VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

STUDIUM VLIVU KONSTRUKČNÍCH SYSTÉMŮ NA ENERGETICKOU NÁROČNOST STAVEB

STUDY OF THE INFLUENCE OF STRUCTURAL SYSTEMS FOR THE ENERGY PERFORMANCE
OF BUILDINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE BC. TOMÁŠ DUS
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE prof. RNDr. Ing. STANISLAV ŠŤASTNÍK, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2015

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Tomáš Dus
Název	Studium vlivu konstrukčních systémů na energetickou náročnost staveb
Vedoucí diplomové práce	prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ Fakulta stavební DĚKANÁT - 1 -

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA Vedoucí ústavu	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1) Halahyja, M., Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie, Alfa Bratislava 1985
2) Kmínová, H.,Studium tepelně technických materiálových vlastností staviv z hlediska jejich projevu na vnitřní mikroklima v budovách, disertační práce FAST VUT Brno 2006
3) Davies, M. G., Building Heat Transfer, John Wiley & Sons Ltd 2004

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Použitím tepelných izolací ve stavebních konstrukcích se redukují zejména tepelné ztráty budovy, vedle této vlastnosti se uplatňují i další užitné vlastnosti použitých staviv. V této souvislosti proveďte:
1) přehled konstrukčních materiálů, jejich fyzikálních vlastností, používaných pro výstavbu objektů pro bydlení,
2) sestavte vhodné výpočtové modely, kterými lze realizovat simulaci okrajových klimatických podmínek ročního období,
3) pro vybrané objekty proveďte porovnání energetické náročnosti a tepelného chování vnitřního mikroklimatu při aplikaci různých druhů stavebních konstrukcí podle výsledku výpočtových simulací,
4) vymezte účelnost použití jednotlivých studovaných skupin staviv pro praktické využití ve stavbách a spotřeby energie pro udržení vnitřních zadaných parametrů prostředí.
Obsah diplomní práce by měl objektivně zhodnotit energetické poměry ve stavbách určených pro bydlení z hlediska použití vybraných stavebních materiálů, tepelných izolantů i dalších vlivů, které ovlivňují energetickou náročnost, například orientace objektu v krajině, za klimatických podmínek ČR.
Při vypracování diplomní práce dbejte zásad platných na FAST VUT Brno.
Požadovaný rozsah diplomové práce 70 - 80 stran.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt
Tématem práce je studium vlivu konstrukčních systémů na energetickou náročnost staveb. Práce porovnává navrhované a skutečně naměřené hodnoty energetické náročnosti vybraných objektů s nosnými konstrukcemi z různých stavebních materiálů.

Klíčová slova
Nízkoenergetický dům, Stavební materiály, Pasivní dům, Energetická náročnost vytápění, Měrná energie na vytápění, Energetická náročnost budovy, Vzájemné porovnání.

Abstract
The theme of the thesis is study the influence of structural systems for the energy performance of buildings. The thesis compares designed and measured values of the energy consumption of selected objects with different bearing structure materials.

Keywords
Low-energy house, Building materials, Passive house, Energy consumption for heating, Specific heating energy, Energy performance of buildings, Comparison of consumption.

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Tomáš Dus *Studium vlivu konstrukčních systémů na energetickou náročnost staveb.* Brno, 2014. 81s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11.1.2015

……

podpis autora

Bc. Tomáš Dus

Tímto bych chtěl poděkovat panu prof. RNDr. Ing. Stanislavu Šťastníkovi, CSc. za metodické vedení a věcné připomínky při zpracování této diplomové práce. Dále děkuji kolegům Ing. Arch. Daliborovi Borákovi, Petru Zelinkovi a Janu Valovi z firmy DOBRÝ DŮM, s.r.o. za poskytnuté podklady a pánům Ing. Arch. Václavu Menclovi a ing. Bohumilu Holčákovi, CSc, za podporu.

Obsah

A.	ÚVOD	4
B.	TEORETICKÁ ČÁST	5
1.	Principy energeticky úsporné a trvale udržitelné budovy	5
1.1.	Synergie budovy a okolního prostředí	6
1.2.	Zajištění vhodného vnitřního prostředí	7
1.3.	Orientace budovy a pasivní zisky	7
1.4.	Kompaktnost objemu a velikost povrchu	7
1.5.	Dispoziční řešení	7
1.6.	Prostupy tepla obálkou budovy	8
1.6.1.	Prostupy plošnými základy	8
1.6.2.	Prostup tepla stěnou	9
1.6.3.	Prostup tepla střechou	10
1.6.4.	Prostup tepla výplněmi otvorů	10
1.6.4.1.	Materiály pro výplně	11
1.6.5.	Prostup tepla konstrukčními vazbami	12
2.	Konstrukční materiály nosných obvodových konstrukcí	13
2.1.	Konstrukční systémy z cihelného zdiva – keramika Heluz	13
2.2.	Konstrukční systémy z pórobetonového zdiva – tvarovky Ytong	13
2.3.	Konstrukční systémy z vápenopískového zdiva – tvarovky KM Beta	14
2.4.	Konstrukční systémy z přírodního kameniva Liapor	14
2.5.	Montované systémy, dřevostavby a stavby s nosnou ocelovou konstrukcí	15
3.	Izolační materiály	16
3.1.	Použití ve skladbách obálky budovy	16
3.2.	Rozdělení tepelně izolačních materiálů	16
4.	Požadavky na stavební materiály a konstrukce	18
4.1.	Požadavky na stavební materiály	18
4.2.	Požadavky tepelné ochrany budov	18
4.3.	Požadavky na energetickou náročnost budov	18
5.	Dokladování energetických hodnocení a plnění energetických požadavků	19
5.1.	Prohlášení o shodě	19
5.2.	Protokoly o tepelně technickém hodnocení	19
5.3.	Průkazy energetické náročnosti budov	20

5.4.	Energetické audity	20
5.5.	Komerční hodnocení	20
6.	Cena a hodnota budovy	21
6.1.	Náklady na pořízení	21
6.2.	Náklady na provoz a údržbu	21
6.3.	Náklady na likvidaci	22
C.	STAVEBNÍ FYZIKA ENERGETICKY ÚSPORNÝCH STAVEB	24
7.	Stavební fyzika budov	24
7.1.	Tepelné vlastnosti konstrukcí a budov	24
7.1.1.	Šíření tepla obálkou domu	24
7.1.1.1.	Vedení tepla	24
7.1.1.2.	Proudění tepla	25
7.1.1.3.	Sálání tepla	26
7.1.1.4.	Tepelná akumulace	26
7.1.1.5.	Nejnižší povrchová teplota konstrukce	27
7.1.2.	Tepelná stabilita místnosti	27
7.1.2.1.	Tepelná stabilita místnosti v zimním období	27
7.1.2.2.	Tepelná stabilita místnosti v letním období	28
7.2.	Šíření vlhkosti	29
7.2.1.	Kondenzace vodních par v konstrukci	29
7.2.1.1.	Roční bilance zkondenzovaných vodních par	30
7.3.	Výpočetní metoda	30
7.4.	Denní osvětlení a oslunění	31
7.4.1.	Požadavky na denní osvětlení	31
7.5.	Venkovní osvětlenost	31
7.6.	Vzduchotěsnost	32
7.6.1.	Vzduchotěsnost obálky budovy	32
7.6.2.	Rozdíl tlaku větru	32
7.6.3.	Rozdíl tlaku rozdílem vnitřní a vnější teploty	33
7.6.4.	Rozdíl tlaku vlivem technologie	33
7.6.5.	Měření vzduchotěsnosti – Blower door test	34
7.7.	Stavební akustika	35
7.8.	Umělé osvětlení	35
D.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	36

8.	Použité metodiky hodnocení vybraných budov	36
8.1.	Metodika hodnocení tepelné stability místností	36
8.2.	Použitá metodika posouzení energetické náročnosti vybraných budov	37
8.3.	Použitá výpočtová metodika	37
8.3.1.	Popis použitého programu	37
8.3.2.	Princip nestacionárního výpočtu programem	38
8.4.	Meteorologická data	39
8.5.	Sledované údaje	40
9.	Vybrané objekty	41
9.1.	NED Praha – zdivo Porotherm	41
9.1.1.	Popis objektu a konstrukčního systému	41
9.1.2.	Výpočtové hodnoty	41
9.1.3.	Údaje o skutečné zjištěné spotřebě energií	45
9.2.	EPD Březina – sendvičové zdivo KM Beta	48
9.2.1.	Popis objektu a konstrukčního systému	48
9.2.2.	Výpočtové hodnoty	48
9.2.3.	Skutečně naměřené spotřeby energií	52
9.3.	EPD Brno Líšeň – dřevostavba	55
9.3.1.	Popis objektu a konstrukčního systému	55
9.3.2.	Výpočtové hodnoty	55
9.3.3.	Skutečně naměřené spotřeby energií	59
9.4.	EPD Brno-Líšeň – nosná ocelová tenkostěnná konstrukce	62
9.4.1.	Popis objektu a konstrukčního systému	62
9.4.2.	Výpočtové hodnoty	62
9.4.3.	Skutečně naměřené spotřeby energií	66
E.	Závěr	69
F.	Seznam obrázků	72
G.	Seznam výkresů	73
H.	Seznam grafů	74
I.	Seznam tabulek	75
J.	Tab. 6: Seznam symbolů	76
K.	Seznam použitých zkratek	78
L.	Literatura	79

A. ÚVOD

Každá budova musí splňovat základní funkční požadavky z hlediska požadovaných užitných vlastností, které jsou dané platnou legislativou. K základním parametrům každého objektu patří jeho plánovaná životnost, udržitelnost a související provozní náklady. Některá historická stavební díla nenávratně zmizela, nebo se nám dochovala pouze jejich torza. Toto úzce souvisí s disharmonií mezi náklady na údržbu, zachováním s vlastnostmi díla a se skutečnými potřebami uživatele objektu.

V současné době se navrhují rodinné a bytové stavby z různých stavebních materiálů. Oproti stavbám historických budov, které byly stavěny převážně z jednoho či dvou dostupných materiálů, se dnešní domy, zejména jejich obvodový plášť, staví ze sendvičových konstrukcí. Požadavkem je kvalitní a funkční bydlení a energetická úspornost při výrobě těchto materiálů i při provozu domů. Spotřeba surovin i energií pro výrobu materiálů za poslední století prudce stoupla, současně s nárůstem lidské populace, zvyšováním životní úrovně lidstva a vytěžováním nerostných surovin.

Rada evropská unie již řadu let usiluje o prosazení legislativy udržitelné výstavby, jedná se nejen o hospodaření s energií, ale i o využívání místních zdrojů, snižování emisní zátěže na životní prostředí. V práci se zaměřuji jen na otázku hospodaření s energií.

Lidé nejsou ochotni slevit ze svých požadavků na tepelný komfort prostředí, s tím souvisí spotřeba energie pro udržení vnitřního klimatu v zimním i letním období. Pro tepelnou pohodu uživatele stavby je důležitým faktorem tepelná stabilita objektu. Nechceme, aby se vnitřní prostor přehříval či naopak rychle vychládal. Je to otázka, se kterou se musí počítat, neboť v interiéru bývají instalovány různé přístroje, které mohou tepelnou rovnováhu narušit. Snaha je související náklady co nejvíce minimalizovat. Volbou materiálů i konstrukčních řešení lze vnitřní poměry ovlivnit, stále jsme pouze na začátku cesty a tak platí v této oblasti většina pravidel v teoretické rovině. U již postavených nízkoenergetických a pasivních domů chybí ve většině případů od jejich majitelů zpětné údaje o skutečných spotřebách energií.

Proto jsem se v této práci zaměřil na praktickou stránku energetické náročnosti obytných staveb. Firma DOBRÝ DŮM, s. r. o., ve které pracuji od jejího založení v roce 2001, je zaměřena na projektování a výstavbu domů výhradně v nízkoenergetickém a pasivním standardu. Využiji pro srovnání teoretických předpokladů s praktickými údaji u několika vybraných projektů, dnes již postavených, a užívaných nízkoenergetických či pasivních rodinných domů. Jednotlivé obytné domy jsou zastoupeny různými typy stavebních konstrukcí, a tím i použitými konstrukčními materiály.

B. TEORETICKÁ ČÁST

1. Principy energeticky úsporné a trvale udržitelné budovy

V současné době se navrhují obytné či rodinné domy tak, aby poskytovaly zejména kvalitní a funkční bydlení. Nedílným požadavkem bývá i výtvarné pojetí objektů a vnitřního prostředí. Samozřejmostí by měla být energetická úspornost a ekologická šetrnost, jak při vlastním zhotovováním stavby, tak i při výrobě komponentů ze kterých jsou díla stavěna.

Ekologické chování ve stavebnictví představuje respektovat priority:

- dávat přednost technologiím a materiálům s malou potřebou energie,
- upřednostňovat technologie a materiály neprodukující CO_2,
- dávat přednost technologiím a materiálům z obnovitelných zdrojů,
- dávat přednost lokálním materiálům a technologiím.

Již ve fázi vypracování studie energeticky úsporných objektů je třeba vycházet z možností pozemku pro stavbu a jejího okolí. Základním navrhovaným tvarem pro objekty je kompaktní, jednoduchý tvar, který by splňoval kritérium co nejmenšího pláště vůči objemu. Současně musí být řešena i vnitřní dispozice s ohledem na tepelně rozdělené zóny, orientaci vůči světovým stranám, zastínění aj. Existuje několik zásad směřujících k ekonomickému a provozně hospodárnému řešení. Při jakémkoliv nesouladu mezi ideálním tvarem a skutečně navrženým objektem je nutné toto kompenzovat technickým řešením konstrukcí, nebo technologií.

Zónování zpravidla vychází ze základního provozního členění domu, tedy na denní a noční část, popřípadě na veřejnou a soukromou část. Pro energeticky úsporné objekty je hlavním požadavkem tepelné zónování, tedy sdružování prostor se stejnou či podobnou vnitřní teplotou, větráním a provozem.

Výstavba, popřípadě rekonstrukce budov musí být prováděna způsobem, který zaručí co nejnižší spotřebu energií po celou dobu životního cyklu budovy. Zde se stala směrnice EPBD I základním evropským předpisem pro snižování spotřeby energií. V České republice se směrnice stala podkladem pro vytvoření zákona o hospodaření s energiemi č.406/2000 Sb., ve znění pozdějších změn.

Zkušenosti s užíváním výše uvedené směrnice vedly k její novelizaci, tedy směrnici Evropského parlamentu a Rady EU 2010/31/EU o energetické náročnosti budov. Tato směrnice bývá označována jako EPBD II, která je v současné době platná a obsahuje požadavky a termíny pro její začlenění do národních legislativ členských států EU.

Směrnice obsahuje čtyři hlavní požadavky, které musí být převedeny do národních legislativ:

- od 31. 12. 2020 budou všechny nové budovy se spotřebou energie blížící se nule; pro budovy v majetku státu toto bude platit již od roku 2018,
- do roku 2020 sníží členské státy Evropské unie společně produkci skleníkových plynů alespoň o 20 %,
- do roku 2020 zvýší členské státy EU společně energetickou účinnost o 20%,
- do roku 2020 zvýší členské státy Evropské unie společně podíl energie z obnovitelných zdrojů na 20 % celkové spotřeby.

V České republice platí následující základními legislativními předpisy, zejména:

- zákon č. 183/2006 Sb. – Stavební zákon,
- prováděcí vyhláška č.268/2009 Sb. – o technických požadavcích na stavby,
- zákon č. 406/2000 Sb. – o hospodaření s energií,
- zákon č. 318/2012 Sb. – o hospodaření s energií,
- vyhláška č. 78/2013 Sb. – o energetické náročnosti budov,
- vyhláška č. 480/2012 Sb. – o energetickém auditu a energetickém posudku,
- vyhláška č. 337/2011 Sb. – o energetickém štítkování,
- vyhláška č. 148/2007 Sb. – o energetické náročnosti budov,
- vyhláška č.499/2000 Sb. – o dokumentaci staveb (energetický průkaz),
- ČSN 73 0540-2 – Tepelná ochrana budov,
- ČSN EN 13829 – Blower door test.

Také dokumenty technické normalizační informace:

- TNI 73 0329 – zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou spotřebou tepla na vytápění – rodinné domy,
- TNI 23 0330 – zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou spotřebou tepla na vytápění – bytové domy.

1.1. Synergie budovy a okolního prostředí

Udržitelná budova je technické označení takové stavby, která je smysluplná a funkční ve všech aspektech, je postavena pro přiměřený účel za ekonomicky přijatelných podmínek a správně a s přijatelnými náklady slouží majiteli. Je vystavěna tak, že ji po dlouhou dobu nebude potřeba měnit a její případné odstranění bude pro životní prostředí šetrné. Pokud se

má budova užívat po dlouhou dobu beze změn, musí být rovněž estetická a harmonicky začleněná do svého okolí. Je nutné co nejlépe využít potenciálu území, ve kterém je budova umístěna a technických možností staveniště, například jímání tepla z blízké řeky, z odpadních vod v přilehlém kanalizačním sběrači apod.

1.2. Zajištění vhodného vnitřního prostředí

Studie a návrh vnitřního uspořádání budovy určuje energetické a ekonomické parametry objektu. Z tohoto vyplývá význam prvotní role architekta a projektanta. Při samotné realizaci stavby pak vše závisí na znalostech stavbyvedoucího a pravidelných odborných kontrolách prováděné investičně technickým dozorem stavby.

1.3. Orientace budovy a pasivní zisky

Při návrhu budovy, která má splňovat požadavek nízké potřeby energií, je třeba vycházet ze situace a kvalit stavebního pozemku a jeho okolí. Ideální osazení novostavby je na severním okraji parcely tak, aby jižní, popřípadě západní fasáda byla osluněna a v maximální míře byly využity solární zisky od slunečního svitu. Z tohoto důvodu se navrhují na jižní a západní stranu rozsáhlá prosklení s optimalizovaným poměrem pasivních solárních zisků a tepelných ztrát prostupem do vnějšího prostředí. V případě, že je účelné třeba kvůli výjimečnému výhledu, lze navrhnout prosklení i jiným směrem, avšak to negativně ovlivní energetickou bilanci domu. Vzniklé energetické ztráty je nutné kompenzovat jinými vlastnostmi konstrukce domu.

1.4. Kompaktnost objemu a velikost povrchu

Základem je správný návrh tvaru domu, který by měl být kompaktní, bez výstupků tak, aby splňoval kritérium co nejmenší plochy pláště k objemu budovy, tedy poměr A/V. Nejpříznivější proporce vychází u kulového tvaru, který se jen obtížně realizuje. Dále pak objekty s kruhovým či eliptickým půdorysem. Také se používá tvar krychle, kde bývá problém s rozdělením vnitřní dispozice, proto se nejčastěji používá tvaru kvádru situovaného delší stěnou k jihu. Pokud je poměr A/V zjevně nepříznivý, těžko se jinými technologickými či technickými úpravami napraví.

1.5. Dispoziční řešení

Současně s návrhem tvaru je nutné navrhovat i vnitřní dispozice domu. Postup při návrhu vychází nejen ze snahy navrhnout správné provozní vazby mezi funkčními celky. Pro energeticky úsporné stavby je typickým požadavkem také teplotní zónování v objektu.

Tedy prostory se stejným či podobným provozem a režimem vytápění. Na osluněnou jižní a západní stranu se navrhují pobytové místnosti a obývací pokoje. Na severní stranu se pak umisťují vstupní partie, chodby, šatny apod. Jednotlivá sociální zařízení a technologická místnost je správné umisťovat nejlépe ve středu dispozice či nad sebou, jelikož bývají napojené na společné instalační rozvody.

1.6. Prostupy tepla obálkou budovy

Únik tepla z budovy nastává její konstrukční obálkou, tedy pláštěm objektu. Obálkou se rozumí veškerá obvodová plocha domu. Jedná se o styk budovy se základovou zeminou a s venkovním prostředím. Popřípadě i kontaktem s přilehlými objekty, které mohou být vytápěné i nevytápěné.

1.6.1. Prostupy plošnými základy

Prostupy plošnými základy se rozlišují u staveb podsklepených a nepodsklepených. U nepodsklepených zděných budov izolujeme tepelnou izolací i vnější líc základových pasů do úrovně ložné spáry základů, tedy do nezámrzné hloubky. Maximálně do -1,3 m extrudovaným nenasákavým polystyrenem - Perimetrem o tloušťce cca 100-200mm. Pro pasivní domy používáme extrudovaný polystyren o tloušťce 200-300mm. Pokud je pro navržena namísto základových pasů základová deska, objekt se nezakládá v úrovni nezámrzné hloubky, je nutné použít tepelnou izolací o tloušťce 200 - 500mm. Základová deska se betonuje přímo na této tepelné izolaci. Materiál izolace může být extrudovaný nenasákavý polystyren čí granulované pěnosklo. V případě dřevostavby je možné založit objekt alternativně na patkách, betonových opěrách nebo na pilířích s provětrávanou mezerou. Tepelná izolace podlahy se řeší obdobně jako izolace stěn. Nesmí se opomenout dokonalé provedení tepelné izolace technických přípojek a prostupů podlahovou konstrukcí. U podsklepené stavby řešení komplikuje provedení tepelné izolace a současně dokonalé provedení hydroizolace spodní stavby. Zde se osvědčilo provedení spodní stavby technologií tzv. bílé vany. Obvodové zdi suterénu se obvykle tepelně izolují extrudovaným nenasákavým polystyrenem v minimálně dvou vrstvách na pero a drážku s prostřídanými spárami. Tato tepelná izolace se chrání nopovou folií z vysokohustotního polyetylenu (HDPE) a vrstvou netkané textilie. V rovině soklu budovy je důležité, aby obvodová tepelná izolace byla instalovaná nepřerušeně, tedy aby tepelná izolace spodní stavby a obvodových stěn vzájemně navazovala. Pro oddělení rozdílných materiálů izolace se používají systémové dilatační profily, které kryjí případné dilatační spáry.

Nelze-li objekt založit na plošném základu, ale z důvodu málo únosného podloží, musíme navrhnout hlubinné základy, vzniká tím komplikace s tepelným oddělením mezi pilotami a vrchní stavbou. V tomto případě lze využít geotermální energie země, do pilot se umisťují kapiláry s nemrznoucí směsí a aktivují se železobetonová jádra jako primární okruh tepelného čerpadla.

V případě použití základových pasů, patek nebo pilot vzniká lineární tepelný most v místě napojení svislého nadzákladového zdiva na základ. Vyřešení tohoto tepelného mostu mezi spodní stavbou a první vrstvou zdiva je poměrně nákladné. Tepelný most se musí přerušit vložením takové tepelné izolace, která musí být schopna přenést napětí ze zatížení stavbou na základ. Nejčastěji doporučované jsou tvarovky z pěněného skla. V případech lehkých montovaných konstrukcí lez použít i tepelně izolační materiály na bázi tvrzených polyuretanových desek či zhuštěných pěnových polystyrenů.

1.6.2. Prostup tepla stěnou

Prostupy tepla stěnami jsou významnou částí úniků tepla tepelnou obálkou objektu do vnějšího prostředí, tedy prostupem mezi vnitřním prostředím budovy a vnějším vzduchem.

Zděné obvodové konstrukce mohou být jednovrstvé, tedy vyzděné z izolujících tvarovek z různých materiálů. Důvodem pro použití jednovrstvých stěn je provedení obálky stěn z pevného, kompaktního a stabilního materiálu v jedné pracovní operaci.

Obvodové stěny jsou navrhovány nejčastěji vícevrstvé složené z více materiálů. Každý materiál plní zadanou funkci čel v rámci skladebného uspořádání konstrukce.

Obvodové stěny sendvičové jsou složené z nosné zděné konstrukce a vrstvy tepelného izolantu. Nejčastěji používané zdivo je blokové o vysoké hmotnosti a v objektu se využívá jejich vysoká akumulační schopnost. Tepelná izolace se umisťuje na vnější stranu konstrukce. Zde je potřebné zvolit takové tloušťky tepelné izolace, aby bylo vyloučeno riziko nadměrného hromadění vnitřního kondenzátu v konstrukci.

Významnou skupinu tvoří dřevěné obvodové konstrukce, většinou se jedná o lehké dřevěné konstrukce přímo vyplněné tepelnou izolací, méně používané jsou těžké dřevěné konstrukce, tedy konstrukce z masivních dřevěných prvků.

Samostatnou skupinou jsou železobetonové monolitické konstrukce.

Je třeba také zmínit použití staviv například ze slaměných balíků, nepálené keramiky či ostatních materiálů, které patří spíše do kategorie experimentálních staveb s využitím alternativních materiálů.

1.6.3. Prostup tepla střechou

Úniky tepla střechou patří k nejvýznamnějším z celkové energetické ztráty objektu. Výhodné jsou tvary střechy, které vychází z minimalizace ochlazované plochy, tedy střechy ploché či pultové, které jsou konstrukčně a cenově nejvýhodnější. Pokud je požadavek na jiný tvar střechy, pak je vhodným kompromisem jednoduchá sedlová střecha. Pro vlastní návrh je důležité zvolit typ střešní konstrukce v souvislosti s požadavkem na využívání podstřešního prostoru. Konstrukce střechy by měla být difúzně otevřená. Pro tuto konstrukci je vhodná víceplášťová střecha s větranou vzduchovou mezerou. Tepelné mosty u střech mohou vznikat u všech prostupů střechou, při průniku a umístění nosných konstrukcí střechy a v místech spojení svislé tepelné izolace obvodového zdiva s tepelnou izolací střechy.

Tvar střechy a její vyložení může příznivě působit v letních měsících zastíněním oken na jižní a na západní fasádě, jež sníží nežádoucí solární zisky. Naopak v zimních měsících její tvar umožnit oslunění těch ploch, kterými se využije sluneční zisk.

1.6.4. Prostup tepla výplněmi otvorů

Okny a dveřmi v obálce domu se zajistí nejen dostatek denního osvětlení v objektu, ale také zabrání úniku tepla do vnějšího prostředí a umožní využívat solárních zisků v přechodném období a v zimě. Prostupy tepla výplněmi otvorů patří k nejvyšším ztrátám i ziskům energie v budově.

Obecně je můžeme rozdělit na prostup tepla výplní, rámem a spárami v osazení výrobku. Do celkového hodnocení kvality z hlediska prostupu tepla oken a dveří musíme započítat nejen prostupy zasklením, ale taká prostupy vlastním rámem. Výrobci často pouze uvádí součinitel prostupu tepla sklem, ale ne rámy. Součinitel prostupu tepla rámem bývá většinou vyšší, takže výsledný součinitel prostupu tepla pro celé okno se zvyšuje. Výrobci se snaží tento koeficient snižovat buď zesilováním rámů či vkládáním různých izolačních materiálů do rámu tak, aby byl přerušen tepelný most.

Správná poloha oken a dveří je v rovině tepelné izolace obálky budovy. Při osazení okna nebo dveří do okenního otvoru je nutné důsledně a správně ošetřit spáru ve styku v osazení okna do otvoru. Připojovací spára by měla být z exteriérové strany překryta tepelnou izolací a utěsněna, z interiérové strany pak parotěsně upravena. Cílem je zabránit tvorbě kondenzátu vodních par ve spáře.

Těsnost spár rámu a vlastního křídla oken a dveří je dosahována obvodovým kováním a trojitým těsněním. Tato kombinace zaručuje dokonalé těsnění po obvodu celého rámu.

Okny a prosklenými dveřmi přicházejí do objektů solární zisky od slunečního záření. Proto navrhujeme na jižní a západní fasádě nejvíce prosklených ploch. Součet těchto ploch by měl být cca 40 % ze součtu výměr jižní a západní fasády. Větší prosklení nemá pro úspory význam, naopak v letních měsících zde dochází k přehřívání objektu, je tedy nutné řešit stínění těchto oken. Okna a dveře na severní fasádě by měla být minimalizována z důvodu velkého úniku tepla v zimním období. Na východní fasádě se umisťují okna tak, aby zajišťovaly potřebné denní osvětlení, ale jejich rozměry byly minimální.

Stínění oken jižní a západní fasády je nutné zejména u pasivních dřevostaveb. Tyto lehké budovy mají velmi nízkou akumulaci tepla i chladu, v letním období se značně přehřívají. Přebytek slunečního záření v letním období odcloníme navrženým stíněním oken. Nejjednodušší je stínění přesahem střechy, pergolami či venkovními okenicemi. Poměrně dražší je použití žaluzií a rolet, které umisťujeme pokud možno vždy z exteriéru. Účinnost vnějších žaluzií a rolet je podstatně vyšší než u stínění ze strany interiéru.

1.6.4.1. Materiály pro výplně

Výrobky výplní otvorů se mohou rozdělit dle užitého materiálu na jejich výrobu:

a) okna a dveře plastové,
b) okna a dveře hliníkové,
c) okna a dveře dřevěné,
d) okna a dveře dřevohliníkové.

Ad a) Výhodou plastových oken je snadná údržba a velmi příznivá cena. Výroba je energeticky náročná. Spotřeba energie na výrobu stejného okna z PVC je dvakrát vyšší než na výrobu okna ze dřeva. Také recyklace dosloužilých výrobků je obdobně problematická.

Ad b) Výhodou hliníkových oken je jejich bezúdržbovou a velmi dlouhá životnost. Tato okna musí mít přerušený tepelný most v rámu, hliník je výborný vodič tepla. Proti použití je velmi náročná výroba, jak samotného hliníku známého svým negativním vlivem na životní prostředí, tak i vlastního výrobku. Výroba je pro životní prostředí více jak 5x horší než výroba plastového okna. Po dožití je výhoda úplné recyklace výrobku.

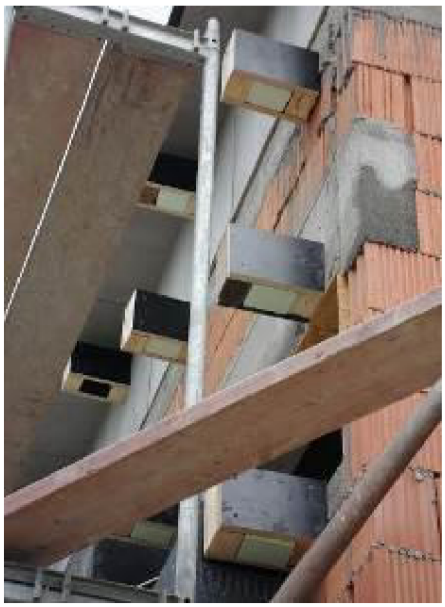
Ad c) Okna dřevěná jsou nejvýhodnější z hlediska spotřeb energií při výrobě. Dřevo je ekologicky obnovitelná surovina a je dobře recyklovatelné. Problematická jsou pouze použitá lepidla, lazury a laky. Také musí být velmi pečlivě ošetřena exteriérová strana rámů, která je namáhána počasím, zejména slunečním UV zářením a dešťovými srážkami.

Ad d) Dřevohliníková okna využívají nejlepších vlastností dřeva a hliníku. Dřevěný rám, ekologický obnovitelný materiál je krytý bezúdržbovými hliníkovými lištami ze strany exteriéru. Často je pod lištami vložena i tepelná izolace. Tato okna mají nejlepší vlastnosti.

1.6.5. Prostup tepla konstrukčními vazbami

Prostupy tepelnými vazbami jsou dosud neprávem zanedbávanými ztrátami energie. Tepelné vazby u styků konstrukcí střech a nosných stěn domů, u rámů oken a v napojovacích spárách výplní otvorů v tepelné obálce je zmiňováno v předcházejícím textu. Nutno ještě zmínit tepelné vazby konstrukcí teras, balkónů a vůbec všech konstrukcí, které jsou kotveny k nosné části stěn domu přes tepelně izolační obálku. Kotvení musí být navrženo tak, aby byl přerušen nebo minimalizován ztrátový tepelný tok. Způsob přerušení je nutno navrhnout podle povahy kotvené konstrukce a statického zatížení, zpravidla je použit některý z k tomuto účelu vyráběných výrobků. V případě, kdy jsou kotveny lehké konstrukce, je možno navrhnout část tepelné obálky domu z pevné izolační hmoty a konstrukci ukotvit přímo do ní. Ideálním řešením je navrhovat vnější konstrukce u domů tak, aby byly samostatně stojící a nebylo nutné kotvení přes tepelně izolační obálku vůbec provádět.

Další problém vytváří tepelné vazby kotvením hmoždinkami, kterými se k nosnému zdivu upevňují tepelně izolační vrstvy obálky domu. Vzhledem k jejich velkému množství musí být hmoždinky zapuštěny do izolantu a opatřeny zátkami. I tak může být energetická ztráta hmoždinkami vysoká a musí být zahrnuta do výpočtu celkové energetické ztráty domu.



Obr. 1: Konstrukce pro kotvení solárních panelů s přerušeným tepelným mostem na fasádě

2. Konstrukční materiály nosných obvodových konstrukcí

Obvodové konstrukce tvoří ochrannou vrstvu mezi interiérem a exteriérem. V rozměrech trvale udržitelné výstavby musí materiály obvodových plášťů za dobu své životnosti ušetřit více energie, než jaké je množství, které bylo a bude spotřebováno na jejich výrobu, zabudování a v konečné fázi i na jejich likvidaci. Obvodové stěny mohou být tvořeny z jednoho materiálu, nebo častěji složené z více materiálů.

2.1. Konstrukční systémy z cihelného zdiva – keramika Heluz

V případě obvodového zdiva z keramických tvarovek HELUZ se pro stavby nízkoenergetických a pasivních domů používají pro jednovrstvé konstrukce tvarovky HELUZ family 50 a HELUZ family 2 in 1. Pro vícevrstvé konstrukce subtilnější tvarovky šířky 250 mm a 300 mm s masivním zateplením ze strany exteriéru. Tvarovky HELUZ family 50 tl. 500 mm mají hodnotu součinitele prostupu tepla $U = 0{,}16$ W/m^{2}K a tvarovky HELUZ family 2 in 1, které splňují požadavky pro pasivní domy, svislé dutiny jsou vyplněny expandovaným polystyrenem, mají hodnotu součinitele prostupu tepla $U = 0{,}11$ W/m^{2}K. Cihelný střep použitý pro broušené tvarovky HELUZ má velmi nízký součinitel prostupu tepla $\lambda < 0{,}3$ W/m.K a také se vyznačuje velmi příznivým průběhem sorpční a desorpční křivky. Vývojem prošlo i samotné zdění. Díky vysoké přesnosti výroby se výška vodorovného maltového lože snížila z původních 12 mm na 2 mm za použití lepidel na cementové bázi se zachováním výškového modulu 250 mm. Pomocí těchto technologií jsou výrazně omezeny tepelné ztráty vlivem ložných spár.

Dobrým příkladem enviromentálního stavebnictví je použití nepálených cihel HELUZ nature energy tl. 120 a tl. 250 mm používané pro vnitřní konstrukce s vysokou akumulací vlhkosti a tepla.

2.2. Konstrukční systémy z pórobetonového zdiva – tvarovky Ytong

Pórobetonové tvárnice YTONG se používají pro obvodové jednovrstvé a vícevrstvé sendvičové zdivo. Systém YTONG má pro jednovrstvé zdivo v sortimentu několik tvarovek. Tepelně izolační tvárnice YTONG theta $^+$ a YTONG lambda $^+$ různých tlouštěk. YTONG theta $^+$ tl. 499 mm má hodnotu součinitele prostupu tepla $U = 0{,}16$ W/m^{2}K a YTONG lambda $^+$ tl. 450 mm má hodnotu součinitele prostupu tepla $U = 0{,}18$ W/m^{2}K.

Pro sendvičový konstrukční systém se používají tvarovky P2-400 PDK s kontaktním zateplovacím systémem ETICS se skladbou EPS-F či minerální izolací.

Společnost XELLA vyrábí také kompozitní tvárnice určené pro jednovrstvé zdění YTONG energy $^{+}$. Třívrstvá tvarovka se skládá z první vrstvy pórobetonu YTONG (ρ = 340 kg/m^3), z prostřední tepelně izolační vrstvy YTONG multipor (ρ = 115 kg/m^3) a třetí vrstvy z pórobetonu YTONG (ρ = 340 kg/m^3). YTONG energy $^{+}$ o tl. 500 mm má hodnotu součinitele prostupu tepla U = 0,11 W/m^{2}K.

2.3. Konstrukční systémy z vápenopískového zdiva – tvarovky KM Beta

Vápenopískové tvarovky nejsou vhodné pro jednovrstvé obvodové zdivo, používají se v sendvičových konstrukcích, kde se využívají jejich dobré vlastnosti. Vysoká pevnost v tlaku, vysoká akumulace tepla a velmi dobré akustické vlastnosti umožňují zdění subtilních nosných obvodových stěn z tvarovek KS-Quadro E o tl. 175 mm (ρ = 1810 kg/m^3). Hodnota tepelné vodivosti λ = 0,82 W/m.K a tepelná kapacita činí c = 1000J/kg.K.

Tvarovky se používají pro obvodové stěny např. s kontaktním zateplovacím systémem ETICS.

2.4. Konstrukční systémy z přírodního kameniva Liapor

Liapor podobně jako ostatní zdící systémy reagoval na rychlý vývoj v tepelně technických požadavcích na budovy několika způsoby:

- vývojem jednovrstvého izolačního zdiva,
- hybridní kombinací jednovrstvé tvárnice s tepelnou izolací,
- vývojem sendvičového systému.

Pro jednovrstvé tepelně izolační zdivo jsou určené tepelně izolační kalibrované tvárnice Liapor K 425, tl. 425 mm s výškou 248 mm, součinitel prostupu tepla $U = 0,28$ W/m^{2}K. Také se používají hybridní kombinace Liapor KSL tl. 365 mm, $\rho = 500$ kg/m^3, součinitel prostupu tepla $U = 0,25$ W/m^{2}K, vyrobené z mezerovitého izolačního lehkého betonu s vnitřními otvory vyplněnými izolační hmotou na minerální bázi.

Sendvičový zdící systém se vyrábí od tl. 200 mm do 365 mm. Využívají se dobré vlastnosti tepelně izolační i akustické. Tvárnice se vyrábějí v různých objemových hmotnostech od 650 kg/m^3 do 1752 kg/m^3 Příkladem je kalibrovaná tvárnice Liapor KM240 tl. 240 mm s izolací ETICS. Kalibrované tvarovky umožňují přesné a úsporné zdění s tenkou maltovou vrstvou o tl. 2 mm.

2.5. Montované systémy, dřevostavby a stavby s nosnou ocelovou konstrukcí

Do montovaných systémů zahrnujeme lehké dřevěné konstrukce, těžké dřevěné konstrukce, dřevěné konstrukce stavěné systémem skeletu a konstrukce s nosnými ocelovými rámy.

Výhoda lehkých dřevěných konstrukcí je umístění tepelné izolace přímo do konstrukce. Jako nosné prvky se používají dřevěné vazníky tvaru I, nebo příhradové nosníky. Fošinkové konstrukce (two-by-four) se dají prefabrikovat jako celé panely. Nevýhodou je velmi malá akumulace tepla, proto se navrhují v interiéru masivní konstrukce (stěny, podlahy).

Těžké dřevěné konstrukce se rozdělují na srubové, roubené a konstrukce z CLT panelů. Masivnost konstrukce umožňuje stavby i vícepodlažních objektů. Roubené objekty umožňují dosáhnout dobrých tepelně izolačních vlastností při zachování pohledového dřeva z interiéru i exteriéru formou dvouplášťové konstrukce. Nevýhodou je vyšší cena, jelikož jsou vyšší nároky na kvalitu dřeva. Tuto vyšší kvalitu splňují pouze lepené lamelové masivní profily, jejichž cena je oproti prvkům lehké dřevostavby z masivních profilů až dvojnásobná. CLT panely se vyrábí z křížem vrstveného lepeného dřeva. Celá konstrukce domu je složená z jednotlivých dřevěných panelů.

Obr.2: Nosná ocelová tenkostěnná konstrukce porovnávaného domu v Brně - Líšni

3. Izolační materiály

3.1. Použití ve skladbách obálky budovy

Tepelně izolační materiály a jejich umístění v obvodovém plášti budov souvisí s materiálovým a konstrukčním řešením objektů. U jednovrstvých zděných, či betonových konstrukcí je možné umístit tepelnou izolaci buď na vnější, nebo na vnitřní stranu konstrukce. U vícevrstvých zděných či monolitických konstrukcí se vzduchovou dutinou je možné tepelnou izolaci umístit ve vnitřní části konstrukce. Zvláštní skupinu tvoří izolace konstrukcí pod úrovní terénu.

3.2. Rozdělení tepelně izolačních materiálů

Tepelně izolační materiály se rozdělují dle druhu použitých materiálů, struktury výrobků, jejich složení a použité technologie k výrobě. Dnes běžně používané tepelně izolační materiály s vyšší hmotností všeobecně negativně zatěžují životní prostředí.

Materiály můžeme rozdělit:

- izolace z přírodních materiálů,
- dřevovláknité izolace,
- rozvlákněná celulóza,
- dřevocementové izolace,
- minerální vláknité izolace,
- pěnový polystyrén,
- polyuretan, PUR, PIR,
- polyetylén, PE,
- izolace na bázi fenolické pěny,
- pěnové sklo,
- termoreflexní izolační folie,
- aerogely, pyrogenní kyselina křemičitá,
- nanogely, nanopore technologie,
- transparentní izolace.

Vzhledem k tomu, že používané tepelné izolace z hlediska enviromentálního hodnocení vlivu na životní prostředí pomocí LCA, LCIA, více negativně zatěžují ve všech parametrech životní prostředí než přírodní materiály, dále jsou uvedeny jen vybrané přírodní materiály, které vykazují nejpříznivější hodnocení.

- Konopné izolace Thermo-konopí® Plus
  součinitel tepelné vodivosti λ = 0,04 W/m.K,
  faktor difúzního odporu μ = 1 – 2,
  objemová hmotnost ρ = 30 – 42 kg/m^3,
  největší tepelná zátěž 120°C,
  měrná tepelná kapacita c = 1600 J/kg.K,
  sorpční hmotnostní vlhkost 20 %.
  Konopné izolace se vyrábí ve formě desek, rolí, rouna a rohoží v tl. 20 – 220 mm po 10 mm. Popřípadě jako konopný filc. Používají se jako tepelná izolace střech, stěn (převážně dřevěných) a fasád. Filc se používá jako kročejová izolace do podlah. Konopná izolace se dá použít jako foukaná sypká izolace.

- Izolace z ovčí vlny se standardně vyrábí v šířkách 1 m. Podkladní vrstva je PES netkaná textilie. Izolace je z rouna šedé barvy, což je 100% čistá praná ovčí vlna.
  λ = 0,0392 – 0,042 W/m.K,
  faktor difúzního odporu μ = 1 – 2,
  objemová hmotnost ρ = 14 – 23 kg/m^3,
  bod vznícení 560°C,
  sorpční hmotnostní vlhkost 35 %.
  Izolace je vhodná jako výplňový tepelně izolační materiál. Rohože šíře 1000 mm o tl. 80 nebo 100 mm se používají do lehkých plášťů střech.

- Dřevovláknité izolace jsou vyráběny z jemných dřevěných vláken, zejména ve formě desek s různou objemovou hmotností.
  λ = 0,038 – 0,050 W/m.K;
  faktor difúzního odporu μ = 1 – 2,
  objemová hmotnost ρ = 160 – 270 kg/m^3,
  měrná tepelná kapacita c = 2100 J/kg.K,
  sorpční hmotnostní vlhkost 15 – 20 %.
  Dřevovláknité izolace se zpravidla vyrábějí ve formě lisovaných desek se spoji pero – drážka po celém obvodu. Používají se zejména u dřevostaveb pro zateplení pláště a střech. Také se používají do podlah jako kročejová izolace.

4. Požadavky na stavební materiály a konstrukce

Tyto požadavky uvádějí platné zákony nebo nařízení EU, zpřesňují je prováděcí vyhlášky nebo nařízení vlády. Podrobnosti pak řeší příslušné technické normy.

4.1. Požadavky na stavební materiály

Používané stavební materiály a výrobky musí mít v prohlášení o shodě a návazných dokumentech doložené vlastnosti podle zákona č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky, v návaznosti na platnou směrnici Rady EU č. 89/106/EHS o sbližování právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků. Dále pak nařízení Evropského parlamentu a Rady EU č. 305/2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh.

4.2. Požadavky tepelné ochrany budov

Plnění požadavků tepelné ochrany budov vyžaduje vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby, včetně změny této vyhlášky č. 20/2012 Sb. Podrobnosti řeší platná ČSN 73 0540-2.

Přehled veličin, které ovlivňují energetickou náročnost budovy:

- součinitel prostupu tepla U jednotlivé konstrukce tvořící obálku budovy,
- lineární a bodový činitel prostupu tepla ψ_e a χ_e tepelných vazeb mezi konstrukcemi návazně na obálku budovy,
- průměrný součinitel tepla U_{em} obálky budovy,
- intenzita větrání místností n,
- celková průvzdušnost obálky budovy prostřednictvím celkové intenzity výměny vzduchu n_{50} při tlakovém rozdílu 50 Pa,
- celková propustnost slunečního záření g zasklením výplní otvorů na J-V-Z straně budovy.

4.3. Požadavky na energetickou náročnost budov

Komplexní hodnocení energetické náročnosti budovy ENB včetně požadavků je uvedeno v českých předpisech zákonem č. 177/2006 Sb. a prováděcí vyhláškou 148/2007 Sb. Požadovaná hodnota ENB se stanoví metodou referenční budovy podle ČSN EN 15217 a prokazuje se individuálně pro každou budovu.

5. Dokladování energetických hodnocení a plnění energetických požadavků

5.1. Prohlášení o shodě

Prohlášení o shodě zpracovává výrobce a verifikuje autorizovaná osoba. Certifikáty a osvědčení zpracovává přímo autorizovaná osoba a shrnují se v nich předepsanou formou výsledky úředního ověřování. Tyto dokumenty jsou většinou zveřejňovány na webu výrobce.

5.2. Protokoly o tepelně technickém hodnocení

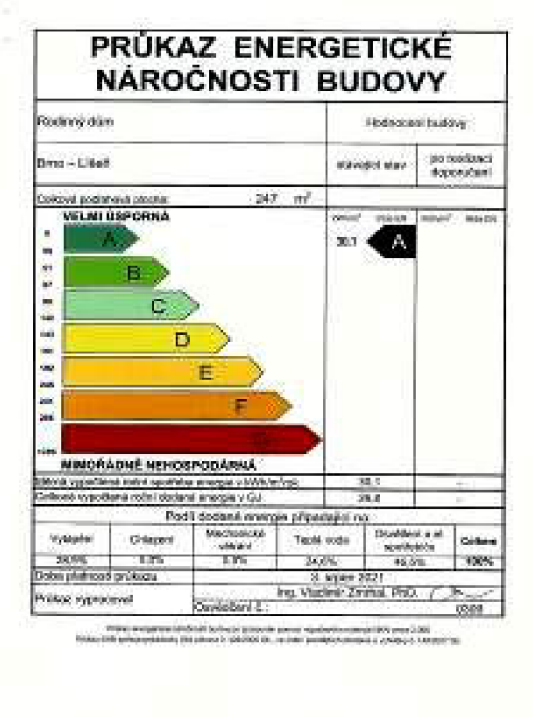
K prokázání splnění požadovaných hodnot a porovnání ukazatelů tepelně technických vlastností budovy a konstrukcí slouží protokoly o tepelně technickém hodnocení uvedené v ČSN 73 0540-2:2011 v příloze B. Výsledky z protokolu by se pak měly citovat v průkazech energetické náročnosti budovy dle zákona o hospodaření s energií.

Protokoly musí obsahovat:

- nejnižší vnitřní povrchovou teplotu konstrukce θ_{si} hodnocenou pomocí f_{Rsi},
- součinitel prostupu tepla obálkou budovy U pro všechny ochlazované konstrukce,
- součinitel prostupu tepla obálkou budovy U_{em} a porovnání s normovým $U_{em,N}$,
- lineární a bodové činitele prostupu tepla ψ_e a χ_e a jejich porovnání s normovými hodnotami $\psi_{e,N}$ a $\chi_{e,N}$,
- pokles dotykové teploty podlahy $\Delta\theta_{10}$ pro všechny podlahy na ochlazovaných konstrukcích a porovnání s normovým $\Delta\theta_{10,N}$,
- zkondenzované množství vodní páry uvnitř konstrukce M_c pro všechny ochlazované konstrukce v zimním období a porovnání schopnosti vypařování vůči kondenzaci v ročním průběhu podle normy M_{ev} - M_c,
- celková průvzdušnost obálky budovy n_{50} při tlakovém rozdílu 50 Pa porovnaná s požadovanými hodnotami $n_{50,N}$,
- intenzita výměny vzduchu v místnosti n pro rozhodující užívané a neužívané místnosti a porovnání s požadovanými hodnotami n_N podle normy,
- tepelná stabilita místností v zimním období se doloží výpisem hodnot poklesu výsledné teploty $\Delta\theta_{v(t)}$ pro kritické místnosti. Splnění požadavku se prokazuje porovnáním s normovými hodnotami $\Delta\theta_{v(t),N}$,
- tepelná stabilita místností v letním období se doloží výpisem hodnot nejvyšší denní teploty pro letní období $\theta_{ai,max}$ pro kritické místnosti. Splnění požadavku se prokazuje porovnáním s normovými hodnotami $\theta_{ai,max,N}$.

5.3. Průkazy energetické náročnosti budov

Průkazy energetické náročnosti budov (PENB) se zpracovávají s obsahem a formou podle vyhlášky o energetické náročnosti budov č. 148/2007 Sb. Nejdůležitější je při tom protokol průkazu, v kterém je doložen postup hodnocení a mezivýsledky. Součástí je i grafické znázornění průkazu, viz následující obrázek.



Obr. 3: Průkaz energetické náročnosti – EPD Brno Líšeň

5.4. Energetické audity

Energetické audity mají obsah zadaný vyhláškou č. 213/2001 Sb. a její změnou č. 425/2004 Sb. Závěrečný evidenční list má vyžadovanou ustálenou formu. Oproti tomu energetické posudky nemají předepsanou ani formu ani obsah. Doporučuje se obsah volit tak, aby posudek mohl případně tvořit součást energetického auditu.

5.5. Komerční hodnocení

Mezi nejpoužívanější komerční hodnocení se řadí hodnocení typu PHI podložené výpočtem PHPP. Většina ostatních nestandardních dokumentů často připomíná oficiální dokumenty či certifikáty a štítky autorizovaných osob pověřených státem k výkonu ověřovacích a dozorčích činností.

6. Cena a hodnota budovy

Životní cyklus stavby je období v letech počínající formulací investičního záměru, realizací stavby, provozováním stavby a nakonec i ukončením, tedy likvidací. Tento cyklus můžeme rozdělit do čtyř skupin:

- před investiční,
- investiční – vlastní stavba,
- provozní,
- likvidační.

6.1. Náklady na pořízení

Náklady na pořízení zahrnují skupinu činností před investičními a investičních. Vypracováním investičního záměru a výběrem vhodných technicko – ekonomických ukazatelů je zjišťována nejen ekonomická efektivnost, ale i technická proveditelnost a finanční náklady. Součástí před investiční fáze je vypracování prováděcí projektové dokumentace a získání stavebního povolení. Ve fázi investiční probíhá podrobná projektová dokumentace a vlastní realizace stavby, vedoucí k předání stavby do užívání. Z celkových nákladů tyto části zahrnují asi 20 % z celkového součtu všech nákladů po celou dobu životnosti objektu. U rodinných domů je toto procento vyšší než u více bytových domů a ostatních objektů.

6.2. Náklady na provoz a údržbu

Náklady na provoz začínají předáním dokončené stavby uživateli. Provozní náklady zahrnují energetickou náročnost stavby související s jejím provozem a náklady spojené s opravami, údržbou a úklidem. V dlouhodobém hledisku i náklady na razantnější opravy, výměny technologií a rekonstrukce celých objektů. Jedná se o náklady spojené s provozem budovy a obnovovací náklady na pořizování nových prvků po uplynutí jejich životnosti. Do provozních nákladů se zahrnují náklady na spotřeby energií, spotřeby vody, stočné, náklady na úklid a čištění, odvozy a likvidace odpadu z provozu, náklady na údržbu, náklady na opravy, náklady na kontroly a revize, pojištění, daně, apod.

Z celkových nákladů tato část zahrnuje asi 75 % z celkových nákladů.

6.3. Náklady na likvidaci

Náklady na likvidaci jsou spojeny s likvidací objektu po skončení provozu. Z celkových nákladů je tato část asi 5 % z celkových nákladů.

Životní cyklus stavby úzce souvisí s technickou životností.

Z výše uvedených nákladů je zřejmé, že i vyššími náklady v investiční fázi, při kterých v rozhodovacím procesu je navržena úspornější technologie, dochází k celkovému snížení nákladů. Dochází k větší úspoře v provozní době oproti investičním nákladům. Pro budovy, v rámci národních orgánů, platí metodiky stanovení nákladově optimální úrovně minimálních požadavků energetické náročnosti budov v souladu s EPBD II.

Konkrétní výpočtová metodika je založena na ČSN EN 15459:2011 – energetická náročnost budov – postupy pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách.

Výpočet celkových měrných nákladů:

$$C_g(\tau) = C_j + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{r} \left(C_{a,i}(j) R_d(i) - V_{f,\tau}(j) \right) \right] \quad (1),$$

kde:

$C_g(\tau)$ jsou celkové měrné náklady pro danou variantu za dobu hodnocení 30 let,

C_j celková výše vstupní investice v počátečním okamžiku,

$C_{a,i}$ roční náklady na daný rok i pro prvek j, které jsou definovány jako obnovovací náklady pro prvek nebo soustavu a periodické náklady v roce i,

$$C_{a,i} = C_r + C_p(i), \quad (2),$$

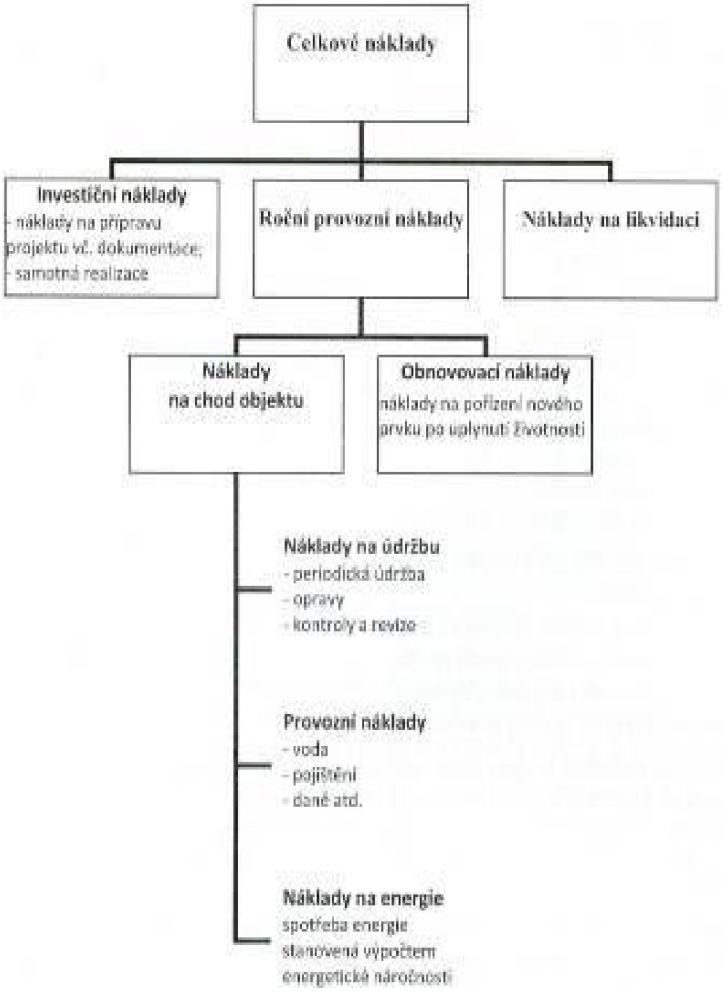
kde:

C_r jsou náklady na energii, roční náklady na údržbu, ostatní provozní náklady,

C_p jsou periodické náklady v roce i – obnova po době životnosti,

$R_d(i)$ diskontní sazba pro rok i,

$V_{f,t}(j)$ konečná hodnota prvku j na konci výpočtového hodnoceného období.



Obr. 4: Schéma členění jednotlivých nákladů při výpočtu nákladového optima

Mimo hledání ekonomicky nejpříznivějšího stavu má zajištění nízké energetické náročnosti budovy i další pozitivní dopady na vlastníka, popřípadě uživatele objektu. Jedná se o energetickou bezpečnost, tady zvýšení nezávislosti na potřebě paliv a energetických zdrojů, lepší teplotní komfort, lepší kvalitu vnitřního prostředí, zejména vzduchu, a také snížení rizika extrémního navýšení provozních nákladů na primární energie při navyšování jejich ceny. Dalšími pozitivními aspekty je zlepšování životního prostředí, celkově pomalejší čerpání energetických zdrojů a nerostného bohatství.

C. STAVEBNÍ FYZIKA ENERGETICKY ÚSPORNÝCH STAVEB

Jedná se zejména o stavebně tepelnou techniku, která se zaobírá tepelnou ochranou budov a zajištění tepelné pohody, stavební akustiku a osvětlení budov, jak denní, tak i umělé.

7. Stavební fyzika budov

7.1. Tepelné vlastnosti konstrukcí a budov

Shrnuje vlastnosti objektů dle ČSN 73 0540. Jedná se o šíření tepla konstrukcí a obálkou budov, šíření vlhkosti konstrukcí, tepelnou stabilitu v objektech a šíření vzduchu v konstrukcích a budově.

7.1.1. Šíření tepla obálkou domu

U šíření tepla obálkou budovy a konstrukcí zjišťujeme tyto hodnoty:

- Součinitel prostupu tepla U,
- Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy U_{em},
- Lineární a bodový činitel prostupu tepla ψ_e a χ_e,
- Nejnižší povrchová teplota konstrukce $\theta_{si,min}$,
- Pokles dotykové teploty podlahy $\Delta\theta_{10}$,

Teplo se v prostředí šíří vedením, prouděním a sáláním.

7.1.1.1. Vedení tepla

Vedení tepla je schopnost materiálu vést teplo. Tuto vlastnost popisuje tepelná vodivost λ [W/mK]. Tepelně izolační vlastnosti vyjadřuje tepelný odpor R [m^{2}K/W], který u homogenního materiálu určíme ze vztahu:

$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad \text{a u vícevrstvého homogenního materiálu} \quad R = \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} \qquad (3), (4).$$

Pouze vedením se teplo šíří pouze v homogenních nepórovitých materiálech, například v kovech. Většina stavebních materiálů je pórovitá, teplo se v nich šíří jak vedením, tak v pórech sáláním a prouděním. Vedení tepla však ostatní hodnoty značně převyšuje. Proto se u nehomogenních materiálů stanovuje ekvivalentní tepelná vodivost jako u homogenního materiálu. Tato ekvivalentní tepelná vodivost zahrnuje všechny tři složky šíření tepla.

U obálky budovy se tepelné toky zjišťují prostřednictvím hodnot součinitele prostupu tepla jednotlivých komponent konstrukce U [W/m^{2}K], který je převrácenou hodnotou odporu konstrukce při prostupu tepla R_T.

$$U = \frac{d}{(R_{si} + R + R_{se})} \qquad (5).$$

Nesmí se zapomínat na odpory na vnitřní a venkovní straně obálky a tepelné mosty v konstrukcích. Přibližný výpočet provedeme dle ČSN EN ISO 6946 či metodou Fokina dle ČSN 73 0540-4. Přesnější výpočty se provádí řešením v 2D, nebo 3D teplotních polích dle ČSN EN ISO 10211, ČSN EN ISO 13370, ČSN EN ISO 10077 a podobných. Vliv tepelných mostů se může zohlednit navýšením součinitele prostupu tepla ΔU proti hodnotě v ideálním stavu U_{id}.

$$U = U_{id} + \Delta U \qquad (6).$$

Vliv tepelných mostů se považuje za zanedbatelný, pokud je menší než 5% hodnoty součinitele prostupu tepla U. Z toho vyplývá, že u konstrukcí s velmi nízkým prostupem tepla vykazují i malé tepelné mosty nezanedbatelný účinek. Běžně zanedbávané tepelné mosty jsou z pohledu současné výstavby u pasivních a nulových domů nepřípustné.

Měřítkem hodnocení energetické náročnosti budovy je průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} (W/m^{2}K). Je to vlastnost budovy charakterizující souhrnné energetické působení všech konstrukcí a spojů na hranici obálky budovy. Tento fakt je zohledněn ve zpracování hodnocení vlastností budov formou průkazu energetické náročnosti budovy PENB.

7.1.1.2. Proudění tepla

Proudění tepla je složkou šíření tepla vzduchem. U stavebních konstrukcí se projevuje při přestupech tepla mezi konstrukcí a přilehlým prostředím či v dutinách v konstrukci.

V praxi se uvažují při přestupech tepla u vnějšího a vnitřního povrchu konstrukce konstantní normové hodnoty pro běžné vnitřní a vnější prostředí. Tedy hodnoty tepelných odporů R_{si} a R_{se} se uvádějí jako normové návrhové hodnoty dle ČSN 73 0540.

Proudění vzduchu spárami a netěsnostmi může způsobit násobně vyšší energetický projev než zvýšené vedení tepla lokálními tepelnými mosty.

7.1.1.3. Sálání tepla

Sálání tepla je představuje šíření tepla elektromagnetickým vlněním. Jedná se o způsob přenosu tepla mezi konstrukcí a okolním prostředím. Význam projevu sálání tepla se u nízkoenergetických objektů zvyšuje, dříve byla složka sálání u tepelně-technických výpočtů většinou zanedbávána.

7.1.1.4. Tepelná akumulace

Tepelnou akumulaci konstrukce a její vliv na vnitřní teplotní stabilitu lze vyjádřit pomocí tepelné kapacity C vztažené na jednotku plochy (plošná tepelná kapacita). Tepelná kapacita je množství tepla, které konstrukce pohltí nebo vydá při ohřátí či ochlazení o jeden K.

$$C = c \,.\, \rho \,.\, d \qquad (7),$$

kde: c měrná tepelná kapacita,
ρ měrná hmotnost,
d tloušťka konstrukce.

Tepelnou akumulaci lze rovněž vyjádřit pomocí tepelné jímavosti b, což je schopnost materiálu přijímat teplo:

$$b = \lambda \,.\, r \,.\, c \qquad (8),$$

kde: λ součinitel tepelné vodivosti,
ρ měrná hmotnost,
c měrná tepelná kapacita.

Čím větší je hodnota tepelné jímavosti, tím lepší je schopnost materiálu akumulovat teplo. Zjednodušeně ji lze považovat za parametr, který informuje o vlastnosti materiálu způsobující zpomalení vychládání objektu při topné přestávce v zimě a naopak o ohřívání objektu vlivem venkovních zdrojů tepla v létě.

Při přerušovaném vytápění je významná také schopnost konstrukce akumulovat teplo v době vytápění a pak jej vydávat. Akumulace tepla je přímo úměrná součiniteli tepelné vodivosti, měrné tepelné kapacitě a objemové hmotnosti materiálu stavební konstrukce. Akumulaci zhoršuje projev absorpce a desorpce vlhkosti.

7.1.1.5. Nejnižší povrchová teplota konstrukce

Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce je dalším požadavkem na stavby z hlediska životních podmínek. Následkem bývá uvolňování nebezpečných látek či výskyt zvýšené vlhkosti, tedy vznik plísní. U dřevěných konstrukcí je tento jev obzvláště závažný z důvodu zvýšených rizik se vznikem statických vad a poruch. Požadavek na nejnižší povrchovou teplotu $\theta_{si,min}$ se prokazuje nejnižším teplotním faktorem vnitřního povrchu $f_{Rsi,min}$, který musí být nejméně na úrovni kritické hodnoty

$f_{Rsi,cr} = f_{Rsi,N}$ pro okrajové podmínky.

Při stanovení požadavku na nejnižší povrchovou teplotu konstrukce je důležitá relativní vlhkost vnitřního prostředí φ , která je navýšena o bezpečnostní vlhkostní přirážku $\Delta\varphi_i$ = 5%.

Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu se stanoví ze vztahu:

$$f_{Rsi,cr} = f_{Rsi,N} = 1 - \frac{237{,}3 + 2{,}1\theta_{ai}}{\theta_{ai} - \theta_{ex}} \cdot \frac{1}{1{,}1 - 17{,}269/\ln(\varphi_{i,r}/\varphi_{si,cr})} \qquad (9).$$

Hodnotí se kritické detaily, tepelné mosty obálky budovy. Je důležité se zaměřit na všechny styky konstrukcí a materiálů, kde dochází ke změnám v tepelně izolačních vlastnostech.

Požadavek na provádění hodnocení pro normové mezní podmínky pak jednoznačně vymezuje ty případy, při kterých může dojít k dočasné, přípustné kondenzaci na vnitřním povrchu konstrukcí.

7.1.2. Tepelná stabilita místnosti

Při změnách vnějších teplot a požadavku stabilních vnitřních teplot, se posuzuje teplotní zatížení budovy v letním a zimním období. V současné době je klíčové letní období, neboť zvětšováním prosklení fasád a z důvodu změny klimatu dochází k přehřívání vnitřních prostorů budov.

7.1.2.1. Tepelná stabilita místnosti v zimním období

Tepelná stabilita se v zimním období hodnotí chováním vnitřního prostoru budov při volném chladnutí po ukončení vytápění po stanovenou dobu *t*. Toto vede k návrhu vnitřního prostoru, který je schopen si zachovat po delší dobu přiměřenou vnitřní teplotu i při nízkých venkovních teplotách v době, kdy není v provozu vytápění. Pokles této vnitřní teploty musí být nižší než normový, tedy:

$$\Delta\theta_{v(t)} \leq \Delta\theta_{v,N(t)} \qquad (10).$$

Požadované hodnoty $\Delta\theta_{v,N(t)}$ odpovídají činnostem v místnosti podle tabulky 1. Hodnocení se provádí bez vlivu slunečního záření, tedy bez vlivu orientace budovy.

Tab. 1: Požadované hodnoty poklesu teploty v zimním období $\Delta\theta_{v,N(t)}$ [32],

Druh místnosti		Pokles výsledné teploty v zimním období $\Delta\theta_{v,N(t)}$ (K)
S pobytem osob po přerušení vytápění - při vytápění radiátory, sálavými panely, teplovzdušně		3
- při vytápění kamny a podlahovém vytápění		4
Bez pobytu osob po přerušení vytápění: - při přerušení vytápění topnou přestávkou	Masivní budovy	6
	Lehké budovy	8
- při předepsané nejnižší výsledné teplotě $\theta_{v,min}$		θ_i - $\theta_{v,min}$
- při nejnižší předepsané teplotě $\theta_{v,min}$		θ_i - 8
- při skladování potravin		θ_i - 1
- při nebezpečí zamrznutí vody		θ_i - 1

7.1.2.2. Tepelná stabilita místnosti v letním období

Tepelná stabilita místností v letním období $\theta_{ai,max}$ hodnotí chování vnitřního prostoru při letním přehřívání bez uvažování vlivu strojního zařízení, tedy klimatizace a strojů. Prokazuje se nejvyšší denní teplota vzduchu v letním období:

$$\theta_{ai,max} \leq \theta_{ai,max,N.} \qquad (11).$$

Požadované hodnoty nejvyšší denní teploty vzduchu v letním období jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2: Požadované hodnoty nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti $\theta_{ai,max,N}$ [32],

Druh budovy		Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období $\theta_{ai,max,N}$ (K)
Nevýrobní [1]		27,0
Ostatní s vnitřním zdrojem tepla	- do 25 W/m^2 včetně	29,5
	- nad 25 W/m^2	31,5
[1] U obytných budov se připouští překročení požadované hodnoty nejvýše o 2°C na souvislou dobu max. 2 hodiny v normovém dni, souhlasí-li s tím investor, stavebník, uživatel.		

V závislosti na charakteru provozu budovy, technologických požadavcích, tělesné aktivitě osob, provozních strojích mohou být uplatněny i přísnější požadavky.

Hodnocením se prokazuje schopnost budovy odolávat přehřívání v letním období bez působení klimatizace a vnitřních teplotních zisků. Budovy vybavené klimatizací musí splňovat podmínku:

$$\theta_{ai,max} \leq 32°C \qquad (12).$$

7.2. Šíření vlhkosti

U šíření vlhkosti konstrukcí se sleduje buď vyloučení kondenzace v konstrukci, nebo dosažení příznivé roční bilance kondenzace vodních par při současném omezení zkondenzovaného ročního množství.

7.2.1. Kondenzace vodních par v konstrukci

Prověřuje se riziko vzniku kondenzace vodních par M_c uvnitř konstrukce. Nejbezpečnější je vyloučení vnitřní kondenzace vodní páry, tedy platí:

$$M_c = 0 \qquad (13).$$

Další úrovní je omezení zkondenzovaného množství uvnitř konstrukce na takovou míru, která je definována nejvýše přípustnou normovou hodnotou zkondenzovaného množství $M_{c,N}$, tedy splněním požadavku:

$$M_c \leq M_{c,N} \qquad (14).$$

7.2.1.1. Roční bilance zkondenzovaných vodních par

Při posuzování omezené roční bilance kondenzace a vypařování vodních par uvnitř konstrukce M_c se zjišťuje stav, aby se trvale nezvyšovala vlhkost v konstrukci. Celkové roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce M_c (kg/m^{2}a) musí být nižší než množství vypaření vodní páry z konstrukce M_{ev} (kg/m^{2}a).

$$M_c \leq M_{ev} \qquad (15).$$

Problémy na stavbách vznikají zejména ve spárách mezi konstrukcemi, jejichž difúzní propustnost je větší než u přilehlých konstrukcí. Typickým příkladem jsou připojovací spáry u výplní otvorů. Z tohoto důvodu je nutné překrývat spáru z interiéru parozábranou proti pronikání vodní páry a to buď tmelením nebo překrytím plastovou paronepropustnou páskou.

Ve skládaných konstrukcích se parotěsná vrstva navrhuje a provádí při vnitřní straně konstrukce (tepelné izolace). Někdy mívá i vzduchotěsnící funkci. Vnější povrch je třeba volit z materiálů s co nejnižším difúzním odporem se souběžným požadavkem bezpečné ochrany proti povětrnosti.

Šíření vlhkosti konstrukcí ovlivňuje nejen teplota interiéru a exteriéru, která je proměnlivá, ale i relativní vlhkost vzduchu v interiéru a exteriéru a i srážky, které smáčí povrchové vrstvy obálky.

7.3. Výpočetní metoda

Přesnější metoda pro zjišťování a hodnocení šíření tepla a vlhkosti ve stavebních konstrukcích je dynamický model současného šíření tepla a vlhkosti v porézních materiálech, který vychází ze soustavy diferenciálních rovnic tzv. Künzelovy soustavy [50], kde neznámými veličinami jsou teplota nebo vnitřní vlhkost:

$$\begin{aligned} \frac{dH}{dT}\cdot\frac{\partial T}{\partial t} &= \nabla(\lambda\nabla T) + h_v\nabla(\delta_p\nabla(\varphi p_{sat})) \\ \frac{dw}{d\varphi}\cdot\frac{\partial \varphi}{\partial t} &= \nabla(D_\varphi\nabla\varphi + \delta_p\nabla(\varphi p_{sat})) \end{aligned} \qquad (16),$$

kde:

dH/dT	akumulace tepla ve vlhkém materiálu (J/m^{3}K),
$dw/d\varphi$	akumulace vlhkosti v materiálu v (kg/m^3),
D_φ	součinitel kapilární vodivosti vlhkosti v (kg/ms).

7.4. Denní osvětlení a oslunění

Denní osvětlení a oslunění budov je jeden z hlavních požadavků na vnitřní prostředí. Dostatečná intenzita a rovnoměrnost osvětlení zajišťuje dobrou viditelnost a bezpečnost provozu objektů. Solární energii zároveň využíváme pro tepelné zisky objektů, zejména v zimním a přechodném období.

7.4.1. Požadavky na denní osvětlení

Jedním z požadavků na vnitřní prostředí je zraková pohoda. Pro hodnocení osvětlenosti vnitřních prostor budov používáme činitel denní osvětlenosti:

$$D = \frac{E}{E_h} 100 \ (\%) \qquad (17),$$

kde:

E je osvětlenost v bodě srovnávací roviny při rovnoměrné zatažené obloze (lx),

E_h je osvětlenost $E_h = \pi . L_m$ (lx) venkovní vodorovné nezacloněné roviny při rovnoměrné zatažené obloze a průměrném jasu oblohy L_m (cd/m^2).

Osvětlenost neovlivňuje jen světlo, které přichází přímo osvětlovacím otvorem, ale také odrazové složky. Výsledný činitel se stanoví ze součtu všech dílčích složek:

$$D = D_s + D_i + D_e \ (\%) \qquad (18),$$

kde: D_s je oblohová složka,

D_i je vnější odražená složka,

D_e je vnitřní odražená složka.

Tyto hodnoty se ještě korigují hodnotou souhrnného činitele prostupu světla τ_0. Podrobnější rozbor by byl nad rámec této práce.

7.5. Venkovní osvětlenost

Venkovní osvětlenost představuje intenzitu denního osvětlení na vodorovném povrchu země. Osvětlenost zahrnuje přímé světelné záření i difúzní záření oblohového světla, jehož zdrojem je každý bod oblohové hemisféry. Úroveň venkovní denní osvětlenosti se v průběhu dne i celého roku mění. Charakteristické hodnoty osvětlenosti v závislosti na klimatických podmínkách uvádí tabulka 3.

Tab. 3: Charakteristické hodnoty venkovního osvětlení [56]

Charakteristika venkovních podmínek	Venkovní osvětlenost E_h [lx]
Jasná sluneční obloha	60 000 až 100 000 (max 120 000)
Zatažená obloha, léto	do 20 000 (max 30 000)
Zatažená obloha, zima	do 3 000 (max 5 000 až 9 000)

K zvýšení přesnosti hodnocení denního osvětlení přispěly standardizované modely CIE S 011/E:2003 a ISO 15469:2004. Jejich použití umožňuje zpřesnění počítačového modelování, světelně technické a energetické hodnocení budov s konkrétními údaji, optimalizaci sdruženého osvětlení a posouzení oslnění.

7.6. Vzduchotěsnost

Vzduchotěsnost znamená těsnost obálky budovy proti únikům vnitřního vzduchu a vniku venkovního. Nízká hodnota vzduchotěsnosti vede k zvětšení tepelných ztrát a toto ke zvýšení spotřeby energie.

7.6.1. Vzduchotěsnost obálky budovy

Při nízkých teplotách v zimním období dochází k infiltraci studeného venkovního vzduchu do objektů skrz netěsnosti v konstrukcích obálek domů a zároveň k odsávání teplého vnitřního vzduchu. Opačný problém nastává v letním období, kdy chladný vnitřní vzduch uniká netěsnostmi do venkovního prostředí.

Prouděním vzduchu netěsnostmi dochází ke snižování teplot v celém prostoru proudnice a tím ke vzniku tepelných mostů. Zde dochází v místě rosného bodu ke kondenzaci vodních par. Zkondenzovaná voda v konstrukci snižuje její tepelně technické vlastnosti a postupem času i podmiňuje degradaci samotné konstrukce a jejích složek.

7.6.2. Rozdíl tlaku větru

Účinek větru vyvolává přetlak na návětrné straně budovy, na závětrné podtlak. Tento jev vtlačuje na návětrné straně venkovní vzduch do objektu a na závětrné je vnitřní vzduch odsáván. Základní vzorec pro výpočet rozdílu tlaku:

$$\Delta p_v = C_p . \rho \frac{v^2}{2} \qquad (19),$$

$$C_p = (A_n - A_z) \qquad (20),$$

kde: Δp_v rozdíl tlaku mezi vnějším a vnitřním vzduchem vyvolaným větrem,

A_n A_n= 0,6 aerodynamický tlakový součinitel,

A_z A_z= 0,3 aerodynamický tlakový součinitel,

ρ měrná hmotnost vzduchu,

v rychlost větru.

7.6.3. Rozdíl tlaku rozdílem vnitřní a vnější teploty

Velký rozdíl teplot vnitřního a venkovního prostředí vyvolá tepelné ztráty. Při rozdílu teplot, když je vnitřní teplota prostředí +20°C a venkovní teplota – 15°C, se teplý vnitřní vzduch snaží unikat do exteriéru. Tento jev způsobí změnu tlaku uvnitř budovy. Pak rozdíl tlaku určíme:

$$\Delta p_t = (\rho_e - \rho_i) g (h_{NR} - h) = \rho_e \left(\frac{\theta_e - \theta_i}{\theta_i} \right) g (h_{NR} - h) \qquad (21),$$

kde: Δp_t rozdíl tlaku vyvolaný rozdílem teplot,

ρ_e měrná hmotnost venkovního vzduchu,

ρ_i měrná hmotnost vnitřního vzduchu,

g gravitační konstanta,

θ_e teplota venkovního vzduchu,

θ_i teplota vnitřního vzduchu,

h_{NR} výška neutrální roviny,

h výška zjišťovaného bodu.

Vztah platí pouze pro budovy, které mají jednotlivé místnosti propojené a v situacích, kdy vnitřní teplota ve všech místnostech je konstantní.

7.6.4. Rozdíl tlaku vlivem technologie

Tlakový rozdíl mezi vnitřním a vnějším prostředím může být vyvolán i užitou technologií vzduchotechniky v budově. Vlivem podtlakového či přetlakového větrání může docházek k nežádoucímu nasávání, nebo naopak vytlačování vzduchu. Společní s únikem vnitřního vzduchu dochází i k únikům tepla. Což má za následek zvýšené energetické nároky na objekt. U budov ve kterých je potřebná výměna vzduchu pomocí vzduchotechniky použijeme výměnník se zpětným získáváním tepla s účinností alespoň 60%.

7.6.5. Měření vzduchotěsnosti – Blower door test

Měření vzduchotěsnosti metodou tlakového spádu s externím ventilátorem – blower door test je nejpoužívanější metoda zjišťování vzduchotěsnosti. Do výplně vybraného otvoru v obvodovém plášti se osadí ventilátor s možností regulace otáček. Měří se pomocí čidel takové rozdíly v exteriéru a v interiéru. Pomocí ventilátoru se změní směry tlaku – podtlak a přetlak, rozdíl je obvykle v rozpětí 20 – 80 Pa. V obou případech se měří objemový tok vzduchu skrz ventilátor a aktuální tlak vzduchu v exteriéru. Test se doporučuje provést na každé stavbě 2x. Poprvé po dokončení vzduchotěsné obálky (vrstvy) a podruhé po dokončení celé stavby – závěrečný test vzduchotěsnosti.

S vysokou vzduchotěsností úzce souvisí nutnost větrání, tedy výměny vnitřního vzduchu v objektech. Normou výměny je hygienická výměna vzduchu v budovách n_h. Nejčastější škodlivinou je přílišná koncentrace CO_2. Další rozbor je mimo zadání této diplomní práce.

Obr. 5: Blower door test domu v Brně – Líšni, dřevostavba

7.7. Stavební akustika

Do skupiny stavební fyziky patří také stavební akustika budov. Pro zadání této práce je podrobnější rozbor této problematiky nepodstatný.

7.8. Umělé osvětlení

Z hlediska navrhování a zpětného posuzování jsou nejpodstatnější možnosti úspor elektrické energie u umělého osvětlení. Použití LED svítidel s nízkým příkonem, montáže stmívatelných analogových nebo digitálních předřadníků u svítidel a přídavné snímače přítomnosti patří k výrazným zdrojům energetických úspor, které mohou dosáhnout až 70% oproti zastaralým osvětlovacím soustavám. V případě užití zářivkových světelných zdrojů je pro snížení energetické náročnosti nutné použít elektronické předřadníky.

Určování ekonomické výhodnosti určitého typu osvětlovací soustavy jako celku je:

$$N_c = N_i + N_E + N_p \qquad (22),$$

kde: N_c celkový náklad na provoz osvětlovací soustavy (Kč),

N_i roční odpisy včetně úrokové míry (Kč),

N_E náklady za odebranou elektrickou energii (Kč),

N_p provozní náklad za osvětlovací soustavu za dobu ročního provozu (Kč).

Základní ekonomické hodnocení osvětlovacích soustav by mělo být součástí každého návrhu osvětlovací soustavy.

Obr. 6: Osvětlení LED schodiště v posuzovaném EPD Březina

D. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

8. Použité metodiky hodnocení vybraných budov

8.1. Metodika hodnocení tepelné stability místností

Pro hodnocení tepelné stability objektu bylo využito obou extrémních klimatických období roku, a to hodnocení pro zimní období a pro letní období. V zimním období je kritériem pokles teploty v místnosti za časové období, v období letním vzestup vnitřní teploty.

Tepelná stabilita v místnosti v zimním období se hodnotí za podmínek neustáleného teplotního stavu, kdy se vychází z předpokladu, že během noci nastává chladnutí konstrukcí z důvodu přerušeného vytápění. Okrajové podmínky neustáleného teplotního stavu jsou definovány veličinami:

- teplotou venkovního prostředí,
- teplotou zeminy přiléhající ke stavební konstrukci,
- počáteční teplotou vnitřního vzduchu na počátku procesu vychládání,
- počáteční teplotou vnitřního povrchu nesymetricky či symetricky vychládající konstrukci,
- dobou vychládání,
- případné tepelné zisky z vnitřních tepelných zdrojů,
- intenzitou výměny vnitřního vzduchu.

Současně s posouzením tepelné stability v zimním období se hodnotí energetická bilance objektu, podle které se prokazuje úspornost zavedení přerušovaného vytápění. Tyto vlastnosti v rámci celého objektu se posuzují podle kritické místnosti, v níž však nesmí poklesnout teplota pod přijatelnou úroveň tepelné pohody.

Pro letní období se pro posouzení tepelné stability využívá kritéria nejvyššího denního vzestupu teploty v místnosti. Oproti posuzování tepelné stability v zimním období se v tomto posouzení zohlední navíc parametry:

- časově závislá intenzita globálního slunečního záření,
- poloha slunce na obloze.

V případě, že je v objektu instalována klimatizace, tepelná stabilita se v letním období neposuzuje. Toto kritérium je rozhodující u místností s velkými plošnými okny orientovanými jižním, jihozápadním či západním směrem.

8.2. Použitá metodika posouzení energetické náročnosti vybraných budov

Pro porovnání vybraných objektů byly použity průkazy energetické náročnosti jednotlivých porovnávaných budov, výpočty energetické náročnosti a průměrného prostupu tepla pro jednotlivé objekty. Dále protokoly o provedeném blower-door testu, pokud byl prováděn. Výsledné hodnoty jsou v dalším, porovnané s výsledky vlastního měření spotřeby energií reálných objektů.

Vlastní spotřeby energií jsou u jednotlivých domů evidovány odpisy z měřidel spotřeb energie, tedy z elektroměrů a plynoměrů. Odpisy byly zaznamenávány nejčastěji měsíčně, čtvrtletně a u jednoho domu pouze 2x ročně.

Porovnání nezahrnuje tepelné zisky z provozu objektů, vnitřních zdrojů tepla, ani tepelná produkce obyvatel domů. Také nejsou v porovnání zahrnuty tepelné výkony vnitřních tepelných zdrojů, tedy krbů, které jsou instalovány ve dvou porovnávaných objektech.

8.3. Použitá výpočtová metodika

Pro výpočtové hodnocení bylo užito obecného numerického nestacionárního principu uspořádání tepelného systému objektu. V tomto systému lze volně nastavit požadované klimatické údaje, které odpovídají reálným okrajovým podmínkám. Výsledky modelování by měly těsně korespondovat s reálnými měřenými hodnotami spotřeby energie, i když nelze přesněji vymezit vliv uživatelů objektu.

Popis použitého programu

Pro simulaci nestacionárního modelování tepelného šíření v budově byl použit výpočetní program *Stabilita*. Jeho základy položil před lety S. Šťastník. Jádro strojového programu je napsáno v jazyce *Pascal* pro vývojové prostředí *Delphi*.

Hlavní vstupní datový soubor popisný soubor obsahující formulaci modelu budovy, který je určen jednotlivými místnostmi, tepelnými vazbami mezi nimi, materiálovými skladbami stěn, stropů, podlah a střech a jejich materiálovými charakteristikami. Tento soubor je zadáván v textovém formátu. Jako další vstupy byly doplněny soubory s konkrétními meteorologickými daty, zejména průběh venkovní teploty, intenzity slunečního záření, případně relativní vlhkostí venkovního vzduchu.

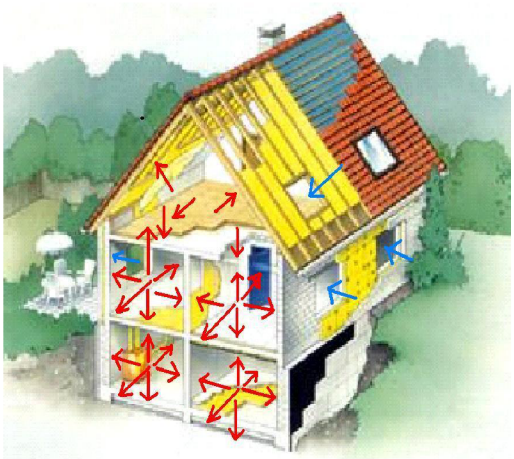
Výstupními daty jsou především průběhy teplot v jednotlivých místnostech, okamžitá spotřeba tepla na vytápění a celková spotřeba tepla za sledované období. Toto období je možno konkrétně navolit, stejně jako časový interval, po kterém se vypočtené údaje zapisují.

Výsledky simulačního programu verifikovány porovnáním s výsledky pořízenými komerčním programem *BSim* na různých typech budov. Během těchto hodnocení produkoval program dostatečně shodné výsledky, tj. výsledky s nízkými odchylkami.

Princip nestacionárního výpočtu programem

Při simulaci nestacionárního vedení tepla budovou je nutné nejprve sestavit model zkoumaného objektu. Ten se skládá z libovolného počtu zón, které jsou ohraničeny libovolným počtem povrchů. Dále má model obvykle alespoň jednu tepelnou vazbu do okolí, obvykle s venkovním prostředím, která je popsána daty udržovanými v souboru nebo podle rozvrhu určeného uživatelem.

Vzduch v každé místnosti je zastoupen jako uzel, pro který se v daném čase počítá jeho teplota. Při tomto zjednodušení se předpokládá, že se vzduch v místnosti plně mísí a v celém objemu má konstantní teplotu.



Obr. 7: Schéma vzájemných tepelných vazeb mezi uzly v domě jako tepelném systému

Jednotlivé uzly jsou propojeny tepelnými vazbami, které zastupují příslušné stavební konstrukce, v tomto případě svislé stěny, podlahy místností a střechu. Tyto konstrukce jsou tvořeny jednotlivými skladebnými vrstvami definovaných materiálů. Předpokládá se rovinnost vrstev a homogenní materiál. Tímto způsobem se komplexní řešení rozpadá na soustavu jednorozměrných rovnic vedení tepla.

Přenos tepla v rámci jedné konstrukce je popsán jako nestacionární šíření tepla, je započtena tepelná kapacita každé jednotlivé skladebné vrstvy stěny. Pro zvýšení přesnosti jsou materiálové vrstvy dále rozděleny na jednotlivé parciální vrstvy. Časové kroky výpočtu se pohybují řádově v jednotkách sekund tak, aby zajištěna numerická konvergence celého výpočetního systému.

Použitý program *Stabilita* bere v úvahu následující vlivy na tepelný stav:

- tepelné toky z přiléhajících konstrukcí,
- tepelné toky výplněmi otvorů,
- energie slunečního záření okny, případně průsvitnými dveřmi,
- tepelné toky způsobené výměnou vzduchu,
- tepelné zisky z vytápění.

Celková tepelná rovnováha zóny je pak definována jako součet všech výše zmíněných tepelných vlivů položený roven nule. V případě výpočtu spotřeby tepla je pro každou zónu stanovena návrhová teplota vzduchu a neznámou proměnnou právě tepelný zisk z vytápění. Vytápění je uvažováno jako řízeně přerušované a v každém časovém kroku je dodávána právě taková energie, která je potřebná pro udržení návrhové teploty. Celková spotřeba tepla je pak součtem energií ze všech časových intervalů.

8.4. Meteorologická data

Zásadním parametrem pro nestacionární šíření tepla jsou okrajové podmínky vnějšího klimatu, především teplota vzduchu. Tu je možno simulovat buď prostřednictvím vhodné funkce, nebo lze vycházet z reálně naměřených meteorologických dat.

Pro účely této práce se podařilo získat konkrétní data naměřená Ústavem vodního hospodářství krajiny FAST VUT z roku 2000. Tento rok byl vybrán proto, že naměřený soubor klimatických dat obsahoval minimum výpadků. Využity byly hodnoty teplot vzduchu a globálního slunečního záření. Hodnoty byly měřeny vždy po 15 minutách.

Pro ilustraci rozdílů byly provedeny výpočty tepelného chování budov jak za reálných teplotních podmínek, tak za teplotních podmínek s aproximovaným průběhem odpovídajícím reálným teplotám. Výsledná spotřeba tepla se u studovaných objektů neodchylovala o více než 10 %. Z toho vyplývá poznatek, že pro vzájemné posuzování tepelného chování posuzovaných objektů lze využít aproximaci se sinusovým průběhem teplot. Pro zpřesnění simulačních výpočtů byly všechny následující modelové výpočty provedeny výlučně s reálnými klimatickými daty.

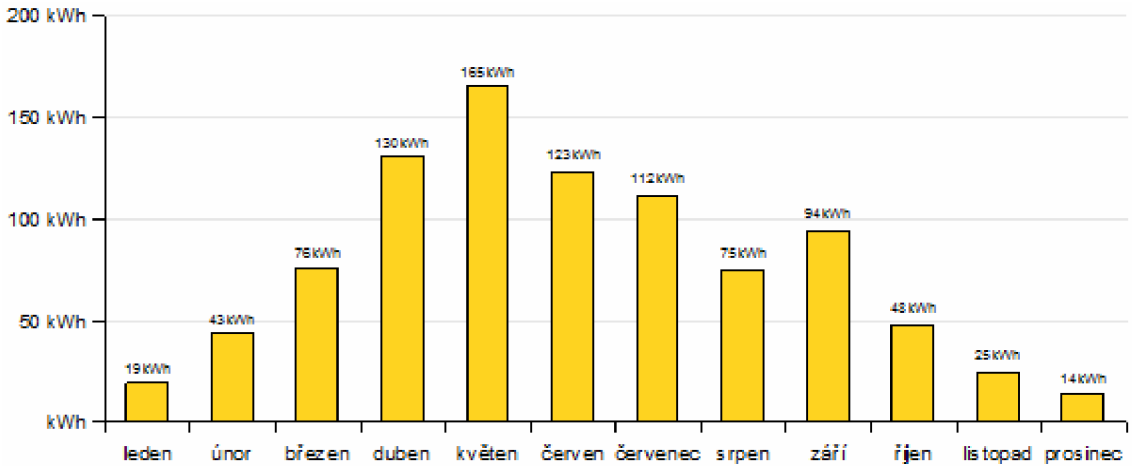
Teplota zeminy pod podlahou byla ve všech výpočtech pro zimní období uvažována θ_g = 5°C, v letním období θ_g = 12°C.

Reálné naměřené hodnoty globálního slunečního záření byly do výpočtů v této práci zahrnuty jako oslunění povrchu stěn se započtením konkrétní geometrie polohy slunce na obloze, orientace plochy stěny vůči světovým stranám a sklonu stěny.

Výsledná hodnota tepelných zisků ze slunečního záření činí E_{zs} = 905 kWh. Při využití reálně naměřených hodnot a zohlednění orientace obvodových stěn a výplní vychází reálný

tepelný zisk 922 kWh za referenční rok pro podmínky studované budovy a 362 kWh za sledované otopné období. Je tedy zřejmé, že pro přesný výpočet je nutné uvažovat reálné klimatické podmínky a konkrétní uspořádání objektu.

Pro potřeby počítání směru dopadajícího slunečního záření v konkrétním čase byla ve výpočtech uvažována zeměpisná šířka 49°12' platná pro Brno.



Graf 1 – Sluneční zisky modelové budovy v jednotlivých měsících referenčního roku.

8.5. Sledované údaje

Hlavním sledovaným údajem u všech variant simulací byla spotřeba tepla na vytápění v zimním období. Ta byla zjišťována výše popsaným postupem. Sledovaný časový úsek vychází z délky otopného období a byl stanoven jako 221 dní, konkrétně od 26. září do 5. května referenčního roku. Byl zaznamenáván jak konkrétní průběh spotřeby vytápěcího tepla v jednotlivých místnostech, tak kumulativní spotřeba tepla za sledované období.

Dalším sledovaným parametrem byla tzv. součtová teplota. Ta je hlavním kritériem pro vyjádření tzv. tepelné pohody prostředí. Dolní limit součtové teploty pro zimní období byl splněn ve všech případech. V letním období bylo hodnoceno přehřívání teploty vnitřního vzduchu v místnostech budovy.

Modelové vypočtené hodnoty spotřeb tepla byly porovnávány se spotřebou tepla zjištěnou stacionárním způsobem výpočtu.

9. Vybrané objekty

Pro účel této práce byly vybrány čtyři rozdílné rodinné domy. Jak umístěním v regionu České republiky, tak samotnou nosnou konstrukcí.

9.1. NED Praha – zdivo Porotherm

Objekt RD je postaven v Praze, městská část Praha – Modřany v nadmořské výšce 242 m. n. m. v klimatické oblasti I. Objekt je provozován od 10/2010. Objekt obývají tři dospělé osoby. Vnitřní teplota v zimním období je θ_i = 23°C. V domě je instalován krb.

9.1.1. Popis objektu a konstrukčního systému

Nízkoenergetický dům s obvodovým zdivem Porotherm tl. 440 mm s kontaktním zateplovacím systémem EPS tl. 160 mm. Příprava TUV je s předehřevem solárními panely.

Obr. 8: Posuzovaný objekt RD Praha – jihovýchodní pohled

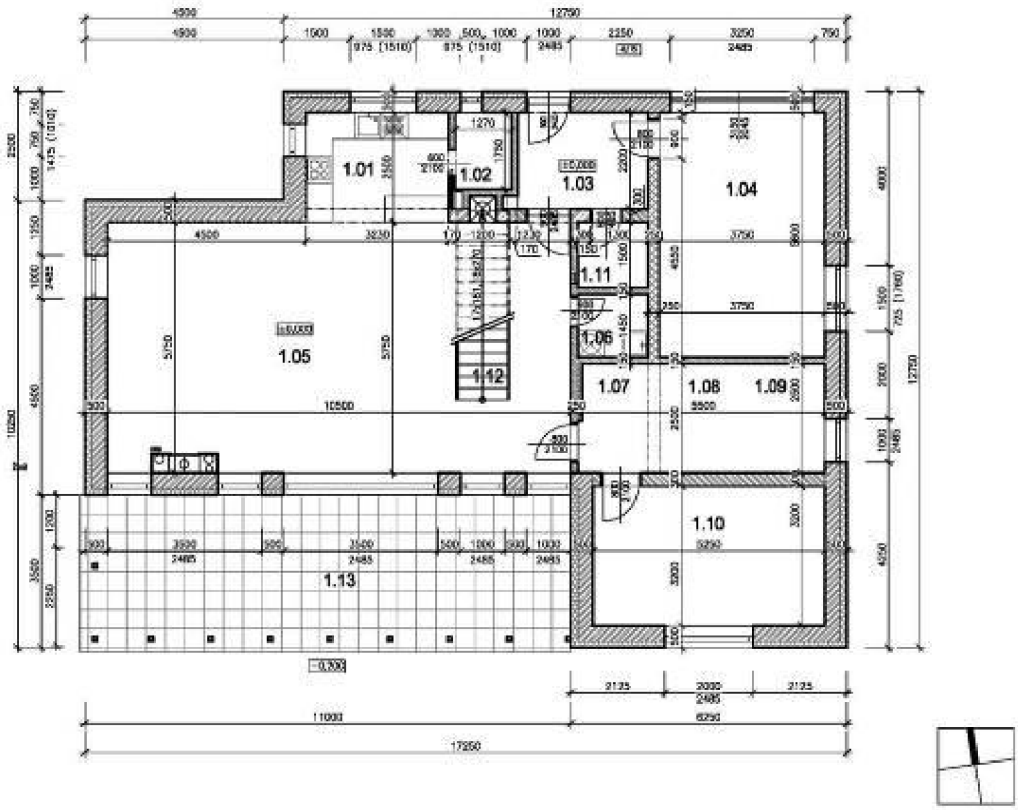
9.1.2. Výpočtové hodnoty

Nepodsklepený dvoupodlažní rodinný dům s půdorysnou plochou jednoho podlaží 131,4 m^2. Celková plocha domu je 262,8 m^2. Plocha obálky domu činí 643,55 m^2.

Tab. 4: Parametry RD Praha

Vnější rozměry RD	m	13,1 x 17,3
Podlažní plocha	m^2	262,8
Zastavěná plocha	m^2	138,9
Objem domu venkovní (V)	m^3	980
Povrch domu vnější (a)	m^2	539,33
Energetická náročnost vytápění	GJ/rok	94,0
Měrná energie na vytápění	kWh/m^2 rok	141,5
Energetická náročnost budovy	GJ/rok	135,7
Třída energetické náročnosti budovy		**C**

PŮDORYS 1.NP



LEGENDA MATERIÁLŮ

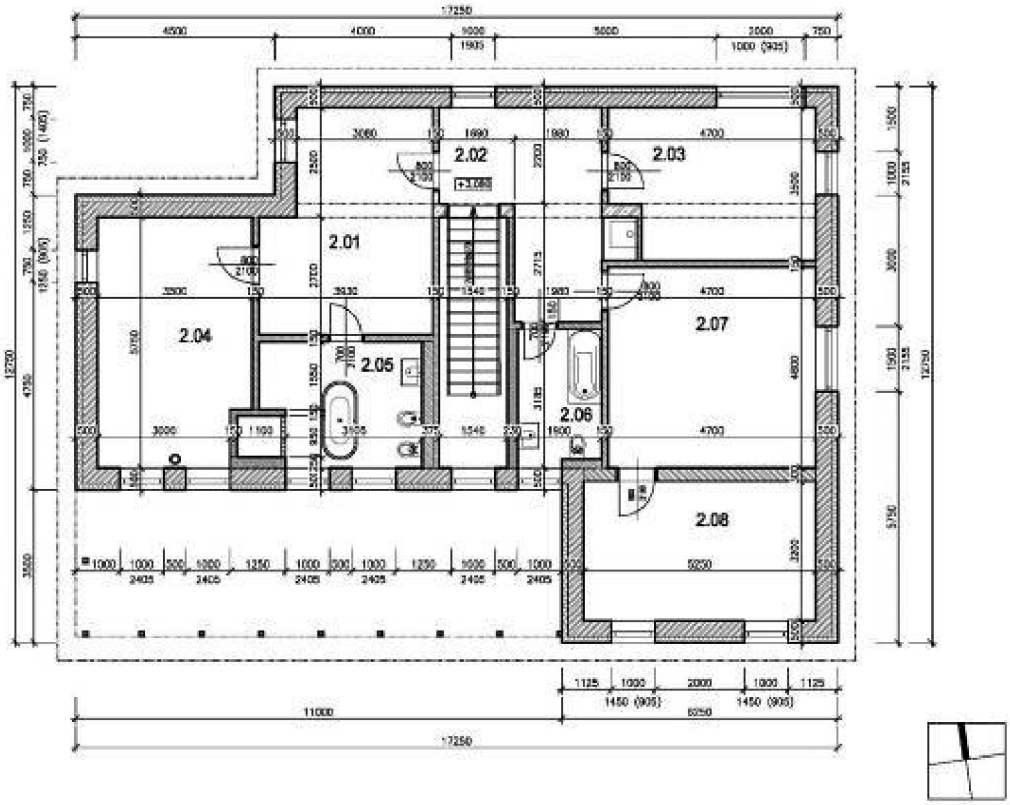
- VNĚJŠÍ NOSNÁ STĚNA – HELUZ 440 P+D
- TEPELNÁ IZOLACE – EPS
- VNITŘNÍ NENOSNÁ STĚNA – HELUZ 300 P+D
- VNITŘNÍ NENOSNÁ STĚNA – HELUZ 240 P+D
- PŘÍČKOVÉ ZDIVO NA PŘÍSLUŠNOU TLOUŠŤKU
- ŽELEZOBETON
- PROSTÝ BETON
- ŠTĚRKOPÍSEK FRAKCE 16–32, HUTNĚNÝ
- NASYPANÁ ZEMINA
- ROSTLÁ ZEMINA
- YTONG

LEGENDA MÍSTNOSTÍ

ČÍS. M.	ÚČEL MÍSTNOSTI	PLOCHA m2	PODLAHA	POVRCH STĚN
1.01	KUCHYŇSKÝ KOUT	8,07	KERAMICKÁ DLAŽBA	
1.02	SPÍŽ	2,22	KERAMICKÁ DLAŽBA	
1.03	ZÁDVEŘÍ	6,49	KERAMICKÁ DLAŽBA	
1.04	GARÁŽ	21,56	BETON	
1.05	OBÝVACÍ POKOJ	60,38	KERAMICKÁ DLAŽBA	
1.06	KOMORA	2,32	KERAMICKÁ DLAŽBA	
1.07	WC	13,87	KERAMICKÁ DLAŽBA	
1.08	CHODBA		KERAMICKÁ DLAŽBA	
1.09	SAUNA		KERAMICKÁ DLAŽBA	
1.10	LOŽNICE	16,80	DŘEVĚNÉ VLYSY	
1.11	ŠATNA	2,64	KERAMICKÁ DLAŽBA	
1.12	SCHODIŠTĚ	5,18	DŘEVĚNÉ NÁŠLAPY	
1.13	TERASA	39,86	BETONOVÁ DLAŽBA	

Výkr. 1: Půdorys 1.NP RD Praha – porotherm

PŮDORYS 2.NP



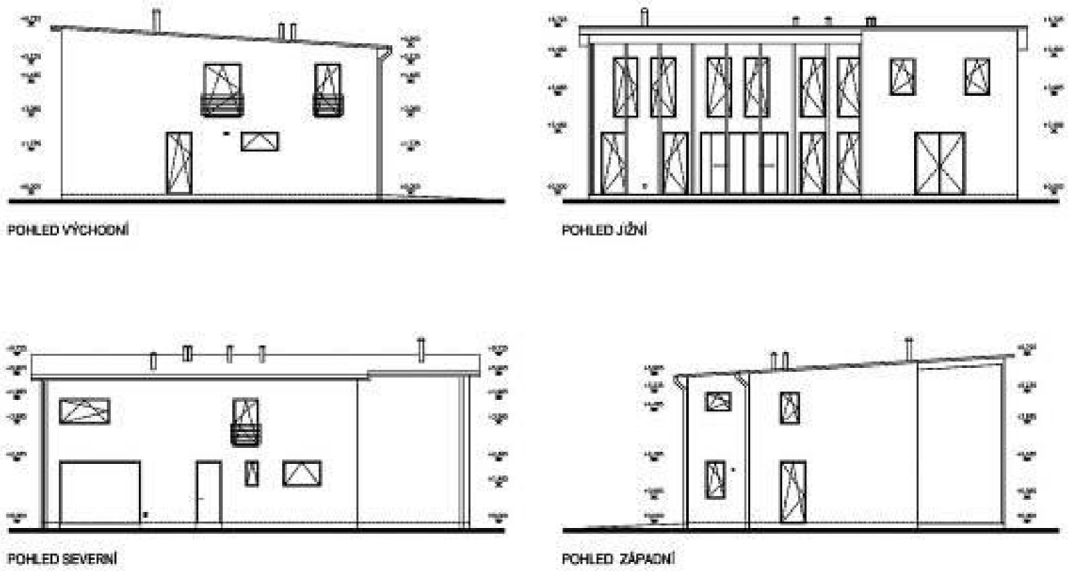
LEGENDA MATERIÁLŮ

- VNĚJŠÍ NOSNÁ STĚNA – HELUZ 440 P+D
- TEPELNÁ IZOLACE – EPS
- VNITŘNÍ NENOSNÁ STĚNA – HELUZ 300 P+D
- VNITŘNÍ NENOSNÁ STĚNA – HELUZ 240 P+D
- PŘÍČKOVÉ ZDIVO NA PŘÍSLUŠNOU TLOUŠŤKU
- ŽELEZOBETON
- PROSTÝ BETON
- ŠTĚRKOPÍSEK FRAKCE 16–32, HUTNĚNÝ
- NASYPANÁ ZEMINA
- ROSTLÁ ZEMINA
- YTONG

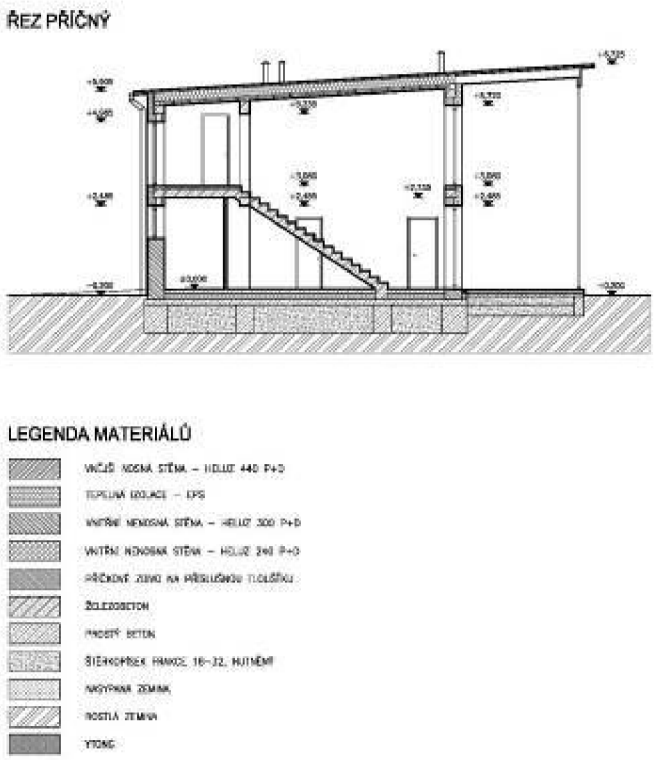
LEGENDA MÍSTNOSTÍ

ČÍS. M.	ÚČEL MÍSTNOSTI	PLOCHA m2	PODLAHA	POVRCH STĚN
2.01	ŠATNA	18,05	DŘEVĚNÉ VLYSY	
2.02	CHODBA	13,68	DŘEVĚNÉ VLYSY	
2.03	PRACOVNA	15,77	DŘEVĚNÉ VLYSY	
2.04	LOŽNICE	19,72	DŘEVĚNÉ VLYSY	
2.05	KOUPELNA	10,85	KERAMICKÁ DLAŽBA	
2.06	KOUPELNA	5,87	KERAMICKÁ DLAŽBA	
2.07	OBÝVACÍ POKOJ	21,63	DŘEVĚNÉ VLYSY	
2.08	LOŽNICE	17,59	DŘEVĚNÉ VLYSY	

Výkr. 2: Půdorys 2.NP RD Praha – porotherm



Výkr. 3: Pohledy na RD Praha – porotherm



Výkr. 4: Řez RD Praha – porotherm

9.1.3. Údaje o skutečné zjištěné spotřebě energií

Tab. 5: Skutečně odečtené spotřeby energií RD Praha:

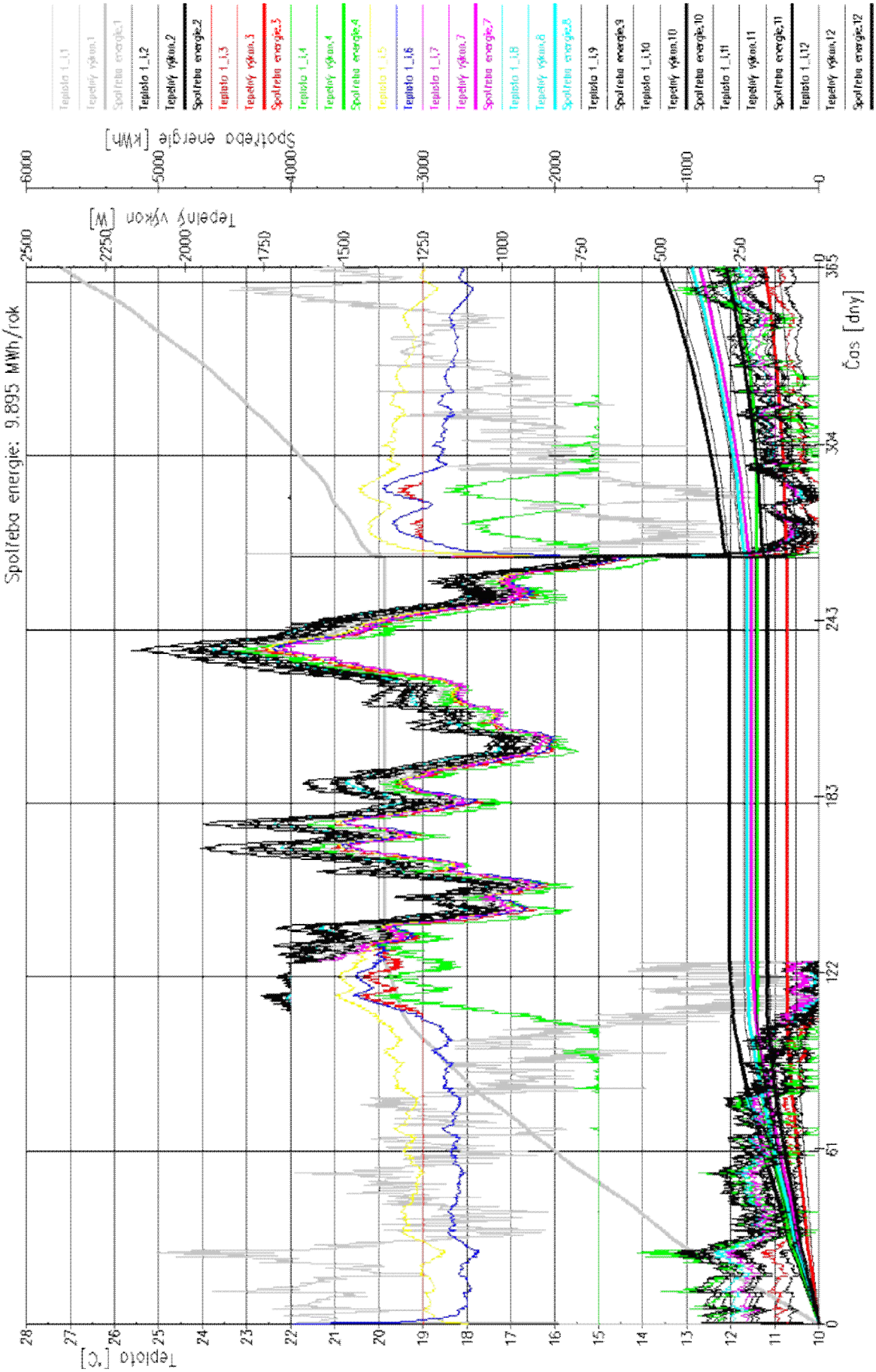
Spotřeby energií	2011	2012	2013 (1)	Průměr (GJ)/rok
Spotřeba plynu (m^3)	2 185,9	2 232,8	2 222,5	83,68
Spotřeba elektrické energie (kWh) (2)	3 376,3	3 104,7	2 566,2	11,21
Energetická náročnost budovy z průměrné spotřeby za období tří roků				**94,89**
Poznámka (1) – prosinec 2013 zpracován jako průměr za roky 2011 a 2012 *Poznámka (2) – spotřeba elektrické energie – čerpadla, spotřebiče, osvětlení*				

Oproti uvažované navrhované energetické náročnosti, tedy celkové spotřeby energií ve výši 135,7 GJ, je skutečná naměřená hodnota 94,89 GJ nižší o 30,1 %.
Průměrná celková spotřeba energie za roky 2011, 2012 a 2013 činí 94,89 GJ/rok.
Z toho vyplývá spotřeba energie na vytápění ve výši 57,04 GJ.

V případě, že v době letních měsíců se předpokládá vypnutí kotle pro vytápění a spotřeba plynu je tedy pouze na ohřev TUV a vaření, lze vyvodit spotřebu plynu na vytápění z rozdílu průměrné spotřeby v měsících 06, 07, 08 v letech 2011, 2012 a 2013, která činí 84,81 m^3, tedy 3,20 GJ. Za celý rok pak tato spotřeba dosahuje 38,47 GJ. Při této úvaze spotřeba na vytápění dosahuje hodnoty 45,21 GJ. Lze tedy předpokládat, že spotřeba energie na vytápění se pohybuje v intervalu od 45,21 GJ do 57,04 GJ. Při ploše 262,8 m^2 pak se měrná energie na vytápění pohybuje v rozmezí 47,8 kWh/m^2a až 60,3 kWh/m^2a. Výpočtová hodnota měrné energie na vytápění je 141,5 kWh/m^2a. Skutečné naměřené hodnoty jsou nižší o 57,4 - 66,2 %, v průměru 61,8 %.

TUV je připravována ohřevem v plynovém kotli a dohřevem pomocí solárního systému. V případě slunečního svitu za slunečného dne je spotřeba plynu na ohřev TUV nižší než ve dnech se zataženou oblohou. Také spotřeba teplé vody v letních měsících je nižší než v zimních měsících. Z tohoto předpokladu lze usuzovat, že výše uvedené měrné spotřeby na vytápění jsou nadhodnocené, tedy na straně bezpečné. Skutečná spotřeba tepla pro vytápění je nižší.

Pro výpočtové modelování objektu byla uvažována celoročně vnitřní teplota θ_i = 23°C a hodinová výměna vzduchu na úrovni n_h = 0,3h^{-1}. Pro tyto předpoklady byla vypočtena celková spotřeba tepla pro vytápění 52,4GJ. Uvedená výpočtová hodnota velmi těsně koreluje skutečně naměřené spotřeby energie na vytápění, která je uvedena výše, a činí 45,21GJ až 57,04GJ. Průběh teplot, tepelného výkonu a spotřeba energie v jednotlivých místnostech domu je vyobrazena v grafu 2.



Graf 2: Výpočtová spotřeba energie a průběh vnitřních teplot v NED Praha

Pro výpočet byly nastaveny okrajové podmínky podle tabulky 6.

Tab. 6: Přehled požadavků uživatelů domu pro jednotlivé místnosti RD Praha

Číslo místnosti	Účel místnosti	Objem místnosti [m^3]	Návrhová teplota [°C]	Topení
1	Obývací pokoj	221,4	23	ano
2	Ložnice	43,7	23	ano
3	Zádveří	16,9	19	ano
4	Garáž	56,0	15	ano
5	Spíž	6,0	18	ne
6	Šatna	11,1	23	ne
7	Chodba	35,8	23	ano
8	Ložnice	33,1	23	ano
9	Obývací pokoj	51,9	23	ano
10	Ložnice	45,7	23	ano
11	Ložnice	49,2	23	ano
12	Šatna	43,3	23	ano
13	Koupelna	28,3	23	ano
14	Koupelna	15,2	23	ano

Celková součtová spotřeba energie na vytápění ze simulačního výpočtu programem *Stabilita* činí 9,895MWh. Při celkové ploše 262,8m^2 je roční spotřeba 37,65kWh/m^2a. Hodnoty pro porovnání jsou skutečně naměřená spotřeba 47,8kWh/m^2a a navrhovaná spotřeba 141,5kWh/m^2a.

Z grafu 2 je možné dále vyčíst stoupající spotřeby energie ve vytápění v místnostech s osazenými otopnými tělesy a okamžitý tepelný výkon topných medií v jednotlivých vytápěných místnostech.

Celková spotřeba energie je součet jednotlivých tepelných výkonů v tabulce 6 posledního 365 dne.

Regulace úrovně vnitřního prostředí, resp. tepelného komfortu, je v zimním období dosahováno prostřednictvím zvyšeným tepelným výkonem kotle. V letním období v obytných místnostech s jižní orientací oken, kdy je topný sestém zcela mimo provoz, však dochází k přehřívání vnitřního vzduchu. Výpočtové hodnoty se blíží k hodnotě 25,5°C. Výpočtový program nezahrnuje trvale osazené venkovní žaluzie, které vnitřní teplotu vzduchu v místnostech osluněním snižují.

9.2. EPD Březina – sendvičové zdivo KM Beta

Objekt RD je postaven v obci Březina u Křtin v nadmořské výšce 464 m n. m. v klimatické oblasti II. Objekt je provozován od 04/2012. Objekt obývají dvě dospělé osoby. Vnitřní teplota v zimním období je θ_i = 20°C.

9.2.1. Popis objektu a konstrukčního systému

Pasivní rodinný dům s obvodovým zdivem z vápenopískových cihel KM Beta tl. 240 mm s kontaktním zateplovacím systémem EPS tl. 300 mm. Plášť s plastovými okny zasklenými trojsklem, sedlová střecha s foukanou izolací z celulózy o tl. 400 mm.

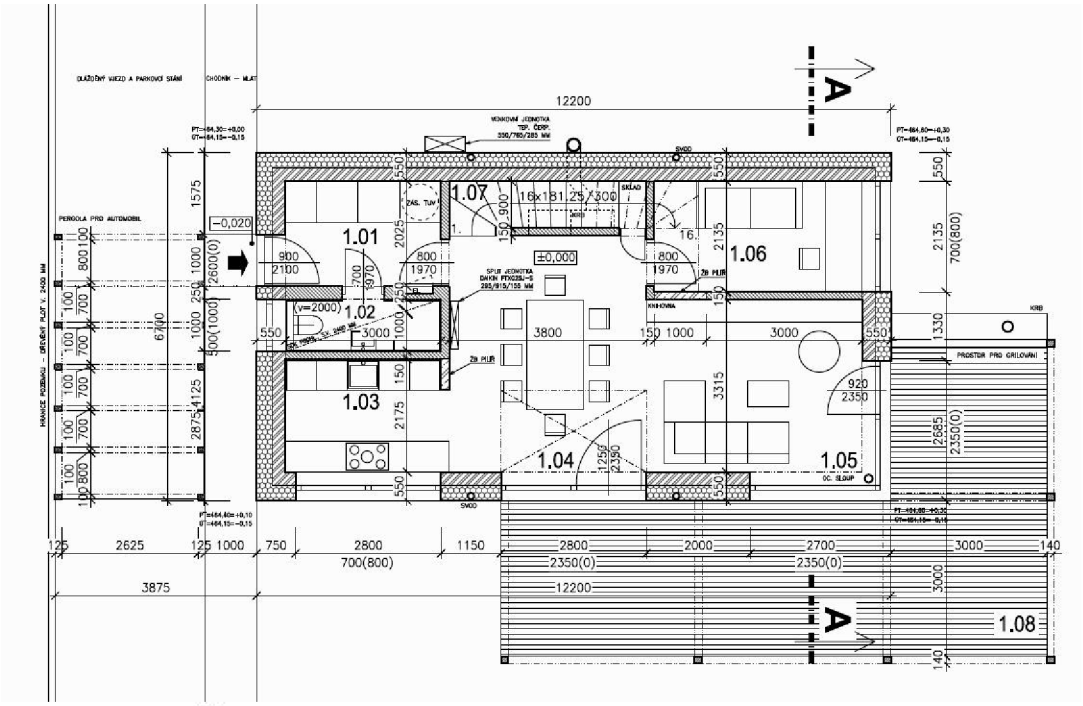
Obr. 9: Posuzovaný objekt EPD Březina – jižní pohled

9.2.2. Výpočtové hodnoty

Nepodsklepený dvoupodlažní rodinný dům s půdorysnou plochou jednoho podlaží 81,74 m^2. Celková plocha domu je 124,3 m^2. Plocha obálky domu je 391,9 m^2.

Tab. 7: Parametry EPD Březina

Vnější rozměry RD	m	12,2 x 6,7
Podlažní plocha	m^2	124,3
Zastavěná plocha	m^2	81,74
Objem domu venkovní (V1)	m^3	545,6
Povrch domu vnější (a)	m^2	391,88
Energetická náročnost vytápění	GJ/rok	7,99
Měrná energie na vytápění	kWh/ m^2 rok	18,1
Energetická náročnost budovy	GJ/rok	20,21
Třída energetické náročnosti budovy		**A**



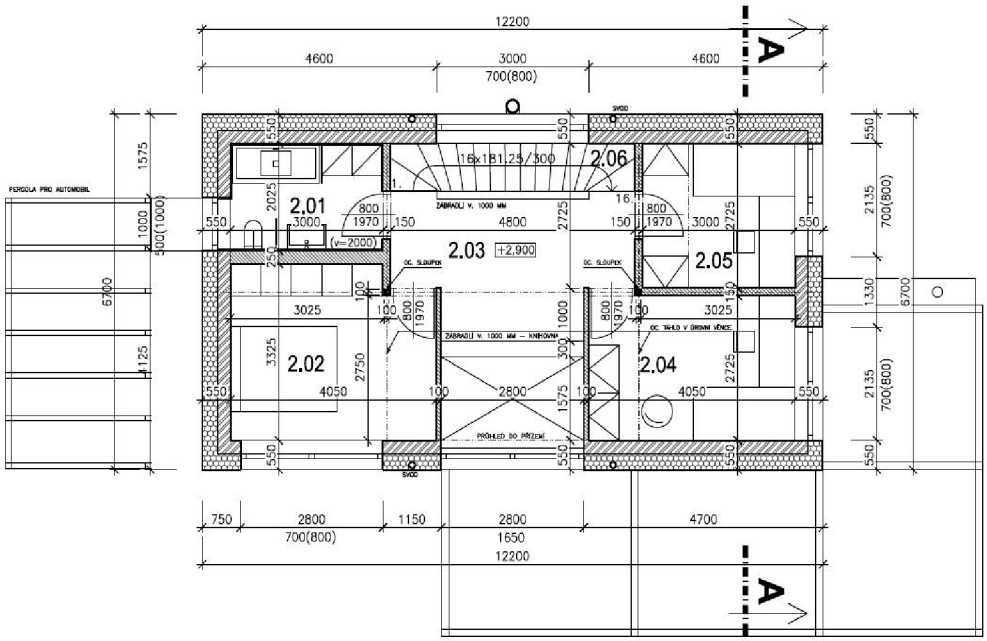
LEGENDA MATERIÁLŮ

- NOSNÁ STĚNA – KM BETA SENDWIX 16 DF-LD (VÁPENOPÍSKOVÉ CIHLY)
- TEPELNÁ IZOLACE – EPS ŠEDÝ 300 MM
- TEPELNÁ IZOLACE – XPS
- SDK PŘIČKA TL. 150 MM
- TEPELNÁ IZOLACE – FOUKANÁ CELULÓZA
- ŽELEZOBETON
- PROSTÝ BETON
- ŠTĚRKOPÍSEK FRAKCE 16–32, HUTNĚNÝ
- NASYPANÁ ZEMINA
- ROSTLÁ ZEMINA
- DŘEVO PŘÍČNÝ ŘEZ
- SOKLOVÉ ZDIVO – YTONG P4/500

LEGENDA MÍSTNOSTÍ

ČÍS. M.	ÚČEL MÍSTNOSTI	PLOCHA m2	PODLAHA	POVRCH STĚN
1.01	ZÁDVEŘÍ	6,30	KERAMICKÁ DLAŽBA	ŠTUKOVÁ OMÍTKA
1.02	WC	3,00	KERAMICKÁ DLAŽBA	KERAMICKÝ OBKLAD DO V. 2000 MM
1.03	KUCHYNĚ	6,76	VLYSY	ŠTUKOVÁ OMÍTKA, OBKLAD ZA LINKOU
1.04	JÍDELNA	18,12	VLYSY	ŠTUKOVÁ OMÍTKA
1.05	OBÝVACÍ POKOJ	14,89	VLYSY	ŠTUKOVÁ OMÍTKA
1.06	PRACOVNA	8,54	VLYSY	ŠTUKOVÁ OMÍTKA
1.07	SCHODIŠTĚ	3,55	VLYSY	ŠTUKOVÁ OMÍTKA
1.08	TERASA	41,94	DŘEVO	

Výkr. 5: Půdorys 1.NP EPD Březina u Křtin – sendvičové zdivo

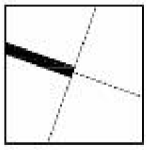


LEGENDA MATERIÁLŮ

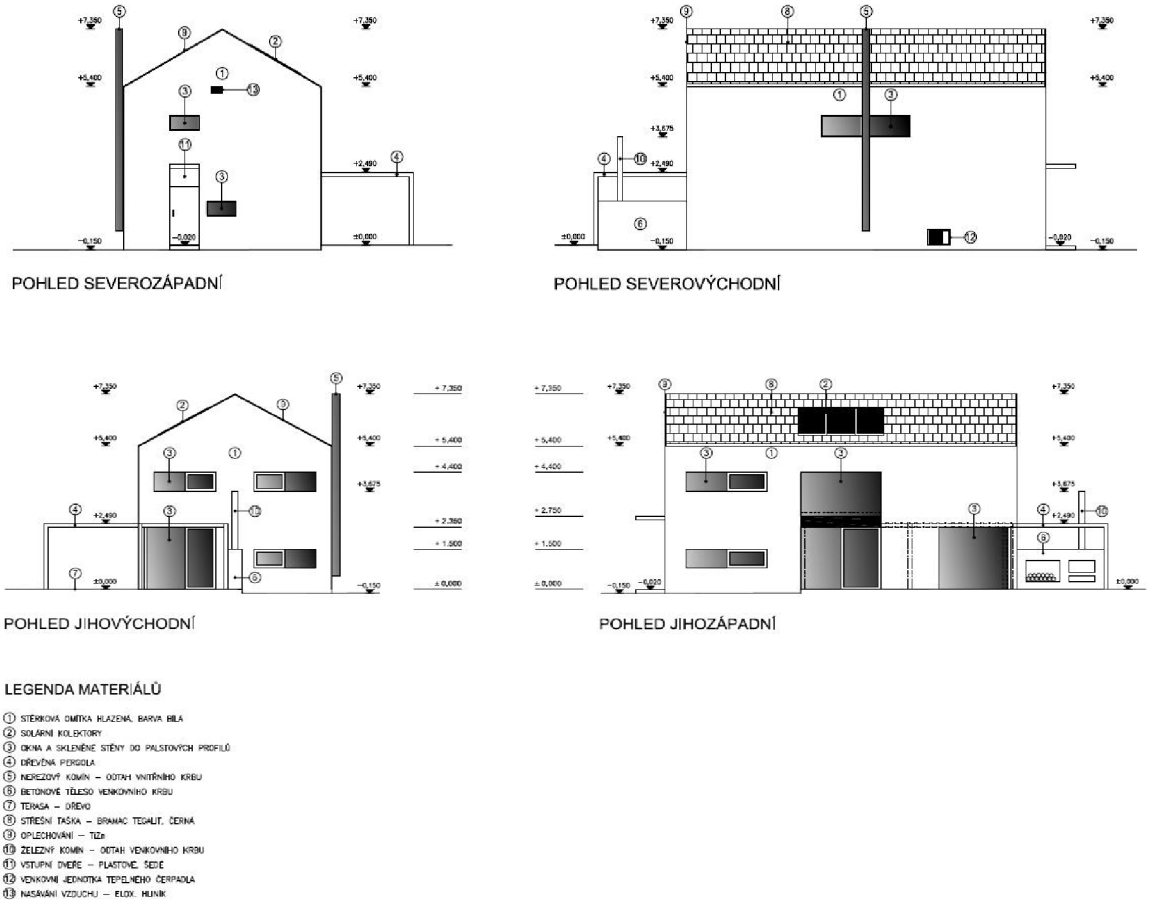
- NOSNÁ STĚNA – KM BETA SENOMIX 15 CF–LD (VÁPENOPÍSKOVÉ CIHLY)
- TEPELNÁ IZOLACE – EPS ŠEDÝ 300 MM
- TEPELNÁ IZOLACE – XPS
- SDK PŘIČKA TL. 150 MM
- TEPELNÁ IZOLACE – FOUKANÁ CELULÓZA
- ŽELEZOBETON
- PROSTÝ BETON
- ŠTĚRKOPÍSEK FRAKCE 16–32, HUTNĚNÝ
- NASYPANÁ ZEMINA
- ROSTLÁ ZEMINA
- DŘEVO PŘÍČNÝ ŘEZ
- SOKLOVÉ ZDIVO – YTONG P4/500

LEGENDA MÍSTNOSTÍ

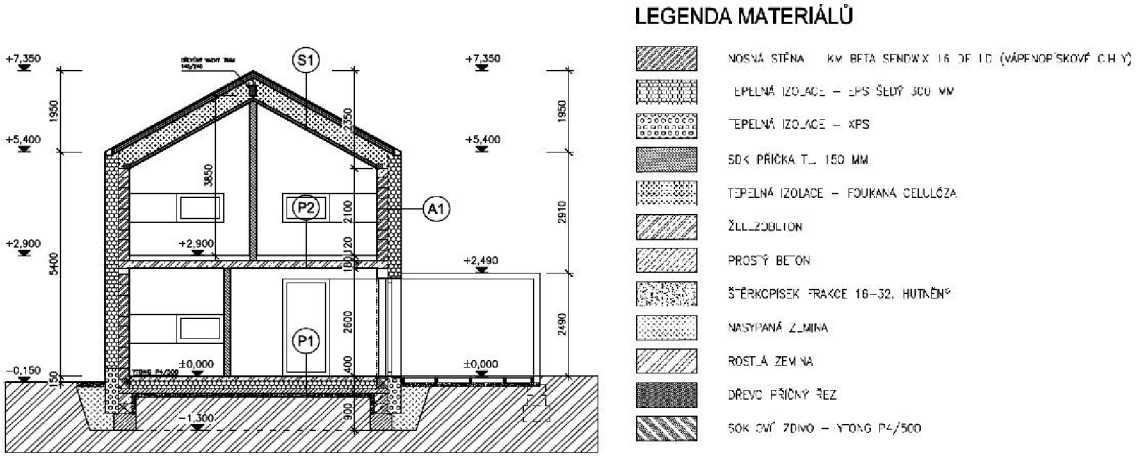
ČÍS. M.	ÚČEL MÍSTNOSTI	PLOCHA m2	PODLAHA	POVRCH STĚN
2.01	KOUPELNA	6,07	KERAMICKÁ DLAŽBA	ŠTUKOVÁ OMÍTKA, SDK PODHLED
2.02	LOŽNICE	12,83	VLYSY	ŠTUKOVÁ OMÍTKA
2.03	GALERIE	11,56	VLYSY	ŠTUKOVÁ OMÍTKA
2.04	POKOJ	11,03	VLYSY	ŠTUKOVÁ OMÍTKA
2.05	POKOJ	8,18	VLYSY	ŠTUKOVÁ OMÍTKA
2.06	SCHODIŠTĚ	4,32	VLYSY	ŠTUKOVÁ OMÍTKA



Výkr. 6: Půdorys 2.NP EPD Březina u Křtin – sendvičové zdivo



Výkr. 7: Pohledy EPD Březina u Křtin – sendvičové zdivo



Výkr. 8: Řez EPD Březina u Křtin – sendvičové zdivo

9.2.3. Skutečně naměřené spotřeby energií

Tab. 8: Skutečně naměřené spotřeby energií EPD Březina u Křtin – sendvičové zdivo:

Spotřeba energie		2012 (1) (m^3);(kWh)	2013 (2) (m^3);(kWh)	Průměr(3) (GJ)/rok
Spotřeba elektrické energie		2 358,5	3 000,2	16,45
Energetická náročnost budovy				**16,45**
Pozn. (1) období 04 – 12/2012 *Pozn. (2) období 01 – 09/2013* *Pozn. (3) průměr je dopočítán z měsíců 10, 11 a 12/2012 tzn. celkem 4 569,4kWh.a*				

Tab. 9: Tabulka odečtů RD Březina

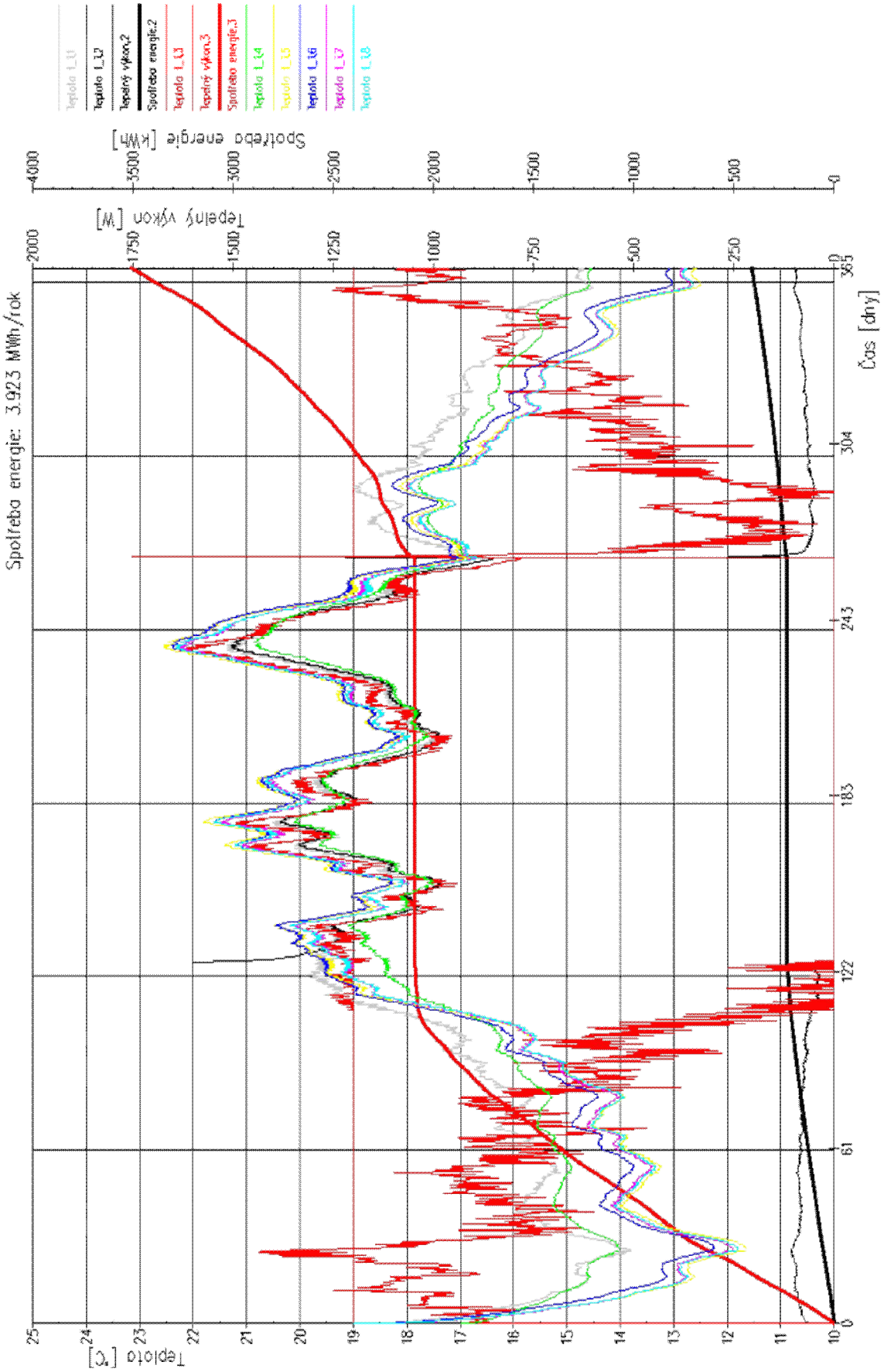
Datum odečtu	Spotřeba (kWh)	Součty spotřeb energií v daném roce (kWh)	Pozn. období
5. 4. 2012	0		
1. 10. 2012	789,3	789,3	04 – 09/2012
1. 11. 2012	250,9		
1. 12. 2012	498,8		
1. 1. 2013	819,5	1 569,2	10 – 12, 2012
1. 2. 2013	742,5		
1. 3. 2013	732,3		
1. 4. 2013	499,7		
1. 5. 2013	280,0		
1. 6. 2013	149,0		
1. 7. 2013	141,0		
1. 8. 2013	131,0		
1. 9. 2013	119,0		
1. 10. 2013	205,7	3000,2	01 – 09/2013

Spotřeba na ohřev TUV ze spotřeby elektrické energie v letním období:

Průměr za měsíce 06, 07, 08 činí 130,3 kWh. Související roční spotřeba na ohřev TUV a ostatní spotřeba činí 1 564 kWh. Celková spotřeba energií z odečtu činí 4569,4 kWh, tedy 16,45 GJ. Výsledná hodnota měrné energie na vytápění činí rozdíl 4569,4 – 1564,0 = 3005,4 kWh, tj. 10,82 GJ. Výsledná hodnota měrné energie na vytápění je 24,18 kWh /m^2rok.

Při výpočtovém modelování objektu byla uvažována vnitřní teplota θ_i =19°C a hodinová výměna vzduchu n_h = 0,05 h^{-1}. Touto hodnotou byla zohledněna rekuperace tepla při výměně vnitřního vzduchu a účinnost rekuperační jednotky. Modelově byla vypočtena celková spotřeba tepla pro vytápění 14,12GJ. Tato hodnota je oproti projektované spotřebě 7,99GJ i naměřené 10,82GJ vyšší o 30%, respektive 75%.

Průběh teplot, tepelného výkonu a spotřeby energie v jednotlivých místnostech domu je vyobrazena v grafu 3.



Graf 3: Výpočtová spotřeba energie a průběh vnitřních teplot v EPD Březina

Pro výpočet byly nastaveny okrajové podmínky podle tabulky 10.

Tab. 10: Přehled požadavků uživatelů domu pro jednotlivé místnosti RD Březina

Číslo místnosti	Účel místnosti	Objem místnosti [m^3]	Návrhová teplota [°C]	Topení
1	Zádveří	16,4	19	ne
2	Koupelna	7,8	22	ano
3	Obývací pokoj	192,5	19	ano
4	Pracovna	22,2	17	ne
5	Ložnice	43,6	19	ne
6	Koupelna	20,6	19	ne
7	Ložnice	27,8	19	ne
8	Ložnice	37,5	19	ne

Celková součtová spotřeba energie na vytápění z výpočtu programem *Stabilita* činí 3,90MWh/a. Při celkové ploše 124,3m^2 činí roční spotřeba 31,37kWh/m^2a. Hodnoty pro porovnání jsou skutečně naměřená spotřeba energie 24,18kWh/m^2a a navrhovaná spotřeba 18,1kWh/m^2a.

Z grafu 3 je možné dále vyčíst stoupající spotřeby energie na vytápění v místnostech s osazenými otopnými tělesy a okamžitý tepelný výkon topných medií v jednotlivých vytápěných místnostech.

Celková spotřeba energie je součet jednotlivých tepelných výkonů v grafu 2 posledního 365 dne.

9.3. EPD Brno Líšeň – dřevostavba

Objekt RD je postaven v městě Brně, městská část Brno – Líšeň v nadmořské výšce 305 m n. m. v klimatické oblasti II. Objekt je provozován od 04/2011. Objekt obývají tři dospělé osoby a tři děti. Vnitřní teplota v zimním období je θ_i = 21°C. V domě je instalován krb.

9.3.1. Popis objektu a konstrukčního systému

Pasivní rodinný dům s nosnou konstrukcí ze dřeva – systém two by four ze Steico nosníků s výplní z minerální vlny o tl. 300 až 400 mm. Výplně otvorů v plášti jsou osazeny dřevěnými okny z eurohranolů s trojsklem. Plochá střecha s minerální izolací o tl. 500 mm.

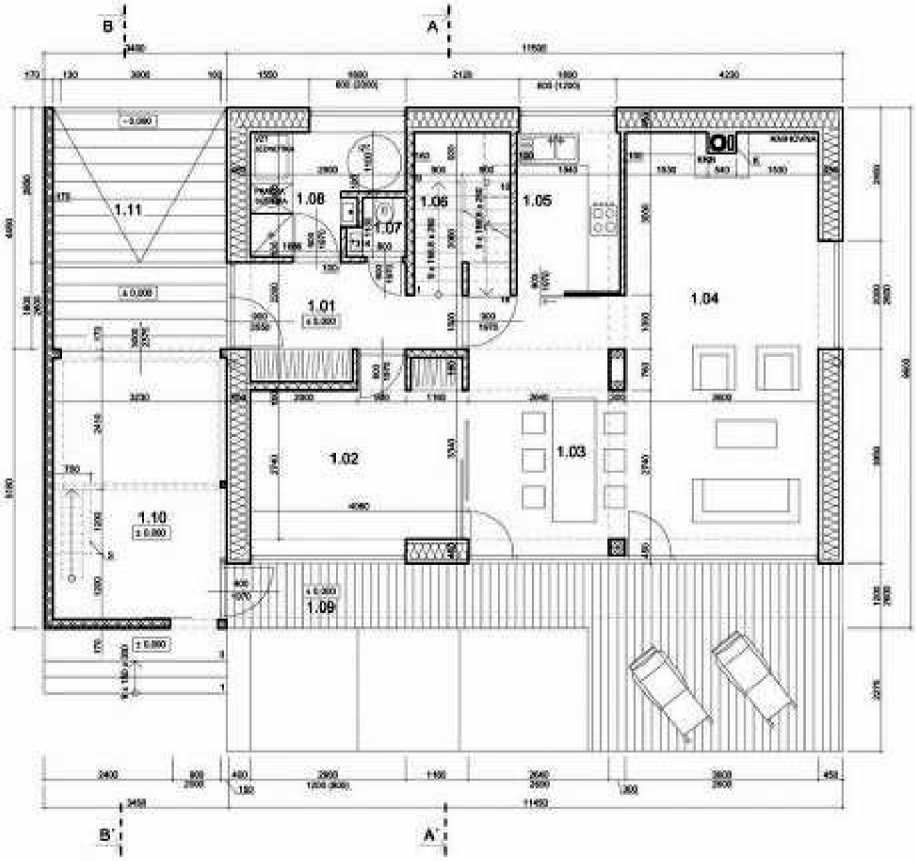
Obr. 10: Posuzovaný objekt EPD Brno – Líšeň dřevostavba – jižní pohled

9.3.2. Výpočtové hodnoty

Nepodsklepený dvoupodlažní rodinný dům s půdorysnou plochou jednoho podlaží 94,8 m^2. Celková plocha domu je 190,4 m^2. Plocha obálky domu je 457,5 m^2.

Tab. 11: Parametry EPD Brno Líšeň - dřevostavba

Vnější rozměry RD	m	11,45 x 9,6
Podlažní plocha	m^2	157,5
Zastavěná plocha	m^2	96,6
Objem domu venkovní (V1)	m^3	618,2
Povrch domu vnější (a)	m^2	430,1
Energetická náročnost vytápění	GJ/rok	17,65
Měrná energie na vytápění	kWh/ m^2 rok	31,6
Energetická náročnost budovy	GJ/rok	26,51
Třída energetické náročnosti budovy		**B**



LEGENDA HMOT

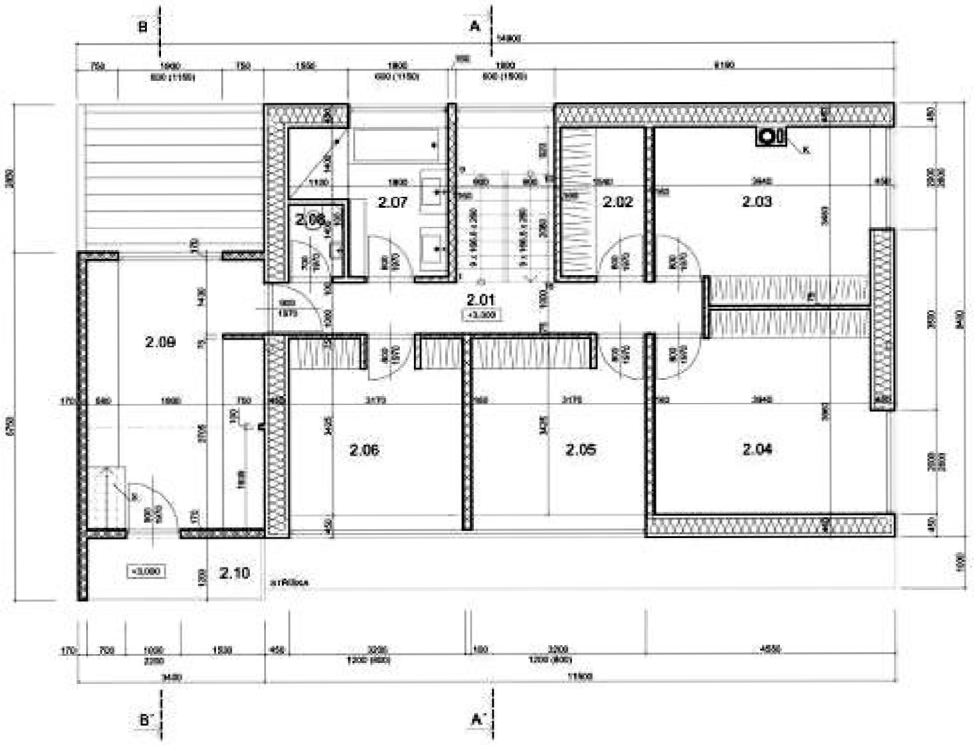
- OBVODOVÁ STĚNA
- NOSNÁ STĚNA - VNĚJŠÍ
- NOSNÁ STĚNA - VNITŘNÍ
- PŘIČKA SDK 12,5 TL. 100 MM
- PŘIČKA TL. 75 MM

LEGENDA MÍSTNOSTÍ

Č.M.	MÍSTNOST	PLOCHA	POZNÁMKA
1.01	ZÁDVEŘÍ	6,12	
1.02	PRACOVNA	12,26	
1.03	JÍDELNA	10,26	
1.04	OBÝVACÍ POKOJ	29,46	
1.05	KUCHYNĚ	8,64	
1.06	SCHODIŠTĚ	5,40	
1.07	WC	1,13	
1.08	KOUPELNA + TECH. MÍST.	5,48	
1.09	TERASA	24,60	
1.10	GARÁŽ	16,25	
1.11	DLAŽBA PŘED VSTUPEM	15,13	

0,000 = 304,85 m n. m. dle B.p.v.

Výkr. 9: Půdorys 1.NP EPD Líšeň – dřevostavba



LEGENDA HMOT

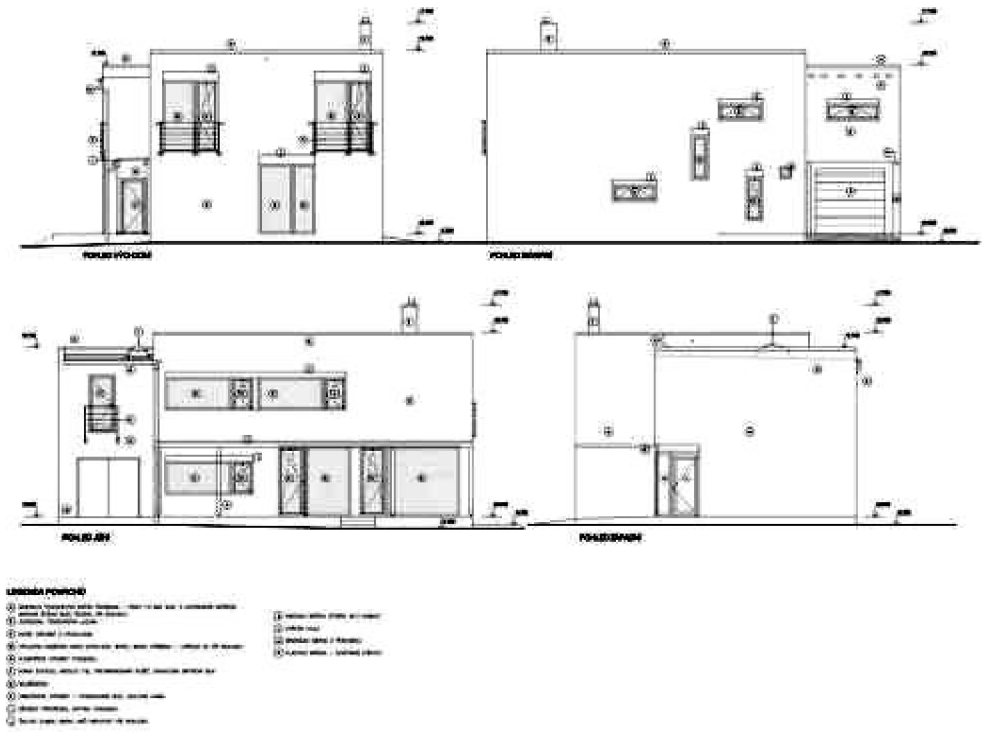
- OBVODOVÁ STĚNA
- NOSNÁ STĚNA - VNĚJŠÍ
- NOSNÁ STĚNA - VNITŘNÍ
- PŘIČKA SDK 12,5 TL. 100 MM
- PŘIČKA TL. 75 MM

LEGENDA MÍSTNOSTÍ

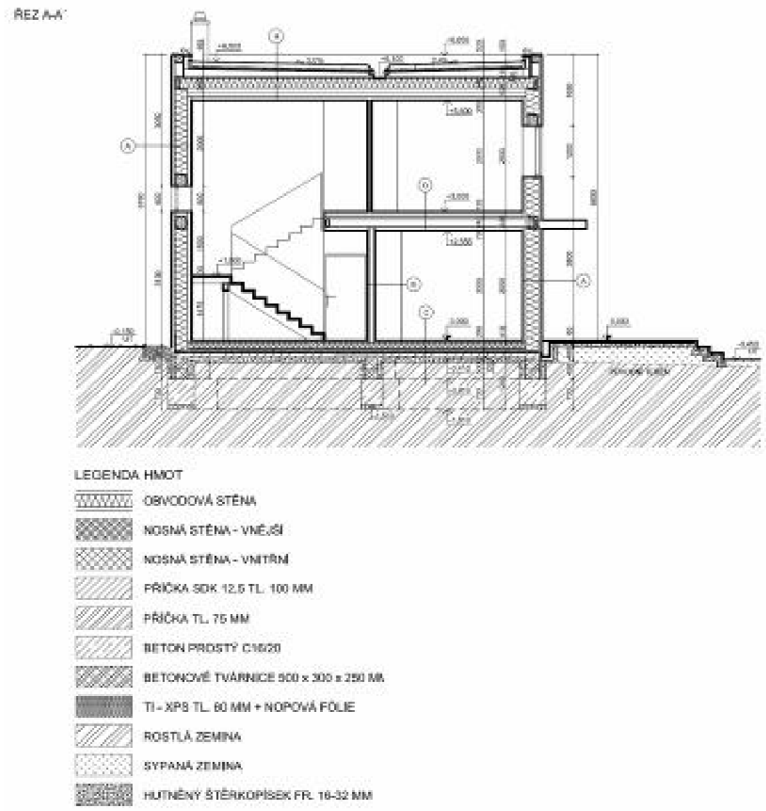
Č.M.	MÍSTNOST	PLOCHA	POZNÁMKA
2.01	CHODBA	13,20	
2.02	ŠATNA	4,64	
2.03	LOŽNICE	14,10	
2.04	POKOJ	14,10	
2.05	POKOJ	12,19	
2.06	POKOJ	10,05	
2.07	KOUPELNA	7,00	
2.08	WC	1,35	
2.09	LETNÍ PRACOVNA	17,06	
2.10	BALKÓN	3,66	

0,000 = 304,85 m n. m. dle B.p.v.

Výkr. 10: Půdorys 2.NP EPD Líšeň – dřevostavba



Výkr. 11: Pohledy EPD Líšeň – dřevostavba



Výkr. 12: Řez EPD Líšeň – dřevostavba

9.3.3. Skutečně naměřené spotřeby energií

Tab. 12: Tabulka odečtů energie RD Brno Líšeň – dřevostavba

Datum odečtu	Spotřeba k datu (kWh)	Součty spotřeb v daném roce (kWh)
29.1.2011	421	
31.12.2011	6466	7583,1 (1)
4.2.2012	1315	
31.12.2012	6789	8104,0
6.2.2013	1421	
17.12.2013	6367	8327,3 (2)
Poznámka 1 Dopočet spotřeby za 1.1.2011 do 29.1.2011 – 1117,1kWh *Poznámka 2 Dopočet spotřeby za 18.12.2013 do 31.12.2013 – 539,3kWh*		

Průměr spotřeby energie za 3 roky je 8005kWh, tj. 28,82GJ.

Tab. 13: Skutečně naměřené spotřeby energií RD Brno Líšeň – dřevostavba

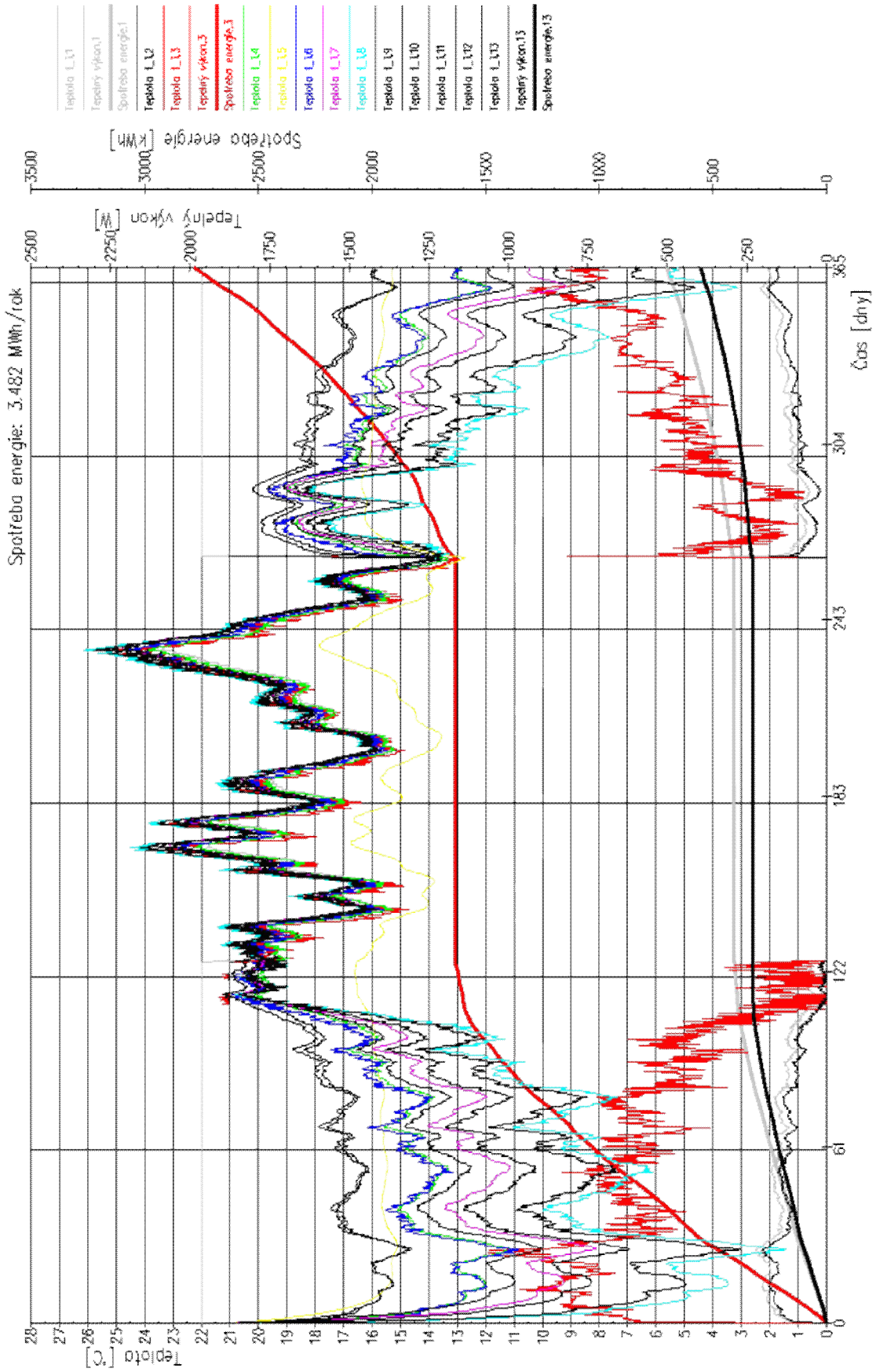
Spotřeba energie	2011 (kWh)	2012 (kWh)	2013 (kWh)	Průměr (GJ)/rok
Spotřeba elektrické energie	7583,1	8104,0	8327,3	28,82
Energetická náročnost budovy				**28,82**

Protože nejsou k dispozici hodnoty spotřeb energií v letních měsících je spotřeba energie na vytápění procentuálně převzata ze skutečné celkové roční spotřeby a z protokolu PENB, tedy 19,06GJ.

Při výpočtovém modelování objektu byla uvažována vnitřní teplota θ_i = 21°C a hodinová výměna vzduchu n_h = 0,05 h^{-1}. Touto hodnotou byla zohledněna rekuperace tepla při výměně vnitřního vzduchu a vysoké účinnosti rekuperační jednotky. Byla vypočtena celková spotřeba tepla pro vytápění 15,53GJ. Tato hodnota je oproti projektované 17,65GJ a naměřené 19,06GJ nižší o 12% respektive 18,5%.

Skutečná vyšší spotřeba energie je v tomto objektu zdůvodnitelná skutečnými mikroklimatickými podmínkami, neboť vnitřní teplota patrně bude vyšší než udávaná. Mladá rodina, která objekt užívá, toho času vychovává tři malé děti.

Průběh teplot, tepelného výkonu a spotřeba energie v jednotlivých místnostech domu je vyobrazena v grafu 4.



Graf 4: Výpočtová spotřeba energie a průběh vnitřních teplot v EPD Brno Líšeň – dřevostavba

Pro výpočet byly nastaveny okrajové podmínky podle tabulky 14.

Tab. 14: Přehled požadavků uživatelů domu pro jednotlivé místnostiRD Brno Líšeň – dřevost.

Číslo místnosti	Účel místnosti	Objem místnosti [m^3]	Návrhová teplota [°C]	Topení
1	Koupelna	14,2	22	ano
2	Kuchyně	22,5	21	ne
3	Obývací pokoj	103,8	21	ano
4	Pracovna	31,9	21	ne
5	Sklad	2,9	21	ne
6	Chodba	64,3	21	ne
7	Šatna	12,1	21	ne
8	Ložnice	36,7	21	ne
9	Ložnice	36,7	21	ne
10	Ložnice	31,7	21	ne
11	Ložnice	26,2	21	ne
12	WC	3,5	19	ne
13	Koupelna	18,2	21	ano

Celková součtová spotřeba energie na vytápění z výpočtu programem *Stabilita* činí 4,31MWh/a. Při celkové ploše 157,5m^2 činí roční spotřeba 27,39kWh/m^2a. Hodnoty pro porovnání jsou skutečně naměřená spotřeba energie 33,61kWh/m^2a a navrhovaná spotřeba 31,6kWh/m^2a.

Z grafu 4 je možné dále vyčíst stoupající spotřeby energie na vytápění v místnostech s osazenými otopnými tělesy a okamžitý tepelný výkon topných medií v jednotlivých vytápěných místnostech.

Celková spotřeba energie je součet jednotlivých tepelných výkonů v grafu 4 posledního 365 dne.

9.4. EPD Brno-Líšeň – nosná ocelová tenkostěnná konstrukce

Objekt RD je postaven v městě Brně, městská část Brno-Líšeň v nadmořské výšce 308 m n. m. v klimatické oblasti II. Objekt je provozován od 10/2012 obývaný dvěma osobami. Nastavená vnitřní teplota v zimním období je θ_i = + 23°C.

9.4.1. Popis objektu a konstrukčního systému

Pasivní rodinný dům s nosnou konstrukcí z tenkostěnných ocelových nosníků s výplní z tepelné izolace ECOSE mezi nosnými prvky. Fasáda je izolována kontaktním zateplovacím systémem ETICS o tloušťce 160 mm z minerální vaty.

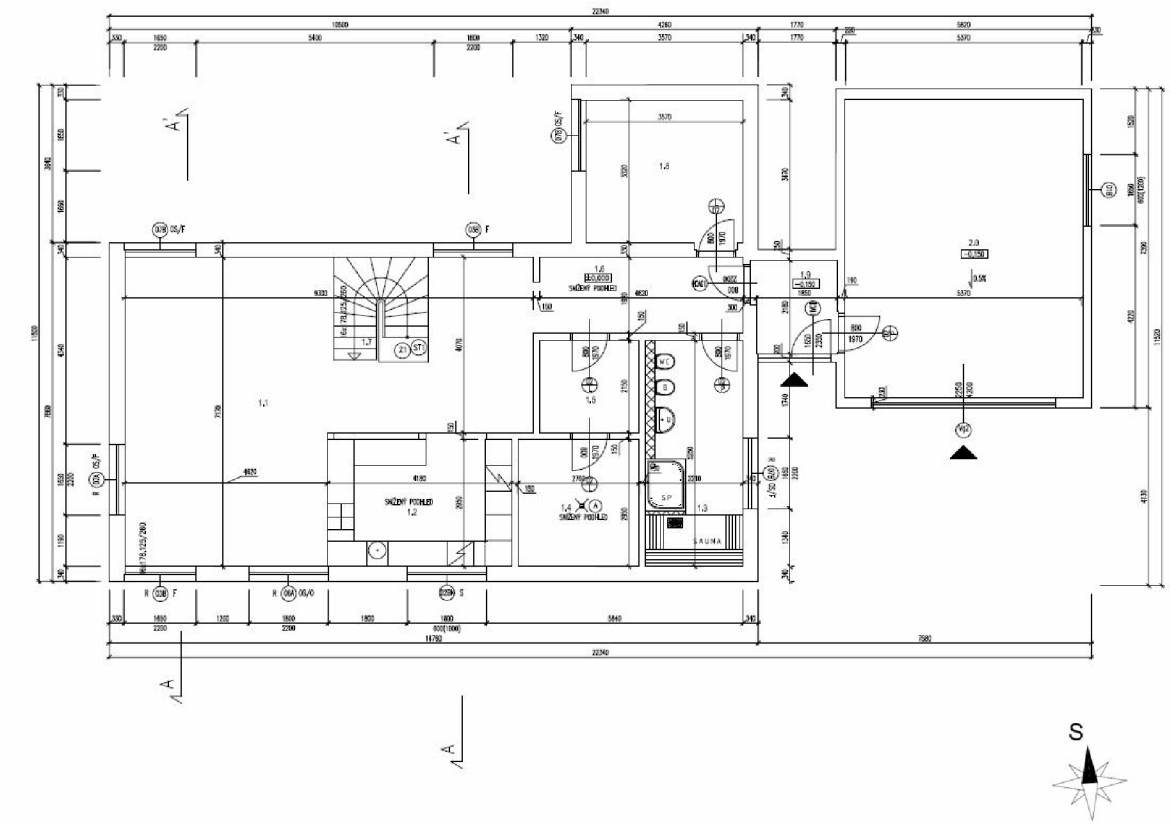
Obr. 11: Posuzovaný objekt EPD Brno Líšeň - jihozápadní pohled

9.4.2. Výpočtové hodnoty

Nepodsklepený dvoupodlažní rodinný dům s půdorysnou plochou jednoho podlaží 179 m^2. Celková plocha domu je 247 m^2. Plocha obálky domu je 624 m^2.

Tab. 15: Parametry EPD Brno Líšeň – s ocelovou nosnou konstrukcí

Vnější rozměry RD	m	22,3 x 11,5
Podlažní plocha	m^2	247
Zastavěná plocha	m^2	179,1
Objem domu venkovní (V1)	m^3	619
Povrch domu vnější (a)	m^2	624
Energetická náročnost vytápění	GJ/rok	17,6
Měrná energie na vytápění	kWh/ m^2 rok	30,1
Energetická náročnost budovy	GJ/rok	26,76
Třída energetické náročnosti budovy		**A**



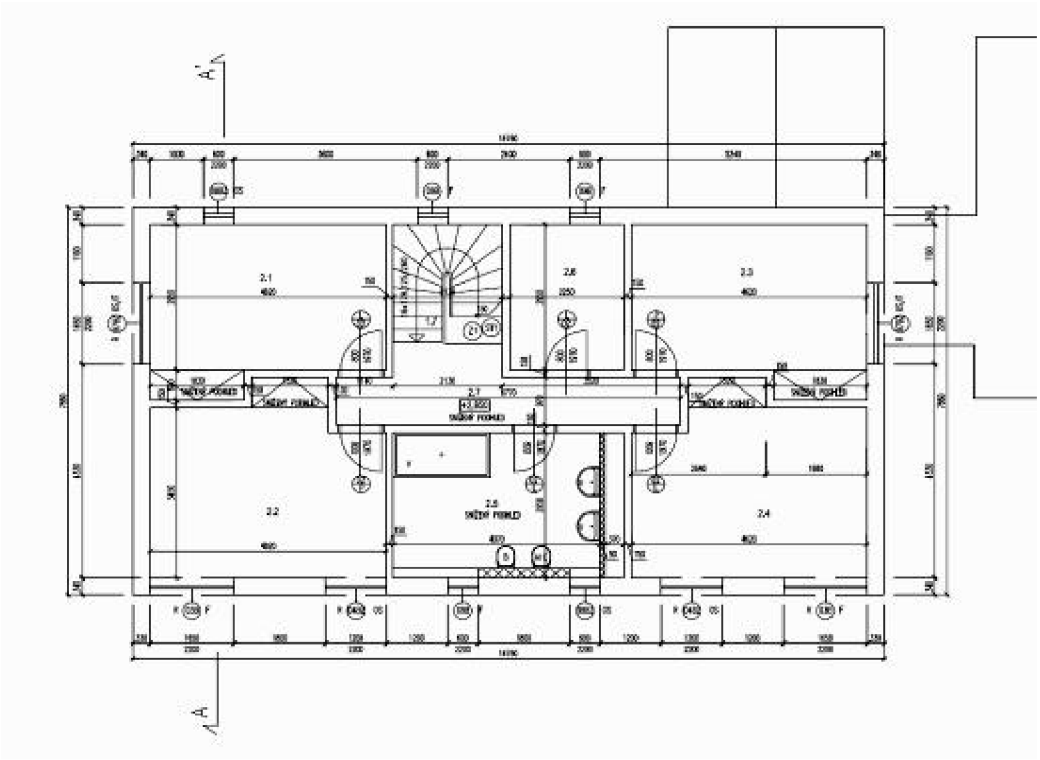
LEGENDA HMOT:

	OBVODOVÁ STĚNA OCELOVÉHO SYSTÉMU
	PŘÍČKA OCELOVÉHO SYSTÉMU
XXXXX	PŘEDSTĚNA SDK

LEGENDA MÍSTNOSTÍ:

ozn.	účel místnosti	plocha	podlaha*
1.1	Obývací pokoj	47,5	plovoucí podlaha + obvodová lišta
1.2	Kuchyňský kout	12,3	keramická dlažba ker.sokl 80 mm
1.3	Koupelna + WC	11,6	keramická dlažba
1.4	Technická místnost	8,1	keramická dlažba ker.sokl 80 mm
1.5	Šatna	4,9	keramická dlažba ker.sokl 80 mm
1.6	Chodba	8,2	keramická dlažba ker.sokl 80 mm
1.7	Schodiště	5,1	keramická dlažba ker.sokl 80 mm
1.8	Pokoj	12,0	plovoucí podlaha + obvodová lišta
1.9	Zádveří	4,2	keramická dlažba ker.sokl 80 mm
2.0	Garáž	36,9	keramická dlažba ker.sokl 80 mm

Výkr. 13: Půdorys 1. NP - EPD Brno Líšeň – s ocelovou konstrukcí



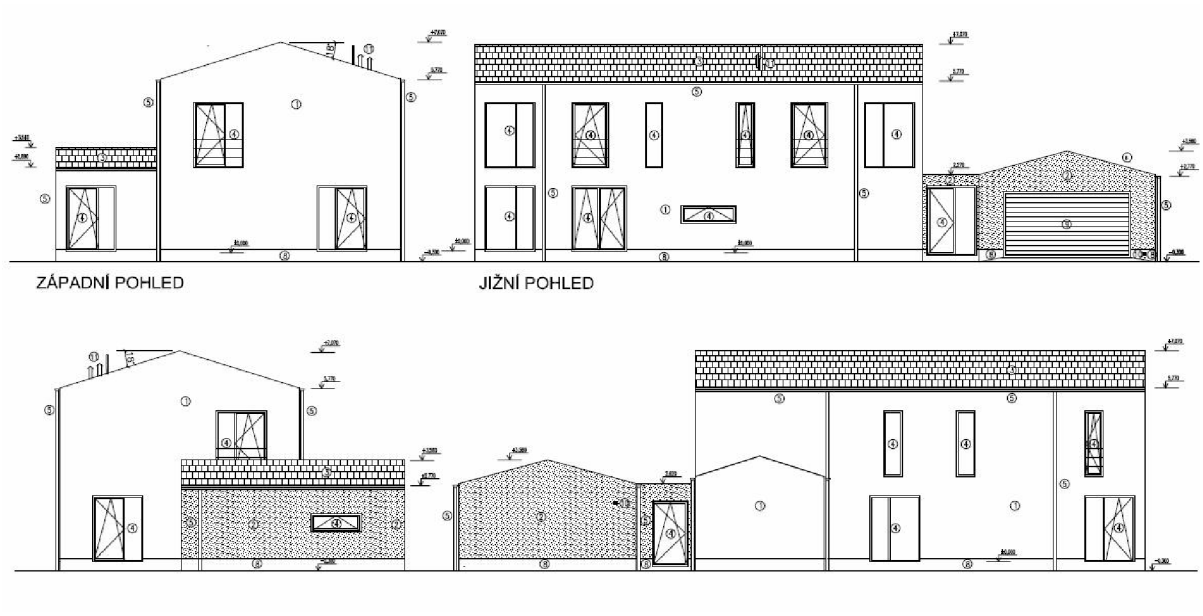
LEGENDA HMOT:

	OBVODOVÁ STĚNA OCELOVÉHO SYSTÉMU
	PŘÍČKA OCELOVÉHO SYSTÉMU
XXXX	PŘEDSTĚNA SDK

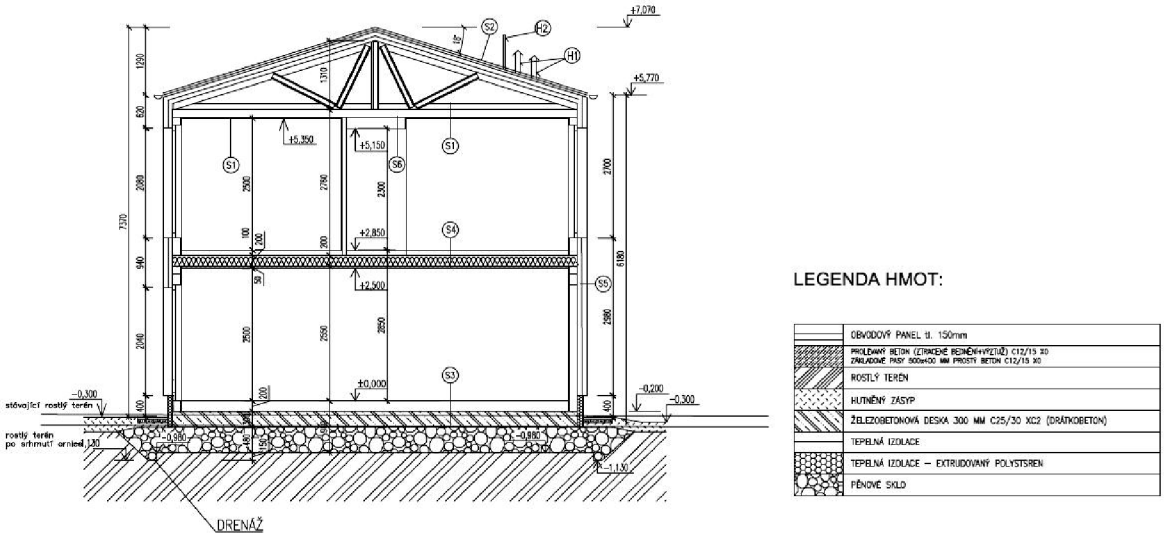
LEGENDA MÍSTNOSTÍ:

ozn.	účel místnosti	plocha	podlaha
2.1	Pokoj	14,8	plovoucí podlaha + obvodová lišta
2.2	Pokoj	16,3	plovoucí podlaha + obvodová lišta
2.3	Pokoj	14,8	plovoucí podlaha + obvodová lišta
2.4	Pokoj	16,3	plovoucí podlaha + obvodová lišta
2.5	Koupelna + WC	11,2	keramická dlažba
2.6	Šatna	6,6	keramická dlažba ker.sokl 80 mm
2.7	Chodba	8,1	keramická dlažba ker.sokl 80 mm

Výkr. 14: Půdorys 2. NP - EPD Brno Líšeň – s ocelovou konstrukcí



Výkr. 15: Pohledy - EPD Brno Líšeň – s ocelovou konstrukcí



Výkr. 16: Řez - EPD Brno Líšeň – s ocelovou konstrukcí

9.4.3. Skutečně naměřené spotřeby energií

Tab. 16: Skutečně naměřené spotřeby energií EPD Brno Líšeň – s ocelovou konstrukcí:

Spotřeba energie	2012 (1) (kWh)	2013 (2) kWh)	Průměr (GJ)/rok
Spotřeba elektrické energie	3 511	6 897	37,47
Energetická náročnost budovy			**37,47**
Pozn. (1) období 10 – 12/2012 *Pozn. (2) období 01 – 09/2013*			

Spotřeba na ohřev TUV ze spotřeby elektrické energie v letním období:

Průměr spotřeby energie za měsíce 06, 07, 08 činí 466,7 kWh, z toho vyplývá roční spotřeba na ohřev TUV a ostatní 5 600 kWh. Spotřeba na vytápění objektu z odečtu činí 4 808 kWh, tedy 17,31 GJ. Výsledná hodnota měrné energie na vytápění je 19,47 kWh/m^{2}rok.

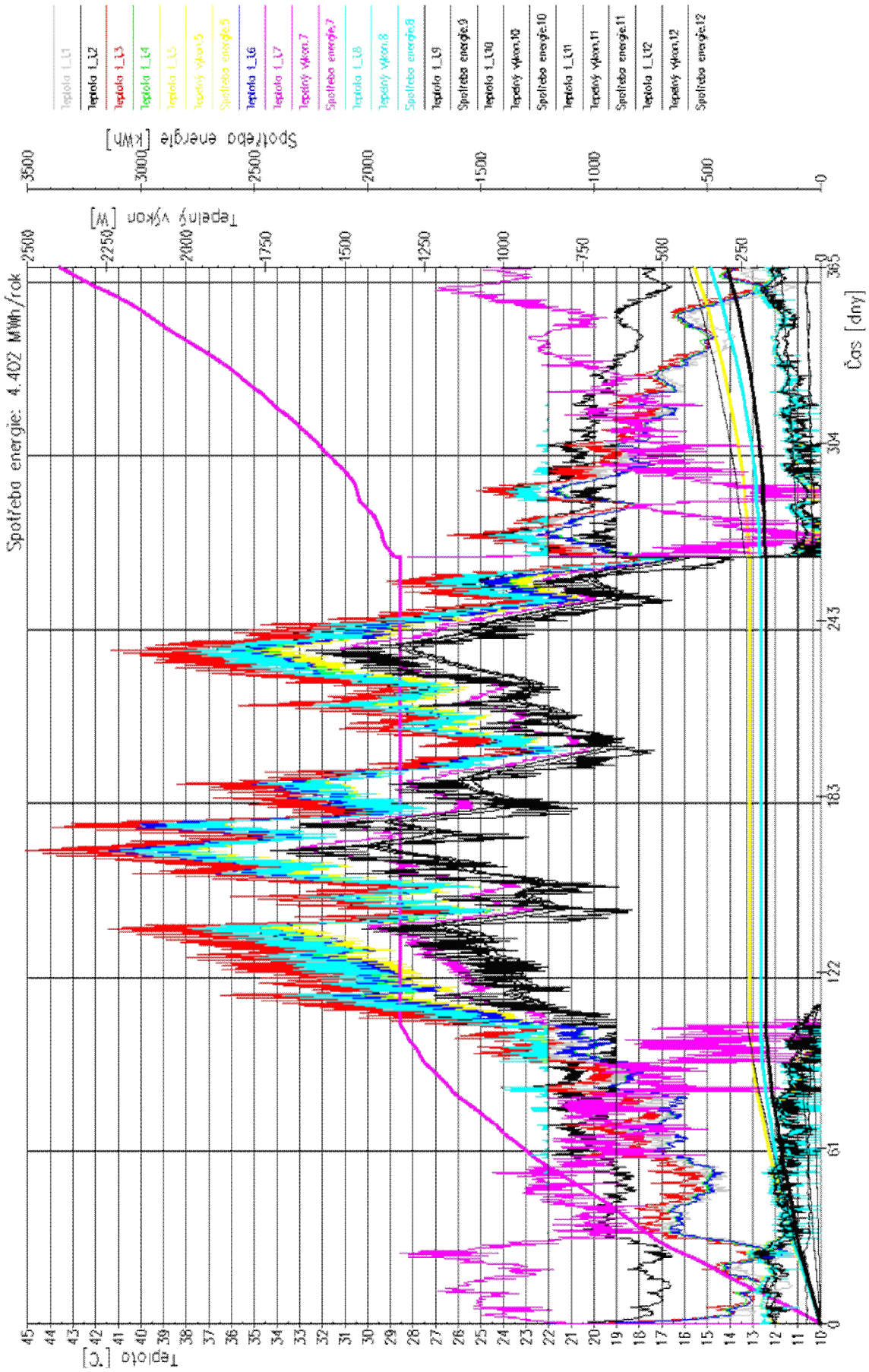
Při výpočtovém modelování objektu byla uvažována vnitřní teplota θ_i = 23°C a hodinová výměna vzduchu n_h = 0,05 h^{-1}. Touto hodnotou byla zohledněna rekuperace tepla při výměně vnitřního vzduchu a účinnost rekuperační jednotky. Byla vypočtena celková spotřeba tepla pro vytápění 20,29 GJ. Tato hodnota je oproti projektované 17,6GJ a naměřené 17,31GJ vyšší o cca 13%.

Tento rodinný dům je oproti třem posuzovaným předcházejícím objektům navržen i postaven s uzavřenou tepelně-izolační obálkou domu v celém jeho plášti. Lehká obvodová nosná ocelová konstrukce je založena na železobetonové desce s důsledným vyloučením tepelných mostů ve všech stycích vodorovných i svislých částí pláště.

Z hlediska tepelné stability celého objektu je tepelně-izolační schopnost koncentrována do těžké plovoucí silikátové podlahy v 1. NP, která je vybavena podlahovým systémem vytápění. Vytápění místností ve 2.NP je zajištěno vzduchotechnickým rozvodem teplého vzduchu z 1NP. Vzduchotechnický systém je vybaven rekuperátorem tepla.

Ve výpočtovém simulačním programu *Stabilita* nebyly důsledně zohledněny tepelně-izolační vlastnosti zabudovaných oken se zasklením obsahující fólie *Heat Mirror*. Toto se projevuje v zimním období vyšší izolační schopnosti. Výpočtová spotřeba energie by v posuzovaném objektu byla nižší, tedy srovnatelná s projektovanou i skutečně prokázanou spotřebou energie.

Průběh teplot, tepelného výkonu a spotřeba energie v jednotlivých místnostech domu je vyobrazena v grafu 5.



Graf 5: Výpočtová spotřeba energie a průběh vnitřních teplot v EPD Brno Líšeň

Pro výpočet byly nastaveny okrajové podmínky podle tabulky 17.

Tab. 17: Přehled požadavků uživatelů domu pro jednotlivé místnosti RD Brno Líšeň s OK

Číslo místnosti	Účel místnosti	Objem místnosti [m^3]	Návrhová teplota [°C]	Topení
1	Ložnice	47,4	22	ne
2	Šatna	21,1	22	ne
3	Ložnice	47,4	22	ne
4	Ložnice	52,1	22	ne
5	Koupelna	35,8	22	ano
6	Ložnice	40,8	22	ne
7	Obývací pokoj	225,4	22	ano
8	Pracovna	30,0	22	ano
9	Šatna	12,2	22	ano
10	Sklad	20,2	22	ano
11	Koupelna	29,0	22	ano
12	Zádveří	10,5	19	ano

Podle výpočtového grafu nastává zřejmé přehřívání teploty vnitřního prostředí místností s okny orientovanými jižním a západním směrem v období duben až srpen referenčního roku.

Posuzovaný objekt z lehké obvodové konstrukce je však vybavem rekuperací vnitřního vzduchu. V simulačních výpočtech byla tato skutečnost zohledněna nižším procentem výměny vzduchu. Ve skutečnosti byla skutečná vnitřní teplota v uvedeném období nižší a to z důvodu výměny vzduchu v nočních hodinách, kdy je teplota venkovního vzduchu nižší než v denní době a dále nezohledněnými venkovními žaluziemi, které rovněž snižují vnitřní teplotu. Ve zbývající části roku solární zisky příznivě ovlivňují spotřebu energie na vytápění.

Jedna z metod posouzení tepelné pohody je stupnice tepelných pocitů podle van Zuilena [59], kdy je přepoklad, že tepelná pohoda je regulovaný tepelný stav osob bez zvýšení látkové výměny, pocení a produkce tepla. Stupnice je uvedena v tabulce 18.

Tab. 18 Stupnice tepelných pocitů s [59],

s	Tepelný pocit	s	Tepelný pocit
1	Příliš horko	5	Mírně chladno
2	Horko	6	Chladno
3	Mírně horko	7	Velmi chladno, zima
Při *s* = 4 tepelná pohoda			

Vliv prostředí se hodnotí pocitový stav tepelné pohody i nepohody, v posuzovaném objektu nedochází k výkyvům tepelné pohody vnitřního prostředí.

E. Závěr

Z výsledků energetické náročnosti staveb uvedených v tabulce 20 lze vyvodit, že u NED a EPD je důležitá celková tepelná kapacita domu a s ní související teplotní setrvačnost. Těžká obvodová sendvičová zdiva mají vysokou tepelnou kapacitu, a proto pomaleji vychládají, tedy déle udrží stabilní vnitřní teplotu.

Tab. 19: Souhrnné porovnání energetické náročnosti jednotlivých domů z odečtu

Energetická náročnost budovy (GJ)	**Projektovaná (GJ)**	**Skutečná (GJ)**	**Rozdíl v (%)**
NED Praha – porotherm	135,70	94,89	- 30,07
EPD Březina – sendvičová kce	20,21	16,45	- 18,60
EPD Brno Líšeň – dřevostavba	26,51	28,82	+ 8,71
EPD Brno Líšeň – ocelová nosná konstrukce	26,80	37,47	+ 31,07

Tab. 20: Souhrnné porovnání energetické náročnosti jednotlivých budov na vytápění z odečtu

Energetická náročnost budovy na vytápění (GJ)	**Projektovaná (GJ)**	**Skutečná (GJ)**	**Vnitřní teplota (°C)**	**Rozdíl v (%)**
NED Praha – porotherm	94,00	57,04(1)	23	- 39,32
EPD Březina – sendvičová kce	7,99	10,82	20	+ 35,42
EPD Brno Líšeň - dřevostavba	17,65	19,18(2)	21	+ 8,7
EPD Brno Líšeň – ocelová nosná konstrukce	17,60	19,47	23	+ 4,20
Pozn. (1) uvedena nepříznivější hodnota z 57,04GJ a 45,21GJ				
Pozn. (2)hodnota navýšena z PEMB o 8,7% (přepočet z hodnoty odečtu 1x za rok)				

Úvodní předpoklady, že těžké nosné konstrukce budou mít lepší tepelnou stabilitu oproti lehkým, u kterých bude nižší spotřeba energie a akumulační schopnost bude nahrazena řízením a technologiemi, se zcela nepotvrdily. Těžké konstrukce projevují nejen vyšší tepelnou stabilitu, ale překvapivě i nižší spotřebu energií, jak bylo zjištěno z energetických údajů.

Bylo prokázáno, že celková spotřeba energie pro různé domy EPD a NED je nejvíce ovlivněna chováním uživatele. Zejména jde o energie spotřebovaná na přípravu teplé užitkové vody a vnitřní mikroklimatickou teplotu nastavenou v jednotlivých místnostech domu v topném období.

Při průměrné venkovní teplotě v topném období θ_{em} = 3,8°C a rozdílné vnitřní teplotě θ_i = 19°C proti θ_i = 23°C, představuje navýšení spotřeby energie na vytápění o více než 25 %. Stejně tak i spotřeba energie na ohřev TUV může být při vyšší spotřebě teplé vody až o 50% vyšší.

Značný vliv na spotřebu energie v NED a EPD domech má i nastavená hodinová výměna vnitřního vzduchu. V objektech s rekuperační jednotkou, kde dochází k předání části tepla studenému vzduchu, je rozhodujícím faktorem její účinnost. Z těchto důvodů jsou těžké stavební konstrukce bezpečnější proti chybným zásahům uživatele a výkyvům teplot ve vnitřním prostředí.

Pro projektanty je tento poznatek další výzvou při navrhování objektů nejen jako architektonický prostor uspořádaný na míru konkrétnímu investorovi, ale i jako jedinečný návrh energetického systému jednotlivého objektu v souvislosti se způsobem užívání. Navrhování doplňkových technologií, jako jsou solární systémy na ohřev teplé užitkové vody, zejména při její vyšší spotřebě, je tedy žádoucí, protože spotřeba TUV výrazně ovlivňuje celkovou spotřebu energie v jednotlivých objektech.

Pro zpřesnění těchto závěrů by bylo nutné sledovat časový průběh teplot θ_i a θ_e v průběhu celého roku v jednotlivých lokalitách, dále mít k dispozici konkrétní změřené spotřeby TUV v objektech. U domů s provozovaným krbem pak také jeho výkon i dobu provozu.

Mimo výše uvedené závěry vyplývající z technických postupů této práce bych rád uvedl i praktické zkušenosti majitelů s vytápěním a kolísání vnitřní teploty domů s velmi nízkou spotřebou energie. Jejich zkušenosti totiž neodpovídají zcela exaktním předpokladům založeným na projektových předpokladech. To se týká především domů s lehkými konstrukcemi. Uživatelé se v průběhu prvního topného období naučí využívat některé z předností, a naopak eliminovat nevýhody, svého domu. Na základě těchto zkušeností zpravidla nastaví regulační systém a dále se sledováním skutečných stavů a spotřeb nezabývají. Jsou spokojeni, neboť domy s velmi nízkou spotřebou energie, které mají poměrně vysokou teplotu vnitřních povrchů, jim poskytují vysoký standard tepelné pohody. Všechny mají při reálném používání nízkou spotřebu energie, i když systém vytápění není zcela optimalizován a bezchybně regulován.

Při dlouhodobější nepřítomnosti uživatelů dochází samozřejmě k vyšším výkyvům teplot vnitřního vzduchu v místnostech objektů s lehkou konstrukcí obálky budovy. Nízká tepelná setrvačnost však umožňuje rychlý návrat na požadovanou teplotu interiéru. Proto v případech, kde způsob života uživatelů způsobuje jejich častou, dlouhodobější nepřítomnost

delší než 4 dny, je vhodné použít lehké konstrukce a topný systém mírně naddimenzovat, aby návrat na požadovanou vnitřní teplotu prostředí byl co nejrychlejší.

Většina uživatelů uvedla, že za pozornost stojí nikoliv druh a způsob vytápění v domě, ale udržení stabilní vnitřní teploty v období letním. Rozhodujícím je správný návrh zastínění a to nejen prosklených ploch na jižní straně, ale i na stranách východní a západní. Při nesprávném stínění dochází u domů s lehkými konstrukcemi k rychlému nárůstu vnitřní teploty, u domů s těžkými konstrukcemi je nárůst teploty pomalejší, ale akumulovaná energie je následně vyzařována do interiéru po dlouhou dobu.

Výhodou těžkých konstrukcí je možnost použít vyšší tepelné akumulace a domy v noci „předchladit“. Návrh skladeb obvodových konstrukcí by měl splňovat požadavek, aby fázový posun teplotního kmitu:

$$\Psi_{id} \approx 12h \qquad (22).$$

Ideální časový posun mezi maximální teplotou vnitřního povrchu $\theta_{si,max}$ a maximem teploty vnějšího prostředí θ_e byl v intervalu 10 – 12 hodin, za předpokladu harmonického kolísání vnějších teplot.

Praktické zkušenosti rovněž ukazují, že je vhodné zastínit nejen prosklené plochy, ale i izolované části fasád a střech. Výhodné je zejména použití opadavé zeleně, která v létě poskytne požadovaný stín, ale v přechodových obdobích časného jara a pozdního podzimu může sluneční záření poskytovat pasivní energetické zisky.

Další nezanedbatelnou otázkou je cena použitých stavebních materiálů na stavbu domu a rychlost stavby či montáže konstrukce. Pro udržitelnou výstavbu i zabudovaná energie a hodnoty vázané produkce CO_2 v celém životním cyklu budovy. A to podíl vázané energie z neobnovitelných zdrojů a podíl použití přírodních materialů a recyklovatelných materiálů.

Problematika stavění NED a EPD objektů vyžaduje zcela nový přístup k projektování, výstavbě i kontrole při výstavbě. I když od roku 2009 je povinností stavět objekty s energetickou náročností blížící se nulové spotřebě energie, u většiny staveb tohoto trendu není zcela využito. Zdá se, že k provádění staveb chybí potřebné dovednosti i znalosti, zejména při řemeslném zpracování. Domnívám se, že si tato problematika stavění zasluhuje vyšší míru pozornosti, například i na úrovni technického vzdělávání, kde v současnosti chybí tato specializace.

F. Seznam obrázků

(1) Konstrukce pro kotvení na fasádě s přerušeným tepelným mostem
(2) Nosná tenkostěnná ocelová konstrukce
(3) Průkaz energetické náročnosti – EPD Brno Líšeň
(4) Schéma členění jednotlivých nákladů při výpočtu nákladového optima
(5) Blower door test
(6) LED - osvětlení schodiště
(7) Schéma vzájemných tepelných vazeb v RD
(8) RD Praha – jihovýchodní pohled
(9) EPD Březina – jižní pohled
(10) EPD Líšeň dřevostavba – jižní pohled
(11) EPD Brno Líšeň - jihozápadní pohled

G. Seznam výkresů

[1] Půdorys 1.NP RD Praha – porotherm
[2] Půdorys 2.NP RD Praha – porotherm
[3] Pohledy RD Praha – porotherm
[4] Řez RD Praha – porotherm
[5] Půdorys 1.NP EPD Březina u Křtin – sendvičové zdivo
[6] Půdorys 2.NP EPD Březina u Křtin – sendvičové zdivo
[7] Pohledy EPD Březina u Křtin – sendvičové zdivo
[8] Řez EPD Březina u Křtin – sendvičové zdivo
[9] Půdorys 1.NP EPD Líšeň dřevostavba
[10] Půdorys 2.NP EPD Líšeň dřevostavba
[11] Pohledy EPD Líšeň dřevostavba
[12] Řez EPD Líšeň dřevostavba
[13] Půdorys 1. NP - EPD Brno Líšeň – s ocelovou konstrukcí
[14] Půdorys 2. NP - EPD Brno Líšeň – s ocelovou konstrukcí
[15] Pohledy - EPD Brno Líšeň – s ocelovou konstrukcí
[16] Řez - EPD Brno Líšeň – s ocelovou konstrukcí

H. Seznam grafů

[1] Sluneční zisky modelové budovy v jednotlivých měsících referenčního roku

[2] Výpočtová spotřeba energie a průběh vnitřních teplot NED Praha

[3] Výpočtová spotřeba energie a průběh vnitřních teplot EPD Březina

[4] Výpočtová spotřeba energie a průběh vnitřních teplot EPD Brno Líšeň dřevostavba

[5] Výpočtová spotřeba energie a průběh vnitřních teplot EPD Brno Líšeň OK

I. Seznam tabulek

[1] Požadované hodnoty poklesu teploty v zimním období $\Delta\theta_{v,N(t)}$

[2] Požadované hodnoty nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti $\theta_{ai,max,N}$

[3] Venkovní osvětlení

[4] Parametry RD Praha

[5] Skutečně naměřené spotřeby energií RD Praha

[6] Přehled požadavků uživatelů domu pro jednotlivé místnosti RD Praha

[7] Parametry EPD Březina

[8] Skutečně naměřené spotřeby energií EPD Březina u Křtin – sendvičové zdivo

[9] Tabulka odečtů spotřeb energie RD Březina

[10] Přehled požadavků uživatelů domu pro jednotlivé místnostiRD Březina

[11] Parametry EPD Brno Líšeň - dřevostavba

[12] Tabulka odečtů RD Brno – Líšeň dřevostavba

[13] Skutečně naměřené spotřeby energií RD Brno – Líšeň dřevostavba

[14] Přehled požadavků uživatelů domu pro jednotlivé místnostiRD Brno – Líšeň dřevostavba

[15] Parametry EPD Brno Líšeň – s ocelovou nosnou konstrukcí

[16] Skutečně naměřené spotřeby energií EPD Brno Líšeň – s ocelovou konstrukcí

[17] Přehled požadavků uživatelů domu pro jednotlivé místnosti RD Brno – Líšeň OK

[18] Stupnice tepelných pocitů s

[19] Souhrnné porovnání energetické náročnosti jednotlivých domů z odečtu

[20] Souhrnné porovnání měrné energie na vytápění jednotlivých domů z odečtu

J. *Tab. 6:* Seznam symbolů

λ	součinitel tepelné vodivosti	W/m.K
$\Delta\theta_{v(t),N}$	nejvyšší denní teploty pro letní období v. s. norma	K
c	měrná tepelná kapacita	J/kg.K
$C_g(\tau)$	celkové měrné náklady za dobu τ	Kč
C_j	výše vstupní investice	Kč
C_p	tlakový korekční součinitel	-
D	činitel denní osvětlenosti	%
D_e	je vnitřní odražená složka	%
D_i	vnější odražená složka	%
D_s	oblohová složka	%
E	osvětlenost v bodě srovnávací roviny	lx
E_k	osvětlenost venkovní vodorovné nezacloněné roviny	lx
$f_{Rsi,cr}$	kritický teplotní faktor vnitřního povrchu	-
$f_{Rsi,min}$	teplotní faktor vnitřního povrchu	-
$f_{Rsi,N}$	teplotní faktor vnitřního povrchu	-
g	gravitační zrychlení	m/s^2
h	výška zjišťovaného bodu	m
h_{NR}	výška neutrální roviny	m
M_c	zkondenzované množství vodní páry uvnitř konstrukce	kg
$M_{c,N}$,	zkondenzované množství vodní páry přípustné ČSN	kg
M_{ev}	zkondenzované množství vodní páry uvnitř konstrukce dle ČSN	kg
n	intenzita výměny vzduchu v místnosti	h^{-1}
n_{50}	celková průvzdušnost obálky vzduchu při Δp = 50 Pa	h^{-1}
N_c	celkový náklad na provoz osvětlovací soustavy	Kč
N_E	náklady za odebranou elektrickou energii	Kč
N_i	roční odpisy včetně úrokové míry	Kč
n_N	intenzita výměny vzduchu v místnosti dle normy	m^3/h
N_p	náklady za osvětlovací soustavu za rok	Kč
p	tlak	Pa
R	tepelný odpor konstrukce	m^2K/W
R_{se}	přestupový tepelný odpor *e*	m^2K/W
R_{si}	přestupový tepelný odpor *i*	m^2K/W
R_T	tepelný odpor při prostupu tepla stěnou	m^2K/W
U	součinitel prostupu tepla	W/m^2K

U_{em}	prostup tepla obálkou budovy	W/m^2K
$U_{em,N}$	prostup tepla obálkou dle ČSN 73 0540	W/m^2K
U_{id}	optimalizovaná hodnota prostupu tepla obálkou budovy	W/m^2K
v	rychlost větru	m/s
Δp_t	rozdíl tlaku vyvolaný rozdílem teplot	Pa
Δp_v	tlaková diference (návětrná / závětrná) strana	Pa
ΔU	vliv tepelných mostů na prostup tepla	W/m^2K
$\Delta\theta_{10}$	pokles dotykové teploty podlahy	K
$\Delta\theta_{10,N}$	pokles dotykové teploty podlahy	K
$\Delta\theta_{v(t)}$	nejvyšší denní teploty pro letní období	K
$\Delta\theta_{v,N(t)}$	hodnoty poklesu teploty v zimním období	K
$\Delta\varphi_i$	relativní vlhkost - bezpečnostní přirážka	-
$\theta_{ai,max}$	teplota v letním období pro kritické místnosti	°C
$\theta_{ai,max,N}$	teplota v letním období pro kritické místnosti dle normy	°C
$\theta_{ai,max,N}$	hodnoty nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti	°C
θ_{si}	teplota konstrukce hodnocenou pomocí f_{Rsi}	°C
$\theta_{si,min}$	nejnižší požadovaná povrchová teplota	°C
$\theta_{si,max}$	nejvyšší vnitřní povrchová teplota	°C
θ_i	vnitřní teplota	°C
θ_e	vnější teplota	°C
μ	faktor difúzního odporu	-
ρ	měrná hmotnost	kg/m^3
φ	relativní vlhkost vzduchu	-
$\varphi_{i,r}$	relativní vlhkost vnitřního prostředí	-
$\varphi_{si,\ cr}$	relativní vlhkost kritická	-
χ_e	bodový činitel prostupu tepla	-
ψ_e	lineární činitel prostupu tepla	-
χ_{eN}	bodový činitel prostupu stanovený dle normy	-
ψ_{eN}	lineární činitel prostupu stanovený dle normy	-
ψ	fázový posun teplotního kmitu	h

K. Seznam použitých zkratek

CLT	stěnové panely na bázi křížem vrstveného masivního dřeva (Cross Laminated Timber)
ČSN	označení českých technických norem
ENB	energetická náročnost budovy
EPBD	Směrnice o energetické náročnosti budov
EPD	energeticky pasivní dům
ETICS	fasádní kontaktní zateplovací systém
EU	Evropská Unie
HDPE	vysokohustotní polyetylen
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci – zde označení mezinárodních norem (International Organization for Standardization)
LCA	Posuzování životního cyklu (Life Cycle Assessment)
LCIA	Metoda posuzování dopadu výroby na životní prostředí (Life Cycle Impact Assessment)
LED	zdroj emitující světlo (Light-Emitting Diode)
NED	nízkoenergetický dům
m n. m.	metrů nad mořem
PE	polyetylén
PENB	průkaz energetické náročnosti budovy (Energy Performance of Buildings Directive)
PES	polyester
PHI	Certifikace budov dle Passivhaus Institutu
PHPP	nástroj pro návrh pasivních domů (Passive House Planing Package)
PMV	index předpokládané průměrné volby tepelného stavu (Predicted Mean Vote)
PIR	polyisokyanurát
PPD	předpovídané procento nespokojených (Predicted Percentage of Dissatisfied)
PUR	polyuretan
RD	rodinný dům
TUV	teplá užitková voda
UV	ultrafialové záření

L. Literatura

[1] Feist, W., Klein, J.; Nízkoenergetický dům; *HEL, Ostrava 1994*

[2] Halahyja, M.; Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie, *Alfa Bratislava 1985*

[3] Tywoniak, J.; Nízkoenergetické domy, principy a příklady; *Grada Publishing 2005*

[4] Tywoniak, J.; Nízkoenergetické domy, principy a příklady 2; *Praha Grada Publishing 2008*

[5] Tywoniak, J.; Nízkoenergetické domy, nulové, pasivní a další 3; *Praha Grada Publishing 2013*

[6] Vše o nízkoenergetickém domě; *Jaga Group 2008*

[7] Rybár P., Hraška J. a kol.; Denní osvětlení a oslunění budov; *Brno ERA Group, 2002*

[8] HELUZ cihlářský průmysl v.o.s.; *http. //www.heluz.cz/* [cit. 05.2014]

[9] Bárta, J.; Pasivní domy 2007; *Brno Centrum pasivního domu 2007, vyd.1*

[10] Smola, J.; Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů; *Praha Grada Publishing 2011*

[11] Nagy, E.; Nízkoenergetický ekologický dům; *Bratislava Jaga Group 2002*

[12] Šála, J.; Zateplování budov; *Praha Grada Publishing 2000*

[13] IZOLACE KONOPÍ CZ, s.r.o.; *http. //www.konopi-izolace.cz/* [cit. 05.2014]

[14] Stavební izolace z vlny; *http. //www.izolacezvlny.cz/* [cit. 05.2014]

[15] Šála, J., Machatka M.; Zateplování v praxi, Provádění vnějších zateplovacích systémů; *Praha Grada Publishing 2002*

[16] Šála, J.; Navrhujeme nízkoenergetický a pasivní dům, Příručka projektanta pro navrhování vnějších stěn; *České Budějovice Wienerberger cihlářský průmysl 2010*

[17] Machatka M., Šála, J.; Snížení spotřeby tepla na vytápění obytných budov při zateplení neprůsvitných obvodových stěn; *Brno OPET CR 2001*

[18] Směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropy 2002/91/ES, o energetické náročnosti budov (EPBD), 2002

[19] Novela směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropy 2010/31/ES, o energetické náročnosti budov (EPBD II), 2010

[20] Směrnice Rady č. 89/106/EHS, o sbližování právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků, 1989

[21] Nařízení Evropského parlamentu a Rady EU č. 305/2011, *ČSN 2011*

[22] Zákon č.183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)

[23] Zákon č.406/2000 Sb., o hospodaření s energií (úplné znění jak vyplývá z pozdějších změn v zákoně č. 61/2008 Sb. – tato novela zahrnuje zavedenou směrnici EPBD)

[24] Vyhláška č.148/2007 Sb., o energetické náročnosti budov

[25] Vyhláška č.268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby (a změna č. 20/2012)

[26] Vyhláška č.213/2001 Sb., kterou se vydávají podrobnosti náležitostí energetického auditu (a změna č.425/2004 Sb.)

[27] Nařízení č.163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky (a změna č. 312/2005 Sb.)

[28] ČSN EN 12831:2005, Tepelné soustavy v budovách – výpočet tepelného výkonu; *ČNI Praha 2005*

[29] ČSN EN 15459:2010, Energetická náročnost budov – postupy pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách; *ČNI Praha 2010*

[30] ČSN EN 1745, Zdivo a výrobky pro zdění – metody pro stanovení výpočtových tepelně technických hodnot, *ČNI Praha 2012*

[31] ČSN EN 13947:2007, Tepelné chování lehkých obvodových plášťů – výpočet součinitele prostupu tepla; *ČNI Praha 2007*

[32] ČSN 73 0540-2:2011, Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky; *ČNI Praha 2011*

[33] ČSN 73 0540-2:2011, Tepelná ochrana budov – část 3: Návrhové hodnoty veličin; *ČNI Praha 2011*

[34] ČSN 73 0540-2:2011, Tepelná ochrana budov – část 4: Výpočtové metody, *ČNI Praha 2011*

[35] ČSN EN ISO 13788:2002, Tepelně vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků – vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce – výpočtové metody; *ČNI Praha 2002*

[36] ČSN EN ISO 10211:2009, Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – tepelné toky a povrchové teploty – podrobné výpočty; *ČNI Praha 2009*

[37] ČSN EN ISO 6946:2008, Stavební prvky a stavební konstrukce – tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – výpočtová metoda; *ČNI Praha 2008*

[38] ČSN EN ISO 14683:2009, Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích- lineární činitel prostupu tepla – zjednodušené metody a orientační hodnoty; *ČNI Praha 2009*

[39] ČSN EN ISO 10456, Stavební materiály a výrobky – tepelně vlhkostní vlastnosti – tabelované návrhové hodnoty a postupy pro stanovení deklarovaných a návrhových hodnot; *ČNI Praha 2009*

[40] ČSN EN ISO 13829:2001, Tepelné chování budov – stanovení průvzdušnosti budov – tlaková metoda; *ČNI Praha 2001*

[41] ČSN 73 2901, Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS); *ČNI Praha 2005*

[42] ČSN EN ISO 13790:2009, Energetická náročnost budov – výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení; *ČNI Praha 2009*

[43] ČSN EN ISO 15217:2008, Energetická náročnost budov – metody pro vyjádření energetické náročnosti a pro energetickou certifikaci budov; *ČNI Praha 2008*

[44] ČSN EN ISO 15603:2009, Energetická náročnost budov – celková potřeba energie a definice energetických hodnocení; *ČNI Praha 2009*

[45] ČSN EN ISO 15193:2008, Energetická náročnost budov – energetické požadavky na osvětlení; *ČNI Praha 2008*

[46] ČSN EN ISO 13187:1999, Tepelné chování budov – kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov – infračervená metoda; *ČNI Praha 2009*

[47] ČSN EN ISO 7730:2005, Ergonomie tepelného prostředí – analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu, *ČNI Praha 2006*

[48] TNI 73 0330:2010, Zjednodušené výpočtové hodnocení a kvalifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – bytové domy, *UNMZ Praha 2009*

[49] TNI 73 0329:2010, Zjednodušené výpočtové hodnocení a kvalifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – rodinné domy, *UNMZ Praha 2009*

[50] TNI CEN/TR 15615:2009, Vysvětlení obecných vztahů mezi různými evropskými normami a směrnicí o energetické náročnosti budov (EPBD) – zastřešující dokument, *UNMZ Praha 2008*

[51] Künzel, H. M.; Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. And and two dimensional calculation usány simple parametres; *Disertační práce Stuttgart, Fraunhofer Institute of Building Physics 1995*

[52] Šála, J.; Izolační praxe 9, Tepelně technické řešení obvodových stěn s pěnovým polystyrenem; účelová publikace; *Kralupy nad Vltavou Sdružení EPS Čr 2010*

[53] Pytlík P.; Vlastnosti a užití stavebních výrobků; *Vysoké Učení technické v Brně 1998*

[54] Novák J.; Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov; *Praha, Grada 2008*

[55] Hudec M.; Pasivní rodinný dům: proč a jak stavět; *Praha, Grada 2008*

[56] Humm O.; Nízkoenergetické domy; *Praha, Grada 1999*

[57] Plch J.; Světelná technika v praxi; *Praha, IN-EL 1999*

[58] Kmínová H.; Studium tepelně technických materiálových vlastností staviv z hlediska jejich projevu na vnitřní mikroklima v budovách; *Disertační práce FAST VUT Brno 2006*

[59] Van Zuilen D.; Klimaatregeiling in woningen en werkruimenten; *Amsterodam 1945*

[60] Směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov; *Směrnice Evropského parlamentu 2010*

[61] Vyhláška č.78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov.