

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Technicko-ekonomická analýza pasivního domu

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan JIROVSKÝ**
Osobní číslo: **E14N0049P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Technicko-ekonomická analýza pasivního domu**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Porovnejte jednotlivé typy rodinných domů z hlediska základních technických parametrů.
2. Popište analyzovaný pasivní dům z hlediska jeho základních technických parametrů při respektování ČSN IEC.
3. Vypracujte energetickou bilanci pro vybraný pasivní dům a případně proveďte optimalizaci. Na základě energetické bilance vystavte pro danou stavbu energetický štítek.
4. Ověřte, zda vybraný pasivní dům vyhovuje požadavkům kladených na tyto stavby.
5. Vypracujte ekonomickou analýzu pro vybraný pasivní dům.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. HUDEC, M.: **Pasivní rodinný dům**. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2555-0
2. NAGY, E.: **Nízkoenergetický a energetický pasivní dům**. Praha: Jaga, 2009. ISBN 978-80-8076-077-9
3. PREGIZER, D.: **Zásady pro stavbu pasivního domu**. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2431-7
4. **Normy ČSN IEC**
5. **Internetové zdroje**


Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**


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




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na technickou a ekonomickou analýzu pasivního domu. V práci jsou obsaženy základní informace popisující problematiku pasivního domu. Práce obsahuje popis skutečného pasivního domu včetně jeho analýzy formou návrhu průkazu energetické náročnosti a termovizní diagnostiky. Součástí práce je vypracovaný průkaz energetické náročnosti budovy a protokol z infračervené termografie. V závěru práce je provedeno porovnání provozních nákladů analyzovaného pasivního domu a provozních nákladů vypočtených na základě průkazu energetické náročnosti.

Klíčová slova

Pasivní domy, vzduchotěsnost, tepelné ztráty, větrání s rekuperací tepla, energetická náročnost, průkaz energetické náročnosti budov, součinitel prostupu tepla, infračervená termografie, elektromagnetické záření, ekonomická analýza

Abstract

The submitted master thesis is focused on the technical and economical analysis of passive house. The thesis includes basic information's describing issues of passive house. The thesis contains a description of the real passive house including its technical analysis in the form of an energy performance certificate and infrared thermography. The thesis contains processed proposal of an energy performance certificate and protocol from infrared thermography. Finally, the thesis compares actual operating costs of analyzed passive house and operating costs which have been calculated from energy performance certificate.

Key words

Passive houses, air tightness, heat losses, ventilation with heat recovery, energy intensity, energy performance certificate of buildings, heat transfer coefficient, infrared thermography, electromagnetic radiation, economical analysis

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 vypracoval 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.

.....

podpis

V Plzni dne 15.5.2016

Jan Jirovský

Poděkování

Rád bych na prvním místě poděkoval mé rodině, která mi při studiu na vysoké škole vždy pomáhala a dokázala vytvořit prostředí, potřebné k úspěšnému dokončení studia a této práce.

Dále bych velmi rád poděkoval svému vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Zbyňkovi Martínkovi, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Dále bych rád poděkoval všem pracovníkům Fakulty elektrotechnické za jejich přístup během mého studia.

Zvláštní poděkování patří Luboši Novotnému a společnosti Energomex s.r.o.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	13
1 PASIVNÍ DOMY	14
1.1 DEFINICE PASIVNÍHO DOMU	15
1.2 CHARAKTERISTICKÉ ZNAKY PASIVNÍHO DOMU	15
1.3 POŽADAVKY NA CERTIFIKOVANÝ PASIVNÍ DŮM DLE PHI.....	15
1.4 KATEGORIZACE BUDOV PODLE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI	15
1.5 HISTORIE ENERGETICKY ÚSPORNÉ ARCHITEKTURY	16
1.6 KVALITA MIKROKLIMATU VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ PASIVNÍHO DOMU.....	19
1.7 ARCHITEKTURA PASIVNÍHO DOMU.....	20
1.7.1 Klimatická oblast	20
1.7.2 Volba pozemku.....	21
1.7.3 Orientace budovy na pozemku	22
1.7.4 Tvar budovy	22
1.7.5 Zónování	23
1.7.6 Konstrukce	23
1.7.7 Tepelné izolace.....	25
1.7.8 Okna a dveře.....	30
1.8 VZDUCHOTĚSNOST OBÁLKY PASIVNÍHO DOMU	31
1.8.1 Blower door test.....	33
1.8.2 Metody detekce netěsností.....	35
1.9 TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ	37
1.9.1 Větrací jednotky s rekuperací tepla.....	37
1.9.2 Zemní výměník	40
1.9.3 Tepelné čerpadlo.....	41
1.9.4 Solární kolektory.....	43
1.9.5 Fotovoltaické panely.....	45
2 ANALYZOVANÝ PASIVNÍ DŮM	47
2.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O OBJEKTU	47
2.2 ENERGETICKÉ UKAZATELE OBJEKTU	48
2.3 STAVEBNÍ PRVKY OBJEKTU.....	48
2.4 TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ OBJEKTU	48
2.5 FOTOGRAFIE OBJEKTU	49
3 INFRAČERVENÁ TERMOGRAFIE.....	50
3.1 HISTORIE INFRAČERVENÉ TERMOGRAFIE	51
3.2 ÚVOD DO TEORIE INFRAČERVENÉ TERMOGRAFIE.....	53
3.2.1 Elektromagnetické spektrum	53
3.2.2 Absolutně černé těleso	54
3.2.3 Fyzikální zákony vyzařování absolutně černého tělesa.....	55
3.2.4 Typologie zdrojů záření	57
3.2.5 Záření reálných objektů.....	58
3.3 KONSTRUKCE INFRAČERVENÉ KAMERY	59
3.3.1 Optika infračervené kamery.....	59
3.3.2 Detektor infračervené kamery.....	60
3.3.3 Elektronika pro zpracování obrazu.....	61
3.4 PARAMETRY INFRAČERVENÉ KAMERY.....	62
3.4.1 Teplotní citlivost.....	62
3.4.2 Spektrální rozsah	62
3.4.3 Teplotní citlivost.....	63
3.4.4 Přesnost stanovení povrchových teplot.....	63

3.4.5	<i>Optické rozlišení detektoru</i>	63
3.4.6	<i>Zorné pole objektivu</i>	63
3.5	STANOVENÍ TERMOGRAFIKÝCH PARAMETRŮ.....	64
3.5.1	<i>Teplota a relativní vlhkost vzduchu</i>	65
3.5.2	<i>Emisivita zkoumaného objektu</i>	65
3.5.3	<i>Odražená zdánlivá teplota</i>	66
3.6	METODIKY TERMOGRAFIKÉHO MĚŘENÍ	67
3.7	KLIMATICKÉ PODMÍNKY PRO TERMOVIZNÍ DIAGNOSTIKU BUDOV	68
3.8	MĚŘICÍ PROTOKOL Z INFRAČERVENÉ TERMOGRAFIE ANALYZOVANÉHO OBJEKTU	70
4	HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV.....	75
4.1	SMĚRNICE 2010/31/EU O ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI.....	75
4.2	REAKCE ČESKÉ LEGISLATIVY NA SMĚRNICI 2010/31/EU	76
4.3	VYHLÁŠKA Č.78/2013 SB. O ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV	77
4.3.1	<i>Metodika výpočtu energetické náročnosti budov</i>	78
4.3.2	<i>Ukazatele energetické náročnosti budovy</i>	79
4.3.3	<i>TNI 730 331 Energetická náročnost budov-Typické hodnoty pro výpočet</i>	81
4.3.4	<i>Výpočtové nástroje pro návrh PENB</i>	83
4.3.5	<i>Použitý výpočtový nástroj pro návrh PENB</i>	83
4.3.6	<i>Protokol o výpočtu energetické náročnosti analyzované pasivního domu</i>	84
4.3.7	<i>Protokol o výpočtu energetické náročnosti referenční budovy</i>	92
5	EKONOMICKÁ ANALÝZA.....	99
5.1	VÝPOČTENÁ SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE DLE PENB	99
5.2	VÝPOČET EKVALENTNÍ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE	100
5.3	VÝPOČET CELKOVÉ ROČNÍ PLATBY ZA ELEKTRICKOU ENERGIÍ STANOVENOU PENB	102
5.4	SKUTEČNÁ SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE	103
5.5	POROVNÁNÍ SKUTEČNÉ SPOTŘEBY A VÝPOČTENÉ SPOTŘEBY DLE PENB	104
	ZÁVĚR	106
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	107
	PŘÍLOHY.....	110

Seznam symbolů a zkratek

E_v ($kWh/(m^2 \cdot a)$)	Měrná potřeba tepla na vytápění
p ($kg \cdot m^3$)	Objemová hmotnost
λ ($W/(m \cdot K)$)	Tepelná vodivost
U ($W/(m^2 \cdot K)$)	Součinitel prostupu tepla
R ($(m^2 \cdot K)/W$)	Tepelný odpor
<i>EPS</i>	Expandovaný polystyren
λ_D ($W/(m \cdot K)$)	Deklarovaný součinitel tepelné vodivosti
<i>XPS</i>	Extrudovaný polystyren
U_w ($W/(m^2 \cdot K)$)	Součinitel prostupu tepla zasklením okna
g (%)	Solární faktor
$n_{50,N}$ (h^{-1})	Jmenovitá intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa
V_{50} (m^3/h)	Objemový tok při tlakovém rozdílu 50 Pa
V (m^3)	Objem
V_p (m^3/h)	Objemový tok vzduchu obálkou budovy pro daný tlakový rozdíl
C ($m^3/(h \cdot Pa)$)	Součinitel proudění
Δ_p (Pa)	Rozdíl tlaku mezi interiérem a exteriérem
N (-)	Exponent proudění
<i>COP</i> (-)	Topný faktor
Q_C (W)	Celkový tepelný výkon získaný na kondenzátoru tepelného čerpadla
A (W)	Příkon kompresoru potřebný pro provoz tepelného čerpadla
<i>ŽB</i>	Železobetonová deska
<i>NIR</i>	Blízká oblast infračerveného záření
<i>SWIR</i>	Krátká oblast infračerveného záření
<i>MWIR</i>	Střední oblast infračerveného záření
<i>LWIR</i>	Vzdálená oblast infračerveného záření
<i>FIR</i>	Velmi vzdálená oblast infračerveného záření
I (W/m^2)	Hustota intenzity vyzařování
σ ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$)	Stefan-Boltzmannova konstanta
T (K)	Termodynamická teplota
ε (-)	Emisivita
λ_{max}	Vlnová délka pro hodnotu maximální vyzářené energie

B ($mm \cdot K$)	Wienova konstanta
c (m/s)	Rychlost světla
h ($J \cdot s$)	Planckova konstanta
k (J/K)	Boltzmannova konstanta
W_λ (W/m^2)	Spektrální hustota intenzity vyzařování
ε_λ (-)	Spektrální emisivita
P_e (J/s)	Celkový zářivý tok
P_α (J/s)	Pohlčený zářivý tok
P_τ (J/s)	Propuštěný zářivý tok
P_ρ (J/s)	Odražený zářivý tok
α_λ (-)	Součinitel pohltivosti
τ_λ (-)	Součinitel propustnosti
ρ_λ (-)	Součinitel odrazivosti
$W_{\lambda 0}$ (W/m^2)	Intenzita vyzařování reálného objektu
$W_{\lambda b}$ (W/m^2)	Intenzita vyzařování absolutně černého tělesa
$NETD$ ($^\circ C$)	Nejmenší ekvivalentní rozdíl teplot
FOV ($^\circ$)	Zorné pole
$HFOV$ ($^\circ$)	Horizontální zorné pole
$VFOV$ ($^\circ$)	Vertikální zorné pole
$IFOV$ ($^\circ$)	Prostorové skutečné zorné pole
SMO (m)	Nejmenší měřitelný objekt
P (m)	Velikost obrazového bodu
A (m)	Vzdálenost od měřeného objektu
β ($^\circ$)	Úhel dopadu a odrazu
E_r	Hodnota referenčního parametru
f_r (-)	Redukční činitel požadovaného průměrného prostupu tepla
$U_{em,R}$ ($W/(m^2 \cdot K)$)	Průměrný součinitel prostupu tepla jednozónové budovy, dílčí zóny vícezónové budovy nebo vícezónové budovy
$\Delta U_{em,R}$ ($W/(m^2 \cdot K)$)	Přirážka na vliv tepelných vazeb
C_R ($kJ/(m^2 \cdot K)$)	Vnitřní tepelná kapacita
g_R (-)	Celková propustnost slunečního záření
$F_{sh,R}$ (-)	Činitel clonění aktivními stínícími prvky
$Q_{el,R}$ (kWh)	Vyrobená elektrická energie
$Q_{env,R}$ (kWh)	Využitá environmentální energie

Q_{fuel} (GJ)	Vypočtená spotřeba energie dle PENB
E_V (kWh)	Vypočtená spotřeba energie dle PENB
E_{1-6} (kWh)	Stanovená roční spotřeba energie spotřebičů
E_{den} (kWh)	Denní spotřeba energie
E_{cyklus} (kWh)	Spotřeba energie za jeden cyklus
p (-)	Počet cyklů
β (-)	Soudobost
P_β (kWh)	Soudobý příkon
t (h)	Čas
$P_{Pmax.}$ (kWh)	Maximální příkon
E_S (kWh)	Vypočtená dodaná energie na chod spotřebičů
E_{EKV} (kWh)	Celková vypočtená dodaná energie do budovy z energetických soustav
N_V (Kč)	Vypočtené provozní náklady
VT (MWh)	Spotřeba energie ve vysokém tarifu
NT (MWh)	Spotřeba energie v nízkém tarifu
$p1$ (Kč)	Cena za rezervovaný příkon (Distribuce)
$p2$ (Kč)	Pevná cena za měsíc (Silová elektřina)
$p3$ (Kč)	Cena za 1MWh ve vysokém tarifu (Distribuce)
$p4$ (Kč)	Cena za 1MWh na systémové služby (Ostatní služby)
$p5$ (Kč)	Cena za 1MWh na podporu výkupu elektřiny (Ostatní služby)
$p6$ (Kč)	Cena za 1MWh na činnost zúčtování OTE (Ostatní služby)
$p7$ (Kč)	Cena za 1MWh ve vysokém tarifu (Silová elektřina)
$p8$ (Kč)	Cena za 1MWh v nízkém tarifu (Distribuce)
$p9$ (Kč)	Cena za 1MWh v nízkém tarifu (Silová elektřina)

Úvod

Tato práce se zabývá zpracováním technické a ekonomické analýzy pasivního rodinného domu.

Diplomová práce je rozdělena do 5 kapitol.

První kapitola popisuje problematiku pasivních domů a specifikuje jednotlivé kategorie budov podle energetické náročnosti.

Ve druhé kapitole je vypracován základní popis analyzovaného pasivního rodinného domu s ohledem na jeho energetické vlastnosti a technické systémy budovy.

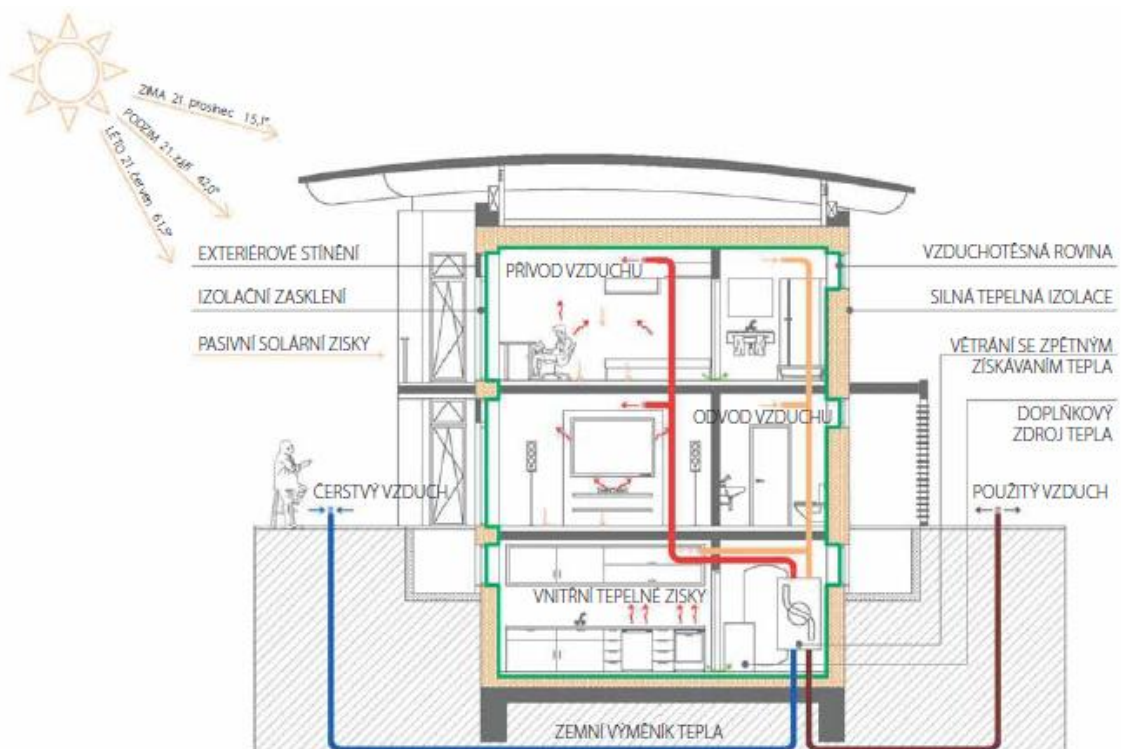
Třetí kapitola je zaměřena na problematiku diagnostiky budov formou infračervené termografie. V rámci této kapitoly je teoreticky popsána oblast infračervené termografie a vypracován protokol z termovizní diagnostiky analyzovaného pasivního rodinného domu.

Ve čtvrté kapitole je popsána problematika energetické náročnosti budov. V rámci čtvrté kapitoly byl proveden návrh průkazu energetické náročnosti pro analyzovaný pasivní rodinný dům.

Poslední kapitola je zaměřena na porovnání skutečné spotřeby energie reálného provozu analyzovaného pasivního domu s vypočtenou spotřebou energie v rámci průkazu energetické náročnosti.

1 Pasivní domy

Pasivní domy jsou stavby charakteristické velmi nízkou spotřebou energie a vysokou kvalitou mikroklimatu vnitřního prostředí. Tyto stavby jsou základem pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie definované směrnici Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov. Pasivní domy jsou založené na principu využívání pasivních tepelných zisků. Do kategorie pasivních tepelných zisků patří solární tepelné zisky a vnitřní tepelné zisky, mezi které patří např. teplo vyzařované lidmi a spotřebiči. U pasivních domů je vysoké efektivity využívání pasivních tepelných zisků dosaženo prostřednictvím minimalizace tepelných ztrát. Pasivní domy jsou charakteristické vysoce kvalitní tepelnou izolací obálky budovy. Vysoká kvalita tepelné izolace obálky budovy má za důsledek minimalizaci tepelných ztrát postupem skrze konstrukce budovy. Pasivní domy jsou dále charakteristické kromě tepelně izolačních vlastností budovy také vysokou kvalitou mikroklimatu vnitřního prostředí, která je zajištěna prostřednictvím systému nuceného větrání s rekuperací tepla. Pro správnou funkci systému nuceného větrání s rekuperací tepla je důležité vzduchotěsné provedení obálky budovy, které je jedním ze základních požadavků na pasivní domy a jehož prostřednictvím jsou navíc redukovány tepelné ztráty infiltracemi. [1]



Obr.1-1 Schéma pasivního domu (převzato z:[2])

1.1 Definice pasivního domu

Definice pasivního domu podle Dr. Wolfganga Feista

„Ein Passivhaus ist ein Gebäude mit derart geringem Heizwärmebedarf, das eine separate Heizung überflüssig wird: Die Wärme kann über das ohnehin vorhandene Zuluftsystem zugeführt werden.“

„Pasivní dům je budova s tak malou potřebou energie na vytápění, že v ní není potřeba aktivního otopného systému. Teplo potřebné pro vytápění objektu může být dodáno pouze ohřevem přiváděného čerstvého vzduchu.“ [3]

1.2 Charakteristické znaky pasivního domu

- okna a dveře s pozitivní energetickou bilancí
- orientace prosklených ploch směrem k jihu
- systém nuceného větrání s rekuperací tepla
- alternativní a obnovitelné zdroje energie
- kvalitní tepelná izolace obálky budovy
- vzduchotěsnost obálky budovy
- kompaktní tvar budovy [1]

1.3 Požadavky na certifikovaný pasivní dům dle PHI

- měrná potřeba tepla na vytápění $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ nebo topná zátěž $\leq 10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{a})$
- měrná potřeba na chlazení $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- vzduchotěsnost obálky budovy $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
- měrná potřeba primární energie $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- četnost přehřátí obytných prostor (nad 25°C) $\leq 10^\circ\text{C}$ [4]

1.4 Kategorizace budov podle energetické náročnosti

Budovy jsou podle měrné potřeby tepla na vytápění rozděleny na nízkoenergetické, pasivní a nulové. Měrná potřeba tepla charakterizuje tepelně-izolační vlastnosti budovy bez ohledu na použitý topný systém a zdroj tepla. Tato veličina vychází z tepelných ztrát budovy a vyjadřuje množství potřebného tepla vztaženého na jednotku plochy. [5]

Tab.1.4-1 Kategorie budov dle měrné potřeby na vytápění

Typ budovy	Měrná potřeba tepla na vytápění E_v (kWh/(m ² a))
Starší zástavba	> 200
Současná novostavba	80-140
Nízkoenergetický dům	< 50
Pasivní dům	< 15
Nulový dům	< 5

1.5 Historie energeticky úsporné architektury

Energeticky úsporné stavby nejsou současnou novinkou v oblasti stavebnictví. V mnoha klimatických, zpravidla teplotně pozitivních pásmech (Čína, Portugalsko) platilo pravidlo, že pokud jsou budovy charakteristické velmi kvalitní konstrukcí a tepelnou izolací, pak pro tyto stavby není potřebný dodatečný zdroj tepelné energie. Energeticky úsporné stavby byly konstruovány dle historických pramenů již na území starověkého Řecka a Číny. Tyto historické stavby využívaly koncepce akumulace tepla ze Slunce prostřednictvím akumulčních zásobníků s vodou nebo konstrukčních částí objektu. Energeticky úsporné stavby nevznikaly pouze v klimaticky příznivých oblastech, ale také v oblastech velmi chladných. Například na Islandu byly ve středověku konstruovány pomocí hlíny, mechu a trávy stavby s velmi dobrými izolačními vlastnostmi. Drnovité a do země zapuštěné polodřevěné stavby z 18. století můžeme na Islandu spatřit i dnes. [6]



Obr.1.3-1 Historické do země zapuštěné polodřevěné stavby na území Islandu (převzato z:[7])

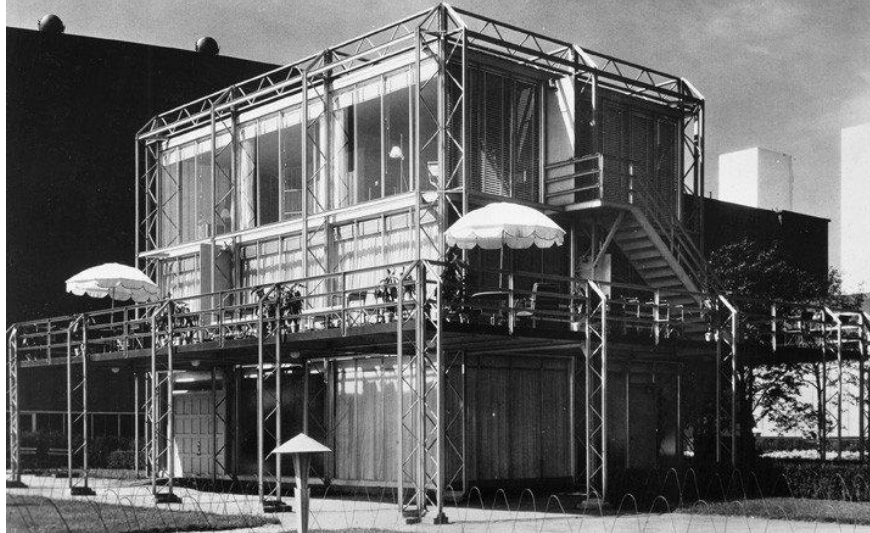
Za první funkční energeticky úspornou stavbu využívající principů pasivního domu je považována norská výzkumná loď Fram. Tato loď byla používána k výzkumným expedicím na území Arktidy a Antarktidy v období let 1893 až 1912. Výzkumná loď Fram byla navržena a zkonstruována stavitelem lodí Clinem Archerem v roce 1893 pro vědce a polárníka Fridtjofa Nansena, který chtěl s touto lodí docílit severního pólu tzv. driftováním. Výzkumná loď Fram je charakteristická specifickým tvarem téměř bez kýlu, dále zvýšenou tepelnou izolací jednotlivých konstrukcí, okny s trojskly, systémem odvětrávání trupu a větrným mlýnem pohánějí generátor vyrábějící elektrickou energii, která sloužila k osvětlování podpalubních prostorů. Důkazy o tepelném chování výzkumné lodi Fram v extrémních arktických podmínkách podává v zápisech z expedice přímo velitel lodi Fridtjof Nansen, který píše, že vyhřátí interiéru lodi dokázala obstarat petrolejová lampa a to i při velmi nízkých venkovních teplotách pohybujících se okolo -40°C . [6,8]



Obr.1.1-2 Norská výzkumná loď Fram plující severním ledovým oceánem v r. 1894 (převzato z:[9])

Moderní koncepci energeticky úsporných staveb předcházely tzv. solární domy. Koncepcí solárních domů se začaly v 1. pol. 20. století zabývat především na území USA. Koncepce solárních domů stejně jako koncepce pasivních domů vychází z využívání pasivních tepelných zisků. Solární domy byly z konstrukčního hlediska charakteristické velkými prosklenými plochami. Průkopníkem architektury solárních domů byl americký architekt George Frederick Keck. George Frederick Keck představoval koncept slunečních domů prostřednictvím modelových domů. První moderní modelový dům s názvem „House of Tomorrow“ byl představen na mezinárodní výstavě v Chicagu v roce 1933. [6, 8]

V rámci architektonické činnosti začal svým klientům doporučovat okna orientované směrem k jihu. Solární dům s výmluvným názvem „Solar House“ pro skutečného odběratele navrhnul George Frederick Keck v roce 1940. Architektonickým návrhem této stavby se po roce 1940 rozběhla konstrukce staveb s koncepcí solárních domů. [8]



Obr.1.1-3 Fotografie modelové stavby solárního domu „Crystal House“ z r. 1934 (převzato z:[10])

Stavby slunečních domů jsou dle současných požadavků na energetickou náročnost problematické. Pokud jsou slunečné domy vystaveny teplému slunečnému počasí, pak dochází k přehřívání interiéru stavby. Opačný jev můžeme pozorovat v chladných dnech a nocích, kdy naopak u těchto staveb dochází ke zvýšeným tepelným ztrátám prostřednictvím prosklených ploch. Jako solární domy se později označovaly i energeticky úsporné domy vybavené solárními panely, které využívaly solární energii k vytápění objektu a k ohřevu teplé užitkové vody. Kritickým historickým impulsem pro hospodaření s energiemi byly ropné krize v roce 1973 a 1979. Ropné krize v roce 1973 vyvolala po celém světě vědecký výzkum budov s velmi nízkou spotřebou energie a obecně vyvolala v mnoha zemích po celém světě snahy o hospodaření s energiemi. Výzkum energeticky šetrných byl realizován s velkým nadšením např. ve Švédsku, Dánsku, Rakousku a Německu, které v 70. letech 20. století rozběhlo program výzkumu energeticky šetrných objektů. Projektované stavby v rámci tohoto projektu obsahovaly systém řízeného větrání objektu, zemní tepelné výměníky, systémy pro diagnostiku prostředí interiérových prostor objektu a další systémy, které jsou dnes nedílnou součástí současných pasivních domů. Projektované experimentální budovy byly vybaveny experimentální technikou a okny s vysokým prostupem tepla, která byla příčinou tepelných ztrát. Tyto budovy také neměly dostatečně řešenou vzduchotěsnost objektu a byly investičně velmi nákladné oproti standardním obytným objektům. [6, 8]

Problémy experimentálních energeticky šetrných staveb byly v Evropě řešeny především ve Švédsku a Dánsku. Ve Švédsku a Dánsku se staly v 70. letech 20. století předmětem zákona stavební normy, které kladly na stavby požadavky blížící se dnešním standardům pro nízkoenergetický dům. Postupem času byly tyto nízkoenergetické standardy převzaty Německem a Rakouskem, které v 80. letech 20. století převzali v Evropě iniciativu ve výstavbě staveb se sníženou energetickou náročností a v současné době patří mezi státy zastávající vedoucí roli ve výstavbě staveb s nízkou energetickou náročností. Klasifikace standardu pasivního domu vznikla v roce 1988 prostřednictvím diskuze mezi profesorem Bo Adamsonem a zakladatelem institutu pasivního domu PHI Dr. Wolfgangem Feistem. V Evropě odstartovala výstavbu budov odpovídajících energeticky pasivním standardu testovací budova se čtyřmi bytovými jednotkami postavená roku 1990 v Hessensku. Na této budově byly prostřednictvím diagnostických dat ověřeny výhody pasivního domu a v roce 1991 byly prostory tohoto objektu standardně obývány. [6, 8]



Obr.1.1-4 První pasivní dům postavený v r. 1990 v německém Darmstadtu (převzato z:[11])

1.6 Kvalita mikroklimatu vnitřního prostředí pasivního domu

Kvalita mikroklimatu vnitřního prostředí pasivního domu je mimo jiné zajištěna systémem nuceného větrání s rekuperací tepla. Tento systém zprostředkovává hygienicky potřebné množství vzduchu v optimální teplotě. Optimální teploty je dosaženo prostřednictvím zpětného zisku tepla. Z místností se zvýšenou vlhkostí odvádí vlhkost, čímž zabraňuje vzniku plísní. Vážným problémem jsou dnes plísně a pylové částice, které jsou příčinou alergií. Hlavními nositeli těchto mikroorganismů jsou kapalné aerosoly a pevné aerosoly (prachy). Tyto mikroorganismy jsou zachyceny ve filtrech systému nuceného větrání s rekuperací tepla. Pokud ale dojde k silnému zašpinění nebo vlhnutí filtrů, pak se tyto mikroorganismy mohou rozmnožovat a pronikat zpět do větracího vzduchu. [12,13]

Z tohoto důvodu je doporučena pravidelná výměna filtrů, která je závislá na typu vnitřního prostředí. Kvality mikroklimatu vnitřního prostředí je tedy u pasivního domu dosaženo použitím systému nuceného větrání s rekuperací tepla v kombinaci s kvalitní tepelnou izolací a vzduchotěsným provedení obálky budovy.[12,13]

Charakteristické znaky kvality mikroklimatu vnitřního prostředí pasivního domu

- čerstvý a nevydýchaný vzduch
- tepelná pohoda v jednotlivých místnostech objektu
- optimální vlhkost vzduchu
- redukce prachu a dalších mikroorganismů v objektu

1.7 Architektura pasivního domu

Pasivního standardu nedosahují budovy pouze použitím velmi kvalitní tepelné izolace obvodového zdiva, oken s trojskly nebo systému nuceného větrání s rekuperací tepla. Pasivního standardu dosahují budovy pouze na základě dokonale propracovaného architektonického návrhu. V rámci architektonického návrhu pasivního domu je zkušenými architekty a projektanty doporučeno zpracovat více variant návrhu. Porovnáním jednotlivých variant návrhu v rámci architektonického návrhu se pak optimalizuje energetická náročnost budovy s ohledem na návratnost vynaložených investičních nákladů. S ohledem na energetické vlastnosti budovy jsou pak uvažovány v rámci architektonického návrhu tyto faktory:

- klimatická oblast
- volba pozemku
- orientace budovy na pozemku
- tvar a velikost budovy
- zónování místností budovy
- provedení obálky budovy [14]

1.7.1 Klimatická oblast

Vhodná klimatická oblast se v rámci architektonického návrhu volí na základě analýzy průměrné roční teploty vzduchu, průměrného ročního útlumu globálního záření, průměrného počtu jasných dnů a průměrného ročního úhrnu doby trvání slunečního svitu. Klimatické místní podmínky mají zásadní vliv na energetickou náročnost budov, ale jsou bohužel v rámci architektonického návrhu velmi často neovlivnitelné. [5,14]

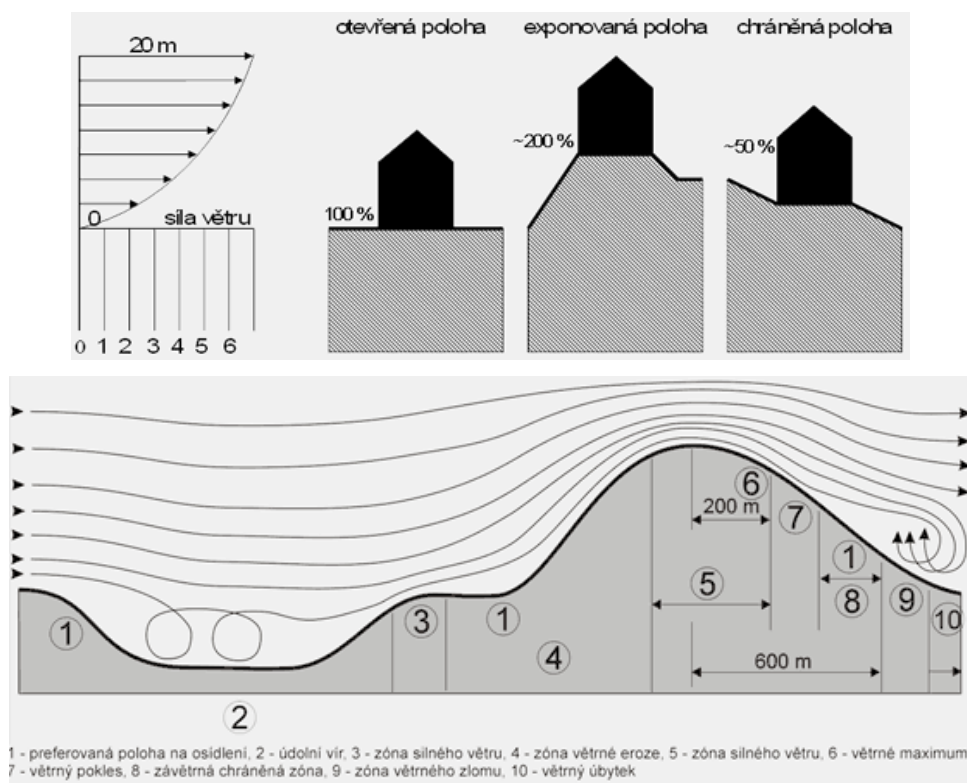
1.7.2 Volba pozemku

Vhodný pozemek pro stavbu pasivního domu není volen pouze s ohledem na energetické úspory. Při volbě vhodného pozemku pro stavbu pasivního domu musí být v rámci architektonického návrhu uvažovány i další faktory jako např. cena pozemku, přístupnost pozemku, geologické podloží, občanská vybavenost apod. [14]

Faktory zohlednitelné při volbě pozemku z hlediska energetické náročnosti

- nadmořská výška
- povětrnostní podmínky
- mlha
- hustota okolní zástavby
- vodní toky a plochy

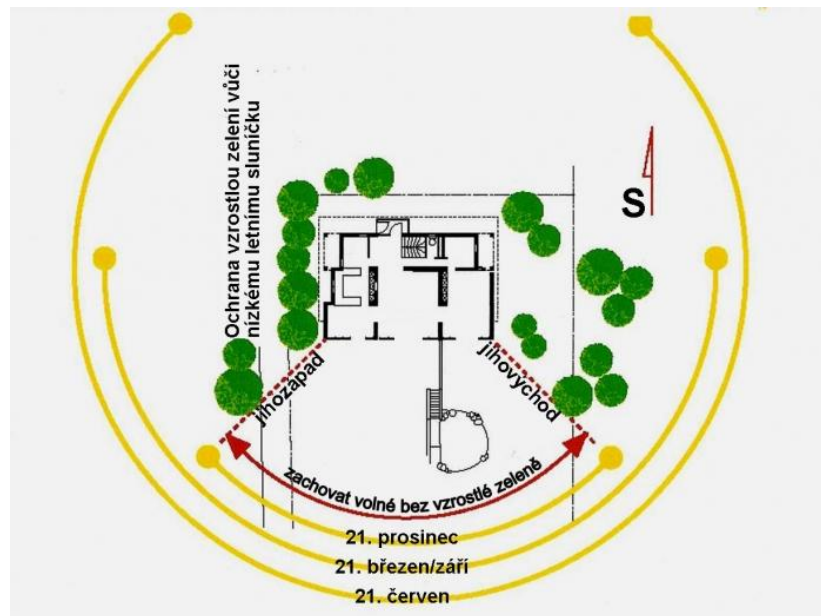
Na každých 100 metrů nadmořské výšky dochází k poklesu teploty vzduchu přibližně o $0,65^{\circ}\text{C}$. Průměrné teploty vzduchu v dané lokalitě mají zásadní vliv na energetickou náročnost budovy. Proudění vzduchu má negativní vliv na součinitel prostupu tepla obálky budovy. S rostoucí intenzitou proudění vzduchu dochází ke zvyšování celkových tepelných ztrát budovy vlivem infiltrace vzduchu. S rostoucími celkovými tepelnými ztrátami pak roste i měrná potřeba tepla na vytápění. Mlha má negativní vliv na pasivní tepelné zisky ze slunečního záření. Hustota okolní zástavby může ovlivnit solární tepelné zisky okny. [5, 14]



Obr.1.7.2-2 Rozložení působení větru v závislosti na morfologii terénu (převzato z:[15])

1.7.3 Orientace budovy na pozemku

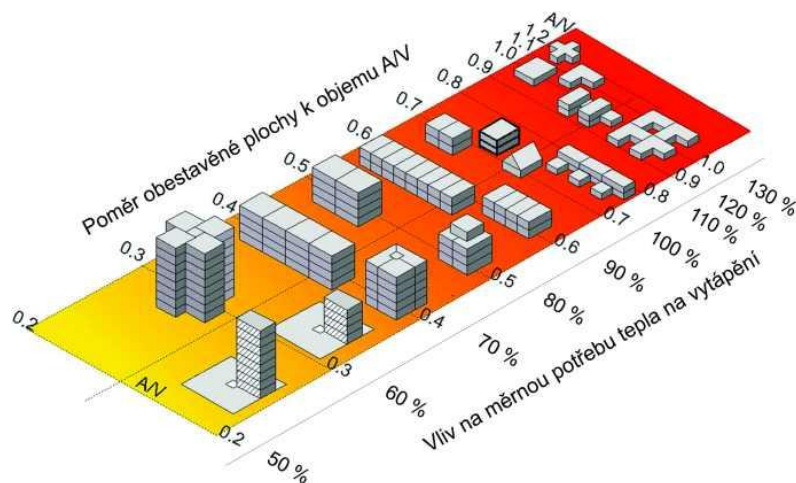
Pasivní domy jsou založeny na využívání pasivních tepelných zisků. Z tohoto důvodu je nutné orientovat pasivní domy na pozemku tak, aby bylo dosaženo co nejvyšších solárních zisků. Pasivní domy jsou na pozemku orientované hlavní prosklenou fasádou směrem k jihu. Pro dosažení maximálních solárních zisků nesmí být hlavní prosklená fasáda pasivního domu zastíněna. [5, 14]



Obr.1.7.3-1 Ideální dispoziční řešení pasivního domu (převzato z: [16])

1.7.4 Tvar budovy

Pasivní dům musí odpovídat požadavkům na tvarovou kompaktnost. Podstatou požadavku na tvarovou kompaktnost budovy je redukce ochlazovaných ploch vzhledem k objemu konstrukce. Tvarová kompaktnost budovy se vyjadřuje pomocí poměru plochy obvodového pláště a objemu vytápěného prostoru. [14]



Obr.1.7.4-1 Vliv poměru A/V na měrnou potřebu tepla na vytápění (převzato z:[16])

Požadavkem na tvarovou kompaktnost jsou tedy minimalizovány tepelné ztráty budovy. Ideálním tvarem z hlediska tvarové kompaktnosti by byla koule, realizace takového tvaru budovy je ovšem z technického, dispozičního a ekonomického pohledu velmi náročná. Pro současné pasivní domy je vyhovujícím tvarem kvádr s delší stranou otočenou směrem na jih. [14]

1.7.5 Zónování

Princip zónování vychází z vnitřního uspořádání místností s ohledem na teplotní režim a jeho regulaci, potřebnou míru denního osvětlení, délku rozvodů apod. Správně realizované zónování má vliv na využitelnost prostor, spotřebu energie a spokojenost uživatelů. [14]

Obecná pravidla zónování v rámci architektonického návrhu pasivního domu

- tepelné oddělení vytápěných a nevytápěných prostor
- nevytápěné prostory orientované směrem k severu
- obytné objekty orientované směrem k osluněné straně (od jihovýchodu po jihozápad)
- sdružování místností s potřebou teplé vody

1.7.6 Konstrukce

Vhodnou konstrukcí pro pasivní dům je taková konstrukce, která zajišťuje dostatečnou izolační schopnost a statickou únosnost při co nejmenší tloušťce obvodového zdiva budovy. V rámci této práce se budu zaměřovat na konstrukci masivních staveb. [14]

Možnosti realizace

- Lehké konstrukce
 - prefabrikované panelové konstrukce
 - sloupková konstrukce (two by four)
- Masivní konstrukce

Masivní konstrukce

Masivní stavby stále zaujímají větší podíl na trhu s novostavbami. Masivní stavby jsou charakteristické velmi dobrými vlastnostmi, mezi které patří např. akumulace tepla nebo akustický útlum. Vhodné materiály pro konstrukci masivních staveb jsou materiály s vysokou objemovou hmotností a pevností, které zabezpečují dostatečnou statickou únosnost při co nejmenší tloušťce zdiva. Volba vhodného materiálu s ohledem na výslednou tloušťku zdiva umožňuje výrazně redukovat investiční náklady na stavbu objektu. Pro dosažení výborných tepelně izolačních schopností masivních staveb jsou tyto stavby zateplovány tepelnými izolacemi. Výborných tepelně izolačních vlastností při

rozumné tloušťce konstrukce zajišťující statickou únosnost může být také dosaženo použitím zdiva nové generace s integrovanou tepelnou izolací. [14]

Vhodné materiály pro konstrukci masivních staveb

- Vápenopískové cihly – Vápenopískové bloky jsou vyráběny pouze z přírodních materiálů (voda, písek a vápno). Vápenopískové bloky jsou charakteristické vysokou pevností, přesností, objemovou hmotností, tepelně akumulací schopností a výbornými akustickými vlastnostmi. Vysoká pevnost v kombinaci s vysokou přesností výroby má za důsledek redukci tloušťky nosného zdiva, což vede k významným úsporám půdorysné plochy (až o 7%). Vápenopísková cihla splňuje při tloušťce 0,175 m požadavky na statickou únosnost pro pětipodlažní budovu. Pokud provedeme zateplení tepelnou izolací o tloušťce 30 cm, pak celková tloušťka stěny nepřesáhne 50cm. [17]
 - Objemová hmotnost $p = 1400 - 2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$
 - Přesnost výroby ($\pm 2\text{mm}$ na šířku a délku bloku, $\pm 1\text{mm}$ na výšku bloku)
 - Vysoká pevnost (15-20MPa)
 - Tepelná vodivost $\lambda = 0,40 - 0,98 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
- Cihelné bloky – Vývoj v oblasti cihelných bloků byl v posledních letech zaměřen na tepelně izolační vlastnosti cihel. Společnost HELUZ se zaměřuje na výrobu cihelných bloků s označením STI a FAMILY, které jsou určeny pro konstrukci obvodových stěn energeticky úsporných budov a to bez nutnosti dodatečného zateplení. Cihelné bloky řady STI a FAMILY jsou charakteristické integrovanou izolací. Z hlediska technických parametrů jsou charakteristické velmi dobrými tepelně izolačními vlastnostmi, vysokým faktorem difúzního odporu, výbornými akustickými a akumulacími vlastnostmi. Nová generace cihelných bloků HELUZ FAMILY 2in1 s integrovanou vnitřní polystyrenovou izolací chráněnou keramikou dosahuje hodnoty součinitele prostupu tepla $U = 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. [18]



Obr.1.7.6-1 Cihelný blok pro obvodové a vnitřní zdivo HELUZ FAMILY 2in1 (převzato z:[19])

- Ztracené bednění – Systém ztraceného bednění se skládá z venkovní a vnitřní polystyrenové tvarovky propojené plastovou příčkou s betonovým jádrem. Tvarovky jsou skládány jako stavebnice a spojovány pomocí zámků. Výhodou tohoto konstrukčního řešení je rychlá a jednoduchá montáž, naopak nevýhodou je ztráta tepelné akumulace betonového jádra vlivem vnitřní vrstvy izolace. Problém nevyužití tepelné akumulace jádra a nutnosti kotvení těžších předmětů až do nosného jádra může být v rámci výstavby vyřešen použitím cementovláknitého vnitřního dílu. [14]



Obr. Systém ztraceného bednění (převzato z:[20])

1.7.7 Tepelné izolace

Parametry tepelné izolace

Tepelná vodivost – schopnost konstrukce přenosu tepla. Tento parametr popisuje společně s parametry tepelného odporu a součinitele prostupu tepla tepelně izolační vlastnosti dané konstrukce.

$$\lambda = \frac{d}{R} (W/m \cdot K) \quad (1.7.6.2.1)$$

Tepelný odpor – vyjadřuje jakou plochou konstrukce a při jakém teplotním rozdílu na jejím povrchu dojde k přenosu 1 Wattu, čili k přenosu energie 1 J za 1 sekundu.

$$R = \frac{d}{\lambda} ((m^2 \cdot K)/W) \quad (1.7.6.2.2)$$

Součinitel prostupu tepla – vyjadřuje celkovou výměnu tepla mezi prostory vzájemně od sebe oddělenými stavební konstrukcí.

$$U = \frac{1}{R} (W/m^2 \cdot K) \quad (1.7.6.2.3)$$

Faktor difúzního odporu – schopnost konstrukce propouštět vodní páry.

Objemová hmotnost – poměr hmotnosti tělesa k objemu tělesa (objem tělesa je stanoven z vnějších rozměrů)

Měrná tepelná kapacita – udává množství tepla potřebného k ohřátí jednoho kilogramu látky o jeden teplotní stupeň (1°C nebo 1 K) [21]

Provedení tepelné izolace

Pasivní domy jsou charakteristické velmi silnými vrstvami izolace. Použitím silných vrstev tepelné izolace jsou regulovány tepelné ztráty budovy. Tepelné izolace masivních staveb mohou být realizovány prostřednictvím vnějšího nebo vnitřního zateplení. Použitím vnějšího zateplení v kombinaci s masivními stěnami s vysokou akumulací schopností lze dosáhnout velmi dobrých parametrů tepelné setrvačnosti vnitřního prostoru. [22]

Vnější zateplení

Kontaktní zateplovací systém – v tomto případě slouží tepelná izolace jako nosný systém povrchových vrstev (omítek). Kontaktní zateplovací systém je v současné době masivně používán pro obnovu tepelně izolačních vlastností panelových a bytových domů. Velmi často se pro kontaktní zateplení budov používá exponovaný polystyren nebo minerální vlna. [22]

Provětrávaný zateplovací systém – u provětrávaného zateplovacího systému je tepelná izolace vkládána mezi nosné dřevěné prvky roštu, který je připevněn k nosné části zdiva. Dále je vytvořena provětrávaná vzduchová mezera o tloušťce minimálně 40mm, která je překryta fasádním překladem (cementopískové desky, dřevěné desky). Pod vzduchovou mezerou je difuzní fólie s difúzně otevřenou deskou, která slouží jako pojistná hydroizolace. Pro tento zateplovací systém se velmi často používá vláknitá tepelná izolace ve formě desek nebo rolí. Provětrávaný zateplovací systém se používá tam, kde jsou navlhle stěny budovy a nelze tedy využít kontaktní zateplovací systém, u kterého hrozí zvýšené riziko kondenzace vlhkosti v konstrukci zateplovacího objektu. [22]

Vnitřní zateplení

Tento typ zateplení budov se používá tehdy, pokud nelze použít žádný jiný typ zateplení. Vnitřního zateplení se používá např. pro zateplování historických a architektonicky hodnotných staveb. Studie prokázaly, že zateplovat pomocí vnitřní izolace se vyplatí maximálně do 120 mm. To je dáno výraznými tepelnými mosty stěn a stropů pronikajících vnitřní tepelnou izolací. [22]

Diskutabilním tématem v případě použití vnitřního zateplení je vlhkostní problematika, jelikož za vrstvou izolace může docházet vlivem prostupu tepla ke kondenzaci na chladné stěně, která může poškodit samotnou konstrukci. Pro takový případ je potom nutné realizovat parotěsnou rovinu. [22]

Typy tepelných izolací

- Expandovaný pěnový polystyren – jedná se o nejrozšířenější tepelný izolant. Tento izolační materiál vzniká v důsledku polymerace styrenu. Po procesu polymerace podléhá polystyren tepelnému zpracování a nakonec je vytvarován ve formách. Expandovaný polystyren dosahuje hodnot deklarovaného součinitele tepelné vodivosti $\lambda_D = 0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ pro typ polystyrenu EPS 100 (pevnost v tlaku 100kPa). Expandovaný pěnový polystyren nesmí být dlouhodobě vystaven vlhkosti, ani účinkům ultrafialového záření. Výhodou této tepelné izolace je nízká cena a snadná dostupnost. [5, 22]

4 základní varianty expandovaného pěnového polystyrenu

- Z...základní (pro izolaci podlah)
- S...stabilizovaný (pro izolaci střech)
- F...fasádní (pro izolaci obvodového zdiva)
- Perimetr (pro aplikace, kde hrozí zvýšené riziko kontaktu s vodou)
- Extrudovaný polystyren XPS – od bílého expandovaného pěnového polystyrenu je odlišen barevně. Kromě barevného rozlišení se ale od bílého expandovaného polystyrenu se ale liší především způsobem výroby a také vlastnostmi. Extrudovaný polystyren se vyrábí extruzí (protlačněním) pěny. Vlivem extruze získává polystyren uzavřenou strukturu bez mezer. Z tohoto důvodu je extrudovaný polystyren charakteristický vysokou pevností v tlaku, minimální nasákavostí a kapilaritou, což má vliv na stálost hodnoty součinitele tepelné vodivosti, která se pohybuje v intervalu 0,029 – 0,038 W/(m·K). Pro své vlastnosti se extrudovaný polystyren nejčastěji používá při založení betonové desky na izolaci, izolaci základů a podlah. [5, 22]
- Minerální vlna – po expandovaném pěnovém polystyrenu nejrozšířenější tepelný izolant. Minerální vlna je vyráběna průmyslovým tavením hornin, mezi které patří křemen, čedič a další sklotvorné příměsi. Jako pojivo v rámci výrobního procesu se používá nejčastěji nol-formaldehydová pryskyřice. Deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti se pohybují u minerální vlny v rozmezí 0,035 – 0,040 W/(m·K). Výhodou minerální vlny je nehořlavost, vysoká tepelná odolnost a malý difúzní odpor. Malý difúzní odpor znamená vysokou paropropustnost. Z tohoto důvodu se velmi

často používá minerální vlna jako tepelná izolace u provětraných konstrukcí. Díky snadné tvarovatelnosti se také často používá k izolaci šikmých střech. Při montáži je nutné minerální vatu ochránit před vlhkostí, jelikož se jedná o vláknitou izolaci, která se zvyšující se vlhkostí ztrácí tepelně-izolační vlastnosti. [5, 22]



Obr.1.7.6.2-1 Minerální vlna společnosti ISOVER (převzato z:[23])

- Celulóza – izolace z celulózových vláken se vyrábí metodou recyklace papíru. Ve výrobě je rozemletím a rozvlákněním papíru získáno celulózové vlákno, které je smícháno s přísadami (fosforečnan amonný, síran horečnatý, boritany) zajišťující odolnost vůči požáru a hnilobě. Celulózová izolace se používá zejména k izolaci dutin stěn, střech a stropů. Aplikace celulózové izolace je realizována pomocí strojního zařízení za sucha foukáním nebo objemovým plněním. Tento typ izolace má dle objemové hmotnosti a způsobu aplikace deklarovaný součinitel tepelné vodivosti v rozmezí 0,035 – 0,045 W/(m·K). Dále je tato izolace charakteristická nízkým difúzním odporem a vysokou měrnou tepelnou kapacitou. [5, 22]



Obr.1.7.6.2-1 Foukaná celulózová tepelná izolace (převzato z:[24])

- Pěnový polyuretan PUR – ve stavebnictví se používá obvykle ve formě polyuretanové pěny. Pěnový polyuretan je charakteristický velmi nízkým součinitelem tepelné vodivosti, který se pohybuje okolo hodnoty $0,025 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Aplikace pěnového polyuretanu je realizována stříkáním nebo litím. Pěnový polyuretan může být také aplikován ve formě desek nebo tvarovek. Nevýhodou této izolace je zvýšená produkce škodlivin v průběhu výroby a degradace izolačních schopností vlivem působení ultrafialového záření. [5, 22]
- Pěnové sklo – vzniká ztavením směsi skleněného a uhlíkového prášku. Takto vzniklý materiál má vlastnosti podobné jako běžné sklo. V pěnovém sklu se v rámci výrobního procesu vytváří drobné bublinky, jejichž stěny jsou zcela uzavřené. Tímto procesem se docílí nehořlavosti, nenasákavosti a parotěsnosti. Pěnové sklo se vyrábí ve formě desek nebo šterku. Pěnové sklo ve formě desek se používá pro přerušení tepelného mostu v patě nosných stěn. Ve formě desek se ale používá zejména v průmyslu, kde je aplikován na střechy a podlahy s vysokým tlakovým namáháním. Pěnové sklo ve formě šterku se velmi často používá při zakládání domu na izolaci. Při aplikaci tepelné izolace ve formě šterku je nutné počítat s koeficientem zhutnění 1,2 – 1,4, při kterém se hodnota součinitele tepelné vodivosti pěnového skla pohybuje v rozmezí $0,075 - 0,085 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. [5, 22]
- Vakuová izolace – patří do kategorie tzv. high-tech izolačních materiálů. Vakuová izolace je obvykle vyráběna ve formě panelů, které jsou ošetřeny metalizovanou izolací. Plnivo je tvořeno pyrogenní kyselinou. Vnější ochrannou vrstvu metalizované fólie tvoří plasty, desky EPS, recyklovatelné gumy apod. Deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti je stanovena na hodnotu $\lambda_D = 0,008 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. K tepelné izolaci obvodového zdiva na úroveň pasivního domu by při použití vakuové izolace stačil pouze 6cm tlustý panel. [5, 22]



Obr.1.7.6.2-2 Vakuové izolační panely (převzato z:[25])

1.7.8 Okna a dveře

Okna a dveře slouží k zabezpečení výhledu z objektu a dostatku světla, které je nutné k vytvoření zdravého a příjemného prostředí. Okna a dveře jsou ale zároveň z hlediska tepelně izolačních vlastností nejslabším článkem obvodového pláště budovy a uniká jimi značné množství tepla. Okna a dveře pro pasivní domy jsou charakteristické velmi kvalitním provedením a izolovaným rámem se solárními trojskly, která jsou oddělena distančním rámečkem. Prostor mezi jednotlivými skly okna je vyplněn inertním plynem (argon, krypton). Solární okna s trojsklem musí být s ohledem na pasivní tepelné zisky dostatečně propustná pro sluneční záření. Při návrhu pasivního domu je nutné optimalizovat velikost a umístění prosklených ploch. Rozumná volba prosklení jižní fasády budovy je do 40%. Větší plochy oken a dveří by totiž mohli způsobit letní přehřívání interiéru budovy, čímž by došlo zároveň ke zvýšení nároků na stínící prvky budovy. [26]

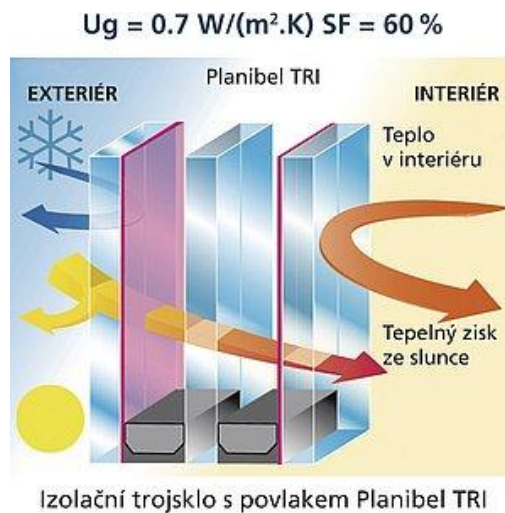
Pro hodnocení kvality okna je nejdůležitějším parametrem celkový součinitel prostupu tepla oknem U_w ($W/(m^2 \cdot K)$). Norma ČSN 73 0540-2 stanovuje požadovanou hodnotu tohoto součinitele pro pasivní domy na hodnotu $U_w = 0,8 W/(m^2 \cdot K)$. Velmi důležitým parametrem okna pasivního domu je také tzv. solární faktor g (%), který udává celkový prostup sluneční energie přes zasklení. [26]

Volba rámu

Rám okna je nejslabším článkem obálky budovy z hlediska tepelně izolačních vlastností. Z tohoto důvodu musí obsahovat tepelnou izolaci. Při volbě rámu musí uvažovat, že rám okna nepřináší žádné solární zisky a proto musí být co nejnižší. Nová generace rámu oken má proto profil rámu spíše široký a nízký na rozdíl od klasického rámu. [26]

Zasklení

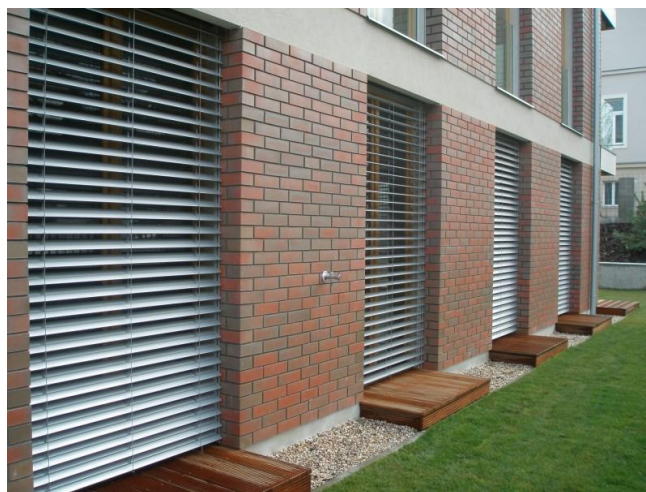
Okna se solárními trojskly určená pro pasivní domy by měla být charakteristická kladnou roční energetickou bilancí. Z toho plyne, že více tepelné energie prochází okny do interiéru, než je okny vyzářeno zpět do venkovního prostředí. Kladné roční energetické bilance je dosaženo nanesením selektivní vrstvy na interiérovou stranu okna a vyplněním prostoru mezi jednotlivými skly inertním plynem (argon, krypton). Nanesením selektivní vrstvy je zamezeno průchodu dlouhovlnného infračerveného záření zpět do venkovního prostředí. Pomocí inertního plynu v prostoru mezi jednotlivými skly jsou redukovány celkové tepelné ztráty okna. [26, 27]



Obr.1.7.6.3-1 Princip izolačního okna se solárním trojsklem (převzato z:[28])

Stínění

Prosklené plochy mohou v letním období přinášet velké množství pasivních solárních zisků, které by vedly k přehřívání interiéru. Hlavní prosklená fasáda je proti vysokému letnímu slunci chráněna horizontálním stíněním, např. přesahem střechy. Prosklené části na západní a východní straně fasády pasivního domu jsou zastíněny před slunečním zářením aktivními stínícími prvky, např. venkovními žaluziemi nebo roletami. [X]

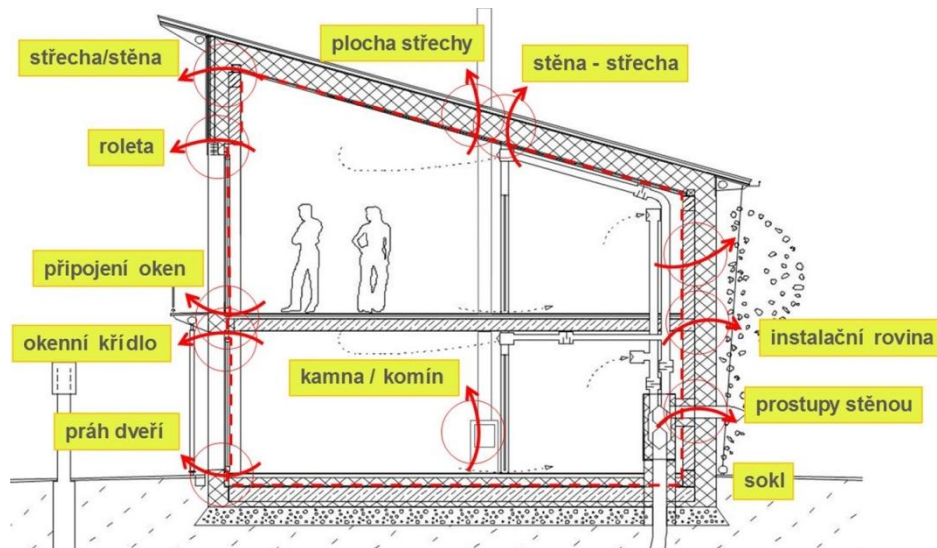


Obr.1.7.6.3-2 Venkovní žaluzie pasivního domu (převzato z:[29])

1.8 Vzduchotěsnost obálky pasivního domu

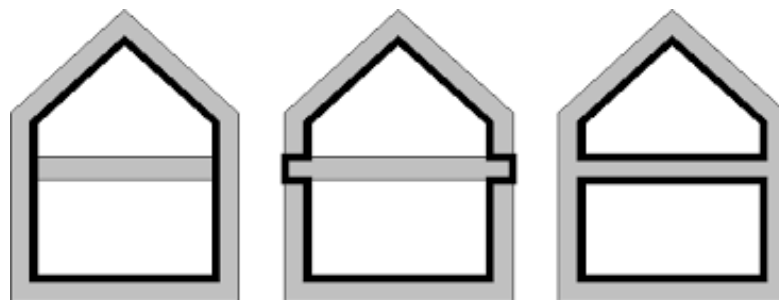
Realizace vzduchotěsné obálky budovy je jednou ze základních podmínek fungování pasivního domu. Netěsnosti v obálce pasivního domu způsobují tepelné ztráty a snižují účinnost systému nuceného větrání s rekuperací tepla. Netěsnostmi tedy může proudit teplý vzduch z interiéru do exteriéru. V místech netěsností nedochází pouze k únikům tepla, ale také k hromadění vodní páry, jelikož teplý vzduch hnaný do netěsností prostřednictvím vzduchotechnického zařízení je také nositelem vlhkosti. [27, 30]

Následná kondenzace vodních par v místech netěsností má za následek vznik plísní a hub, které mají nepříznivý vliv na izolační schopnosti konstrukčních materiálů a také na jejich životnost. Spory plísní a hub jsou navíc toxické a mají negativní vliv na zdraví obyvatel budovy. Mezi kritická místa vzniku netěsností u budov patří stavební otvory (okna a dveře) a místa napojení konstrukcí, mezi které patří např. napojení střechy na obvodovou zeď v místech pozednice, napojení vnitřního zdiva na obvodovou stěnu a napojení obvodové zdiva a podlahy. [27, 30]



Obr.1.8-1 Problematická místa vzniku netěsností u budov (převzato z: [31])

Vzduchotěsná obálka budovy je u pasivního domu zajištěna prostřednictvím hlavní spojitě vzduchotěsní vrstvy. Hlavní vzduchotěsní vrstva je u masivních konstrukcí zajištěna prostřednictvím vnitřní omítky bez prasklin, která musí být realizována spojitě na všech obvodových stěnách a dokonalým utěsněním vedení instalací, jejich výustek a dalších prostupů. U dřevostaveb je zabezpečena vzduchotěsná obálka budovy pomocí konstrukčních desek na bázi dřeva (OSB) nebo plastových fólií, které se umísťují na vnitřní stranu konstrukce za instalačním prostorem nebo na vnitřní stranu stěn. Hlavní vzduchotěsní vrstva je u dřevostaveb častěji tvořena deskami na bázi dřeva v provedení na pero a drážku se spoji utěsněnými speciálními páskami. [27]



Obr.1.8-2 Ukázka možných provedení hlavní vzduchotěsní vrstvy (převzato z: [32])

1.8.1 Blower door test

Blower door test patří do kategorie nedestruktivních diagnostických metod. Blower door test využívá metodu tlakového spádu ke stanovení průvzdušnosti obálky budovy. Průvzdušnost obálky budovy je legislativně upravena vyhláškou č.20/2012 o technických požadavcích na stavby. Průvzdušnost obálky budovy je hodnocena v ČR prostřednictvím parametru intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa mezi interiérem a exteriérem n_{50} . Doporučené hodnoty n_{50} jsou uvedeny v normě ČSN 73 0540-2 o tepelné ochraně budov. Požadované hodnoty n_{50} pro rodinné a bytové domy s velmi nízkou potřebou tepla jsou pak uvedené v technické normalizační informaci 73 0331. [33]

Tab.1.8.1-1 Požadované hodnoty intenzity výměny vzduchu pro rodinné a bytové domy s velmi nízkou spotřebou tepla [33]

Kategorie budovy	$n_{50,N}$ [1/h]
Nízkoenergetický dům	1,5
Pasivní dům	0,6

Metody a způsob vyhodnocení diagnostiky jsou uvedeny v normě ČSN EN 13 829. Norma ČSN EN 13 829 stanovuje 2 metodické postupy kontroly neprůvzdušnosti:

Metoda A

Metoda A slouží k diagnostice průvzdušnosti dokončené budovy v provozním stavu. V rámci diagnostiky se provádí pouze uzavření větracích klapek vzduchotechnického systému. Tato metoda se využívá pro udělení certifikátu o měření průvzdušnosti budovy. [33]

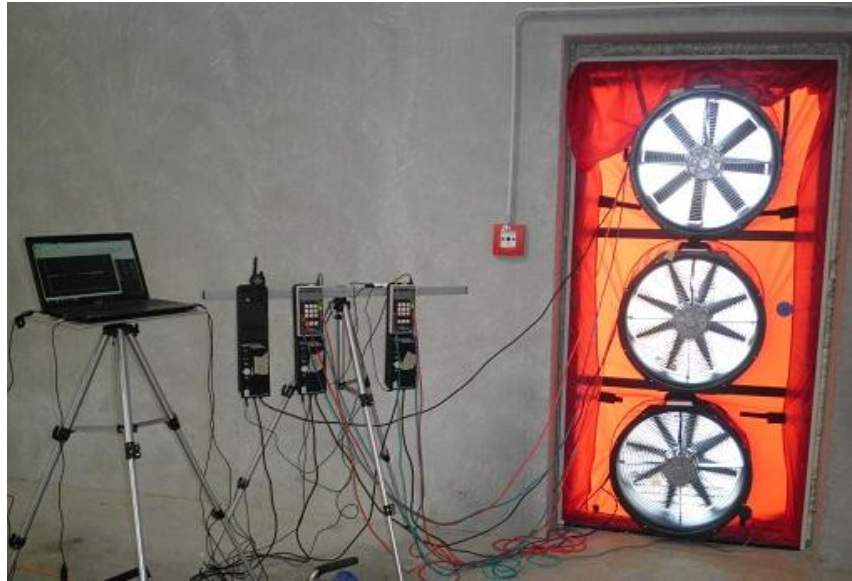
Metoda B

Metoda B slouží k diagnostice průvzdušnosti obálky budovy v průběhu výstavby. Diagnostikovaná budova musí mít dokončenou hlavní vzduchotěsnicí vrstvu s okny a dveřmi zapravenými do konstrukce. Technologické otvory vytvořené záměrně v rámci výstavby budovy musí být před započítáním diagnostiky vzduchotěsně uzavřeny. [33]

Princip metody „Blower door“

Princip diagnostické metody „Blower door“ je jednoduchý. Ventilátor s proměnnými otáčkami je osazen do vhodného konstrukčního otvoru. Pro účely osazení do vhodného stavebního otvoru se používá teleskopických rámců se vzduchotěsnou plachtou. Plachty jsou vybaveny otvory pro příslušný počet ventilátorů. Systém „Blower door“ obsahuje také zařízení pro měření tlaků a objemových toků a vyhodnocovací jednotku. Ventilátor osazený ve vhodném stavebním otvoru generuje v diagnostikované budově tlakový rozdíl. [33]

Pomocí zařízení pro měření objemového toku je po vyvolání tlakového rozdílu nepřímo stanoven objemový tok vzduchu. Objemový tok vzduchu je stanoven pomocí algoritmu nastaveného v mikromanometru z tlaků měřených v rovině ventilátoru a případně v rovině clon nasazených na ventilátor. Objemový tok vzduchu je také možné stanovit pomocí měření rychlosti proudění vzduchu trubicí o známém průřezu s následnou korekcí zohledňující parametry vzduchu. Po stanovení objemového toku vzduchu je pomocí vyhodnocovací jednotky dopočtena intenzita výměny vzduchu při daném tlakovém rozdílu. [33]



Obr.1.8.1-1 Blower door test pomocí systému Minneapolis BlowerDoor MultipleFan (převzato z:[34])

Intenzita výměny vzduchu při referenčním rozdílovém tlaku 50 Pa

$$n_{50} = \frac{V_{50}}{V} \text{ (h}^{-1}\text{)} \quad (1.8.1.1)$$

n_{50} intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa (h^{-1})

V_{50} objemový tok při tlakovém rozdílu 50 Pa (m^3/h)

V objem budovy (m^3)

Pro stanovení intenzity výměny vzduchu budovy je nutné stanovit objemový tok vzduchu obálkou budovy. Objemový tok vzduchu při daném tlakovém rozdílu se metodou „Blower door“ stanovuje pomocí empirické rovnice proudění. Vnitřní objem diagnostikovaného objektu se pro účely blower door testu vypočte jako součin čisté podlahové plochy podlaží a průměrné výšky. [33]

Empirická rovnice proudění

$$V_p = C \cdot \Delta p^n \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \quad (1.8.1.2)$$

- V_p objemový tok vzduchu obálkou budovy pro daný referenční tlakový rozdíl (m^3/h)
 C součinitel proudění ($m^3 \cdot (h \cdot Pa^n)$)
 Δ_p rozdíl tlaků mezi interiérem a exteriérem (Pa)
 N exponent proudění (-)

Exponent proudění popisuje způsob proudění vzduchu. Pro laminární proudění má exponent proudění hodnotu $n = 1$. Pro turbulentní proudění má exponent proudění hodnotu $n = 0,5$. Při průchodu vzduchu netěsnostmi ale dochází ke vzniku laminárního i turbulentního proudění a hodnota exponentu proudění se proto ve skutečnosti pohybuje v rozmezí mezi 0,5 a 1. [33]

Tab. 1.5.1-1 Doporučené hodnoty intenzity výměny vzduchu stanovené metodou B dle ČSN 73 0540-2 [33]

Větrání v měřeném prostoru	$N_{50,N}$ [1/h]
Přirozené větrání	4,5
Nucené větrání	1,5
Nucené větrání se zpětným získáváním tepla	1
Nucené větrání se zpětným získáváním tepla v budovách s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění	0,6

1.8.2 Metody detekce netěsností

Nedílnou součástí blower door testu je kromě stanovení parametru vyjadřující vzduchotěsnost budovy, také detekce míst se zvýšenou průvzdušností. Pro detekci významných nevzduchotěsností se v běžné praxi používají kvalitativní metody, mezi které patří:

- holé ruce při podtlaku v interiéru
- kouř při přetlaku a podtlaku v interiéru
- anemometr při podtlaku v interiéru
- termografie při podtlaku a přetlaku v interiéru

Holé ruce při podtlaku v interiéru

Nejjednodušší metoda detekce netěsností. Odhalování netěsností je realizováno prostřednictvím holých rukou, pomocí nichž jsou lokalizována místa se zvýšeným prouděním vzduchu. Pro větší citlivost se v rámci detekce netěsností ruce navlhčují. [33]

Kouř při přetlaku a podtlaku v interiéru

Pro detekci vadných míst se používají výkonné kouřstroje nebo detekční kouřové trubice, které generují kouř. Při přetlaku v interiéru se pak sledují místa, kudy kouř uniká, naopak při podtlaku v interiéru se sledují místa, která jsou charakteristická usměrněním proudění kouře. [33]



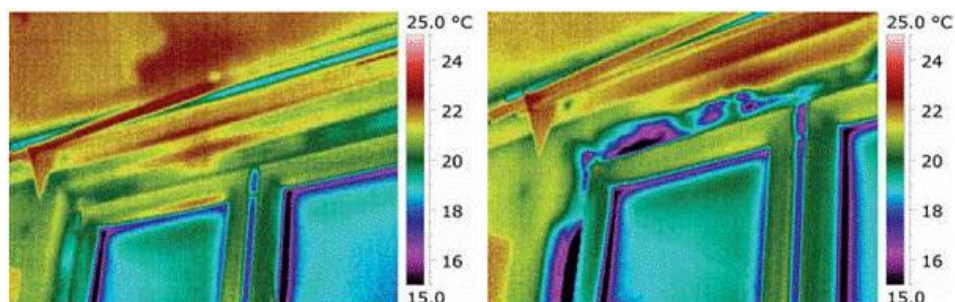
Obr.1.8.2-1 Detekce netěsností detekční kouřovou trubicí (převzato z:[35])

Anemometr při podtlaku v interiéru

Tato metoda je nejpoužívanější metodou pro odhalování netěsností. Po vytvoření podtlaku v interiéru prostřednictvím zařízení „blower door“ je sondou anemometru měřena rychlost proudění vzduchu. Tato metoda umožňuje vizuální záznam netěsností. [33]

Termografie při podtlaku v interiéru

Předchozí metody umožňovaly pouze lokální kontrolu netěsností, tato metoda umožňuje efektivní plošnou kontrolu netěsností objektu. Používá se při rozdílu teploty vzduchu mezi interiérem a exteriérem alespoň 5°C. V rámci této metody jsou nejprve pořízeny infračervené snímky podezřelé konstrukce za standardních podmínek. Následně se pomocí zařízení „blower door“ vytvoří v dané oblasti podtlak a provede se termografická diagnostika znovu. Podle klimatických podmínek exteriéru a interiéru je pak do místnosti netěsnostmi nasáván teplý nebo studený vzduch, který je příčinou oteplování nebo ochlazování netěsného místa nebo jeho bezprostřední oblasti. [33]

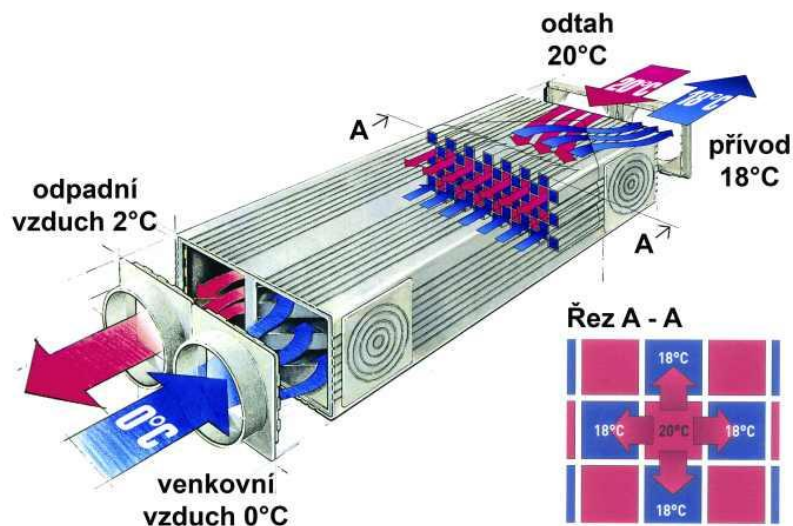


Obr.1.8.2-2 Termogram pořízený za přirozených podmínek (vlevo) a při podtlaku v interiéru (vpravo) (převzato z:[36])

1.9 Technická zařízení

1.9.1 Větrací jednotky s rekuperací tepla

Systém nuceného větrání s rekuperací tepla je charakteristickým prvkem pasivních domů. Prostřednictvím systému nuceného větrání s rekuperací tepla je v pasivních domech zajištěna vysoká kvalita mikroklimatu a tepelná pohoda. Princip činnosti větracích jednotek s rekuperací tepla je jednoduchý. Nasávaný odpadní vzduch z interiérového prostředí a čerstvý vzduch z okolního prostředí proti sobě proudí v sousedních oddělených kanálcích tepelného výměníku. Odsávaný odpadní vzduch z interiérového prostředí budovy prostřednictvím tepelného výměníku předá teplo čerstvému vzduchu z okolního prostředí přiváděnému do vnitřního prostředí. Odsávaný odpadní vzduch se v průběhu tepelné výměny nesmíchá s přiváděným čerstvým vzduchem, takže není negativně ovlivněna kvalita přiváděného vzduchu. Po tepelné výměně naopak přiváděný vzduch prochází prachovými filtry, jejichž prostřednictvím je zajištěno kvalitní mikroklima vnitřního prostředí. [13, 37]



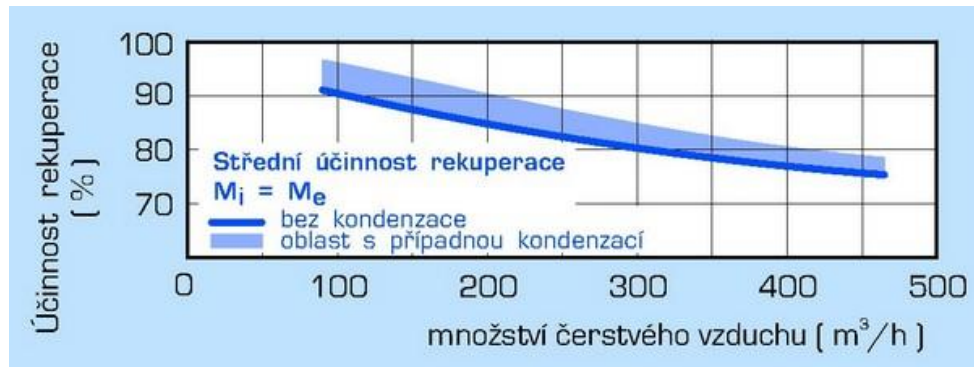
Obr.1.9.1-1 Princip zpětného získávání tepla (převzato z: [37])

Hodnoty účinnosti rekuperace se pohybují mezi 0 až 100%. Nulová hodnota odpovídá účinnosti otevřeného okna a stoprocentní účinnosti rekuperace odpovídá stavu, kdy by se přiváděný vzduch ohřál od odváděného odpadního vzduchu na jeho původní teplotu. Účinnost rekuperace tepla je u větracích jednotek značně ovlivněna typem tepelného výměníku. [37]

Typ výměníků	Křížový	Protiproudý	Kanálový
Profil proudění			
Využití	nejběžnější	v nových jednotkách	Inovativní systém
Účinnost %	50-70	70-80	80-95

Obr.1.9.1-2 Účinnost zpětného zisku tepla dle použitého výměníku (převzato z: [38])

Účinnost systému zpětného získávání tepla nezávisí pouze na účinnosti výměníku tepla, ale také na dalších faktorech, mezi které patří např. množství vzduchu procházející výměníkem tepla nebo kvalita neprůvzdušnosti obálky budovy. Účinnost rekuperace se uvádí pro určitý objem vyměňovaného vzduchu (do 60% jmenovitého výkonu větracích jednotek). Pokud je tedy jednotka provozovaná na vyšší výkon, pak se zvyšuje průtok vzduchu nad dimenzovanou hodnotu a dochází tak ke snížení účinnosti. Průběh účinnosti v závislosti na objemu větraného vzduchu udává křivka účinnosti. [37]



Obr.1.9.1-3 Účinnost rekuperace v závislosti na objemu větraného vzduchu (převzato z:[39])

Na správné fungování systému nuceného větrání s rekuperací tepla má vliv také materiál, těsnost, délka, průměr a trasování rozvodů. Chybný návrh rozvodného systému má za důsledek nárůst tlakové ztráty v rozvodech. Tento nárůst je pak nutné pro zabezpečení stejného větracího výkonu kompenzovat nasazením hnacích ventilátorů s vyšším jmenovitým výkonem, což má negativní vliv na výkonový faktor větracích jednotek a na celkovou efektivitu systému nuceného větrání s rekuperací vzduchu. Výkonový faktor je definovaný jako poměr energie uspořené zpětnou výměnou tepla k energii spotřebované na pohon hnacích ventilátorů. Účinnost systému nuceného větrání s rekuperací tepla je v neposlední řadě ovlivněna průvzdušností objektu. Při netěsném provedení obálky budovy dochází při nuceném větrání k infiltraci a exfiltraci vzduchu, což má vliv na celkové tepelné ztráty a tím i na účinnost systému nuceného větrání s rekuperací tepla. [13, 37]

Koncepce větrání

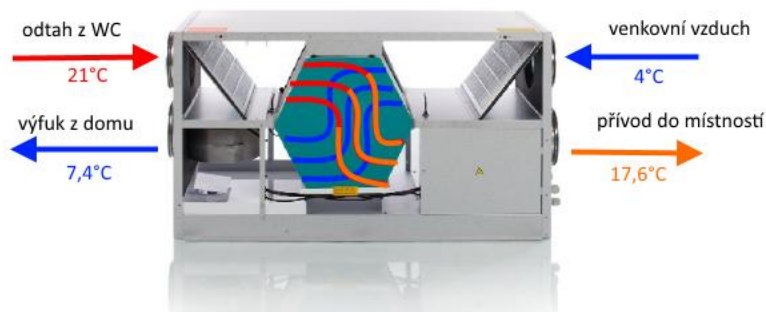
- Centrální koncepce větrání
- Decentrální koncepce větrání

Centrální koncepci větrání využívá většina rodinných domů. Centrální koncepce větrání obsahuje pouze jednu větrací jednotku s rekuperací tepla. Výhodou této koncepce je snadná údržba, naopak nevýhodou je složitější regulovatelnost systému na úrovních jednotlivých místností. [27, 37]

Decentrální koncepce větrání se používá pro větší objekty, jako např. bytové a panelové domy. Decentrální koncepce vychází z použití samostatných větracích jednotek o malém výkonu pro odvětrávání jednotlivých místností (bytových jednotek). Výhodou této koncepce je snadná regulovatelnost s minimální délkou rozvodů. Nevýhodou je nutnost údržby více větracích jednotek a zvýšený počet prostupů fasádou objektu. [27, 37]

Pasivní rekuperace

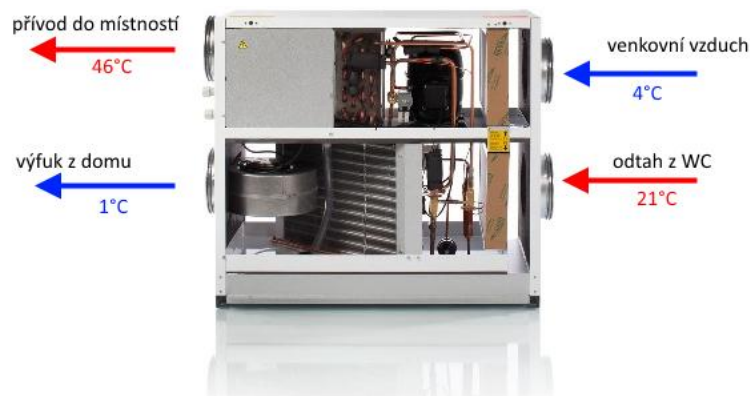
Větrací jednotky s rekuperací tepla používají k realizaci zpětného zisku tepla různých typů rekuperačních výměníků. Standardní výměník obsahuje systém kanálků, kde jednou částí systému kanálku proudí vzduch dovnitř a druhou částí ven. Během tohoto cyklu nedochází ke smíchání vzduchu, ale pouze k předání tepla. Tento systém se nazývá pasivní rekuperace. [40]



Obr.1.9.1-4 Větrací jednotka s pasivní rekuperací tepla (převzato z:[40])

Aktivní rekuperace

Větrací jednotky s aktivní rekuperací obsahují navíc oproti větracím jednotkám s pasivní rekuperací tepelné čerpadlo, které se využívá k ohřevu přiváděného vzduchu. Do vnitřního prostředí domu může být díky tepelnému čerpadlu přiveden vzduch o vyšší teplotě, než byla teplota odsávaného vzduchu. Výhodou větracích jednotek s aktivní rekuperací je maximální využití energie obsažené v odpadním vzduchu. [40]

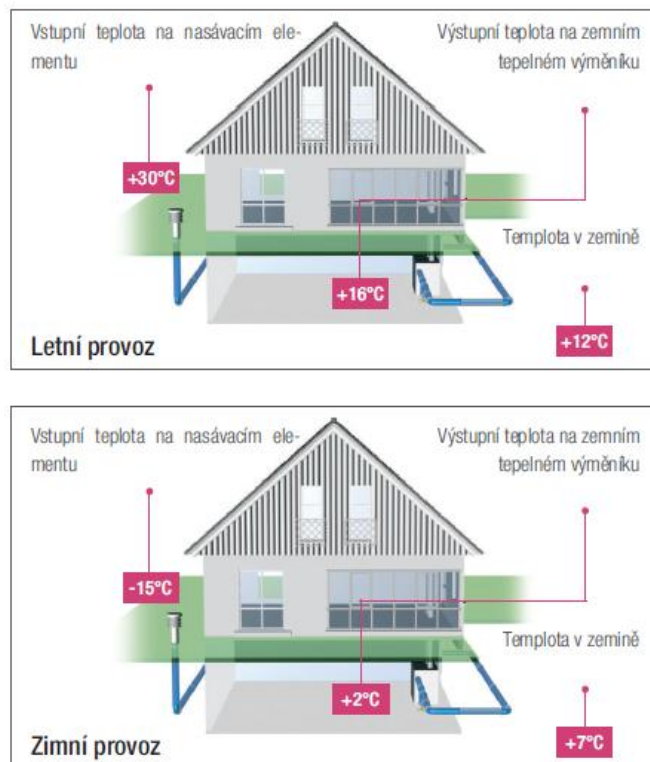


Obr.1.6-5 Větrací jednotka s aktivní rekuperací tepla (převzato z [40])

1.9.2 Zemní výměník

Zemní výměník kromě funkce protimrazové ochrany rekuperačního výměníku větracích jednotek s rekuperací tepla zabezpečuje také předchlazení přiváděného vzduchu v letním období. Princip zemních výměníků vychází z využívání zemského tepla k ohřevu nebo k ochlazení teplotnosného média, pomocí kterého je regulována teplota přiváděného vzduchu do systému nuceného větrání s rekuperací tepla. Ke své funkci využívá stálých teplot pod zemským povrchem, které se v hloubce dvou metrů pohybují v zimě okolo 4-8 °C a v létě okolo 10-14°C. [27, 37]

Zemní výměníky jsou rozděleny dle teplotnosného média na vzduchové a solankové (kapalinové). Vzduchové výměníky jsou energeticky úspornou variantou zemních výměníků. Náklady spojené s provozem solankových výměníků jsou navýšeny o náklady spojené s provozem oběhového čerpadla a také o náklady spojené s nutností výměny nemrznoucí kapaliny v potrubí solankového výměníku. Vzduchové výměníky oproti solankovým výměníkům nepotřebují oběhové čerpadlo, potrubí s nemrznoucí kapalinou, topenářské napojení a expanzní nádobu. Vzduchové výměníky obsahují pouze nasávací šachtu pro přívodní vzduch a soubor filtrů (hrubé a jemné). Nevýhodou zemních výměníků je ale možné nasávání radonu ze země a proto je nutné speciální přívodní potrubí garantující vzduchotěsnost. [27, 37]



Obr.1.9.2-1 Princip činnosti zemního výměníku v letním a zimním provozu (převzato z:[41])

Protimrazová ochrana rekuperačních výměníků

Vlivem velmi nízkých venkovních teplot dochází k ochlazení odpadního vzduchu na teploty pod 0°C. Odpadní vzduch z vnitřního prostředí je nositelem vlhkosti, která při ochlazení kondenzuje a při zamrznutí může způsobit dočasnou nebo trvalou nefunkčnost rekuperačního výměníku. Nasávaný vzduch je proto před vstupem do rekuperačního výměníku přehříván pomocí zemního výměníku nebo elektrické spirály. [37]

1.9.3 Tepelné čerpadlo

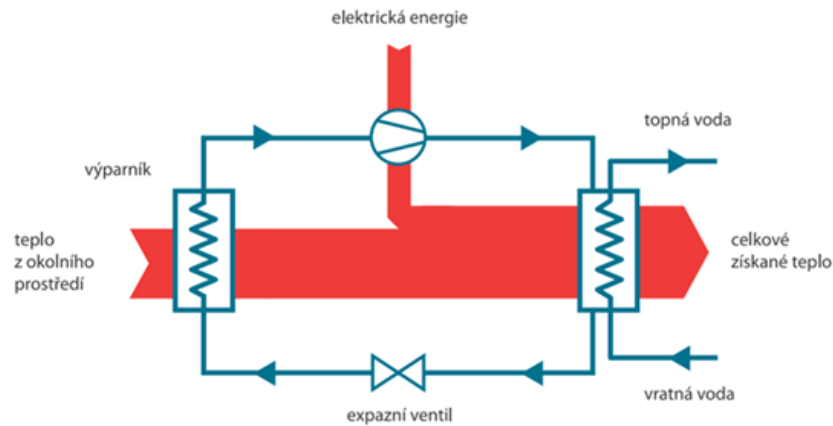
Tepelná čerpadla jsou technická zařízení, která spadají do kategorie alternativních zdrojů energie. Tepelná čerpadla pracují na principu obráceného Carnotova cyklu. Carnotův cyklus je složen ze dvou izotermických a dvou adiabatických jevů. [42]

Fáze tepelného (chladicího) oběhu tepelného čerpadla

- Vypařování
- Komprese
- Kondenzace
- Expanze

Princip činnosti

Kapalné chladivo odebírá ve výparníku teplo z primárního zdroje tepla (odpadní voda, vzduch, země apod.). Po odebrání tepla okolnímu prostředí dochází ve výparníku k transformaci kapalného chladiva do plynného skupenství. Kapalné chladivo má velmi nízký bod varu a proto je pro jeho odpaření dostačující ohřev o několik málo °C. Studené chladivo v plynném skupenství vstupuje do kompresoru, kde je stlačeno na vysoký tlak. Vlivem komprese dochází ke zvýšení teploty chladiva v plynném skupenství. Po kompresi je teplo plynného chladiva předáno médiu v otopné soustavě objektu. Po předání tepla médiu v otopné soustavě objektu dochází ke snížení teploty chladiva a následně k jeho kondenzaci. Chladivo v kapalném skupenství vstupuje do expanzního ventilu, jehož prostřednictvím dochází ke snížení tlaku kapalného chladiva na počáteční hodnotu a tím je tepelný cyklus tepelného čerpadla uzavřen. Vlivem expanze dochází k podchlazení kapalného chladiva pod teplotu primárního zdroje tepla. [13, 42]



Obr1.9.3-1 Princip činnosti tepelného čerpadla (převzato z:[43])

Účinnost tepelného čerpadla stanovuje topný faktor COP (Coefficient of performance). Topný faktor tepelného čerpadla je poměr mezi vyrobeným teplem a spotřebovanou elektrickou energií na provoz tepelného čerpadla. Topný faktor moderních tepelných čerpadel se pohybuje v intervalu 2-5. Topný faktor deklarovaný výrobcí tepelných čerpadel uvažuje při výpočtu pouze elektrickou energii spotřebovanou na provoz kompresoru. Z toho plyne, že reálný topný faktor tepelných čerpadel je ve skutečnosti nižší. [27, 42]

$$COP = \frac{Q_c}{A} \quad (-) \quad (1.9.3.1)$$

COP topný faktor

Q_c celkový tepelný výkon získaný na kondenzátoru tepelného čerpadla

A elektrický příkon kompresoru potřebný pro provoz tepelného čerpadla

Topný faktor se během provozu tepelného čerpadla mění v závislosti na změně teploty primárního zdroje energie a teploty média otopné soustavy. Skutečné provozní náklady na provoz tepelného čerpadla se tedy nevyhodnocují pomocí topného faktoru. Skutečné náklady na provoz tepelného čerpadla jsou dány průměrným ročním topným faktorem, což je poměr celoroční výroby tepla a celoroční elektrické energie spotřebované na provoz tepelného čerpadla. [42]

Typy tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla jsou rozdělena na základě nositele nízkopotenciálního tepla a nositele přečerpané tepelné energie. Pokud je tedy zdrojem tepla tepelné čerpadlo vzduch-voda, pak je nositelem nízkopotenciálního tepla vzduch a nositelem přečerpané energie voda. Velmi často používaným typem tepelného čerpadla je tepelné čerpadlo země/voda. Tepelná čerpadla země/voda odebírají teplo ze země prostřednictvím vrtů nebo plošných kolektorů. Výhodou tepelných čerpadel země/voda je vysoký topný faktor a stabilita topného faktoru během celého topného období. [13, 42]

Vybrané typy tepelných čerpadel

- vzduch/voda
- země/voda
- voda/voda
- odpadní vzduch/voda
- odpadní voda/voda

Nízkopotenciální a vysokopotenciální tepelná čerpadla

- **Nízkopotenciální tepelná čerpadla**

Tento typ tepelných čerpadel je vhodný pro nízkoteplotní otopné systémy s teplotním spádem 45/35°C. Nízkoteplotní tepelná čerpadla jsou vhodná pro budovy s nízkými tepelnými ztrátami (např. novostavby, pasivní domy). [42]

- **Vysokopotenciální tepelná čerpadla**

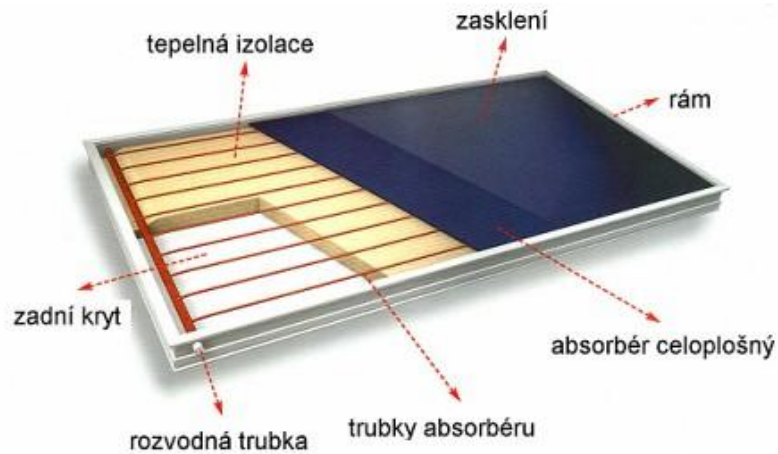
Tento typ tepelných čerpadel je vhodný pro vysokoteplotní otopné systémy s teplotním spádem 80/60°C. [42]

1.9.4 Solární kolektory

Solární kolektory jsou zařízení, která transformují sluneční energii na energii tepelnou. Přenos tepelné energie je realizován pomocí pracovní látky (vzduch, voda), která cirkuluje mezi solárním kolektorem (absorbérem) a výměníkem tepla (akumulační nádoba, zásobník teplé užitkové vody apod.). Solární kolektory se používají pro ohřev teplé užitkové vody, ohřev vody v bazénech a také jako podpora vytápěcího systému s nízkoteplotní otopnou soustavou. [27, 44]

Konstrukce solárních kolektorů

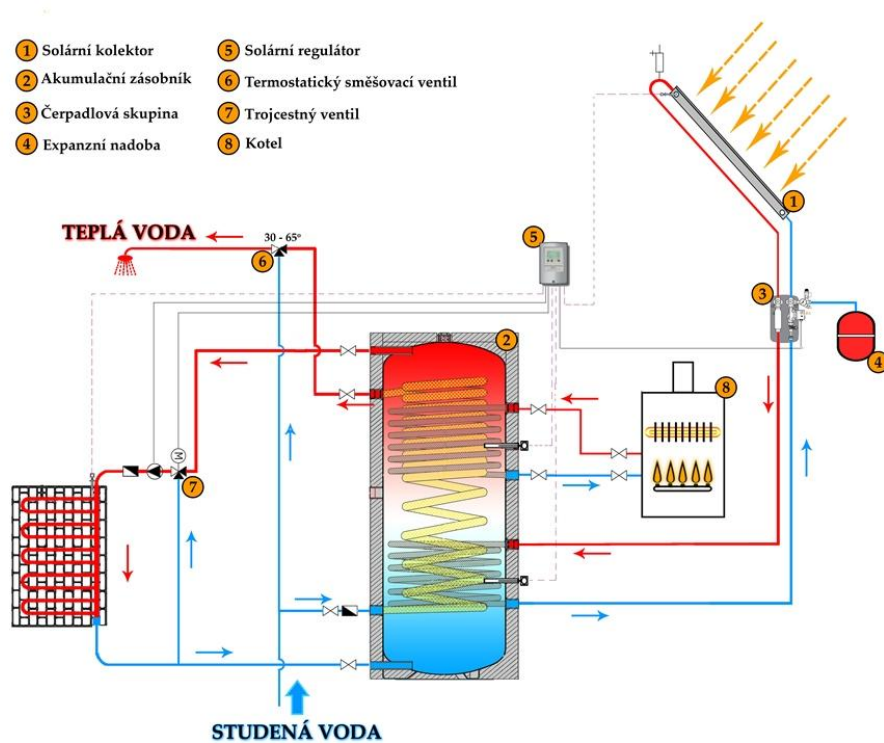
Mezi základní konstrukční prvky solárních kolektorů patří absorbér, krycí sklo, úložná skříň a tepelná izolace. Povrchy absorbéru jsou technologicky upraveny tak, aby pohlcovaly co nejvíce slunečního záření. Krycí skla jsou používána k redukci tepelných ztrát přední stěnou kolektoru. Krycí skla mají vysokou propustnost viditelného světla, naopak tepelné záření vyrobené prostřednictvím kolektoru nepropouští ven a může tak být využito pro ohřev pracovní látky. Pro uložení absorbérů, tepelné izolace dalších konstrukčních prvků solárních kolektorů se používá úložná skříň. Tepelná izolace redukuje tepelné úniky z absorbéru stěnami úložné skříně. [27, 44]



Obr.1.9.4-1 Konstrukce plochého kapalinového kolektoru (převzato z:[45])

Zásady instalace solárních kolektorů

Konstrukce pro umístění kolektoru musí být dimenzována s ohledem na účinky přírodních jevů (vítr, kroupy, sníh apod.). Solární kolektory jsou umísťovány co nejbližší místu spotřeby tepelné energie s ohledem na redukci tepelných ztrát v rozvodném systému. Sluneční kolektory jsou s ohledem na maximální tepelné zisky orientovány směrem k jihu. Při volbě sklonu slunečních kolektorů se používá kompromisní řešení. Výška Slunce nad obzorem se během průběhu roku mění a s touto výškou se mění i ideální sklon slunečních kolektorů. Obvyklá hodnota sklonu solárních kolektorů se pohybuje v rozmezí mezi 35° a 45°. [44]



Obr.1.9.4-2 Solární systém určený k ohřevu TUV a vody v otopné soustavě (převzato z:[46])

Rozdělení solárních kolektorů

- dle teplotnosné látky
 - vzduchové
 - kapalinové
- dle konstrukce
 - ploché
 - trubicové
 - koncentrační
- dle zasklení
 - bez zasklení
 - jednoduché
 - vícevrstvé
- dle typu absorbéru
 - kovový selektivní
 - kovový neselektivní
 - plastový
 - akumulční
- dle tlaku výplně
 - atmosférický
 - vakuový [13]

1.9.5 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely jsou zařízení, která se používají k přeměně slunečního záření na elektrickou energii. Fotovoltaické panely vznikají sériovým a paralelním spojením fotovoltaických článků. Fotovoltaické články jsou vyráběny nejčastěji z monokrystalického nebo polykrystalického křemíku. Fotovoltaické články jsou složeny s polovodičové vrstvy typu P a polovodičové vrstvy typu N. Tyto polovodičové vrstvy jsou odděleny P-N přechodem. Z toho plyne, že fotovoltaické články pracují na principu diody. Dopadem fotonů slunečního záření na fotovoltaický článek vznikne vnitřní fotoelektrický jev. Z krystalové mřížky polovodiče se začnou uvolňovat záporné elektrony. Na přechodu P-N dochází ke vzniku velmi malých napětí do 0,6V. Připojením spotřebiče k fotovoltaickému panelu začne docházet k vyrovnávání kladných a záporných nábojů a obvodem začne procházet elektrický proud. [27, 47]

Pro uvolnění elektronu z krystalové mřížky křemíku je nutné, aby energie fotonu dosahovala hodnoty 1,12 eV. Energie fotonů je závislá na vlnové délce záření. Energii fotonů 1,12 eV odpovídá infračervené záření o vlnové délce asi 1 105 nm. Fotony záření s delší vlnovou délkou nevyvolají fotovoltaický jev, naopak fotony záření s kratší vlnovou délkou než je 1 105 nm jsou charakteristické přebytkem energie, který je přeměněn na teplo. Fotovoltaický článek je nepatrným zdrojem energie a z tohoto důvodu jsou jednotlivé články sériově a paralelně propojovány za účelem vzniku fotovoltaického panelu. Fotovoltaická elektrárna je pak konstruována sério-paralelní kombinací fotovoltaických panelů. [27, 47]

Komponenty fotovoltaické elektrárny

- fotovoltaické panely
- střídač (změna stejnosměrného proudu na střídavý)
- solární regulátor (regulace napětí z FV na napětí optimální pro nabíjení akumulátorů)
- propojovací vodiče (spojení panelů se střídačem)
- přepěťová ochrana
- ochrana proti zkratu
- nosná konstrukce [27, 47]

Režimy provozu fotovoltaické elektrárny

- ostrovní provoz (výroba energie pouze v místě spotřeby bez připojení na rozvodnou síť)
- zelený bonus (připojení FV pro vlastní spotřebu energie a prodej přebytků do elektrizační sítě, zde je nutno použít jako hlavní elektroměr, tzv. čtyřkvadrantní elektroměr)
- povinný výkup (FV není využívána pro vlastní spotřebu, slouží pouze pro dodávky do elektrizační sítě)
- hybridní systém (kombinace ostrovního provozu, kdy nespotřebovaná energie je ukládána pomocí akumulátorů) [27, 47]

2 Analyzovaný pasivní dům

2.1 Základní informace o objektu

Místo stavby	Předenice
Adresa	Předenice 93
Typ budovy	Rodinný dům
Druh stavby	Novostavba
Stav objektu	Dokončen
Datum zahájení stavby	11/2011
Datum ukončení stavby	12/2012
Celkové stavební náklady	3 500 000 Kč
Stavební náklady na m² užitné plochy	29 000 Kč/m ²
Dotace	Zelená úsporám
Výše dotace	290 000 Kč
Typ konstrukce	Zděná, monolitická
Bytové jednotky	1
Podlahová plocha	82,8 m ²
Užitná plocha	116,7 m ²
Obestavěný prostor	627 m ³
Poměr A/V	0,75
Návrh objektu	Ing. Arch. Lubomír Korčák, Ing. Ivana Mědílková
Realizace stavby	Svépomocí+subdodávky AB interier concept s.r.o.
Stavební prvky	AB interier concept s.r.o.
Technická zařízení	Nilan s.r.o.
Poradenská činnost	Kalksandstein CZ s.r.o.

2.2 Energetické ukazatele objektu

Energetická náročnost budovy dle PENB	A – mimořádně úsporná
Výpočtová metodika pro zpracování PENB	TNI 73 0329
Měrná potřeba tepla na vytápění	12,5 kWh/m ² ·a
Celková potřeba primární energie	58 kWh/m ² ·a
Celková neprůvzdušnost n50	0,47 h ⁻¹
Průměrný součinitel prostupu tepla	0,17 W/m ² K

2.3 Stavební prvky objektu

Základové konstrukce	Pěnosklo 350 mm, ŽB deska 200mm
Podlaha	EPS 100 120mm Betonová mazanina 60mm
Obvodové zdivo	Vápenopísková tvárnice 175mm
Izolace obvodového zdiva	EPS 100F 300mm Vnější tenkovrstvá omítka 6mm
Typ střechy	Plochá, jednoplášťová střecha
Nosná konstrukce střechy	ŽB deska 250mm EPS 100S 500mm
Okna	Dřevohliníkové provedení
Typ zasklení	Solární trojsklo plněné argonem $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

2.4 Technická zařízení objektu

Větrání	Větrací jednotka Nilan VP 18 K
Vytápění	Větrací jednotka Nilan VP 18 K Přímotopné rohože
Ohřev vody	Větrací jednotka Nilan VP 18 K

2.5 Fotografie objektu



Obr.2.5-1 Pasivní rodinný dům Předenice 93



Obr.2.5-2 Pasivní rodinný dům Předenice 93

3 Infračervená termografie

Infračervená termografie je nedestruktivní diagnostická metoda určená ke stanovení povrchových teplot objektů. Infračervená diagnostika může být rozdělena z biofyzikálního hlediska na kontaktní a bezkontaktní. Pro účely této práce je podstatná bezkontaktní infračervená termografie. Bezkontaktní infračervená termografie vychází ze skutečnosti, že každé těleso s teplotou vyšší než je absolutní nula vyzařuje do okolí elektromagnetické záření. Pro účely infračervené termografie nazýváme toto záření zářením tepelným, jelikož jeho zdrojem je termický pohyb částic. Bezkontaktní infračervená diagnostika využívá ke stanovení povrchových teplot objektů měření intenzity infračerveného záření. Povrchové teploty nejsou tedy pomocí snímacích zařízení pro bezkontaktní infračervenou termografii měřeny, ale dopočteny na základě intenzity infračerveného záření a dalších termografických parametrů. Mezi snímací zařízení pro bezkontaktní infračervenou termografii patří bodové bezkontaktní teploměry, liniové bezkontaktní skenery a termografické systémy s plošnými snímači. Ke stanovení rozložení povrchových teplot se používají téměř výhradně termografické systémy s plošnými snímači, které jsou reprezentovány především infračervenými kamerami. [33, 48]



Obr.3-1 Infračervená kamera pro oblast stavebnictví FLIR E40BX (převzato z:[49])

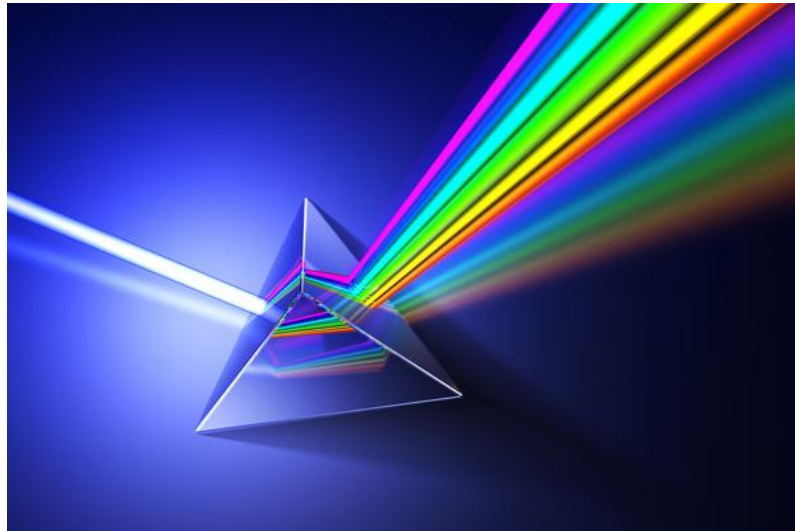
3.1 Historie infračervené termografie

Infračervená část elektromagnetického spektra byla objevena v roce 1800 Frederickem Williamem Herschelem. Frederick William Herschel byl významným astronomem a konstruktérem zrcadlových dalekohledů. Infračervenou část elektromagnetického spektra objevil při testování vzorků skel, která byla vhodná pro konstrukci optického filtru. Při tomto testování byl zaujat skutečností, že určitými vzorky skel procházelo takové množství tepla ze slunečního záření, které mohlo být příčinou poškození zrakového orgánu při velmi krátké době pozorování. [50]



Obr.1.1-1 Frederick William Herschel (převzato z:[51])

Frederick William Herschel použil pro objev infračervené oblasti elektromagnetického spektra Newtonův experiment s hranolem. Isaac Newton se ale v experimentu s hranolem zaměřil na viditelnou oblast elektromagnetického spektra. William Herschel použil Newtonův experiment s hranolem ke sledování tepelného efektu. Pomocí hranolu transformoval sluneční světlo na barevná pásma a pro tato pásma prováděl měření teploty pomocí kontaktních teploměrů. Při experimentu pozoroval zvyšování hodnot teploty směrem k červené oblasti spektra. Maximálního tepelného efektu bylo dosaženo až posunem kontaktních teploměrů za hranu červeného spektra. Tuto oblast elektromagnetického spektra nazval pojmem termometrické spektrum. V současnosti se používá pro tuto oblast elektromagnetického spektra název infračervené spektrum. [50]

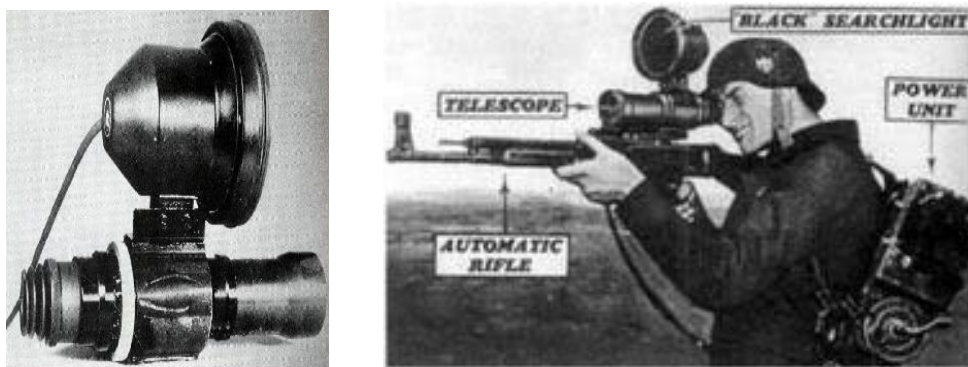


Obr.1.1-2 Rozložení světla optickým hranolem (převzato z: [52])

Po objevení infračervené oblasti elektromagnetického spektra William Herschel uvažoval o omezené prostupnosti skla pro tuto oblast elektromagnetického spektra. Na základě této úvahy konstatoval, že jako optické prvky pro účely měření infračervené oblasti elektromagnetického spektra mohou být použity pouze rovná nebo zakřivená zrcadla. Toto tvrzení platilo do roku 1830 do objevení vhodného materiálu pro výrobu vhodných optických prvků. Italský fyzik Macedonio Melloni pro účely diagnostiky infračerveného záření objevil nový optický materiál, kterým byla kamenná sůl. Macedonio Melloni zjistil, že krystaly kamenné soli mohou být využity pro konstrukci optických prvků. Tyto optické prvky byly charakteristické vysokou propustností infračerveného záření. Kamenná sůl byla hlavním optickým materiálem pro účely infračerveného spektra do roku 1930. V roce 1829 zkonstruoval italský fyzik Leopoldo Nobili první termočlánek. Leopoldo Nobili byl k tomuto objevu inspirován prací německého fyzika Thomase Seebecka, který v roce 1820 objevil termoelektrický jev. Objev termočlátku využil Macedonio Melloni k vynálezu termoelektrické baterie, kterou realizoval sériovým spojením termočláneků. Termoelektrická baterie jako detektor záření vykazovala, oproti klasickým teploměrům vysokou citlivost. Macedonio Melloni pomocí termoelektrické baterie dokázal detekovat teplotu živého organismu na vzdálenost několika metrů. [50]

Anglický astronom John Herschel navázal na práci svého otce vytvořením prvního infračerveného snímku. Realizace prvního tepelného snímku proběhla roku 1840. John Herschel využil pro realizaci tepelného obrazu jevu odpařování tenké vrstvy oleje, kterou vystavil působení tepelného záření. Tepelný obraz mohl být spatřen lidským okem vlivem odrazu světla. [50]

Pokrok v oblasti tepelných detektorů učinil v roce 1880 anglický astronom a fyzik Samuel Pierpont Langley vynálezem bolometru. Samuel Langley byl schopen pomocí bolometru detekovat teplotu živých organismů na vzdálenost několika stovek metrů. Prudký vývoj v oblasti infračervené diagnostiky nastal po roce 1900. Po roce 1900 bylo uděleno mnoho patentů v oblasti detekce objektů. V období první světové války byly realizovány výzkumné programy pro účely vojenského využití infračerveného záření. Systémy používané v první světové válce pro detekci osob a vozidel byly založeny na principu bolometru. Po ukončení první světové války došlo k revolučním objevům v oblasti tepelných detektorů. Do skupiny nových tepelných detektorů patřil konvertor obrazu a fotonový detektor. [50]



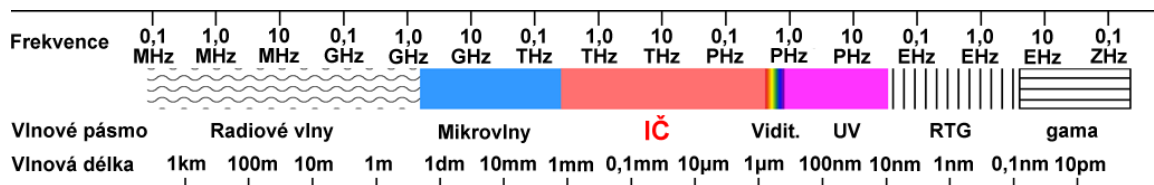
Obr.1.1-3 Systém nočního vidění a zaměřování Vampir ZG 1229 na útočné pušce (převzato z:[53])

V období po druhé světové válce docházelo ke vzniku vojenských programů, které byly zaměřeny na vývoj pasivního systému využívajícího fotonového detektoru k detekci objektů. Systémy infračervené zobrazovací techniky podléhaly přísnému bezpečnostnímu opatření a mohli být využity pouze ve vojenském sektoru. Systémy pro termografickou diagnostiku byly k dispozici civilnímu sektoru a výzkumným institucím až po roce 1955. [50]

3.2 Úvod do teorie infračervené termografie

3.2.1 Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické spektrum slouží ke klasifikaci elektromagnetického záření dle příslušné vlnové délky. Pro účely infračervené diagnostiky se využívá infračervené záření, které se v elektromagnetickém spektru nachází mezi viditelným a mikrovlnným zářením. Infračervené záření je pro účely infračervené termografie rozděleno dle vlnových délek na 5 oblastí. Diagnostické systémy pro účely infračervené termografie se rozdělují právě na základě diagnostikované oblasti infračerveného záření, kde se například pro účely infračervené termografie budov využívají téměř výhradně dlouhovlnné termografické systémy LWIR. [50]



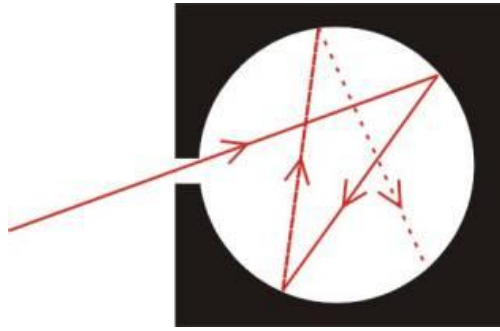
Obr.1.2.1-1 Elektromagnetické spektrum (převzato z:[54])

Klasifikace oblastí infračerveného záření pro oblast infračervené termografie

- blízká oblast infračerveného záření NIR (Near Wave IR)
(Infračervené záření s hodnotou vlnové délky v rozmezí 0,75 – 1,4 μm)
- krátká oblast infračerveného záření SWIR (Short Wave IR)
(Infračervené záření s hodnotou vlnové délky v rozmezí 1,4 – 3,0 μm)
- střední oblast infračerveného záření MWIR (Medium Wave IR)
(Infračervené záření s hodnotou vlnové délky v rozmezí 3,0 – 5,5 μm)
- vzdálená oblast infračerveného záření LWIR (Long Wave IR)
(Infračervené záření s hodnotou vlnové délky v rozmezí 5,5 – 15,0 μm)
- velmi vzdálená oblast infračerveného záření FIR (Far IR)
(Infračervené záření s hodnotou vlnové délky v rozmezí 15,0 – 1000,0 μm) [33]

3.2.2 Absolutně černé těleso

Absolutně černé těleso je ideální těleso, které pohlcuje veškeré na jeho povrch dopadající elektromagnetické záření všech vlnových délek. Pojem absolutně černé těleso vychází z druhého Kirchhoffova zákona pro záření, který vyjadřuje vztah mezi absorpcí a emisí elektromagnetického záření. Druhý Kirchhoffův zákon tvrdí, že těleso je schopné vyzařovat stejné množství elektromagnetického záření, které je schopné absorbovat. Modelem absolutně černého tělesa je tzv. dutinový zářič. Dutinový zářič je z konstrukčního hlediska složený z izotermní dutiny, která je doplněna vhodným zdrojem tepla. Veškeré elektromagnetické záření vstupující do izotermní dutiny se opakovanými odrazy o stěny izotermní dutiny zcela pohltí. Pokud je tedy v dutinovém zářiči udržována konstantní teplota, pak elektromagnetické záření emitované dutinovým zářičem je shodné se zářením absolutně černého tělesa. Charakteristika záření emitovaného dutinovým zářičem je tedy ovlivněna pouze teplotou dutiny. Dutinové zářiče se často používají jako zdroje záření pro kalibraci měřicí techniky pro oblast infračervené diagnostiky. Základní fyzikální zákony pro oblast infračervené termografie využívají pro popis vyzařování právě model absolutně černého tělesa. [33, 50]



Obr.1.2.3-1 Model absolutně černého tělesa (převzato z:[55])

3.2.3 Fyzikální zákony vyzařování absolutně černého tělesa

Stefan-Boltzmannův zákon

Je fyzikální zákon, který byl definován slovinským fyzikem a matematikem Jožefem Stefanem. Stefan-Boltzmannův zákon říká, že intenzita záření absolutně černého tělesa roste se čtvrtou mocninou jeho termodynamické teploty. Tento fyzikální zákon nese také jméno rakouského fyzika Ludwiga Boltzmannova, který byl žákem Jožefa Stefana. Ludwig Boltzmann definici tohoto fyzikálního zákona rozšířil a za pomoci rozšířeného fyzikálního zákona se také pokusil o výpočet teploty povrchu Slunce. Teplota na povrchu Slunce byla pomocí prvního vědeckého výpočtu stanovena na hodnotu 5430°C. [48, 50, 55]

Stefan-Boltzmannův zákon

$$I = \sigma \cdot T^4 \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (3.2.3.1)$$

$$\sigma = 5,670400 \cdot 10^{-8} (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}) \quad (3.2.3.2)$$

I celková intenzita vyzařování absolutně černého tělesa (W/m^2)

σ Stefan-Boltzmannova konstanta ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$)

T termodynamická teplota (K)

Stefan-Boltzmannův zákon pro šedé těleso

$$I = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (3.2.3.3)$$

$$\sigma = 5,670400 \cdot 10^{-8} (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4})$$

I celková intenzita vyzařování šedého tělesa (W/m^2)

ε spektrální emisivita (-)

σ Stefan-Boltzmannova konstanta ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$)

T termodynamická teplota (K)

Wienův posunovací zákon

Je fyzikální zákon, který byl formulován německým fyzikem a nositelem Nobelovy ceny za fyziku Wilhelmem Wienem. Wienův posunovací zákon konstatuje, že maximální intenzita vyzařování absolutně černého tělesa se s rostoucí termodynamickou teplotou posouvá směrem ke kratším vlnovým délkám. Tento fyzikální zákon lze demonstrovat při zahřívání tělesa v absolutní tmě, kde těleso s termodynamickou teplotou pod 525 °C vyzařuje energii ve formě tepelného záření. Tento typ elektromagnetického záření je možné diagnostikovat pomocí termovizní kamery. Pokud ale dojde ke zvýšení termodynamické teploty tohoto tělesa nad 525 °C, bude se maximální vyzářená energie tělesa posouvat směrem ke kratším vlnovým délkám a toto těleso bude generovat elektromagnetické záření ve formě viditelného světla. [48, 50, 55]

Wienův posunovací zákon

$$\lambda_{max.} = \frac{b}{T} \text{ (mm)} \quad (3.2.3.4)$$

$$b = 2,898 \text{ (mm} \cdot \text{K)} \quad (3.2.3.5)$$

λ_{max} vlnová délka pro hodnotu maximální vyzářené energie (mm)

b Wienova konstanta (mm·K)

T termodynamická teplota (K)

Planckův zákon

Je fyzikální zákon, který byl formulován v roce 1900 německým fyzikem a zakladatelem kvantové teorie Maxem Planckem. Planckův zákon popisuje záření absolutně černého tělesa v celé oblasti elektromagnetického spektra. Josef Stefan a Ludwig Boltzmann s využitím poznatků klasické fyziky definovali Stefan-Boltzmannův, který popisoval celkovou intenzitu záření absolutně černého tělesa a historicky předcházel spolu s Wienovým posunovacím zákonem Planckův zákon. Planckův zákon podává na rozdíl od Stefan-Boltzmannova zákona a Wienova posunovacího zákona kompletní informaci o tepelném záření těles. Planckův zákon doplňuje Stefan-Boltzmannův zákon o informaci rozložení celkové vyzářené energie do jednotlivých vlnových délek. Popis záření absolutně černého tělesa ve všech oblastech elektromagnetického spektra odvodil na základě předpokladu, že absolutně černé těleso vyzařuje nebo pohlcuje energii v tzv. kvantech, kde každé kvantum záření je reprezentováno energií, která je přímo úměrná frekvenci elektromagnetického záření. [48, 50, 55]

Max Planck obdržel za objev energetických kvant a za svou práci v oblasti vyzařování absolutně černého tělesa v roce 1918 Nobelovu cenu za fyziku. Max Planck svou vědeckou činností ovlivnil Alberta Einsteina, který na základě myšlenky energetických kvant stanovil teorii kvantování energie elektromagnetického pole a na základě této teorie vysvětlil v roce 1905 fotoelektrický jev. [48, 50, 55]

Planckův zákon

$$W_{\lambda} = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^3}{\lambda^5 \cdot (e^{\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k \cdot T}} - 1)} \quad (W/m^2) \quad (2.3.2.6)$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \quad (m/s) \quad (2.3.2.7)$$

$$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \quad (J \cdot s) \quad (2.3.2.8)$$

$$k = 1,4 \cdot 10^{-23} \quad (J/K) \quad (2.3.2.9)$$

W_{λ} spektrální hustota intenzity vyzařování absolutně černého tělesa (W/m^2)

h Planckova konstanta ($J \cdot s$)

c rychlost světla ve vakuu ($m \cdot s$)

k Boltzmannova konstanta (J/K)

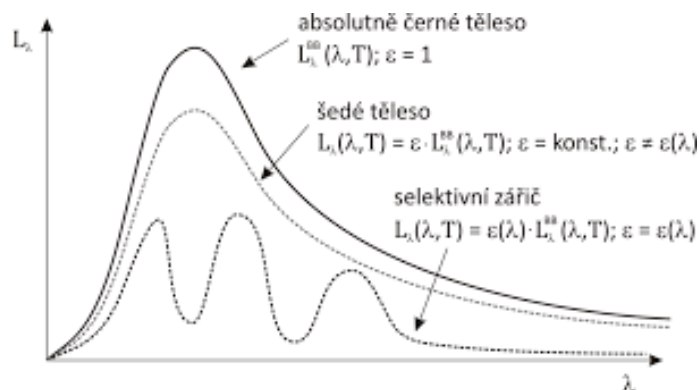
T termodynamická teplota absolutně černého tělesa (K)

λ vlnová délka (m)

3.2.4 Typologie zdrojů záření

Podle způsobu změny spektrálního vyzařování v závislosti na vlnové délce můžeme rozlišovat tyto zdroje záření:

- absolutně černé těleso $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon = 1$
- šedé těleso $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon = \text{konstanta} < 1$
- selektivní zářič $0 < \varepsilon_{\lambda} < 1$



Obr. 3.2.4-1 Spektrální hustota intenzity vyzařování jednotlivých typů zářičů (převzato z: [56])

Emisivita absolutně černého tělesa, šedého tělesa je nezávislá na vlnové délce elektromagnetického záření. V reálném světě se ale můžeme setkat pouze se selektivními zářiči, jejichž emisivita je závislá na vlnové délce elektromagnetického záření. [33]

3.2.5 Záření reálných objektů

Pro absolutně černé těleso platí, že veškeré záření bez ohledu na vlnovou délku absorbuje. Reálné objekty ale nejsou v delším intervalu vlnových délek kompatibilní se stejnými zákony, jaké platí pro absolutně černé těleso. U reálného tělesa je dopadající elektromagnetické záření o určité vlnové délce rozděleno do tří složek. Tyto složky jsou pak reprezentovány:

- součinitelem pohltivosti $\alpha_\lambda = \frac{P_\alpha}{P_e} (-)$ (3.2.5.1)

- součinitelem odrazivosti $\rho_\lambda = \frac{P_\rho}{P_e} (-)$ (3.2.5.2)

- součinitelem propustnosti $\tau_\lambda = \frac{P_\tau}{P_e} (-)$ (3.2.5.3)

P_e celkový zářivý tok (J/s)

P_α zářivý tok pohlcený (J/s)

P_τ zářivý tok propuštěný (J/s)

P_ρ zářivý tok odražený (J/s)

U reálného objektu tedy může být část dopadajícího elektromagnetického záření objektem prostoupena, odražena a pohlcena. Ze zákona pro zachování energií plyne první Kirchhoffův zákon pro záření, který tvrdí, že součet těchto součinitelů je vždy roven jedné nezávisle na vlnové délce elektromagnetického záření. [33, 50]

1. Kirchhoffův zákon pro záření

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1 \quad (3.2.5.4)$$

Redukovaný Kirchhoffův zákon pro nepropustné objekty

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1 \quad (3.2.5.5)$$

Spektrální emisivita

Spektrální emisivita patří k nejdůležitějším parametrům infračervené termografie. Jedná se o poměr intenzity vyzařování reálného tělesa a intenzity vyzařování absolutně černého tělesa při stejné termodynamické teplotě a vlnové délce. [50]

$$\varepsilon_\lambda = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}} (-) \quad (3.2.5.6)$$

ε_λ	spektrální emisivita (-)
$W_{\lambda 0}$	intenzita vyzařování reálného objektu (W/m^2)
$W_{\lambda b}$	intenzita vyzařování absolutně černého tělesa (W/m^2)

2. Kirchhoffův zákon pro záření

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda \quad (3.2.5.7)$$

Pro každý materiál platí také 2. Kirchhoffův zákon pro záření, který konstatuje, že spektrální emisivita a spektrální pohltivost jsou si rovny nezávisle na vlnové délce a teplotě. [50]

Závislost emisivity

Emisivita reálných objektů se nemění pouze v závislosti na vlnové délce záření, ale je ovlivněna řadou dalších faktorů, mezi které patří:

- teplota objektu
- směr vyzařování (úhel odrazu elektromagnetického záření od normály povrchu)
- povrchová úprava objektu
- barva objektu
- typ materiálu (kovy, nekovy, skla apod.) [33]

3.3 Konstrukce infračervené kamery

Konstrukce infračervené kamery vychází z konstrukce digitálního fotoaparátu. Infračervená kamera má pouze odlišnou optickou část zařízení, která selektuje část elektromagnetického spektra, která je důležitá pro oblast infračervené termografie. Mezi základní konstrukční prvky infračervené kamery patří:

- optika
- detektor
- elektronika pro zpracování obrazu

3.3.1 Optika infračervené kamery

Optika infračervené kamery slouží k zaostření zářivého toku na detektor a také jako filtr tepelného záření. Na optiku infračervené kamery dopadá elektromagnetické záření různých vlnových délek, optika infračervené kamery ale propustí pouze záření těch vlnových délek, se kterými infračervená kamera pracuje. Optika infračervené kamery je vyhotovena z germania pro systémy pracující v dlouhovlnné oblasti spektra. Pro systémy pracující ve středovlnné a krátkovlnné oblasti spektra se využívá jako materiál pro konstrukci optik infračervených kamer křemík. [33, 57]

Optika infračervené kamery musí propustit v ideálním případě 100% požadovaného dopadajícího tepelného záření. Z tohoto důvodu je optika infračervené kamery ošetřena antireflexní vrstvou, která slouží k eliminaci odrazu požadovaného záření od povrchu optiky. Propustnost optického prvku infračervené kamery se tímto opatřením zásadně zvyšuje a účinnost propustnosti optiky infračervené kamery dosahuje více než 90%. [33, 57]

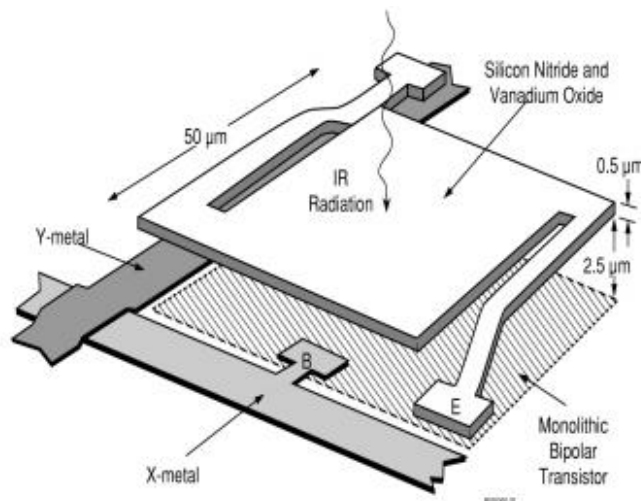
3.3.2 Detektor infračervené kamery

Detektor infračervené kamery je zařízení, které slouží k převodu infračerveného záření na elektrický signál. Detektory infračervených kamer se rozdělují z hlediska principu funkce na detektory:

- tepelné
- fotonové

Tepelné detektory

Principem tepelných detektorů je změna elektrických vlastností v závislosti na intenzitě dopadajícího infračerveného záření. Změnu elektrického odporu v závislosti na intenzitě infračerveného záření dopadajícího na detektor využívají mikrobolometrická pole. Mikrobolometrická pole jsou složena z množství mikrobolometrů, které je uspořádáno do 2D pole. [57]



Obr.3.3.2-1 Struktura plochy mikrobolometru(převzato z:[58])

Mikrobolometrická pole se standardně vyrábí na monolitických křemíkových substrátech. Snímač infračerveného záření tvoří 2D pole o můstkové struktuře. Mikrobolometry ze kterých je složeno mikrobolometrické pole jsou vyrobeny z tepelně citlivého odporového materiálu. Typickým materiálem pro výrobu mikrobolometrů je oxid vanadu, např. oxid vanadičný. [57]

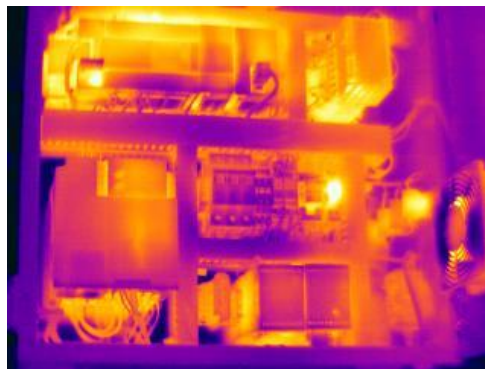
Na substrátu je u moderních mikrobolometrických polí pod jednotlivými mikrobolometry nanášena tzv. reflexní vrstva. Reflexní vrstva záření neabsorbované mikrobolometrem odrazí zpět k mikrobolometru, tím dochází ke zvýšení celkové účinnosti snímače infračerveného záření. Mikrobolometrická pole jsou charakteristická vysokou spektrální citlivostí. V současné době jsou mikrobolometrická pole nejčastěji používaným typem detektoru infračervených kamer. [57]

Fotonové detektory

Princip činnosti fotonových detektorů je založen na počítání kvant elektronového záření. Fotonové detektory jsou charakteristické vysokou citlivostí výrazně převyšující tepelné detektory. Fotonové detektory mají ale omezenou spektrální citlivost. To znamená, že jsou schopny snímat pouze infračervené záření v úzkém rozsahu vlnových délek. Fotonové detektory infračervených kamer vyžadují pro svoji činnost z důvodu nízké pracovní teploty chlazení. Vlastní snímač fotonového detektoru tvoří např. krystalická sloučenina india a antimonu (InSb) nebo anorganická sloučenina platiny a silicidu (PtSi). Infračervené kamery s fotonovými detektory se používají z důvodu zvýšení citlivosti pro specializované aplikace a oblast výzkumu. [57]

3.3.3 Elektronika pro zpracování obrazu

Infračervené záření absorbované detektorem infračervené kamery má za důsledek změnu elektrické veličiny. Změna elektrické veličiny je obvodem detektoru převedena na elektrický signál. Zpracování elektrického signálu je společně s autokalibrací infračervené kamery, korekcí obrazu apod. realizováno právě v rámci výkonného mikroprocesu pomocí elektroniky a pomocných obvodů. Výstupem zpracování elektrického signálu pomocí elektronických a pomocných obvodů je tzv. termogram. Termogram můžeme pozorovat na monitoru infračervené kamery a jedná se o vizualizovaný infračervený snímek zkoumaného objektu. [57]



Obr.3.3.3-1 Termovizní snímek rozvaděče (převzato z:[59])

3.4 Parametry infračervené kamery

Infračervená kamera jako je charakteristická jako ostatní měřicí zařízení řadou technických parametrů. Tyto parametry společně s měřicími a vyhodnocovacími funkcemi infračervené kamery zásadním způsobem ovlivňují využitelnost infračervené kamery pro danou oblast zkoumání.

Základní parametry infračervených kamer

- teplotní rozsah
- spektrální rozsah
- teplotní citlivost
- přesnost stanovení teploty
- optické rozlišení detektoru
- zorné pole objektivu

3.4.1 Teplotní citlivost

Teplotní rozsah je parametr stanovující infračervenou kamerou nejnižší a nejvyšší možnou měřitelnou teplotu. V praxi se můžeme s infračervenými kamerami, které mají vícero teplotních rozsahů. Termogram s nevhodně zvoleným teplotním rozsahem není možné upravit pomocí počítačového programu. Z tohoto důvodu je nutné dbát na správné zvolení teplotního rozsahu v menu infračervené kamery. Bezdotykové stanovení povrchových teplot objektů lze v současnosti realizovat pomocí infračervených kamer v teplotním rozsahu se spodní hranicí -40°C a horní hranicí +3000°C. [60]

3.4.2 Spektrální rozsah

Spektrální rozsah infračervené kamery udává rozmezí vlnových délek infračerveného záření, které je schopná infračervená kamera detekovat. Infračervené kamery s tepelnými detektory jsou ve většině případů charakteristické spektrálním rozsahem 8μm až 14μm. Spektrální rozsahy vyráběných infračervených kamer jsou ovlivněny útlumem atmosféry. Infračervené záření určitých vlnových délek je zdroji útlumu, mezi které patří např. molekuly vody, či oxidu uhličitého zásadně potlačeno. Útlum atmosféry se projevuje především při měření povrchových teplot vzdálených objektů. [60]

3.4.3 Teplotní citlivost

Teplotní citlivost je u infračervených kamer vyjádřena pomocí parametru NETD (Noise equivalent temperature difference), který vyjadřuje nejmenší teplotní rozdíl na povrchu zkoumaného objektu se kterým je schopna infračervená kamera pracovat. Rozdílový signál vznikající právě v důsledku teplotního rozdílu na povrchu zkoumaného objektu eliminuje vliv vlastního šumu infračervené kamery. Z tohoto důvodu má teplotní citlivost jako parametr infračervené kamery zásadní vliv na kvalitu termovizního snímku. Teplotní citlivost se udává ve stupních Celsia nebo v Kelvinech. Vliv vlastního šumu infračervené kamery klesá s klesající teplotní citlivostí. Pro většinu aplikací jsou dostatečně infračervené kamery s teplotní citlivostí 50mK. [60]

3.4.4 Přesnost stanovení povrchových teplot

Přesnost stanovení povrchové teploty objektu je u infračervených kamer realizována pomocí dvou údajů. Prvním údajem je spodní a horní hranice nejistoty reprezentovaná absolutní hodnotou ve stupních Celsia. Druhým údajem je procentuálně stanovená spodní a horní hranice ze změřeného údaje. Při výběru údaje vyjadřujícího přesnost stanovení povrchové teploty vybíráme vždy ten s horší výslednou hodnotou. [60]

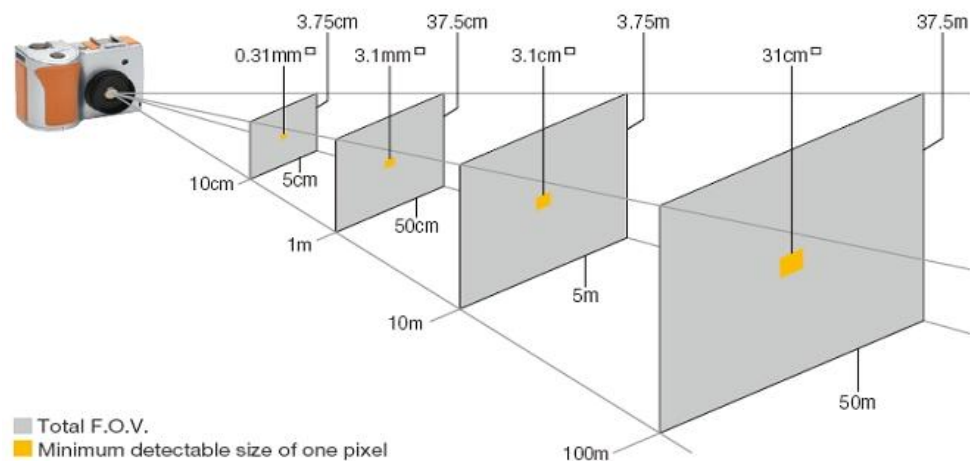
3.4.5 Optické rozlišení detektoru

Detektor infračervené kamery je reprezentován řadou samostatných detektorů, kde jednomu samostatnému detektoru odpovídá jednotka optického rozlišení o hodnotě jeden pixel. Optické rozlišení detektoru se udává jako u digitálního fotoaparátu v pixelech. Optické rozlišení detektoru podstatným způsobem ovlivňuje kvalitu termovizního snímku. Standardní optické rozlišení detektoru u infračervených kamer pro oblast stavebnictví je 320x240. V současnosti se ale setkáme s infračervenými kamerami o širokém spektru optických rozlišení. [60]

3.4.6 Zorné pole objektivu

Zorné pole (FOV) je velmi důležitým parametrem objektivu infračervené kamery, který určuje infračervenou kamerou viditelnou plochu. Zorné pole je udáváno ve stupních pomocí horizontálního úhlu (HFOV) a vertikálního úhlu (VFOV) v případě obdélníkového detektoru nebo pouze pomocí horizontálního úhlu (HFOV) v případě čtvercového detektoru. Dalším parametrem objektivů infračervených kamer je prostorové skutečné zorné pole. [33]

Prostorové skutečné zorné pole (IFOV) je udáváno v radiánech a slouží ke stanovení velikosti jednoho obrazového bodu v závislosti na vzdálenosti infračervené kamery od zkoumaného objektu. Měřitelnost zkoumaných objektů je udávána pomocí parametru objektivu s názvem nejmenší měřitelný objekt (SMO). Stanovení povrchových teplot velmi malých nebo velmi vzdálených objektů je problematické a pro tato specifická měření je nutné použít teleobjektiv. [33]



Obr.3.4.6-1 Změna velikosti jednoho pixelu v závislosti na změně vzdálenosti (převzato z:[62])

Výpočet obrazového bodu

$$P = 2 \cdot A \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{IFOV}{2} \right) (m) \quad (3.4.6.1)$$

P obrazový bod (m)

A vzdálenost od měřeného objektu (m)

$IFOV$ prostorové skutečné zorné pole ($^{\circ}$)

Podmínka měřitelnosti objektů

$$SMO \approx 2 \div 3 \cdot IFOV (m) \quad (3.4.6.2)$$

3.5 Stanovení termografických parametrů

Přesnost stanovení povrchových teplot objektů je ovlivněna termografickými parametry, mezi které patří teplota a relativní vlhkost vzduchu, emisivita zkoumaného objektu, odražená zdánlivá teplota a také vzdálenost mezi zkoumaným objektem a infračervenou kamerou. Infračervené kamery s nejlepší výbavou umožňují nastavení všech výše uvedených parametrů. [33]

Pro většinu infračervených kamer je ale standardem možnost nastavení emisivity povrchů zkoumaného objektu a odražené zdánlivé teploty. V případě měření objektů na malé vzdálenosti je totiž vliv parametrů atmosféry zanedbatelný, a proto není korekce těchto parametrů nutná. [33]

3.5.1 Teplota a relativní vlhkost vzduchu

Pro stanovení teploty a relativní vlhkosti vzduchu je vhodné použití tzv. termohydrografů. Termohydrograf vzniknul kombinací termografu a hydrografu a jedná se o zařízení, které je schopno realizovat grafický záznam teploty a relativní vlhkosti v určitém časovém intervalu. [33]



Obr.3.5.1-1 Termohydrograf (převzato z:[62])

3.5.2 Emisivita zkoumaného objektu

Možnosti stanovení emisivity

- tabulky
- kontaktní metoda
- využitím materiálu s referenční emisivitou

Stanovení emisivity pomocí tabulek

Emisivitu určitého materiálu lze stanovit z tabulek pro daný termografický systém. To znamená, že emisivita musí být stanovena pro pásmo vlnových délek infračerveného záření, které odpovídá použitému termografickému systému. Emisivita ale nemůže být vždy určena pomocí tabulek. Pokud nelze stanovit emisivitu pomocí tabulkové hodnoty, pak je emisivitu stanovit pomocí kontaktní metody nebo použitím materiálu s referenční emisivitou. [33]

Stanovení emisivity pomocí kontaktní metody

Stanovení emisivity pomocí kontaktní metody se provádí pouze pro určitý výsek konstrukce. Pomocí infračervené kamery se nastaví hodnota odražené zdánlivé teploty a funkce měření teplotního pole oblasti. Pomocí takto nastavené infračervené kamery se pořídí termogram výseku konstrukce. Dále se pomocí kalibrovaného kontaktního teploměru určí povrchová teplota výseku konstrukce. Emisivita zkoumaného objektu se určí pomocí infračervené kamery, pomocí které se musí emisivita měnit, dokud nebude průměrná povrchová teplota výseku konstrukce shodná s povrchovou teplotou naměřenou pomocí kalibrovaného teploměru. Stanovení emisivity pomocí kontaktní metody se v praxi provádí pro vícero konstrukčních výseků. [33]

Stanovení emisivity pomocí materiálu s referenční emisivitou

Před samotným měření vybraného reprezentativní výseku konstrukce pomocí infračervené kamery musí být na tento vybraný výsek konstrukce nanesen materiál s referenční emisivitou. Tento materiál se na konstrukci zkoumaného objektu aplikuje prostřednictvím speciálního spreje nebo lepenky. Po aplikaci materiálu s referenční emisivitou na vybraný výsek konstrukce musí být tento materiál aklimatizován na povrchovou teplotu konstrukce. Pomocí infračervené kamery s nastavenou referenční emisivitou se stanoví povrchová teplota oblasti vybraného výseku konstrukce o známé referenční emisivitě. Poté se pomocí infračervené kamery stanovuje povrchová teplota oblasti bezprostředního okolí místa aplikace materiálu s referenční emisivitou. Pomocí infračervené kamery se následně mění emisivita oblasti bezprostředního okolí tak, aby průměrná povrchová teplota této oblasti odpovídala průměrné povrchové teplotě vybraného výseku konstrukce se známou referenční emisivitou. Emisivita materiálu pro dané podmínky je rovna emisivitě nastavené pomocí infračervené kamery, při které došlo ke shodě průměrných povrchových teplot. [33]

3.5.3 Odražená zdánlivá teplota

Možnosti stanovení odražené zdánlivé teploty

- Přímá metoda
- Metoda odrazu

Stanovení odražené zdánlivé teploty pomocí přímé metody

Pomocí infračervené kamery s nastavenou emisivitou odpovídající emisivitě absolutně černého tělesa provedeme z očekávaného místa snímání objektu odhad úhlu dopadu a odrazu β infračerveného záření od okolních objektů nebo oblohy.

Následně se infračervená kamera přesune do prostoru zkoumaného objektu a pod úhlem 2β oproti původnímu směru stanoví průměrnou odraženou zdánlivou teplotu od okolních objektů nebo oblohy. [33]

Stanovení odražené zdánlivé teploty pomocí metody odrazu

Pro stanovení odražené zdánlivé teploty pomocí metody odrazu je nutný infračervený reflektor, který by svými vlastnostmi odpovídal modelu Lambertova zářiče. Infračervený reflektor musí být umístěn před snímaným objektem tak, aby byl s tímto objektem rovnoběžný. Pomocí infračervené kamery s nastavenou emisivitou odpovídající emisivitě absolutně černého tělesa se z očekávaného místa snímání stanoví v ploše reflektoru průměrná odražená zdánlivá teplota. [33]

3.6 Metodiky termografického měření

V rámci termografické diagnostiky budov se používají dvě základní metodiky měření:

- absolutní měření povrchových teplot
- srovnávací termografie
 - kvalitativní termografie
 - kvantitativní termografie

Absolutní měření povrchových teplot

Tato metodika měření se používá k přesnému stanovení povrchových teplot objektů. Tato metodika termografického měření je velice náročná, jelikož přesnost stanovení povrchových teplot závisí na přesnosti stanovení termografických parametrů a také na použité termografické technice. [33]

Srovnávací termografie

Srovnávací termografie vychází z porovnávání povrchových teplot na jednom nebo více termogramech. Toto porovnání může být realizováno vizuálně dle barvy teplotního reliéfu nebo podle přibližné hodnoty povrchové teploty. [33]

Kvalitativní termografie

Principem kvalitativní termografie je porovnání povrchových teplot stejné konstrukce v různých časových okamžicích při obdobných podmínkách. Při kvalitativní termografii se porovnává pouze rozložení povrchových teplot na sledovaných místech zkoumaného objektu. Kvalitativní termografie se používá pouze k detekci anomálií v teplotním poli. Pro stanovení závažnosti anomálií v teplotním poli daných objektů se používá kvantitativní termografie. [33]

Kvantitativní termografie

V rámci kvalitativní termografie se stanovují absolutní povrchové teploty s určitou mírou nejistoty. Pokud je stanovená povrchová teplota konstrukce nižší než povrchová teplota požadovaná normou ČSN 73 0540-2, pak lze považovat danou konstrukci za vadnou. Pro stanovení příčiny a závažnosti anomálie v teplotním poli se v rámci kvantitativní termografie používá výpočtové posouzení. [33]

3.7 Klimatické podmínky pro termovizní diagnostiku budov

V České republice je oblast termovizní diagnostiky upravena normou ČSN EN 13187. Norma ČSN EN 13187 stanovuje postupy pro pořízení a vyhodnocení infračervených snímků. Obsahem normy ČSN EN 113 187 jsou také klimatické podmínky pro termografickou diagnostiku. [33]

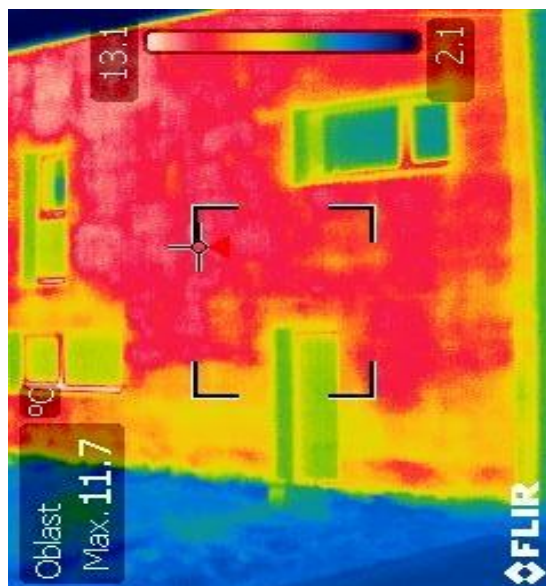
Klimatické podmínky při měření v terénu

- nejméně 24 hodin před začátkem zkoušky se nesmí teplota vzduchu v exteriéru lišit od teploty interiéru na začátku zkoušky o více než $\pm 10^{\circ}\text{C}$.
- nejméně 24 hodin před započítáním zkoušky a během zkoušky nesmí být rozdíl mezi teplotou vzduchu mezi vnitřní a vnější stranou obvodového pláště menší než číselná hodnota $3/U$, kde U je teoretická hodnota prostupu tepla stavebním prvkem ve $(\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K})$, ale nikdy menší než 5°C .
- nejméně 12 hodin před začátkem zkoušky a během zkoušky nesmí být povrch zkoušeného pláště vystaven přímému slunečnímu záření.
- během zkoušky se teplota vnějšího vzduchu nesmí lišit o více než $\pm 5^{\circ}\text{C}$ a vnitřní teplota vzduchu o více než $\pm 2^{\circ}\text{C}$ od odpovídajících hodnot na začátku zkoušky. [63]

Obecní podmínky pro exteriérovou termovizní diagnostiku budov

- venkovní teplota méně než 5°C
- 12 hodin před měřením ani v jeho průběhu nesmí na diagnostikovaný objekt působit přímý sluneční svit
- rozdíl teplot interiéru a exteriéru minimálně 15°C alespoň 24 hodin před měřením
- zavřená okna a dveře na obvodovém plášti budovy
- rychlost větru $\leq 10 \text{ km/h}$
- měření nesmí být provedeno za hustého sněžení
- měření nesmí být provedeno za mlhy
- 24 hodin před měřením a v jeho průběhu by nemělo pršet [64]

Ukázka termogramu pořízeného za nevhodných klimatických podmínek (po východu Slunce)



Obr. 3.7-1 Vliv přímého slunečního svitu na povrchovou teplotu fasády rodinného domu

3.8 Měřicí protokol z infračervené termografie analyzovaného objektu

Měřicí protokol z infračervené termografie

Zadavatel:

Bc. Luboš Novotný, DiS.

Infračervenou termografii provedl:

Doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc., Bc. Jan Jirovský

Protokol z infračervené termografie vypracoval:

Bc. Jan Jirovský

Datum provedení infračervené termografie:

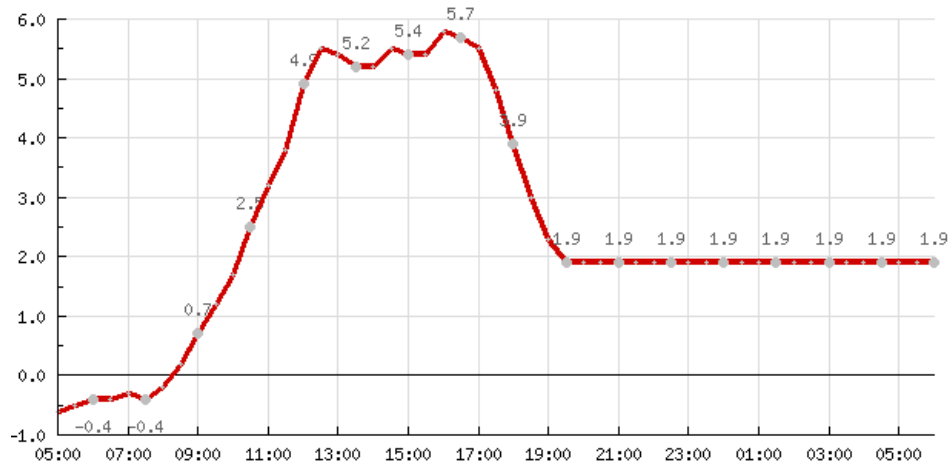
25. 2. 2015

Klimatické podmínky během infračervené termografie:

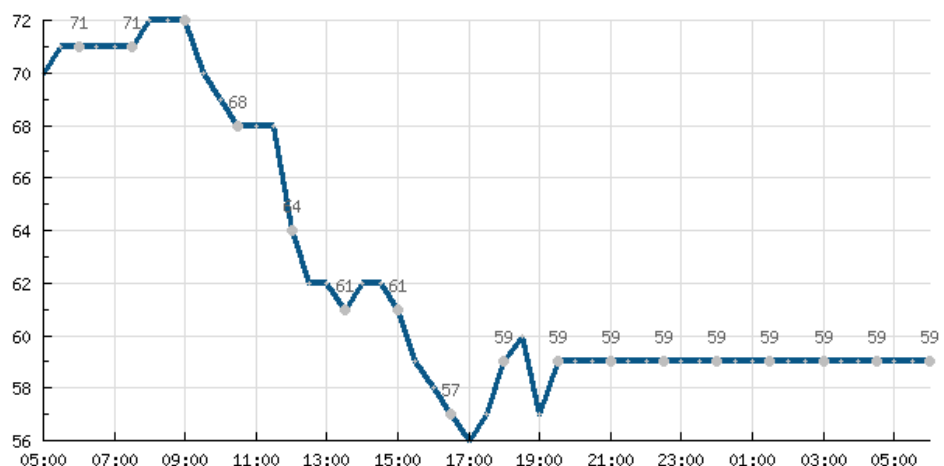
Čas provedení diagnostiky: 18:30 – 19:00 hod

Průměrná teplota vzduchu exteriéru během diagnostiky: 0°C

Průměrná teplota vzduchu interiéru během diagnostiky: 20°C



Rozložení teploty vzduchu venkovního prostředí (°C) v dané lokalitě dne 25. 2. 2015 [65]

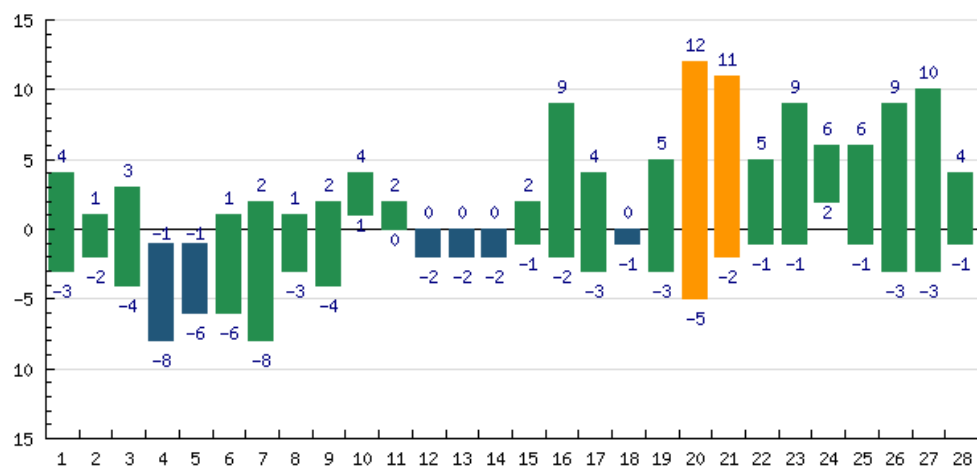


Rozložení vlhkosti vzduchu venkovního prostředí (%) v dané lokalitě dne 25. 2. 2015 [65]



Rozložení rychlosti větru (m/s) v dané lokalitě dne 25. 2. 2015 [65]

Minimální a maximální teploty vzduchu v exteriéru v časovém úseku 24 hodin před měřením:



Minimální a maximální denní teploty pro danou lokalitu za měsíc únor roku 2015[65]

Použitý termografický systém:

Infračervená kamera FLIR 335i

Stručný popis zkoumaného objektu:

Pasivní rodinný dům řešený v rámci dotačního programu Zelená úsporám. Z hlediska typologie objektu se jedná o dvoupatrovou nepodsklepenou stavbu s plochou jednoplášťovou střechou. Stavba je založena na pěnovém skle a obvodové zdivo má řešené pomocí vápenopískových tvárnic Kalksandstein Zapf Daigfuss. Obvodové zdivo je zatepleno velmi kvalitním fasádním polystyrenem Styrotrade EPS 100. Rodinný dům je vybaven kvalitními dřevohliníkovými okny se solárními trojskly od společnosti Internorm. Větrání a vytápění objektu je realizováno pomocí větrací jednotky Nilan VP 18 K.

Fotografie zkoumaného objektuStanovení emisivity zkoumaného objektu:

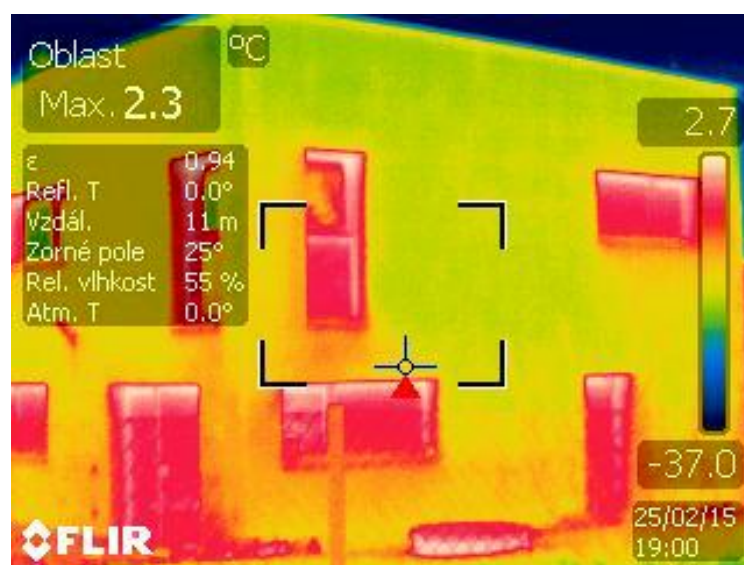
Emisivita zkoumaného objektu byla stanovena in situ (prostřednictvím infračervené kamery) na hodnotu 0,94.

Stanovení odražené zdánlivé teploty:

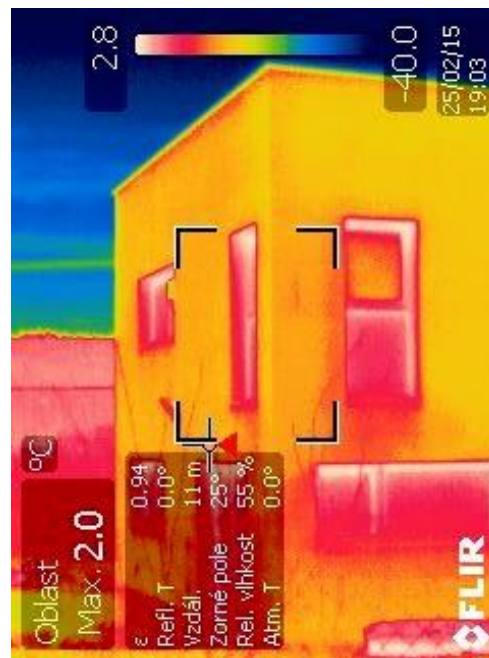
Vliv odražené zdánlivé teploty byl v rámci měření zanedbán.

Metodika infračervené termografie:

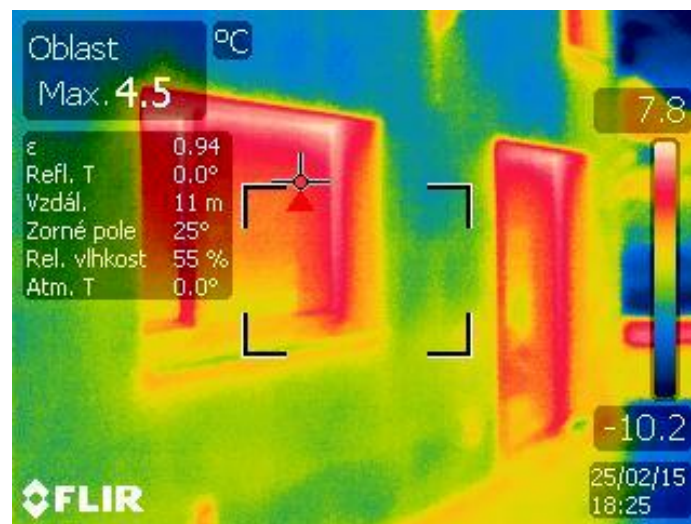
Srovnávací termografie (Povrchové teploty se na jednom nebo více termogramech porovnávají vizuálně dle barvy teplotního reliéfu zkoumaného objektu)

Vybrané snímky z infračervené termografie:

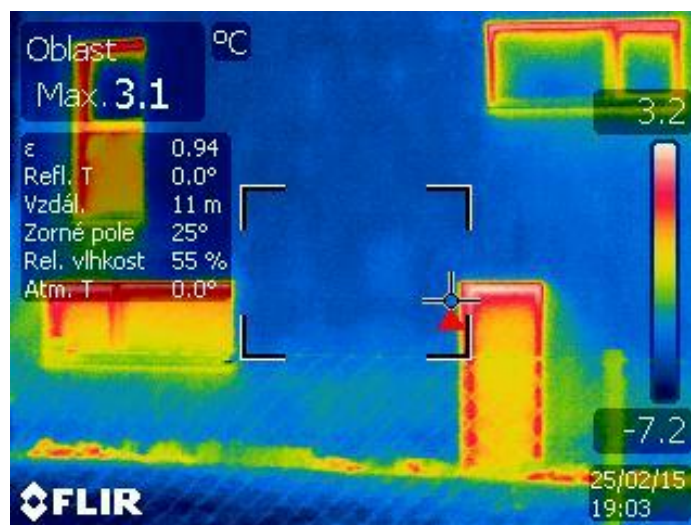
Termogram 3.8-1



Termogram 3.8-2



Termogram 3.8-3



Termogram 3.8-4

Vyhodnocení:

Na termogramech 3.8-1 – 3.8-4 jsou z hlediska rozložení povrchových teplot viditelné zvýšené tepelné úniky v oblasti konstrukčních otvorů objektu.

Na detailních termogramech 3.8-3 a 3.8-4 jsou diagnostikované zvýšené tepelné úniky, které se vyskytují v oblasti ostění konstrukčních otvorů, a to především v oblasti spojení betonového překladu s rámy konstrukčních otvorů.

V oblasti obvodového zdiva naopak není u analyzovaných termogramů viditelná výrazná teplotní anomálie.

4 Hodnocení energetické náročnosti budov

4.1 Směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti

Na zasedání Evropské rady dne 9. 3. 2007 byla zdůrazněna potřeba zvyšování energetické účinnosti za účelem dosažení cíle snížení spotřeby energie EU o 20% do roku 2020. Na tuto potřebu zareagovala Evropská komise na mimořádném zasedání v roce 2008 představením legislativního balíčku. Tento legislativní balíček je reprezentován souborem opatření, která si kladou za cíl snížit celkové emise skleníkových plynů o 20% oproti roku 1990 a zvýšit podíl obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě energie EU o 20%. S ohledem na tyto stanovené cíle byla Evropským parlamentem a Radou byla směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/91/ES o energetické náročnosti nahrazena směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti. [66]

Směrnice Evropského parlamentu a rady 2010/31/EU

V rámci směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU jsou stanoveny požadavky pro:

- společný obecný rámec metody výpočtu energetické náročnosti budov a ucelených částí budov;
 - uplatnění minimálních požadavků na energetickou náročnost nových budov a nových ucelených částí budov;
 - uplatnění minimálních požadavků na energetickou náročnost stávajících budov, ucelených částí budov a prvků budov, které jsou předmětem větší renovace, prvků budov, jež jsou součástí obvodového pláště budovy a mají významný dopad na jeho energetickou náročnost, technických systémů budovy při jejich instalaci, nahrazení nebo modernizaci;
 - vnitrostátní plány na zvýšení počtu budov s téměř nulovou spotřebou energie;
 - energetickou certifikaci budov nebo ucelených částí budov;
 - pravidelnou inspekci otopných soustav a klimatizačních systémů v budovách;
 - nezávislé systémy kontroly certifikátů energetické náročnosti a inspekčních zpráv;
- [67]

Ve směrnici Evropského parlamentu 2010/31/EU o energetické náročnosti budov je mimo jiné implementován termín budova s téměř nulovou spotřebou energie. Směrnice 2010/31/EU ukládá v článku 9 členských státům EU povinnost zajistit aby:

- do 31. 12. 2020 všechny nové budovy byly budovami s téměř nulovou spotřebou energie
- nové budovy užívané a vlastněné orgány veřejné moci byly po dni 31. 12. 2018 budovami s téměř nulovou spotřebou energie [67]

4.2 Reakce české legislativy na směrnici 2010/31/EU

Na směrnici 2010/31/EU o energetické náročnosti zareagovala Česká republika změnou zákona č.406/2000 Sb. o hospodaření energií. Zákon č.406/2000 Sb. byl dne 19. 7. 2012 nahrazen zákonem č.318/2012 Sb. Zákon č.318/2012 Sb. stanovuje mimo jiné okruh osob, které mají povinnost nechat si zpracovat průkaz energetické náročnosti budovy. Před vydáním novely zákona o hospodaření energií se týkala povinnost zpracovat průkaz energetické náročnosti pouze nových budov a větších změn dokončených budov s podlahovou plochou nad 1000 m². Stavebník, vlastník budovy nebo společenství majitelů jednotek je podle zákona č.318/2012 Sb. o hospodaření energií povinen zajistit zpracování průkazu energetické náročnosti při výstavbě nových budov nebo při větších změnách dokončených budov. [66, 67]

Dále je nutné zpracovat průkaz energetické náročnosti pro:

- budovy užívané orgánem veřejné moci od 1. 7. 2013 s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 500 m² a od 1. 7. 2015 s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 250 m²
- užívané bytové domy nebo administrativní budovy
 - s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 1500 m² do 1. 1. 2015
 - s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 1000 m² do 1. 1. 2017
 - s celkovou energeticky vztažnou plochou menší než 100 m² do 1. 1. 2019 [67]

Zákon č.318/2012 Sb. o hospodaření energií v §7 o snižování energetické náročnosti budov definuje, že v případě výstavby nové budovy je povinen stavebník plnit požadavky na energetickou náročnost podle prováděcího právního předpisu a při podání žádosti o stavební povolení nebo ohlášení stavby doložit kladným závazným stanoviskem dotčeného orgánu dle §13 splnění požadavků na energetickou náročnost:

- budovy na nákladově optimální úrovni od 1. 1. 2013.
- budovy s téměř nulovou spotřebou energie a to v případě že jejím vlastníkem a uživatelem je orgán veřejné moci nebo subjekt zřízený orgánem veřejné moci a jejíž celková energeticky vztažná plocha bude:
 - > 1500 m², a to od 1. 1. 2016
 - > 350 m², a to od 1. 1. 2017
 - < 350 m², a to od 1. 1. 2018
- budovy s téměř nulovou spotřebou energie, a to v případě budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou:
 - > 1500 m², a to od 1. 1. 2018
 - > 350 m², a to od 1. 1. 2019
 - < 350 m², a to od 1. 1. 2020 [67]

Dále je také povinen doložit průkazem energetické náročnosti budovy posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie. Při větší změně dokončené budovy jsou stavebník, vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek povinni plnit požadavky na energetickou náročnost dle platného prováděcího předpisu a stavebník je povinen při podání žádosti o stavební povolení nebo ohlášení stavby doložit průkazem energetické náročnosti budovy:

- splnění požadavků na energetickou náročnost budovy na nákladově optimální úrovni pro budovu nebo pro měněné stavební prvky obálky budovy a měněné technické systémy podle prováděcího právního předpisu
- posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie podle prováděcího právního předpisu
- stanovení doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy podle prováděcího právního předpisu [67]

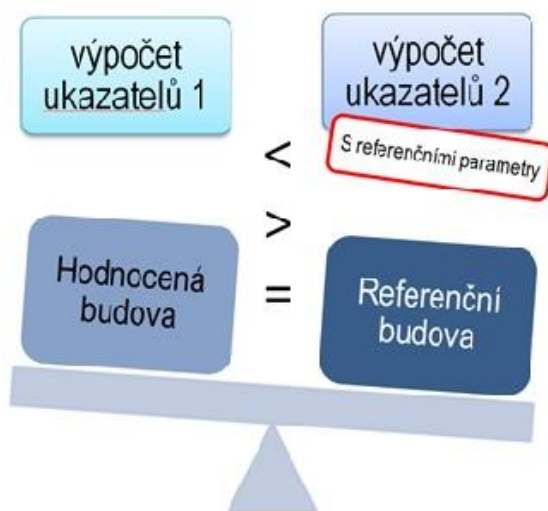
4.3 Vyhláška č.78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov

V rámci zákona č.318/2012 Sb. o hospodaření energií jsou rozpracovány jednotlivé oblasti tohoto zákona souborem prováděcích vyhlášek. Vyhláška č.78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov rozpracovává oblast energetické náročnosti budov a stanovuje:

- nákladově optimální úroveň požadavků na energetickou náročnost budovy pro nové budovy, větší změny dokončených budov, jiné než větší změny dokončených budov a pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie
- metodu výpočtu energetické náročnosti budovy
- vzor posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie
- vzor stanovení doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy
- vzor a obsah průkazu a způsob jeho zpracování
- umístění průkazu v budově [67, 68]

4.3.1 Metodika výpočtu energetické náročnosti budov

Vyhláška č.78/2013 Sb. stanovuje pro hodnocení energetické náročnosti budov výpočtový postup metodou referenční budovy. Metodika hodnocení energetické náročnosti budov metodou referenční budovy je založena na principu porovnání hodnocené budovy s budovou referenční. [65, 67]



Obr.1-1 Princip hodnocení energetické náročnosti budov (převzato z: [69])

Referenční budova

Referenční budovou se dle vyhlášky č.78/2013 Sb. rozumí výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů. [67, 68]

Referenční budova je charakteristická referenčními hodnotami parametrů popisujících obálku budovy (součinitel prostupu tepla, celková propustnost slunečního záření apod.), vnitřní tepelnou kapacitu budovy, účinnost TZB a osvětlení. U referenční budovy není respektována vlastní produkce energie a využití obnovitelných zdrojů energie. [67, 68]

4.3.2 Ukazatele energetické náročnosti budovy

- Celková primární energie za rok
- **Neobnovitelná primární energie za rok**
- **Celková dodaná energie za rok**
- Dílčí dodané energie pro technické systémy budovy za rok
- **Průměrný součinitel prostupu tepla**
- Součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici
- Účinnost technických systémů

Terminologie

Primární energie je energie, která neprošla žádným procesem přeměny. Celková primární energie je dána součtem obnovitelné a neobnovitelné primární energie.

Celková primární energie a **neobnovitelná primární energie** pro hodnocenou budovu se vypočítají jako součet součinů dodané energie v rozdělení po jednotlivých energonositelích a příslušných faktorů primární energie.

Dodaná energie je součtem vypočtené spotřeby energie a pomocné energie. Výpočet celkové dodané energie a dílčích dodaných energií se provede výpočtovou metodou s intervalem nejvýše jednoho měsíce a po jednotlivých zónách.

Celková dodaná energie do budovy se stanoví součtem dílčích dodaných energií a vyjádří se také po jednotlivých energonositelích.

Energonositelem je hmota nebo jev, které mohou být použity k výrobě mechanické práce nebo tepla nebo na ovládání chemických nebo fyzikálních procesů.

Faktorem primární energie je koeficient, kterým se násobí složky dodané energie po jednotlivých energonositelích k získání odpovídajícího množství celkové primární energie.

Faktorem neobnovitelné primární energie je koeficient, kterým se násobí složky dodané energie po jednotlivých energonositelích k získání odpovídajícího množství neobnovitelné primární energie.

Výpočet **průměrného součinitele prostupu tepla** a součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici se provede dle ČSN EN 73 0540-2. [68]

Tab.4.3.2-1 Hodnoty faktorů primární energie pro hodnocenou budovu [68]

Energonositel	Faktor celkové primární energie (-)	Faktor neobnovitelné primární energie (-)
Zemní plyn	1,1	1,1
Černé uhlí	1,1	1,1
Hnědé uhlí	1,1	1,1
Propan butan/LPG	1,2	1,2
Topný olej	1,2	1,2
Elektřina	3,2	3,0
Dřevěné peletky	1,2	0,2
Kusové dřevo	1,1	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina, teplo)	1,0	0,0
Elektřina- dodávka mimo budovu	-3,2	-3,0
Teplo dodávka mimo budovu	-1,1	-1,0
Soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 80% podílem obnovitelných zdrojů	1,1	0,1
Soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 50% podílem a nejvýše 80% podílem obnovitelných zdrojů	1,1	0,3
Soustava zásobování tepelnou energií s 50% a nižším podílem obnovitelných zdrojů	1,1	1,0
Ostatní neuvedené energonositele	1,2	1,2

Tab.4.3.2-2 Požadavky na splnění ukazatele energetické náročnosti pro nové a rekonstruované budovy [68]

Ukazatel energetické náročnosti	Požadavek na splnění ukazatele energetické náročnosti		
	Typ budovy A	Typ budovy B	
		Varianta 1	Varianta 2
Celková primární energie za rok			
Neobnovitelná primární energie za rok	X	X	
Celková dodaná energie za rok	X		X
Dílčí dodané energie pro TZB			
Průměrný součinitel prostupu tepla	X	X	X
Dílčí součinitele prostupu tepla			
Účinnost technických systémů			

Poznámka k tabulce 4.3.2-1: Typ budovy A: Nová budova
Typ budovy B: Větší změna dokončené budovy

U budovy typu B lze dále splnit pouze požadavek na součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici budovy pro měněné prvky budovy. Analogicky lze pro měněné technické systémy budovy splnit pouze požadavky na účinnost technických systémů. Požadavky na energetickou náročnost nové budovy a budovy s téměř nulovou spotřebou energie, stanovené na nákladově optimální úrovni, jsou splněny, pokud hodnoty ukazatelů energetické náročnosti pro budovu typu A uvedené v tab. 4.3.2-1 nejsou vyšší než referenční hodnoty ukazatelů energetické náročnosti pro budovu referenční. [67, 68]

Požadavky na energetickou náročnost při větší změně dokončené budovy a při jiné než větší změně dokončené budovy, stanovené výpočtem na nákladově optimální úrovni, jsou splněny, pokud hodnoty ukazatelů energetické náročnosti pro budovu typu B uvedené v tab. 1-1 nejsou vyšší než referenční hodnoty ukazatelů energetické náročnosti pro budovu referenční. [67, 68]

Klasifikační třídy energetické náročnosti budovy

Tab. 4.3.2-3 Klasifikační třídy energetické náročnosti budovy dle Vyhlášky č.78/2013 Sb.[68]

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy		Vyjádření klasifikační třídy
	Energie (kWh/m ² ·rok)	U _{em} (W/(m ² ·rok))	
A	0,5 * E _r	0,65 * E _r	Mimořádně úsporná
B	0,75 * E _r	0,8 * E _r	Velmi úsporná
C	E _r		Úsporná
D	1,5 * E _r		Méně úsporná
E	2 * E _r		Nehospodárná
F	2,5 * E _r		Velmi nehospodárná
G			Mimořádně nehospodárná

Hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy a referenční budovy se stanovují výpočtem na základě projektové dokumentace a technické dokumentace technických zařízení hodnocené budovy. [67, 68]

Pro výpočet referenčních hodnot ukazatelů energetické náročnosti referenční budovy se použijí dle vyhlášky č.78/2013 Sb. hodnoty parametrů budovy, stavebních prvků a konstrukcí a technických systémů budovy uvedené v příloze č. 1 k této vyhlášce a parametry typického užívání budovy. [67, 68]

4.3.3 TNI 730 331 Energetická náročnost budov-Typické hodnoty pro výpočet

Zpracování průkazu energetické náročnosti se provádí ve výpočtových nástrojích, které při výpočtu energetické náročnosti využívají výpočtovou metodiku respektující platné evropské a národní normy. [70]

Do těchto výpočtových nástrojů zadává uživatel hodnoty parametrů popisující hodnocenou budovu. Referenční budova má k některým těmto parametrům pevně nastavené referenční hodnoty podle vyhlášky č.78/2013 Sb. Technická normalizační informace 730 331 byla vyvinuta z důvodu nedostupnosti souhrnného materiálu technických systémů budov, hodnot parametrů popisující typické užívání budovy a klimatických dat. Tato technická normalizační informace obsahuje jednotnou metodou zpracované a souměřitelné hodnoty typických parametrů používaných v rámci výpočtu energetické náročnosti budov dle platné legislativy. [70]

Tab. 4.3.3-1 Výběr parametrů a hodnot referenční hodnoty z tabulky č. 1 přílohy č. 1 Vyhlášky č.78/2013 Sb.[68]

Parametr	Označení	Jednotky	Referenční hodnota		
			Dokončená budova a její změna po 1. 1. 2015	Nová budova po 1. 1. 2015	Budova s téměř nulovou spotřebou energie
Redukční činitel požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla	f_r	-	1,00	0,80	0,70
Průměrný součinitel prostupu tepla jednozónové budovy nebo dílčí zóny vícezónové budovy	$U_{em,R}$	W/(m ² ·K)	hodnota dle (4) přílohy č. 1 Vyhlášky č.78/2013 Sb.		
Průměrný součinitel prostupu tepla vícezónové budovy	$U_{em,R}$	W/(m ² ·K)	hodnota dle (7) přílohy č. 1 Vyhlášky č.78/2013 Sb.		
Přirážka na vliv tepelných vazeb	$\Delta U_{em,R}$	W/(m ² ·K)	0,02		
Vnitřní tepelná kapacita	C_R	kJ/(m ² ·K)	165,00		
Celková propustnost slunečního záření	g_R	-	0,50		
Činitel clonění aktivními stínícími prvky pro režim chlazení	$F_{sh,R}$	-	0,20		
Vyrobená elektřina	$Q_{el,R}$	(kWh)	0,00		
Využitá energie slunečního záření, energie větru a geotermální energie	$Q_{env,R}$	(kWh)	0,00		

4.3.4 Výpočtové nástroje pro návrh PENB

- PROTECH (modul Průkaz 2013)
- PHPP
- DEKSOFT (modul Energetika)
- SVOBODA SOFTWARE Energie 2015

4.3.5 Použitý výpočtový nástroj pro návrh PENB

SVODODA SOFTWARE Energie 2015

Program Energie 2015 je určen pro komplexní hodnocení energetické náročnosti budov. Při výpočtu energetické náročnosti jsou zohledněny postupy a požadavky ČSN 73 0540, TNI 7300329, TNI 730330, TNI 730 331, STN 730540, EN ISO 13790, EN ISO 13370, EN ISO 13789 a dalších evropských norem. Průkaz energetické náročnosti budov zpracovává podle vyhlášky MP ČR č. 78/2013 Sb. Výpočtový program Energie 2015 umožňuje výpočet průměrného součinitele prostupu tepla budovy, měrných tepelných toků, potřeby tepla na vytápění, dílčích dodaných energií (vytápění, chlazení, přípravu TUV, nucené větrání, úpravu vlhkosti vzduchu a osvětlení), produkce energie (solárními kolektory, fotovoltaickým systémem, kogenerací), celkové dodané energie, primární energie (celkové i neobnovitelné) a emisí CO₂. [71]



Obr.4.3.5-1 Grafické znázornění PENB generované programem Energie 2015 (převzato z: [71])

4.3.6 Protokol o výpočtu energetické náročnosti analyzované pasivního domu

VÝPOČET ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV A PRŮMĚRNÉHO SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA podle vyhlášky č. 78/2013 Sb. a ČSN 730540-2

a podle EN ISO 13790, EN ISO 13789 a EN ISO 13370

Energie 2015

Název úlohy: **RD Předenice**
Zpracovatel: Jan Jirovský (Energomex s.r.o.)
Zakázka:
Datum: 26. 4. 2016

ZADANÉ OKRAJOVÉ PODMÍNKY:

Počet zón v budově: 1
Typ výpočtu potřeby energie: měsíční (pro jednotlivé měsíce v roce)

Okrajové podmínky výpočtu:

Název období	Počet dnů	Teplota exteriéru	Celková energie globálního slunečního záření [MJ/m ²]				
			Sever	Jih	Východ	Západ	Horizont
leden	31	-1,3 C	29,5	123,1	50,8	50,8	74,9
únor	28	-0,1 C	48,2	184,0	91,8	91,8	133,2
březen	31	3,7 C	91,1	267,8	168,8	168,8	259,9
duben	30	8,1 C	129,6	308,5	267,1	267,1	409,7
květen	31	13,3 C	176,8	313,2	313,2	313,2	535,7
červen	30	16,1 C	186,5	272,2	324,0	324,0	526,3
červenec	31	18,0 C	184,7	281,2	302,8	302,8	519,5
srpen	31	17,9 C	152,6	345,6	289,4	289,4	490,3
září	30	13,5 C	103,7	280,1	191,9	191,9	313,6
říjen	31	8,3 C	67,0	267,8	139,3	139,3	203,4
listopad	30	3,2 C	33,8	163,4	64,8	64,8	90,7
prosinec	31	0,5 C	21,6	104,4	40,3	40,3	53,6

Název období	Počet dnů	Teplota exteriéru	Celková energie globálního slunečního záření [MJ/m ²]			
			SV	SZ	JV	JZ
leden	31	-1,3 C	29,5	29,5	96,5	96,5
únor	28	-0,1 C	53,3	53,3	147,6	147,6
březen	31	3,7 C	107,3	107,3	232,9	232,9
duben	30	8,1 C	181,4	181,4	311,0	311,0
květen	31	13,3 C	235,8	235,8	332,3	332,3
červen	30	16,1 C	254,2	254,2	316,1	316,1
červenec	31	18,0 C	238,3	238,3	308,2	308,2
srpen	31	17,9 C	203,4	203,4	340,2	340,2
září	30	13,5 C	127,1	127,1	248,8	248,8
říjen	31	8,3 C	77,8	77,8	217,1	217,1
listopad	30	3,2 C	33,8	33,8	121,7	121,7
prosinec	31	0,5 C	21,6	21,6	83,2	83,2

PARAMETRY JEDNOTLIVÝCH ZÓN V BUDOVĚ :**PARAMETRY ZÓNY Č. 1 :****Základní popis zóny**

Název zóny:	Obytná
Typ zóny pro určení Uem,N:	jiná než nová obytná budova
Typ zóny pro refer. budovu:	rodinný dům
Typ hodnocení:	jiný účel posouzení
Obsazenost zóny:	40,0 m2/osobu
Uvažovaný počet osob v zóně:	3,3 (použije se pro stanovení roční potřeby teplé vody)
Objem z vnějších rozměrů:	535,08 m3
Podlah. plocha (celková vnitřní):	132,8 m2
Celk. energet. vztažná plocha:	165,6 m2
Účinná vnitřní tepelná kapacita:	165,0 kJ/(m2.K)
Vnitřní teplota (zima/léto):	20,0 C / 20,0 C
Zóna je vytápěna/chlazená:	ano / ne
Typ vytápění:	nepřerušované
Regulace otopné soustavy:	ano
Průměrné vnitřní zisky:	306 W
..... odvozeny pro	<ul style="list-style-type: none"> · produkci tepla: 1,5+3,0 W/m2 (osoby+spotřebiče) · časový podíl produkce: 70+20 % (osoby+spotřebiče) · zohlednění spotřebičů: jen zisky · minimální přípustnou osvětlenost: 90,0 lx · měrný příkon osvětlení: 0,05 W/(m2.lx) · činitel obsazenosti 1,0 a závislosti na denním světle 1,0 · roční dobu využití osvětlení ve dne/v noci: 900 / 600 h · prům. účinnost osvětlení: 15 % · další tepelné zisky: 0,0 W
Potřeba tepla na přípravu TV:	9062,66 MJ/rok
..... odvozeno pro	<ul style="list-style-type: none"> · denní potřebu teplé vody: 40,0 l/(osobu.den) · roční potřebu teplé vody: 48,2 m3 · teplotní rozdíl pro ohřev: (55,0 - 10,0) C
Zpětně získané teplo mimo VZT:	0,0 MJ/rok

Zdroje tepla na vytápění v zóně

Teplovzdušné vytápění:	ano (podíl 55,0 %)
Přiváděný vzduch:	Teplovzdušné vytápění je součástí systému nuceného větrání. 40,0 C (recirkulace: 0,0 %*)
Účinnost sdílení/distribuce pro VZT:	90,0 % / 89,0 %

Zdroj tepla č. 1 a na něj napojená otopná soustava:

Název zdroje tepla:	Tepelné čerpadlo (podíl 55,0 %)
Typ zdroje tepla:	tepelné čerpadlo
Parametr COP:	1,5
Účinnost sdílení/distribuce:	90,0 % / 89,0 %
Příkon čerpadel vytápění:	0,0 W (prům. roční příkon)
Příkon regulace/emise tepla:	0,0 / 0,0 W

Zdroj tepla č. 2 a na něj napojená otopná soustava:

Název zdroje tepla:	Elektrické zdroje (podíl 45,0 %)
Typ zdroje tepla:	obecný zdroj tepla (např. kotel)
Účinnost výroby tepla:	94,0 %
Účinnost sdílení/distribuce:	91,0 % / 100,0 %
Čerpadla:	zdroj zapojen do soustavy s čerpadly u zdroje č. 1
Regulace a emise:	zdroj zapojen do soustavy s příkony u zdroje č. 1

Ventilátory systémů nuceného větrání, vytápění a chlazení vzduchem

Prům. měrný příkon VZT jednotky:	2750,0 Ws/m3 (platí pro 2 ventilátory: přívodní a odvodní)
Váhový činitel regulace:	0,7

Zdroje tepla na přípravu TV v zóně

Název zdroje tepla:	Tepelné čerpadlo (podíl 70,0 %)
Typ zdroje přípravy TV:	tepelné čerpadlo (1. zdroj tepla)
Topný faktor pro přípravu TV:	2,7
Název zdroje tepla:	Elektrické zdroje (podíl 30,0 %)
Typ zdroje přípravy TV:	obecný zdroj tepla (např. kotel)
Účinnost zdroje přípravy TV:	94,0 %
Objem zásobníku TV:	180,0 l
Měrná tep. ztráta zásobníku TV:	7,9 Wh/(l.d)
Délka rozvodů TV:	25,0 m
Měrná tep. ztráta rozvodů TV:	44,7 Wh/(m.d)
Příkon čerpadel distribuce TV:	100,0 W
Příkon regulace:	50,0 W

Měrný tepelný tok větráním zóny č. 1 :

Objem vzduchu v zóně:	428,064 m ³
Podíl vzduchu z objemu zóny:	80,0 %
Typ větrání zóny:	nucené (mechanický větrací systém)
Objem.tok přiváděného vzduchu:	128,42 m ³ /h
Objem.tok odváděného vzduchu:	128,42 m ³ /h
Násobnost výměny při dP=50Pa:	0,6 1/h
Součinitel větrné expozice e:	0,01
Součinitel větrné expozice f:	20,0
Účinnost zpětného získávání tepla:	75,0 %
Podíl času s nuceným větráním:	70,8 %
Výměna bez nuceného větrání:	0,0 1/h
Měrný tepelný tok větráním Hv:	8,349 W/K

Měrný tepelný tok prostupem mezi zónou č. 1 a exteriérem :

Název konstrukce	Plocha [m ²]	U [W/m ² K]	b [-]	H,T [W/K]	U,N,20 [W/m ² K]
SO1	187,96	0,147	1,00	27,630	0,300
SCH	87,5	0,093	1,00	8,138	0,240
OT4	2,5 (2,5x1,0 x 1)	0,647	1,00	1,618	1,500
OT5	2,2 (2,2x1,0 x 1)	0,650	1,00	1,430	1,500
OT8	2,25 (2,25x1,0 x 1)	0,650	1,00	1,462	1,500
OT9	2,15 (2,15x1,0 x 1)	0,650	1,00	1,398	1,500
OT2	5,65 (5,65x1,0 x 1)	0,640	1,00	3,616	1,500
OT3	5,5 (5,5x1,0 x 1)	0,630	1,00	3,465	1,500
OT7	2,69 (2,69x1,0 x 1)	0,640	1,00	1,722	1,500
OT6	1,11 (1,11x1,0 x 1)	0,660	1,00	0,733	1,500
OT1	2,29 (2,29x1,0 x 1)	0,660	1,00	1,511	1,500
DO1	2,42 (2,42x1,0 x 1)	0,790	1,00	1,912	1,700

Vysvětlivky: U je součinitel prostupu tepla konstrukce; b je číselný koeficient tepelné redukce; H,T je měrný tok prostupu tepla a U,N,20 je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla podle ČSN 730540-2 pro T_{int}=20 °C.

Vliv tepelných vazeb je ve výpočtu zahrnut přibližně součinem (A * DeltaU, t_{bm}).

Průměrný vliv tepelných vazeb DeltaU, t_{bm}: 0,02 W/m²K

Měrný tok prostupem do exteriéru plošnými konstrukcemi Hd,c: 54,634 W/K

..... a příslušnými tepelnými vazbami Hd,t_b: 6,084 W/K

Měrný tepelný tok prostupem zeminou u zóny č. 1 :

1. konstrukce ve styku se zeminou

Název konstrukce:	PDL
Tepelná vodivost zeminy:	2,0 W/mK
Plocha podlahy:	84,8 m ²
Exponovaný obvod podlahy:	27,3 m
Součinitel vlivu spodní vody Gw:	1,0
Typ podlahové konstrukce:	podlaha na terénu
Tloušťka obvodové stěny:	0,475 m
Tepelný odpor podlahy:	7,64 m ² K/W
Přídavná okrajová izolace:	svislá

Tloušťka okrajové izolace:	0,23 m
Tepelná vodivost okrajové izolace:	0,036 W/mK
Hloubka okrajové izolace:	0,42 m
Vypočtený přídavný lin. činitel prostupu:	-0,014 W/mK
Součinitel prostupu tepla bez vlivu zeminy U_f :	0,128 W/m ² K
Požadovaná hodnota souč. prostupu $U_{f,N,20}$:	0,45 W/m ² K
Činitel teplotní redukce b :	0,79
Souč. prostupu mezi interiérem a exteriérem U :	0,101 W/m ² K
Ustálený měrný tok zeminou H_g :	8,541 W/K
Kolísání ekv. měsíčních měrných toků $H_{g,m}$:	od 6,129 do 33,788 W/K
..... stanoveno pro periodické toky H_{pi} / H_{pe} :	9,513 / 3,263 W/K
Celkový ustálený měrný tok zeminou H_g:	8,541 W/K
..... a příslušnými tep. vazbami $H_{g,tb}$:	1,696 W/K
Kolísání celk. ekv. měsíčních měrných toků $H_{g,m}$:	od 6,129 do 33,788 W/K

Solární zisky stavebními konstrukcemi zóny č. 1 :

Zeměpisná šířka lokality: 45,0 st. sev. šířky

Název výplně otvoru	Orientace	Markýza		Levá stěna		Pravá stěna		Celk. F_{fin}
		Úhel	F_{ov}	Úhel	F_{finL}	Úhel	F_{finR}	
OT4	JV	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT5	JV	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT8	JV	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT9	JV	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT2	JZ	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT3	JZ	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT7	JZ	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT6	SZ	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT1	SZ	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
DO1	SV	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000

Název výplně otvoru	Orientace	Okolí / Horiz.		Celkový činitel F_{sh}	Způsob stanovení celk. činitele stínění
		Úhel	F_{hor}		
OT4	JV	----	0,890	0,890	přímé zadání uživatelem
OT5	JV	----	0,890	0,890	přímé zadání uživatelem
OT8	JV	----	0,890	0,890	přímé zadání uživatelem
OT9	JV	----	0,890	0,890	přímé zadání uživatelem
OT2	JZ	----	0,920	0,920	přímé zadání uživatelem
OT3	JZ	----	0,920	0,920	přímé zadání uživatelem
OT7	JZ	----	0,920	0,920	přímé zadání uživatelem
OT6	SZ	----	0,850	0,850	přímé zadání uživatelem
OT1	SZ	----	0,850	0,850	přímé zadání uživatelem
DO1	SV	----	0,890	0,890	přímé zadání uživatelem

Vysvětlivky: F_{ov} je korekční činitel stínění markýzou, F_{finL} je korekční činitel stínění levou boční stěnou/žebrem (při pohledu zevnitř), F_{finR} je korekční činitel stínění pravou boční stěnou, F_{fin} je souhrnný korekční činitel stínění bočními stěnami, F_{hor} je korekční činitel stínění horizontem (okolím budovy) a úhel je příslušný stínící úhel.

Název konstrukce	Plocha [m ²]	g/α [-]	F_{gl}/F_f [-]	$F_{c,h}/F_{c,c}$ [-]	F_{sh} [-]	Orientace
OT4	2,5	0,5	0,7/0,3	1,00/1,00	0,89	JV (90°)
OT5	2,2	0,5	0,7/0,3	1,00/1,00	0,89	JV (90°)
OT8	2,25	0,5	0,7/0,3	1,00/1,00	0,89	JV (90°)
OT9	2,15	0,5	0,7/0,3	1,00/1,00	0,89	JV (90°)
OT2	5,65	0,5	0,7/0,3	1,00/1,00	0,92	JZ (90°)
OT3	5,5	0,5	0,7/0,3	1,00/1,00	0,92	JZ (90°)
OT7	2,69	0,5	0,7/0,3	1,00/1,00	0,92	JZ (90°)
OT6	1,11	0,5	0,7/0,3	1,00/1,00	0,85	SZ (90°)
OT1	2,29	0,5	0,7/0,3	1,00/1,00	0,85	SZ (90°)
DO1	2,42	0,5	0,7/0,3	1,00/1,00	0,89	SV (90°)

Vysvětlivky: g je propustnost slunečního záření zasklení v průsvitných konstrukcích; α je pohltivost slunečního záření vnějšího povrchu neprůsvitných konstrukcí; F_{gl} je korekční činitel zasklení (podíl plochy zasklení k celkové ploše okna); F_f je korekční činitel rámu (podíl plochy rámu k celk. ploše okna); $F_{c,h}$ je korekční činitel clonění pohyblivými clonami pro režim vytápění; $F_{c,c}$ je korekční činitel clonění pro režim chlazení a F_{sh} je korekční činitel stínění nepohyblivými částmi budovy a okolní zástavbou.

Celkový solární zisk konstrukcemi Q_s (MJ):

Měsíc:	1	2	3	4	5	6
Zisk (vytápění):	680,1	1053,2	1698,8	2329,0	2555,2	2478,1
Měsíc:	7	8	9	10	11	12
Zisk (vytápění):	2401,0	2555,6	1834,6	1548,2	852,3	580,3

PŘEHLEDNÉ VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO JEDNOTLIVÉ ZÓNY :

VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO ZÓNU Č. 1 :

Název zóny:	Obytná
Vnitřní teplota (zima/léto):	20,0 C / 20,0 C
Zóna je vytápěna/chlazená:	ano / ne
Regulace otopné soustavy:	ano

Měrný tepelný tok větráním Hv:	8,349 W/K
Měrný tok prostupem do exteriéru Hd a celkový měrný tok prostupem tep. vazbami H,tb:	62,414 W/K
Ustálený měrný tok zeminou Hg:	8,541 W/K
Měrný tok prostupem nevytápěnými prostory Hu,t:	---
Měrný tok větráním nevytápěnými prostory Hu,v:	---
Měrný tok Trombeho stěnami H,tw:	---
Měrný tok větranými stěnami H,vw:	---
Měrný tok prvky s transparentní izolací H,ti:	---
Přídavný měrný tok podlahovým vytápěním dHt:	---
Výsledný měrný tok H:	79,303 W/K

Potřeba tepla na vytápění po měsících:

Měsíc	Q,H,ht[GJ]	Q,int[GJ]	Q,sol[GJ]	Q,gn [GJ]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd[GJ]
1	4,387	0,941	0,680	1,621	0,999	100,0	2,768
2	3,747	0,793	1,053	1,846	0,994	100,0	1,912
3	3,395	0,829	1,699	2,528	0,954	100,0	0,984
4	2,442	0,760	2,329	3,089	0,742	29,7	0,149
5	1,492	0,750	2,555	3,305	0,451	0,0	---
6	0,907	0,715	2,478	3,193	0,284	0,0	---
7	0,560	0,738	2,401	3,139	0,178	0,0	---
8	0,580	0,750	2,556	3,306	0,175	0,0	---
9	1,405	0,764	1,835	2,599	0,541	0,0	---
10	2,483	0,827	1,548	2,375	0,878	72,7	0,398
11	3,382	0,848	0,852	1,700	0,993	100,0	1,694
12	4,030	0,936	0,580	1,517	0,999	100,0	2,515

Vysvětlivky: Q,H,ht je potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty; Q,int jsou vnitřní tepelné zisky; Q,sol jsou solární tepelné zisky; Q,gn jsou celkové tepelné zisky; Eta,H je stupeň využitelnosti tepelných zisků; fH je část měsíce, v níž musí být zóna s regulovaným vytápěním vytápěna, a Q,H,nd je potřeba tepla na vytápění.

Potřeba tepla na vytápění za rok Q,H,nd: 10,420 GJ

Roční energetická bilance výplň otvorů:

Název výplně otvoru	Orientace	QI [GJ]	Qs,ini [GJ]	Qs [GJ]	Qs/QI	U,eq,min	U,eq,max
OT4	JV	0,587	1,931	1,107	1,88	-2,3	0,2
OT5	JV	0,519	1,700	0,974	1,88	-2,3	0,2
OT8	JV	0,531	1,738	0,996	1,88	-2,3	0,2
OT9	JV	0,508	1,661	0,952	1,88	-2,3	0,2
OT2	JZ	1,313	4,512	2,586	1,97	-2,4	0,2
OT3	JZ	1,258	4,392	2,518	2,00	-2,4	0,2
OT7	JZ	0,625	2,148	1,231	1,97	-2,4	0,2
OT6	SZ	0,266	0,465	0,228	0,86	-1,5	0,5
OT1	SZ	0,549	0,959	0,471	0,86	-1,5	0,5
DO1	SV	0,694	1,061	0,521	0,75	-1,4	0,7

Vysvětlivky: QI je potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty prostupem za rok; Qs,ini jsou celkové solární zisky za rok; Qs jsou využitelné solární zisky za rok; Qs/QI je poměr ukazující, kolikrát jsou využitelné solární zisky vyšší než ztráty prostupem, U,eq,min je nejnižší ekvivalentní součinitel prostupu tepla okna (rozdíl QI-Qs vydělený plochou okna a počtem denostupňů) během roku a U,eq,max je nejvyšší ekvivalentní součinitel prostupu tepla okna během roku.

Energie dodaná do zóny po měsících:

Měsíc	Q,f,H[GJ]	Q,f,C[GJ]	Q,f,RH[GJ]	Q,f,F[GJ]	Q,f,W[GJ]	Q,f,L[GJ]	Q,f,A[GJ]	Q,fuel[GJ]
1	3,356	---	---	0,130	1,059	0,417	0,245	5,207
2	2,319	---	---	0,118	1,031	0,309	0,221	3,998
3	1,194	---	---	0,130	1,059	0,285	0,245	2,913
4	0,181	---	---	0,126	1,049	0,225	0,237	1,819
5	---	---	---	0,130	1,059	0,192	0,245	1,626
6	---	---	---	0,126	1,049	0,172	0,237	1,585
7	---	---	---	0,130	1,059	0,178	0,245	1,612
8	---	---	---	0,130	1,059	0,192	0,245	1,626
9	---	---	---	0,126	1,049	0,231	0,237	1,643
10	0,483	---	---	0,130	1,059	0,282	0,245	2,199
11	2,054	---	---	0,126	1,049	0,329	0,237	3,795
12	3,050	---	---	0,130	1,059	0,411	0,245	4,895

Vysvětlivky: Q,f,H je vypočtená spotřeba energie na vytápění; Q,f,C je vypočtená spotřeba energie na chlazení; Q,f,RH je vypočtená spotřeba energie na úpravu vlhkosti vzduchu; Q,f,F je vypočtená spotřeba energie na nucené větrání; Q,f,W je vypočtená spotřeba energie na přípravu teplé vody; Q,f,L je vypočtená spotřeba energie na osvětlení (popř. i na spotřebiče); Q,f,A je pomocná energie (čerpadla, regulace atd.) a Q,fuel je celková dodaná energie. Všechny hodnoty zohledňují vlivy účinností technických systémů.

Celková roční dodaná energie Q,fuel: 32,916 GJ

Průměrný součinitel prostupu tepla zóny

Měrný tepelný tok prostupem obálkou zóny Ht: 71,0 W/K
 Plocha obalových konstrukcí zóny: 389,0 m²
 Výchozí hodnota požadavku na průměrný součinitel prostupu tepla podle čl. 5.3.4 v ČSN 730540-2 (2011) Uem,N,20: 0,39 W/m²K
Průměrný součinitel prostupu tepla zóny U,em: 0,18 W/m²K

PŘEHLEDNÉ VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO CELOU BUDOVU :

Faktor tvaru budovy A/V: 0,73 m²/m³

Rozložení měrných tepelných toků

Zóna	Položka	Plocha [m ²]	Měrný tok [W/K]	Procento [%]
1	Celkový měrný tok H:	---	79,303	100,00 %
z toho:	Měrný tok větráním Hv:	---	8,349	10,53 %
	Měrný (ustálený) tok zeminou Hg:	---	8,541	10,77 %
	Měrný tok přes nevytápěné prostory Hu:	---	---	0,00 %
	Měrný tok tepelnými vazbami H,tb:	---	7,780	9,81 %
	Měrný tok do ext. plošnými kcemí Hd,c:	---	54,634	68,89 %
rozložení měrných toků po konstrukcích:				
	OT4:	2,5	1,618	2,04 %
	OT5:	2,2	1,430	1,80 %
	OT8:	2,3	1,463	1,84 %
	OT9:	2,2	1,398	1,76 %
	OT2:	5,7	3,616	4,56 %
	OT3:	5,5	3,465	4,37 %
	OT7:	2,7	1,722	2,17 %
	OT1:	2,3	1,511	1,91 %
	OT6:	1,1	0,733	0,92 %
	DO1:	2,4	1,912	2,41 %
	SO1:	188,0	27,630	34,84 %
	SCH:	87,5	8,138	10,26 %
	PDL:	84,8	8,541	10,77 %

Měrný tok budovou a parametry podle starších předpisů

Součet celkových měrných tepelných toků jednotlivými zónami Hc: 79,303 W/K
 Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů: 535,1 m³
 Tepelná charakteristika budovy podle ČSN 730540 (1994): 0,15 W/m³K
 Spotřeba tepla na vytápění podle STN 730540, Zmena 5 (1997): 10,9 kWh/(m³.a)

Poznámka: Orientační tepelnou ztrátu budovy lze získat vynásobením součtu měrných toků jednotlivých zón Hc působícím teplotním rozdílem mezi interiérem a exteriérem.

Průměrný součinitel prostupu tepla budovy

Měrný tepelný tok prostupem obálkou budovy Ht: 71,0 W/K
Plocha obalových konstrukcí budovy: 389,0 m²

Výchozí hodnota požadavku na průměrný součinitel prostupu tepla podle čl. 5.3.4 v ČSN 730540-2 (2011) Uem,N,20: 0,39 W/m²K

Průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em}: 0,18 W/m²K

Celková a měrná potřeba tepla na vytápění

Celková roční potřeba tepla na vytápění budovy: 10,420 GJ 2,894 MWh

Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů: 535,1 m³

Celková energeticky vztažná podlah. plocha budovy: 165,6 m²

Měrná potřeba tepla na vytápění budovy (na 1 m³): 5,4 kWh/(m³.a)

Měrná potřeba tepla na vytápění budovy: 17 kWh/(m².a)

Hodnota byla stanovena pro počet denostupňů D = 3557.

Poznámka: Měrná potřeba tepla je stanovena bez vlivu účinností systémů výroby, distribuce a emise tepla.

Celková energie dodaná do budovy

Měsíc	Q _{f,H} [GJ]	Q _{f,C} [GJ]	Q _{f,RH} [GJ]	Q _{f,F} [GJ]	Q _{f,W} [GJ]	Q _{f,L} [GJ]	Q _{f,A} [GJ]	Q _{fuel} [GJ]
1	3,356	---	---	0,130	1,059	0,417	0,245	5,207
2	2,319	---	---	0,118	1,031	0,309	0,221	3,998
3	1,194	---	---	0,130	1,059	0,285	0,245	2,913
4	0,181	---	---	0,126	1,049	0,225	0,237	1,819
5	---	---	---	0,130	1,059	0,192	0,245	1,626
6	---	---	---	0,126	1,049	0,172	0,237	1,585
7	---	---	---	0,130	1,059	0,178	0,245	1,612
8	---	---	---	0,130	1,059	0,192	0,245	1,626
9	---	---	---	0,126	1,049	0,231	0,237	1,643
10	0,483	---	---	0,130	1,059	0,282	0,245	2,199
11	2,054	---	---	0,126	1,049	0,329	0,237	3,795
12	3,050	---	---	0,130	1,059	0,411	0,245	4,895

Vysvětlivky: Q_{f,H} je vypočtená spotřeba energie na vytápění; Q_{f,C} je vypočtená spotřeba energie na chlazení; Q_{f,RH} je vypočtená spotřeba energie na úpravu vlhkosti vzduchu; Q_{f,F} je vypočtená spotřeba energie na nucené větrání; Q_{f,W} je vypočtená spotřeba energie na přípravu teplé vody; Q_{f,L} je vypočtená spotřeba energie na osvětlení (popř. i na spotřebiče); Q_{f,A} je pomocná energie (čerpadla, regulace atd.) a Q_{fuel} je celková dodaná energie. Všechny hodnoty zohledňují vlivy účinností technických systémů.

Dodané energie:

Vyp.spotřeba energie na vytápění za rok Q _{fuel,H} :	12,636 GJ	3,510 MWh	21 kWh/m ²
Pomocná energie na vytápění Q _{aux,H} :	---	---	---
Dodaná energie na vytápění za rok EP,H:	12,636 GJ	3,510 MWh	21 kWh/m²
Vyp.spotřeba energie na chlazení za rok Q _{fuel,C} :	---	---	---
Pomocná energie na chlazení Q _{aux,C} :	---	---	---
Dodaná energie na chlazení za rok EP,C:	---	---	---
Vyp.spotřeba energie na úpravu vlhkosti Q _{fuel,RH} :	---	---	---
Pomocná energie na úpravu vlhkosti Q _{aux,RH} :	---	---	---
Dodaná energie na úpravu vlhkosti EP,RH:	---	---	---
Vyp.spotřeba energie na nucené větrání Q _{fuel,F} :	1,533 GJ	0,426 MWh	3 kWh/m ²
Pomocná energie na nucené větrání Q _{aux,F} :	---	---	---
Dodaná energie na nuc.větrání za rok EP,F:	1,533 GJ	0,426 MWh	3 kWh/m²
Vyp.spotřeba energie na přípravu TV Q _{fuel,W} :	12,637 GJ	3,510 MWh	21 kWh/m ²
Pomocná energie na přípravu teplé vody Q _{aux,W} :	2,886 GJ	0,802 MWh	5 kWh/m ²
Dodaná energie na přípravu TV za rok EP,W:	15,523 GJ	4,312 MWh	26 kWh/m²
Vyp.spotřeba energie na osvětlení a spotř. Q _{fuel,L} :	3,224 GJ	0,896 MWh	5 kWh/m ²
Dodaná energie na osvětlení za rok EP,L:	3,224 GJ	0,896 MWh	5 kWh/m²
Celková roční dodaná energie Q_{fuel}=EP:	32,916 GJ	9,143 MWh	55 kWh/m²

Měrná dodaná energie budovy**Celková roční dodaná energie: 9,143 MWh**Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů: 535,1 m³Celková energeticky vztažná podlah. plocha budovy: 165,6 m²Měrná dodaná energie EP,V: 17,1 kWh/(m³.a)**Měrná dodaná energie budovy EP,A: 55 kWh/(m².a)**

Poznámka: Měrná dodaná energie zahrnuje veškerou dodanou energii včetně vlivů účinností tech. systémů.

Rozdělení dodané energie podle energonositelů, primární energie a emise CO₂

Ergo- nositel	Faktory transformace			Vytápění				Teplá voda			
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	2,8	8,5	9,1	3,3	2,0	6,0	6,4	2,3
Slunce a jiná energie prostředí	0,0	1,0	0,0000	0,7	---	0,7	---	1,5	---	1,5	---
SOUČET				3,5	8,5	9,8	3,3	3,5	6,0	7,9	2,3

Ergo- nositel	Faktory transformace			Osvětlení				Pom.energie			
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	0,9	2,7	2,9	1,0	0,8	2,4	2,6	0,9
Slunce a jiná energie prostředí	0,0	1,0	0,0000	---	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET				0,9	2,7	2,9	1,0	0,8	2,4	2,6	0,9

Ergo- nositel	Faktory transformace			Nuc.větrání				Chlazení			
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	0,4	1,3	1,4	0,5	---	---	---	---
Slunce a jiná energie prostředí	0,0	1,0	0,0000	---	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET				0,4	1,3	1,4	0,5	---	---	---	---

Ergo- nositel	Faktory transformace			Úprava RH				Export elektřiny		
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	Q,el	Q,pN	Q,pC
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	---	---	---	---	---	---	---
Slunce a jiná energie prostředí	0,0	1,0	0,0000	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET				---	---	---	---	---	---	---

Vysvětlivky: f,pN je faktor neobnovitelné primární energie v kWh/kWh; f,pC je faktor celkové primární energie v kWh/kWh; f,CO₂ je součinitel emisí CO₂ v kg/kWh; Q,f je vypočtená spotřeba energie dodávaná na daný účel příslušným energonositelem v MWh/rok; Q,el je produkce elektřiny v MWh/rok; Q,pN je neobnovitelná primární energie a Q,pC je celková primární energie použitá na daný účel příslušným energonositelem v MWh/rok a CO₂ jsou s tím spojené emise CO₂ v t/rok.

Součty pro jednotlivé energonositele:	Q,f [MWh/a]	Q,pN [MWh/a]	Q,pC [MWh/a]	CO ₂ [t/a]
elektřina ze sítě	6,963	20,888	22,281	8,146
Slunce a jiná energie prostředí	2,181	---	2,181	---
SOUČET	9,143	20,888	24,462	8,146

Vysvětlivky: Q,f je energie dodaná do budovy příslušným energonositelem v MWh/rok; Q,pN je neobnovitelná primární energie a Q,pC je celková primární energie použitá příslušným energonositelem v MWh/rok a CO₂ jsou s tím spojené emise CO₂ v t/rok.

Měrná primární energie a emise CO₂ budovyEmise CO₂ za rok: 8,146 t

Celková primární energie za rok: 24,462 MWh 88,062 GJ

Neobnovitelná primární energie za rok: 20,888 MWh 75,198 GJObjem budovy stanovený z vnějších rozměrů: 535,1 m³Celková energeticky vztažná podlah. plocha budovy: 165,6 m²Měrné emise CO₂ za rok (na 1 m³): 15,2 kg/(m³.a)Měrná celková primární energie E,pC,V: 45,7 kWh/(m³.a)Měrná neobnovitelná primární energie E,pN,V: 39,0 kWh/(m³.a)Měrné emise CO₂ za rok (na 1 m²): 49 kg/(m².a)**Měrná celková primární energie E,pC,A: 148 kWh/(m².a)****Měrná neobnovitelná primární energie E,pN,A: 126 kWh/(m².a)**

4.3.7 Protokol o výpočtu energetické náročnosti referenční budovy

VÝPOČET ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI REFERENČNÍ BUDOVY podle vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.

Energie 2015

Název úlohy: **RD Předenice
REFERENČNÍ BUDOVA**
Zpracovatel: Bc. Jan Jirovský (Energomex s.r.o)
Zakázka:
Datum: 26. 4. 2016

ZADANÉ OKRAJOVÉ PODMÍNKY:

Počet zón v budově: 1
Typ výpočtu potřeby energie: měsíční (pro jednotlivé měsíce v roce)

Okrajové podmínky výpočtu:

Název období	Počet dnů	Teplota exteriéru	Celková energie globálního slunečního záření [MJ/m ²]				Horizont
			Sever	Jih	Východ	Západ	
leden	31	-1,3 C	29,5	123,1	50,8	50,8	74,9
únor	28	-0,1 C	48,2	184,0	91,8	91,8	133,2
březen	31	3,7 C	91,1	267,8	168,8	168,8	259,9
duben	30	8,1 C	129,6	308,5	267,1	267,1	409,7
květen	31	13,3 C	176,8	313,2	313,2	313,2	535,7
červen	30	16,1 C	186,5	272,2	324,0	324,0	526,3
červenec	31	18,0 C	184,7	281,2	302,8	302,8	519,5
srpen	31	17,9 C	152,6	345,6	289,4	289,4	490,3
září	30	13,5 C	103,7	280,1	191,9	191,9	313,6
říjen	31	8,3 C	67,0	267,8	139,3	139,3	203,4
listopad	30	3,2 C	33,8	163,4	64,8	64,8	90,7
prosinec	31	0,5 C	21,6	104,4	40,3	40,3	53,6

Název období	Počet dnů	Teplota exteriéru	Celková energie globálního slunečního záření [MJ/m ²]			
			SV	SZ	JV	JZ
leden	31	-1,3 C	29,5	29,5	96,5	96,5
únor	28	-0,1 C	53,3	53,3	147,6	147,6
březen	31	3,7 C	107,3	107,3	232,9	232,9
duben	30	8,1 C	181,4	181,4	311,0	311,0
květen	31	13,3 C	235,8	235,8	332,3	332,3
červen	30	16,1 C	254,2	254,2	316,1	316,1
červenec	31	18,0 C	238,3	238,3	308,2	308,2
srpen	31	17,9 C	203,4	203,4	340,2	340,2
září	30	13,5 C	127,1	127,1	248,8	248,8
říjen	31	8,3 C	77,8	77,8	217,1	217,1
listopad	30	3,2 C	33,8	33,8	121,7	121,7
prosinec	31	0,5 C	21,6	21,6	83,2	83,2

PARAMETRY JEDNOTLIVÝCH ZÓN V BUDOVĚ :**PARAMETRY ZÓNY Č. 1 :****Základní popis zóny**

Název zóny:	Obytná
Typ zóny pro určení Uem,N:	jiná než nová obytná budova
Typ zóny pro refer. budovu:	rodinný dům
Typ hodnocení:	jiný účel posouzení
Obsazenost zóny:	40,0 m2/osobu
Uvažovaný počet osob v zóně:	3,3 (použije se pro stanovení roční potřeby teplé vody)
Objem z vnějších rozměrů:	535,08 m3
Podlah. plocha (celková vnitřní):	132,8 m2
Celk. energet. vztažná plocha:	165,6 m2
Účinná vnitřní tepelná kapacita:	165,0 kJ/(m2.K)
Vnitřní teplota (zima/léto):	20,0 C / 20,0 C
Vnitřní teplota pro určení Uem,R:	20,0 C
Zóna je vytápěna/chlazená:	ano / ne
Typ vytápění:	nepřerušované
Regulace otopné soustavy:	ano
Průměrné vnitřní zisky:	306 W
..... odvozeny pro	<ul style="list-style-type: none"> · produkci tepla: 1,5+3,0 W/m2 (osoby+spotřebiče) · časový podíl produkce: 70+20 % (osoby+spotřebiče) · zohlednění spotřebičů: jen zisky · minimální přípustnou osvětlenost: 90,0 lx · měrný příkon osvětlení: 0,05 W/(m2.lx) · prům. účinnost osvětlení: 15 % · činitel obsazenosti 1,00 a závislosti na denním světle 1,0 · roční dobu využití osvětlení ve dne/v noci: 900 / 600 h · další tepelné zisky: 0,0 W
Potřeba tepla na přípravu TV:	9062,66 MJ/rok
..... odvozeno pro	<ul style="list-style-type: none"> · denní potřebu teplé vody: 40,0 l/(osobu.den) · roční potřebu teplé vody: 48,2 m3 · teplotní rozdíl pro ohřev: (55,0 - 10,0) C
Zpětně získané teplo mimo VZT:	0,0 MJ/rok

Zdroje tepla na vytápění v zóně

Teplovzdušné vytápění:	ano (podíl 55,0 %) Teplovzdušné vytápění je součástí systému nuceného větrání.
Přiváděný vzduch:	40,0 C (recirkulace: 0,0 %*) * zadaná hodnota se v případě potřeby redukuje, aby bylo vždy zajištěno větrání
Účinnost sdílení/distribuce pro VZT:	80,0 % / 85,0 %

Zdroj tepla č. 1 a na něj napojená otopná soustava:

Název zdroje tepla:	Referenční zdroj tepla (podíl 55,0 %)
Typ zdroje tepla:	obecný zdroj tepla (např. kotel)
Účinnost výroby tepla:	80,0 %
Účinnost sdílení/distribuce:	80,0 % / 85,0 %
Příkon čerpadel vytápění:	0,0 W (prům. roční příkon)
Příkon regulace/emise tepla:	0,0 / 0,0 W

Zdroj tepla č. 2 a na něj napojená otopná soustava:

Název zdroje tepla:	Referenční zdroj tepla (podíl 45,0 %)
Typ zdroje tepla:	obecný zdroj tepla (např. kotel)
Účinnost výroby tepla:	80,0 %
Účinnost sdílení/distribuce:	80,0 % / 85,0 %
Čerpadla:	zdroj zapojen do soustavy s čerpadly u zdroje č. 1
Regulace a emise:	zdroj zapojen do soustavy s příkony u zdroje č. 1

Ventilátory systémů nuceného větrání, vytápění a chlazení vzduchem

Prům. měrný příkon VZT jednotky:	3500,0 Ws/m3 (platí pro 2 ventilátory: přívodní a odvodní)
Váhový činitel regulace:	0,7

Zdroje tepla na přípravu TV v zóně

Název zdroje tepla:	Referenční zdroj tepla (podíl 70,0 %)
Typ zdroje přípravy TV:	obecný zdroj tepla (např. kotel)
Účinnost zdroje přípravy TV:	85,0 %
Název zdroje tepla:	Referenční zdroj tepla (podíl 30,0 %)
Typ zdroje přípravy TV:	obecný zdroj tepla (např. kotel)
Účinnost zdroje přípravy TV:	85,0 %
Objem zásobníku TV:	180,0 l
Měrná tep. ztráta zásobníku TV:	7,0 Wh/(l.d)
Délka rozvodů TV:	25,0 m
Měrná tep. ztráta rozvodů TV:	150,0 Wh/(m.d)
Příkon čerpadel distribuce TV:	100,0 W
Příkon regulace:	50,0 W

Měrný tepelný tok větráním zóny č. 1 :

Objem vzduchu v zóně:	428,064 m ³
Podíl vzduchu z objemu zóny:	80,0 %
Typ větrání zóny:	nucené (mechanický větrací systém)
Objem.tok přiváděného vzduchu:	128,42 m ³ /h
Objem.tok odváděného vzduchu:	128,42 m ³ /h
Násobnost výměny při dP=50Pa:	0,6 1/h
Součinitel větrné expozice e:	0,01
Součinitel větrné expozice f:	20,0
Účinnost zpětného získávání tepla:	60,0 %
Podíl času s nuceným větráním:	70,8 %
Výměna bez nuceného větrání:	0,0 1/h
Měrný tepelný tok větráním Hv:	12,849 W/K

Referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla zóny č. 1

Typ konstrukce [W/K]	Plocha [m ²]	U,N [W/(m ² K)]	b [-]	A*U,N*b
OT4	2,5	1,50	1,00	3,75
OT5	2,2	1,50	1,00	3,30
OT8	2,3	1,50	1,00	3,38
OT9	2,2	1,50	1,00	3,23
OT2	5,7	1,50	1,00	8,48
OT3	5,5	1,50	1,00	8,25
OT7	2,7	1,50	1,00	4,04
OT1	2,3	1,50	1,00	3,44
OT6	1,1	1,50	1,00	1,67
DO1	2,4	1,70	1,00	4,11
SO1	188,0	0,30	1,00	56,39
SCH	87,5	0,24	1,00	21,00
PDL	84,8	0,45	0,58	22,00
Tepelné vazby	---	---	---	7,78

Součet: **389,0** **150,79**

Vysvětlivky: U,N je požadovaný součinitel prostupu tepla podle ČSN 730540-2 pro převažující vnitřní návrhovou teplotu 20 C a b je činitel teplotní redukce.

Hodnoty podle ČSN 730540-2:

Návrhová vnitřní teplota pro stanovení Uem,N:	20,0 C
Výchozí požadovaný prům. souč. prostupu tepla Uem,N,20:	0,39 W/(m ² K)
Požadovaný prům. součinitel prostupu tepla Uem,N:	0,39 W/(m ² K)

Hodnoty podle vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.:

Návrhová vnitřní teplota pro stanovení Uem,R:	20,0 C
Základní požad. prům. souč. prostupu tepla Uem,N,20,R:	1,0 * 0,39 = 0,39 W/(m ² K)

Referenční hodnota prům. součinitele prostupu tepla Uem,R: **0,39 W/(m²K)**

Solární zisky stavebními konstrukcemi zóny č. 1 :

Zeměpisná šířka lokality: 45,0 st. sev. šířky

Název výpně otvoru	Orientace	Markýza		Levá stěna		Pravá stěna		Celk. F,fin
		Úhel	F,ov	Úhel	F,finL	Úhel	F,finR	
OT4	JV	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT5	JV	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT8	JV	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT9	JV	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT2	JZ	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT3	JZ	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT7	JZ	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT6	SZ	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
OT1	SZ	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000
DO1	SV	----	1,000	----	-----	----	-----	1,000

Název výpně otvoru	Orientace	Okolí / Horiz.		Celkový činitel Fsh	Způsob stanovení celk. činitele stínění
		Úhel	F,hor		
OT4	JV	----	0,890	0,890	přímé zadání uživatelem
OT5	JV	----	0,890	0,890	přímé zadání uživatelem
OT8	JV	----	0,890	0,890	přímé zadání uživatelem
OT9	JV	----	0,890	0,890	přímé zadání uživatelem
OT2	JZ	----	0,920	0,920	přímé zadání uživatelem
OT3	JZ	----	0,920	0,920	přímé zadání uživatelem
OT7	JZ	----	0,920	0,920	přímé zadání uživatelem
OT6	SZ	----	0,850	0,850	přímé zadání uživatelem
OT1	SZ	----	0,850	0,850	přímé zadání uživatelem
DO1	SV	----	0,890	0,890	přímé zadání uživatelem

Vysvětlivky: F,ov je korekční činitel stínění markýzou, F,finL je korekční činitel stínění levou boční stěnou/žebrem (při pohledu zevnitř), F,finR je korekční činitel stínění pravou boční stěnou, F,fin je souhrnný korekční činitel stínění bočními stěnami, F,hor je korekční činitel stínění horizontem (okolím budovy) a úhel je příslušný stínící úhel.

Název konstrukce	Plocha [m2]	g/alfa [-]	Fgl/Ff [-]	Fc,h/Fc,c [-]	Fsh [-]	Orientace
OT4	2,5	0,5	0,70/0,30	1,00/0,20	0,89	JV (90°)
OT5	2,2	0,5	0,70/0,30	1,00/0,20	0,89	JV (90°)
OT8	2,25	0,5	0,70/0,30	1,00/0,20	0,89	JV (90°)
OT9	2,15	0,5	0,70/0,30	1,00/0,20	0,89	JV (90°)
OT2	5,65	0,5	0,70/0,30	1,00/0,20	0,92	JZ (90°)
OT3	5,5	0,5	0,70/0,30	1,00/0,20	0,92	JZ (90°)
OT7	2,69	0,5	0,70/0,30	1,00/0,20	0,92	JZ (90°)
OT6	1,11	0,5	0,70/0,30	1,00/0,20	0,85	SZ (90°)
OT1	2,29	0,5	0,70/0,30	1,00/0,20	0,85	SZ (90°)
DO1	2,42	0,5	0,70/0,30	1,00/0,20	0,89	SV (90°)

Vysvětlivky: g je propustnost slunečního záření zasklení v průsvitných konstrukcích; alfa je pohltivost slunečního záření vnějšího povrchu neprůsvitných konstrukcí; Fgl je korekční činitel zasklení (podíl plochy zasklení k celkové ploše okna); Ff je korekční činitel rámu (podíl plochy rámu k celk. ploše okna); Fc,h je korekční činitel clonění pohyblivými clonami pro režim vytápění; Fc,c je korekční činitel clonění pro režim chlazení a Fsh je korekční činitel stínění nepohyblivými částmi budovy a okolní zástavbou.

Celkový solární zisk konstrukcemi Qs (MJ):

Měsíc:	1	2	3	4	5	6
Zisk (vytápění):	680,1	1053,2	1698,8	2329,0	2555,2	2478,1
Měsíc:	7	8	9	10	11	12
Zisk (vytápění):	2401,0	2555,6	1834,6	1548,2	852,3	580,3

PŘEHLEDNÉ VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO JEDNOTLIVÉ ZÓNY :**VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO ZÓNU Č. 1 :**

Název zóny:	Obytná
Vnitřní teplota (zima/léto):	20,0 C / 20,0 C
Vnitřní teplota pro určení Uem,R:	20,0 C
Zóna je vytápěna/chlazená:	ano / ne
Regulace otopné soustavy:	ano
Měrný tepelný tok větráním Hv:	12,849 W/K
Měrný tepelný tok prostupem Ht:	150,791 W/K
Výsledný měrný tok H:	163,641 W/K

Potřeba tepla na vytápění po měsících:

Měsíc	Q,H,ht[GJ]	Q,int[GJ]	Q,sol[GJ]	Q,gn [GJ]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd[GJ]
1	9,336	0,941	0,680	1,621	0,998	100,0	7,718
2	7,957	0,793	1,053	1,846	0,995	100,0	6,120
3	7,144	0,829	1,699	2,528	0,982	100,0	4,661
4	5,047	0,760	2,329	3,089	0,921	100,0	2,203
5	2,937	0,750	2,555	3,305	0,729	70,1	0,528
6	1,654	0,715	2,478	3,193	0,518	0,0	---
7	0,877	0,738	2,401	3,139	0,279	0,0	---
8	0,920	0,750	2,556	3,306	0,278	0,0	---
9	2,757	0,764	1,835	2,599	0,799	63,0	0,680
10	5,128	0,827	1,548	2,375	0,962	100,0	2,843
11	7,126	0,848	0,852	1,700	0,995	100,0	5,435
12	8,547	0,936	0,580	1,517	0,998	100,0	7,033

Vysvětlivky: Q,H,ht je potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty; Q,int jsou vnitřní tepelné zisky; Q,sol jsou solární tepelné zisky; Q,gn jsou celkové tepelné zisky; Eta,H je stupeň využitelnosti tepelných zisků; fH je část měsíce, v níž musí být zóna s regulovaným vytápěním vytápěna, a Q,H,nd je potřeba tepla na vytápění.

Potřeba tepla na vytápění za rok Q,H,nd: 37,220 GJ

Energie dodaná do zóny po měsících:

Měsíc	Q,f,H[GJ]	Q,f,C[GJ]	Q,f,RH[GJ]	Q,f,F[GJ]	Q,f,W[GJ]	Q,f,L[GJ]	Q,f,A[GJ]	Q,fuel[GJ]
1	16,239	---	---	0,376	1,546	0,417	0,206	18,785
2	12,653	---	---	0,302	1,483	0,309	0,186	14,933
3	9,131	---	---	0,241	1,546	0,285	0,206	11,409
4	4,049	---	---	0,160	1,525	0,225	0,200	6,160
5	0,970	---	---	0,166	1,546	0,192	0,206	3,080
6	---	---	---	0,160	1,525	0,172	0,200	2,057
7	---	---	---	0,166	1,546	0,178	0,206	2,096
8	---	---	---	0,166	1,546	0,192	0,206	2,110
9	1,250	---	---	0,160	1,525	0,231	0,200	3,366
10	5,227	---	---	0,166	1,546	0,282	0,206	7,427
11	10,866	---	---	0,274	1,525	0,329	0,200	13,194
12	14,538	---	---	0,346	1,546	0,411	0,206	17,047

Vysvětlivky: Q,f,H je vypočtená spotřeba energie na vytápění; Q,f,C je vypočtená spotřeba energie na chlazení; Q,f,RH je vypočtená spotřeba energie na úpravu vlhkosti vzduchu; Q,f,F je vypočtená spotřeba energie na nucené větrání; Q,f,W je vypočtená spotřeba energie na přípravu teplé vody; Q,f,L je vypočtená spotřeba energie na osvětlení (popř. i na spotřebiče); Q,f,A je pomocná energie (čerpadla, regulace atd.) a Q,fuel je celková dodaná energie. Všechny hodnoty zohledňují vlivy účinností technických systémů.

Celková roční dodaná energie Q,fuel: 101,666 GJ

Průměrný součinitel prostupu tepla zóny

Měrný tepelný tok prostupem obálkou zóny Ht: 150,8 W/K
Plocha obalových konstrukcí zóny: 389,0 m²

Průměrný součinitel prostupu tepla zóny U_{em}: 0,39 W/m²K

PŘEHLEDNÉ VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO CELOU BUDOVU :

Faktor tvaru budovy A/V: 0,73 m²/m³

Referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla budovy

Zóna č.	Název zóny	Objem zóny [m ³]	U _{em,R} zóny [W/(m ² K)]
1	Obytná	535,08	0,39

Referenční hodnota prům. součinitele prostupu tepla U_{em,R}: 0,39 W/m²K

Pro zařazení budovy do klasifik. třídy bude použita hodnota U_{em,R,klas}: 0,31 W/m²K

Poznámka: U_{em,R,klas} je referenční hodnota pro novou budovu v souladu s §9 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.

Celková a měrná potřeba tepla na vytápění

Celková roční potřeba tepla na vytápění budovy: 37,220 GJ 10,339 MWh
Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů: 535,1 m³
Celková energeticky vztažná podlah. plocha budovy: 165,6 m²
Měrná potřeba tepla na vytápění budovy (na 1 m³): 19,3 kWh/(m³.a)

Měrná potřeba tepla na vytápění budovy: 62 kWh/(m².a)

Poznámka: Měrná potřeba tepla je stanovena bez vlivu účinností systémů výroby, distribuce a emise tepla.

Celková energie dodaná do budovy

Měsíc	Q,f,H[GJ]	Q,f,C[GJ]	Q,f,RH[GJ]	Q,f,F[GJ]	Q,f,W[GJ]	Q,f,L[GJ]	Q,f,A[GJ]	Q,fuel[GJ]
1	16,239	---	---	0,376	1,546	0,417	0,206	18,785
2	12,653	---	---	0,302	1,483	0,309	0,186	14,933
3	9,131	---	---	0,241	1,546	0,285	0,206	11,409
4	4,049	---	---	0,160	1,525	0,225	0,200	6,160
5	0,970	---	---	0,166	1,546	0,192	0,206	3,080
6	---	---	---	0,160	1,525	0,172	0,200	2,057
7	---	---	---	0,166	1,546	0,178	0,206	2,096
8	---	---	---	0,166	1,546	0,192	0,206	2,110
9	1,250	---	---	0,160	1,525	0,231	0,200	3,366
10	5,227	---	---	0,166	1,546	0,282	0,206	7,427
11	10,866	---	---	0,274	1,525	0,329	0,200	13,194
12	14,538	---	---	0,346	1,546	0,411	0,206	17,047

Vysvětlivky: Q,f,H je vypočtená spotřeba energie na vytápění; Q,f,C je vypočtená spotřeba energie na chlazení; Q,f,RH je vypočtená spotřeba energie na úpravu vlhkosti vzduchu; Q,f,F je vypočtená spotřeba energie na nucené větrání; Q,f,W je vypočtená spotřeba energie na přípravu teplé vody; Q,f,L je vypočtená spotřeba energie na osvětlení (popř. i na spotřebiče); Q,f,A je pomocná energie (čerpadla, regulace atd.) a Q,fuel je celková dodaná energie. Všechny hodnoty zohledňují vlivy účinností technických systémů.

Referenční dodané energie

Vyp.spotřeba energie na vytápění za rok Q,fuel,H:	74,924 GJ	20,812 MWh	126 kWh/m ²
Pomocná energie na vytápění Q,aux,H:	---	---	---
Dodaná energie na vytápění za rok EP,H,R:	74,924 GJ	20,812 MWh	126 kWh/m²
Hodnota pro zařazení do klasifik. třídy EP,H,R,klas:	54,017 GJ	15,005 MWh	91 kWh/m ²
Poznámka: EP,H,R,klas je referenční hodnota pro novou budovu v souladu s §9 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.			
Vyp.spotřeba energie na chlazení za rok Q,fuel,C:	---	---	---
Pomocná energie na chlazení Q,aux,C:	---	---	---
Dodaná energie na chlazení za rok EP,C,R:	---	---	---
Vyp.spotřeba energie na úpravu vlhkosti Q,fuel,RH:	---	---	---
Pomocná energie na úpravu vlhkosti Q,aux,RH:	---	---	---
Dodaná energie na úpravu vlhkosti EP,RH,R:	---	---	---
Vyp.spotřeba energie na nucené větrání Q,fuel,F:	2,683 GJ	0,745 MWh	5 kWh/m ²
Pomocná energie na nucené větrání Q,aux,F:	---	---	---
Dodaná energie na nuc.větrání za rok EP,F,R:	2,683 GJ	0,745 MWh	5 kWh/m²
Hodnota pro zařazení do klasifik. třídy EP,F,R,klas:	2,357 GJ	0,655 MWh	4 kWh/m ²
Poznámka: EP,F,R,klas je referenční hodnota pro novou budovu v souladu s §9 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.			
Vyp.spotřeba energie na přípravu TV Q,fuel,W:	18,407 GJ	5,113 MWh	31 kWh/m ²
Pomocná energie na přípravu teplé vody Q,aux,W:	2,428 GJ	0,675 MWh	4 kWh/m ²
Dodaná energie na přípravu TV za rok EP,W,R:	20,835 GJ	5,788 MWh	35 kWh/m²
Vyp.spotřeba energie na osvětlení a spotř. Q,fuel,L:	3,224 GJ	0,896 MWh	5 kWh/m ²
Dodaná energie na osvětlení za rok EP,L,R:	3,224 GJ	0,896 MWh	5 kWh/m²
Celková roční dodaná energie Q,fuel=EP,R:	101,666 GJ	28,241 MWh	171 kWh/m²

Referenční hodnota dodané energie budovy**Referenční hodnota celkové roční dodané energie EP,R: 28,241 MWh**

Pro zařazení budovy do klasifik. třídy bude použita hodnota EP,R,klas: 22,342 MWh
Poznámka: EP,R,klas je referenční hodnota pro novou budovu v souladu s §9 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.

Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů: 535,1 m³
Celková energeticky vztažná podlah. plocha budovy: 165,6 m²
Měrná dodaná energie EP,V: 52,8 kWh/(m³.a)

Referenční hodnota měrné dodané energie budovy EP,A,R: 171 kWh/(m².a)

Poznámka: Měrná dodaná energie zahrnuje veškerou dodanou energii včetně vlivů účinností tech. systémů.

Pro zařazení budovy do klasifik. třídy bude použita hodnota EP,A,R,klas: 135 kWh/(m².a)
Poznámka: EP,A,R,klas je referenční hodnota pro novou budovu v souladu s §9 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.

Rozdělení dodané energie podle energonositelů, primární energie a emise CO₂

Při výpočtu neobnovitelné primární energie referenční budovy se pro hodnocenou zónu používá redukce podle tab. 5 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb. ve výši 3 %.

Ergo- nositel	Faktory transformace			Vytápění				Teplá voda					
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	t/a	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	t/a
Ref. energonositel 1 (f=1,1)	1,1	1,1	0,0000	20,8	22,2	22,9	---	---	5,1	5,5	5,6	---	---
Ref. energonositel 2 (f=3,0)	3,0	3,2	0,0000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET				20,8	22,2	22,9	---	---	5,1	5,5	5,6	---	---

Ergo- nositel	Faktory transformace			Osvětlení				Pom.energie					
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	t/a	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	t/a
Ref. energonositel 1 (f=1,1)	1,1	1,1	0,0000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ref. energonositel 2 (f=3,0)	3,0	3,2	0,0000	0,9	2,6	2,9	---	---	0,7	2,0	2,2	---	---
SOUČET				0,9	2,6	2,9	---	---	0,7	2,0	2,2	---	---

Ergo- nositel	Faktory transformace			Nuc.větrání				Chlazení					
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	t/a	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	t/a
Ref. energonositel 1 (f=1,1)	1,1	1,1	0,0000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ref. energonositel 2 (f=3,0)	3,0	3,2	0,0000	0,7	2,2	2,4	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET				0,7	2,2	2,4	---	---	---	---	---	---	---

Ergo- nositel	Faktory transformace			Úprava RH			
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂
Ref. energonositel 1 (f=1,1)	1,1	1,1	0,0000	---	---	---	---
Ref. energonositel 2 (f=3,0)	3,0	3,2	0,0000	---	---	---	---
SOUČET				---	---	---	---

Vysvětlivky: f,pN je faktor neobnovitelné primární energie v kWh/kWh; f,pC je faktor celkové primární energie v kWh/kWh; f,CO₂ je součinitel emise CO₂ v kg/kWh; Q,f je vypočtená spotřeba energie dodávaná na daný účel příslušným energonositelem v MWh/rok; Q,el je produkce elektřiny v MWh/rok; Q,pN je neobnovitelná primární energie a Q,pC je celková primární energie použitá na daný účel příslušným energonositelem v MWh/rok a CO₂ jsou s tím spojené emise CO₂ v t/rok.

Součty pro jednotlivé energonositele:	Q,f [MWh/a]	Q,pN [MWh/a]	Q,pC [MWh/a]	CO ₂ [t/a]
Ref. energonositel 1 (f=1,1)	25,925	27,662	28,518	---
Ref. energonositel 2 (f=3,0)	2,315	6,738	7,409	---
SOUČET	28,241	34,400	35,927	---

Vysvětlivky: Q,f je energie dodaná do budovy příslušným energonositelem v MWh/rok; Q,pN je neobnovitelná primární energie a Q,pC je celková primární energie použitá příslušným energonositelem v MWh/rok a CO₂ jsou s tím spojené emise CO₂ v t/rok.

Referenční hodnota primární energie budovy

Emise CO ₂ za rok:	0,000 t
Celková primární energie za rok:	35,927 MWh 129,337 GJ
Referenční hodnota neobnov. primární energie:	34,400 MWh 123,840 GJ

Hodnota pro zařazení budovy do klasifik. třídy E,pN,R,klas: 28,804 MWh 103,694 GJ
Poznámka: E,pN,R,klas je referenční hodnota pro novou budovu v souladu s §9 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.

Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů:	535,1 m ³
Celková energeticky vztažná podlah. plocha budovy:	165,6 m ²
Měrné emise CO ₂ za rok (na 1 m ³):	0,0 kg/(m ³ .a)
Měrná celková primární energie E,pC,V:	67,1 kWh/(m ³ .a)
Měrná neobnovitelná primární energie E,pN,V:	64,3 kWh/(m ³ .a)
Měrné emise CO ₂ za rok (na 1 m ²):	---
Měrná celková primární energie E,pC,A:	217 kWh/(m².a)

Referenční hodnota měrné neobnov. primární energie E,pN,A,R: 208 kWh/(m².a)

Pro zařazení do klasifikační třídy bude použita ref. hodnota E,pN,A,R,klas: 174 kWh/(m².a)
Poznámka: E,pN,A,R,klas je referenční hodnota pro novou budovu v souladu s §9 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.

5 Ekonomická analýza

Ekonomická analýza pasivního rodinného domu byla provedena formou porovnání spotřeby elektrické energie vypočtené v rámci návrhu průkazu energetické náročnosti budovy se skutečně spotřebovanou energií během kalendářního roku.

5.1 Vypočtená spotřeba elektrické energie dle PENB

MĚSÍČNÍ ENERGIE DODANÉ DO BUDOVY BEZ ZAPOČÍTÁNÍ ENERGIÍ ZÍSKANÝCH Z OKOLNÍHO PROSTŘEDÍ podle vyhlášky č. 78/2013 Sb. a ČSN 730540-2

a podle EN ISO 13790, EN ISO 13789 a EN ISO 13370

Energie 2015

Název úlohy: **RD Předenice**
 Zpracovatel: Jan Jirovský (Energomex s.r.o.)
 Zakázka:
 Datum: 26. 4. 201

CELKOVÁ ENERGIE DODANÁ DO BUDOVY Z ENERGETICKÝCH SOUSTAV:

Energie dodaná do budovy bez započítání energie z okolního prostředí:

Měsíc	Q _{f,H} [GJ]	Q _{f,C} [GJ]	Q _{f,RH} [GJ]	Q _{f,F} [GJ]	Q _{f,W} [GJ]	Q _{f,L} [GJ]	Q _{f,Ap} [GJ]	Q _{f,A} [GJ]	Q _{f,fuel} [GJ]
1	2,7	---	---	0,1	0,6	0,4	---	0,2	4,1
2	1,9	---	---	0,1	0,6	0,3	---	0,2	3,1
3	1,0	---	---	0,1	0,6	0,3	---	0,2	2,2
4	0,1	---	---	0,1	0,6	0,2	---	0,2	1,3
5	---	---	---	0,1	0,6	0,2	---	0,2	1,2
6	---	---	---	0,1	0,6	0,2	---	0,2	1,1
7	---	---	---	0,1	0,6	0,2	---	0,2	1,2
8	---	---	---	0,1	0,6	0,2	---	0,2	1,2
9	---	---	---	0,1	0,6	0,2	---	0,2	1,2
10	0,4	---	---	0,1	0,6	0,3	---	0,2	1,6
11	1,7	---	---	0,1	0,6	0,3	---	0,2	3,0
12	2,5	---	---	0,1	0,6	0,4	---	0,2	3,9
Suma:	10,3	---	---	1,5	7,2	3,2	---	2,9	25,1

Vysvětlivky:

Q_{f,H} je vypočtená spotřeba energie na vytápění; Q_{f,C} je vypočtená spotřeba energie na chlazení; Q_{f,RH} je vypočtená spotřeba energie na úpravu vlhkosti vzduchu; Q_{f,F} je vypočtená spotřeba energie na nucené větrání; Q_{f,W} je vypočtená spotřeba energie na přípravu teplé vody; Q_{f,L} je vypočtená spotřeba energie na osvětlení; Q_{f,Ap} je vypočtená spotřeba energie na spotřebiče; Q_{f,A} je pomocná energie a Q_{f,fuel} je celková dodaná energie. Všechny hodnoty zohledňují vlivy účinností technických systémů.

Vypočtená spotřeba energie za rok v rámci řešení PENB

$$Q_{fuel} = 25,1 \text{ (GJ)}$$

$$Q_{fuel} = E_V = 6,972 \text{ (MWh)}$$

V rámci výpočtu PENB dle národní metodiky není uvažována spotřeba energie na spotřebiče a proto je pro účely porovnání skutečné a ekvivalentní vypočtené spotřeby nutné tuto spotřebu dopočítat.

5.2 Výpočet ekvivalentní spotřeby elektrické energie

Vybrané elektrické spotřebiče domácnosti

- Televizor Samsung UE 48J62272
- Elektrická trouba MORA VT 548 MX
- Indukční varná deska VDS 640 X1
- Pračka Whirlpool AWS 63013
- Myčka MORA IM 641
- Lednice MORA VC 182

Odhad spotřeby elektrické energie vybraných elektrických spotřebičů domácnosti

(v rámci výpočtu jsou zanedbány stand-by režimy spotřebičů)

Televizor Samsung UE48J62272

Televizor Samsung UE 48J62272 má výrobcem deklarovanou roční spotřebu elektrické energie o hodnotě **90 kWh**. Tato hodnota spotřeby elektrické energie je průměrnou spotřebou elektrické energie za standardní dobu užívání 4h/den.

Uvažovaná roční provozní spotřeba:

$$E_1 = 90 \text{ kWh}$$

Pračka Whirlpool AWS 63013

Pračka Whirlpool AES 63013 má výrobcem stanovenou průměrnou roční spotřebu energie o hodnotě **147 kWh**.

Uvažovaná roční provozní spotřeba:

$$E_2 = 147 \text{ kWh}$$

Myčka MORA IM 641

Myčka MORA IM 641 má výrobcem garantovanou spotřebu elektrické energie 0,95 kWh za jeden mycí cyklus.

Uvažovaný počet cyklů za rok: $p = 300$

Uvažovaná roční provozní spotřeba:

$$E_3 = p \cdot E_{\text{cyklus}} = 300 \cdot 0,95 = 285 \text{ kWh}$$

Chladnička MORA VC 182

Deklarovaná spotřeba elektrické energie podle energetického štítku spotřebiče je stanovena na hodnotu 0,63kWh/den.

Uvažovaná roční provozní spotřeba:

$$E_4 = t_{rok} \cdot E_{den} = 365 \cdot 0,63 \approx \mathbf{230 kWh}$$

Elektrická trouba MORA VT 568 MX

Deklarovaná spotřeba elektrické energie podle energetického štítku spotřebiče je stanovena na hodnotu 0,85kWh/cyklus.

Uvažovaný počet cyklů za rok: 300

Uvažovaná roční provozní spotřeba:

$$E_3 = p \cdot E_{cyklus} = 300 \cdot 0,85 = \mathbf{255 kWh}$$

Indukční varná deska MORA VDS 640 X1

$$P_{Pmax.} = 6400 \text{ kW}$$

Uvažovaná denní spotřeba varné desky: $t_{den}=0,50\text{h/den}$

$$\beta_V = 0,5 \text{ (-)}$$

$$P_{\beta V} = \beta_V \cdot P_{PVmax.} = 0,5 \cdot 6400 = 3200 \text{ W}$$

$$E_{6den} = t_{den} \cdot P_{\beta V} = 0,5 \cdot 3200 = 1600 \text{ Wh}$$

Uvažovaná roční provozní doba:

$$E_6 = t_{rok} \cdot E_{6den} = 365 \cdot 1600 = 584\,000 \text{ Wh} = \mathbf{584 kWh}$$

Celková vypočtená spotřeba elektrické energie na chod vybraných spotřebičů

$$E_S = \sum_{n=1}^6 E_n = \mathbf{1591,00 kWh}$$

Celková vypočtená dodaná energie do budovy z energetických soustav

$$E_{EKV} = E_{fuel} + E_S = 6972 + 1591 = \mathbf{8563,00 kWh}$$

5.3 Výpočet celkové roční platby za elektrickou energii stanovenou PENB

Výpočet celkové roční platby za elektrickou energii

Distributor elektrické energie

Skupina ČEZ s.r.o.

Tarif

D Přímotop

Spotřeba VT+NT: 8,563 MWh

VT: 1,310 MWh

NT: 7,253 MWh

Stálé platby: $N_{V1} = 12 \cdot (p1 + p2) = 12 \cdot (300 + 60) = 4320,00 \text{ Kč}$

Platby za VT: $N_{V2} = VT \cdot (p3 + p4 + p5 + p6 + p7) = 1,31 \cdot (250,03 + 119,25 + 495,00 + 7,75 + 1481,00) \approx 3082,50 \text{ Kč}$

Platby za NT: $N_{V3} = NT \cdot (p8 + p4 + p5 + p6 + p9) = 7,253 \cdot (36,38 + 119,25 + 495,00 + 7,75 + 1261,00) \approx 13\,921,30 \text{ Kč}$

Základ daně: 21 323,80 Kč

DPH (21%): 4477,83 Kč

Celkem: 25 801,63 Kč

Zaokrouhlení: 25 802,00 Kč

5.4 Skutečná spotřeba elektrické energie

Spotřeba VT+NT: 6,316 MWh

Distributor elektrické energie

Skupina ČEZ s.r.o.

Tarif

D Přímotop

Regulované platby související s dodávkou elektřiny

Stály měsíční příjem za jednotku

Počet jednotek: 12,000

Kč/jednotka: 300,000

Základ daně (Kč): **3600,000**

Spotřeba elektřiny ve vysokém tarifu

Počet jednotek: 0,963MWh

Kč/jednotka: 250,030

Základ daně (Kč): **240,780**

Spotřeba elektřiny ve nízkém tarifu

Počet jednotek: 5,573MWh

Kč/jednotka: 36,380

Základ daně (Kč): **202,740**

Spotřeba elektřiny za systémové služby

Počet jednotek: 6,316MWh

Kč/jednotka: 119,250

Základ daně (Kč): **753,180**

Cena za úhradu nákladů spojených s dopravou elektřiny

Počet jednotek: 6,316MWh

Kč/jednotka: 495,000

Základ daně (Kč): **3126,000**

Cena OTE za činnost zúčtování

Počet jednotek: 6,316MWh

Kč/jednotka: 7,550

Základ daně (Kč): **44,760**

Regulované platby za silovou elektřinuPevná cena za měsíc

Počet jednotek: 12,000

Kč/jednotka: 60,000

Základ daně (Kč): **720,000**Spotřeba elektřiny ve vysokém tarifu

Počet jednotek: 0,963MWh

Kč/jednotka: 1448,000

Základ daně (Kč): 1394,424

Spotřeba elektřiny v nízkém tarifu

Počet jednotek: 5,353

Kč/jednotka: 1261,000

Základ daně (Kč): **6750,000**Daň z elektřiny

Počet jednotek: 6,316

Kč/jednotka: 7,550

Základ daně (Kč): **44,760****Celkem za zúčtovací období 27. 8. 2014 – 26. 7. 2015****Spotřeba VT+NT: 6,316 MWh****Základ daně: 16 942,57 Kč****DPH (21%): 3 557,93 Kč****Celkem: 20 500,50 Kč****5.5 Porovnání skutečné spotřeby a vypočtené spotřeby dle PENB****Procentuální odchylka**

$$\left(\frac{8,563 - 6,316}{6,316} \right) \cdot 100\% \approx 35\%$$

Vypočtená spotřeba elektrické energie pasivního domu v rámci řešení PENB se liší od skutečné spotřeby energie pasivního za dané zúčtovací období přibližně o 35%.

Proč je vypočtená spotřeba odlišná od reálného provozu?

V rámci výpočtu energetické náročnosti budovy jsou dodané energie na hranici budovy počítány pro vstupní okrajové podmínky, které nemusely odpovídat reálnému provozu budovy.

Rozdíl mezi reálnými podmínkami při reálném užívání stavby a výpočtovými podmínkami uvažovanými v rámci výpočtu PENB je příčinou rozdílu mezi skutečnou spotřebou elektrické energie a spotřebou elektrické energie dle PENB. Mnoho vlastníků nemovitostí si myslí, že mohou průkaz použít pro stanovení nákladů na provoz objektu. Hlavním důvodem pro zavedení PENB ale není kontrola spotřeby elektrické energie u stávajících objektů. Průkaz energetické náročnosti má funkci porovnávací (porovnání objektů z hlediska jejich energetické náročnosti). Vstupní okrajové podmínky výpočtu totiž nemohou ovlivnit klasifikaci hodnocené budovy, jelikož tyto vstupní okrajové podmínky hodnocené budovy jsou shodné s budovou referenční. V rámci porovnání vypočtené a skutečné spotřeby energie za dané roční období je dále nutné si uvědomit, že vypočtená spotřeba energie v rámci průkazu energetické náročnosti je uvedena pouze pro zajištění požadovaného vnitřního prostředí. V průkazu energetické náročnosti není započtena spotřeba energie spojená s provozem elektrických spotřebičů. Proto je nutné pro účely porovnání spotřeby energie tuto spotřebu energie odhadem stanovit.

Energetický specialista by proto měl připomínat vlastníků objektů, že vypočtená spotřeba energie v rámci návrhu PENB je stanovená pro vstupní okrajové podmínky, které nemusí korespondovat se skutečným provozem objektu. Pro kvalifikovaný odhad spotřeby energie pomocí PENB by musel být nadefinován vlastní profil užívání objektu, který by korespondoval s reálnými podmínkami provozu. V rámci výpočtové metodiky PENB je možné stanovit vlastní profil užívání, jelikož užívání předdefinovaných profilů uvedených 73 0331 není závazné. Tímto opatřením bychom zmenšili rozdíl mezi skutečnou a vypočtenou spotřebou PENB. I s tímto opatřením ale nelze použít PENB pro stanovení skutečné spotřeby energie, jelikož v rámci národní výpočtové metodiky není vypočtena dodaná energie na hranici budovy pro elektrické spotřebiče. Z toho plyne, že průkaz energetické náročnosti tedy nelze použít ke stanovení spotřeby elektrické energie.

Závěr

Cílem mé diplomové práce bylo provedení technické a ekonomické analýzy pasivního rodinného domu.

V úvodní kapitole diplomové práce jsem popsal a specifikoval problematiku pasivních domů včetně klasifikace staveb z hlediska energetické náročnosti.

Ve druhé kapitole jsem vypracoval popis analyzovaného pasivního rodinného domu. V rámci popisu jsou uvedeny základní identifikační a technické údaje o analyzovaném pasivním rodinném domě

Ve třetí kapitole jsem popsal teoreticky problematiku infračervené termografie. V rámci technické analýzy jsem provedl termografickou diagnostiku analyzovaného pasivního rodinného domu včetně zpracování protokolu z této diagnostiky.

V rámci čtvrté kapitoly jsem popsal problematiku hodnocení energetické náročnosti budov. Dále jsem v této kapitole vypracoval průkaz energetické náročnosti pomocí výpočtového softwaru Energie 2015. Analyzovaný pasivní dům byl po výpočtovém zpracování zařazen do kategorie A (mimořádně úsporná).

V páté kapitole jsem vypracoval ekonomickou analýzu pasivního rodinného domu formou porovnání skutečné a vypočtené spotřeby energie dle PENB. K porovnání jsem použil data z periodické faktury za sdružené služby pro roční zúčtovací období. V rámci ekonomické analýzy jsem diskutoval rozdílnost mezi skutečnou a stanovenou spotřebou elektrické energie.

Vypracováním této práce jsem získal základní znalosti o problematice energeticky úsporné architektury a diagnostice energeticky úsporných staveb. Vypracováním této práce jsem získal praktické zkušenosti s hodnocením energetické náročnosti budov. Kompletní průkaz energetické náročnosti je uveden v příloze.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Pasivní domy: co je pasivní dům* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/co-je-pasivni-dum/t2>
- [2] *Euroline* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.euroline.cz/cz/projekty/rodinne-domy/pasivni-dum.html>
- [3] *Kalksandstein* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://kalksandstein.cz/pasivni-domy-technicke-clanky/pasivni-domy-i-co-je-to-pasivni-dum.html>
- [4] *Tzb-info* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/7073-certifikace-pasivnich-domu-dle-passivhaus-institut>
- [5] MARTÍNEK, Zbyněk Bc. *Návrh vytápění a větrání u pasivního rodinného sídla včetně projektu elektroinstalace a připojení na distribuční síť*. Plzeň, 2015. Diplomová práce. Fakulta elektrotechnická ZČU. Vedoucí práce Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.
- [6] *Pasivní domy* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/z-historie-pasivnich-domu/t1083>
- [7] *Rafalnowakowski* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://rafalnowakowski.archnet.pl/artikul,i-dawniej-mieszka-no-pod-ziemia.html>
- [8] RYBA, Radim Bc. *Posouzení návratnosti investice do nízkoenergetického nebo pasivního domu*. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické Brno. Vedoucí práce Ing. Vítězslava Hlavinková.
- [9] *Newsinenglish* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.newsinenglish.no/2010/04/16/views-and-news-museum-guide/>
- [10] *Misfitsarchitecture* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://misfitsarchitecture.com/2012/09/29/architecture-misfit-6-george-fred-keck/>
- [11] *Passiv* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: http://passiv.de/former_conferences/elfte/english/03_Inhalt_Kranichstein.html
- [12] *Pasivní domy* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/kvalita-prostredi/t4030>
- [13] HAMPLOVÁ, Monika Bc. *Pasivní a nízkoenergetické domy*. Plzeň, 2012. Diplomová práce. Fakulta elektrotechnická ZČU. Vedoucí práce Ing. Milan Bělik, Ph.D.
- [14] *Pasivní domy* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/architektura-pasivniho-domu/t4026?s=102>
- [15] *Archiweb* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.archiweb.cz/salon.php?action=show&id=1204&type=10>
- [16] *Tzb-info* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/13877-umisten-i-tvar-a-rozvrzeni-mistnosti-pasivniho-domu>
- [17] *Kalksandstein* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://kalksandstein.cz/index.php?page=odborne-informace-fyzika>
- [18] *Tzb-info* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5912-nova-generace-cihelneho-systemu-pro-nizkoenergeticke-a-pasivni-domy>
- [19] *Heluz* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.heluz.cz/cs/vyrobek/heluz-family-44-2in1-brousená>
- [20] *Tzb-info* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/12722-dodrzuje-zakladni-pravidla-pro-zatepovani-sedym-polystyrenem>
- [21] *Izolace-info* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.izolace-info.cz/technicke-informace/nazvoslovi-tepelných-informaci/>
- [22] *Pasivní domy* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/izolace/t4027?s=102>
- [23] *Internetové stavebniny* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: http://www.internetove-stavebniny.cz/Izolace-vata-c15_0_1.htm
- [24] *Ceskestavby* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.ceskestavby.cz/clanky/proc-kam-foukanou-celulozovou-izolaci-21601.html>
- [25] *Asb-portal* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyroby/tepelne-izolace/vakuove-izolacni-panely>
- [26] *Pasivní domy* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/okna-a-dvere/t4028>
- [27] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: Nulové, pasivní a další*. První vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012. ISBN 978-80-247-3832-1.

- [28] *Stavebnictvi3000* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/izolacni-trojskla-thermobel-tri/>
- [29] *Zaluzie24* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.zaluzie24.eu/venkovni-zaluzie-typy-a-vyhody>
- [30] *Pasivnidomy* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/nepruvzdusnost-zkouska-kvality/t4031?s=102>
- [31] *Tzb-info* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domu/13994-vzduchotesnost-pasivniho-domu>
- [32] *Pasivni domy* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/nepruvzdusnost-zkousky-kvality/t371?chapterId=1818>
- [33] PEŠTA, Jan, David TESAŘ a Viktor ZWIENER. *Diagnostika staveb: Hydroizolace, Termografie, Blower door test, Akustika*. Druhé. DEK a.s., 2014. ISBN ISBN 978-80-87215-15-9.
- [34] *Tzus* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.tzus.cz/certifikace-budov/dalsi-sluzby-v-energetice/blower-door-test>
- [35] *Drevostavitel* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/jak-odhalit-nedostatky-otvorovych-vyplni->
- [36] *Tzbportal* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.tzbportal.sk/sprava-budov/termodiagnostika-bytovych-domov.html-0>
- [37] *Pasivnidomy* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/vetrani-a-vytapeni/t4029?s=102>
- [38] *Pasivnidomy* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/forum-expertu-o-co-jste-prisli-v-diskusi-o-vetrani-pasivnich-domu/t4219>
- [39] *Publi* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/92/07.html>
- [40] *Nilan* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.nilan.cz/poradna/pasivni-a-aktivni-rekuperace.htm>
- [41] *Dumabyt* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/snizovani-energeticke-narocnosti-budov/zemni-vzduchovy-vymenik-awadukt-thermo_105912.html
- [42] JIROVSKÝ, Jan Bc. *Návrh elektroinstalace rodinného sídla*. Plzeň, 2014. Bakalářská práce. Fakulta elektrotechnická ZČU. Vedoucí práce Doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.
- [43] *Terms* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.terms-cz.com/tepelna-cerpadla.php>
- [44] *Cez* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k21.htm>
- [45] *Tzb-info* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/6518-prime-vyuziti-sluncni-energie-systemy-vyuzivajici-fototermaalni-kapalinove-kolektory-i>
- [46] *Solarni-system* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.solarni-system.eu/ohrev-vody-pritapeni-a-ohrev-bazenu>
- [47] *Oenergetice* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti/>
- [48] *Termokamera* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/tepelne-zareni/>
- [49] *Termokamery-flir* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.termokamery-flir.cz/termokamera-flir-e40bx-e50bx-e60bx/>
- [50] *Fast10* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps3/6.html>
- [51] *Wikipedia* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/William_Herschel
- [52] *Ephoto* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.ephoto.sk/fotoskola/clanky/kompozicia-farby-vo-fotografii-i/>
- [53] *Achtungpanzer* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.achtungpanzer.com/german-infrared-night-vision-devices-infrarot-scheinwerfer.htm>
- [54] *Docplayer* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/9524692-Termovize-a-blower-door-test.html>
- [55] *Gymhol* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/13_act/13_act.htm

- [56] TESAR, Jiří Ing. *Termografie v plazmových a laserových technologiích*. Plzeň, 2014. Disertační práce. Fakulta aplikovaných věd ZČU. Vedoucí práce Doc. Ing. Milan Honner, PHd.
- [57] *Termokamera* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/konstrukce-termokamery/>
- [58] *Automatizace* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005111601>
- [59] *Termogram* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: http://www.termogram.cz/nabidka_sluzeb_termovize
- [60] *Termokamera* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/parametry-termokamery/>
- [61] *Thermal-imaging-camera* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://thermal-imaging-camera.irpod.net/produkty/portable-infrared-thermal-imaging-cameras/thermal-imager-avio-nec-thermo-shot-f30w/>
- [62] *Amazon* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.amazon.com/Testo-0572-1754-2-Channel-Temperature/dp/B009NY53XS>
- [63] ČSN EN 13187. *Tepelné chování budov - Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov - Infračervená metoda*. 1999.
- [64] *Termosnimky* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.termosnimky.net/podminky-mereni/>
- [65] *In-pocasi* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=losina&historie=02-25-2015>
- [66] *Tzb-info* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/9745-nove-pozadavky-na-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-od-1-dubna-2013>
- [67] BERNARDINOVÁ, Anna a Miroslav MAREŠ. *Zpracování průkazu energetické náročnosti energetické náročnosti: Praktická příručka*. Praha: Linde, 2013. ISBN 978-80-7201-914-4.
- [68] VYHLÁŠKA Č.78/2013 SB. *O energetické náročnosti budov*. 2013.
- [69] *Nkn* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://nkn.fsv.cvut.cz/legislativa>
- [70] *Nkn* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://nkn.fsv.cvut.cz/tni-730331>
- [71] *Kcad* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/teplna-technika/energie/>

Přílohy

- A-1 Podklady pro návrh průkazu energetické náročnosti pasivního rodinného domu
- A-2 Průkaz energetické náročnosti pasivního rodinného domu

