a technologií při její výstavbě k dosažení správného cíle.

Do budoucna by bylo vhodné opakovat měření dřevostaveb v delším časovém úseku. Rovněž by bylo vhodné zaměřit se na ostatní konstrukční části staveb - střechy, podlahy a stropní konstrukce.

7 Seznam literatury a použitých zdrojů

7.1 Knihy a odborné publikace

- [1] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. 1. vydání, Praha 6: ČVUT, 2005, 188 s. ISBN 80-247-0076-x.

- [2] HOUDEK, Dalibor, KOUDELKA Otakar. *Srubové domy z kulatiny*. 3. aktualizované vydání, Vážany nad Litavou: MM publishing, 2009, 175 s. ISBN978-80-904414-0-8.

- [3] KOLB, Josef. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. 1. vydání, Praha: Grada Publishing a.s., 2007, 320 s. ISBN 978-80-247-2275-7.

- [4] ŠTEFKO J., REINPRECHT L., KUKLÍK P. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 2. čes. vydání, Bratislava: Jaga group s.r.o., 2006, 196 s. ISBN 978-80-8076-080-9.

- [5] ZAHRADNÍČEK, Václav, HORÁK, Pavel. *Moderní dřevostavby*. 2. vydání, Brno: CPress, 2011, 115 s. ISBN 978-80-251-3568-6.

- [6] HAVÍŘOVÁ, Zdeňka. *Dům ze dřeva*. 1. vydání, Brno: ERA, 2005, 104 s. ISBN 80-7366-060-1.

- [7] HUDCOVÁ, Lenka a kol. *Energetická náročnost budov*. 1. vydání, Praha: EkoWATT, 2009, 45 s. ISBN 978-80-87333-03-7.

- [8] JODIDIO, Philip. *Green architecture now*, 1. vydání, Bonn: TASCHEN, 2009, 416 s. ISBN 978-3-8365-0372-3.

- [9] VAVERKA, Jiří, CHYBÍK, Josef, MEIXNER, Miloslav. *Tepelná ochrana budov-souhrn fyzikálních veličin stavebních materiálů a výpočtů k ČSN 73 0540*. 1. vydání, Brno: PC-DIR spol. s.r.o. - Nakladatelství, 1995, 103 s. ISBN 80-85895-03-X.
- [10] HAVÍŘOVÁ, Zdeňka. *Dům ze dřeva*. 1. vydání, Brno: ERA, 2005, 104 s. ISBN 80-7366-060-1.
- [11] CHMÚRNÝ, Ivan. *Tepelná ochrana budov*. 1. vydání, Bratislava: Jaga Group v.o.s., 2003, 213 s. ISBN 80-88905-27-3.
- [12] ŠUBRT, Roman. *Tepelná izolace v otázkách a odpovědích*. 2. vydání, Praha: BEN - technická literatura, 2008, 159 s. ISBN 978-80-7300-2.
- [13] ŘEHÁNEK, Jaroslav, JANOUŠ, Antonín, KUČERA, Petr, ŠARFRÁNEK, Jaroslav. *Tepelně-technické a energetické vlastnosti budov*. 1. vydání, Praha: Grada Publishing a.s., 2002, 248 s. ISBN 80-7169-582-3.

7.2 Odborné články

- [22] SMOLA, Josef. Léta rozvoje i nucený útlum - historie dřevostaveb v Česku. *Dřevo&stavby*, PROFI speciál, 2014, 5. ročník, s. 47-50. Dostupné z:
<<http://www.nazeleno.cz/stavba/drevostavby/leta-rozvoje-i-nuceny-utlum-historie-drevostaveb-v-cesku.aspx>>
- [23] VESELÝ, Vojtěch. Masivní dřevostavby a požadavky na ně kladené. *TZB info*, 16.9.2013, s. 8. Dostupné z:
<<http://www.tzb-info.cz/10345-masivni-drevostavby-a-pozadavky-na-ne-kladene>>

- [24] BERANOVSKÝ, Jiří a kol. Zásady výstavby nízkoenergetických domů. *EkoWATT*, 2007, s. 6. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/zasady-vystavby-nizkoenergetickych-domu>>

7.3 Webové stránky

- [14] Stavebnictví, byty [Online]. *Web český statistický úřad*, 2014. [cit. 8.1.2015]. Dostupné z: <http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/stavebnictvi>>
- [15] Dušan Samo Jurkovič, Práce [Online]. *Web Dušan Samo Jurkovič*, 2009. [cit. 19.1.2015]. Dostupné z: <http://www.jurkovic.cz>>
- [16] Technologie stavby/rámová nosná konstr. [Online]. *Web wood system*, 2015. [cit. 20.2.2015]. Dostupné z: <http://www.woodsystem.cz/ramova-nosna-konstrukce-pro-drevostavby>>
- [17] Skeletové dřevostavby [Online]. *Web Dřevo a stavby*, 2015. [cit. 23.2.2015]. Dostupné z: <http://www.drevoastavby.cz/cs/adresar-firem/drevostavby/montovane-drevostavby/skeletove-drevostavby>>
- [18] Dřevostavby [Online]. *Web tzb info*, 2001-2015. [cit. 1.3.2015]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby>>
- [19] Co je nulový dům [Online]. *Web Nulové domy*, 2012. [cit. 5.3.2015]. Dostupné z: <http://www.nulovedomy.org/co-jsou-nulove-domy/co-je-nulovy-dum.htm>>
- [20] About passive house [Online]. *Web Passive house institute*, 2012 [cit. 7.3.2015]. Dostupné z:

http://www.passiv.de/en/02_informations/01_whatisapassivehouse/01_whatisapassivehouse.htm>

- [21] Chyby a omyly při měření [Online]. *Web Termokamera.cz*, 2015 [cit. 29.3.2015]. Dostupné z:
<<http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/chyby-a-omyly-pri-mereni-termokamerou/>>

7.4 Zákony, vyhlášky a normy ČSN

- [25] Česká republika. Parlament České republiky. Zákon č. 318/2012 ze dne 19. července 2012, kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů České republiky*, 2012. Částka 117, s. 4058. Dostupné také z:
<<http://portal.gov.cz/app/zakony/zakon.jsp?page=0&nr=318~2F2012&rpp=15#seznam>>
- [26] Česká republika. Ministerstvo průmyslu a obchodu. Vyhláška č. 78/2013 ze dne 22. března 2013 o energetické náročnosti budov, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů České republiky*, 2013. Částka 36, s. 738. Dostupné také z:
<<http://portal.gov.cz/app/zakony/zakon.jsp?page=0&nr=78~2F2013&rpp=15#seznam>>
- [27] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 56 s.
- [28] ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Praha: Český normalizační institut, 2005. 98 s.

- [29] ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody.
Praha: Český normalizační institut, 2005. 60 s.

7.5 Akademické práce

- [30] MÚČKA, Martin. *Energetická náročnosť a environmentálna kvalita drevených stavieb*. Zvolen, 2011. Disertační práce. Technická univerzita vo Zvolene. Vedoucí práce prof. Ing. Jozef Štefko, CSc. Dostupné z:
http://is.tuzvo.sk/student/zobraz_zp.pl?verejny=1;studium=10910;zp=8166;lang=cz.

Seznam příloh:

Příloha 1: **Prefabrikovaná konstrukce**

1. Katastrální situace

2. Výkresy

2.1 Půdorys 1. NP

2.2 Půdorys 2. NP

3. Textová část

3.1 Výtah z PD deklarující U hodnoty otvorových výplní

Zdroj přílohy 1: výtah z projektové dokumentace pro novostavbu nízkoenergetického rodinného domu v obci Olešná (okres Rakovník) zpracované společností Chytrý-dům s.r.o. v 12/2012.

Příloha 2: **Srubová konstrukce**

1. Výkresy

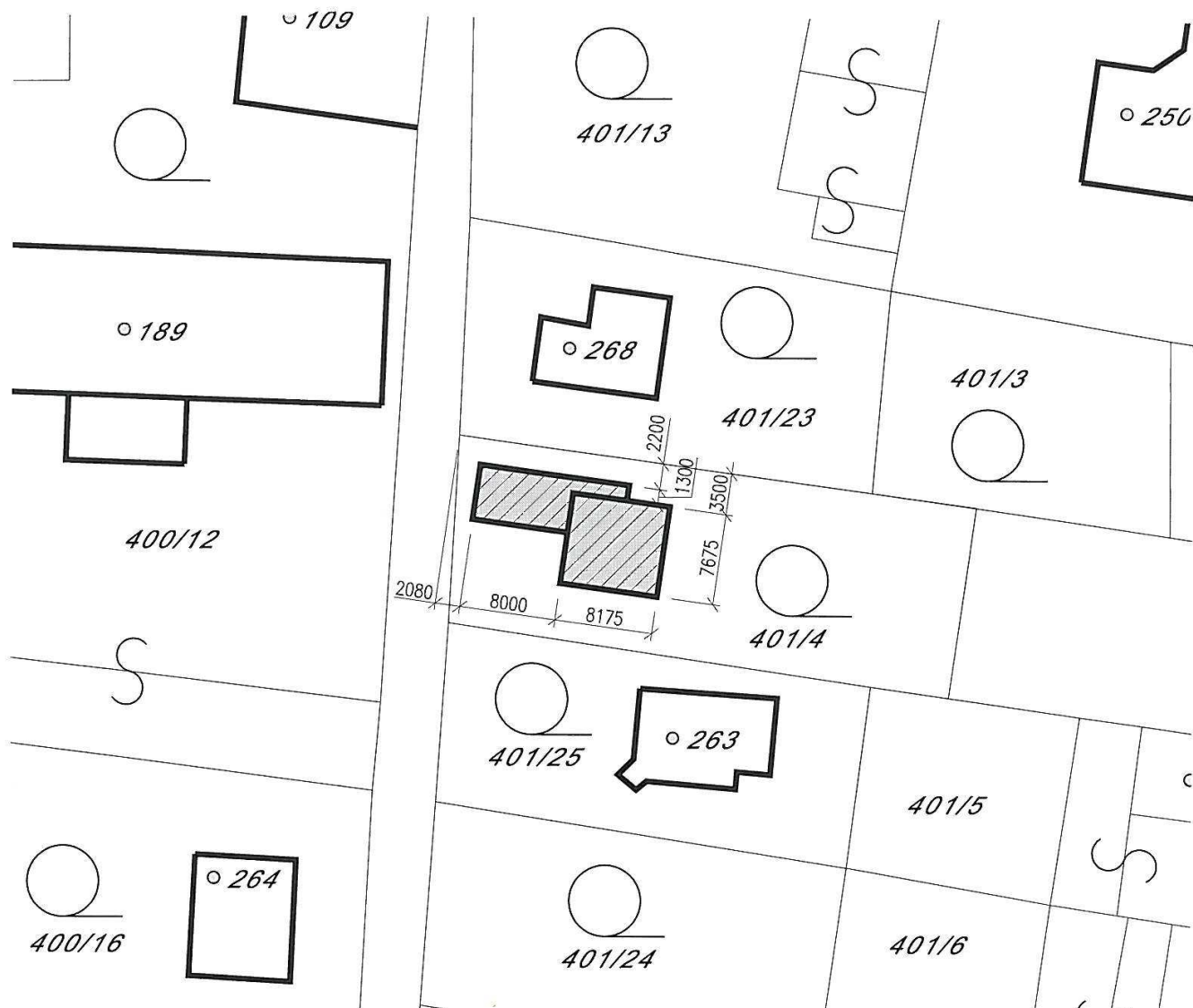
1.1 Půdorys 1. NP

1.2 Půdorys 2. NP

1.3 Půdorys 1. PP



Zdroj přílohy 2: výtah z projektové dokumentace pro novostavbu srubového rodinného domu v obci Podlesí (okres Benešov) vypracované Ing. Miloslavem Bílkem ze společnosti E- PROJEKT s.r.o. v 11/2004.

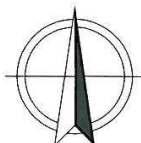
Příloha 3: **CD s nahranou diplomovou prací**



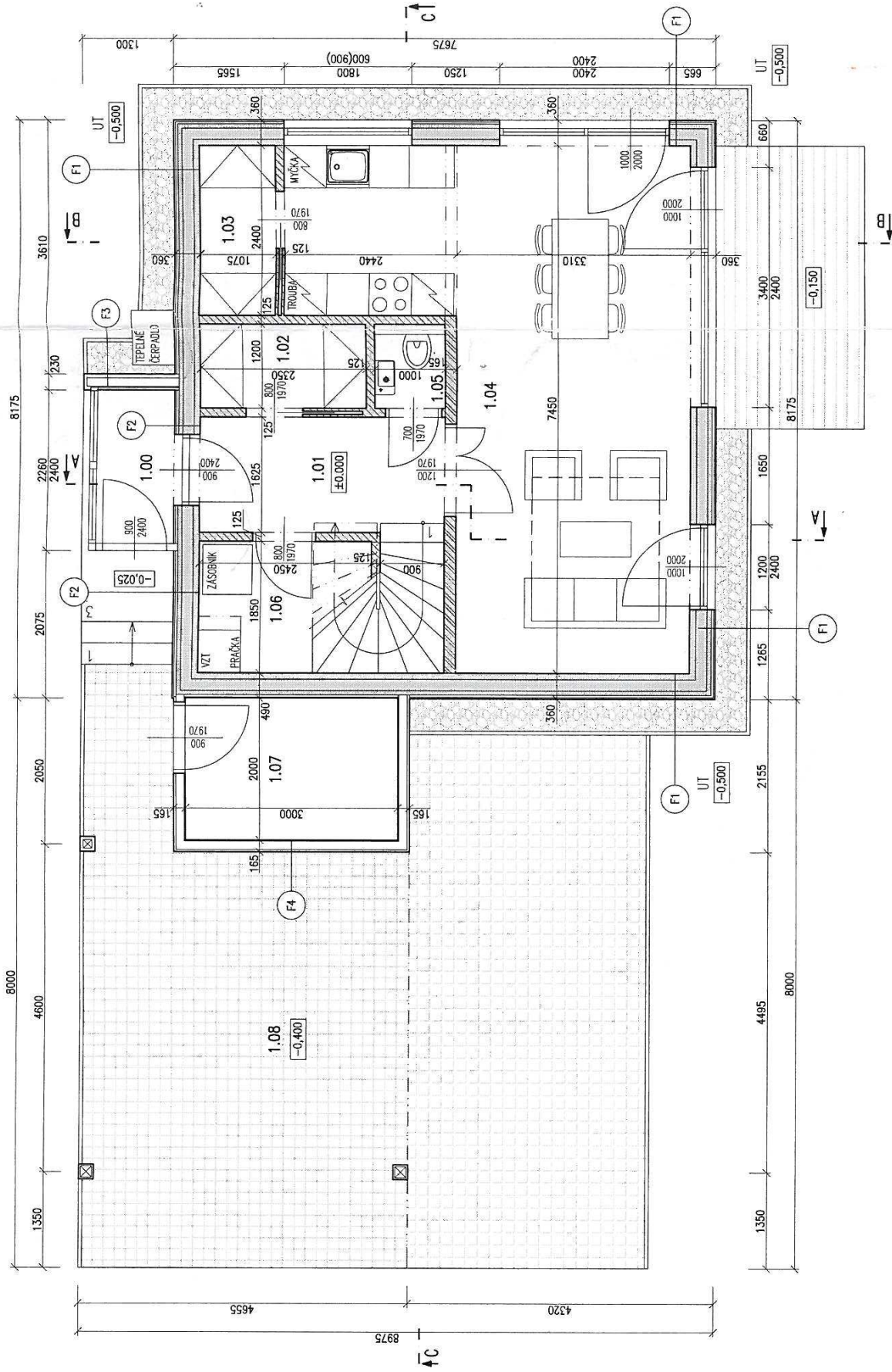
20.12.2012

LEGENDA:

-  PŘEDMĚTNÝ OBJEKT
-  SOUSEDNÍ OBJEKTY



NÁZEV AKCE	STUPEŇ	ŮSP
NOVOSTAVBA NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU	DATUM	12/2012
OLEŠNÁ U RAKOVNÍKA p.č. 401/4	MĚŘITKO	1:500
K.Ú. 710202 OLEŠNÁ (OKRES RAKOVNÍK)	ČÍSLO PŘÍLOHY	ČÍSLO PARÉ
ČÁST PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE	1	
SOUHRNNÉ ŘEŠENÍ		
VÝKRES		
KATASTRÁLNÍ SITUACE		



LEGENDA POPISŮ:

(F1) OZNAČENÍ SKLADEB KONSTRUKCÍ
PODROBNĚ POPSANO V TABULCE SKLADEB

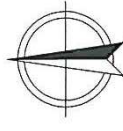
OZNAČENÍ TYPŮ KONSTRUKCÍ: P...PODLAHY
F...FASÁDY
S...STŘEŠNÍ KONSTRUKCE
ST...STROPNÍ KONSTRUKCE

LEGENDA SYMBOLŮ:

1.03 ČÍSLO MÍSTNOSTI
PODLAŽÍ OBJEKTU

LEGENDA MATERIÁLŮ:

- OBVODOVÁ STĚNA TL. 500mm
- DŘEVĚNÁ NOSNÁ KCE, DŘEVĚNÝ OBKLAD
- PRÍČKA TL. 125mm, DŘEVĚNÁ NOSNÁ KCE, PLÁŠTĚNO SÁDROKARTONEM (olt. SDV)
- TEPelná IZOLACE – TYP IZOLACE UPŘESNĚN V TABULCE SKLADEB
- PROSTÝ BETON
- HUTNĚNÝ NÁSYP
- ROSTLÁ ZEMINA

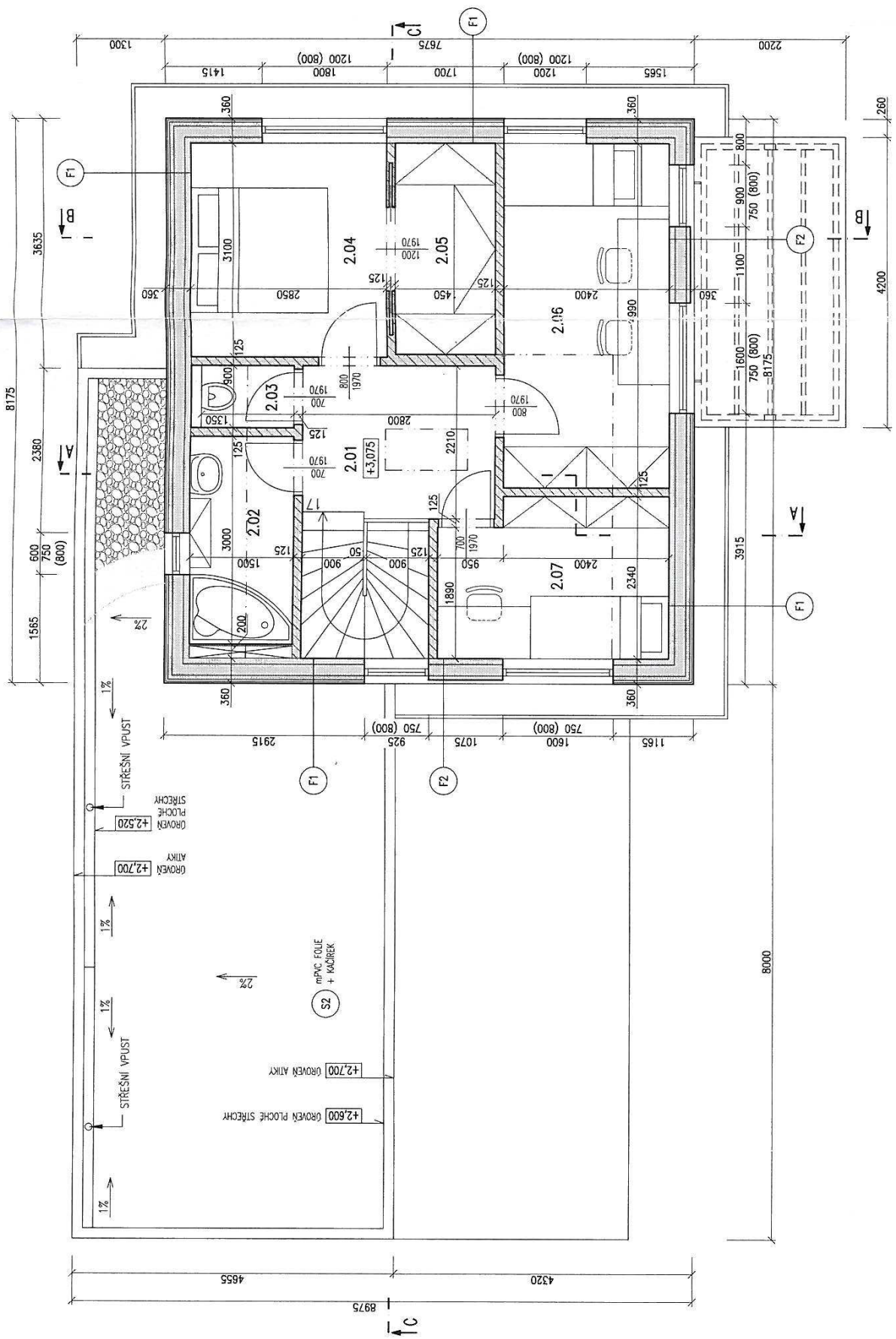


20.12.2012

LEGENDA MÍSTNOSTÍ

OZNAČENÍ	ÚČEL MÍSTNOSTI	PLOCHA [m ²]	ÚPRAVY POVRCHŮ			
			PODLAHY	SK. ADBA	STĚNY	STROP
1.00	ZÁDVEŘÍ	2,41	KERAM.DILAŽBA	P1.2	OBKLAD, MALBA	MALBA
1.01	VSTUPNÍ HALA	7,45	KERAM.DILAŽBA	P1.2	MALBA	MALBA
1.02	ŠATNA	2,94	KERAM.DILAŽBA	P1.2	MALBA	MALBA
1.03	SPÍŽ	2,58	KERAM.DILAŽBA	P1.2	MALBA	MALBA
1.04	OBYVACÍ POKOJ+KK	30,72	MASIV.DŘEVO + KERAM.DILAŽBA	P1.1	MALBA	MALBA
1.05	TOALETA	0,95	KERAM.DILAŽBA	P1.2	OBKLAD, MALBA	MALBA
1.06	TECHNICKÁ MÍSTNOST	4,50	KERAM.DILAŽBA	P1.2	MALBA	MALBA
1.07	SKLADOVACÍ MÍSTNOST	6,00	KERAM.DILAŽBA	P1.2	OSB	OSB
1.08	KRYTÉ STÁNÍ	32,95	BETON.DILAŽBA	P1.3	-	OBKLAD

NÁZEV AKCE	STUPEŇ	DSP
NOVOSTAVBA NIZKOENERGETICKEHO RODINNÉHO DOMU OLEŠNÁ U RAKOVNIKA P.Č. 401/4 K.Ú. 710202 OLEŠNÁ (OKRES RAKOVNÍK)	DATUM	12/2012
ČÁST PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE	MĚŘÍTKO	1:75
SO 01 – RODINNÝ DŮM	ČÍSLO PŘÍLOHY	2.1
VÝKRES		
PŮDORYS 1.NP		



LEGENDA POPISŮ:

(F1) OZNAČENÍ SKLADEB KONSTRUKCI
 PODROBNĚ POPSAÑO V TABULCE SKLADEB

OZNAČENÍ TYPŮ KONSTRUKCI: P...PODLAHY
 F...FAŠÁDY
 S...STŘEŠNÍ KONSTRUKCE
 ST...STROPNÍ KONSTRUKCE

LEGENDA SYMBOLŮ:

1.03 ČÍSLO MÍSTNOSTI
 PODLAŽÍ OBJEKTU

LEGENDA MATERIÁLŮ:

- OBVODOVÁ STĚNA TL. 500mm
- DŘEVĚNÁ NOSNÁ KCE, DŘEVĚNÝ OBKLAD
- PŘÍČKA TL. 125mm, DŘEVĚNÁ NOSNÁ KCE. PLÁŠTĚNO SÁDROKARTONEM (alt. SDV)
- TEPelná IZOLACE - TYP IZOLACE UPŘESNĚN V TABULCE SKLADEB
- PROSTÝ BETON
- HUTNĚNÝ MÁŠP
- ROSTLÁ ZEMINA



20.12.2012

LEGENDA MÍSTNOSTÍ

OZNAČENÍ	ÚČEL MÍSTNOSTI	PLOCHA [m ²]	ÚPRAVY POVRCHŮ				
			PODLAHY	SKLADBA	STĚNY	STROP	
2.01	CHODBA	6,20	MASIV. DŘEVO	P.2.1	MALBA	MALBA	MALBA
2.02	KOUPELNA	4,50	KERAM.DLAŽBA	P.2.2	MALBA	MALBA	MALBA
2.03	TOALETA	1,22	KERAM.DLAŽBA	P.2.2	MALBA	MALBA	MALBA
2.04	LOŽNICE	8,84	POVLAK.KRYTINA	P.2.1	MALBA	MALBA	MALBA
2.05	ŠATNA	4,50	POVLAK.KRYTINA	P.2.1	OBKLAD, MALBA	MALBA	MALBA
2.06	POKŮJ	11,97	POVLAK.KRYTINA	P.2.1	MALBA	MALBA	MALBA
2.07	POKŮJ	7,40	POVLAK.KRYTINA	P.2.1	MALBA	MALBA	MALBA

MAZEV KICE	STUPEŇ	DSP
NOVOSTAVBA NIZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU	DATA	12/2012
OLEŠNÁ U RAKOVNÍKA P.Č. 401/4	MĚRITKO	1:75
K.Ú. 710202 OLEŠNÁ (OKRES RAKOVNÍK)	ČÍSLO PŘÍLOHY	
ČÁST PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE		
SO 01 - RODINNÝ DŮM		2.2
VÝKRES		
PŮDORYS 2.NP		

4.8. Úpravy povrchů vnitřní

Úpravy povrchů stěn a stropů opláštěnými sádkokartonovými nebo sádrovláknitými deskami budou tvořit malby. V koupelnách a na WC budou stěny obloženy keramickým obkladem.

4.9. Dveře

Vnitřní dveře v objektu budou dřevěné do obložkových dřevěných zárubní. Vstupní dveře budou tepelně izolační s parametry $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.10. Okna

Okna budou dřevěná, konstrukce EURO 88 s izolačním trojsklem s plastovým distančním rámečkem SuperSpacer. Součinitel prostupu tepla zasklení $U_g = \text{max. } 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, propustnost tepelného záření z exteriéru $g = \text{min. } 62\%$. Součinitel prostupu tepla rámu a celého okna je $U_w = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.11. Fasáda, povrchové úpravy, zateplení

Povrchovou úpravu fasády tvoří dřevěný modřínový obklad tl. 20mm a cementovláknité desky Cembonit FDA tl. 8mm. Fasádní obkladové desky jsou použity mezi okenními výplněmi a jako obklad konstrukcí krytého stání.

4.12. Střecha

Šikmá střecha objektu má sklon 25° , je zde navržena betonová krytina Bramac Tegalit. Prostor pod krytinou je provětráván. Střecha je odvodněna okapovými žlaby a svody.

Plochá střecha krytého stání má sklon 2%. Střecha je odvodněna pomocí zaatikového žlabu a střešních vpustí.

Skladby střech jsou podrobně popsány v tabulce skladeb.

PŮDORYS 1.NP, M 1:50

LEGENDA MÍSTNOSTÍ

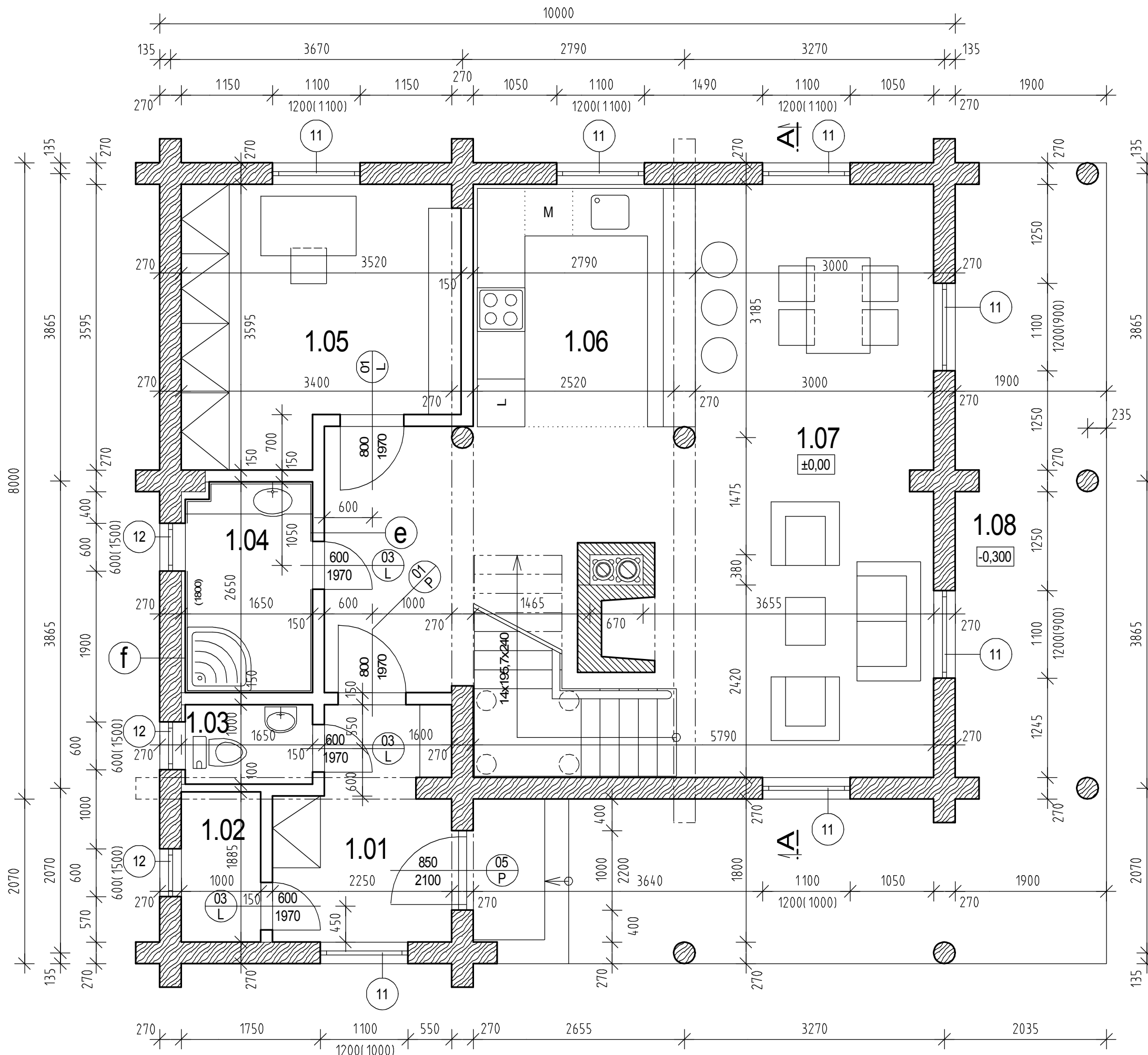
ČÍSLO	NÁZEV MÍSTNOSTI	PLOCHA m ²	POVRCHOVÁ ÚPRAVA		
			PODLAH	STĚN	STROPŮ
1.01	ZÁDVEŘÍ	5,93	KERAMICKÁ DLÁŽBA	LÍCOVÉ ZDIVO, LOUP. KULATINA	PŘEKL. NESÁM. HOBL. PRKNA
1.02	KOMORA	1,89	KERAMICKÁ DLÁŽBA	LÍCOVÉ ZDIVO, LOUP. KULATINA	PŘEKL. NESÁM. HOBL. PRKNA
1.03	WC	1,65	KERAMICKÁ DLÁŽBA	LÍCOVÉ ZDIVO, LOUP. KULATINA	PŘEKL. NESÁM. HOBL. PRKNA
1.04	KOUPELNA	4,34	KERAMICKÁ DLÁŽBA	KERAMICKÝ OBKLAD	PŘEKL. NESÁM. HOBL. PRKNA
1.05	POKOJ	11,41	DŘEV. PRKĚNNÁ PODLAHA	LÍCOVÉ ZDIVO, LOUP. KULATINA	PŘEKL. NESÁM. HOBL. PRKNA
1.06	KUCHYŇSKÝ KOUT	8,44	KERAMICKÁ DLÁŽBA	LÍCOVÉ ZDIVO, LOUP. KULATINA	PŘEKL. NESÁM. HOBL. PRKNA
1.07	OBYTNÝ PROSTOR	49,65	DŘEV. PRKĚNNÁ PODLAHA	LÍCOVÉ ZDIVO, LOUP. KULATINA	PŘEKL. NESÁM. HOBL. PRKNA
1.08	TERASA	30,67	KAMENNÁ DLÁŽBA		

KONSTRUKČNÍ SKLADBY

- e** (V MÍSTNOSTI č. 1.04)
 - LÍCOVÉ REZNÉ ZDIVO 150mm
 - IMPREGNOVANÉ SÁDROKARTONOVÉ DESKY 12,5mm
 - KERAM. OBKLAD NA LEPIDLO 10mm
- f** (V MÍSTNOSTI č. 1.04)
 - LOUPANÁ SMRKOVÁ KULATINA 270mm
 - NOSNÝ ROŠT - LATĚ 60x35 35mm
 - IMPREGNOVANÉ SÁDROKARTONOVÉ DESKY 12,5mm
 - ADHEZNÍ A OCHRANNÝ PODKLADNÍ NÁTĚR
 PCI - GISOGRUND
 - IZOL. VRSTVA - PCI LASTOGUM (ČERVENÁ)
 - IZOL. VRSTVA - PCI LASTOGUM (ŠEDÁ) } POUZE V MÍSTĚ
 SPRCH. KOUTU
 - KERAM. OBKLAD NA LEPIDLO 10mm

LEGENDA MATERIÁLŮ

- LOUPANÁ SMRKOVÁ KULATINA
- REZNÉ LÍCOVÉ ZDIVO
- ZDIVO Z KAMENE



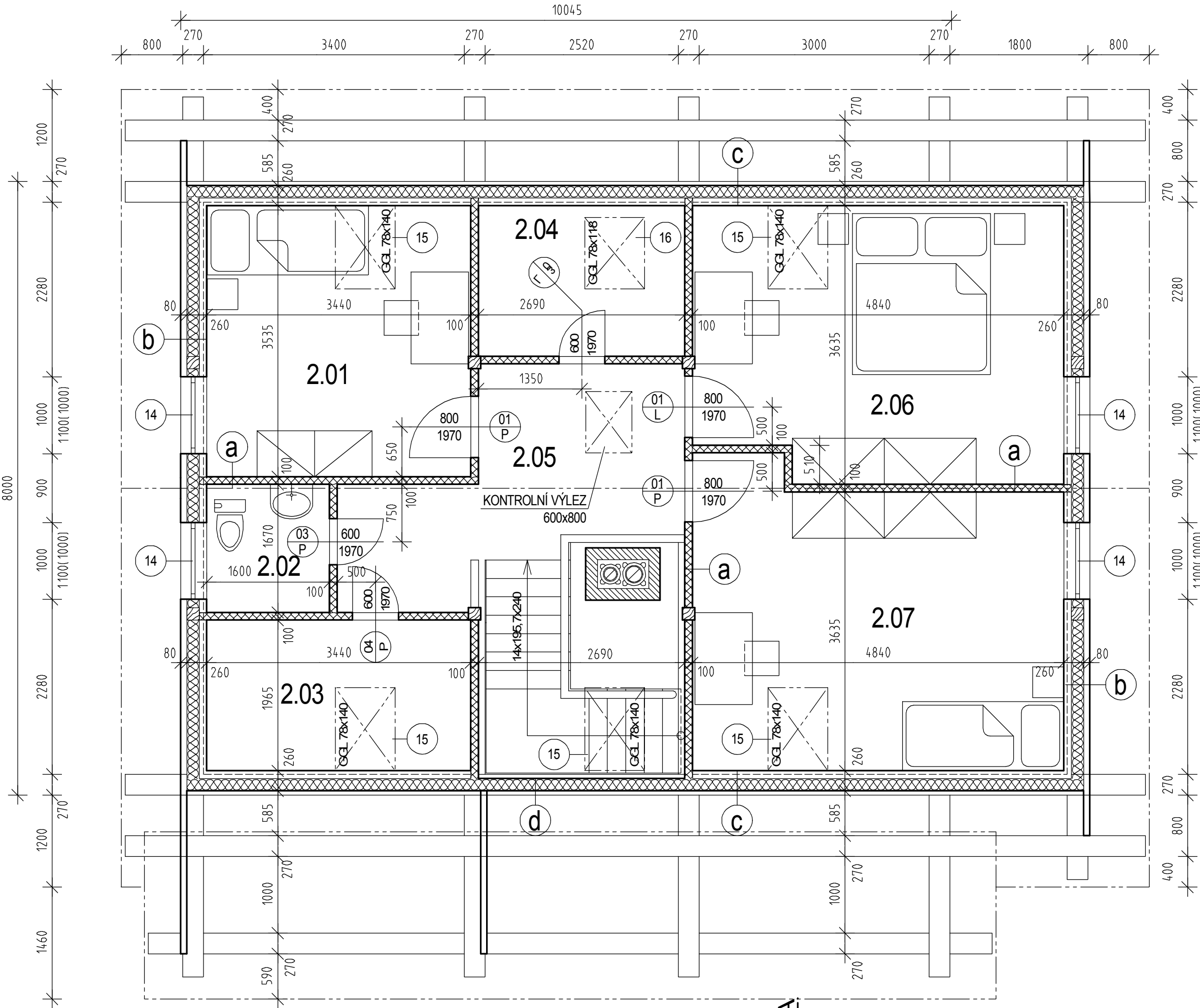
E-PROJEKT Ing. Milošlav Bílek Havanská 2828 390 05 Tábor	Název RODINNÝ DŮM MANŽ. VOTAVOVÝCH na parc. č. 82/3, k.ú. KOUTY U SMILKOVA	Datum: 11/2004	Formát: 6x44
		Měřítko: 1:50	Stupeň: DSP
Vypracoval ING. P. PRIMAS	Stavebně-architektonická část PŮDORYS 1.NP	Zakázkové číslo	
Projektant ING. M. BÍLEK		Příloha číslo 06	

PŮDORYS 2.NP, M 1:50

A-A

LEGENDA MÍSTNOSTÍ

ČÍSLO	NÁZEV MÍSTNOSTI	PLOCHA m ²	POVRCHOVÁ ÚPRAVA		
			PODLAH	STĚN	STROPŮ
2.01	POKOJ	12,16	DŘEV. PRKĚNNÁ PODLAHA	PALUBKOVÝ A SÁDROKART. OBKL.	PALUBKOVÝ PODHLED
2.02	WC	2,67	KERAMICKÁ DLÁŽBA	SÁDROKARTON. OBKLAD	SÁDROKARTON. PODHLED
2.03	KOMORA	6,70	DŘEV. PRKĚNNÁ PODLAHA	PALUBKOVÝ A SÁDROKART. OBKLAD	PALUBKOVÝ PODHLED
2.04	ŠATNA	5,29	DŘEV. PRKĚNNÁ PODLAHA	SÁDROKARTON. OBKLAD	SÁDROKARTON. PODHLED
2.05	CHODBA	9,40	DŘEV. PRKĚNNÁ PODLAHA	PALUBKOVÝ A SÁDROKART. OBKL.	PALUBKOVÝ PODHLED
2.06	POKOJ	16,93	DŘEV. PRKĚNNÁ PODLAHA	PALUBKOVÝ A SÁDROKART. OBKL.	PALUBKOVÝ PODHLED
2.07	POKOJ	18,18	DŘEV. PRKĚNNÁ PODLAHA	PALUBKOVÝ A SÁDROKART. OBKL.	PALUBKOVÝ PODHLED



KONSTRUKČNÍ SKLADBY

- (a)** - SÁDROKARTONOVÝ OBKLAD 12,5mm
 - PVC FOLIE
 - TEPEL. IZOLACE ORSIL MEZI OCEL. PROFILY ROŠTŮ 75mm
 - PVC FOLIE
 - SÁDROKARTONOVÝ OBKLAD 12,5mm
- (b)** - SÁMOVANÁ JEDNOSTRANNĚ HOBLOVANÁ PRKNA NA SRAZ + PŘELÍŠTOVÁNÍ 25mm
 - VODOROVNÝ ROŠT Z LATÍ 60/40 40mm
 - SVISLÉ PŘÍLOŽKY NA HLAVNÍ ROŠT KČE ŠTÍTU + PROVĚTRÁVANÁ VZDUCH. MEZERA 20mm
 - KONTAKTNÍ PAROPROPUSTNÁ FOLIE JUTAWEB
 - TEPEL. IZOLACE ORSIL MEZI NOSNÉ PROFILY KČE ŠTÍTU 160mm
 - TEPEL. IZOLACE ORSIL MEZI ROŠT Z LATÍ 60/40 - TL. MEZERY 2x40mm 80mm
 - PAROZÁBRANA - FOLIE JUTAFOL N
 - VODOROVNÝ PALUBKOVÝ OBKLAD (PROFIL KLASIK) 20mm
- (c)** - PLOŠNÉ BEDNĚNÍ Z PRKĚN 15mm
 - KONTAKTNÍ PAROPROPUSTNÁ FOLIE JUTAWEB
 - TEPEL. IZOLACE ORSIL MEZI HRANOLY KROVU 100/160 160mm
 - TEPEL. IZOLACE ORSIL MEZI ROŠT Z LATÍ 60/40 - TL. MEZERY 2x40mm 80mm
 - PAROZÁBRANA - FOLIE JUTAFOL N
 - VODOROVNÝ PALUBKOVÝ OBKLAD (PROFIL KLASIK) 20mm
- (d)** - PLOŠNÉ BEDNĚNÍ Z PRKĚN 15mm
 - KONTAKTNÍ PAROPROPUSTNÁ FOLIE JUTAWEB
 - TEPEL. IZOLACE ORSIL MEZI HRANOLY KROVU 100/160 160mm
 - PAROZÁBRANA - FOLIE JUTAFOL N
 - VODOROVNÝ PALUBKOVÝ OBKLAD (PROFIL KLASIK) 20mm

LEGENDA MATERIÁLŮ

- ZDÍVO Z KAMENE
- SENDVIČOVÁ STĚNA

E-PROJEKT Ing. Miloš Bilek Havanská 2828 390 05 Tábor	Název RODINNÝ DŮM MANŽ. VOTAVOVÝCH na parc. č. 82/3, k.ú. KOUTY U SMILKOVA	Datum: 11/2004	Formát: 6xA4
	Vypracoval ING. P. PRIMAS	Stavebně-architektonická část PŮDORYS 2. NP	Měřítko: 1:50
Projektant ING. M. BÍLEK	Zakázkové číslo	Příloha číslo	

PŮDORYS 1.PP, M 1:50

A1

LEGENDA MÍSTNOSTÍ

Číslo	NÁZEV MÍSTNOSTI	Plocha m ²	POVRCHOVÁ ÚPRAVA		
			PODLAH	STĚN	STROPŮ
0.01	POTÍRNA	4,90	KERAM. DLAŽBA S PROTISKLUZ. ÚPR.	VPC OMÍTKA	VPC OMÍTKA
0.02	SAUNA	17,15	KERAM. DLAŽBA S PROTISKLUZ. ÚPR.	KERAMICKÝ OBLAD	VPC OMÍTKA
0.03	SKLEP	35,55	KERAMICKÁ DLAŽBA	VPC OMÍTKA	VPC OMÍTKA
0.04	KOMORA	4,66	KERAMICKÁ DLAŽBA	VPC OMÍTKA	VPC OMÍTKA

LEGENDA MATERIÁLŮ

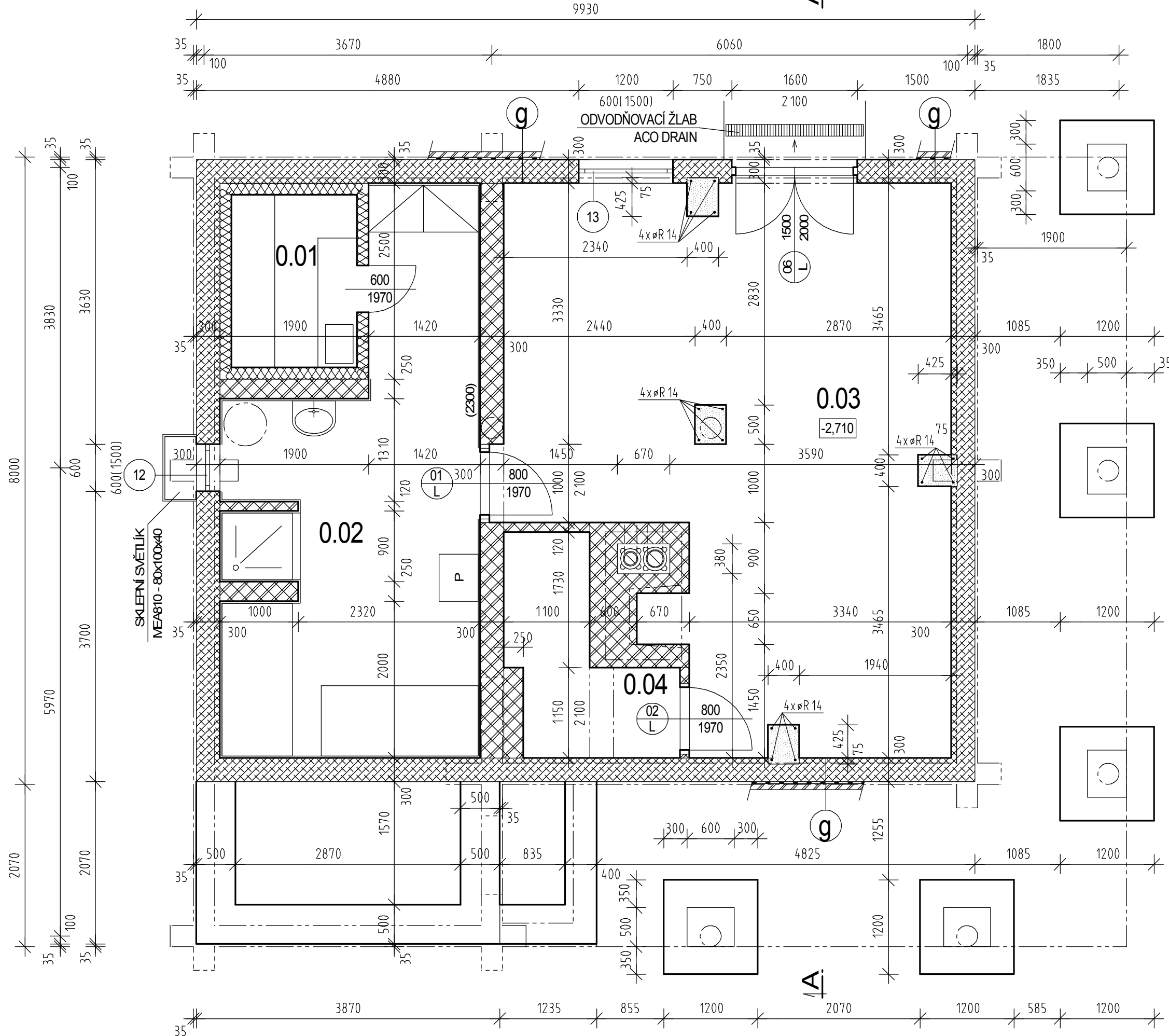
- ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE
- ZDIVO Z TVÁRNIC POROTHERM
TL. 300mm - TVÁRNICE POROTHERM 30 P+D, P10 NA M5
TL. 250mm - TVÁRNICE POROTHERM 24 P+D, P10 NA M5
TL. 120mm - TVÁRNICE POROTHERM 11,5 P+D, P5 NA M2,5
- IZOL. PRÍZDÍVKA - PŘÍČKOVÉ TVÁRNICE BS KLATOVY
TP 7 - 65x50x220
- ZDIVO Z TVÁRNIC BS KLATOVY
OBVOD. ZDIVO TL. 300mm - TVÁRNICE IZO PLUS TIP-N4, P7 - 300x400x190
- ZDIVO Z TVÁRNIC BS KLATOVY
ZESÍLENÍ ZDIVA, PILÍŘ - BEDNÍČÍ DÍLCE BD 40 - 400x500x250

POZNÁMKA

- DO LOŽNÝCH SPAR OBVODOVÉHO A VNITŘNÍHO ZDIVA VLOŽIT PŘI BETONÁŽI 2x PROF. R10
- DO PILÍŘŮ ZESÍLENÍ ZDIVA VLOŽIT PŘI BETONÁŽI SVISLOU VÝZTUŽ 4x PROF. R14
- TVÁRNICE OBVODOVÉHO ZDIVA KLÁST DUTINAMI VZHŮRU A DITUNY ZABETONOVAT
- PŘI BETONÁŽI POUŽÍT BETON B20, ZDÍT NA MALTU MC50

KONSTRUKČNÍ SKLADBY

- VPC OMÍTKA 15mm
- ZDIVO Z TVÁRNIC BS KLATOVY 300mm
- IZO PLUS TIP-N4 - 300x400x190
- HYDROIZOLACE 1 x EXTRASKLOBIT
- HYDROIZOLACE 1 x BITUBITAGIT
- IZOLAČNÍ PRÍZDÍVKA - PŘÍČKOVÉ TVÁRNICE BS KLATOVY TP 7 - 65x50x220 70mm
- VRSTVA ŠTĚRKU (DRENÁŽ)
- ZÁSPV ZEMINOU - HUTNĚNÝ



E-PROJEKT Ing. Miloš Bilek Havanská 2828 390 05 Tábor	Název RODINNÝ DŮM MANŽ. VOTAVOVÝCH na parc. č. 82/3, k.ú. KOUTY U SMILKOVA	Datum: 11/2004	Formát: A4
		Měřítko: 1:50	Stupeň: DSP
Vypracoval ING. P. PRIMAS	Stavebně-architektonická část	Zakázkové číslo	
Projektant ING. M. BÍLEK	PŮDORYS 1.PP	Příloha číslo 05	