

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Stanovení tepelných ztrát pasivního domu
prostřednictvím termokamery**

**vedoucí práce: Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.
autor: Bc. Markéta Růžková**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Markéta RŮŽKOVÁ**
Osobní číslo: **E10N0095P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Stanovení tepelných ztrát pasivního domu prostřednictvím termokamery**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Popište zásady konstrukce pasivního domu.
2. Analyzujte tepelné ztráty pasivního domu.
3. Navrhněte metodiku a proveďte stanovení tepelných ztrát PD termokamerou.
4. Vyhodnoťte tepelné ztráty a navrhněte opatření k jejich snížení.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na problematiku tepelných ztrát pasivního domu. Cílem této práce je popsat vlastnosti pasivního domu s vlivem na tepelné ztráty. Analyzovat tepelné ztráty prostupem a větráním. Navrhnout metodiku stanovení tepelných ztrát a provést měření tepelných ztrát pasivního domu prostřednictvím termokamery. Vyhodnotit tepelné ztráty, a to jak výpočtem, tak počítačovým programem, a navrhnout opatření k jejich snížení.

Klíčová slova

Pasivní dům, tepelné ztráty, izolace, tepelný most, vzduchotěsnost, větrání, rekuperace, zemní výměník, termokamera

Abstract

Determination of thermal losses of passive house through thermo camera

This master thesis is focused on thermal losses of passive house. The aim of this study is to describe the properties of passive house due to thermal losses. Next aim is to analyze the thermal losses by transmission and ventilation. Design methodology for determination of the thermal losses and measure the thermal losses of passive house by thermo camera. Evaluate the thermal losses, both calculations and computer program, and to propose arrangements to reduce them.

Key words

Passive house, thermal losses, insulation, thermal bridges, air-proofness, ventilation, recuperation, ground heat exchanger, thermal camera

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 30.4.2012

Markéta Růžková

Růžková
.....

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Prof. Ing. Janovi Škorpilovi, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále také Ing. Pavlovi Šteklovi, Ph.D. za poskytnutí termokamery a přítomnost při měření tepelných ztrát.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM VYOBRAZENÍ	9
SEZNAM TABULEK	10
ÚVOD	11
ZÁKLADNÍ ÚVAHA	11
CÍL PRÁCE	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	12
1 KONSTRUKCE PASIVNÍHO DOMU	13
1.1 KRITEŘIA PASIVNÍHO DOMU	14
1.2 ZÁKLADNÍ ZNAKY PD	14
2 ANALÝZA TEPELNÝCH ZTRÁT PASIVNÍHO DOMU	16
2.1 TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTUPEM	16
2.2 TEPELNÉ ZTRÁTY VĚTRÁNÍM	17
3 TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI S VLIVEM NA TEPELNÉ ZTRÁTY	18
3.1 TVAR A PŮDORYS BUDOVY	18
3.2 OBALOVÉ STAVEBNÍ KONSTRUKCE	19
3.2.1 Obvodové stěny	21
3.2.2 Střecha	23
3.2.3 Podlahová deska	24
3.2.4 Výplně otvorů	24
3.3 TEPELNĚ IZOLAČNÍ SYSTÉM	27
3.3.1 Systém zateplení	27
3.3.2 Tepelně izolační materiály	27
3.4 TEPELNÉ MOSTY	30
3.5 VZDUCHOTĚSNOST	31
3.5.1 Požadavky na vzduchotěsnost	31
3.5.2 Kontrola neprůvzdušnosti	32
3.6 SYSTÉM ŘÍZENÉHO VĚTRÁNÍ S REKUPERACÍ	33
3.6.1 Funkce větracího zařízení se zpětným získáváním tepla	34
3.6.2 Zemní tepelný výměník	35
4 MĚŘENÝ OBJEKT - PASIVNÍ DŮM PLZEŇ	37
4.1 LOKALITA	37
4.2 CHARAKTERISTIKA STAVBY	38
4.3 STAVEBNÍ KONSTRUKCE	39
4.3.1 Obvodové stěny	39
4.3.2 Podlahová deska	40
4.3.3 Střecha	40
4.3.4 Okna	41
4.3.5 Větrání a vytápění	41
5 NAVRŽENÍ METODIKY A PROVEDENÍ STANOVENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT PD	
TERMOKAMEROU	42
5.1 TERMOKAMERA	42
5.2 POSTUP MĚŘENÍ, PODMÍNKY	43
5.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	45

6	VYHODNOCENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT A NAVRŽENÍ OPATŘENÍ K JEJICH SNÍŽENÍ.....	50
6.1	VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT POMOCÍ VZORCŮ.....	50
6.2	TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTUPEM	50
6.3	TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTUPEM STANOVENÉ POČÍTAČOVÝM PROGRAMEM	52
6.4	TEPELNÉ ZTRÁTY VĚTRÁNÍM	57
6.5	CELKOVÉ TEPELNÉ ZTRÁTY	60
6.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ.....	61
	ZÁVĚR	63
	POUŽITÁ LITERATURA.....	65
	PŘÍLOHY.....	1

Seznam vyobrazení

Obr.1	Možnost vzhledu pasivního domu (jižní strana) [zdroj:internet].....	13
Obr.2	Příklad návrhu energeticky příznivého domu [zdroj:[8]]	19
Obr.3	Příklady skladeb obvodových stěn pasivních domů (vodorovný řez) [zdroj:[8]].....	22
Obr.4	Příklady skladeb střechy pasivních domů (svislý řez) [zdroj:[8]]	23
Obr.5	Příklad skladby podlahy na terénu (svislý řez) [zdroj:[8]]	24
Obr.6	Základní větrací a rekuperační jednotka [zdroj:[1]]	34
Obr.7	Schéma principu fungování větracího zařízení se zpětným získáváním tepla [zdroj:[5]].....	35
Obr.8	Princip fungování zemního výměníku napojeného na rekuperační jednotku [zdroj: [9]].....	36
Obr.9	Lokalita pasivního domu Plzeň - Doubravka [zdroj:[13]]	37
Obr.10	Poloha domu v okolní zástavbě [zdroj:[13]].....	38
Obr.11	Termokamera FLUKE TI-55 [zdroj:[14]].....	44
Obr.12	Záznam měření - severní stěna pasivního domu [zdroj:vlastní zpracování]	46
Obr.13	Záznam měření - východní stěna pasivního domu [zdroj:vlastní zpracování]	47
Obr.14	Záznam měření - detail okna [zdroj:vlastní zpracování]	48
Obr.15	Podíl jednotlivých obalových konstrukcí na tepelné ztrátě prostupem [zdroj:[15]].....	51
Graf 1	Průběh teplot na severní stěně [zdroj:vlastní zpracování].....	47
Graf 2	Rozložení teplotního pole na západní fasádě [zdroj:vlastní zpracování]	48
Graf 3	Rozložení teplot na detailu okna [zdroj:vlastní zpracování]	49
Graf 4	Podíl jednotlivých konstrukcí na tepelných ztrátách prostupem [zdroj:vlastní zpracování]	52
Graf 5	Srovnání tepelných ztrát větráním při různých větracích systémech [zdroj:vlastní zpracování]	59
Graf 6	Podíl tepelných ztrát prostupem a větráním [zdroj:vlastní zpracování]	61
Graf 7	Porovnání tepelné ztráty větráním [zdroj:vlastní zpracování]	62

Seznam tabulek

Tab.1	Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro běžný, NED a PD [zdroj:[4]]	20
Tab.2	Požadovaná tloušťka tepelné izolace neprůsvitných stavebních konstrukcí v závislosti na skupině tepelné vodivosti izolačního materiálu bez ohledu na nosnou konstrukci [zdroj:[2]]	21
Tab.3	Požadavky na vlastnosti oken do pasivního domu [zdroj:[4]].....	25
Tab.4	Stavebně fyzikální vlastnosti tepelně izolačních materiálů [zdroj:[2]]	29
Tab.5	Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu [zdroj:[2]]	32
Tab.6	Skladba konstrukce obvodové stěny [zdroj:[12]].....	40
Tab.7	Skladba konstrukce podlahové desky [zdroj:[12]]	40
Tab.8	Skladba konstrukce střechy [zdroj:[12]].....	41
Tab.9	Předpoklady pro výpočet [zdroj: vlastní zpracování]	50
Tab.10	Hodnoty pro výpočet ztráty prostupem [zdroj:[12]].....	51
Tab.11	Lokalita budovy [zdroj: [9] + vlastní hodnoty]	52
Tab.12	Vlastnosti budovy [zdroj: [9] + vlastní hodnoty]	53
Tab.13	Charakteristické číslo budovy B [zdroj:[9]]	53
Tab.14	Výpočtové hodnoty pro PD [zdroj: [9] + vlastní hodnoty]	53
Tab.15	Vypočtené hodnoty materiálů pro obvodovou stěnu PD [zdroj: [9] + vlastní hodnoty].....	54
Tab.16	Vypočtené hodnoty materiálů pro střechu PD [zdroj: [9] + vlastní hodnoty].....	54
Tab.17	Vypočtené hodnoty materiálů pro podlahu PD [zdroj: [9] + vlastní hodnoty].....	55
Tab.18	Parametry obálkové konstrukce budovy [zdroj: [9] + vlastní hodnoty].....	56
Tab.19	Výpočet tepelných ztrát prostupem [zdroj: [9]]	56
Tab.20	Srovnání ztrát větráním při různých účinnostech větracího systému [zdroj:vlastní zpracování].....	60

Úvod

Základní úvaha

Předkládaná práce je zaměřena na tepelné ztráty pasivního domu, které mají - zvláště v zimním období - značný vliv na výši spotřeby energií v domě.

Princip fungování pasivního domu lze přirovnat k principu fungování termosky. Stejně jako v termoláhvi je i interiér domu dobře chráněn proti únikům tepla, aby si uchoval příjemnou teplotu bez nutnosti dodávání vysokého množství tepla z vnějších zdrojů.

Když se řekne „pasivní“, představila jsem si to jako něco líného, nečinného, flegmatického, jako něco co funguje bez své aktivní činnosti a využívá právě svoji pasivitu. Ano, toto se dá říci i o pasivním domě, který je sám o sobě přesně takový. Pasivní domy jsou pojmenovány právě podle vysokého využití pasivních zdrojů tepla. Aktivitu domu zajišťují fungující systémy, obyvatelé, spotřebiče i sluneční paprsky. Je to takový dům, v němž může být dosaženo vysoké tepelné pohody prostředí v zimě i v létě bez samostatného aktivního vytápěcího nebo klimatizačního systému, dům se „vytápí“ a „chladí“ zcela pasivně.

V době provozu je jednou z nejvýznamnějších a dnes nejsledovanější vlastností budovy energetická náročnost, která úzce souvisí právě s tepelnou ztrátou domu. Výsledné energetické vlastnosti budovy a vytvoření optimálního a komfortního vnitřního prostředí lze nejlépe ovlivnit celkovým koncepčním řešením - situováním objektu v dané lokalitě, tvarovým řešením, tepelně technickými vlastnostmi obalových konstrukcí, systémy vytápění či vzduchotechniky a stupněm aktivního či pasivního využívání zisků.

V této práci se pokusím o ucelený pohled na návrh a provoz pasivního domu z hlediska konstrukčního, materiálově-stavebního i tepelně-technického s přímou vazbou na tepelné ztráty.

Cíl práce

Cílem mojí diplomové práce je:

- Popsat zásady konstrukce pasivního domu
- Analyzovat tepelné ztráty pasivního domu
- Navrhnout metodiku a provést stanovení tepelných ztrát PD termokamerou
- Vyhodnotit tepelné ztráty a navrhnout opatření k jejich snížení

Seznam symbolů a zkratk

PD	Pasivní dům
NED	Nízkoenergetický dům
TZ	Tepelná ztráta
$A [m^2]$	Plocha obvodového pláště
$V [m^3]$	Obestavěný prostor (objem)
$U [W/(m^2 K)]$	Součinitel prostupu tepla
$g [-]$	Celková energetická propustnost slunečního záření
$n_{50} [1/h]$	Součinitel vzduchové neprůvzdušnosti
$R [(m^2 K)/W]$	Tepelný odpor
$R_{si} [(m^2 K)/W]$	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce
$R_{se} [(m^2 K)/W]$	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce
$\lambda [W/(m \cdot K)]$	Teplotní vodivost
$t_i [^\circ C]$	Vnitřní výpočtová teplota
$t_e [^\circ C]$	Venkovní výpočtová teplota
$t_p [^\circ C]$	Teplota přiváděného vzduchu po rekuperaci
$\rho [kg/m^3]$	Hustota vzduchu
$c [kJ/kg \cdot K]$	Měrná tepelná kapacita
$Q_v [W]$	Tepelná ztráta větráním
$Q_p [W]$	Tepelná ztráta prostupem
$V [m^3/h]$	Objemový tok
$O_v [m^3]$	Objem vzduchu ve větraném prostoru
$\varepsilon [-]$	Emisivita (pohltivost IR záření)
$\mu [-]$	Faktor difúzního odporu
$n [-]$	Intenzita výměny vzduchu
$\eta [-]$	Účinnost

1 Konstrukce pasivního domu

Název pasivní dům vychází z principu využívání pasivních tepelných zisků. Je to stavba, která se vytápí převážně sama pomocí slunečního záření a zpětným získáváním vnitřního tepla spotřebičů, osob apod. (tzv. rekuperací). Přesto, že pasivní dům spotřebuje asi desetkrát méně tepla na vytápění ve srovnání s běžnou stavbou, má určitou minimální „zůstatkovou“ potřebu tepla, která nesmí překročit 15 kWh na metr čtvereční vytápěné plochy za jeden rok (dále jen kWh/(m² a)).

Díky tomu se pasivní dům obejde bez klasické otopné soustavy, stačí pouze navrhnout „zbytkové vytápění“, které pokryje nezbytnou minimální potřebu tepla. Vysoký stupeň zateplení s sebou přináší výbornou tepelnou pohodu. Větrací systém se zpětným získáváním odpadního tepla (tzv. rekuperační systém) zajišťuje v celém domě čerstvý vzduch po celý rok. Vzduchotěsná obálka bez tepelných mostů a nepřetržitě větrání udržují konstrukci domu suchou a bezporuchovou. [1]



Obr.1 Možnost vzhledu pasivního domu (jižní strana) [zdroj:internet]

1.1 Kritéria pasivního domu

Pasivní dům je takový, který naprostou většinu roku má tak nízké tepelné ztráty, že jeho vlastnosti mu umožňují tyto ztráty doplňovat z vnitřních pasivních zisků - z energie, kterou vyzařují obyvatelé domu, spotřebiče, a která vzniká při jejich různých činnostech.

Potřeba tepla na vytápění je pouze jedno z hledisek definice pasivního domu. Aby se dům mohl nazývat domem pasivním, byla stanovena tato kritéria, která je potřeba dodržet:

- měrná spotřeba tepla na vytápění $\leq 15 \text{ kWh/m}^2$ za rok;
- maximální topný výkon 10 W/m^2 ;
- součinitel prostupu tepla u všech plných obvodových konstrukcí s $U \leq 0,15 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$, u střech je vhodné $U \leq 0,12 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$;
- okna s hodnotou $U \leq 0,8 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ při energetické propustnosti solárního záření sklem o hodnotě $g \geq 50 \%$;
- celková neprůvzdušnost nesmí přesáhnout 0,6 násobek výměny vzduchu za hodinu
→ součinitel vzduchové neprůvzdušnosti $n_{50} \leq 0,6$;
- vzduchotechnická jednotka s rekuperací s účinností vyšší než 75 %;
- limitní hodnota výpočtových tepelných ztrát domu nepřesahuje $0,3 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ (tj. max. 10 W/m^2 pro venkovní teplotu -12°C);
- celková roční spotřeba primární energie (na topení, ohřev TUV, větrání a elektrické spotřebiče) nesmí překročit 120 kWh/m^2 podlahové plochy.

1.2 Základní znaky PD

Základním principem konceptu PD je optimalizace základních prvků (tvar a orientace budovy, řešení jednotlivých stavebních konstrukcí, výplně otvorů, ventilační systém) při dodržení základních principů pro pasivní domy. Již v počátečních obdobích přípravy celkové koncepce pasivního domu a při následném podrobnějším řešení se rozhoduje o budoucích vlastnostech budovy, tedy i o tepelných ztrátách, které mají největší vliv na spotřebu energie. Koncepce úspory energie závisí do značné míry také na uživateli budovy, stejně jako u všech ostatních budov. Obyvatelé však nemusejí mít žádné zvláštní technické nadání, pasivní domy jsou obvykle velmi vstřícné a trpělivě snášejí i chybné zacházení.

- **Orientace budovy**

Budova musí být natočená tak, aby hlavní prosklená fasáda byla orientována k jihu, a tím bylo umožněno co nejlepší pasivní získávání energie ze slunečního záření.

- **Tvarové řešení budovy**

Tvar budovy musí být kompaktní bez zbytečných výčnělků a výklenků. Nejsnáze se vyjadřuje geometrickou charakteristikou, tj. poměrem mezi ochlazovanou plochou obálky budovy a vytápěným objemem (nižší hodnoty jsou obvykle příznivější)

- **Vynikající tepelná izolace všech částí stavební konstrukce a vzduchotěsnost obvodového pláště**

Obálka budovy musí být nejen velmi dobře izolována, aby neutíkalo teplo z domu prouděním, ale také musí být i dostatečně vzduchotěsná, aby teplo neunikalo netěsnostmi v obvodovém plášti. Cílem je minimalizovat tepelné ztráty tak, aby k vytápění budovy stačila energie získaná ze slunečního záření a z vnitřního tepla, resp. aby budova vystačila s minimální „zbytkovou“ potřebou tepla na vytápění.

- **Důsledné řešení tepelných mostů**

Již od vlastního návrhu je třeba vyloučit, popř. výrazně omezit příčiny tepelných mostů v konstrukcích a výrazné tepelné vazby mezi konstrukcemi.

- **Řízené větrání s rekuperací tepla**

K nezbytnému větrání obytných místností musí mít pasivní domy mechanické větrací zařízení s vysoce účinným zařízením na zpětné získávání tepla. V topné sezoně tak mohou být okna stále zavřená a přívod čerstvého vzduchu do budovy zajišťuje větrací zařízení.

- **Kvalitní izolační okna**

U pasivních domů musí mít všechna okna vynikající tepelně izolační vlastnosti rámu a trojitě tepelně izolační zasklení s plynovou výplní mezi skly.

Výše popsané zásady částečně platí i pro nízkoenergetické domy, avšak u pasivních domů záleží na co nejlepším využití těchto zásad a technologií, které s nimi souvisejí. Proto musí být celková koncepce i veškeré detaily přizpůsobeny zvláštním požadavkům pasivního domu. Je vhodné navrhovat takové řešení budovy, aby bylo požadavku nízké energetické náročnosti dosahováno efektivně, tedy zejména s nízkou investiční náročností a s malou zátěží životního prostředí po celý životní cyklus budovy. [2]

2 Analýza tepelných ztrát pasivního domu

Tepelné ztráty a spotřebu tepla při vytápění lze zmenšovat opatřeními souvisejícími s vlastnostmi budov, technickými zařízeními zajišťujícími přívod energie do budovy, využívajícími obnovitelné zdroje energie a umožňujícími regeneraci „odpadního tepla“, o kterých bude více sepsáno dále. Je ovšem nutné zdůraznit, že efektivnost realizovaných opatření ke zmenšení tepelných ztrát je ve značné míře ovlivňována i uživateli budov. [3]

Teplo může z domu unikat různými způsoby. Nejčastější je vedení tepla (kondukcce). Teplo se šíří hmotou z teplého místa do studeného. Mluvíme o tepelném toku. Pokud se jedná o místo, v němž je lokálně zvýšený tepelný tok, mluvíme o tepelném mostu. Druhým způsobem šíření tepla je proudění (konvekce). Zde dochází k pohybu vzduchu, teplý vzduch proudí na studenější místa, v nichž teplo předává svému okolí, a naopak studený vzduch proudí na teplejší místa, kde se ohřívá. Posledním způsobem šíření tepla je sálání (radiace). Protože je teplo pouze určitý druh elektromagnetického vlnění stejně jako například světlo, šíří se zářením. To je ovšem možné jen v prostředí, které je pro příslušnou vlnovou délku prostupné. [10]

Tepelná ztráta objektu se skládá z tepelné ztráty **prostupem** a tepelné ztráty **větráním**, sníženého o trvalé tepelné zisky. Tepelné ztráty se ve vytápění počítají buď pro jednotlivé místnosti zvlášť, nebo se počítají celkové ztráty obálky budovy. Zdroje tepla jsou ve vytápění navrženy na nejnepříznivější podmínky. Ty jsou z hlediska exteriéru charakterizovány nadmořskou výškou, výpočtovou venkovní teplotou, polohou budovy vzhledem ke krajině a rychlostí větru. ČR je rozdělena do teplotních oblastí s různými výpočtovými venkovními teplotami, viz *Příloha 1*.

2.1 Tepelné ztráty prostupem

Pro každou stavební konstrukci lze z tepelně technického hlediska stanovit součinitel prostupu tepla U , který byl již definován výše. Ztráta prostupem je pak dána součinem plochy konstrukce, součinitele prostupu tepla a rozdílu teplot před a za konstrukcí při výpočtových parametrech. Základní tepelná ztráta prostupem jedné konstrukce je dána vztahem:

$$Q_p = U \cdot A \cdot (t_i - t_e) \quad [W]$$

Tato metodika postihuje pouze výpočet tepelných ztrát za stacionárního stavu (časově neproměnlivého) za výpočtových podmínek, což je v tomto případě simulace výpočtu dostačující (i vzhledem k tomu, že měření bylo prováděno pouze jednou, a to za těch nejnepříznivějších podmínek).

Tepelná ztráta prostupem tedy závisí na dokonalém vzduchotěsném provedení objektu a tepelné izolaci, převážně její tloušťce. Tepelná ztráta prostupem u PD je ze současného pohledu minimální, není neobvyklé, když je nižší než 2 kW (při běžné velikosti 140 m² podlahové plochy). Další zvyšování tloušťky tepelných izolací už razantní snížení nepřinese. Je tedy nutné se zabývat i dalšími energiemi, jejichž spotřebu je nutné omezit. Jednou z možností, v současnosti hojně využívanou, je snížení tepelné ztráty větráním. [4]

2.2 Tepelné ztráty větráním

Zvyšováním tepelného odporu obvodových konstrukcí budovy se snižuje tepelná ztráta prostupem a nabývá na významu tepelná ztráta větráním. Z tohoto důvodu se dnes do větracích systémů instalují prvky pro zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu. Pro obytné prostředí se používají deskové rekuperační výměníky. Jedná se o výměník vzduch - vzduch, ve kterém odpadní vzduch (teplý) přes teplosměnnou plochu výměníku předává teplo vzduchu nasávanému z venkovního prostředí (studenému). Podrobněji bylo toto již zmiňováno výše. Podle konstrukčního provedení a rychlosti vzduchu proudícího přes výměník mohou mít účinnost od 50 do 85 %. Bez systému nuceného větrání (nejlépe s rekuperací) se již v PD neobejdeme. [9]

Obecný vztah pro tepelnou ztrátu větráním:

$$Q_v = \frac{V}{3600} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_e) \quad [W]$$

Dle těchto uvedených vzorců pro stanovení tepelných ztrát bude postupováno v konkrétních výpočtech uvedených dále v práci.

3 Tepelně technické vlastnosti s vlivem na tepelné ztráty

Je zřejmé, že tepelně technické vlastnosti budov mohou významným způsobem ovlivňovat tepelné ztráty, při čemž platí, že čím jsou vlastnosti lepší, tím menší tepelné ztráty jsou. Toto vyjádření je však pouze kvalitativní, pro kvantitativní vliv je nutno přistoupit k vyhodnocení na základě rozboru reálných částí budovy, které tyto ztráty ovlivňují.

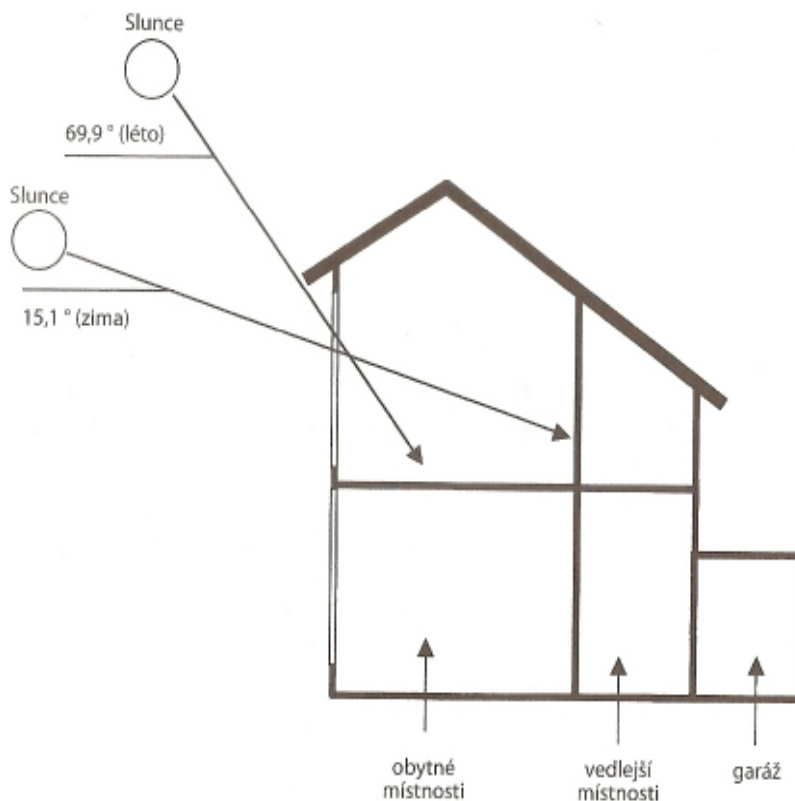
K rozhodujícím tepelně technickým vlastnostem stavebních materiálů nebo konstrukcí patří **teplený odpor R** , popř. **součinitel prostupu tepla U** jednotlivých stavebních konstrukcí - vnějších a vnitřních, svislých a vodorovných výplní a otvorů. Zvláštní místo v rámci tepelně technických vlastností mají tepelné mosty, které mohou vzniknout na stycích jednotlivých konstrukcí tvořících obvodový plášť budov.

Protože tepelné ztráty prostupem jsou úměrné velikosti plochy obvodového pláště budov, je možné je ovlivnit také tvarem budov a konstrukčním řešením jednotlivých částí obvodového pláště. [3]

3.1 Tvar a půdorys budovy

Nejjednodušším způsobem, jak omezit tepelné ztráty, je zmenšit podíl ochlazovaných ploch konstrukce vůči objemu. Vyjadřuje se poměrem plochy obvodového pláště A k obestavěnému prostoru V . Čím je poměr A/V menší, tím jsou menší i ztráty energie. Z toho plyne, že každý výstupek nebo výklenek budovy (např. arkýř) zvětšuje vnější obvodovou, tedy ochlazovanou, plochu budovy. Jak bylo již zmíněno výše, musíme se snažit vytvořit kompaktní dům bez zbytečných výčnělků a výklenků. Nejlepší pro tyto účely vychází koule, což není příliš reálné řešení. Proto se pro svůj energeticky příznivý kompaktní tvar volí krychle.

Jelikož se využívá u PD k přitápění sluneční energie, musí být tvar domu upraven tak, aby mohl co nejlépe přijímat sluneční záření. Z toho plyne, že jižní, osluněná fasáda, musí mít co největší rozměry, a odvrácená, severní fasáda, co nejmenší (*Obr. 2*). Na jižní straně musí být velké prosklené plochy, které umožní, aby sluneční záření v zimě pronikalo hluboko do domu. Prosklené plochy v severní fasádě by měly sloužit pouze k nejnútnejšímu osvětlení vnitřních prostor.



Obr.2 Příklad návrhu energeticky příznivého domu [zdroj:[8]]

Při navrhování půdorysu je třeba dodržet orientaci obytných místností na jih a vedlejších na sever (zde je také vhodné umístit garáže apod.). Tím se dosáhne toho, že teplotní spád je nastaven od jihu k severu, tedy od obytných místností k vedlejším a skladovacím místnostem. Nevytápěné prostory musí být v každém případě umístěny až za obvodový plášť budovy, mimo vytápěný a izolovaný prostor (budou mít vstup pouze z venku). [2]

3.2 Obalové stavební konstrukce

Obalové konstrukce jsou takové, které tvoří vnější obálku domu. Toto označení zahrnuje obvodový i střešní plášť včetně výplní otvorů.

Pro tyto konstrukce je nutná minimalizace tepelných ztrát. Nejjednodušším způsobem je zmenšení ochlazovaných konstrukcí na minimum. Ztráty prostupem přes všechny neprůsvitné stavební konstrukce, tedy takové, které nepropouštějí do domu sluneční záření, lze redukovat kvalitní tepelnou izolací obvodových stěn a výplní otvorů.

Ztráty ventilací pak snížíme pomocí vzduchotěsného uzavření budovy a rekuperace vzduchu. Následně lze využívat tepelných zisků ze slunečního záření procházejícího okny a zisků interních – emise tepla vyrobeného lidmi a spotřebiči. [3]

Pro vyjádření tepelně izolačních vlastností jednotlivých konstrukcí slouží součinitel prostupu tepla nebo tepelný odpor. Čím větší je hodnota tepelného odporu, tím větší je tepelně izolační schopnost konstrukce. U součinitele prostupu tepla je tomu naopak. Čím menší je jeho hodnota, tím méně tepla konstrukcí prostupuje a tím lepší tepelně izolační schopnost konstrukce má.

Součinitel prostupu tepla je možné definovat tak, že vyjadřuje tepelnou ztrátu prostupem konstrukcí o ploše 1 [m²] při rozdílu vnitřní a vnější teploty 1 [K]. Z toho logicky plyne, že čím menší je součinitel prostupu tepla konstrukcí, tím menší je tepelná ztráta budov. Mezní hodnota součinitele prostupu tepla je nulová hodnota, tj. $U \rightarrow 0$. Dosažení této limitní hodnoty by však vyžadovalo nekonečně velkou tloušťku konstrukce, tj. $d \rightarrow \infty$. Je zřejmé, že „co největší tloušťka“ musí být tloušťka reálná a racionálně realizovatelná. Velikost součinitele U [W/(m² K)] tedy závisí na tloušťce konstrukce d [m].

Ať střecha, obvodová stěna, nebo podlaha - dobrá tepelná kvalita jednotlivých komponentů je vždy tou nejbezpečnější a nejvíce udržitelnou cestou ke snížení tepelných ztrát. Všechny neprůsvitné části obvodového pláště budovy by měly být tepelně izolovány tak, aby jejich součinitel prostupu tepla U byl menší nebo roven 0,15 [W/(m² K)]. Zpravidla je však snaha o dosažení hodnoty 0,10 [W/(m² K)].

Tab.1 Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro běžný, NED a PD [zdroj:[4]]

Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² a)]	běžné novostavby		nízkoenergetický	pasivní
	požadovaný	doporučený	doporučený	
obvodové stěny - těžké	0,38	0,25	0,19	0,15
obvodové stěny - lehké	0,30	0,20	0,15	0,12
střecha plochá nebo šikmá do 45°	0,24	0,16	0,12	0,12
podlaha na terénu	0,45	0,30	0,20	0,50
okna	1,70	1,20	0,80	0,80

Přesnou hodnotu lze stanovit výpočtem. Při přepočtu hodnot U na R nebo naopak je nutno postupovat podle následujících převodních vztahů a nesmí se zanedbávat hodnoty odporů při přestupu tepla na obou površích konstrukce R_{si} (vnitřní) a R_{se} (vnější), které souvisí s prouděním vzduchu kolem konstrukce.

Vztah pro obalovou konstrukci:

$$U = 1/(R_{si} + R + R_{se}) \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})]$$

$$R = 1/U - R_{si} - R_{se} \quad [(\text{m}^2 \text{K})/\text{W}]$$

Na základě znalosti hodnoty součinitele prostupu tepla, rozdílu teplot v interiéru a exteriéru a plochy stěny můžeme určit velikost tepelné ztráty prostupem této konstrukce. Pro názornost a možnost srovnání bude v kapitolách 6.2 a 6.3 uveden výpočet tepelné ztráty plochami jednotlivých obalových konstrukcí. [4]

3.2.1 Obvodové stěny

Masivní stavební materiály samy o sobě zatím nedokážou splnit výše uvedený požadavek na doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla při zachování rozumné tloušťky stěn. Z tohoto důvodu se u PD většinou používají vícevrstvé konstrukce stěn tzv. sendvičové konstrukce, kdy se nosná část provede o minimální tloušťce a přidá se silná vrstva tepelné izolace.

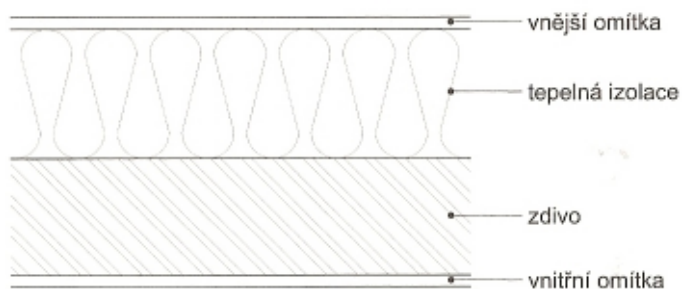
Zatížení přitom přenáší masivní konstrukce, jako je např. zdivo, nebo skeletová konstrukce s dřevěnými nebo kovovými sloupy. Pro dosažení požadovaných tepelně izolačních vlastností se používá tepelně izolační materiál. V závislosti na návrhové hodnotě tepelné vodivosti tepelně izolačního materiálu se aplikuje různá tloušťka izolačního materiálu. Čím menší je tepelná vodivost, tím lepší jsou jeho tepelně izolační vlastnosti při stejné tloušťce. Orientační tloušťky tepelně izolačních materiálů v závislosti na navrhované hodnotě tepelné vodivosti jsou uvedeny v *tabulce 2*.

Tab.2 Požadovaná tloušťka tepelné izolace neprůsvitných stavebních konstrukcí v závislosti na skupině tepelné vodivosti izolačního materiálu bez ohledu na nosnou konstrukci [zdroj:[2]]

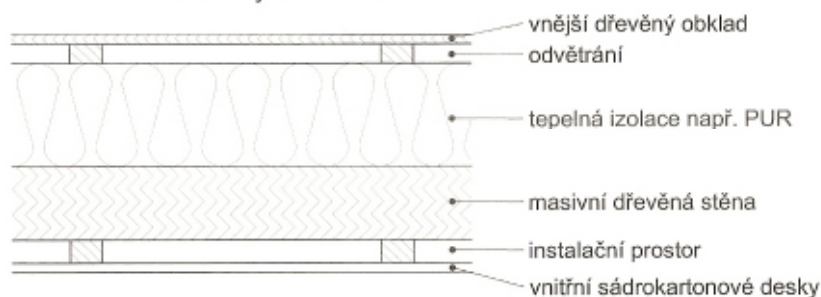
Požadovaný součinitel prostupu tepla U [W/(m ² K)]	Návrhová hodnota teplotní vodivosti λ [W/(m.K)]			
	0,025	0,03	0,035	0,04
0,15	16 cm	19 cm	23 cm	26 cm
0,10	24 cm	29 cm	34 cm	38 cm

Na vnější stranu obvodové stěny, resp. na tepelnou izolaci, je zapotřebí ještě jedné vrstvy materiálu k ochraně před povětrnostními vlivy. Lze použít buď omítku, závěsný fasádní systém, nebo dřevěný obklad. Pro představu o stavebních konstrukcích PD jsou na *Obr. 3* uvedeny obvyklé skladby stěn.

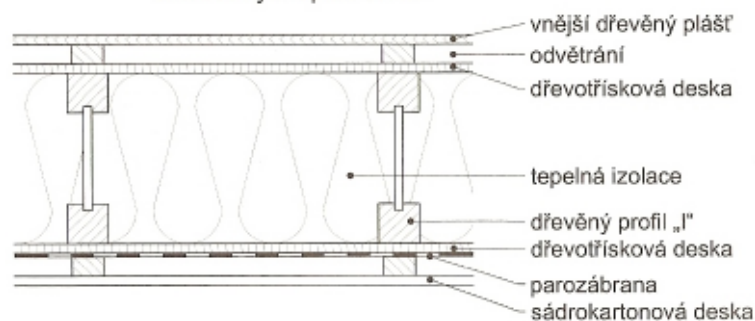
Skladba 1: Zdivo s vnějším kontaktním tepelně izolačním systémem (tzv. zateplovací systém)



Skladba 2: Masivní dřevěná obvodová stěna s vnější tepelnou izolací a dřevěným obkladem



Skladba 3: Stěna z dřevěných I profilů s tepelnou izolací a dřevěným opláštěním

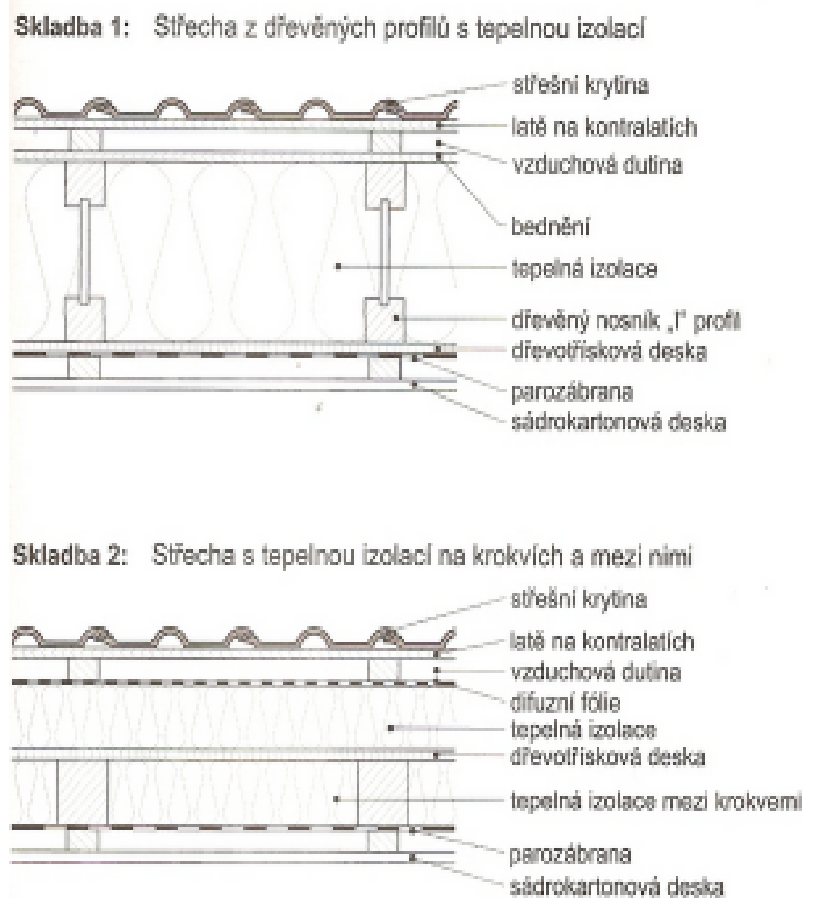


Obr.3 Příklady skladeb obvodových stěn pasivních domů (vodorovný řez) [zdroj:[8]]

3.2.2 Střecha

Střešní konstrukci často tvoří nosníky z dřevěných profilů, mezi které se klade tepelná izolace. U tohoto typu konstrukce je na vnitřní straně nutná parozábrana, která současně zajišťuje požadovanou neprůvzdušnost. PD mohou mít rovněž sedlové střechy s vrstvou izolace nad krokviemi (krokev = šikmý prvek krovu, nesoucí střešní latě, na nichž je upevněna střešní krytina). Většinou je nutná ještě dodatečná izolace vložena mezi krokve, aby se zvětšila tloušťka izolace a potlačil tepelný most krokví. I u této konstrukce musí být na vnitřní straně vložena parozábrana. Oba typy konstrukcí jsou znázorněny na *Obr. 4*.

U pasivních domů si také musíme dobře rozmyslet, zda budeme izolovat střechu, nebo strop nejvyššího podlaží. Rozhodujícím faktorem je, jestli plánujeme využití podkroví. Pokud má podkroví sloužit pouze jako odkládací prostor, pak je z tepelně technického hlediska lepší izolovat strop nejvyššího podlaží místo střechy. Dosáhneme tak menší ochlazované plochy vnějšího pláště a rovněž menšího vytápěného objemu, a tím i nižší spotřeby energie.



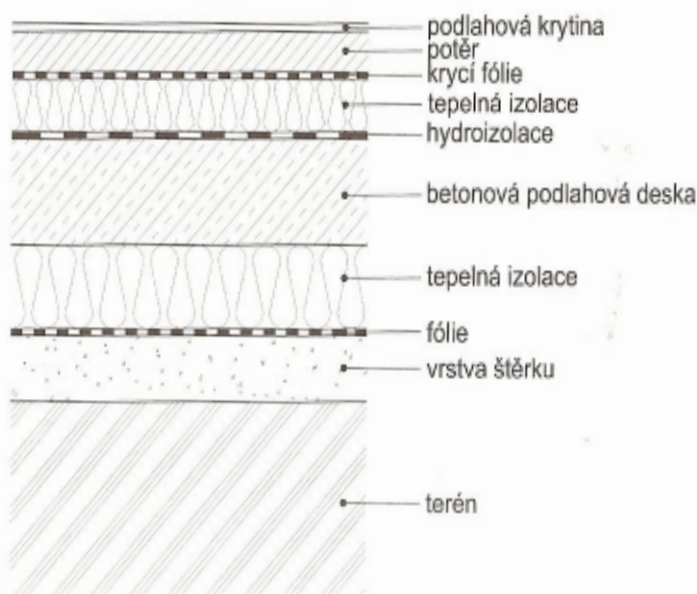
Obr.4 Příklady skladeb střechy pasivních domů (svislý řez) [zdroj:[8]]

Pasivní domy mohou také mít ploché a pultové střechy. V takovém případě se provádí jednoplášťová střecha nebo tzv. střecha s obrácenou skladbou. U střechy s obrácenou skladbou se tepelná izolace, nebo alespoň její část klade na horní stranu hydroizolace. Podle architektonického řešení mohou být ploché střechy osazeny zelení, nebo na nich může vzniknout terasa. [2]

3.2.3 Podlahová deska

U podlahových desek na terénu se vyplatí, aby byla část tepelné izolace, která je provedena jako obvodová izolace spodní stavby, vložena pod podlahovou desku. Přitom musí tepelná izolace splňovat požadavky pro toto použití. Dále musí mezi podlahovou desku a potěr přijít další tepelně izolační vrstva, případně izolace proti hluku kroků.

Skladba podlahy na terénu: tepelná izolace pod podlahovou deskou



Obr.5 Příklad skladby podlahy na terénu (svislý řez) [zdroj:[8]]

3.2.4 Výplně otvorů

Výplně otvorů zahrnují konstrukce oken a dveří. Tento návrh je u PD klíčovou záležitostí. Okna a dveře bývají z hlediska tepelných úniků vždy nejslabším článkem obálky domu, ať už se jedná o běžný dům, či o ten pasivní. Okna se výrazně podílejí na tvorbě optimálního vnitřního prostředí a v rozhodující míře na energetických ztrátách budovy. Proto je potřeba jejich výběr pečlivě rozmyslet z více hledisek - tepelně izolační vlastnosti, velikost prosklených částí, orientace jednotlivých oken ke světovým stranám, jak budou okna stíněna, která okna mají být otvírána a která mohou být neotvíratelná, jaké materiály preferujeme. Konceptně správné řešení oken a ostatních výplní otvorů patří k rozhodujícím prvkům tepelně technické kvality budovy.

Velikost a kvalitu transparentních ploch je vhodné volit v závislosti na orientaci ke světovým stranám. U kvalitních oken do PD mohou solární zisky dosažené jižně orientovanými okny převýšit celkové tepelné ztráty, dokonce i v zimě. Obecně lze říci, že okna na jih mají kladnou teplenou bilanci, na západ a východ vyrovnanou, na sever zápornou. To znamená, že severně orientovaná okna, mají výrazně větší teplené ztráty, než tepelné zisky.

Konstrukční typy oken

Konstrukci okna tvoří okenní rám, který je pevně spojen s obvodovým pláštěm, a okenní křídlo s výplní. Podle materiálu použitého pro okenní rám a křídlo, můžeme okna rozdělit na dřevěná, plastová, kovová a kombinovaná (dřevo – kov, plast – kov).

Podle polohy křídel ve směru tloušťky obvodového pláště můžeme rozdělit okna na tyto základní typy - jednoduchá, dvojitá, zdvojená a jednoduchá s izolačním dvojsklem nebo trojsklem. **Jednoduché okno** je tvořeno jedním okenním křídlem s jednou skleněnou tabulí. Vzhledem k velmi nedostačujícím tepelně izolačním schopnostem tento typ okna nelze použít v našich podmínkách do vytápěných prostor. **Dvojité okno** je tvořeno dvěma křídly. Tepelně izolační schopnosti těchto oken také nesplňují současné požadavky. **Zdvojené okno** má okenní křídlo složené ze dvou sešroubovaných částí, otvíraných společně. Tepelně izolační efekt zajišťuje vzduchová mezera mezi oběma skly, ale současné požadavky také nesplňují. **Jednoduché okno s izolačním zasklením** je v současnosti nejpoužívanějším druhem okna. Zasklení je provedeno izolačním dvojsklem, popř. trojsklem. Vyrábí se ze všech běžných materiálů.

Součinitel prostupu tepla

Okenní systémy se skládají z konstrukce rámu a zasklení. Při výběru oken posuzujeme hodnoty součinitele prostupu celého okna a skla, které by měly být co nejnižší. Nicméně u zasklení sledujeme nejen minimalizaci teplených ztrát, ale také využití tepelných zisků. Pro dobré tepelně izolační zasklení je důležité dosažení protichůdných požadavků:

1. co nejnižší součinitel prostupu tepla U
 - nízký U snižuje tepelné ztráty unikající zasklením
2. co nejvyšší stupeň celkové energetické propustnosti slunečního záření g
 - vysoký stupeň g zajišťuje pokud možno vysoký zisk solární tepelné energie

Nízké U obvykle odpovídá nízkému stupni g a naopak, takže v každém jednotlivém případě je nutné dosáhnout co nejlepšího kompromisu mezi oběma požadavky.

Tab.3 Požadavky na vlastnosti oken do pasivního domu [zdroj:[4]]

Trojité zasklení	$U = 0,5 - 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
Izolované okenní rámy	$U = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
Součinitel prostupu tepla celého okna	$U < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
Celková energetická propustnost	$g \geq 0,5$

Součinitel prostupu tepla celého okenního systému nesmí být u PD větší než $0,8 \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}$. Stupeň celkové energetické propustnosti slunečního záření g by měl být nejméně $0,5$, jak je vidět z *Tabulky 3*.

Skla je možno rozdělit do následujících skupin:

- čirá - všechny druhy bezbarvých skel; mají nejvyšší světelnou propustnost $\varepsilon = 0,84$;
- reflexní nebo pohltivá - dosahují zvýšených hodnot pohltivosti nebo odrazivosti záření díky příměsi oxidů Fe, Zn nebo Ni; mají různé barevné odstíny, např. modrý, zelený, stříbrný atd.;
- selektivní - skla jsou pokovena tenkou vrstvičkou oxidu kovu, vyznačují se nízkou emisivitou (pohltivostí infračerveného záření) $\varepsilon = 0,04 - 0,2$. [4]

Pro PD je vhodné pouze zasklení izolačními trojskly se dvěma vrstvami tepelně izolačního pokovení a plynovou výplní mezi skly. Tepelně izolační pokovení snižuje sálání tepla okenními tabulemi a plynová výplň omezuje tepelné ztráty způsobené vedením tepla. Jako plynové výplně se používají inertní plyny argon, krypton nebo xenon. [5]

Podíl rámu na celkové ploše oken musí být co nejmenší, protože vždy představují slabé místo v konstrukci pasivních domů. Běžné konstrukce okenních rámu, které se používají pro klasické a nízkoenergetické domy, nejsou vhodné pro pasivní domy, protože tepelné ztráty přes okenní rámy jsou příliš velké a je potřeba je snížit. Použít lze buďto speciální plastové rámy se zabudovanou izolací v dutinách rámu, nebo dřevěná okna, která mají jádro z tepelné izolace. [2]

Snížení součinitele prostupu tepla v okrajové části zasklení je způsobeno nejen vlivem rámu, ale také vlivem distančního rámečku, který tvoří okraj tepelně izolačního zasklení. U konvenčního izolačního zasklení jsou jednotlivé okenní tabule na kraji spojeny hliníkovým distančním rámečkem. V místě tohoto spoje dochází ke značným tepelným ztrátám a vzniku tepelných mostů. Okna vhodná pro pasivní domy musí mít plastový distanční rámeček. Tepelné ztráty oken mohou být zvýšeny průvzdušností spár, tzv. infiltrací. Avšak okna splňující současné požadované hodnoty součinitele spárové průvzdušnosti mají okenní spáry těsné natolik, že k infiltraci vzduchu dochází minimálně. [4]

Díky vynikající kvalitě oken jsou teploty měřené na povrchu okenních tabulí vždy blízké teplotám v interiéru. V pasivním domě tak nenastává pocit chladu od studených oken.

3.3 Tepelně izolační systém

3.3.1 Systém zateplení

Dokonalá tepelná izolace je klíčovým faktorem pro zajištění tepelné pohody v domě. Základní způsoby zateplování obvodového pláště jsou buď kontaktním zateplovacím systémem, nebo aplikací tepelně izolační omítky, pro PD je vhodná i jejich kombinace.

Pro výběr vhodné izolace a druhu zateplení pro konkrétní objekt je třeba zohlednit vlastnosti budovy a k jakému účelu bude sloužit, stavební konstrukce a podmínky zabudování materiálů. Obecně platí, že tepelná izolace by měla být vždy zvenku, kolem celého objektu. Její výhody jsou, že hranice promrzání a bod tání leží mimo zdivo objektu, jsou eliminovány tepelné mosty, je vytvořená hmota schopná akumulovat teplo, je zajištěno pohodlí a příjemné vnitřní klima díky vyrovnané teplotě v zimním období, úspora nákladů na vytápění, příjemná povrchová teplota a nehrozí stavební poruchy zapříčiněné prudkými změnami teplot. [2]

Nejčastěji používané zateplovací systémy pro rodinné domy jsou právě kontaktní. Skladba obvodové stěny s kontaktním zateplením ze strany exteriéru (s tzv. vnějším zateplením) má zpravidla tyto rysy:

- nosná konstrukce (většinou zdivo);
- tepelně izolační vrstva (materiály vhodné pro zateplení);
- výztužná vrstva s omítkou. [4]

3.3.2 Tepelně izolační materiály

Důležitá funkce tepelné izolace byla zjištěna již dávno. Musí zajistit co nejmenší tepelné ztráty a vytvořit příznivé celkové vnitřní klima pro celý dům. Tepelné izolace jsou z přírodních materiálů, ekologické, snadno odbouratelné, musí být prospěšné našemu zdraví a zajišťovat příjemné prostředí a vysokou kvalitu vzduchu. Potřebná tloušťka izolace se pohybuje mezi 25 - 40 cm a je závislá na poměru velikosti povrchových ploch vzhledem k objemu budovy a na tepelné vodivosti konstrukčních materiálů.

Výběr tepelně izolačních materiálů na trhu je velký. Z této nabídky je nutno pro daný způsob použití vybrat ten nejvhodnější materiál. Při rozhodování jsou důležitá následující kritéria a vlastnosti materiálů.

Tepelná vodivost, která označuje schopnost materiálu přenášet teplo z teplé strany stavební konstrukce na chladnou, je nejdůležitější vlastností tepelných izolací. V popisu izolačního materiálu je uváděna jako návrhová hodnota tepelné vodivosti λ [W/(m·K)]. Čím je tepelná vodivost nižší, tím méně tepla uniká přes danou tepelnou izolaci. Tepelná vodivost materiálu závisí na následujících faktorech: hustotě materiálu, počtu, druhu a velikosti pórů nebo dutin vyplněných vzduchem, druhu, struktuře a hustotě pevných částí materiálu, vlhkosti tepelně izolačního materiálu a tepelné vodivosti základního materiálu.

Další vlastností je **difúze vodní páry**, což znamená, že každá vrstva obvodové konstrukce vykazuje určitý difúzní odpor proti prostupu vodní páry z vnitřku budovy do vnějšího prostoru. Tato vlastnost je popsána faktorem difúzního odporu. Toto číslo udává, kolikrát větší je odpor tepelné izolace proti prostupu vodní páry ve srovnání s klidnou vzduchovou vrstvou při stejné tloušťce vrstvy a stejné teplotě.

Dalším rozlišovacím kritériem pro třídění tepelně izolačních materiálů je jejich **pevnost v tlaku**. Pro určité způsoby použití se vyžadují minimální hodnoty pevnosti v tlaku. Dostatečná pevnost v tlaku musí zajistit, aby nedocházelo k deformacím, ani ke snížení tloušťky tepelně izolačního materiálu. Tepelně izolační materiály jsou proto rozděleny do různých skupin dle typu jejich použití.

Co se týče **požární odolnosti**, tepelně izolační materiály se stejně jako ostatní stavební hmoty dělí do tříd podle stupně hořlavosti. Materiály třídy A1 a A2 jsou nehořlavé stavební hmoty. Hořlavé stavební hmoty označujeme písmenem B a dělí se na B1 - těžce hořlavé, B2 - středně hořlavé a B3 - lehce hořlavé. Podle druhu nebo výšky budovy je třeba použít tepelně izolační materiál určité třídy, který splňuje minimální požadavky na požární ochranu.

Teplotní namáhání je vlastnost tepelně izolačních materiálů, kdy se materiály liší podle horní hranice teploty, při které je lze použít. Například polystyrénové desky snesou dlouhodobě teplotu 80 – 85°C, pěnové sklo má tuto hranici mezi cca 430°C až 460°C. Tyto hraniční teploty musíme brát v úvahu zejména při pokládání tepelné izolace pod hydroizolaci, aby při svařování nedošlo k deformaci, či poškození tepelné izolace.

Všechny tepelně izolační materiály podléhají přirozenému procesu stárnutí, mají tedy různou **odolnost proti stárnutí**, která závisí mimo jiné na způsobu montáže (chráněná nebo nechráněná konstrukce), druhu materiálu, klimatických podmínkách (např. teplota, střídání teplot při mrznutí/tání, vlhkost, sluneční záření), odolnosti proti živočišným nebo rostlinným škůdcům. Kromě toho může být proces stárnutí urychlen chemickým namáháním, např. kontaktem s cementem, vápnem, sádrou nebo jinými materiály.

Dalšími důležitými kritérii pro výběr tepelně izolačního materiálu jsou následující vlastnosti, které mají **vliv na životní prostředí**: původ a dostupnost surovin, spotřeba energie při výrobě, dopravě a montáži, uvolňování zdravotně škodlivých látek, uvolňování emisí v případě požáru, možnost recyklace po uplynutí doby životnosti (resp. působení na skládce), zdravotní rizika pro řemeslníky a pro uživatele nebo obyvatele stavby.

Tyto vlastnosti platí obecně pro všechny tepelně izolační materiály. Ovšem u pasivního domu můžeme najít materiály, které by se u klasické stavby nepoužily. Pro daný účel lze tedy použít různé materiály, od běžně používaného polystyrenu, polyuretanu či pěnového skla, přes méně častá rostlinná vlákna, slámu, bavlnu, len či konopí, která jsou ale právě typická pro pasivní domy, až po novinky v tepelné izolaci, jakými je třeba vakuum.

Můžeme tedy říci, že lze použít různé druhy materiálů pro různé účely. Jiný materiál bude použit pro izolaci stěn, podlah i střech. Nejdůležitější stavebně fyzikální vlastnosti jednotlivých materiálů jsou uvedeny v *Tabulce 4*. [8]

Tab.4 Stavebně fyzikální vlastnosti tepelně izolačních materiálů [zdroj:[2]]

Tepelně izolační materiál	Tepelná vodivost λ [W/(m.K)]	Faktor difuzního odporu [μ]	Třída hořlavosti materiálu
bavlna	0,04	1/2	B2
dřevěná vlákna	0,05 až 0,06	2/70	B2
dřevitá vlna - lehké stavební desky	0,09 až 0,15	2/5	B1
kokosová vlákna	0,05	1/2	B2
korek	0,045 až 0,055	5/10	B2
minerální vlákna	0,035 až 0,045	1	A1/A2
minerální násyp	0,04 až 0,06	dle druhu materiálu	A1
polystyrén - extrudovaný	0,03 až 0,035	80/300 dle hnacího plynu	B1
polystyrén	0,035 až 0,045	20/50 40/100 podle hustoty	B1
polyuretan	0,025 až 0,035	30/100	B1/B2
ovčí vlna	0,04 až 0,045	1/2	B2
pěnové sklo	0,04 až 0,055	parotěsné	A1
vakuum	0,004 až 0,008	-	-
celulóza	0,04 až 0,045	1/2	B2

3.4 Tepelné mosty

Tepelným mostem nazýváme místo v konstrukci, jímž dochází ke zvýšeným únikům tepla z vytápěného prostoru, resp. místo, kudy dochází ke zvýšenému tepelnému toku, vztaheno na jednotku plochy konstrukce oproti okolní konstrukci při stejné ploše. V těchto místech tedy vzniká jednak zvýšený tepelný tok směrem ven, jednak může na těchto místech dojít k poklesu teploty pod hranici kondenzace, a tudíž k poškození stavební konstrukce vlhkostí. Tepelné mosty se projevují chladnějším místem v interiéru, nebo naopak teplejším místem v exteriéru. [7]

Tepelné mosty mohou být:

- **systemové** - takové tepelné mosty se neustále pravidelně opakují. Jde například o krokve, mezi kterými je tepelná izolace v podkroví;
- **nahodilé** - tyto tepelné mosty se v konstrukci pravidelně neopakují. Mohou být buď lineární (např. při nesprávném napojení konstrukce podlahy a stěny) nebo bodové (např. při prostupu ocelového I-profilu obvodovou konstrukcí nebo ukotvením tepelné izolace).
- **tepelné vazby** jsou styky dvou různých konstrukcí. Nejde tedy o klasický tepelný most, kdy je tepelná izolace zeslabena či přerušena jinou konstrukcí, ale zde dochází ke zvýšenému tepelnému toku díky styku dvou a více různých konstrukcí, jako je například napojení obvodové stěny a stropní konstrukce, stěny a okna apod.

Dále lze tepelné mosty rozdělit na:

- **stavební** (napojení dvou konstrukcí, např. základ a stěna, stěna a okno či dveře);
- **geometrické** (geometrické změny konstrukce, např. roh budovy, kout, předsazení a uskočení stěn);
- **systematické** (v konstrukci se opakující místa s horšími tepelně izolačními vlastnostmi, např. krokve mezi izolací ve střeše, maltové lože mezi cihlami);
- **konvektivní** (zde může docházet k přenosu energie přes tepelnou izolaci prouděním, např. v netěsných střešních konstrukcích);
- **konduktivní** (zde tepelný most vzniká vedením tepla). [6]

Tepelné mosty jsou slabými místy pláště budovy a způsobují v zimním období nežádoucí ztráty energie, tím tedy zvyšují i potřebu tepla na vytápění. Postavit budovu bez nich je tedy prioritou energeticky úsporného stavění. Proto je při architektonickém návrhu třeba výskyt všech typů mostů co nejvíce omezit, nejlépe úplně odstranit. Pro vyloučení nebo alespoň omezení tepelných mostů je třeba zajistit průběžnou tepelnou izolaci z vnější strany obalové konstrukce v konstantní tloušťce, navrhnout co nejjednodušší tvar domu a co nejméně koutů a rohů, a osadit okna v rovině tepelné izolace. [8]

3.5 Vzduchotěsnost

Vzduchotěsností, jinak také neprůvzdušností, se rozumí schopnost určitého prvku, tedy zde obálky budovy, propouštět vzduch. Vzduchotěsný plášť je nedílnou podmínkou fungování a existence pasivního domu. U pasivních domů jsou nároky na neprůvzdušnost mnohem náročnější než u klasických sídel, jelikož tepelné ztráty vzniklé netěsnostmi stavební konstrukce nelze jednoduše nahradit zvýšeným vytápěním.

3.5.1 Požadavky na vzduchotěsnost

Nejčastěji používanou veličinou při hodnocení celkové průvzdušnosti je intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa (n_{50} /h). Předpisy pro certifikaci PD požadují hodnotu nižší než 0,6/h, což znamená, že za jednu hodinu se v budově nesmí vyměnit více vzduchu než 60 % celkového objemu budovy, jak bylo již zmíněno v úvodní kapitole. Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu jsou uvedeny v *Tabulce 5*.

Nízkých hodnot n_{50} se nedá dosáhnout jen kvalitním provedením vzduchotěsnicích vrstev, ale musí se dbát již na tvarové řešení budovy a volbu konstrukčního systému, proto musí být detailně navrženy tyto body:

- stanovení hlavní roviny vzduchotěsnicí vrstvy zajišťující neprůvzdušnost budovy;
- určení materiálů, které zajišťují neprůvzdušnost;
- navržení přechodů mezi různými materiály zajišťujícími neprůvzdušnost, např. připojení střechy s krovem k masivní stěně;
- navržení prostupů neprůvzdušné vrstvy (větrací potrubí, komíny, elektroinstalace, sanitární instalace) a spojů mezi střechou a stěnami, střechou a střešními okny;
- vytvoření vzduchové izolační vrstvy v podlaze nevytápěného podkroví;
- připojení oken a vchodových dveří.

Předpokladem pro dosažení vzduchotěsnosti je použití vzduchotěsných materiálů pro obalové konstrukce - např. membrány, panely, omítky a k nim dokonale přizpůsobivé a slučitelné materiály - těsnicí pásky a lepidla, vše s dostatečnou délkou životnosti.

Pro správné fungování budovy je důležité, aby byla instalována spolehlivá vzduchotěsná vrstva, která je obvykle umístěna na vnitřní straně tepelné izolace. Masivní zděné stěny jsou vzduchotěsné jen tehdy, jsou-li po celé ploše opatřeny alespoň z jedné strany omítkou. V mnoha případech funkci vzduchotěsné vrstvy přebírá parozábrana, která současně slouží k ochraně stavební konstrukce před vlhkostí a tvorbou plísní. K tomuto účelu se používají fólie, které musí být naprosto těsné a neprůvzdušně utěsněné, jak po celé ploše, tak v místech spojů, prostupů a styku s ostatními konstrukcemi.

Na utěsnění míst spojení konstrukce s ostatními stavebními konstrukcemi (dveře, okna) a v místech přechodů, je třeba použít lepicí pásky nebo fólie určené k tomuto účelu, montážní pěna tyto spoje nezajistí.

Pro vedení instalací (kabely, trubky atd.) se v praxi osvědčilo nechat mezi neprůvzdušnou vrstvou a vnitřním obkladem prostor pro vedení instalací. Tento způsob není nákladný, a umožňuje i dodatečné přidání dalších instalací bez poškození vzduchotěsné vrstvy a bez nutnosti vytvoření prostupu přes tuto vrstvu.

Tab.5 Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu [zdroj:[2]]

Větrání v budově	n_{50}/h
přirozené nebo kombinované	4,5
nucené	1,5
nucené se zpětným získáváním tepla	1
nucené se zpětným získáváním tepla v budovách s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - pasivní domy	0,6

3.5.2 Kontrola neprůvzdušnosti

Celková kontrola vzduchotěsnosti obalu budovy musí být prováděna až po dokončení neprůvzdušné vrstvy, ale ještě před jejím zakrytím, aby byla přístupná a kontrolovatelná. Detekci netěsností je možné provést několika metodami. Běžně je zkouška stanovována **tzv. metodou tlakového spádu**. Princip této metody spočívá v měření výměny vzduchu pomocí testu s ventilátorem (tzv. Blower-Door-Test). Tento test se využívá také pro vyhledávání netěsností budovy, ale je k tomu ještě potřeba termovizní kamera nebo přístroj pro měření rychlosti proudění.

Další běžně používanou metodou je detekce pomocí citlivého anemometru, kdy se v budově udržuje podtlak, takže vzduch proudí z vnějšího prostředí dovnitř. V neposlední řadě se využívá detekce termovizním snímáním. K dispozici jsou však i diagnostické metody, které nevyžadují tlakový rozdíl mezi vnitřním a vnějším prostředím a mohou být používány nezávisle na měření vzduchotěsnosti. K těmto metodám patří lokalizace netěsností pomocí ultrazvuku, kdy se ultrazvuk může šířit pouze netěsnostmi. Velmi názornou metodou je vizualizace dýmem. [16]

V ideálním případě je obálka domu včetně výplní otvorů naprosto těsná, tedy nedochází k žádným únikům energie. Lze tedy říci, že čím je vyšší průvzdušnost, tím jsou vyšší tepelné ztráty a naopak.

3.6 Systém řízeného větrání s rekuperací

Neustále čistý a čerstvý vzduch - okamžitý a setrvalý odtah škodlivin a přívod čistého vzduchu – má vliv především na zdraví osob, které daný prostor obývají. V pasivním domě je nutnost větrání o to větší, že obálka domu i okna jsou naprosto těsné. Hlavním důvodem je nutnost snížení vlhkosti vzduchu v místnostech, protože v každé domácnosti se neustále vytváří vodní pára - odparem z květin, vařením, koupáním atd. Jediným řešením na snížení relativní vlhkosti je větrání, které zároveň odvětrá i další škodliviny z interiéru (CO_2 , škodliviny uvolňující se ze stavebních hmot a vybavení interiéru atd.), vyvětrá pachy (kouření, příprava jídel), sníží obsahu radonu, jehož množství se může lišit dle lokality (podloží) a druhu stavebních materiálů, a zajistí přívod čerstvého vzduchu do domu. Tím je zajištěno vytvoření příznivého vnitřního mikroklima vhodného pro pobyt člověka v uzavřených prostorách.

V klasických domech je funkce větrání zajištěna okny, u pasivních domů ji přebírá mechanické větrací zařízení nejlépe spojené s rekuperací tepla (znovuzískání energie z odpadního tepla).

3.6.1 Funkce větracího zařízení se zpětným získáváním tepla

System větrání s rekuperací tepla slouží k zajištění optimální výměny vzduchu v objektu a zároveň minimalizaci tepelných ztrát při větrání. Tepelné ztráty větráním u běžných rodinných domů, kde je větrání zajištěno systémem mikroventilace nebo okenních štěrbin, tvoří až 40 % celkové ztráty objektu. U pasivních domů je třeba snížit množství tepla, které uniká větráním a zajistit potřebnou výměnu vzduchu, proto je nezbytné, aby do PD bylo nainstalováno mechanické větrací zařízení s vysoce účinným zpětným získáváním tepla.

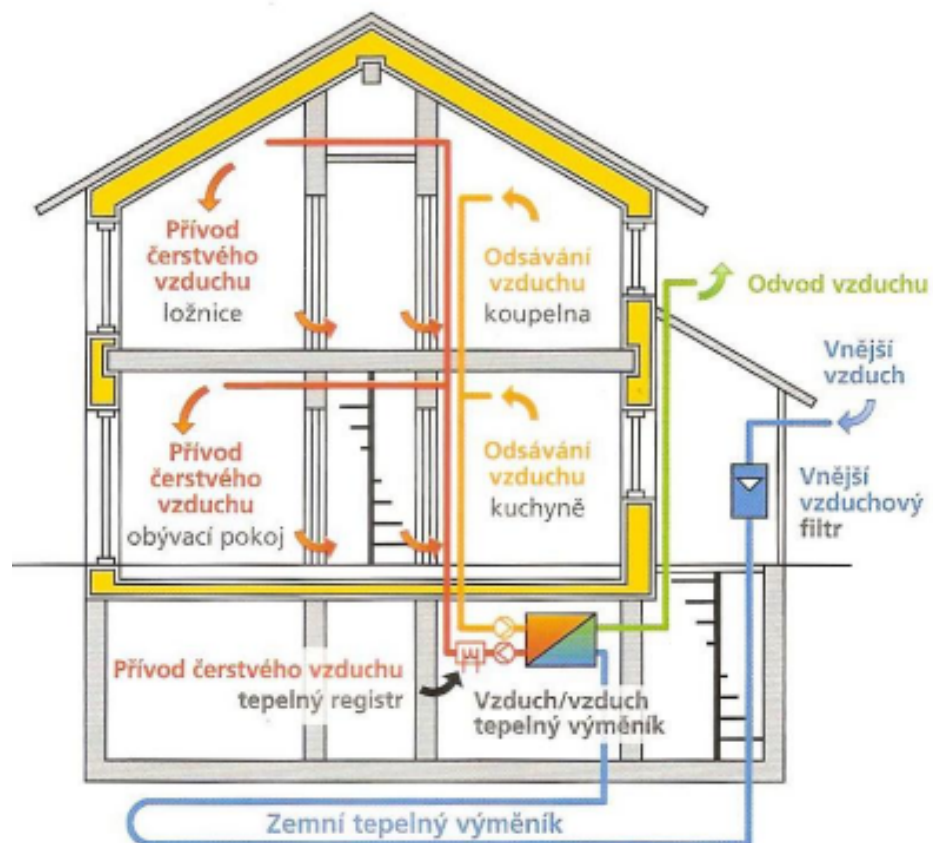
Účinnost výměníku tepla (rekuperátoru) centrální větrací jednotky by měla dosahovat alespoň 85 %, tzn., že musí odebírat minimálně 85 % tepelné energie obsažené v odváděném vzduchu. Zároveň musí mít co nejnižší spotřebu elektrické energie, obvykle nemá být překročena hodnota 0,4 wattu na metr krychlový upraveného vzduchu za jednu hodinu. Aby se zabránilo tepelným ztrátám při cestě vzduchu větracími rozvody, musí být tyto rozvody pro přívod a odvod vzduchu vedeny uvnitř vytápěného pláště budovy (v podlahách nebo ve stropě) a opatřeny tepelnou izolací a parozábranou.



Obr.6 Základní větrací a rekuperační jednotka [zdroj:[1]]

Ve výměníku tepla (rekuperátoru) centrální větrací jednotky se odebírá tepelná energie z odváděného vzduchu a přenáší se do přiváděného venkovního vzduchu. Ochlazený použitý vzduch je vypouštěn do venkovního prostoru. Oba směry proudění jsou navzájem dokonale odděleny, takže nemůže dojít k jejich smíchání, nedochází tedy ani k přenosu pachů a škodlivin.

Filtr před rekuperátorem brání ukládání prachu a nečistot, což zaručuje spokojenost obyvatelů s čistotou přiváděného vzduchu. Přefiltrovaný a ohřátý vzduch je přiváděn do obytných místností a do ložnic jako čerstvý vzduch. Množství větracího vzduchu je možné regulovat pomocí ovladače v různých intenzitách. Dodatečné větrání okny není nutné, ba dokonce nežádoucí z důvodu úspory energie.



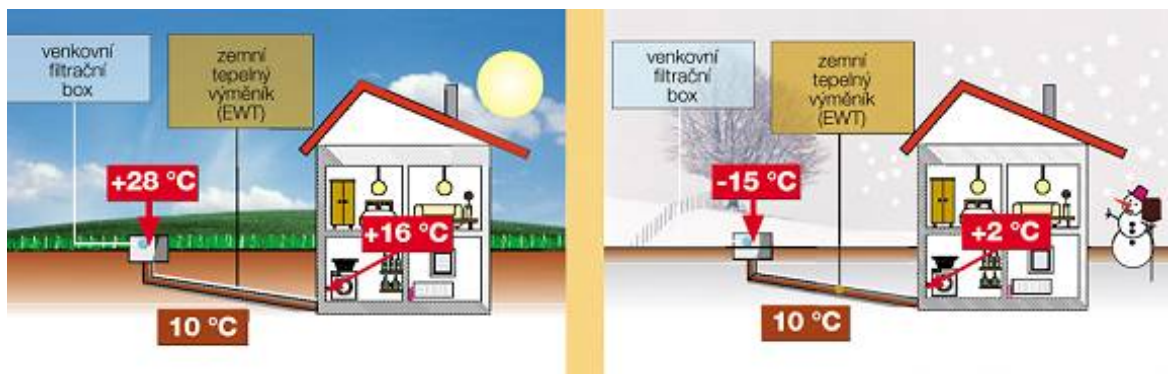
Obr.7 Schéma principu fungování větracího zařízení se zpětným získáváním tepla [zdroj:[5]]

3.6.2 Zemní tepelný výměník

Kvůli ochraně rekuperátoru před promrznutím a pro další úsporu energie může venkovní vzduch před vstupem do budovy procházet zemním výměníkem tepla, který využívá stálého tepla země. V české odborné literatuře je někdy označován jako zemní kolektor. Jeho princip je zdánlivě jednoduchý. Přiváděný čerstvý vzduch se vede potrubím uloženým v zemi a během průchodu vzduchu dochází k výměně tepla mezi vzduchem a zeminou kolem potrubí. V topném (zimním období) je proudící vzduch od okolní zeminy ohříván, v letních horkých dnech pak naopak ochlazován.

Potrubí je uloženo v zemi v nezamrzající hloubce (1,5 až 2 m), kde se teplota pohybuje od 8°C do 12°C, a díky tomu se venkovní vzduch přiváděný k rekuperátoru zahřeje minimálně na 2°C. Je tak využívána skutečnost, že teplota půdních vrstev je v hloubce kolem 2 m v zimě i v létě konstantní.

Při návrhu je nutno vycházet ze zimního provozu. Základním kritériem je, aby teplota na vstupu do rekuperačního výměníku byla nad bodem mrazu (minimálně + 2°C). Tím odpadá nutnost použití rozmrazovacího zařízení a konstrukce výměníku se výrazně zjednodušuje, protože pokud nebude výměník tepla zabudovaný v zemi, pak musí být centrální větrací jednotka opatřena zařízením na ochranu proti mrazu. Pro požadované zvýšení teploty přiváděného studeného vzduchu (např. z -15°C na +2°C) je rozhodující doba jeho setrvání v potrubním vedení zemního výměníku. [9]



Obr.8 Princip fungování zemního výměníku napojeného na rekuperační jednotku [zdroj: [9]]

Z výše uvedeného je patrné, že větrání slouží zároveň jako vytápění. Díky minimálnímu požadavku na ohřívání a udržování teploty v PD na stanovené hodnotě je možné zrušit topnou soustavu tak, jak je chápána v realizaci jiných domů a vše zajistit v rámci vzduchotechnického systému. Roční spotřeba tepla na vytápění v pasivním domě je tak velmi nízká. [2]

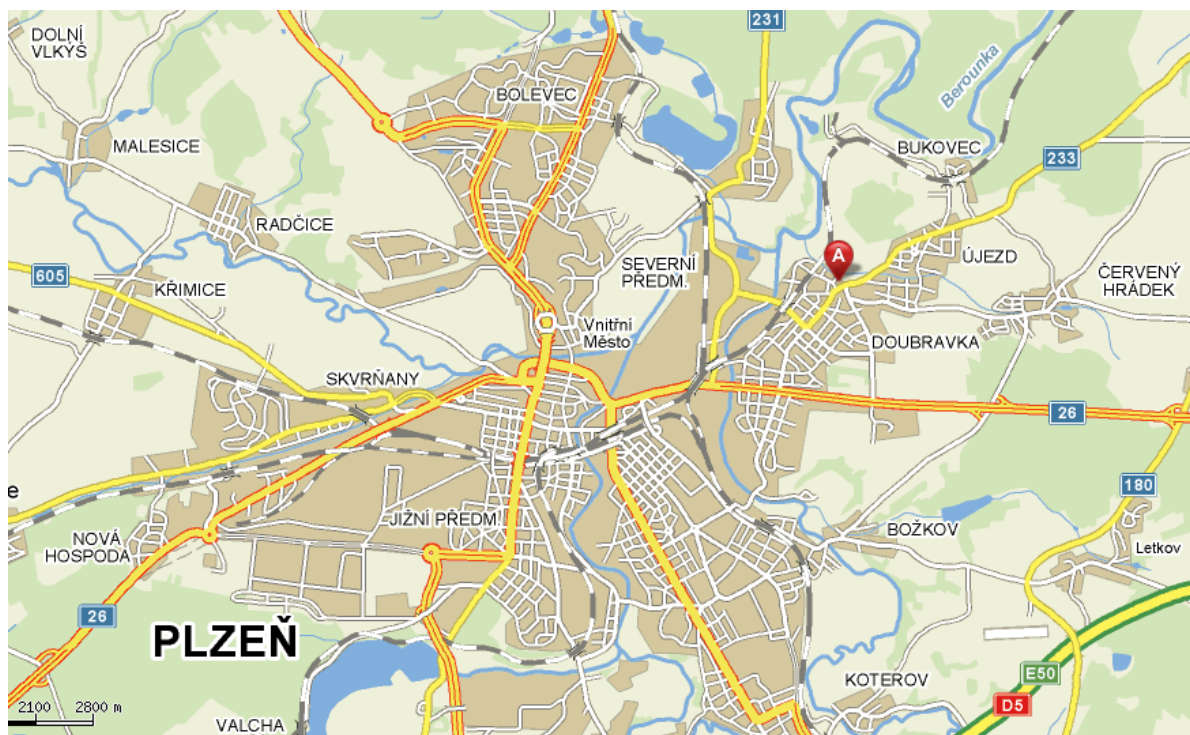
4 Měřený objekt - pasivní dům Plzeň

4.1 Lokalita

Měřeným objektem pro stanovení tepelných ztrát je rodinný pasivní dům, který se nachází na pozemku v okrajové části obvodu Plzeň - Doubravka.

Čtvrtý plzeňský městský obvod se nazývá podle jedné z původních osad Doubravka. Doubravka je katastrální část statutárního města Plzeň o rozloze 4,16 km². Obvod tvoří severovýchodní část města Plzně, sousedí na severu s prvním, na západě s třetím, a s druhým městským obvodem na jihu. Obvod se skládá z původních obcí Doubravka, Letná a Lobzy, které jsou dnes již srostlé v jeden městský celek, a z obcí Bukovec, Červený Hrádek, Újezd a Zábělá, tvořících stále ještě samostatné satelity.

Doubravka je dnes dynamicky se rozvíjející částí Plzně. V oblastech mezi satelitními obcemi vznikají nové zóny rodinných domků, proluky v městské zástavbě jsou zastavovány bytovými domy. V územním plánu jsou velké rozvojové plochy pro bydlení i průmysl. Dnes žije v Doubravce 25 tisíc obyvatel.



Obr.9 Lokalita pasivního domu Plzeň - Doubravka [zdroj:[13]]

Jak je vidět z fotomapy na *Obr.10*, není toto místo pro výstavbu PD příliš vhodné. A to vzhledem k tomu, že je dům zastíněn okolní zástavbou a zelení, a to i na jižní straně fasády, kde by mělo být oslunění největší. Orientace objektu bohužel musela být přizpůsobena poloze a velikosti pozemku. Přesto je dům postaven v pasivním standardu.



Obr.10 Poloha domu v okolní zástavbě [zdroj:[13]]

4.2 Charakteristika stavby

Na první, možná ani na druhý pohled, je k nerozeznání od běžného domu, přesto tento dům splňuje požadavky kladené na pasivní domy jak z hlediska tepelných prostupů, potřeby tepla na vytápění i provoz spotřebičů, tak z hlediska tepelných ztrát, což bude měřením a výpočtem dokázáno níže.

Přízemní objekt s podkrovím v pasivním standardu bez podsklepení je realizován na pozemku v okrajové části města. Dům je navržen pro 4 trvale žijící osoby. Územním plánem a kontextem okolní zástavby byl předurčený k sedlové střeše, přesto že není pro PD ideálním řešením. S přihlédnutím k umístění solárních kolektorů se sedlová střecha sice zdá jako nejlogičtější řešení, ale dlouhodobé zkušenosti potvrzují opak - nákladnější konstrukce, horší užitkové vlastnosti (omezená podchozí výška a ztrátové, nevyužitelné prostory). Pokud by tedy sedlová střecha nebyla vyžadována zástavbovými podmínkami, potom u pasivního domu je vhodné vybrat jiný, vhodnější tvar střechy.

V přízemí domu se nachází hlavní obytný prostor s jídelnou, kuchyňským koutem a pracovnou, v přízemí je dále koupelna s WC a komora, v horním klidovém podlaží jsou umístěny ložnice, šatna a koupelna. K domu je navržen samostatný sklad, který je plně odizolován od obytných prostor a má vlastní vchod.

Jak již bylo zmíněno, poloha jižní fasády je velmi nevýhodná a zastíněná, proto zde bylo osazeno pouze minimum prosklených ploch. Tím byl sice porušen princip pasivního domu, vyplývající z požadavků na konstrukci pasivních domů uvedených v kapitole 2.1, aby pasivní dům na sever neměl okna pokud možno žádná, naopak na jižní fasádě by měl mít prosklené plochy co největší, ale v tomto případě bylo nutné se řídit situováním pozemku, který je velmi malý a nebyla tedy možná jiná varianta polohy domu.

Z tohoto tedy plyne, že domy se nestaví primárně proto, aby byly pasivní, ale zejména proto, aby se v nich pohodlně bydlelo, byly architektonicky zdařilé a zároveň, aby obyvatelům maximálně využívaly a zhodnocovaly kvalitu pozemku vzhledem k jeho poloze a okolí, což v případě tohoto domu platí.

Pasivní standard je potom chápán jako přidaná hodnota tak samozřejmá, jako např. bezpečnost u moderních automobilů. Je-li např. severním směrem nádherný výhled do krajiny, bylo by chybou to nezohlednit při návrhu. Tento prohřešek je však nutno si při stavbě uvědomit a posílit jiné vlastnosti domu, například tepelnou obálku, respektive materiály použité na konstrukci obvodových stěn, podlahy, střechy a okenních výplní.

4.3 Stavební konstrukce

4.3.1 Obvodové stěny

Při použití většiny druhů cihel a tvarovek, není jednovrstvá zděná konstrukce schopna splnit požadavky na doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla pro pasivní dům. Proto jsou pro obvodové stěny úsporných domů navrhovány sendvičové konstrukce. Celá stavba pasivního domu na Doubravce je zděná s kontaktním zateplovacím systémem s tepelně izolační omítkou, je tedy kombinací obou možností zateplení uvedených v jedné z předchozích kapitol. Konstrukce se skládá z vnitřní nosné vrstvy z vápenopískových cihel, z tepelně izolační vrstvy z pěnového polystyrenu a vnější povrchové vrstvy. Vnější povrchová vrstva je provedena z vnější tepelně izolační omítky. Vnitřní povrch stěn je omítnut. Použitá skladba konstrukce 1 je znázorněná na *Obr.3* v kapitole 3.2.1. Celková plocha všech obvodových stěn je $200,05 \text{ m}^2$.

Tab.6 Skladba konstrukce obvodové stěny [zdroj:[12]]

Obvodová stěna (od interiéru)	tloušťka d [m]	součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
omítka vápenocementová	0,022	0,99
zdivo - vápenopískové cihly	0,175	0,28
hydrofóbní malta	0,002*	0,84*
polystyren	0,3	0,035
hydrofóbní malta	0,002*	0,84*
silikátová omítka	0,003	0,9

*hodnoty jsou pro tloušťku materiálu ve výpočtu zanedbatelné

4.3.2 Podlahová deska

Podlahová deska má od interiéru k exteriéru následující skladbu - dřevěné parkety nebo keramická dlažba, betonová mazanina z hutného betonu, pod ní položená jako první parotěsná zábrana fólie z PVC, jako izolační vrstva extrudovaný polystyren, další fólie jako hydroizolace a podkladová železobetonová deska. Celková podlahová plocha je 101,83 m².

Do výpočtu podlahové plochy bude zahrnuta pouze plocha ve styku se zeminou, podlaha mezi přízemím a podkrovím je zanedbatelná, vzhledem k tomu, že není ve styku se zeminou, ale nachází se celá uvnitř budovy. Také nebude zahrnuta plocha skladu, který se nachází mimo izolovaný prostor obytných místností, tedy má na ztráty domu zanedbatelný vliv.

Tab.7 Skladba konstrukce podlahové desky [zdroj:[12]]

Podlaha (od interiéru)	tloušťka d [m]	součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
vlysy	0,018	0,18
betonová mazanina	0,06	1,23
fólie PVC	0,0003	0,35
polystyren	0,3	0,035
hydroizolace	0,0003	0,35
železobetonová deska	0,25	1,43

4.3.3 Střecha

Jak již bylo zmíněno výše, je rozhodujícím faktorem využívání podkroví. V tomto domě je podkroví obytné, neslouží tedy jen jako úložný prostor, proto je potřeba izolace střechy. Použitá je skladba podobná konstrukci 2, zobrazená v kapitole 3.2.2. Střecha se od interiéru k exteriéru skládá ze sádkartonových podhledů, dále parotěsné zábrany, kdy těsnicí vrstva nebo fólie, která zabraňuje průniku vlhkostí do stavebních prvků, musí být vždy aplikována na teplou stranu, tj. z vnitřní strany stavebního prvku (z místnosti).

Další jsou jako tepelné izolace dvě vrstvy polystyrenu - jedna po celé ploše a druhá mezi krokvemi. Namísto dřevotřískové desky se zde nachází uzavřená vzduchová mezera, dále difúzní fólie, další uzavřená vzduchová mezera a nakonec střešní krytina. Celková plocha střechy je 137,46 m².

Tab.8 Skladba konstrukce střechy [zdroj:[12]]

Střecha (od interiéru)	tloušťka d [m]	součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
sádkarton	0,0125	0,22
parotěsná zábrana	0,0002	0,17
polystyren	0,25	0,037
polystyren (mezi krokvemi)	0,15	0,041
vzduchová mezera	0,05*	0,294*
difúzní fólie	0,0005	0,35
vzduchová mezera	0,05*	0,294*
střešní krytina (beton hutný)	0,015	1,23

*hodnoty jsou pro tloušťku materiálu ve výpočtu zanedbatelné

4.3.4 Okna

Okna jsou zasklena tepelně izolačními trojskly s plynovou výplní v prostoru mezi skly. Zasklení má následující technické parametry, kdy součinitel prostupu tepla $U = 0,6$ [W/(m²/K)] a celková energetická propustnost slunečního záření $g = 0,6$. Součinitel prostupu tepla celého okna je 0,76 [W/(m²/K)]. Konstrukce rámu je plastová, opatřená mikroventilací.

4.3.5 Větrání a vytápění

Větrání je nucené a probíhá za pomoci rekuperačního zařízení. Odváděný vzduch má teplotu zvýšenou o tepelné zisky, tím je také snížena tepelná ztráta větráním. Rekuperační jednotka je umístěna pod stropem technické místnosti v přízemí domu. Vytápění je ze 70 % zajištěno využitím odpadního tepla. Teplovodní solární kolektory o ploše 9 m² a účinnosti 60 % jsou umístěny na jižní straně střechy se sklonem 45° a jsou napojeny na akumulaci nádrž. Doplnkové vytápění je řešeno pomocí krbových kamen v obývací místnosti.

5 Navržení metodiky a provedení stanovení tepelných ztrát PD termokamerou

5.1 Termokamera

Pro termokameru lze také použít termín infrakamera, který navozuje podobnost s videokamerou. Název je odvozen od toho, že se v infra spektru (tepelné záření) používají statické snímky (z anglického camera = fotoaparát). U nás se často používá název termovize - jde ovšem o ochranné označení, které se podle patentového zákona nesmí bez svolení majitele používat. Je také možné se setkat s názvem termografie, což je asi nejpřesnější označení, neboť se jedná o zaznamenání snímku v tepelném spektru a jeho převedení do viditelného spektra.

Infračervená termografie - bezkontaktní zobrazování teplotních polí a jejich kvantifikace je dnes specifickou činností, která se spolu s moderní infračervenou termografickou technikou využívá v mnoha různých oborech lidské činnosti prakticky již od roku 1965. V tomto roce byl vyroben první termografický systém pro civilní účely. Do té doby se tato technologie používala víceméně pouze ve vojenství. V průběhu dalších let byla a je vyvíjena stále modernější a dokonalejší termografická technika, a to hlavně díky moderním technologiím a produktům, jako je vývoj a výroba mozaikových detektorů infračervených kamer, nové elektronické prvky a součástky apod.

Jedná se tedy o metodu zjišťování teplotních polí na povrchu materiálů pomocí měření intenzity infračerveného záření. Termovizní systém zaznamená tuto energii bezkontaktním měřícím systémem a převede ji na elektrické signály pomocí citlivého infračerveného detektoru. Výstupem je dvourozměrný barevný obraz tepelného pole. Výsledné termogramy jsou ve formátu JPEG. Spolu se systémy je nabízena celá řada softwarových produktů určených k vyhodnocování naměřených dat.

Termokamery jsou, jak již bylo řečeno, tedy úspěšně využívány již několik desetiletí a to v několika hlavních odvětvích jako je např. elektrotechnika, zdravotnictví, stavebnictví, průmysl, zemědělství atd. Co se týče stavebních konstrukcí, je vzhledem ke stále vyšším nárokům na tepelnou izolaci, použití termovizní techniky více než vhodným prostředkem pro kontrolu a odhalování tepelně technických závad. Termovizní kamera umožňuje zobrazit rozložení povrchových teplot měřeného objektu a odhalit tak místa se sníženým tepelným odporem, tepelné mosty, netěsnosti okenních rámců, dveří, atp.

Toto zařízení umožňuje na dálku a s jistými nepřesnostmi danými konstrukcí infrakamery měřit emitovaný tepelný tok, z něhož lze po zavedení určitých předpokladů usoudit povrchovou teplotu snímaných předmětů. Zároveň okamžitě tuto povrchovou teplotu převádí na viditelné barevné spektrum tím, že každé teplotě přiřadí určitou barvu. Tak například vznikne pohled na dům, kde jednotlivé barvy značí určitou povrchovou teplotu a tím je možné rozeznat různé anomálie. Obvykle se jedná o místa výrazně teplejší, popřípadě výrazně studenější (pokud měříme v interiéru prostupy chladu z exteriéru). Jiná povrchová teplota značí, že je v tomto místě slabší tepelná izolace než v okolních částech, tedy že je zde tepelný most. Termokameru lze také používat ke zjišťování kvality provedení tepelných izolací střešní konstrukce, dále lze zjistit netěsnosti spár okolo oken apod. Tímto měřením je tedy možné zjistit slabá místa staveb. [10]

5.2 Postup měření, podmínky

Měření může provádět pouze odborník na danou problematiku, který má zároveň o termokameře dostatečné znalosti. Dále je nutné znát všechny vlivy, které měření ovlivňují. Nejvýznamnějšími faktory jsou:

Emisivita - poměr celkové vyzařované energie z určitého povrchu při dané teplotě k celkové vyzařované energii (absolutně) černého tělesa při stejné teplotě.

Zdánlivá odražená teplota - poměr odraženého, nebo spektrálně odraženého zářivého toku (na objekt) k celkovému zářivému toku dopadajícímu na povrch objektu.

Vzdálenost měřeného objektu a okolní prostředí, což zahrnuje venkovní teplotu okolí i vnitřní teplotu objektu.

Pro účely této diplomové práce byla využita termokamera FLUKE TI-55. Pro názornost je na *Obr.11* kamera znázorněna. Tato kamera je plně radiometrická a proto umožňuje měřená teplotní pole i kvantifikovat, tedy snadno a rychle určit teplotu na povrchu měřeného objektu. Rozsah teplot je od -20°C do 600°C . Kamera má dále zabudovaný digitální fotoaparát, díky tomu je možno prokládat infra snímky klasickým digitálním snímkem. Výsledkem měření je termogram zobrazující teplotní pole snímaného objektu, na kterém je možné, jak již v terénu na displeji termokamery, tak posléze při vyhodnocování v počítačovém softwaru SmartViewTM, označit jakýkoliv bod snímku a tím zjistit ihned jeho teplotu. Další funkcí programu je např. možnost tvorby grafů, a to jak spojnicového, tak i 3D, na kterém jsou výborně prostorově znázorněna místa největších tepelných úniků.



Obr.11 Termokamera FLUKE TI-55 [zdroj:[14]]

Infrakamera snímá emitované tepelné záření v určitém rozlišení, tedy v určitém množství bodů, kterým přiděluje na základě emitované tepelné energie v určitém teplotním spektru příslušnou teplotu. Tato síť bodů je obvykle v rozmezí od 140 x 140 bodů u starších kamer, do 320 x 240 teplotních bodů i více u novějších. Kamera použitá k měření má právě toto rozlišení. Výhodou tohoto měření je, že získáme kompletní obraz rozložení teplot na konstrukci a můžeme usuzovat i na příčinu vzniku tepelného mostu.

Co se týče ceny, jde o velmi drahé zařízení, jehož cena se podle typu pohybuje od cca 400 000 Kč do 2 000 000 Kč i více podle dodaného příslušenství. [11]

Před samotným měřením bylo nutné zajistit několik věcí. Pro měření je vhodné, pokud se teplota pohybuje po několik dnů po sobě pod bodem mrazu. Je nezbytné, aby teplotní gradient mezi vnitřním a vnějším prostředím byl pokud možno co největší, aby případná kritická místa konstrukce byla na snímku zřetelná. Lze ho sice dosáhnout vytopením vnitřku domu na 35°C, ale to je téměř nereálné. Tudíž ideální je, aby venkovní teplota klesla na - 10°C a uvnitř bylo přijatelných 20°C. Průběh letošní zimy byl dlouhou dobu k účelu měření velmi nevhodný, ale v den měření teploty dosáhly dokonce více než dvaceti stupňů pod nulou, stačilo tedy pouze teplotně homogenizovat celou stavbu zhruba na dvacet stupňů celsia. Také bylo nutné provádět termovizní měření v brzkých ranních hodinách, kdy měření nezakresluje například vliv akumulovaného slunečního záření do konstrukcí budovy.

Dále bylo nutné již na místě nastavit na termokameře emisivitu obalových konstrukcí měřené stavby. Vzhledem k tomu, že pasivní dům je celý omítnut tepelně izolační omítkou, byla zvolena hodnota 0,93.

Další podmínkou je vzdálenost od objektu. Vzhledem k tomu, že termokamera má fix-focus - pevné zaostření fotografického objektivu, není možné si objekt oddálit zoomem, ale musíme se vzdálit na dostatečnou vzdálenost, aby byla zachycena celá plocha měřené konstrukce. Pasivní dům byl pro měření ideálně přístupný pouze ze severní strany, západní a východní se bohužel nedala zaměřit z dostatečné vzdálenosti celá, a k jižní straně se kvůli okolní zástavbě nedalo dostat vůbec.

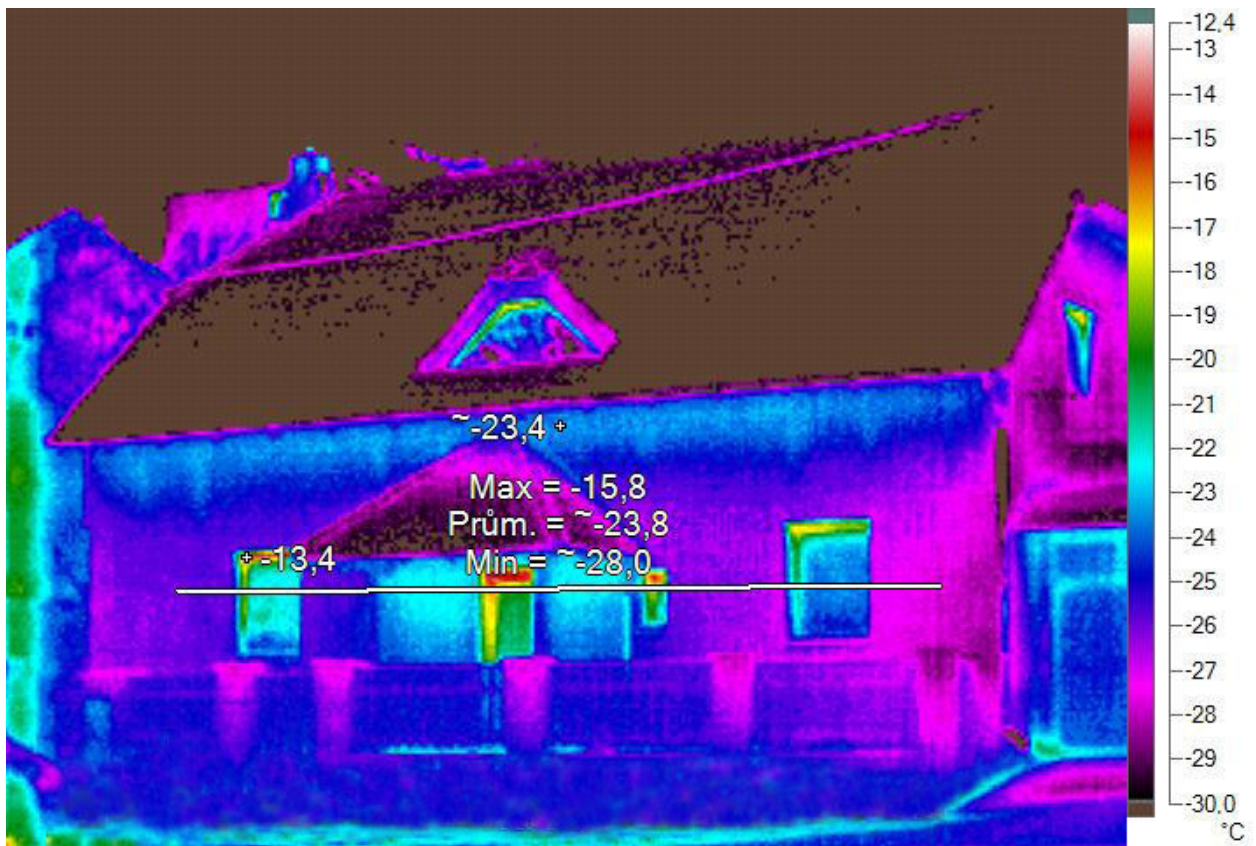
Při samotném měření jsme zaostřili vždy celou stěnu, poté jsme se zaměřili na místa, kde by mohly vznikat případné slabiny konstrukce. Vzhledem k tomu, že u pasivních domů je očekávána vynikající tepelná izolace, předpokladem bylo, že pasivní dům bude mít prostupem ztráty minimální, pouze mírné úniky kolem oken a dveří, případně na přechodu různorodých materiálů. Měřením se tento fakt potvrdil.

Bohužel není v žádném případě možné pomocí měření termokamerou kvantifikovat tepelné ztráty. Infrakamera zobrazí rozdělení teplot na povrchu měřeného objektu. Jaké jsou však tepelné úniky, to již není možné spočítat, protože zde hrají velkou roli součinitelé přestupu tepla v interiéru a exteriéru, dále stacionárnost průběhu teplot a mnoho další vlivů. Zvolená metodika měření tepelných ztrát termokamerou není pro splnění zadání této práce zcela dostačující a přesná. Kamera je vhodná pro lokalizaci problémů, pro jejich kvantifikaci však musíme použít výpočet. Následující obrázky jsou tedy spíše ilustrativní, slouží pro představu rozložení teplotního pole na měřeném objektu.

5.3 Výsledky měření

Obálka budovy musí být nejen velmi dobře izolována, aby neutíkalo teplo z domu prouděním, ale také musí být i dostatečně vzduchotěsná, aby teplo neunikalo netěsnostmi v obvodovém plášti.

V následující kapitole budou vyhodnoceny výsledky měření s přiloženým infra snímkem (termogramem) a různými typy grafů teplot. Další snímky, tzn. situační fotografie ve viditelném spektru a proložení digitálního snímku termogramem, je možno nalézt v *Příloze 2*. V *Příloze 3* je také přiložena výstupní zpráva z programu pro vyhodnocení snímků.

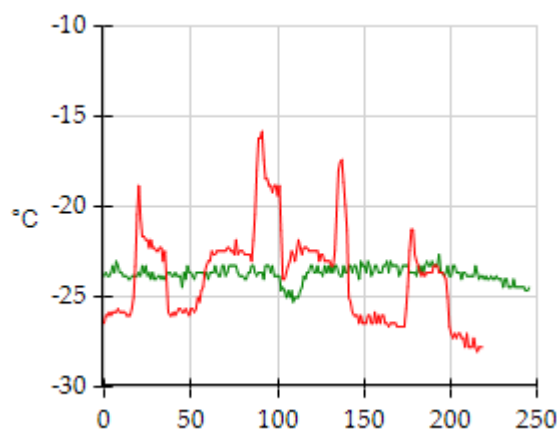


Obr.12 Záznam měření - severní stěna pasivního domu [zdroj:vlastní zpracování]

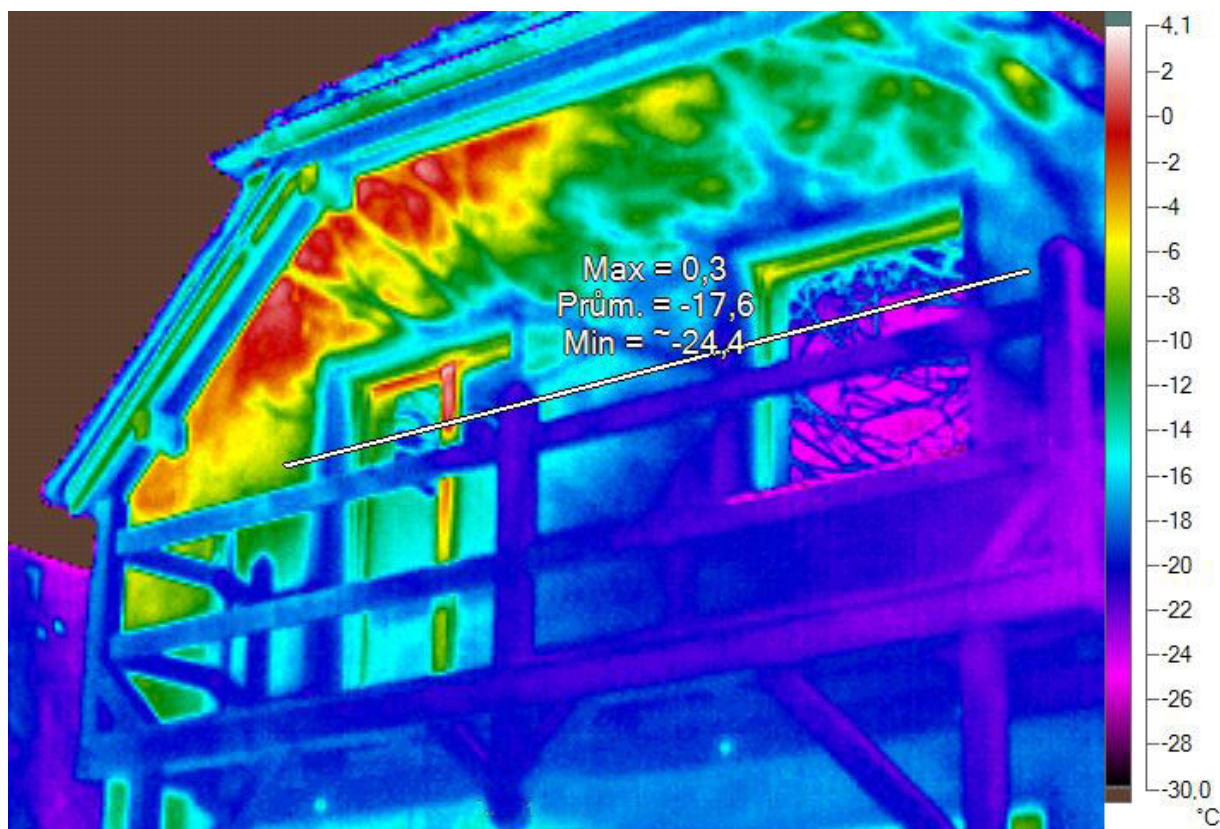
Pro zjištění hodnot teplot jednotlivých barev slouží stupnice u každého termogramu. Již na prvním snímku se potvrdil předpoklad, že viditelné úniky tepla z domu budou pouze kolem oken a dveří. To může být způsobeno instalovanou mikroventilací, která (u takto dokonale těsných okenních rámců) uměle vytváří malou netěsnost kolem rámu a umožňuje tak minimální větrání. Mikroventilace je obvykle v poloze kliky před úplným uzavřením, kdy tato poloha má být trvale nastavena u domů bez řízeného větrání, u pasivních domů má být v zimním období uzavřena pro správnou funkci systému vzduchotechniky s rekuperací, což zřejmě nebylo dodrženo. Dveře byly skutečně pootevřené, proto je zde vidět největší únik tepla.

Často se teploty dostaly mimo teplotní rozsah termokamery, což může v krajních pozicích snímku zkreslovat výsledek měření. Celkově se teploty konstrukce pohybují kolem minus dvaceti. Nejsou zde patrné žádné tepelné mosty ani narušení tepelné izolace obálky domu.

Graf 1 Průběh teplot na severní stěně [zdroj:vlastní zpracování]



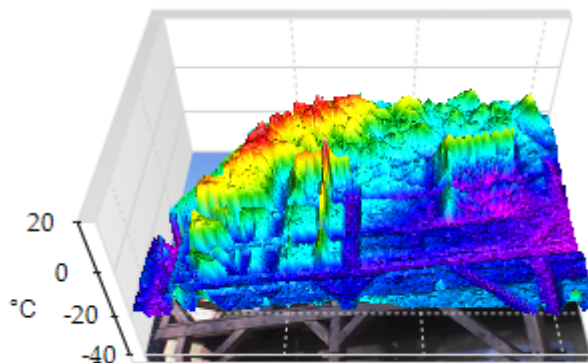
Na tomto programem SmartViewTM vygenerovaném grafu, jsou znázorněny teplotní výkyvy při vedení horizontální linie po severní stěně fasády přes výplně otvorů (znázorněno v *Grafu 1*) - červená čára. Pokud by linie vedla pouze přes fasádu, je patrné, že teploty jsou téměř konstantní a teplota se s minimálními výkyvy pohybuje kolem -23°C (zelená čára).



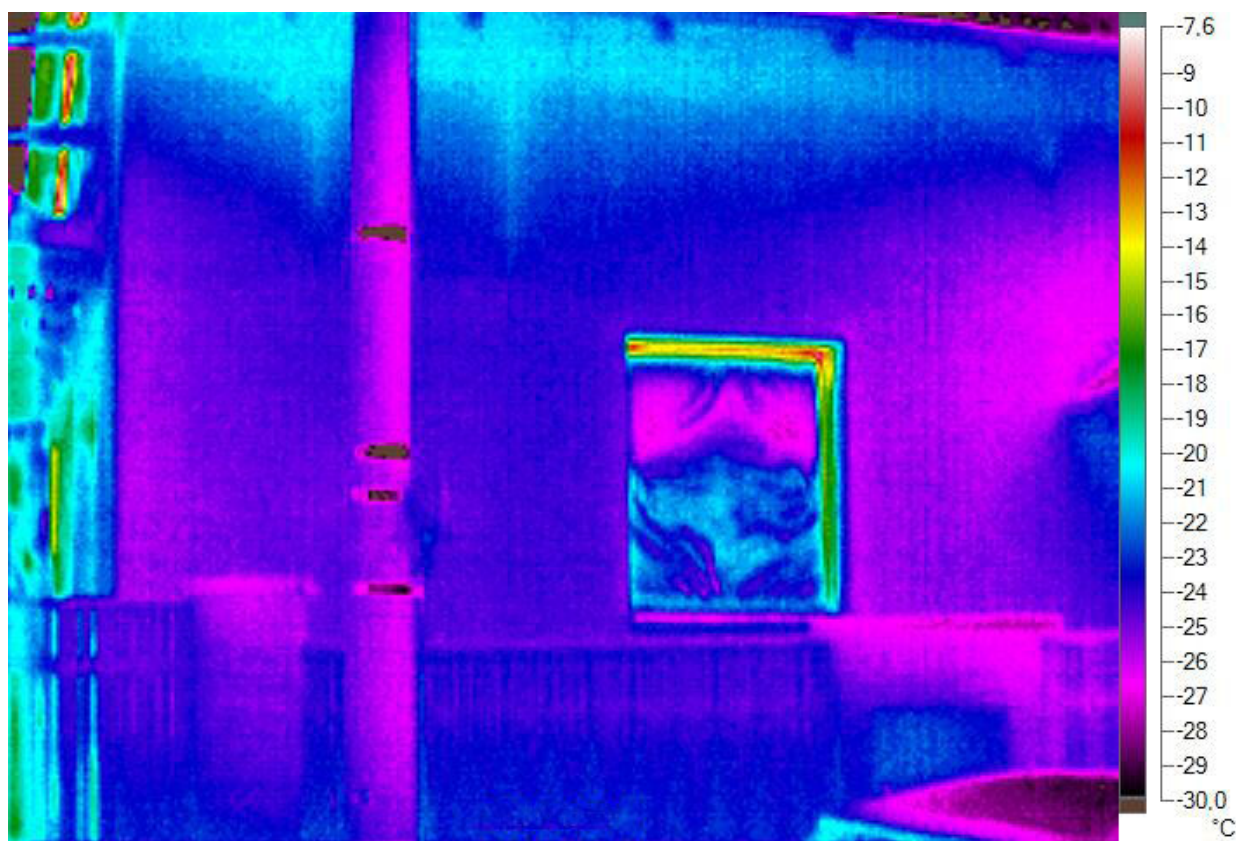
Obr.13 Záznam měření - východní stěna pasivního domu [zdroj:vlastní zpracování]

Z východního pohledu jsou úniky tepla opět pouze kolem oken, na fasádě se teplota pohybuje přes minus 20°C. Červená, oranžová, žlutá a zelená barva v horním levém rohu objektu je způsobena akumulací tepla od slunečních paprsků. Kresba na okně související s různým rozložením teplot, je způsobena stíny, které vrhají větve stromu. Ani u připojení dřevěné verandy nejsou patrné žádné tepelné mosty.

Graf 2 Rozložení teplotního pole na západní fasádě [zdroj:vlastní zpracování]



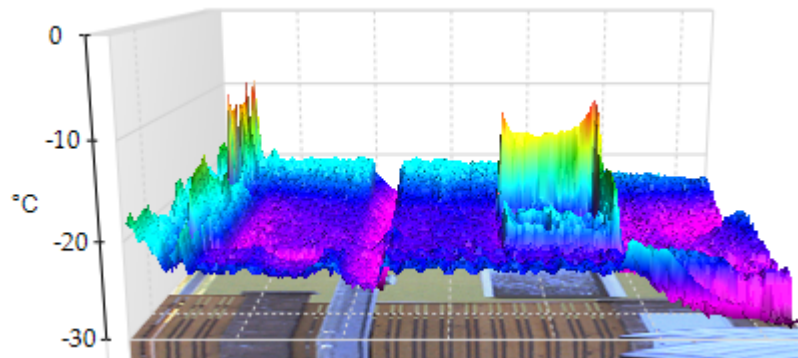
Jak již bylo zmíněno, tepelné úniky jsou pouze kolem oken, což je prostorově zobrazeno v tomto 3D grafu. Barvy odpovídají barvám, tzn. teplotám, na termogramu.



Obr.14 Záznam měření - detail okna [zdroj:vlastní zpracování]

Tento detailní záběr okna je proveden pro představu o místech úniku tepla oknem. Tepelné ztráty jsou pouze kolem rámu a to jen v horní části okna. Zřejmě je to způsobeno pootevřením mikroventilace okna, jak bylo již zmíněno výše. Přesto, že barva už jde do červena, teploty se stále pohybují v minusových hodnotách. Rozostření na krajních pozicích snímku je způsobeno teplotními podmínkami mimo teplotní rozsah termokamery.

Graf 3 Rozložení teplot na detailu okna [zdroj:vlastní zpracování]



Na tomto 3D grafu, kde je detailní pohled na okno. Je krásně vidět, jak teplo uniká pouze u horního okraje okna, tedy zřejmě mikroventilací. Na fasádě jsou teploty opět konstantní.

6 Vyhodnocení tepelných ztrát a navržení opatření k jejich snížení

6.1 Výpočet tepelných ztrát pomocí vzorců

K orientačnímu určení potřeby tepla pro vytápění celého objektu slouží předběžný výpočet tepelných ztrát. Pro stanovení potřebného výkonu zdroje tepla je možné vypočítat tepelnou ztrátu celého objektu. Pro stanovení potřebného výkonu otopných těles je nutné stanovit tepelnou ztrátu jednotlivých místností a jejich součtem pak celkovou tepelnou ztrátu objektu. Návrh výkonu zdroje tepla však není součástí této práce, ta se týká pouze výpočtu tepelných ztrát.

Tepelná ztráta se stanoví pro nejnižší výpočtovou venkovní teplotu v zimním období, a jde o množství tepla, které musí vytápěcí systém dostat do místností, aby v nich i za těchto podmínek byla zabezpečena navržená nebo výpočtová teplota.

Pro výpočet tepelných ztrát jsou potřebné tyto údaje:

- místo stavby, nadmořská výška, orientace ke světovým stranám, poloha objektu;
- plochy všech výpočtových konstrukcí;
- tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a výplní otvorů;
- požadavky na vnitřní teplotu.

Tab.9 Předpoklady pro výpočet [zdroj: vlastní zpracování]

Město	Nadmořská výška [m]	Venkovní výpočtová teplota t_e [°C]	Venkovní výpočtová teplota - podlaha t_e [°C]	Vnitřní výpočtová teplota t_i [°C]
Plzeň	311	-12	-5	20

6.2 Tepelné ztráty prostupem

Existuje několik metod výpočtu tepelných ztrát prostupem, jednou z nich je obálková metoda. Tepelná ztráta se stanoví pouze pro konstrukce vymezující vnější obálku budovy (vytápěné zóny). Jsou to především obvodové stěny, střechy, podlaha na zemině a výplně otvorů. Předpokládaný podíl na tepelné ztrátě prostupem jednotlivými konstrukcemi je znázorněn na Obr. 15.



Obr.15 Podíl jednotlivých obalových konstrukcí na tepelné ztrátě prostupem [zdroj:[15]]

Tab.10 Hodnoty pro výpočet ztráty prostupem [zdroj:[12]]

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla konstrukcí U [W/m ² K]	Plocha konstrukce A [m ²]
stěna	0,107	200,05
střecha	0,091	136,47
podlaha na terénu	0,112	101,83
výplně otvorů	0,76	24,76

Z teorie již známe vzorec pro výpočet tepelné ztráty prostupem:

$$Q_P = U \cdot A \cdot (t_i - t_e) \quad [W], \text{ pak už tedy jen stačí vypočíst ztráty jednotlivých konstrukcí.}$$

Tepelné ztráty pro stěny:

$$Q_{Pst} = 0,107 \cdot 200,05 \cdot (20 - (-12)) = 684,97 \quad [W]$$

Tepelné ztráty pro střechu:

$$Q_{Pstř} = 0,091 \cdot 136,47 \cdot (20 - (-12)) = 397,4 \quad [W]$$

Tepelné ztráty pro podlahu:

$$Q_{Ppodl} = 0,112 \cdot 101,83 \cdot (20 - (-5)) = 171,07 \quad [W]$$

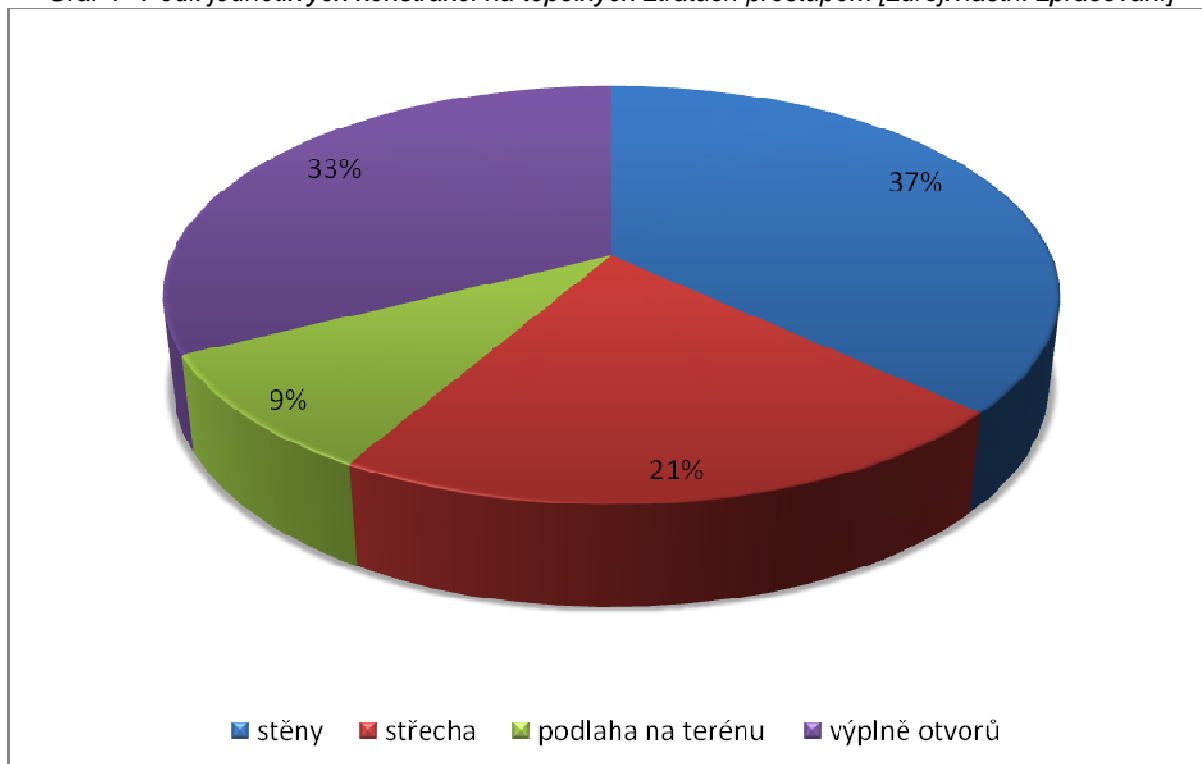
Tepelné ztráty pro výplně otvorů (okna, dveře):

$$Q_{Potv} = 0,76 \cdot 24,76 \cdot (20 - (-12)) = 602,16 \quad [W]$$

Celkové tepelné ztráty prostupem všemi konstrukcemi:

$$Q_P = Q_{Pst} + Q_{Pstř} + Q_{Ppodl} + Q_{Potv} = 1856 \quad [W]$$

Graf 4 Podíl jednotlivých konstrukcí na tepelných ztrátách prostupem [zdroj:vlastní zpracování]



6.3 Tepelné ztráty prostupem stanovené počítačovým programem

Pomocí výpočtového programu na stránkách tzbinfo.cz bude proveden výpočet tepelných ztrát prostupem pro zpřesnění výpočtu dle vzorců. Tento zjednodušený výpočtový program je určen pro výpočet tepelné ztráty místnosti nebo pro výpočet tepelné ztráty budovy obálkovou metodou. V takovém případě části popisující vlastnosti místnosti jsou vlastnosti popisující počítanou budovu.

Tab.11 Lokalita budovy [zdroj: [9] + vlastní hodnoty]

Plzeň <input type="button" value="▼"/> (Tabulka)	
Venkovní výpočtová teplota t_e	-12 °C <input type="button" value="Nastavit teplotu u stěn"/>
Krajina	Normální <input type="button" value="▼"/>

Tab.12 Vlastnosti budovy [zdroj: [9] + vlastní hodnoty]

Poloha budovy	Chráněná ???
Druh budovy	Osamělá ???
Charakteristické číslo budovy B	4 Pa ^{0.67} ???
Přirážka p ₂ na urychlení zátoku	0 ???

Tab.13 Charakteristické číslo budovy B [zdroj:[9]]

Krajinná oblast se zřetelem k intenzitě větru	Poloha budovy v krajině	Rychlost větru w [m/s]	Charakteristické číslo budovy B [Pa ^{0.67}]	
			Řadové budovy	Osaměle stojící budovy
Normální krajina	chráněná	4	3	4
	nechráněná	6	6	8
	velmi nepříznivá	8	9	12
Krajina s intenzivními větry	chráněná	6	6	8
	nechráněná	8	9	12
	velmi nepříznivá	10	12	16

Tab.14 Výpočtové hodnoty pro PD [zdroj: [9] + vlastní hodnoty]

Číslo a název místnosti	Pasivní dům	
Zvětšení char. čísla budovy ΔB	0 Pa ^{0.67} ???	
Venkovní výpočtová teplota t _e	-12 °C ???	Nastavit teplotu u stěn
Vnitřní výpočtová teplota t _i	20 °C (Tabulka)	

Tab.15 Vypočtené hodnoty materiálů pro obvodovou stěnu PD [zdroj: [9] + vlastní hodnoty]

Obvodová stěna									
Vnitřní výpočtová teplota místnosti (podle ČSN 06 0210:1994) $t_i = 20$ °C ???									
Výpočtová teplota vnitřního vzduchu (dle ČSN 73 0540 se pro obytné budovy volí $t_{ap} = t_i + 1$) $t_{ap} = 21$ °C ???									
<input checked="" type="checkbox"/> Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce $R_{si} = 0,13$ m ² K/W ??? $t_{si,0} = 20,54$ °C ???									
	Materiál	d [m]	λ [W/mK]						
interiér	1. Omítka vápenocementová	0.022	0.99		$R_1 = 0,022$	m ² K/W	$t_{si,1} = 20,47$	°C	???
	2. Cihly vápenopískové	0.175	0.28		$R_2 = 0,625$	m ² K/W	$t_{si,2} = 18,27$	°C	???
	3. Pěnový polystyren - PPS	0.3	0.035		$R_3 = 8,571$	m ² K/W	$t_{si,3} = -11,85$	°C	???
	4. Omítka silikátová	0,003	0.9		$R_4 = 0,003$	m ² K/W	$t_{si,4} = -11,86$	°C	???
exteriér	5.	0.000	0.000		$R_5 = -$	m ² K/W	$t_{si,5} = -$	°C	???
	6.	0.000	0.000		$R_6 = -$	m ² K/W	$t_{si,6} = -$	°C	???
$\Sigma d = 0,5$		m			$R_N = 9,22$	m ² K/W ???			
<input checked="" type="checkbox"/> Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce $R_{se} = 0,04$ m ² K/W ??? $t_e = -12$ °C ???									
Součinitel prostupu tepla $U = 0,11$ W/m ² K Tepelný odpor konstrukce $R_T = 9,39$ m ² K/W ???									
Plocha konstrukce $S = 200,05$ m ² Prostup tepla konstrukcí $Q = U \cdot S \cdot (t_i - t_e) = 682$ W									

Tab.16 Vypočtené hodnoty materiálů pro střechu PD [zdroj: [9] + vlastní hodnoty]

Střecha									
Vnitřní výpočtová teplota místnosti (podle ČSN 06 0210:1994) $t_i = 20$ °C ???									
Výpočtová teplota vnitřního vzduchu (dle ČSN 73 0540 se pro obytné budovy volí $t_{ap} = t_i + 1$) $t_{ap} = 21$ °C ???									
<input checked="" type="checkbox"/> Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce $R_{si} = 0,13$ m ² K/W ??? $t_{si,0} = 20,6$ °C ???									
	Materiál	d [m]	λ [W/mK]						
interiér	1. Sádrokarton	0.0125	0.22		$R_1 = 0,057$	m ² K/W	$t_{si,1} = 20,42$	°C	???
	2. Fólie PVC	0.0002	0.17		$R_2 = 0,001$	m ² K/W	$t_{si,2} = 20,42$	°C	???
	3. Pěnový polystyren	0.25	0.037		$R_3 = 6,757$	m ² K/W	$t_{si,3} = -0,5$	°C	???
	4. Pěnový polystyren	0.15	0.041		$R_4 = 3,659$	m ² K/W	$t_{si,4} = -11,83$	°C	???
exteriér	5. Difúzní fólie	0.0005	0.35		$R_5 = 0,001$	m ² K/W	$t_{si,5} = -11,84$	°C	???
	6. Beton hutný	0.015	1.23		$R_6 = 0,012$	m ² K/W	$t_{si,6} = -11,88$	°C	???
$\Sigma d = 0,428$		m			$R_N = 10,49$	m ² K/W ???			
<input checked="" type="checkbox"/> Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce $R_{se} = 0,04$ m ² K/W ??? $t_e = -12$ °C ???									
Součinitel prostupu tepla $U = 0,09$ W/m ² K Tepelný odpor konstrukce $R_T = 10,66$ m ² K/W ???									
Plocha konstrukce $S = 136,47$ m ² Prostup tepla konstrukcí $Q = U \cdot S \cdot (t_i - t_e) = 410$ W									

Tab.17 Vypočtené hodnoty materiálů pro podlahu PD [zdroj: [9] + vlastní hodnoty]

Podlaha									
Vnitřní výpočtová teplota místnosti (podle ČSN 06 0210:1994) $t_i = 20$ °C ???									
Výpočtová teplota vnitřního vzduchu (dle ČSN 73 0540 se pro obytné budovy volí $t_{ap} = t_i + 1$) $t_{ap} = 21$ °C ???									
<input checked="" type="checkbox"/> Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce $R_{si} = 0,17$ m ² K/W ??? $t_{si,0} = 20,51$ °C ???									
	Materiál	d [m]	λ [W/mK]		R_i		$t_{si,i}$		
interiér	1. Vlysy	0.018	0.18		0.1	m ² K/W	20.23	°C	???
	2. Beton hutný	0.06	1.23		0.049	m ² K/W	20.09	°C	???
	3. Fólie PVC	0.0003	0.2		0.001	m ² K/W	20.09	°C	???
exteriér	4. Pěnový polystyren extrudovaný - EXP	0.3	0.035		8.571	m ² K/W	-4.38	°C	???
	5. Hydroizolace	0.0003	0.35		0.001	m ² K/W	-4.39	°C	???
	6. Železobeton	0.25	1.43		0.175	m ² K/W	-4.89	°C	???
		$\Sigma d = 0,629$	m		$R_N = 8,9$	m ² K/W ???			
<input checked="" type="checkbox"/> Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce $R_{se} = 0,04$ m ² K/W ??? $t_e = -5$ °C ???									
Součinitel prostupu tepla $U = 0,11$ W/m ² K Tepelný odpor konstrukce $R_T = 9,11$ m ² K/W ???									
Plocha konstrukce $S = 101,83$ m ² Prostup tepla konstrukcí $Q = U \cdot S \cdot (t_i - t_e) = 280$ W									

Program postupuje tímto způsobem:

- dle druhu materiálu přiřadí každému součinitel tepelné vodivosti λ ;
- uživatel zadá tloušťku jednotlivých materiálů;
- poté program vypočte tepelný odpor R každé vrstvy podle vzorce:

$$R = d / \lambda,$$

kdy např. pro omítku po dosazení:

$$R = 0,22 / 0,99 = 0,022 \text{ a takto pokračuje dále pro všechny materiály;}$$

- součinitel prostupu tepla U je převrácená hodnota součtu všech dílčích odporů, a odporů existujících při přestupu tepla mezi okolním vzduchem a konstrukcí:

$$U = 1 / (R_{si} + R_1 + \dots + R_n + R_{se}) \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})]$$

$$U = 1 / (0,13 + 0,022 + 0,625 + 8,571 + 0,003 + 0,04) = 0,106 \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})];$$

Vypočítaný součinitel prostupu tepla stěnou, střechou i podlahou splňuje požadavek na doporučenou hodnotu, dokonce je menší než doporučená hodnota.

Dále program ze součinitele prostupu tepla U , plochy konstrukce S a teploty prostoru za zadávanou konstrukcí $t_{e,i}$, spočte tepelnou ztrátu prostupem, s použitím stejných vzorců pro výpočet tepelných ztrát prostupem uvedených v kapitole 2.1.

Tab.18 Parametry obálkové konstrukce budovy [zdroj: [9] + vlastní hodnoty]

	Typ ??? konstr.	Počet	$t_{e,i}$??? [°C]	U ??? [W/m ² K]	Plocha konstrukce						Q _o [W]
					d ??? [m]	v ??? [m]	S ??? [m ²]	S _d ??? [m ²]	S _v ??? [m ²]	S-S _d -S _v [m ²] ???	
1.	vložit smazat SO	1	-12	0,11	0	0	200,0	0	0	200,0	704.2
2.	vložit smazat SCH	1	-12	0,09	0	0	136,4	0	0	136,4	393
3.	vložit smazat PDL	1	5	0,11	0	0	101,8	0	0	101,8	168
4.	vložit smazat SO	1	-12	0,76	0	0	24,7€	0	0	24,7€	602.2

Tab.19 Výpočet tepelných ztrát prostupem [zdroj: [9]]

ΣQ_0	1867 W	???
Průměrný součinitel prostupu tepla k_c	0.126 W/m ² K	???
Přirážka p_1	0.02	???
Přirážka p_2	0	???
Přirážka p_3	0.05	???
Q_p	1996 W	???

Výsledek výpočtu je v porovnání s dosazením do vzorců téměř shodný. Vyskytují se pouze malé rozdíly, způsobené rozdílným zaokrouhlováním hodnot. A dále pak přirážkou p_1 , což je přirážka k vyrovnání vlivu chladných konstrukcí, a přirážkou na světovou stranu p_3 . O její výši rozhoduje poloha nejvíce ochlazované konstrukce v místnosti. V případě, kdy má místnost dvě ochlazované konstrukce, rozhoduje poloha jejich společného rohu. V případě, kdy má místnost tři nebo čtyři ochlazované konstrukce, počítáme s přirážkou nejvyšší. Přirážka p_2 je přirážka na urychlení zátopu a je uvažována pouze v případech, kdy ani za nejnižších venkovních teplot není možné zajistit nepřerušovanou dodávku tepla. Za normálních okolností se tato přirážka neuvažuje, protože za výpočtových podmínek se předpokládá nepřerušovaný provoz vytápění, jak je tomu i v tomto případě.

6.4 Tepelné ztráty větráním

Pro výpočet tepelné ztráty větráním je směrodatné stanovení objemového toku větracího vzduchu. Ten se stanoví rozdílně pro objekt bez větracího systému a objekt s větracím systémem. U objektu s větracím systémem nemá větrací přívodní vzduch charakteristiku vzduchu venkovního, a to v případech, kdy je vzduch předeřhíván, tedy prochází rekuperačním výměníkem. Obecný vztah pro tepelnou ztrátu větráním je:

$$Q_v = \frac{V}{3600} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_e) \quad [W] \quad [1]$$

Kde vztah pro stanovení objemového toku V je:

$$V = O_v \cdot n \quad [m^3/h] \quad [2]$$

kde n je intenzita výměny vzduchu a O_v je objem vzduchu ve větraném prostoru a lze ho spočítat jako:

$$O_v = 0,795 \cdot O = 405,5 \quad [m^3] \quad [3]$$

kde O je obestavěný prostor budovy a hodnota 0,795 odpovídá procentuálnímu podílu 79,5 % vzduchu z objemu zóny.

Máme tedy budovu o objemu $510,04 \text{ m}^3$, z toho je objem vzduchu ve větraném prostoru $O_v = 405,5 \text{ m}^3$ z rovnice [3] a objemový tok $V = 202,75 \text{ [m}^3/\text{h]}$ z rovnice [2]. Hustota vzduchu je při $20 \text{ }^\circ\text{C}$ $\rho = 1,2 \text{ [kg/m}^3]$ a měrné tepelná kapacita $c = 1,01 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]}$.

Potřeba tepla pro krytí ztrát větráním v **domě bez větracího systému** při výše uvedených výpočtových podmínkách a výměně vzduchu $n = 0,5 \text{ [h}^{-1}]$, činí po dosazení do vztahu [1]:

$$Q_v = \frac{202,75}{3600} \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot (20 - (-12)) = 2172 \quad [W]$$

Do výpočtu byla použita hodnota intenzity výměny vzduchu $0,5/\text{h}$, avšak v domě s přirozeným větráním lze uvažovat výměnu vzduchu i mnohem vyšší jak ukazuje *Tabulka 5*. Z toho vyplývá, že čím vyšší bude intenzita větrání, tím větší budou tepelné ztráty.

V **pasivním domě s větracím systémem se zpětným získáváním tepla** (tzv. rekuperačním systémem), tedy na nucené vzduchové cestě s **rekuperačním výměníkem** s účinností $\eta = 70\%$, jsou hodnoty V, O_v, ρ, c, n stejné. Rozdíl bude v hodnotě teploty přiváděného vzduchu, kdy již nelze uvažovat hodnotu $t_e - 12$ °C jako hodnotu přiváděného vzduchu z vnějšího prostředí, ale je nahrazena teplotou přiváděného vzduchu po rekuperaci t_p , vnitřní výpočtová hodnota t_i 20 °C je v tomto případě teplota odváděného vzduchu. Proto se mírně změní vzorec pro výpočet tepelné ztráty:

$$Q_v = \frac{V}{3600} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_p) \quad [W]$$

Teplota přiváděného vzduchu t_p se spočte ze vzorce:

$$t_p = t_e + \eta \cdot (t_i - t_e) \quad [^\circ C], \text{ kdy po dosazení:}$$

$$t_p = -12 + 0,7 \cdot (20 - (-12)) = 10,4 \quad [^\circ C] \quad [4]$$

Pokud bychom tento vzduch **nedohřivali** a přivedli ho přes rekuperační systém do místnosti, pak by otopný systém musel pokrýt tepelnou ztrátu větráním:

$$Q_v = \frac{202,75}{3600} \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot (20 - 10,4) = 202,75 \cdot 0,34 \cdot (20 - 10,4) = 662 \quad [W] \quad [5]$$

Z výpočtů je zřejmé, že za výše uvedených podmínek, je použitím rekuperace snížena spotřeba energie z 2 172 W na 662 W. Rekuperace nám tímto razantně snížila spotřebu o 1 510 W (70 %).

V praxi má odváděný vzduch z místnosti **teplotu zvýšenou o tepelné zisky**, předpokládejme na 22 °C. Teplota po rekuperaci a tepelná ztráta větráním bude:

$$t_p = -12 + 0,7 \cdot (22 - (-12)) = 11,8 \quad [^\circ C]$$

$$Q_v = 202,75 \cdot 0,34 \cdot (20 - 11,8) = 565 \quad [W] \quad [6]$$

Skutečná úspora tepla na větrání činí za daných podmínek při použití centrálního systému s rekuperací 1 607 W (74 %).

Pokud bychom přiváděný venkovní vzduch **předehřáli ještě před přivedením k rekuperátoru jeho tokem přes zemní kolektor** na teplotu 2 °C, pak by jeho teplota po rekuperaci byla:

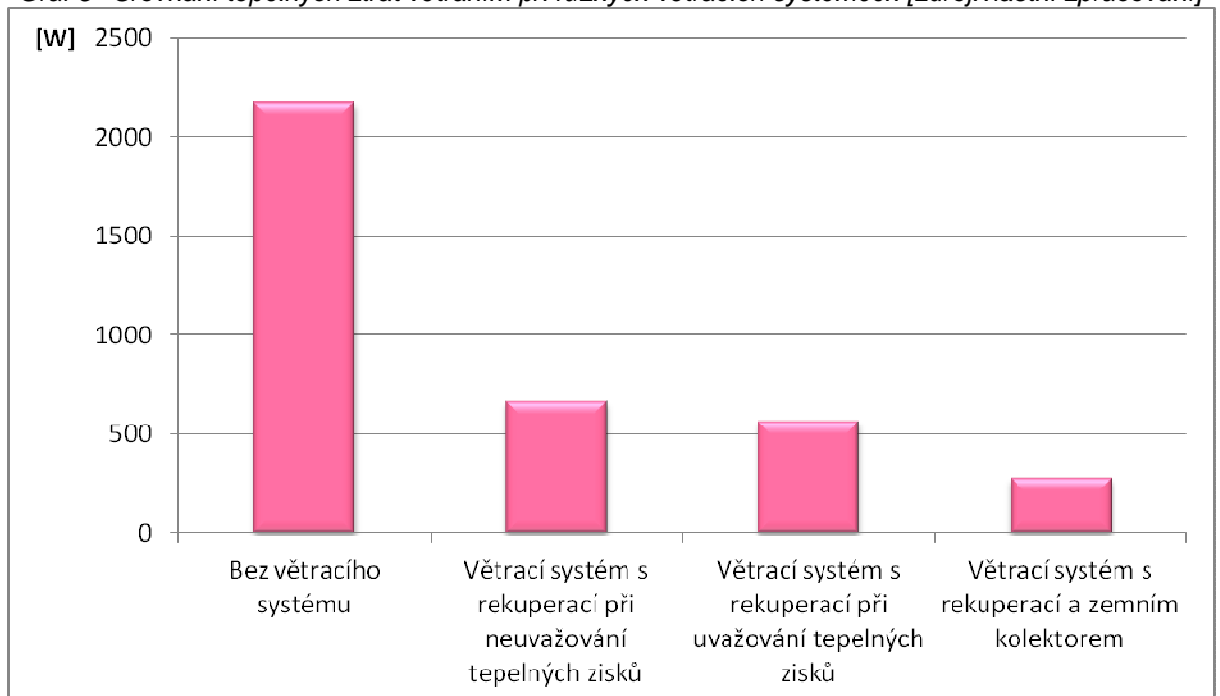
$$t_p = 2 + 0,7 \cdot (22 - 2) = 16 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

a tepelná ztráta větráním:

$$Q_V = 202,75 \cdot 0,34 \cdot (20 - 16) = 276 \quad [\text{W}] \quad [7]$$

Za těchto podmínek činí úspora tepla (na větrání) při rekuperaci a předehřevu v zemním kolektoru 1 896 W (87 %).

Graf 5 Srovnání tepelných ztrát větráním při různých větracích systémech [zdroj:vlastní zpracování]



Další možností snížení tepelných ztrát větráním je možnost zvýšení účinnosti rekuperačního výměníku, který může mít účinnost podle konstrukčního řešení od 50 % až do 85 %. Pro příklad bude uveden teoretický výpočet s 75% účinností, všechny hodnoty s různými účinnostmi budou uvedeny v *Tabulce 20*. Účinnost se uplatňuje ve vzorci pro výpočet t_p :

Větrací systém bez dohřívání vzduchu viz rovnice [5]

$$t_p = -12 + 0,75 \cdot (20 - (-12)) = 12 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$Q_V = 202,75 \cdot 0,34 \cdot (20 - 12) = 551 \quad [\text{W}]$$

Větrací systém s dohříváním vzduchu viz rovnice [6]

$$t_p = -12 + 0,75 \cdot (22 - (-12)) = 13,5 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$Q_v = 202,75 \cdot 0,34 \cdot (20 - 13,5) = 448 \quad [\text{W}]$$

Větrací systém s rekuperací a zemním kolektorem viz rovnice [7]

$$t_p = 2 + 0,75 \cdot (22 - 2) = 17 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$Q_v = 202,75 \cdot 0,34 \cdot (20 - 17) = 206 \quad [\text{W}]$$

Tab.20 Srovnání ztrát větráním při různých účinnostech větracího systému [zdroj:vlastní zpracování]

	Ztráty větráním [W]				
	1	2	3	4	5
Větrací systém s rekuperací při neuvažování tepelných zisků	1103	662	551	441	331
Větrací systém s rekuperací při uvažování tepelných zisků	1034	565	448	331	214
Větrací systém s rekuperací a zemním kolektorem	551	276	206	138	69
Účinnost větracího systému [%]	50	70	75	80	85

6.5 Celkové tepelné ztráty

Celková tepelná ztráta Q vytápěného prostoru je dána součtem tepelné ztráty prostupem Q_p a tepelné ztráty větráním Q_v . Do celkové ztráty bude brána vyšší hodnota ztráty prostupem, tedy hodnota vypočtená pomocí programu. A u ztráty větráním bude vzata reálná hodnota s uvažováním dohřívání vzduchu (zvýšení teploty o tepelné zisky).

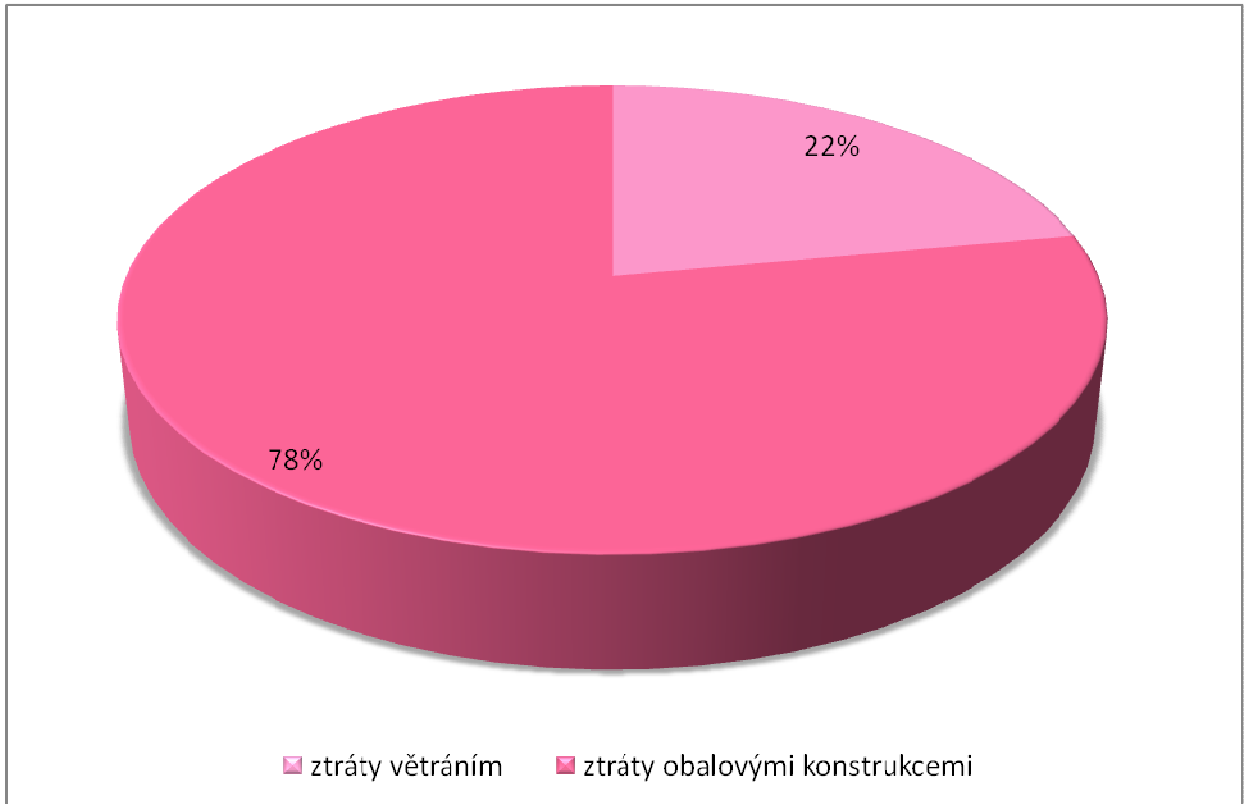
Celková tepelná ztráta:

$$Q = Q_p + Q_v \quad [\text{W}]$$

$$Q = 1996 + 565 = 2561 \quad [\text{W}]$$

Vypočítané tepelné ztráty rozhodují o potřebném výkonu zdroje vytápění. Tepelné ztráty (potřeba tepla) objektu se mění s venkovní teplotou. Tepelná ztráta tohoto domu pro zajištění tepelné pohody $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ je přibližně $2,6\text{ kW}$ při $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ venkovní teploty. Je důležité vědět, že při $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ venkovní teploty jsou TZ již na hodnotě 40 až 45 % z vypočítané maximální hodnoty při $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (tedy přibližně 1 kW), při $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ se TZ rovnají 55 %, při $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 80 % a při $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou TZ 100 %, tedy $2,6\text{ kW}$.

Graf 6 Podíl tepelných ztrát prostupem a větráním [zdroj:vlastní zpracování]



6.6 Vyhodnocení výsledků a opatření ke snížení

Po výpočtu tepelné ztráty prostupem přes všechny konstrukce se hodnota vyšplhala na 1 856 W, což je hodnota ze současného pohledu hodnocení staveb minimální. Výpočtový program zpřesnil hodnotu na 1 996 W. Předpokladem je, že další zvýšení tloušťky tepelné izolace by bylo jednak finančně náročné a jednak by zvláště velké snížení ztrát nepřineslo. Proto je nutné se zaměřit na snížení tepelné ztráty větráním.

Při současném stavu je tepelná ztráta větráním tohoto konkrétního pasivního domu teoreticky 662 W, prakticky jde o hodnotu 565 W, vzhledem k tomu, že teplota odváděného vzduchu je zvýšená o tepelné zisky získané ze spotřebičů, lidí a jejich činností.

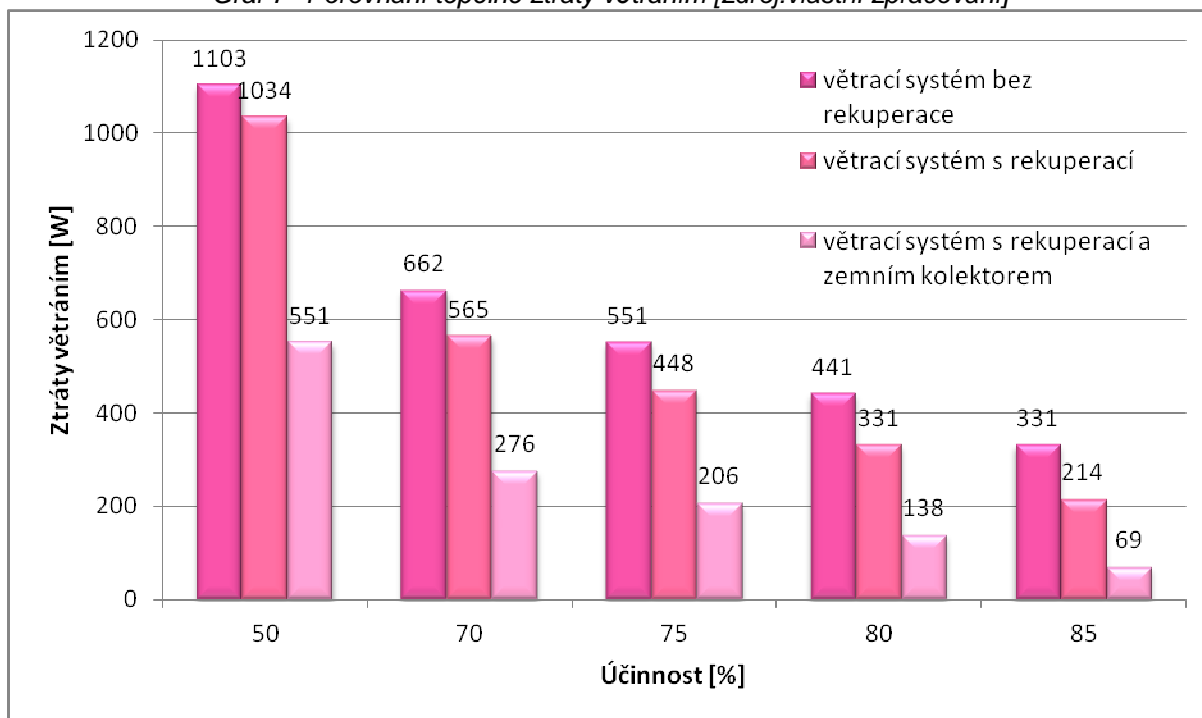
Po zhodnocení výsledků tedy vznikl předpoklad tří možných řešení pro snížení tepelných ztrát. Vždy jde o zlepšení spojené se zařízením pro rekuperaci a tím snížení tepelné ztráty větráním. Prvním řešením je doplnění rekuperační jednotky o zemní kolektor při zachování účinnosti 70 %, kdy se ztráty sníží z 565 W na 276 W, což je v podstatě poloviční úspora (51 %).

Druhým řešením je zvýšení účinnosti rekuperační jednotky ze stávajících 70 % až na 85 %. Zde tedy vznikl předpoklad, že pokud se zvýší účinnost tohoto zařízení, klesnou ztráty větráním. Výpočtem byl tento předpoklad dokázán, a je tedy zřejmé, že při zvýšení účinnosti rekuperace má každé procento navíc na snížení tepelných ztrát větráním zásadní vliv. Číselně vyjádřeno se při každém zvýšení účinnosti o 5 % ztráty snižují o 117 W, tedy o 21 %. Zvýšení účinnosti na 85 % přinese tedy oproti původnímu řešení úsporu 351 W, která představuje o 62 % nižší tepelné ztráty.

Dalším možným a nejvíce efektivním řešením by bylo současné použití rekuperačního zařízení a zemního kolektoru, spolu se zvýšením účinnosti rekuperátoru až na 85 %, které by přineslo největší úsporu energie z 565 W až na 69 W, což by vyjádřeno v procentech činilo až 88% snížení tepelných ztrát větráním.

Naopak, pokud by byla účinnost např. pouze minimálně požadovaných 50 %, byly by ztráty větráním oproti současnému stavu při všech třech možnostech rekuperace několikanásobně vyšší, a to téměř o polovinu.

Graf 7 Porovnání tepelné ztráty větráním [zdroj:vlastní zpracování]



Závěr

Zásadním bodem mé práce bylo stanovení tepelných ztrát pasivního domu. K tomuto účelu jsem si vybrala pasivní rodinný dům v Plzni na Doubravce. Měření a výpočet tepelných ztrát jsem se zabývala od třetí kapitoly dál. Od těchto měření a výpočtů se pak odvíjí opatření pro snížení ztrát.

V první kapitole jsem popsala zásady pasivního domu. V druhé analyzovala tepelné ztráty prostupem a větráním, kde jsem sepsala základní vzorce, podle kterých jsem v další kapitole postupovala při výpočtech reálných ztrát.

V kapitole 3 jsem se věnovala konstrukcím a zařízením, které mají vliv na tepelné ztráty. Došla jsem k závěru, že všechny konstrukce, ať už se jedná o stěnu, střechu, podlahu nebo výplně otvorů, musí být provedeny z velmi kvalitních materiálů s výbornými tepelnými vlastnostmi, aby nedocházelo k tepelným únikům. Toto se daří díky vysokým tepelným odporům těchto prvků. Současně se zvyšuje i těsnost těchto prvků a tím i celého obvodového pláště. To vede ve svém výsledku k výraznému snižování nákladů na vytápění. Systém řízeného větrání s využitím odpadního tepla, tzv. rekuperační systém, se proto v domě pasivního standardu stává nezbytností, bez něj by byly tepelné ztráty několikanásobně vyšší.

Lokalitu pasivního domu, jeho parametry a skladbu jednotlivých konstrukcí jsem popsala v kapitole 4.

V kapitole 5 jsem ověřila prostřednictvím měření termokamerou skutečnost, že materiály a vzduchotěsnost tohoto pasivního domu jsou provedeny výborně. Z výsledných termogramů je patrné, že tepelné ztráty jsou minimální a to pouze kolem oken, což je zřejmě způsobeno mikroventilací, která byla, i přes všechna doporučení, otevřena.

V kapitole 6 jsem se zaměřila na výpočet tepelných ztrát. Celkové tepelné ztráty domu po výpočtech splňují požadavek kladený na tepelné ztráty pasivního domu, tedy nepřesahují 10 W/m^2 . Při ploše všech obalových konstrukcí $463,11 \text{ m}^2$ by byla akceptovatelná ztráta do $4\,630 \text{ W}$. Výsledek $2\,561 \text{ W}$ pro tento pasivní dům, je nad míru uspokojivý.

Celkové ztráty se skládají ze dvou druhů ztrát. Ztrátu prostupem jsem vypočítala jak za pomoci vzorců, tak i počítačového programu určeného pro tyto účely. Výsledky se v podstatě liší jen nepatrně, neboť program výpočet zpřesnil a to přírůžkou na světové strany. Výpočet ztráty větráním jsem provedla pouze dle vzorců a došla jsem k závěru, že cesta, jak celkové tepelné ztráty objektu snížit, vede právě přes ztrátu větráním.

Navrhla jsem 3 možnosti zvýšení úspory, resp. snížení tepelných ztrát. První variantou je zvýšení účinnosti rekuperační jednotky ze stávajících 70 % až na 85 %, kdy byly tepelné ztráty sníženy z původní hodnoty o 63 %. Druhou možností je k rekuperační jednotce přidat ještě zemní kolektor, který slouží k předehřátí přiváděného venkovního vzduchu. V tomto případě při stávající účinnosti se ztráty sníží o 51 %. Posledním a podle mých výpočtů nejlepším řešením k maximálnímu možnému snížení tepelných ztrát je společné použití rekuperační jednotky a zemního kolektoru, při současném zvýšení účinnosti. Toto řešení představuje obrovskou úsporu 88 % energie.

Navrženými opatřeními tak lze ztráty větráním snížit až na sedminu původní hodnoty. Což v celkovém výsledku přinese úsporu z 2 561 W na 2 065 W, tedy snížení tepelných ztrát o více než pětinu (o 19 %). Tepelná ztráta prostupem zůstává neměnná, protože pokud bychom i ji chtěli snížit, bylo by nutné zasahovat do konstrukce domu, což by bylo velmi nákladné a v podstatě nesmyslné.

Jak jsem dokázala, i u fungujícího pasivního domu je možné tepelné ztráty ještě snížit, a tím dosáhnout ještě větších úspor energií, potažmo financí.

Použitá literatura

- [1] Hudec M.: *Pasivní rodinný dům - Proč a jak stavět*, Grada Publishing, Praha 2008
- [2] Růžková Markéta: *Pasivní domy - energeticky a ekonomicky úsporná rodinná sídla*, bakalářská práce, Plzeň 2010
- [3] Řehánek J., Janouš A., Kučera P., Kučera V., Šafránek J., Václavík V.:
4 x E o tepelné izolaci budov, Informační centrum ČKAIT, Praha 2004
- [4] Počinková M., Čuprová D. a kolektiv: *Úsporný dům*, ERA, Brno 2004
- [5] *Pasivní domy: Principy, projekty, realizace, mýty*, Multi-Comfort House, 2011
- [6] <http://www.energetickyporadce.cz/tepelne-ztraty>
- [7] Šubrt R., Zvánovcová P., Škopek M.: *Katalog tepelných mostů*, Energy Consulting, České Budějovice 2008
- [8] Pregizer D.: *Zásady pro stavbu pasivního domu*, Grada Publishing, Praha 2009
- [9] <http://www.tzb-info.cz>
- [10] Šubrt R.: *Tepelné izolace v otázkách a odpovědích*, BEN-technická literatura, Praha 2008
- [11] <http://www.termokamery.cz>
- [12] *Projektová dokumentace k pasivnímu domu*
- [13] <http://www.mapy.cz>
- [14] <http://www.fluke.com>
- [15] <http://www.energetickyporadce.cz>
- [16] Novák J.: *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov*, Grada Publishing, Praha 2008
- [17] Počinková M., Treuová L.: *Vytápění*, ERA, Brno 2002

Přílohy

Příloha 1 - Tabulka venkovních výpočtových teplot a otopných období dle lokalit

Lokalita (místo měření)	Nadmořská výška	Venkovní výpočtová teplota	Otopné období pro					
			$t_{em}=12^\circ$		$t_{em}=13^\circ$		$t_{em}=15^\circ$	
			t_{es}	d	t_{es}	d	t_{es}	d
h	t_e	$^\circ\text{C}$	[dny]	$^\circ\text{C}$	[dny]	$^\circ\text{C}$	[dny]	
[m]	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	[dny]	$^\circ\text{C}$	[dny]	$^\circ\text{C}$	[dny]	
Benešov	327	-15	3,5	234	3,9	245	5,2	280
Beroun (Králov Dvůr)	229	-12	3,7	225	4,1	236	5,3	268
Blansko (Dolní Lhota)	273	-15	3,3	229	3,7	241	5,1	275
Brno	227	-12v	3,6	222	4,0	232	5,1	263
Bruntál	546	-18v	2,7	255	3,3	271	4,8	315
Břeclav (Lednice)	159	-12	4,1	215	4,4	224	5,2	253
Česká Lípa	276	-15	3,3	232	3,8	245	5,1	282
České Budějovice	384	-15	3,4	232	3,8	244	5,1	279
Český Krumlov	489	-18v	3,1	243	3,5	254	4,6	288
Děčín (Březiny, Libverda)	141	-12	3,8	225	4,2	236	5,5	269
Domažlice	428	-15v	3,4	235	3,8	247	5,1	284
Frýdek-Místek	300	-15v	3,4	225	3,8	236	5,1	269
Havlíčkův Brod	422	-15v	2,8	239	3,3	253	4,9	294
Hodonín	162	-12	3,9	208	4,2	215	5,1	240
Hradec Králové	244	-12	3,4	229	3,9	242	5,2	279
Cheb	448	-15	3,0	246	3,6	262	5,2	306
Chomutov (Ervěnice)	330	-12v	3,7	223	4,1	233	5,2	264
Chrudim	276	-12v	3,6	225	4,1	238	5,9	276
Jablonec nad Nisou (Liberec)	502	-18v	3,1	241	3,6	256	5,1	298
Jičín (Libáň)	278	-15	3,5	223	3,9	234	5,2	268
Jihlava	516	-15	3,0	243	3,5	257	4,8	296
Jindřichův Hradec	478	-15	3,0	242	3,5	256	5,0	296
Karlovy Vary	379	-15v	3,3	240	3,8	254	5,1	293
Karviná	230	-15	3,6	223	4,0	234	5,3	267
Kladno (Lány)	380	-15	4,0	243	4,5	258	5,0	300
Klatovy	409	-15v	3,4	235	3,9	248	5,2	286
Kolín	223	-12v	4,0	216	4,4	226	5,9	257
Kroměříž	207	-12	3,5	217	3,9	227	5,1	258
Kutná Hora (Kolín)	253	-12v	4,0	216	4,4	226	5,9	257
Liberec	357	-18	3,1	241	3,6	256	5,1	298
Litoměřice	171	-12v	3,7	222	4,1	232	5,2	263
Louny (Lenešice)	201	-12	3,7	219	4,1	229	5,2	260
Mělník	155	-12	3,7	219	4,1	229	5,3	261
Mladá Boleslav	230	-12	3,5	225	3,9	235	5,1	267
Most (Ervěnice)	230	-12v	3,7	223	4,1	233	5,2	264
Náchod (Kleny)	344	-15	3,1	235	3,7	250	4,8	292
Nový Jičín	284	-15v	3,3	229	3,8	242	5,2	280
Nymburk (Poděbrady)	186	-12v	3,8	217	4,2	228	5,5	262
Olomouc	226	-15	3,4	221	3,8	231	5,0	262

Opava	258	-15	3,5	228	3,9	2329	5,2	274
Ostrava	217	-15	3,6	219	4,0	229	5,2	260
Pardubice	223	-12v	3,7	224	4,1	234	5,2	265
Pelhřimov	499	-15v	3,0	241	3,6	257	5,1	300
Písek	348	-15	3,2	235	3,7	247	5,0	284
Plzeň	311	-12	3,3	233	3,6	242	4,8	272
Praha (Karlov)	181	-12	4,0	216	4,3	225	5,1	254
Prachatice	574	-18v	3,3	253	3,8	267	5,1	307
Prostějov	226	-15	3,4	220	3,9	228	5,0	261
Přerov	212	-12	3,5	218	3,5	252	5,1	259
Příbram	502	-15	3,0	239	3,8	230	4,9	290
Rakovník	332	-15	3,4	232	4,0	250	5,7	297
Rokycany (Příbram)	363	-15	3,0	239	3,5	252	4,9	290
Rychnov n/Kněžnou (Slatina)	325	-15	3,0	241	3,5	254	4,8	291
Semily (Libštát)	334	-18v	2,8	243	3,4	259	4,7	303
Sokolov	405	-15v	3,4	239	3,9	254	5,4	297
Strakonice	392	-15	3,3	236	3,8	249	5,2	288
Svidník	220	-18v	2,7	224	3,0	237	4,3	269
Svitavy (Moravská Třebová)	447	-15	2,9	235	3,4	248	4,8	286
Šumperk	317	-15v	3,0	230	3,5	242	5,2	277
Tábor	480	-15	3,0	236	3,5	250	5,0	289
Tachov (Stříbro)	496	-15	3,1	237	3,6	250	5,0	289
Teplice	205	-12v	3,8	221	4,1	230	5,3	261
Trutnov	428	-18	2,8	242	3,3	257	5,0	298
Třebíč (Bítovánky)	406	-15	2,5	247	3,1	263	4,6	306
Uherské Hradiště (Buchlovice)	181	-12v	3,2	222	3,6	233	5,0	266
Ústí nad Labem	145	-12v	3,6	221	3,9	229	5,0	256
Ústí nad Orlicí	332	-15v	3,1	238	3,6	251	4,9	289
Vsetín	346	-15	3,2	225	3,6	236	4,9	270
Vyškov	245	-12	3,3	219	3,7	229	4,9	260
Zlín (Napajedla)	234	-12	3,6	216	4,0	226	5,1	257
Znojmo	289	-12	3,6	217	3,9	226	5,2	256
Žďár nad Sázavou	572	-15	2,4	252	3,1	270	4,7	318

Příloha 2 - Záznam termokamery



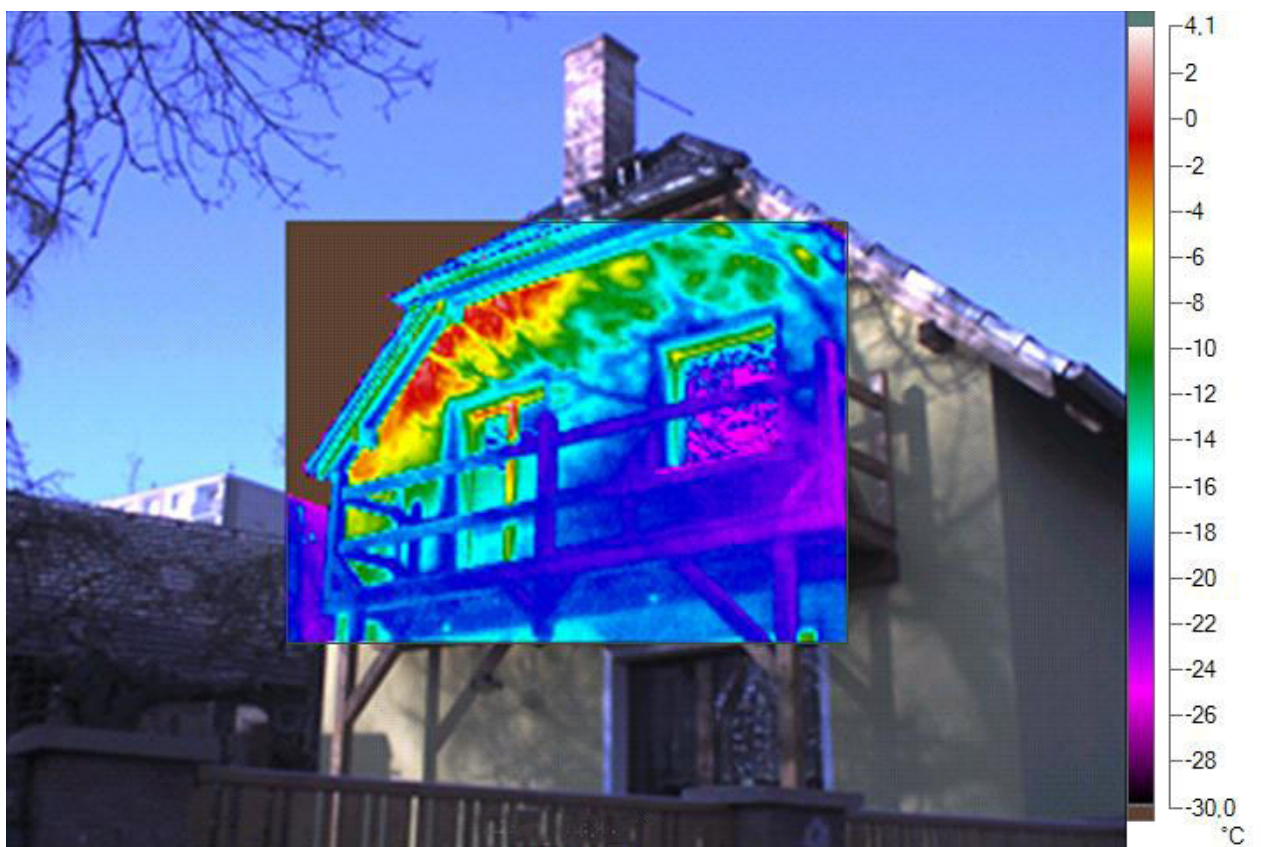
Obr.1 Pohled sever - situační fotografie ve viditelném spektru



Obr.2 Pohled sever - proložení digitálního snímku termogramem



Obr.3 Pohled východ - situační fotografie ve viditelném spektru



Obr.4 Pohled východ - proložení digitálního snímku termogramem



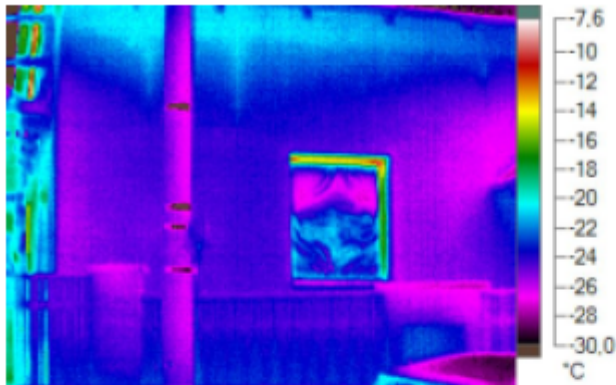
Obr.5 Detail okna - situační fotografie ve viditelném spektru



Obr.6 Detail okna - proložení digitálního snímku termogramem

Příloha 3 - Výstup z programu pro vyhodnocování termovizních snímků

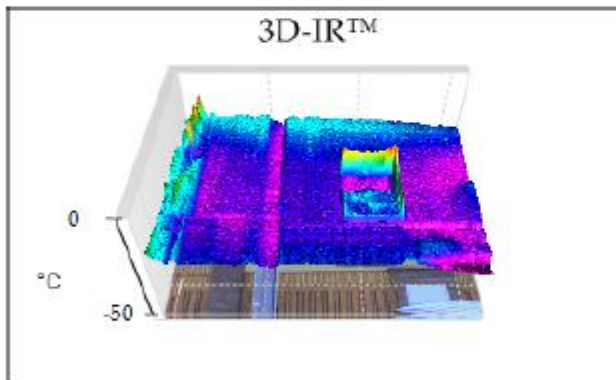
Hlášení o infračerveném přenosu - Detail okna



detail_okna.is2
3.2.2012 10:32:10



Snímek s viditelným zářením



Graf

Informace o snímku

Zářivost	0,93
Průměrná teplota	~-24,0°C
Rozsah snímku	<-30,0°C až -8,6°C
Model kamery	Ti55FT
Výrobce	Fluke
Popis objektivu	20mm/F0.8
Čas snímku	3.2.2012 10:32:10
Rozsah kalibrace	-20,0°C až 350,0°C

