

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zateplení domu z hlediska 3E

**vedoucí práce: Ing. David Rot, Ph.D.
autor: Ondřej Malina**

2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej MALINA**
Osobní číslo: **E11N0125P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Zateplení domu z hlediska 3E**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Uveďte teorii sdílení tepla a popište zásady výstavby nízkoenergetických staveb rodinných domů
2. Určete energetickou náročnost konkrétního objektu výpočtem
3. Ověřte výpočet měřením teploty pomocí termokamery a na základě měření především určete tepelné ztráty prostupem
4. Provedte posouzení pomocí výpočtu pro různé tloušťky a druhy izolačních materiálů, porovnání různých variant zateplení s ohledem na ekonomickou návratnost
5. Uveďte závěry pro praxi


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

1. Rada, J.: Elektrotepelná technika, Praha, SNTL, 1985
2. Starck, Axel von; Mühlbauer, Alfred; Kramer, Carl, Handbook of thermoprocessing technologies : fundamentals, processes, components, safety, Essen, Vulkan-Verlag 2005
3. Racknagel, Hermann; Sprenger, Eberhard; Schramek, Ernst-Rudolf: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschliesslich und Kältetechnik, München, Oldenbourg, 1999
4. Internet

Vedoucí diplomové práce: Ing. David Rot, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie
Konzultant diplomové práce: Ing. Jaroslav Bublík
Katedra elektroenergetiky a ekologie
Datum zadání diplomové práce: 15. října 2012
Termín odevzdání diplomové práce: 9. května 2013


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




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

V Plzni dne 15. října 2012

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na problematiku nízkoenergetických domů. Práce je rozdělena na sedm kapitol, ve kterých čtenáři přibližuje teoretické i praktické poznatky problematiky nízkoenergetické výstavby. V první a druhé části je práce zaměřena na obecné poznatky sdílení tepla a zásady nízkoenergetických staveb. Třetí část čtenáři přibližuje problematiku energetického hodnocení budov podle legislativy ČR. V další části se práce věnuje praktickému výpočtu energetické náročnosti konkrétního objektu. Následující kapitola se věnuje měření ztrát prostupem tepla pomocí termokamery. V předposlední části je práce zaměřena na ekonomické a energetické hodnocení různých řešení zateplení, na které navazují doporučení a závěry technické praxe.

Klíčová slova

Sdílení tepla, nízkoenergetický dům, průkaz energetické náročnosti budov, energetický štítek obálky budovy, energetický audit, optimalizační studie, ztráty prostupem tepla, energetická náročnost, termokamera, tepelná izolace

Annotation

This thesis is focused on problems of low-energy houses. This thesis is divided into seven chapters in which approaches theoretic and practice knowledge about low-energy construction. In the first and second part there is the thesis focused on general knowledge of heat and principles of low-energy construction. The third part of thesis approaches to reader problems about energy rating according to Czech legislation. The next part deals with the practical calculation of the energy performance of a specific object. Next chapter is focused on the measurement of transmission of heat losses with the thermal imager. In the penultimate part there is thesis focused on economic and energy rating of different kind of solutions of thermal insulation which is followed with recommendations and conclusions for technical praxis.

Key words

Heat sharing, low-energy house, energy performance certificates, label of the building envelope, energy audit, optimization study, heat losses by transmission, energy intensity, thermal imaging camera, thermal insulation

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.

V Plzni dne 29.4.2013

Ondřej Malina

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Davidu Rotovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	9
ÚVOD.....	9
SEZNAM SYMBOLŮ	10
1. SDÍLENÍ TEPLA	12
1.1 SDÍLENÍ TEPLA PROUDĚNÍM	12
1.1.1 Druhy proudění.....	13
1.1.2 Newtonova rovnice	13
1.1.3 Fourier – Kirchhoffova rovnice.....	14
1.1.4 Součinitel přestupu tepla konvekcí	14
1.2 SDÍLENÍ TEPLA ZÁŘENÍM	15
1.2.1 Stefan – Boltzmannův zákon	17
1.2.2 Planckův zákon	17
1.2.3 Stupeň černosti ε	18
1.2.4 Wienův posunovací zákon.....	19
1.3 SDÍLENÍ TEPLA VEDENÍM	19
1.3.1 Tepelný tok.....	21
1.3.2 První Fourierův zákon	21
1.3.3 Součinitel tepelné vodivosti λ	21
1.3.4 Druhý Fourierův zákon vedení tepla	22
1.3.5 Součinitel teplotní vodivosti a	23
2 NÍZKOENERGETICKÝ RODINNÝ DŮM.....	24
2.1 ZÁSADY VÝSTAVBY	24
2.1.1 Lokalita	25
2.1.2 Tvar budovy	26
2.1.3 Stavební konstrukce	26
2.1.4 Výplně otvorů.....	32
2.1.5 Střecha	36
2.1.6 Podlaha a základy.....	37
3 ENERGETICKÁ BILANCE.....	39
3.1.1 Průkaz energetické náročnosti budovy.....	39
3.1.2 Energetický štítek obálky budovy.....	41
3.1.3 Energetický audit	44
3.1.4 Optimalizační studie	45
4 ENERGETICKÁ NÁROČNOST NED V BAKOVĚ NAD JIZEROU	46
4.1 ZÁKLADNÍ URČENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT	46
4.2 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT POMOCÍ SOFTWARE ENERGIE 2010.....	47
4.2.1 Hodnocení objektu z pohledu ztrát a solárních zisků:	49
4.2.2 Přehledné výsledky výpočtu tepelných ztrát:	52

4.2.3	<i>Dodaná energie</i>	53
4.2.4	<i>Přehledné výsledky výpočtu:</i>	55
5	MĚŘENÍ TERMOKAMEROU	57
5.1	EMISIVITA	57
5.2	TEPLOTA ODRAŽENÉHO ZÁŘENÍ.....	57
5.3	VZDÁLENOST OD OBJEKTU	57
5.4	RELATIVNÍ VLHKOST	58
5.5	TERMOKAMERA FLIR T335	58
5.6	MĚŘENÍ TERMOKAMEROU NED V BAKOVÉ NA JIZEROU Č.P. 114.....	59
5.6.1	<i>Určení tepelných ztrát prostupem</i>	61
6	MOŽNOSTI SNÍŽENÍ ENERGETICKÝCH ZTRÁT IZOLACÍ	64
6.1	PĚNOVÉ MATERIÁLY	64
6.1.1	<i>Pěnový polystyren</i>	64
6.1.2	<i>Pěnový polyuretan</i>	65
6.2	NEROSTNÉ MATERIÁLY	65
6.2.1	<i>Minerální vlna</i>	65
6.3	PŘÍRODNÍ MATERIÁLY	65
6.3.1	<i>Konopí</i>	65
6.3.2	<i>Celulóza</i>	66
6.4	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ IZOLACÍ	66
7	DOPORUČENÍ TECHNICKÉ PRAXI	69
	ZÁVĚR	70
	POUŽITÉ ZDROJE	71

Úvod

Odpovědí na v současné době neustálé zvyšování cen energie je nízkoenergetická a pasivní výstavba, po které se v dnešní době poohlíží čím dál větší množství lidí, kteří uvažují o samostatném bydlení v rodinném domě. Před samotnou výstavbou je nutné si uvědomit, jaké jsou možnosti realizace a řešení takového domu v závislosti na předpokládané lokalitě a ekonomických možnostech investora výstavby.

Cílem předkládané práce je výpočet teoretických tepelných ztrát nízkoenergetického rodinného domu v Bakově nad Jizerou a ověření kvality stavby pomocí termokamery. Pro určení energetické náročnosti objektu je nejvýhodnější využití softwarů jako je například ENERGIE 2010, Svoboda Software nebo program Protech, které počítají tepelné ztráty podle TNI 73 0329 a dalších norem.

V další části práce jsem provedl zhodnocení možnosti užití jiných tepelně izolačních materiálů s různými tloušťkami pro zateplení budovy s ohledem na ekonomickou návratnost. V této části jsou vypočítány a porovnány tepelné ztráty prostupem na modelové stěně o ploše jeden metr čtvereční. V poslední části jsem uvedl závěry z výpočtů a doporučení pro technickou praxi.

Seznam symbolů

Název	Značka	Jednotka
celkový měrný tepelný odpor složené stěny	$\sum R_{\lambda,i}$	$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
součinitel teplotní vodivosti	α	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
plocha prvku, obvodového pláště	A	m^2
faktor tvaru budovy	A/V	m^2/m^3
rychlost světla	c	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
měrná tepelná kapacita	c_p	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
intenzita záření černého tělesa	$E_{\check{c}}$	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
kmitočet	f	Hz
celková propustnost slunečního záření	g	-
celková měrná ztráta budovy	H	W/K
měrná ztráta prostupem tepla přes nevytápěné prostory	H_U	$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$
měrná entalpie	i	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
délka lineárního mostu	l	m
tepelná propustnost obvodovým pláštěm	L_D	$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$
ustálená tepelná propustnost přes zeminu	L_S	$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$
neprůvzdušnost	$N_{50,N}$	h^{-1}
hustota tepelného toku	q	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
celková tepelná ztráta budovy v daném úseku	Q_I	Wh
vydatnost vnitřního objemového tepelného zdroje	q_v	$\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$
teplota	t	K
délka časového úseku	t	hod
součinitel prostupu tepla	U	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
součinitel prostupu tepla zasklení	U_g	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
rychlost	v	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
celkový objem vnitřního vzduchu	V	m^3
objemový tok vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa	V'_{50}	m^3/s
součinitel přestupu tepla	α	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
Stefan-Boltzmannova konstanta	$\delta_{\check{c}}$	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
emisivita	ε	-
termodynamická teplota	Θ	K
průměrná teplota vnějšího vzduchu v daném časovém období	Θ_e	$^{\circ}\text{C}$
požadovaná vnitřní teplota	Θ_i	$^{\circ}\text{C}$
teplota okolí	ϑ_o	$^{\circ}\text{C}$
teplota povrchu	ϑ_p	$^{\circ}\text{C}$

součinitel tepelné vodivosti	λ	$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
vlnová délka	λ	m
hustota	ρ	kg.m^{-3}
čas	τ	s
bodový činitel prostupu tepla tepelného mostu	χ	W.K^{-1}
lineární činitel prostupu tepla tepelného mostu	ψ	$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků	ČKAIT	
Energetický audit	EA	
Energetický štítek obálky budovy	EŠOB	
Optimalizační studie	OPT	
Průkaz energetické náročnosti budovy	PENB	
Teplá užitková voda	TUV	

1. Sdílení tepla

Zkušenosti se sdílením tepla získával člověk už v dávnověku vnímáním slunečního záření, pocitu tepla a chladu a rozpoznáváním mezi chladnějšími a teplejšími tělesy. Původně bylo teplo považováno za neviditelné fluidum.

O první pokus matematického modelu se zasloužil Isaac Newton, který se jako první pokusil kvantifikovat teplo na základě svého ochlazovacího zákona.

První moderní zpracování nauky o vedení tepla zpracoval roku 1822 teoretický fyzik Jean Fourier. Jeho rovnice popisující vedení tepla se stala jednou ze základních lineárních rovnic matematické fyziky a nese jeho jméno.

Sdílením tepla rozumíme přenos z teplejší oblasti, do oblasti o nižší teplotě. Rozlišujeme tři základní druhy sdílení tepla, mezi něž patří konvekce, radiace a kondukce.

Sdílení tepla vedením - kondukcí souvisí s tepelným pohybem a vzájemným působením částic. Vedením se teplo nesdílí pouze v tuhých tělesech, nicméně v tuhých tělesech je to jediná možnost sdílení tepla.

Proudění - konvekce je způsob sdílení tepla pouze v proudícím prostředí. Neexistuje pouze v čisté formě. Uvnitř i na rozhraní mezi tekutinou a pevným tělesem je vždy doprovázeno vedením.

Sdílení tepla zářením - radiací je uskutečňováno pomocí elektromagnetického vlnění, kde se tepelná energie tělesa mění v elektromagnetické vlnění, které se šíří prostředím a je pohlcované ostatními tělesy. Na rozdíl od předešlých dvou způsobů, tento není závislý na hmotném prostředí, z čehož vyplývá, že může probíhat i v absolutním vakuu. [3][8][9]

1.1 Sdílení tepla prouděním

Sdílení tepla prouděním - konvekcí je proces, který souvisí s prouděním a plynutím tekutiny. Proudění představuje současné sdílení tepla vedením. Nelze si představit proudění bez tepelného pohybu elementárních částic. Nejintenzivněji se vedení tepla projevuje v mezní vrstvě. U proudící tekutiny bychom měli správně mluvit o konvekčně – kondukčním sdílení tepla. V praxi se tento pojem nepoužívá a hovoří se pouze o konvekčním sdílení tepla.

Podle druhu sil, které způsobují proudění, mluvíme o nucené nebo přirozené konvekci. Přirozená konvekce nastává v tíhovém poli při různých měrných hmotnostech nerovnoměrně ohřáté tekutiny. Volnou konvekci mohou vyvolávat i jiné síly než pouze gravitační. Další takovou silou může být například Coriolisova nebo elektromagnetická síla.

Nucená konvekce popisuje pohyb tekutiny způsobený povrchovými silami. Takové síly

mohou být vyvolány různými zařízeními, jako jsou čerpadla, ventilátory aj. V praxi se setkáváme vždy s prouděním složeným z nucené i volné konvekce. Podíl volné konvekce je tím menší, čím větší je podíl nucené. To znamená, že při vysokých rychlostech nuceného proudění, můžeme přirozenou konvekci zanedbat.

Konvekci můžeme dále rozdělit podle způsobu toku tekutiny na vnitřní, když sledujeme proudění například v armaturách a vnější, při sledování obtékání tuhých těles.

1.1.1 Druhy proudění

Z hydromechaniky je známo, že existují dva druhy proudění, jimiž jsou laminární proudění a turbulentní proudění. Při laminárním proudění se částice obecné látky pohybují rovnoběžně se stěnami kanálu, zatímco u turbulentního proudění se částice pohybují chaoticky. Laminární proudění se změní v turbulentní, jestliže střední průtočná rychlost kapaliny dosáhne kritické, nebo větší hodnoty. Tato kritická rychlost se mění s druhem kapaliny i geometrickými podmínkami. Při turbulentním proudění není pohyb celé kapaliny neuspořádaný. Kolem stěny omezující proud se vždy vytvoří tenká vrstva kapaliny s laminárním pohybem částic. Tato vrstva se nazývá mezní vrstva a její tloušťka závisí na střední průtokové rychlosti. Se vzrůstem rychlosti se tato tloušťka zmenšuje. [6]

1.1.2 Newtonova rovnice

Při předávání tepla prouděním je jedním ze základních vztahů Newtonova rovnice, která má tvar:

$$q = \alpha(\vartheta_p - \vartheta_o) \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (1.1.1)$$

α - součinitel přestupu tepla ($\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$)

ϑ_p - teplota povrchu (K)

ϑ_o - teplota okolí (K)

1.1.3 Fourier – Kirchhoffova rovnice

Teplotní pole proudící tekutiny popisuje také Fourier – Kirchhoffova rovnice (v některé literatuře uváděná jako I. Fourierův zákon). Která předpokládá, že je tekutina izotropní, homogenní a má konstantní fyzikální vlastnosti. Vycházíme z Fourierovy rovnice pro vedení tepla, je popsána v oddíle 1.3.4, která se týká vedení tepla v tuhém tělese a má tvar:

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (1.1.2)$$

λ - součinitel tepelné vodivosti ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

t - teplota (K)

U pohybujícího se prostředí je nutné k tepelnému toku q přidat teplo, které přenesou tekutina o hustotě ρ , entalpii i a rychlosti v přes jednotku plochy za jednotku času.

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t + \rho \cdot v_{xyz} \cdot i \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (1.1.3)$$

ρ - hustota (kg.m^{-3})

v - rychlost (m.s^{-1})

i - měrná entalpie (kJ.kg^{-1})

1.1.4 Součinitel přestupu tepla konvekcí

Součinitel přestupu tepla prouděním - konvekcí je množství tepla, které je předané mezi tekutinou a jednotkovou plochou stěny za jednotkový čas. Přičemž rozdíl teplot mezi stěnou a tekutinou je 1 K. Tento součinitel značíme α [$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$], nabývá různých hodnot dle charakteru proudění.

Součinitel α stanovuje intenzitu výměny tepla na rozhraní tekutiny a povrchu stěny. Čím je součinitel vyšší, tím intenzivněji dochází k výměně tepla. Pro správné vyjádření konvekce je důležité správně určit hodnotu součinitele α . Matematicky můžeme součinitel přestupu tepla vyjádřit pomocí I. Fourierova zákona (1.1.2) a Newtonova zákona (1.1.1) jako:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\vartheta_{\text{tekutiny}} - \vartheta_{\text{povrchu}}} * \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) \quad (\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}) \quad (1.1.4)$$

Vzhledem k tomu, že součinitel přestupu tepla určuje intenzitu výměny tepla na rozhraní tekutiny a stěny je ho nutné určit správně, proto se při určování součinitele přestupu tepla vychází z reálných experimentů, které jsou zpracovány do kritériálních rovnic, jejichž platnost je omezena rozsahem měření. Rovnice, která by umožnila vypočítat α by musela zahrnovat vliv všech zúčastněných veličin, mezi něž patří: charakter proudění, rozměry, tvar, poloha, drsnost povrchu, tepelná vodivost, viskozita atd. Z výše uvedených důvodů byla stanovena obecná kritériální rovnice, která obecně popisuje celý proces sdílení tepla konvekcí. V této rovnici se vyskytují kritéria (bezrozměrná čísla), která jsou určena z analýzy základních rovnic popisující proudění.

Obecná kritériální rovnice má tvar:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr, Fo, Po, \xi_x, \xi_y, \xi_z) \quad (1.1.5)$$

Kde jednotlivé zkratky znamenají jména jednotlivých kritérií, jimiž jsou: Nusseltovo, Reynoldsovo, Grashoffovo, Prandtltovo, Fourierovo a Pomerancevovo. Symboly ξ s indexy x, y, z , jsou bezrozměrné souřadnice.

Pouze v Nusseltově kritériu se objevuje součinitel přestupu tepla konvekcí. Kritériální rovnici můžeme zjednodušovat podle typu děje, pokud se například děj uskutečňuje bez vnitřního zdroje, neuvažujeme Pomerancevovo kritérium atp. [3][29]

1.2 Sdílení tepla zářením

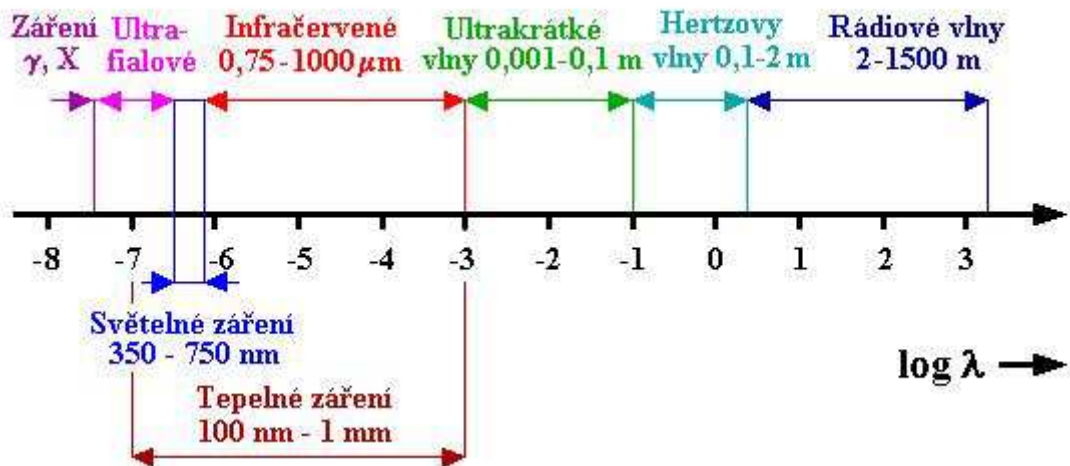
Druhou možností sdílení tepla je radiace, někdy označována jako sálání. Energie tepelného záření je, podobně jako jiné druhy záření, přenášená elektromagnetickými vlnami, které se šíří v průzračném prostředí přímočaře všemi směry rychlostí světla c . Pomocí vlnové teorie můžeme určit rychlost záření jako:

$$c = f \cdot \lambda \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (1.2.1)$$

kde, λ – vlnová délka (m),

f – kmitočet (Hz),

c – rychlost světla ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).



Obr. 1. Světelné spektrum [17]

Každé těleso, které má teplotu vyšší než je absolutní nula, vyzařuje svým povrchem tepelnou energii do okolí. Nicméně současně přijímá vyzařovanou energii jiných těles. V konečné fázi je zářivá energie pohlcena neprůzračnými tělesy, kde se přemění na tepelnou energii. Na základě součtu energie vyzářené a pohlcené je těleso buď zahříváno, nebo ochlazováno.

Rozhraní, které odráží všechny paprsky, nazýváme absolutně bílé. Rozhraní, které naopak všechny dopadající paprsky pohlcuje, je absolutně černé. Skutečné povrchy nejsou ani absolutně bílé, ani absolutně černé, z fyzikálního hlediska je považujeme za tzv. povrchy šedé.

Základní zákony platí pro absolutně černé těleso.

Celkový zářivý tok dopadající a těleso se dělí na tři části:

A – část záření pohlceného, poměrná absorpce

B – část záření odraženého, poměrná reflexe

C – část záření, které projde tělesem, poměrná propustnost

V rámci zákona zachování energie musí platit pro poměrné hodnoty A, B, C že:

$$A + B + C = 1 \quad (1.2.2)$$

U neprůzračných těles je poměrná propustnost C rovna nule. Absolutně černá tělesa mají poměrnou absorpci A rovnu jednotce a poměrnou reflexi B rovnu nule. Naopak je tomu u absolutně bílého tělesa. [3][8]

1.2.1 Stefan – Boltzmannův zákon

Roku 1879 publikoval Ludwig Boltzmann a Josef Stefan zákon, který popisuje celkovou intenzitu záření absolutně černého tělesa. Tento zákon říká, že úhrnná zářivost E_{ζ} absolutně černého povrchu roste úměrně se čtvrtou mocninou termodynamické teploty.

$$E_{\zeta} = \delta_{\zeta} \cdot \theta^4 \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (1.2.3)$$

Ve vztahu se objevuje tzv. Stefan-Boltzmannova konstanta δ_{ζ} , což je součinitel vyzařování dokonale černého tělesa. Její hodnota je $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.

Stefan – Boltzmannův zákon pro tzv. šedé těleso má tvar:

$$E_{\zeta} = \varepsilon \delta_{\zeta} \cdot \theta^4 \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (1.2.4)$$

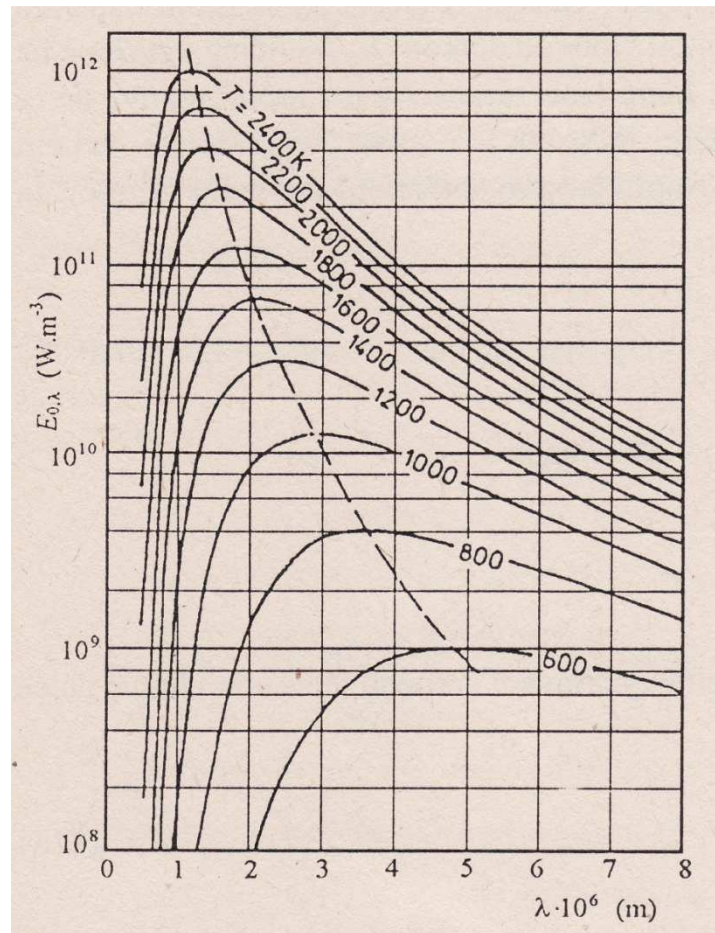
ε – emisivita, neboli stupeň černosti tělesa (-)

1.2.2 Planckův zákon

Tento zákon popisuje závislost spektrální intenzity vyzařování černého tělesa na vlnové délce a teplotě.

$$E_{0,\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 \cdot (e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T}} - 1)} \quad (\text{W.m}^{-3}) \quad (1.2.5)$$

Konstanty, $c_1 = 3,7415 \cdot 10^{-16} \text{ W.m}^{-2}$ a $c_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2} \text{ m.K}$ jsou funkcemi rychlosti světla ve vakuu. Planckův zákon v této podobě je nejvíce využíván pro teploty 600 až 2400 K a pro vlnové délky menší $8 \mu\text{m}$.



Graf č.1. Grafické vyjádření Planckova Zákona [3]

V grafickém vyjádření Planckova zákona je vynesena závislost intenzity záření černého tělesa na vlnové délce λ a na teplotě T . Je zřejmé, že maximum záření se posunuje při vyšších teplotách ke kratším vlnovým délkám, což je v souladu s Wienovým zákonem.

1.2.3 Stupeň černosti ε

Z grafického vyjádření Planckova zákona můžeme vidět, že absolutně černý povrch vyzařuje plynulé spektrum zářivosti. Pro skutečné povrchy, fyzikálně šedé, je spektrální křivka zářivosti podobně plynulá. Z této podobnosti můžeme určit tzv. součinitel černosti daného povrchu.

$$E_{\lambda s} / E_{\lambda c} = konst. = \varepsilon < 1 \quad (1.2.6)$$

1.2.4 Wienův posunovací zákon

Wilhelm Wien odvodil roku 1896 důležitou závislost mezi vlnovou délkou λ a termodynamickou teplotou.

$$\lambda_{MAX} = \frac{2898}{\theta} \quad (\mu, K) \quad (1.2.7)$$

Z výše uvedeného výrazu vyplývá, že čím je teplota vyšší, tím více se maximum záření posunuje na stranu kratších vlnových délek. Tento zákon byl na začátku jeho prací, za které dostal v roce 1911 Nobelovu cenu za fyziku. [3][4][6][7][10]

1.3 Sdílení tepla vedením

Poslední možností sdílení tepla je vedením. Fyzikální podstata tohoto děje spočívá v pohybu strukturálních částic hmoty. K procesu sdílení tepla vedením dochází pouze u pevných látek, popřípadě v kapalinách jen za určitých podmínek, kde bychom mohli zanedbat proudění. Proces sdílení tepla vedením způsobuje změnu teploty jak v prostoru, tak i čase. Tuto skutečnost můžeme vyjádřit funkcí:

$$t = f(x, y, z, \tau) \quad (^\circ\text{C}) \quad (1.3.1)$$

kde, t – teplota ($^\circ\text{C}$),

x, y, z – souřadnice (m),

τ – čas (s).

Teplotní pole je množina všech bodů daného prostoru, které sledujeme v každém časovém okamžiku. Tato pole můžeme rozdělit na:

- Stacionární – při ustáleném vedení je teplotní rozdíl mezi jednotlivými částmi tělesa stejný
- Nestacionární – při neustáleném vedení dochází k postupnému vyrovnávání teplot jednotlivých částí tělesa

Z výše uvedeného vyplývá, že pokud bychom zapsali rovnici (1.3.1) do tvaru:

$$t = f(x, y, z) \quad (^\circ\text{C}) \quad (1.3.2)$$

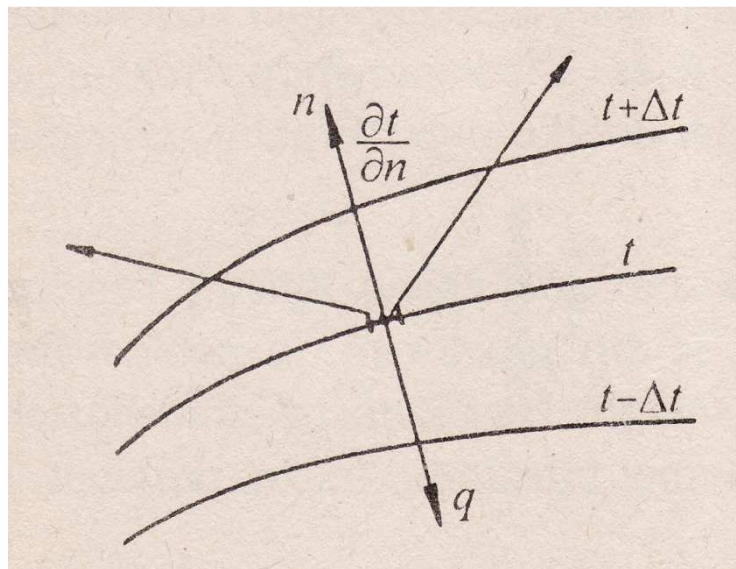
získáme funkci pro stacionární teplotní pole, která je, jak je vidět ze vztahu (1.3.2) pouze funkcí souřadnic. Podle toho, kolika souřadnic je teplota funkcí, rozeznáváme jednorozměrné, dvourozměrné nebo trojrozměrné teplotní pole.

Ve skalárním poli teplot stanovených funkcí (1.3.1), můžeme určit izotermické plochy tj. místa se stejnou teplotou. Z obrázku č.2 je vidět, že se teplota v tělesech se mění v každém směru, které protínají izotermy. Jelikož má těleso v každém bodu prostoru jen jednu hodnotu teploty, nemohou se, jednotlivé izotermy protínat.

Největší změna teploty na jednotku délky je ve směru normály k izotermě. Tuto skutečnost můžeme vyjádřit gradientem teploty, což je vektor kolmý k izotermě směřující ve směru vzrůstu teploty. Matematicky zapíšeme jako:

$$\text{grad } t = \frac{\partial t}{\partial n} = \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial y} + \frac{\partial t}{\partial z} = \nabla t \quad (\text{K.m}^{-1}) \quad (1.3.3)$$

kde ∇ je Hamiltonův operátor¹ (m^{-1}). [3]



Obr.2. Izotermy a teplotní gradient [3]

¹ Hamiltonův operátor nebo také operátor častěji označovaný jako nabla je diferenciální operátor ve vektorové analýze. Značí se symbolem nabla ∇ . Pojmenování nabla je odvozeno od názvu hebrejského strunného nástroje, který měl podobný tvar. Nabla není matematickým operátorem, nýbrž pohodlnou formou pro zkrácený zápis matematických operací jako jsou gradient, divergence aj.

1.3.1 Tepelný tok

Podmínkou pro sdílení tepla v tělese je rozdílná teplota jednotlivých částí tělesa. Množství tepla, které projde přes izotermický povrch za jednotku času se nazývá tepelný tok, který značíme P . Hustotou tepelného toku q pak nazýváme závislost tepelného toku, vztaženého na jednotku izotermické plochy.

$$dP = q * dS \quad (\text{W}) \quad (1.3.4)$$

1.3.2 První Fourierův zákon

Tento zákon popisuje závislost mezi hustotou tepelného toku a teplotním gradientem.

$$q = -\lambda * \text{grad } t \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (1.3.5)$$

Záporné znaménko znamená, že tepelný tok a teplotní gradient mají jako vektory opačný smysl. To je z důvodu představy, že se teplo šíří pouze z místa o vyšší teplotě do místa chladnějšího. [3][8]

1.3.3 Součinitel tepelné vodivosti λ

Součinitel tepelné vodivosti λ je fyzikálním parametrem, materiálovou konstantou, látky a charakterizuje její schopnost vedení tepla za předem stanovených podmínek. Závisí na velkém počtu činitelů, jako jsou teplota, tlak, složení látky, vlhkost aj. Z těchto důvodů se součinitel tepelné vodivosti určuje měřením hustoty tepelného toku, gradientu teploty a poté výpočtem ze vztahu:

$$\lambda = - \frac{dQ}{\text{grad } t * dS * d\tau} \quad (\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}) \quad (1.3.6)$$

Ze vztahu (1.3.6) vyplývá, že součinitel tepelné vodivosti je množství tepla, které projde jednotkovou plochou izotermického povrchu za jednotku času s jednotkovým teplotním spádem.

Obecně nejvyšší součinitel tepelné vodivosti mají materiály, které dobře vedou elektrický proud, jimiž jsou kovy $\lambda = (2,3 \div 420) \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. U nejběžnějších stavebně

izolačních materiálů součinitel tepelné vodivosti dosahuje hodnot v rozmezí $0,035 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ jako je například u minerální vlny až $0,06 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, kde tuto hodnotu najdeme pro přírodní korkovou drť.

Vývoj v této oblasti není v žádném případě uzavřen, což dokazuje například firma BMW, která izoluje nádrže ke skladování vodíku při teplotě -250 °C vícevrstvou izolací pomocí hliníkových fólií uložených ve vysokém vakuu. Takový způsob izolace o tloušťce 2,5 cm nahradí 5 m polystyrenu. Tepelná vodivost se zde pohybuje $\lambda = 0,0001 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Zatímco λ polystyrenu je $0,037 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Tento způsob izolace jistě není vhodný pro použití ve stavebnictví, ale ukazuje obrovský potenciál ve vývoji nových izolačních technologií. V tabulce 1 jsou uvedeny orientační hodnoty izolačních materiálů, kterým se více věnuje kapitola s názvem: Možnosti snížení energetických ztrát izolací. [4][5][21]

Tab.1. Orientační hodnoty tepelné vodivosti izolačních materiálů [21]

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Pěnový polystyren EPS	0,037
Polyuretan PUR, polyizokyanurát PIR	0,023
Foamglas	0,040
Minerální vlna	0,035
Konopí	0,040
Celulóza	0,039
Sláma	0,100
Aerogel	0,012

1.3.4 Druhý Fourierův zákon vedení tepla

Zatímco první Fourierův zákon popisuje stacionární vedení tepla, Fourierova rovnice vedení tepla nebo jinak také druhý Fourierův zákon vedení tepla popisuje vedení tepla nestacionární. Základním kamenem, z něhož Fourierova rovnice vyplývá, je zákon zachování energie. Při izobarickém procesu vedení tepla je změna entalpie tělesa dI rovna algebraickému součtu přivedeného tepla dQ_λ a tepla uvolněného dQ_V v tělese za stejný časový okamžik $d\tau$.

Druhý Fourierův zákon můžeme zapsat ve tvaru:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{c_p \cdot \rho} \quad (\text{K} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (1.3.7)$$

λ - součinitel tepelné vodivosti ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

c_p - měrná tepelná kapacita ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

ρ - hustota ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

q_v - vydatnost vnitřního objemového tepelného zdroje ($\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$)

Výše uvedený vztah platí pro následující zjednodušující předpoklady:

- Tuhé těleso je homogenní a izotropní
- Fyzikální vlastnosti tělesa jsou konstantní
- Závislost změny objemu na změně teploty je zanedbatelný
- Vnitřní tepelné objemové zdroje jsou v tělese rozmístěny rovnoměrně
- Proces probíhá za konstantního tlaku

1.3.5 Součinitel teplotní vodivosti a

Součinitel teplotní vodivosti je fyzikální veličinou každé látky a charakterizuje rychlost změny teplotního pole tělesa při změně povrchové podmínky. Čím je hodnota součinitele teplotní vodivosti a větší, tím rychleji se projeví změna teploty povrchu uvnitř tělesa. Největší hodnoty a nabývají kovy, např. měď $a = 10,28 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, nejmenších hodnot dosahují plyny. Součinitel teplotní vodivosti vody je $a = 0,012 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Matematicky můžeme výše uvedenou závislost vyjádřit jako:

$$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (1.3.8) [3]$$

2 Nízkoenergetický rodinný dům

Při neustále rostoucích cenách různých druhů energie se stala nízkoenergetická výstavba neefektivnější odpovědí na otázku jak snížit životní náklady. V zahraničí je nízkoenergetický dům standardní formou staveb. Spojuje důležité vlastnosti a požadavky na energetickou úspornost, ochranu životního prostředí, kvalitu konstrukcí a v neposlední řadě také na obytný komfort. Průměrná roční měrná spotřeba energie na vytápění k užitkové ploše se pohybuje v našich podmínkách přibližně mezi 165 až 195 kWh/m². U nízkoenergetického domu považuje ČSN 730540:2 roční měrnou potřebu tepla nepřesahující 50 kWh/m² za rok. [1][12]

Tab.2. Základní rozdělení budov podle roční potřeby tepla na vytápění [11]

Kategorie	Potřeba tepla na vytápění
starší budovy	obvykle i dvojnásobek hodnot pro novostavby
novostavby	80-140 kWh/m ²
nízkoenergetický dům	≤ 50 kWh/m ²
pasivní dům	≤ 15 kWh/m ²
nulový dům	< 5 kWh/m ²

2.1 Zásady výstavby

Cílem nízkoenergetické výstavby je hledisko ekonomické (úspora finančních prostředků za energie) a ekologické (snížení spotřeby energie a tím snížení uvolňování škodlivých látek do ovzduší). Možností výstavby energeticky úsporného domu je několik a závisí na lokálních klimatických podmínkách.

Základním východiskem je koncepční přístup k jeho navrhování a propojení různých opatření:

- Lokalita – volba pozemku a umístění budovy s uvážením místního klimatu orientace objektu vůči světovým stranám a způsob urbanistické zástavby.
- Vlastnosti obvodových konstrukcí
- Kvalitní výplně otvorů
- Pasivní využití sluneční energie
- Minimalizace tepelných mostů a stavebněizolačním řešením eliminovat jejich vliv.
- Těsná obálka objektu (vzduchotěsnost stavebních konstrukcí)
- Pro potřebu vytápění, která je u nízkoenergetických domů nízká, je výhodné použití obnovitelných zdrojů. Zbytkové potřeby tepla je možné pokrýt

zařízeními s nižším výkonem. Lze využít tepelných čerpadel, solární techniku, případně dřevo. U otopných soustav by mělo v první řadě jít o nízkoteplotní systémy, kde teplota vody nepřesahuje 55 °C. Většina obnovitelných zdrojů vyžaduje akumulaci topné vody.

- Kontrolované větrání regulovatelné podle aktuálních potřeb.

2.1.1 Lokalita

Důležitým předpokladem správného výběru pozemku vhodného k výstavbě nízkoenergetického domu je vyhodnocení existujících přírodních podmínek v dané lokalitě. Každá lokalita má jiné klimatické podmínky.

Hlavními faktory regionálního a místního klimatu jsou topografické poměry terénu, na které mají vliv proudění vzduchu a rozložení vzduchových vrstev teploty.

Při určování vhodného místa pro výstavbu rozhodují lokální a malá klimata, která ovlivňují zejména tyto faktory.

- Nadmořská výška – s nárůstem nadmořské výšky o 100 m lze počítat s poklesem průměrné teploty vzduchu o 0,5 – 0,8 °C.
- Orientace pozemku – na jižně orientované svahy dopadá v zimním období o 10 – 30 % více slunečního záření, než na severně exponované plochy.
- Svahovost a tvar terénu v lokalitě – významný je především směr svahu na sluneční stranu a poloha domu ve svahu. Teplota vzduchu na vrcholech kopců je nižší. V údolích se mohou hlavně v noci vytvářet „jezera“ studeného vzduchu, z důvodu klesání chladnějšího vzduchu k zemi.
- Hustota okolní zástavby – v hustě obydlených lokalitách dosahuje vzduch vyšších teplot.
- Povětrnostní podmínky – ovlivňují spotřebu energie zejména v zimním období. Tento faktor můžeme do jisté míry ovlivnit tvarem budovy, vhodným nasměrováním budovy vzhledem ke směru větru a v neposlední řadě také vhodným uspořádáním okolní vegetace.
- Vodní plochy a toky v lokalitě omezují výkyvy teplot. Vzhledem k tepelněakumulační schopnosti vody a její tepelné vodivosti dokáže 1 m³ vody ohřát 3000 m³ vzduchu z -10 °C na 0 °C. [1][2]

2.1.2 Tvar budovy

Velikost a tvar budovy jsou vždy nejzásadnějšími předměty diskuze mezi projektantem a investorem. Tvarová kompaktnost značně přispívá ke snižování potřeby energie na vytápění. Tvar budovy nelze optimalizovat pouze vůči požadavku na co největší finanční úspory na vytápění. Nicméně investor by měl z tohoto hlediska zvážit několik možných tvarových a velikostních variant řešení. Výhodnější je menší faktor tvaru A/V (m^2/m^3), z čehož vyplývá, že větší a kompaktnější budovy jsou na tom, i podle očekávání, lépe. V kontextu s hodnocením tvaru budovy, bychom se měli zamyslet i nad členitostí fasády. Hodnoty A/V a jejich součinitele prostupu tepla jsou uvedeny v části 3.1.2.

Vnitřní uspořádání objektu má být voleno s ohledem na vytápěcí režimy v jednotlivých místnostech. Zásadou je umístování ložnice směrem na východ, obytné prostory převážnou částí na jižní stranu. Pracovnu či kancelářské prostory je nejlepší umístovat na neosluněnou část budovy z důvodu eliminace oslnění.

2.1.3 Stavební konstrukce

U klasických rodinných domů je plášť nejčastěji složen z cihel a keramických tvárnic. Ze zdravotního hlediska jsou to vhodné přírodní materiály. Mezi nízkoenergetickými stavbami mají větší podíl dřevěné konstrukce, jelikož je do nich jednoduché umístit potřebné množství tepelných izolací aniž by narostla tloušťka stěn do nepřijatelných hodnot.

Správná volba obvodové konstrukce je jedním z nejdůležitějších předpokladů pro nízkoenergetický dům. Obvodové a další konstrukce, které oddělují prostory s různými teplotami vzduchu, musí splňovat řadu požadavků, které jsou u nízkoenergetické stavby mnohem přísnější než u klasické.

Hlavními požadavky na materiály jsou:

- Omezení prostupu tepla – vyjadřujeme pomocí součinitele prostupu tepla
- Dostatečná teplota na vnitřní straně stěny při nízkých venkovních teplotách
- Vyloučení kondenzace vodních par
- Neprůvzdušnost – omezení průniku vzduchu spárami a konstrukčními netěsnostmi
- Omezení tepelných mostů

2.1.3.1 Součinitel prostupu tepla

V průběhu posledních let dochází k postupnému zpřísnování požadavků na prostup tepla obvodovými konstrukcemi. Charakteristickou veličinou, která posuzuje izolační schopnosti jednotlivých stavebních konstrukcí je součinitel prostupu tepla většinou označován U nebo ve starší literatuře k ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$). Tato veličina udává, jak velké množství tepla prostupuje 1 m^2 plochy např. obvodové stěny při teplotním spádu 1 K . Z výše uvedeného vyplývá, že s vyšší izolační schopností materiálu hodnota tohoto součinitele klesá a tím pádem klesá i celková tepelná ztráta stavebního prvku.

Tab.3. Požadavky na konstrukce podle ČSN 73 0540:2 ve znění Změny 1 z března 2005 [12]

Popis konstrukce	Typ konstrukce	Požadované hodnoty U_n	Doporučené hodnoty U_n
		$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
Podlaha a stěna přilehlá k zemině		0,60	0,40
Stěna vnější	lehká	0,30	0,20
Strmá střecha se sklonem nad 45°	těžká	0,38	0,25
Střecha se strmostí do 45°		0,24	0,16
Podlaha nad venkovním prostorem			
Okna a dveře ve vnější stěně a strmé střeše z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	nová	1,70	1,20
	upravená	2,00	1,40
Stěna mezi sousedními budovami		1,05	0,70
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10°			

V tabulce 3 jsou uvedené požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla, které platí pro budovy vytápěné na obvyklé teploty. Za lehkou konstrukci se považuje taková konstrukce, jejíž hmotnost nepřekročí $100 \text{ kg}/\text{m}^2$, přičemž se do této hodnoty započítávají všechny vrstvy od vnitřního povrchu až po tepelně – izolační vrstvu včetně.

Tab.4. Dosažitelné hodnoty součinitelů prostupu tepla obvodových konstrukcí vhodných pro nízkoenergetické a pasivní domy, bez extrémních nákladů [13]

Popis konstrukce	Dosažitelné hodnoty
	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
Stěna	0,12 – 0,08
Střecha	0,08
Podlaha na terénu	0,12
Okna	0,85 – 0,6
Vstupní dveře	0,85

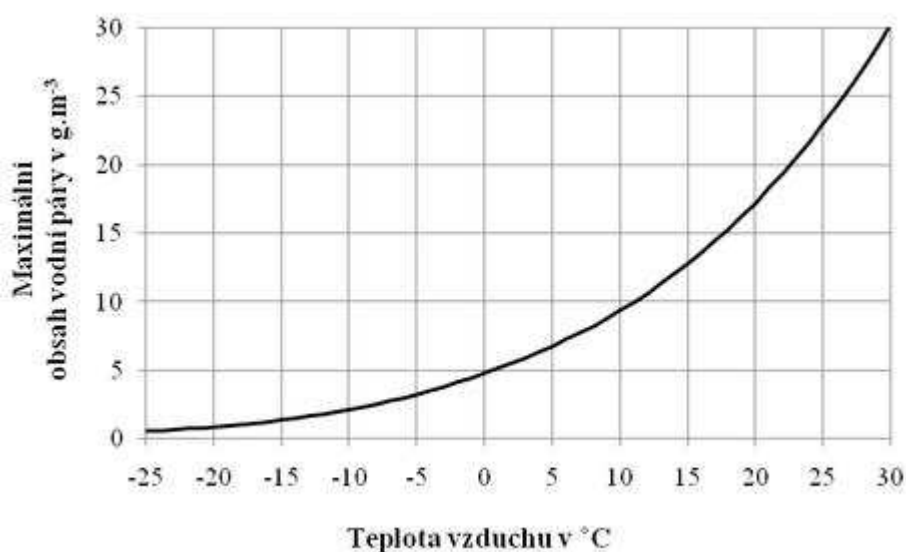
V tabulce 4 jsou uvedeny hodnoty součinitele prostupu tepla obalových konstrukcí vhodných pro nízkoenergetické a pasivní domy, které jsou určeny z doporučení normy ČSN 73 0540:2. Například u neprůsvitné obvodové stěny by tato hodnota neměla v žádném případě překračovat hodnotu $0,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, tomu odpovídá tloušťka 20 cm minerální vlny, nebo 75 cm pórabetonu. [5][11]

2.1.3.2 Teplota na vnitřní straně stěny

Jestliže budou splněny podmínky součinitele prostupu tepla konstrukcemi, je problematika vnitřní teploty na stěně bezpředmětná. Pozornost musíme věnovat nejkritičtějším místům konstrukce, zejména tepelným mostům a místům napojení konstrukcí mezi sebou. Norma ČSN 74 0540:2 požaduje, aby teplota na vnitřním povrchu byla vyšší, než tzv. kritická teplota, zvýšená o bezpečnostní přírážku. Hodnoty bezpečnostních přírážek zohledňují způsob vytápění, tepelnou setrvačnost konstrukce a pohybují se mezi $-1 \text{ }^\circ\text{C}$ pro nepřerušované vytápění až $+1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ pro přerušované vytápění s poklesem výsledné teploty větším než $7 \text{ }^\circ\text{C}$. Problematika teploty vnitřní stěny souvisí s rosným bodem vzduchu a předcházení vzniku plísní.

2.1.3.3 Rosný bod vzduchu a vliv vlhkosti na konstrukci

Rosný bod vzduchu je teplota, při které je vzduch zcela nasycen vodní párou, přičemž se stoupající teplotou může obsah vodních par ve stejném objemu vzduchu vzrůst, aniž by došlo k jejich zkapalnění, tak jak je možné vidět v grafu 2.



Graf.2. Závislost obsahu vodní páry na teplotě vzduchu [18]

V případě, že teplota poklesne pod hodnotu teploty rosného bodu, začne docházet ke zkapalnění přebytečných vodních par, což má obvykle za následek tvoření plísní v kritických místech konstrukce, kterými mohou být například spoje jednotlivých konstrukcí, či tepelné mosty.

Jelikož je teplota vzduchu místnosti vyšší, než v blízkosti stěn, je vzduch u stěn chladnější a vlhčí. Ke vzniku plísní nedochází pouze při zkapalnění přebytečných vodních par, postačuje, pokud se vlhkost vzduchu bude pohybovat nad hranicí 80%. Z tohoto důvodu se konstrukce posuzují právě na tuto hodnotu. Tím se předchází vzniku plísní i kondenzaci vodních par na konstrukci.

Způsobů, jak se voda dostane do konstrukce je několik. Mezi nejvýznamnější patří kondenzace vodní páry v zimním období.

Správně navržené řešení konstrukce je takové, kde:

- Nepochází ke kondenzaci vodních par
- Přítomnost kondenzátu neohrožuje funkci konstrukce
- Množství kondenzátu není velké
- Při roční bilanci nedochází k hromadění kondenzátu v konstrukci

Za malé množství kondenzátu se považuje v souladu s ČSN 74 0540:2 hodnota menší než $0,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ u jednoplášťových střech a obvodových konstrukcí s vnějším zateplením. Pro ostatní obvodové konstrukce se za malé množství kondenzátu považuje hodnota menší než $0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$.

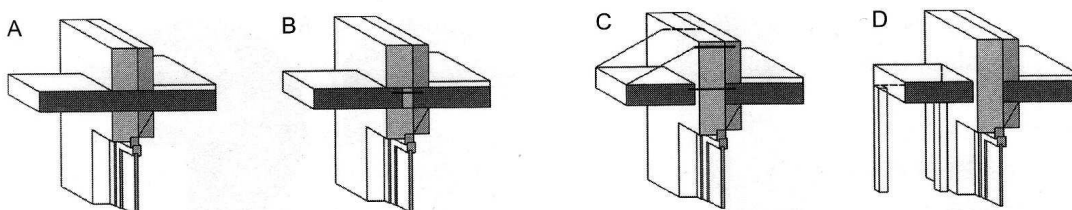
Při nesprávně navržené konstrukci, kde kondenzují vodní páry, může docházet ke zkrácení předpokládané životnosti konstrukce, snížení povrchové teploty a vzniku plísní. Dalším nebezpečím je zvětšení objemu konstrukce což vede k výraznému nárůstu hmotnosti, které mohou přesáhnout rezervy statického výpočtu a dále způsobení zvýšení hmotnostní vlhkosti materiálu na úroveň způsobující jeho degradaci. Hranicí hmotnostní vlhkosti je například pro dřevo 18%. [11][18]

2.1.3.4 Tepelné mosty

Omezování tepelných mostů je důležité u klasické výstavby a tím více u nízkoenergetických budov. Tepelnými mosty označujeme oslabená místa v konstrukci, která vedou lépe teplo, než okolní plocha. V důsledku tepelných mostů dochází k rychlejšímu ochlazování konstrukce. Nesprávně vyřešená spojení konstrukcí, či tepelně vodivé prvky prostupující tepelnou izolací hrají v nízkoenergetické výstavbě relativně větší roli, jelikož

prostup tepla ostatními, nenarušenými, částmi konstrukce je velice malý. V tomto důsledku je vhodné preferovat málo členité výstavby a podrobně se zabývat rovnoměrným pokrytím izolace, s nezměněnou tloušťkou, všech konstrukcí.

Největší nebezpečí vzniku tepelných mostů jsou řešení balkonů, různých zastřešení vchodů, nebo nekvalitní osazení oken a dveří. Princip řešení je vidět na obrázku 3.



Obr.3. Možnosti řešení tepelných mostů [11]

Na obrázku A je vidět chybné řešení a vznik tepelného mostu vlivem přímého průchodu konstrukce obálkou budovy, bez jakékoli tepelné izolace. Na obrázku B je znázorněna stejná situace, ale s využitím nosníku pro přerušení tepelného mostu. Na obrázku C a D je schéma řešení stejné situace za použití venkovního zavěšení (obr. C.) nebo podpěry (obr. D.). V nízkoenergetické výstavbě a snaze minimalizovat vznik tepelných mostů je nutné se zabývat i zdánlivě drobnými věcmi, jako jsou například talířové hmoždinky, díky jejich množství, pro kontaktní izolační systémy. Nesprávná volba hmoždinek způsobuje lokální prostup tepla.

Jako větší problém můžeme zmínit například kovovou osazovací lištu, která tvoří spodní okraj pro kontaktní izolační systém, který je umístěný nad soklem budovy. Ukotvení této lišty se nedoporučuje přímo do zdiva. Lepším řešením je využití distančních prvků, kterými mohou být podložky z plastu nebo dřevěný hranol ukotvený do zdiva, na kterém je upevněna kovová lišta. Bohužel, v praxi se spíše setkáváme s napřímo ukotvenou lištou. Problém vodící lišty se týká cca 100 W na celý rodinný dům, nicméně u nízkoenergetické výstavby je snahou vyvarovat se jakéhokoli zbytečného prostupu tepla. [11][5]

2.1.3.5 Neprůvzdušnost

Vzduchotěsnost obálky je v některých zemích zásadním požadavkem na výstavbu a je uváděna v projektové dokumentaci. Neprůvzdušnost je také měřena jako součást kontroly kvality. Největší skupinou budov, u kterých se kontroluje vzduchotěsnost jsou dřevostavby, z důvodu největšího výskytu spár a netěsností, kterých se chceme vyvarovat. Čím menší je

tato hodnota, tím lepší je neprůvzdušnost obálky.

Tab.5. Doporučené hodnoty výměny vzduchu podle ČSN 73 0540:2

Typ větrání	$N_{50,N} [h^{-1}]$
přirozené	4,5
nucené	1,5
nucené s rekuperací	1
nucené s rekuperací v budově s velmi nízkou spotřebou tepla	0,6

Norma dále omezuje spárovou průvzdušnost funkčních spár oken a dveří a dále průvzdušnost styků s konstrukčními prvky má být rovna nule.

Intenzitu výměny vzduchu n_{50} při tlakovém rozdílu definujeme:

$$n_{50} = \frac{V'_{50}}{V} \quad (h^{-1}) \quad (2.1.1)$$

V'_{50} - objemový tok vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa (m^3/s)

V - celkový objem vnitřního vzduchu měřené budovy nebo její ucelené části (m^3)

Celková neprůvzdušnost obvodového pláště se ověřuje experimentálně pomocí celkové výměny vzduchu n_{50} při tlakovém rozdílu 50 Pa (h^{-1}), což odpovídá asi větru $9 m \cdot s^{-1}$.

Měření se často provádí pomocí zařízení nezývaného Blower – Door, což je aparatura, která sestává z výkonného ventilátoru s plynule měnitelnými otáčkami, osazovacího rámu a neprůvzdušné plachty s otvorem na ventilátor.



Obr.4. Blower – Door test [20]

Obrázek 4 znázorňuje přípravu měření. Samotné měření probíhá tak, že se na ventilátoru nastaví konstantní otáčky, které vyvolají požadovaný rozdíl tlaku uvnitř a vně budovy. V okamžiku, kdy je tlak uvnitř konstantní, měří se objemový tok vzduchu protékající ventilátorem. Předpokládá se, že stejné množství protéká netěsnostmi budovy. Měření se provádí pro různé tlaky v rozmezí 20 – 80 Pa. Obvykle se provádějí dvě série měření, jedna podtlakem a druhá přetlakem. [11][19]

2.1.4 Výplně otvorů

Výplně otvorů, tedy okna a dveře bývají nejslabší částí obvodového pláště. Jejich rozmístění, vlastnosti, velikost a způsob upevnění v konstrukci mají zásadní význam pro celý dům. Okna jsou také podstatnou položkou v investičních nákladech stavby.

Výsledný prostup tepla oknem je ovlivněn:

- Vlastnostmi zasklení
- Vlastnostmi rámu
- Vlastnostmi distančního rámečku na okraji zasklívací jednotky
- Způsobem ukotvení k obvodové stěně
- Celkovou kvalitou zpracování

Výsledný součinitel prostupu tepla se shodným rámem i prosklením se liší podle celkové velikosti oken, jelikož je mění poměr velikostí povrchu skla a rámu. Tepelný tok kolem oken způsobený zabudováním do konstrukce je závislý na délkách ostění, nadpraží a parapetů. Z výše uvedeného můžeme dojít k závěru, že je vhodné sdružovat okna do větších celků.

2.1.4.1 Vlastnosti zasklení

Řešení zasklení oken je v dnešní době celá řada, pro instalaci v nízkoenergetických domech se dnes nejčastěji využívají tepelně izolační trojskla. Některá kvalitní osluněná okna mohou mít během otopného období kladnou tepelnou bilanci. To znamená, že součtu jimi do interiéru pronikne více tepla, než jimi za stejně dlouhé období unikne. Podmínkou je, aby kromě nízkého součinitele prostupu tepla, měla relativně vysoký součinitel propustnosti slunečního záření q .

Aby měla okna kladnou tepelnou bilanci, musí platit orientační vztah:

$$U_q - 1,6 \cdot g < 0 \quad (2.1.2)$$

U_g – součinitel prostupu tepla zasklení ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)

g – celková propustnost slunečního záření (-)

Ze vztahu vyplývá, že je potřeba dosáhnout hodnot g 0,5 a více při $U_g = 0,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. To splňují velmi dobrá skla s tepelnou ochranou.

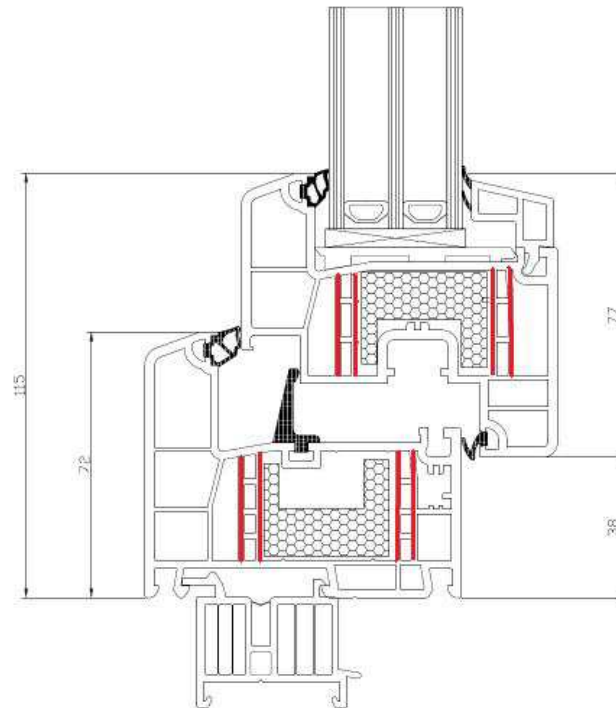
Princip tepelné ochrany skel spočívá v pokovení vnějšího skla z vnitřní strany vzduchové mezery. Mikrovrstva odráží dlouhovlnné infračervené záření a tím zabraňuje úniku tepla z místnosti. Pokovení skel se provádí dvěma technologiemi tzv. měkkou a tvrdou metodou. Při použití měkké metody se dosahuje lepších tepelně izolačních vlastností. Tenká vrstva kovu má vysokou propustnost viditelného spektra světla, to způsobuje vysoký průnik sluneční energie do místnosti, kde se světelné záření mění na tepelné. Dalším vylepšení tepelně izolačních vlastností skel je použití vzácných plynů (xenon, argon, krypton aj.) namísto vzduchové mezery.

Novinkou na českém trhu jsou skla s označením Heat mirror, což je fólie pokryta nízkoemisivní vrstvou, která je napnuta uvnitř izolačního dvojskla. Výsledkem je třívrstvý systém se dvěma oddělenými komorami (analogie trojskla) ovšem s hmotností dvojskla. Heat Mirror odráží tepelné záření zpět ke zdroji. To znamená ven v létě, když nechceme, aby nepronikalo do místnosti, a dovnitř v zimě, kdy chceme, aby teplo zůstalo uvnitř. Součinitel tepelné propustnosti skla Heat mirror je $U_g = 0,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ při propustnosti slunečního záření až do hodnoty $g = 0,63$. Cena takto upraveného zasklení se pohybuje okolo 3000 Kč/m². [11][14][23]

2.1.4.2 Rámy oken

Obecně lze říci, že je v dnešní době rám tím slabším místem v celkovém provedení okna. Rámy jsou nabízeny v různých typech provedení, často jimi jsou rámy plastové s ocelovým výztužným profilem a minimálně s pěti, ale i osmi vzduchovými komorami. Další možností je dřevěný rám, který může mít izolační vrstvu provedenou z korku, polyuretanu, či pomocí vyfrézované vzduchové mezery s vypěněním polyuretanovou hmotou atd.

Největší slabinou rámu okna je železná výztuž profilu. Řešením problému železné výztuže může být například profil od firmy Rehau GENE0 (obr.5.). Ten umožňuje vyrábět okna do určitých rozměrů bez použití kovové výztuže.



Obr.5. Profil Rehau GENE0 [15]

Na obrázku 5 jsem červeně vyznačil místa, kde je v běžném profilu vložena železná výztuž.

Armovací komory rámu a křídel jsou vyloženy speciálními termoizolačními vložkami, které dále zlepšují tepelně izolační vlastnosti okenního rámu. Okenní rám je u nízkoenergetického a pasivního domu z exteriérové strany obvykle co nejvíce překryt venkovním zateplovacím systémem tak, aby docházelo k co nejmenšímu tepelnému mostu v oblasti připojovací spáry okna. Okenní rám, s takto navrženou strukturou, dosahuje součinitele prostupu tepla $U_f = 0,81 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ a křídlo $U_f = 0,69 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, při zasklení s $U_g = 0,6 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ a s instalovanými termoizolačními vložkami v hlavních komorách. [14][15]

V tabulce 6 jsou vidět jednotlivé součinitele prostupu tepla pro různé rámy a zasklení. Hodnoty jsou spočteny zjednodušenou metodou podle ČSN EN ISO10077-1 pro okno 1x1 m s šířkou rámu 120 mm z toho vyplývá, že zasklení tvoří 58 % plochy okna. [11]

Tab.6. Součinitel prostupu tepla v kombinaci různé kvality rámu a zasklení [11]

Součinitel prostupu tepla okna $U_w(\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1})$		běžný rám $U_f = 1,6$ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$	lepší rám $U_f = 1,3$ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$	vynikající rám $U_f = 0,8$ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
Standardní izolační dvojsklo	$U_q = 2,8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$	2,41	2,29	2,08
Kvalitní izolační dvojsklo	$U_q = 1,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$	1,72	1,60	1,39
vynikající izolační dvojsklo	$U_q = 1,0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$	1,44	1,31	1,10
izolační trojsklo	$U_q = 0,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$	1,20	1,08	0,87
zasklení heat mirror	$U_q = 0,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$	1,15	1,02	0,81

2.1.4.3 Distanční rámeček

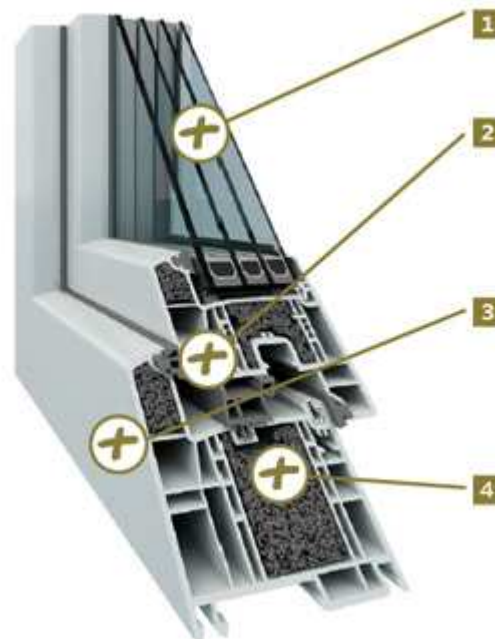
Důležitou úlohu v tepelně izolačních vlastnostech oken hraje provedení a materiál distančního rámečku mezi skly. Nejhorším řešením, dnes již nepoužívaným, bylo použití hliníkového rámečku, který způsoboval rosení okraje izolačního skla. Materiály splňující kritéria pro nízkoenergetickou a pasivní výstavbu jsou nerez, pryskyřicový laminát, ocel kombinovaná s plastem nebo kombinace nerez a plastu. Z hlediska tepelné vodivosti rámečku je důležitá také jeho tloušťka.

Tab.7. Součinitel prostupu tepla distančními rámečky u izolačního trojskla [16]

Distanční rámeček	materiál rámu			
	dřevo	plast	dřevo - hliník	hliník
Al - hliník	0,075	0,064	0,085	0,097
Nirotec 0,15	0,051	0,047	0,056	0,061
SWISSPACER	0,046	0,042	0,051	0,056
TGI - Spacer	0,043	0,041	0,047	0,051
THERMIX TX.N	0,039	0,038	0,042	0,045
CHROMATEC ultra	0,040	0,038	0,043	0,045
SUPER SPACER	0,032	0,033	0,035	0,036
SWISSPACER V	0,031	0,032	0,033	0,034

V tabulce 7 jsou hodnoty součinitele prostupu jednotlivými typy distančních rámečků podle EN ISO 10077-2. Tyto hodnoty platí pro zasklení izolačním trojsklem v typu 4 / 12 / 4 / 12 / 4.

Vývoj v oblasti oken se i nadále vyvíjí, důkazem tomu je například okno od firmy SULKO označené jako Profi+ (obr.5). Jedná se o čtyřsklo, jehož součinitel prostupu tepla je $U_w = 0,47 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Tato hodnota součinitele prostupu tepla vyhovuje evropským požadavkům na úsporné domy po roce 2020.



Obr.5 Okno Profi+ od firmy SULKO [22]

Nicméně vzhledem k malé celkové propustnosti slunečního záření, pouhých 24,2 % se tento typ okna hodí spíše pro osazení na severní strany budov.

2.1.5 Střecha

Z pohledu nízkoenergetického domu by měla střecha být funkční částí obvodového pláště s co nejmenším součinitelem prostupu tepla podle normy ČSN 73 0540-2:2007 maximálně $0,16 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ideálně $0,11 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

Vzhledem ke snaze dosáhnout co nejideálnější poměr objemu k ploše domu se jeví jako nejlepším řešením jednoplášťová plochá střecha do sklonu 10° .

Výhodami plochých střech jsou vytváření optimálních prostor spojený s jednodušší konstrukcí, přičemž odpadají obtížné detaily konstrukce krokví s kleštinami a minimalizuje se problém s těsněním pláště.

Velkým problémem plochých střech je velké tepelné namáhání v letních měsících, což dříve realizované ploché střechy pokryté asfaltovými pásy špatně snášely. Z tohoto důvodu patří mezi oblíbené řešení jednoplášťové střechy tzv. obrácená střecha. Stará krytina je opravena nebo nahrazena novou, na níž je dále kladena tepelná izolace a vrstva kamínků, nebo na sucho pokládaná venkovní dlažba, kterou může voda protékat. Pokud je střecha navržena na vyšší zatížení, lze uvažovat o „zelené střeše“.

Její výhodami jsou zlepšení tepelné setrvačnosti budovy, která není tolik namáhána teplotními výkyvy a možnost akumulace většího množství vody. V letních měsících dochází k odpařování vody ze zeminy a tím k lepšímu ochlazení budovy. Zemina také pohlcuje UV záření, což prodlužuje životnost hydroizolace střechy. Další možností je opatřit střechu polyuretanovým nástřikem, který funguje jako izolace proti vodě i chladu.

Jinou variantou je převést střechu na dvouplášťovou. Její výhodou jsou snadnější a levnější budoucí opravy střechy, nicméně takto řešená konstrukce skrývá velké množství úskalí, například možnost kondenzace většího množství vody ve vzduchové dutině apod. Proto je tento typ střechy pro nízkoenergetickou výstavbu nevhodný. [24][11][5][12]

2.1.6 Podlaha a základy

Nízkoenergetické domy jsou ve velké míře realizovány nepodsklepené. Podlaha vstupního podlaží se tedy nachází přímo na terénu a tím i na systémové hranici budovy. I když pod podlahou nemrzne, je teplota zeminy pod prostředkem domu mezi 5 až 10 °C. Vzhledem k uvažované vnitřní teplotě 22 °C je zde velký teplotní rozdíl, proto je nutné podlahu kvalitně odizolovat. Čím blíže k obvodovým stěnám, tím je teplotní rozdíl větší. Těsně u okraje domu může být i pod nulou, proto norma ČSN 73 0540 předepisuje pro podlahy v pásu 1 m od rozhraní s venkovním vzduchem stejné hodnoty jako pro obvodovou stěnu. Pokud k vytápění objektu využíváme podlahové vytápění, je izolace ještě důležitější, jinak bychom topili do země, což by se nepříznivě projevilo v celkové energetické bilanci objektu.

U domů s vysokým radonovým rizikem se v podlaze vytváří dutina, která je odvětrávána, aby se radon nedostal do domu. V tomto případě musíme podlahu opět izolovat jako by byla venkovní stěnou.

Z energetického pohledu se snažíme realizovat podlahy s vysokou akumulační schopností a velkou tepelnou pohltivostí (např. dlažba). Oproti tomuto zde je požadavek na teplou nášlapnou vrstvu (např. koberec), která ale podstatně omezuje akumulaci tepla.

Řešením tohoto problému je spojení podlahového vytápění například s dlažbou. Pokud přes den dopadá na podlahu sluneční záření, dokáže ho dobře akumulovat. V době, kdy nedopadá je dobrým vodičem tepla z podlahového vytápění. [5][11][24]

3 Energetická bilance

Nejdůležitějším zákonem, který s problematikou energetické náročnosti souvisí je zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, jehož nejnovější změnou je zákon č. 318/2012 Sb.

Tento zákon zavádí předpisy Evropských společenství a stanovuje některá opatření pro zvyšování hospodárnosti využívání energie aj.

Vedle zákonů a vyhlášek se pro určení energetické náročnosti budov využívají další technické předpisy a normy, které jsou mezi sebou velmi provázané a často se odkazují na další předpisy.

Nejnovějším předpisem je vyhláška č. 148/2007 Sb., která vstupuje v platnost od 1.4.2013. V důsledku rychlých změn legislativy se v následujícím textu blíže seznámíme s terminologií, která souvisí s energetickým hodnocením budov.

3.1.1 Průkaz energetické náročnosti budovy

Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB) vychází z evropské směrnice 2002/91/ES a je zaváděn ve všech státech EU.

Pojem energetická náročnost je charakterizována množstvím dodané energie. V hodnocení budov získává mnohem širší souvislost, jelikož kromě vytápění sleduje také spotřebu energie na přípravu teplé vody, větrání, klimatizování, ale také na spotřebu podpůrných systémů, jako jsou čerpadla, motory a ventilátory. Průkaz vznikl s cílem snížit spotřebu energií a emise CO₂. V minulosti jsme se setkali s podobným postupem u domácích spotřebičů.

PENB se musí od 1.1.2009 zpracovat v případě:

- Výstavby nových budov
- Větších změn stávajících budov a podlahovou plochou větší 1000m²

Od 1.1.2009 musí mít PENB každá novostavba. Budovy s podlahovou plochou větší 1000m² musí být opatřena průkazem také při rekonstrukci. Rekonstrukcí jsou v tomto případě myšleny zásahy do pláště budovy větší než 25 % plochy pláště nebo výměna zdroje vytápění.

PENB je oprávněna vypracovat osoba se zvláštním oprávněním, které vydává Ministerstvo průmyslu a obchodu. Jedná se o tzv. energetické specialisty, kterými se mohou stát energetičtí auditoři nebo autorizovaní inženýři s víceletou praxí, kteří jsou přezkoušeni před odbornou komisí z problematiky zpracování PENB.

Průkaz energetické náročnosti řeší:

- Stavební charakteristiku budovy
- Bilanci vnitřních zisků
- Způsob vytápění
- Způsob připravování teplé vody
- Způsob větrání
- Stanovení chlazení zóny
- Využívání solárních nebo fotovoltaických systémů

Posuzovaný objekt se na základě výsledku z PENB zařadí do jedné z osmi kategorií, které jsou stanoveny podle typu provozu a činnosti. Platná vyhláška č. 148/2007 Sb. říká, že požadavky na energetickou náročnost budovy jsou splněny, je-li energetická náročnost budovy nižší než energetická náročnost referenční budovy. Energetická náročnost referenčních budov je ve třídě C, což znamená, že budova, která splňuje požadavek na energetickou náročnost nesmí přesáhnout hodnoty uvedené pro třídu C viz. tabulka 8.

Tab.8. Hodnoty referenčních budov jednotlivých kategorií typu provozu

druh budovy	třída C (kWh.m ⁻² .rok ⁻¹)
Rodinný dům	98 - 142
Bytový dům	83 - 120
Hotel a restaurace	201 - 294
Administrativní budova	124 - 179
Nemocnice	211 - 310
Vzdělávací zařízení	90 - 130
Sportovní zařízení	103 - 145
Obchod	122 - 183

Zhotovený PENB má dvě části. První část je protokol, kde jsou v tabulce uvedeny informace o objektu a vyhodnocení energetické náročnosti jednotlivých energetických procesů a vyhodnocení celkové energetické náročnosti budovy. Součástí PENB je u budov větších 1000 m² doporučení na možnost snížení energetické náročnosti s ohledem na ekonomickou návratnost.

Druhou částí PENB je grafické vyhodnocení energetické náročnosti budovy (obr. 6), který byl inspirován již výše uvedenými elektrickými spotřebiči. [26][27][28]

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY					
Dle vyhlášky 148/2007. Sb.			Hodnocení budovy		
Typ budovy:					
Adresa:					
Celková plocha:			STÁVAJÍCÍ STAV	PO REALIZACI DOPORUČENÍ	
			A		
Měrná vypočtená roční spotřeba energie v kWh/m ² .rok					
Celková vypočtená roční dodaná energie v GJ					
Podíl dodané energie připadají na jednotlivé část v %					
Vytápění	Chlazení	Větrání	Teplá voda	Osvětlení	Celkem
Průkaz vypracoval		Jméno a příjmení:			
		Osvědčení č. :		00001	
		Datum vypracování:			

Obr.6. Grafické zpracování PENB upraveno z [25]

3.1.2 Energetický štítek obálky budovy

Oproti PENB nejsou předmětem EŠOB toky energie, ztráty objektu či tepelné zisky, ale vyhodnocují se zde tepelně - technické vlastnosti stavební konstrukce a to jak působí jako celek. K hodnocení EŠOB se využívá technická norma ČSN 73 0540 - 2. Technické normy nejsou závazné, proto se zdá, že zpracování štítku není nezbytné. Některé části normy jsou ovšem ze závazněny zákonem a vyhláškami, proto zde vzniká povinnost se normou řídit. EŠOB je považován v rámci stavebního řízení jako součást stavební dokumentace pro nové budovy, stavební úpravy a změny již dokončených budov. Výjimku tvoří budovy, u kterých není požadován určitý stav vnitřního prostředí, jako jsou např. mobilní buňky, nafukovací haly, chladírny apod.

Energetický štítek obálky budovy je oprávněn zpracovat autorizovaný inženýr nebo technik v oboru pozemní stavby apod. Autorizaci k těmto úkonům získá fyzická osoba po ověření odborné způsobilosti před komisí České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT).

Jako první posuzuje autorizovaný inženýr všechny dílčí konstrukce, které chrání vnitřní prostor. Následuje vyhodnocení budovy pomocí průměrného součinitele prostupu

tepla, který zahrnuje vliv všech ochlazovaných konstrukcí.

Vzhledem k existenci spojitosti mezi tvarovou složitostí a energetickou náročností objektu si musíme dávat pozor na vhodný poměr mezi celkovými plochami ochlazovaných konstrukcí a objemem budovy vypočítaným z vnějších rozměrů tzn. se započítanými konstrukcemi. Z výše uvedeného vyplývá, že členitější budova by měla disponovat obalovými konstrukcemi s nižšími součiniteli prostupu tepla, než jednoduchý objekt typu např. kostka. Hodnoty A/V jsou uvedeny v tabulce 9.

Tab.9. Požadované a doporučené součinitele prostupu tepla pro různé poměry A/V s navrhovanou vnitřní teplotou do 20 °C [12]

Objemový faktor tvaru budovy A/V [m^2/m^3]	Průměrný součinitel prostupu tepla U ($W.m^{-2}.K^{-1}$)	
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty
$\leq 0,2$	1,05	0,79
0,3	0,80	0,60
0,4	0,68	0,51
0,5	0,60	0,45
0,6	0,55	0,41
0,7	0,51	0,39
0,8	0,49	0,37
0,9	0,47	0,35
≥ 1	0,45	0,34

Na rozdíl od PENB nejsou u EŠOB budovy rozděleny do různých kategorií podle typu činnosti viz tab. 8. Nicméně je zde podobný systém tříd, které představují dosaženou kvalitu stavebního řešení.

Třídy jsou klasifikovány pomocí normové hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em,rq}$ a hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla stavebního fondu U_{ems} . Tyto hodnoty jsou odvozené od objemového faktoru tvaru (A/V), proto se určují pro každou budovu zvlášť. S těmito hodnotami porovnáváme vypočtený průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} budovy a stanovíme klasifikační ukazatel CI.

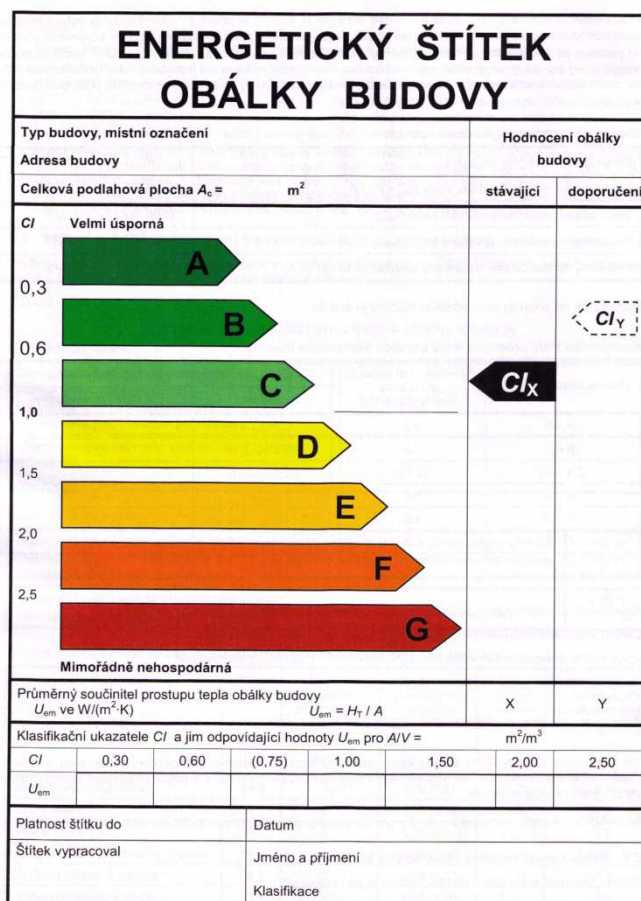
Aby byla budova vyhovující, musí splňovat minimálně požadavky kategorie C, přičemž do kategorie A patří pasivní domy, do kategorie B nízkoenergetické. Budovy s hodnotami D - G jsou v ČR pozůstatkem výstavby do roku 2006. Hodnoty klasifikačních ukazatelů CI jsou uvedeny v tabulce 10.

Tab.10 Klasifikace budov podle ČSN 73 0540-2:2011

Klasifikační třída	Slovní hodnocení	Klasifikační ukazatel CI
A	Velmi úsporná	$\leq 0,50$
B	Úsporná	$\leq 0,75$
C	Vyhovující	$\leq 1,00$
D	Nevyhovující	$\leq 1,50$
E	Nehospodárná	$\leq 2,00$
F	Velmi nehospodárná	$\leq 2,50$
G	Mimořádně nehospodárná	$> 2,50$

Protokol EŠOB má stejně jako PENB dvě části. V první části najdeme identifikační informace o budově, identifikaci vlastníka, popis budovy, charakteristiku energeticky významných ochlazovaných konstrukcí, stanovení prostupu tepla a stanovení klasifikační třídy.

Druhou částí EŠOB je grafické znázornění energetického štítku obálky budovy (obrázek 7), který je velmi podobný grafickému znázornění PENB.



Obr.7 Energetický štítek obálky budovy [30]

3.1.3 Energetický audit

Obecně lze říci, že EA slouží k vyhodnocení užívání energie v budovách, dalších energetických systémech a pro navržení opatření, které je třeba realizovat k dosažení energetických úspor. Cílem je snížit spotřebu energie a produkce CO₂, tím přispět k ochraně životního prostředí v ČR. Důraz je kladen na technické, ale i ekonomické využití potenciálu úspor skrytého v již existujících objektech. Energetický audit je často požadován jako součást žádosti o dotaci z národních či mezinárodních programů.

Energetický audit může zpracovat pouze energetický specialista, který má splněné odborné zkoušky a je zapsán v seznamu energetických specialistů.

Základním podkladem EA je detailní rozbor výchozího stavu. Údaji jsou především základní popis a charakteristika předmětu EA, situační plán a výčet energeticky významnějších zařízení, včetně výrobních. Hodnoty energetických vstupů a výstupů musejí být stanoveny z průměrné roční spotřeby. Dle zákona se auditor musí zabývat minimálně třemi předchozími roky. Roční množství dodaných paliv a energie se stanovuje na základě daňových dokladů.

Významným spotřebičem energie bývá často samotná auditovaná budova. Informace o auditované budově lze zjistit z projektové dokumentace, nebo změřením skutečného stavu doplněného fotodokumentací.

Dalším krokem je sestavení roční energetické bilance, kde energetickou bilanci najdeme na různé spotřeby, např. na přípravu TUV nebo na potřebu tepla na vytápění. U budov se stanoví tepelně technické vlastnosti konstrukcí a sestaví se model spotřeby energie budovy v průběhu tří let. Výsledkem těchto analýz je zhodnocení využívání energie a vyčíslení dosažitelných úspor.

EA obsahuje v závislosti na možnosti dosažitelných úspor energie konkrétní varianty opatření vedoucí k dosažení jejich využití s ohledem na ekonomickou návratnost.

Závěry EA by měly nastínit zadavateli možnosti úspor v různých oblastech budovy, nicméně je pouze na zadavateli, zda se bude navrhovanými řešeními řídit.

Energetický audit má platnost do doby větší rekonstrukce.

Struktura EA je nezaměnitelná s jinou energetickou studií.

Pokud objekt nepodléhá zákonné povinnosti zpracovat EA, je ekonomicky výhodnější zvolit, pro doporučení úspor, některou z optimalizačních studií.

3.1.4 Optimalizační studie

Jedná se o studie, které hledají možnosti úspor energie a navrhnou možná opatření. Obvykle bývají označeny např. jako Retrofit studie, Studie proveditelnosti atp. Podstatné je, že metodiku zpracování nepředepisuje žádný zákon. V některých případech mohou ovšem tyto studie být považovány jako doklad pro přiznání dotace. U takových studií bývá obvykle předepsána struktura.

Optimalizační studii (OPT) může zpracovat kdokoli, záleží pouze na zadavateli, zda zvolí odborníka s širším rozhledem, či úzce specializovaného technika.

Hlavní výhodou optimalizační studie je možnost jejího přizpůsobení zájmům zadavatele. Stejně jako u Energetického auditu se v OPT řeší výchozí stav. V případě budovy to je skladba a materiály konstrukce a další technologie, které jsou součástí budovy.

Většinou se využívá vícekriteriálního posuzování. To znamená, že zadaný problém zpracovatel posuzuje z různých úhlů pohledu, podle toho, které jsou pro zadavatele podstatné.

Výsledkem OPT jsou různé varianty řešení zadaného problému podle důležitosti zvolených kritérií. [26][27][28]

4 Energetická náročnost NED v Bakově nad Jizerou

Pro určení energetické náročnosti konkrétního objektu jsem si zvolil nízkoenergetický rodinný dům stojící na pozemku stp. č. 81/1 v katastrálním území Bakov nad Jizerou. Jedná se o jednopodlažní dům s využitým podkrovím, nepodsklepený se sedlovou střechou nad hlavní částí objektu a plochou střechou nad přístavbou vstupu. Orientace hřebene je sever - jih, přičemž vstup do objektu je z jižní strany. V objektu se nachází jedna bytová jednotka o velikosti 3+KK s vytápěnou plochou 150,97 m².

4.1 Základní určení tepelných ztrát

Tepelné ztráty objektu můžeme teoreticky rozdělit na ztráty prostupem tepla a ztráty výměnou vzduchu. Ztráty prostupem tepla jsou buď přímé, pokud je ochlazovaná stěna přímo v kontaktu s okolním vzduchem, nebo nepřímé, to v případě, pokud je mezi vytápěným prostorem a exteriérem ještě nějaký nevytápěný prostor. Speciálním případem prostupu tepla jsou ztráty přes zeminu přiléhající k budově.

Tepelná ztráta pro jednotlivé časové úseky v roce se vypočítá:

$$Q_l = H \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad (\text{Wh}) \quad (4.1.1)$$

Q_l - celková tepelná ztráta budovy v daném úseku

H - celková měrná ztráta budovy ve (W/K)

θ_i - požadovaná vnitřní teplota (°C)

θ_e - průměrná teplota vnějšího vzduchu v daném časovém období (°C)

t - délka časového úseku (hodiny)

Časovými úseky bývají nejčastěji jednotlivé měsíce.

Celkovou měrnou ztrátu budovy můžeme rozdělit na ztrátu prostupem tepla a ztrátu větráním.

Měrná ztráta výměnou vzduchu:

$$H_V = \rho \cdot c \cdot V \quad (\text{W/K}) \quad (4.1.2)$$

ρ - hustota vzduchu (kg.m⁻³)

c - měrná tepelná kapacita vzduchu (kJ.kg⁻¹.°C⁻¹)

V - množství vzduchu (m³/h)

Měrná ztráta prostupem tepla se spočítá podle ČSN EN ISO 13789 [31] jako:

$$H_T = L_D + L_S + H_U \quad (\text{W.K}^{-1}) \quad (4.1.3)$$

L_D - tepelná propustnost obvodovým pláštěm mezi vytápěným prostorem a vnějším prostředím

L_S - ustálená tepelná propustnost přes zeminu

H_U - měrná ztráta prostupem tepla přes nevytápěné prostory

Ztráty přímým prostupem tepla do vnějšího prostředí se stanoví:

$$L_D = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j \quad (\text{W.K}^{-1}) \quad (4.1.4)$$

A - plocha prvku, obvodového pláště (m^2)

U - součinitel prostupu tepla prvku, obvodového pláště ($\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$)

l - délka lineárního mostu (m)

Ψ - lineární činitel prostupu tepla tepelného mostu ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

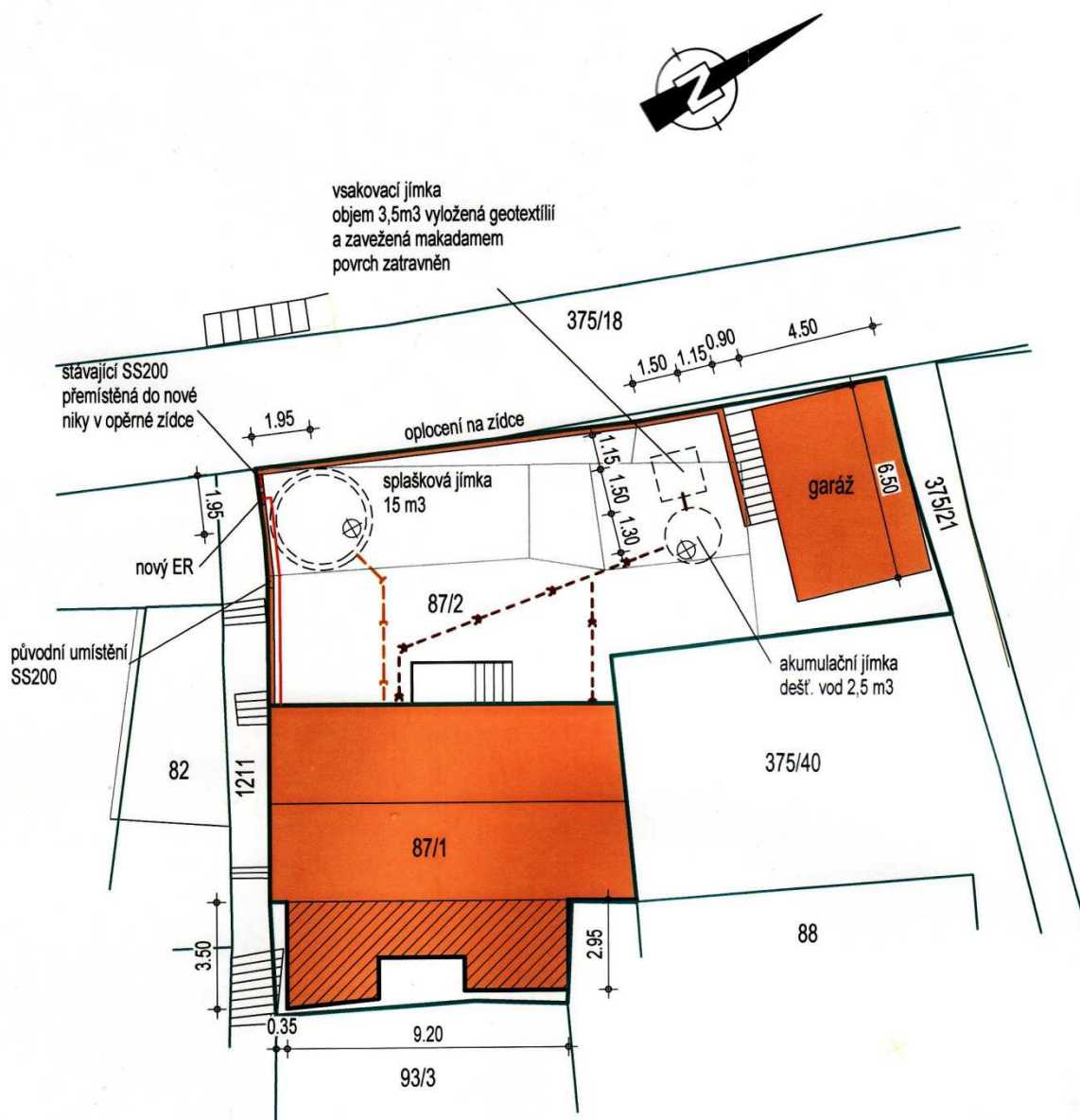
χ - bodový činitel prostupu tepla tepelného mostu (W.K^{-1})

Třetí část rovnice, která odpovídá přídavnému bodovému prostupu tepla, jsem ve svém výpočtu zanedbal z důvodu vyhodnocení snímků z termokamery, kde jsem neshledal výraznější chyby, tohoto charakteru, v konstrukci obálky.

Tepelná propustnost přes zeminu je popsána v [32], kde jsou uvedeny výpočtové vztahy popisující cestu tepelného toku z interiéru do exteriéru přes základové konstrukce a přiléhající zeminu. V této normě je zohledněn vliv vícerozměrného vedení tepla i případné umístění svislé či vodorovné tepelně izolační vrstvy. [11][13][31][32]

4.2 Výpočet tepelných ztrát pomocí softwaru ENERGIE 2010

Výpočet tepelných ztrát a spotřeba energie na vytápění jsou provedeny po měsících v programu ENERGIE 2010 Svoboda Software, který pro svůj výpočet využívá ČSN 730540, TNI 730329, TNI 730330, STN 730540, EN ISO 13790, EN ISO 13370, EN ISO 13789 a další evropské normy.



Obr. 8. Situační výkres počítaného objektu [33]

Na obrázku 8 vidíme situační výkres zvoleného objektu a jeho umístění vzhledem ke světovým stranám.

Rodinný dům jsem vzhledem k velikosti a způsobu využití uvažoval jako jednou komplexní zónu s navrhovanou vnitřní výpočtovou teplotou 20 °C. Okrajové hodnoty, které jsou použity ve výpočtu po měsících, podle TNI 730329, jsou uvedeny v tabulce 11.

Tab. 11. Okrajové hodnoty použité ve výpočtu podle normy TNI 730329

Název období	Počet dnů	Teplota exteriéru	Celková energie globálního slunečního záření [MJ/m ²]				
			Horizont	Sever	Jih	Východ	Západ
1. měsíc	31	-1,0 C	82,8	25,2	180	54	72
2. měsíc	28	1,0 C	144	46,8	201,6	93,6	100,8
3. měsíc	31	4,0 C	284,4	82,8	295,2	183,6	190,8
4. měsíc	30	9,0 C	424,8	115,2	342	266,4	259,2
5. měsíc	31	14,6 C	579,6	169,2	349,2	374,4	334,8
6. měsíc	30	17,0 C	597,6	187,2	313,2	414	316,8
7. měsíc	31	18,2 C	583,2	169,2	334,8	360	334,8
8. měsíc	31	18,8 C	514,8	136,8	360	316,8	316,8
9. měsíc	30	13,8 C	345,6	86,4	342	216	230,4
10. měsíc	31	9,4 C	205,2	61,2	270	122,4	172,8
11. měsíc	30	4,0 C	86,4	32,4	129,6	50,4	64,8
12. měsíc	31	-0,5 C	61,2	21,6	104,4	39,6	43,2

4.2.1 Hodnocení objektu z pohledu ztrát a solárních zisků:

4.2.1.1 Základní popis zóny

Geometrie (objem/podlah.pl.):	485,74 m ³ / 150,97 m ²
Účinná vnitřní tepelná kapacita:	165,0 kJ/(K.m ²)
Vnitřní teplota (zima/léto):	20,0 °C / 20,0 °C
Zóna je vytápěna/chlazená:	ano / ne
Regulace otopné soustavy:	ano
Průměrné vnitřní zisky:	310 W
odvozeny pro	počet osob: 3 a počet bytů: 1
Teplo na přípravu TV:	5940,0 MJ/rok
Celk. pomocná energie:	2880,0 MJ/rok
Celk. elektřina na osvětlení:	8640,0 MJ/rok
Zpětně získané teplo mimo VZT:	0,0 MJ/rok

4.2.1.2 Měrný tepelný tok větráním:

Objem vzduchu v zóně:	333,218 m ³
Podíl vzduchu z objemu zóny:	68,6 %
Typ větrání zóny:	přirozené nebo nucené
Objem.tok přiváděného vzduchu:	52,5 m ³ /h

Objem.tok odváděného vzduchu: 52,5 m³/h
 Násobnost výměny při dP=50Pa: 4,0 1/h
 Souč.větrné expozice e: 0,01
 Souč.větrné expozice f: 20,0
 Účinnost zpětného získávání tepla: 0,0 %

Měrný tepelný tok větráním Hv: 22,382 W/K

4.2.1.3 Měrný tepelný tok prostupem mezi interiérem a exteriérem :

Tab. 12. Měrný tepelný tok jednotlivými konstrukcemi

Název konstrukce	Plocha [m ²]	U [W/m ² K]	b [-]	U,N [W/m ² K]
SO1	47,04	0,17	1	0,38
SO2	56,56	0,219	1	0,38
SO3	15,81	0,18	1	0,38
SO4	35,6	0,38	1	0,38
Střecha 1	54,78	0,18	1	0,24
Střecha 2	26,34	0,16	1	0,24
O1	2,9	1,4	1	1,7
O2	0,73	1,4	1	1,7
Dvchod	2,59	1,2	1	1,7
O3	2,25	1,4	1	1,7
O4	4,64	1,4	1	1,7
O5	3,74	1,4	1	1,7
O6	1,4	1,4	1	1,7
O7	1,16	1,4	1	1,7
H1	1,92	1,4	1	1,7
O8	0,63	1,4	1	1,7
O9	0,63	1,4	1	1,7
O10	3,49	1,4	1	1,7

Průměrný vliv tepelných vazeb $\Delta U_{t,bm}$: 0,02 W/m²K

Měrný tok prostupem do exteriéru Hd: 87,435 W/K

4.2.1.4 Měrný tok zeminou u zóny:

Název konstrukce: PODLAHA
 Tepelná vodivost zeminy: 2,0 W/mK
 Plocha podlahy: 104,7 m²
 Exponovaný obvod podlahy: 33,52 m
 Součinitel vlivu spodní vody Gw: 1,0
 Typ podlahové konstrukce: podlaha na terénu

Tloušťka obvodové stěny:	0,45 m
Tepelný odpor podlahy:	2,74 m ² K/W
Přídavná okrajová izolace:	vodorovná
Tloušťka okrajové izolace:	0,06 m
Tepelná vodivost okrajové izol.:	0,043 W/mK
Šířka okrajové izolace:	0,8 m
Vypočtený přídavný lin. čin. pros:	-0,022 W/mK
Souč. prostupu mezi int. a ext. U:	0,21 W/m ² K

Celkový ustálený měrný tok zeminou Hg: 22,018 W/K

4.2.1.5 Měrný tok prostupem nevytápěnými prostory zóny :

Název nevytápěného prostoru:	PŮDA
Objem vzduchu v prostoru:	21,294 m ³
Násobnost výměny do interiéru:	0,0 1/h
Násobnost výměny do exteriéru:	6,0 1/h

Tab. 13. Parametry konstrukcí pro výpočet měrného toku prostupem nevytápěnými prostory

Název konstrukce	Plocha [m ²]	U [W/m ² K]	Umístění
Strop	79,76	0,162	do interieru
Střecha	40,2	2,204	do exteriéru

Tepelná propustnost Hiu:	12,921 W/K
Tepelná propustnost Hue:	88,601 W/K
Měrný tok Hiu:	12,921 W/K
Měrný tok Hue:	132,041 W/K
Parametr b dle EN ISO 13789:	0,911

Měrný tok prostupem nevytáp. prostory Hu: 11,769 W/K

4.2.1.6 Solární zisky průsvitnými konstrukcemi:

Tab. 14. Parametry okenních výplní

Název konstrukce	Plocha [m ²]	g/alfa [-]	Ff [-]	Fc [-]	Fs [-]	Orientace
O1	2,9	0,75	0,78	1	1	Jih
O2	0,73	0,75	0,65	1	1	Jih
Dvchod	2,59	0,75	0,3	1	1	Jih
O3	2,25	0,75	0,75	1	1	Jih
O4	4,64	0,75	0,78	1	1	Západ
O5	3,74	0,75	0,83	1	1	Východ
O6	1,4	0,75	0,77	1	1	Sever
O7	1,16	0,75	0,75	1	1	Sever
H1	1,92	0,75	0,75	1	1	Horizont
O8	0,63	0,75	0,68	1	0,75	Jih
O9	0,63	0,75	0,68	1	0,75	Jih
O10	3,49	0,75	0,86	1	0,73	Východ

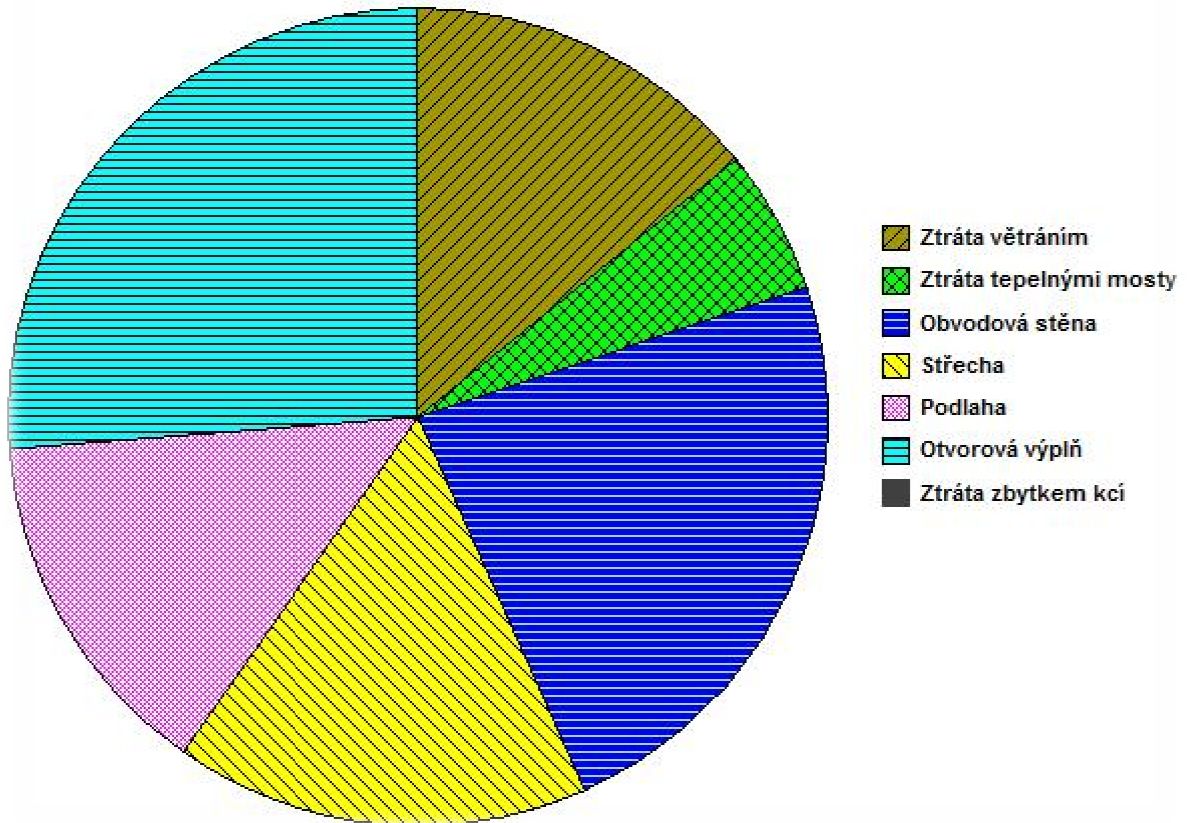
Tab.15. Celkové solární zisky okny (MJ):

Měsíc:	1	2	3	4	5	6
Zisk (vytápění):	1192,5	1577,5	2672,1	3498,8	4319,4	4316,1
Měsíc:	7	8	9	10	11	12
Zisk (vytápění):	4214,6	4006,5	3133,4	2204,6	976,2	746,8

4.2.2 Přehledné výsledky výpočtu tepelných ztrát:

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:	22,382 W/K
Měrný tok prostupem do ext. Hd:	96,368 W/K
Ustálený měrný tok zeminou Hg:	22,018 W/K
Měrný tok prost. nevytáp. Prost. Hu:	11,769 W/K
<u>Výsledný měrný tok H:</u>	<u>152,538 W/K</u>

Měrné ztráty



Graf 3. Grafické zpracování ztrát prostupem tepla

4.2.3 Dodaná energie

4.2.3.1 Energie potřebná na vytápění

V tabulce 16 jsem uvedl výsledky energetické bilance z pohledu vytápění, kde $Q_{H,ht}$ 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, $\eta_{t,H}$ je stupeň využitelnosti tepelných zisků, f_H je část měsíce, v níž musí být zóna s regulovaným vytápěním vytápěna a $Q_{H,nd}$ je potřeba tepla na vytápění.

Tab.16. Potřeba energie 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	8,268	0,83	1,193	2,023	0,998	100	6,25
2	6,786	0,75	1,578	2,327	0,992	100	4,477
3	6,381	0,83	2,672	3,502	0,959	100	3,02
4	4,348	0,804	3,499	4,302	0,805	71,5	0,884
5	2,379	0,83	4,319	5,15	0,462	0	---
6	1,426	0,804	4,316	5,12	0,279	0	---
7	1,02	0,83	4,215	5,045	0,202	0	---
8	0,794	0,83	4,007	4,837	0,164	0	---
9	2,595	0,804	3,133	3,937	0,607	16,3	0,204
10	4,342	0,83	2,205	3,035	0,914	100	1,567
11	6,175	0,804	0,976	1,78	0,996	100	4,403
12	8,08	0,83	0,747	1,577	0,999	100	6,504

Potřeba tepla na vytápění za rok Q,H,nd: 27,310 GJ

4.2.3.2 Energie dodaná do objektu

Tab.17. Energie dodaná do objektu

Měsíc	Q,f,H[GJ]	Q,f,W[GJ]	Q,f,L[GJ]	Q,f,A[GJ]	Q,fuel[GJ]
1	7,454	0,521	1,094	0,24	9,31
2	5,34	0,521	0,9	0,24	7,001
3	3,602	0,521	0,749	0,24	5,112
4	1,054	0,521	0,612	0,24	2,427
5	---	0,521	0,504	0,24	1,265
6	---	0,521	0,468	0,24	1,229
7	---	0,521	0,468	0,24	1,229
8	---	0,521	0,504	0,24	1,265
9	0,244	0,521	0,626	0,24	1,631
10	1,869	0,521	0,742	0,24	3,372
11	5,251	0,521	0,893	0,24	6,905
12	7,757	0,521	1,08	0,24	9,598

Do tabulky 17 jsem uvedl spočtené hodnoty celkové dodané energie, kde Q,f,H je spotřeba energie na vytápění, Q,f,W je spotřeba energie na přípravu teplé vody, Q,f,L je spotřeba energie na osvětlení i spotřebičů, Q,f,A je spotřeba pomocné energie (čerpadla, ventilátory atd.) a Q,fuel je celková dodaná energie.

Všechny hodnoty zohledňují vlivy účinností technických systémů.

Celková roční dodaná energie Q,fuel: 50,346 GJ

4.2.4 Přehledné výsledky výpočtu:

Faktor tvaru budovy A/V: 0,92 m²/m³

Tab. 18. Rozložení měrných tepelných toků

Položka	Měrný tok [W/K]	Procento [%]
<i>Celkový měrný tok H:</i>	152,538	100,00%
Měrný tok výměnou vzduchu Hv:	22,382	14,70%
Měrný (ustálený) tok zeminou Hg:	22,018	14,40%
Měrný tok přes nevytápěné prostory Hu:	11,769	7,70%
Měrný tok tepelnými mosty Hd,tb:	8,933	5,90%
Měrný tok plošnými kcmi Hd,c:	87,435	57,30%
<i>rozložení měrných toků po konstrukcích:</i>		
Obvodová stěna:	36,757	24,10%
Střecha:	25,844	16,90%
Podlaha:	22,018	14,40%
Otvorová výplň:	36,603	24,00%

Tab. 19. Průměrný součinitel prostupu tepla budovy

Součet měrných tepelných toků prostupem jednotlivými zónami Ht:	130,2 W/K
... dtto pro činitel teplotní redukce výplní otvorů b=1,15 (dle ČSN 730540):	134,9 W/K
Plocha obalových konstrukcí budovy:	446,7 m ²
Limit odvozený z U _{req} dílčích konstrukcí U _{em,lim} :	0,46 W/m ² K
Prům. souč. prostupu tepla obálky budovy U_{em} dle TNI 730329 a 30:	0,29 W/m²K
Prům. souč. prostupu tepla obálky budovy U_{em} dle ČSN 730540:	0,30 W/m²K

Tab. 20. Celková a měrná potřeba tepla na vytápění

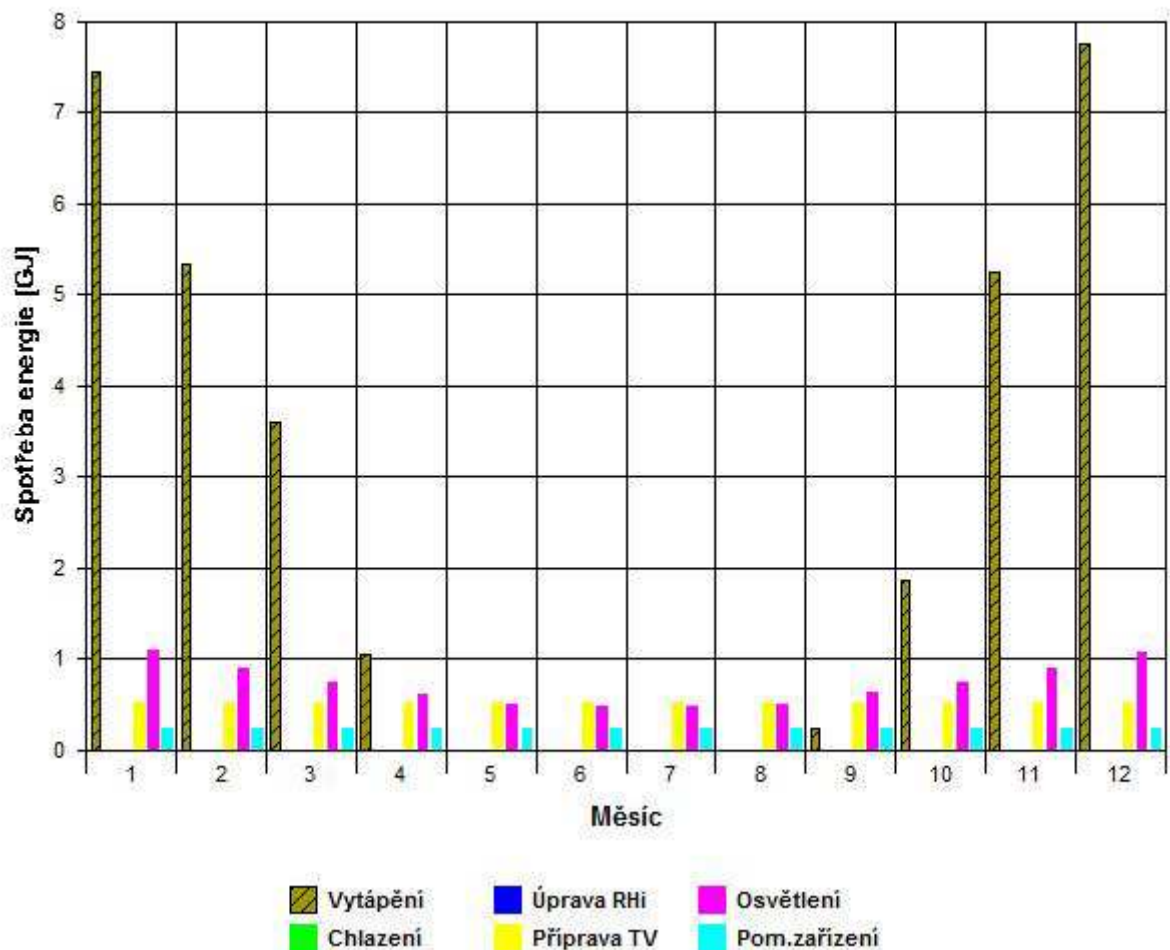
Celková roční potřeba tepla na vytápění budovy:	27,310 GJ / 7,586 MWh
Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů:	485,7 m ³
Celková podlahová plocha budovy:	151,0 m ²
Měrná potřeba tepla na vytápění budovy (na 1 m ³):	15,6 kWh/(m ³ .a)
Měrná potřeba tepla na vytápění budovy:	50 kWh/(m².a)

Z tabulky 20 je vidět, že náročnost na vytápění počítaného objektu nepřekračuje 50 kWh/(m².a). Z výše uvedeného vyplývá, že objekt splňuje požadavek na zařazení mezi nízkoenergetické.

Tab. 21. Přehled výsledků a využití energie za rok

Spotřeba energie na vytápění za rok $Q_{fuel,H}$:	32,573 GJ	9,048 MWh	60 kWh/m ²
Spotřeba pom. energie na vytápění $Q_{aux,H}$:	1,728 GJ	0,480 MWh	3 kWh/m ²
Energetická náročnost vytápění za rok EP,H :	34,301 GJ	9,528 MWh	63 kWh/m ²
Spotřeba energie na přípravu TV $Q_{fuel,W}$:	6,253 GJ	1,737 MWh	12 kWh/m ²
Spotřeba pom. energie na rozvod TV $Q_{aux,W}$:	1,152 GJ	0,320 MWh	2 kWh/m ²
Energ. náročnost přípravy TV za rok EP,W :	7,405 GJ	2,057 MWh	14 kWh/m ²
Spotřeba energie na osvětlení a spotř. $Q_{fuel,L}$:	8,640 GJ	2,400 MWh	16 kWh/m ²
Energ. náročnost osvětlení za rok EP,L :	8,640 GJ	2,400 MWh	16 kWh/m ²
Celková roční dodaná energie $Q_{fuel}=EP$:	50,346 GJ	13,985MWh	93 kWh/m²

Měsíční spotřeby energie dodávané do budovy



Graf. 4. Spotřeba energie po měsících

5 Měření termokamerou

Termokamera využívá ke svému měření zákony sdílení tepla záření. Více o těchto zákonech je uvedeno v části 1.2. Sdílení tepla záření. Infračervená kamera měří a zobrazuje objektem vyzařované infračervené záření. Skutečnost závislosti povrchové teploty objektu na vyzařovaném spektru dovoluje kameře tuto teplotu vypočítat a zobrazit.

Ve stavebnictví je termokamera využívána především k hledání slabých míst konstrukcí např. kam zatéká voda, popřípadě k detekování průniku vzduchu atp.

K přesnému měření teploty pomocí termokamery je nutné znát následující parametry objektu:

- Emisivita objektu
- Teplota odraženého záření
- Vzdálenost objektu od kamery
- Relativní vlhkost
- Teplota atmosféry

5.1 Emisivita

Nejdůležitějším parametrem objektu je emisivita. U běžných materiálů se hodnoty emisivity pohybují v rozmezí 0,1 - 0,95. Lesklé povrchy, například zrcadlo má emisivitu menší než 0,1. Emisivita lidská kůže se pohybuje kolem 0,97 - 0,98. U většiny stavebních materiálů se emisivita pohybuje v rozmezí 0,85 - 0,95. Nastavení hodnoty na 0,9 je pro obvyklé měření dostačující.

5.2 Teplota odraženého záření

Tento parametr se používá ke kompenzaci záření odraženého objektem. Je-li emisivita nastavena na nízkou hodnotu a teplota objektu je výrazně odlišná od odražené teploty, je důležité správně nastavit a kompenzovat teplotu odraženého záření.

5.3 Vzdálenost od objektu

Vzdálenostním parametrem korigujeme absorpci záření objektu atmosférou a samotné záření atmosféry. Při bližším vyhodnocování termogramu pomocí softwaru QuickReport, jsem došel k závěru, že zadání parametru vzdálenosti objektu stačí zadat orientační hodnotu. Výsledky se pro zadávání hodnot 1 - 10 m nemění.

5.4 Relativní vlhkost

Kamera Flir T335, jejíž pomocí bylo měření prováděno má možnost nastavení relativní vlhkosti prostředí. Tento parametr ovlivňuje množství pohlcování infračerveného záření objektu atmosférou. Pro menší vzdálenosti cca do 10 m od měřeného objektu je dostačující ponechání parametru vlhkosti na 50 %. [41]

5.5 Termokamera Flir T335

Termovizní kamera Flir T335 spadá do střední třídy vybavenosti a výkonnosti. Předností kamery je 3.5“ LCD dotykový displej, laser pro přesnější zaměření měřeného objektu a funkce obraz v obraze. Díky této funkci dochází k propojení reálného snímku s termosnímkiem přímo v přístroji.

Tab. 23. Vlastnosti termokamery Flir T335 [41]

Rozlišení detektoru	320x240
Typ detektoru	Nechlazený mikrobolometr
Frekvence	9 nebo 30 Hz
Teplotní rozsah	-20 - 120 / 0 - 350 / 200 - 650 °C
Citlivost detektoru	0,05
Přesnost	± 2 °C nebo ± 2 %
Ostření	Automatické / Manuální
Stupeň krytí	IP54



Obr.9. Termokamera Flir T335 [39]

5.6 Měření termokamerou NED v Bakově na Jizerou č.p. 114

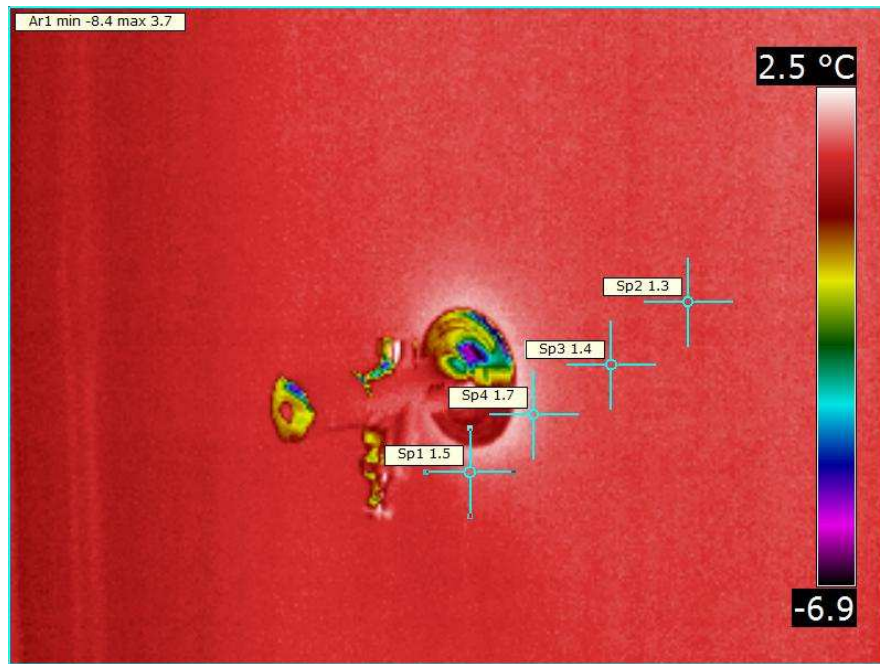
Měření jsem provedl dne 7.2.2013 mezi časem 14:43 až 15:20. Teplota vzduchu se v této době pohybovala mezi 1,4 - 2,1 °C. V době měření foukal západní vítr o hodnotě 1,8 m/s. Po celou dobu měření byla obloha zatažená. [40]

Měření výše uvedeného objektu bylo komplikované z několika důvodů. Jednou z hlavních příčin ztíženého měření je samotná orientace objektu na pozemku, jak je vidět na obrázku 10. Objekt se nachází ve svahu v záplavové oblasti řeky Jizery. Problémem tak byl samostatný přístup a možnost měření západní a východní strany objektu. Západní z důvodu existence opěrné zdi zabraňující sesuvu podloží a vniku případné záplavové vody na pozemek. Východní stranu nebylo možné změřit z důvodu přiléhající opěrné stěny vedlejšího objektu po celé délce objektu.

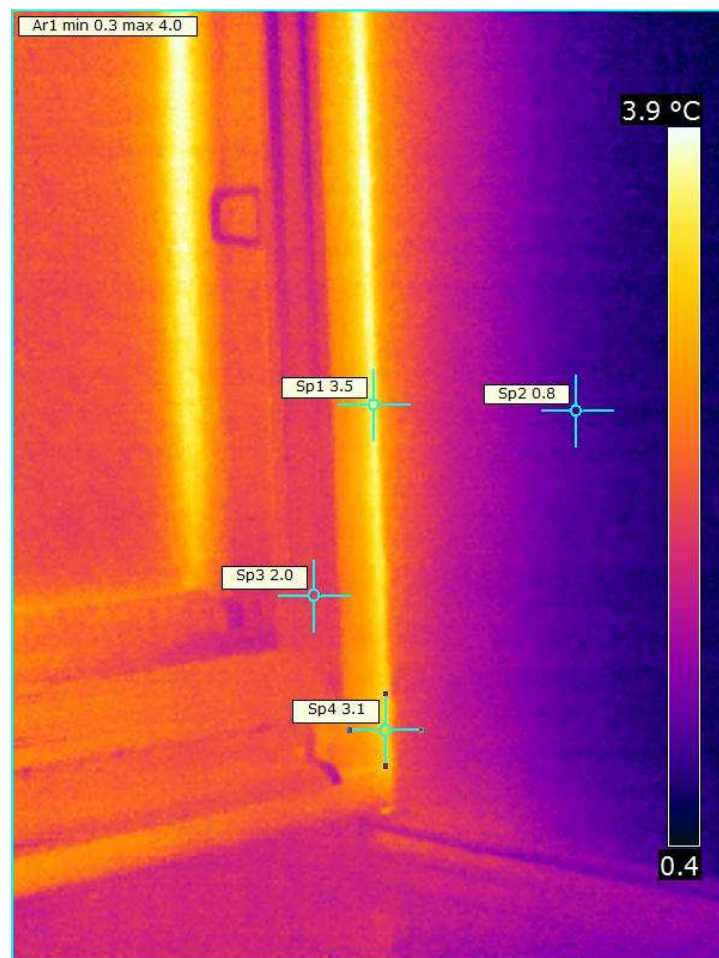
Nicméně jsem měřením pomocí termokamery ověřil kvalitu realizovaných stavebních prací a minimum vzniklých tepelných mostů v konstrukci. Místo dobře ošetřeného tepelného mostu je vidět na obrázku 11. V kontextu s tepelnými mosty jsem zjistil mírný únik prostupem tepla v okolí oken (obrázek 12) a vchodových dveří. Přičemž vchodové dveře jsou realizovány, z ekonomických důvodů, s větším součinitelem prostupem tepla, jelikož se za nimi nachází zádveří.



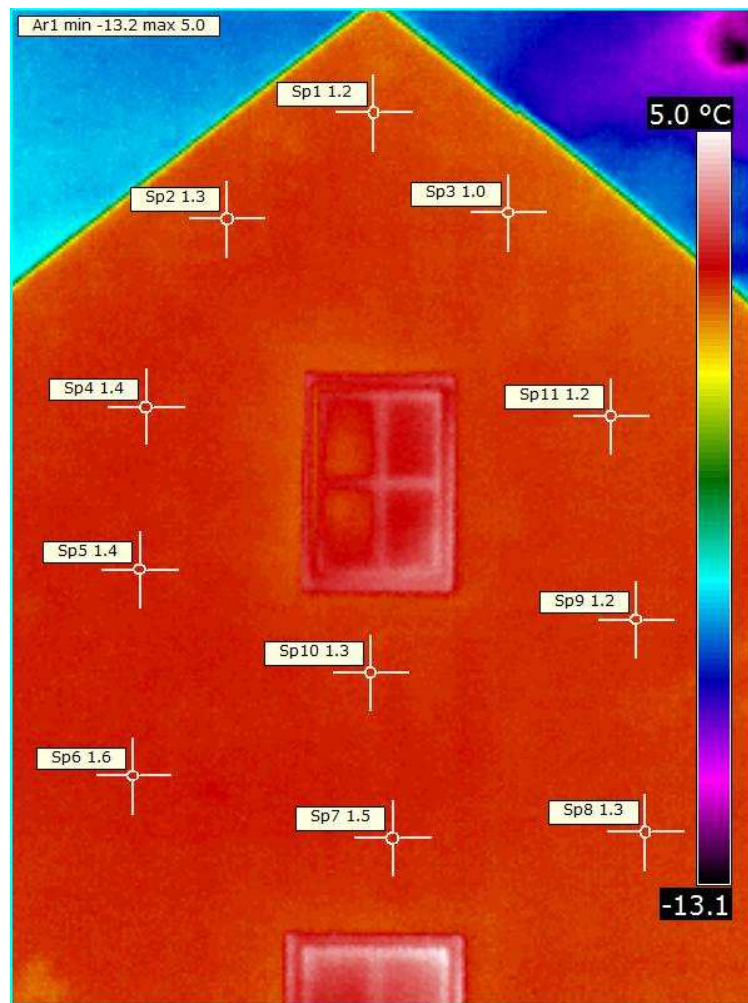
Obr. 10. Situační foto NED Bakov nad Jizerou



Obr. 11. Vyvedení vodovodního potrubí na zahradu objektu



Obr. 12. Detail tepelného mostu u okna



Obr. 13. Termogram severní stěny

Na obrázku 13 je vidět termogram severní stěny měřeného objektu. V programu QuickReport je možné zvolit několik druhů palet zobrazení barev termogramu. Z důvodu nejlepšího vyobrazení termogramu jsem zvolil paletu s názvem Rain. Na termogramu je vidět rozložení teplot na konstrukci, z nichž jsem vypočetl střední hodnotu 1,3 °C.

5.6.1 Určení tepelných ztrát prostupem

Izolovaná stěna sestává z několika vrstev rozdílných materiálů. Předpokládá se, že dotyk mezi jednotlivými vrstvami je dokonalý, takže povrchové teploty dvou stýkajících se vrstev jsou shodné.

Obecně pro rovinnou stěnu platí:

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^n R_{\lambda,i}} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (5.6.1)$$

$\sum R_{\lambda,i}$ - celkový měrný tepelný odpor složené stěny ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)

Měrný tepelný odpor můžeme spočítat jako:

$$R_{\lambda} = \frac{s}{\lambda} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}) \quad (5.6.2)$$

Z výše uvedeného vyplývá, že hustota tepelného toku konstrukcí je tím vyšší, čím větší je rozdíl teplot na površích, čím větší je součinitel tepelné vodivosti λ a čím menší je tloušťka stěny. [3]

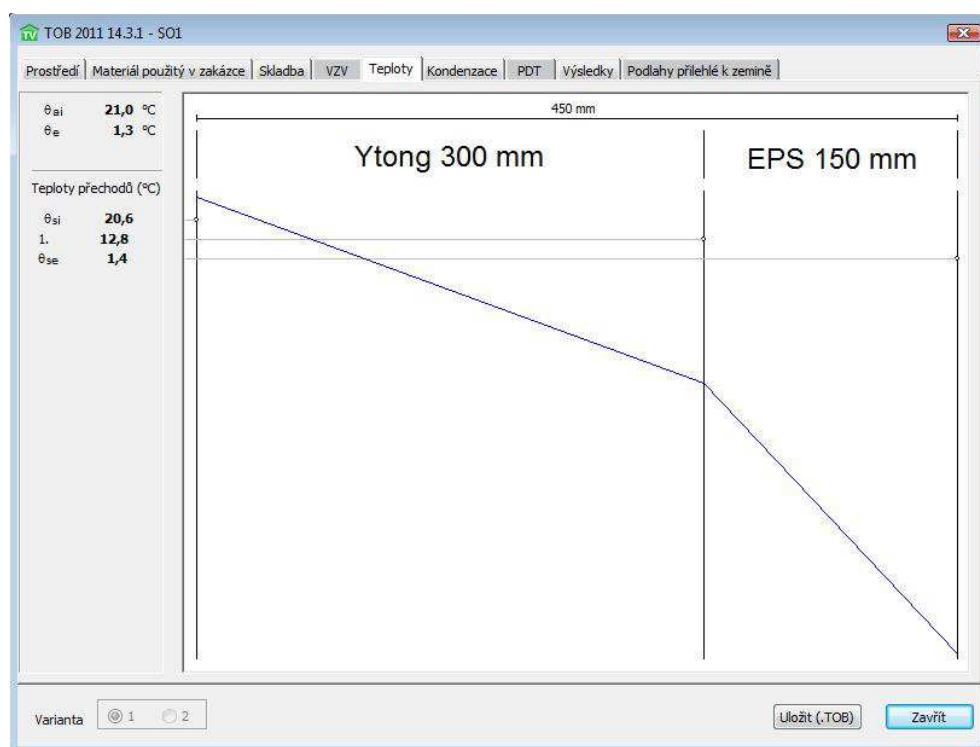
Podle vztahu 5.6.2. jsem určil tepelný odpor jednotlivých vrstev severní strany objektu, přičemž v samotném výpočtu hrají roli pouze konstrukce s vyšší tloušťkou a lepšími izolačními vlastnostmi. V případě nízkoenergetického domu v Bakově nad Jizerou to jsou materiály Ytong 300 mm ($R = 2,7272 \text{ m}^2\text{K/W}$) a pěnový polystyren EPS 150 mm ($R = 3,846 \text{ m}^2\text{K/W}$).

Podle normy ČSN EN ISO 6946 musíme ve výpočtu zahrnout přídavné tepelné odpory R_{si} (tepelný odpor při prostupu tepla mezi konstrukcí a vzduchem z vnitřní strany ochlazované stěny) a R_{se} (tepelný odpor při prostupu mezi ochlazovanou stěnou a venkovním vzduchem). Jejich hodnoty záleží na směru tepelného toku. V případě počítané stěny jsem použil hodnoty $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ a $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$, což jsou hodnoty pro vodorovný směr tepelného toku.

Z rovnice 5.6.1. jsem určil hustotu tepelného toku q stěnou jako:

$$q = \frac{21-1,3}{0,13+0,04+2,7272+3,846} = 2,92 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (5.6.3)$$

Na obrázku 14 je znázorněn průběh teploty konstrukcí počítané stěny. V programu Protech jsem namodeloval počítanou stěnu konstrukce. Výsledek hustoty tepelného toku zde vyšel $4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, k rozdílu $1,08 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ došlo z důvodu, v analytickém výpočtu, zanedbání vazby tepelných mostů a vlivu vlhkosti na pórobeton (Ytong), díky které se tepelný odpor tohoto materiálu zmenší a nepřesně určené emisivity omítky. Program Protech uvažuje vlhkost 80 % a vliv tepelných mostů $U = 0,02 \text{ W/m}^2\text{K}$. Nepřesnost do výpočtu vnáší i sám program Protech, jelikož celkový výsledek zaokrouhuje na celá čísla.



Obr. 14. Průběh teploty konstrukcí

6 Možnosti snížení energetických ztrát izolací

Zateplením domu a osazením vhodné regulace vytápění můžeme ušetřit u starších staveb až 30 % ze stávajících nákladů na vytápění. Zateplování není důležité jen z ekonomického hlediska, výrazně se zlepší i kvalita bydlení.

Mezi nejstarší tepelné izolace patří přírodní materiály jako jsou seno či sláma. Od 60. let minulého století se začaly ve větší míře objevovat plasty, které se výborně uplatnily především v izolacích spodních částí budovy.

Moderní izolace jsou tvořeny materiály, které obsahují vysoký podíl uzavřeného vzduchu. Vysoká izolační schopnost těchto materiálů spočívá v tom, že obsažený vzduch špatně vede teplo.

6.1 Pěnové materiály

Mezi pěnové tepelně izolační materiály patří zejména polymerní pěny, polyuretany, PVC. Nejběžnějším materiálem pro tepelné izolace je polystyren (EPS).

6.1.1 Pěnový polystyren

Jde o produkt polymerace styrenu, který je následně zpěňován a nařezán do bloků. Při aplikaci se ukotví buď pouze lepením, nebo lepením a mechanicky.

Tab. 22. Přehled druhů polystyrenů [35]

Typ	Využití	Součinitel tep. vodivosti λ	Cena d = 100 mm / 1m ²
EPS 70 F	Kont.zatepl. systém stěn	0,0390 W/mK	109,08 Kč
EPS 100 F	Kont.zatepl. systém stěn	0,0370 W/mK	137,64 Kč
EPS 100 Z	běžně zatížené podlahy	0,0370 W/mK	132,60 Kč
EPS 100 S	běžně zatížené podlahy	0,0370 W/mK	135,12 Kč
EPS 150 S	podlahy vysoce zatížené	0,0350 W/mK	164,28 Kč
EPS 200 S	podlahy vysoce zatížené	0,0340 W/mK	196,20 Kč
Styrotherm Plus 70	zateplení fasád	0,0320 W/mK	138,96 Kč
Styrotherm Plus 100	zateplení fasád	0,0302 W/mK	176,64 Kč
EPS 100 NEO	Kont.zatepl. systém stěn	0,0300 W/mK	179,40 Kč

Číslo u typu polystyrenu značí pevnost v tlaku v kPa. Obecně lze říci, že polystyreny určené pro použití v běžně zatížených podlahách jsou vhodné i pro využití u zateplení plochých střech.

6.1.2 Pěnový polyuretan

Mezi nejlepší izolační materiál na trhu patří tvrdá polyuretanová pěna (PUR) nebo novější typ polyizokyanurátová pěna (PIR). Součinitel tepelné propustnosti dosahuje hodnot až $\lambda = 0,023 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Za touto hodnotou stojí podstatné omezení sálavé složky šíření tepla pěnou.

Výhodami použití polyuretanové pěny jako izolačního materiálu jsou:

- nenasákavost
- neumožňuje vznik kondenzátu ani plísní
- vykazuje výbornou přilnavost
- zachovává objemovou stálost

Nevýhodami tohoto materiálu jsou zejména nutnost chránění před UV zářením a vysoká cena, která se pohybuje kolem 550 Kč/m^2 , což u běžné výstavby rodinných domů není oproti jiným způsobům zateplení ekonomicky efektivní. [21][36]

6.2 Nerostné materiály

6.2.1 Minerální vlna

Minerální vlna se vyrábí tavením hornin, obvykle se jedná o čedič. Hornina se roztaví, následně se každá kapka se natáhne do vláken, do kterých přidají látky z důvodu upravení vlastností. Materiál je dodáván v podobě nařezaných desek, nebo rolích. Významnou předností minerálních tepelných izolací je nízký difúzní odpor a tím vysoká paropropustnost, proto je vhodné použít minerální vlnu v případě domů, kde dochází ke kondenzaci vlhkosti na konstrukcích. Součinitel tepelné propustnosti se pohybuje u nejlepších provedení okolo hodnoty $\lambda = 0,035 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

6.3 Přírodní materiály

6.3.1 Konopí

Konopí patří mezi rychle rostoucí rostliny, které nevyžadují žádné ošetřování chemickými látkami. Z vláken této rostliny jsou vyráběny konstrukční desky i tepelně izolační materiály v podobě desek či rouna. Pro izolaci těžce dostupných nebo nepravidelných míst lze využít k izolaci i foukanou sypkou konopnou izolaci. Součinitel tepelné propustnosti je srovnatelný s minerální vlnou, proto je konopí vhodným materiálem, který minerální vlnu

nahrazuje, pokud stavitel vyžaduje přírodní mikroklima.

6.3.2 Celulóza

Celulózové izolační materiály se vyrábějí z recyklovaného novinového papíru, který je ošetřen aditivou znesnadňující hoření či napadení izolace různými škůdci. Izolace se dodává v podobě granulátu, kterým se foukáním vyplňují místa určená k izolaci. Nevýhodou tohoto materiálu je postupné sesedání, proto je nutné hmotu dostatečně ztuhnout. Problémy nastávají v šikmých nebo svislých částech budovy. Celulóza se nejčastěji aplikuje v dřevostavbách a pasivních domech přímo do konstrukce stěn, kde se chová jako savý papír. To znamená, že na sebe naváže vlhkost z konstrukce a rovnoměrně jí předá dál. Součinitel tepelné propustnosti se pohybuje okolo hodnoty $\lambda = 0,039 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

6.4 Ekonomické zhodnocení izolací

Ekonomická návratnost různých druhů zateplení závisí na aktuálních cenách jak energie, tak i izolačního materiálu. Pro aktuálnost ekonomického srovnání jsem tedy využil nejenom návratnost investice v penězích, ale také návratnost v ušetřeném množství primárních zdrojů energie.

Uvažované druhy izolací jsem dosadil do stejných výpočtových podmínek v programu Protech, kde jsem namodeloval nekonečnou stěnu, která odděluje dva prostory. Z nekonečné stěny jsem při výpočtu uvažoval plochu 1 m^2 s vnitřní výpočtovou teplotou $19 \text{ }^\circ\text{C}$ a venkovní teplotou $-6 \text{ }^\circ\text{C}$. Množství primárních zdrojů na vytápění jsem určil z modelu místnosti o objemu 1 m^3 , s uvažovaným prostupem tepla jednou stěnou a účinností zdroje vytápění 85 %. Dalším parametrem pro určení množství primární energie je tzv. výhřevnost materiálu, kde jsem zvolil pro černé uhlí (ČU) hodnotu 22 MJ/kg, u zemního plynu (ZP) hodnotu 35,8 MJ/kg a pro dřevo s obsahem vlhkosti 20 % (D20%) hodnotu 14,6 MJ/kg. Topná sezóna je 239 dní. Ve výpočtu nejsou zahrnuty případné solární zisky a přídatné ztráty tepla infiltrací. Na základě výše uvedených vstupních podmínek jsem spočetl ztráty prostupem tepla.

Tab. 23. Zhodnocení kontaktního zateplení fasády [35]

Tloušťka d [mm] / cena [Kč/ m ²]	Materiál	Ztráta prostupem [W]	Energie na vytápění [kWh/rok]	Množství primárních zdrojů / d
0 / 0	Ytong 300 mm (U = 0,375 W/mK)	10	27,6	ČU - 5,3 kg ZP - 3,4 m ³ D20% - 8,2 kg
100 / 106	Ytong 300 mm + EPS 70 (U = 0,039 W/mK)	5	14,5	ČU - 2,8 / 2,2 / 1,7 kg
150 / 159		4	11,6	ZP - 1,7 / 1,4 / 1,0 m ³
200 / 212		3	8,7	D20% - 4,2 / 3,4 / 2,5 kg
100 / 132	Ytong 300 mm + EPS 100 NEO (U = 0,032 W/mK)	4	11,6	ČU - 2,2 / 1,7 / 1,7 kg
150 / 198		3	8,7	ZP - 1,4 / 1,0 / 1,0 m ³
200 / 264		3	8,3	D20% - 3,4 / 2,5 / 2,5 kg
100 / 244	Ytong 300 mm + Isover NF333 (U = 0,042 W/mK)	5	14,5	ČU - 2,8 / 2,8 / 2,2 kg
150 / 366		5	13,1	ZP - 1,7 / 1,7 / 1,4 m ³
200 / 488		4	11,3	D20 % - 4,2 / 4,2 / 3,4 kg
100 / 228	Ytong 300 mm + Knauf Insulation FKD (U = 0,039 W/mK)	5	14,5	ČU - 2,8 / 2,2 / 2,2 kg
160 / 365		4	11,6	ZP - 1,7 / 1,4 / 1,4 m ³
200 / 456		4	11,6	D20% - 4,2 / 3,4 / 3,4 kg

- ČU..... Černé uhlí
- ZP..... Zemní plyn
- D20%.....Dřevo s obsahem vlhkosti do 20 %

V tabulce 23 jsem, pro transparentnost, uvažoval různé možnosti kontaktního zateplení fasády, přičemž jsem zvolil čtyři materiály, které jsou k dostání na trhu. EPS 70 je běžný a nejlevnější polystyren, který se využívá k zateplení fasád domů. Oproti tomu EPS 70 Plus je tzv. šedý polystyren, který je určený pro maximální zateplení. Jeho izolační schopnosti jsou určeny pro využití u nízkoenergetické a pasivní výstavby. Dalším materiálem vhodným k zateplení fasády je minerální vlna, kde jsem pro výpočet zvolil materiál společnosti Isover s označením NF333 druhým materiálem je výrobek značky Knauf s označením Insulation FKD. Hodnocení dalších alternativ kontaktního zateplení fasády není smysluplné, jelikož ceny i tepelně izolační vlastnosti ostatních polystyrenových, ale nejen jejich, materiálů jsou ekonomicky méně výhodné než výše uvedené možnosti.

Tab. 24. Ekonomická návratnost uvedených izolací

Zateplení [Kč/m ²]	Finanční úspora energie za rok na m ² stěny / návratnost investice na m ²		
	Černé uhlí	Zemní plyn	Dřevo vlhkost 20%
100 mm EPS 70 / 106	13,725 Kč / 7,72 roku	17,561 Kč / 6,04 roku	10,305 Kč / 10,28 roku
150 mm EPS 70 / 159	17,019 Kč / 9,34 roku	20,660 Kč / 7,69 roku	12,365 Kč / 12,86 roku
200 mm EPS 70 / 212	19,764 Kč / 10,72 roku	24,792 Kč / 8,55 roku	14,682 Kč / 14,34 roku
100 mm EPS 70 Plus / 132	17,019 Kč / 7,75 roku	20,660 Kč / 6,38 roku	12,365 Kč / 10,67 roku
150 mm EPS 70 Plus / 198	19,764 Kč / 10,01 roku	24,792 Kč / 7,98 roku	14,682 Kč / 13,49 roku
200 mm EPS 70 Plus / 264	19,764 Kč / 13,35 roku	24,792 Kč / 10,64 roku	14,682 Kč / 17,98 roku
100 mm NF 333 / 244	13,725 Kč / 17,77 roku	17,561 Kč / 13,89 roku	10,305 Kč / 23,67 roku
150 mm NF 333 / 366	13,725 Kč / 26,66 roku	17,561 Kč / 20,84 roku	10,305 Kč / 35,51 roku
200 mm NF 333 / 488	17,019 Kč / 28,67 roku	20,660 Kč / 23,62 roku	12,365 Kč / 39,47 roku
100 mm Insulation / 228	13,725 Kč / 16,61 roku	17,561 Kč / 12,98 roku	10,305 Kč / 22,12 roku
160 mm Insulation / 365	17,019 Kč / 21,44 roku	20,660 Kč / 17,67 roku	12,365 Kč / 29,52 roku
200 mm Insulation / 456	17,019 Kč / 26,79 roku	20,660 Kč / 22,07 roku	12,365 Kč / 36,87 roku

V tabulce 24 jsem spočetl ekonomickou návratnost různých možností zateplení, které jsou uvedeny v tabulce 23. Jako vstupní ceny energie jsem zvolil cenu černého uhlí 5,49 Kč/kg (OKD), cenu zemního plynu 10,33 Kč/m³ (E-ON) a cenu dřeva s vlhkostí 20 % jsem určil 2,575 Kč/kg. Z výše uvedené tabulky je vidět, že záleží na aktuálních cenách energie. Obecně lze říci, že se investice do zaizolování domu vrátí v průběhu několika let a ohledem na způsobu vytápění a na řešení nosných obvodových prvků konstrukce. [18][37][35]

7 Doporučení technické praxi

U nízkoenergetické a pasivní výstavby je mnohem důležitější, než u běžných staveb podrobná rozvaha a jasné určení řešení skladby konstrukcí a tím předcházení tepelným mostům v závislosti na konkrétním případě. Před zahájením samotné stavby je na místě vypracování energetického posudku pro různé varianty řešení konstrukcí nejen z hlediska jejich ekonomické návratnosti. Ve zvažovaných případech řešení není důležitá pouze problematika ztrát tepla, ale i hodnocení například kondenzace vodních par. V kontextu výše zmíněného je vhodné pro návrh konstrukčního řešení využít softwarů, které počítají právě i s možností kondenzace vodních par a na základě těchto údajů zvolit vhodný materiál pro zateplení. Vhodný software pro výpočet tepelných ztrát je např. program společnosti Protech, který mimo výpočet tepelných ztrát určí i množství a teplotu při které dochází ke kondenzaci vodních par v konstrukci.

Nedílnou součástí samotné výstavby nízkoenergetických a pasivních domů by měla být kontrola postupujících prací termokamerou, která může odhalit případné chyby v konstrukci, ještě před dokončením stavby, kdy je cena opravy, ve srovnání s opravou již dokončené stavby, relativně nízká.

Měření termokamerou je v dnešní době nejlepším řešením, jak určit tepelné ztráty sledovaného objektu. Největší výhodou je ucelený pohled na pozorovaný objekt, nicméně musíme mít na paměti, že termokamera neměří tepelné ztráty, ale pouze vytváří termogram, z něhož na základě vstupních informací (emisivita, vzdálenost od objektivu, vlhkost ovzduší, venkovní teplota aj.), dopočítává teplotu snímaného objektu. Velkým problémem je určení přesné emisivity snímaného materiálu. Další překážkou pro přesné měření je úhel snímání, jelikož od určitého úhlu (cca 60°) termokamera zkresluje, proto je obtížné měřit např. střechu. Pro přesnější výsledky měření je vhodné, aby byl teplotní rozdíl mezi interiérem a exteriérem sledovaného objektu kolem 20 °C.

Možnosti zateplení domů je celá řada s různou cenou a hodnotou tepelného odporu. Ve své práci jsem nezdědka kdy viděl dražší materiál s horšími tepelně izolačními vlastnostmi, než byl konkurenční materiál. Zateplení domu ale není možné řešit jen z hlediska izolačních vlastností, naopak u starší výstavby je nutné mít na paměti posouzení problematiky kondenzace vodních par či požadavek na nehořlavost materiálu.

Závěr

První část práce sjednocuje informace o obecných zákonitostech sdílení tepla pomocí proudění, záření, vedení a v následující kapitole objasňuje problematiku nízkoenergetických staveb. V další části se práce věnuje legislativnímu chápání a způsobu energetického hodnocení staveb z energetického hlediska včetně technických požadavků na posuzovatele a zpracování technických zpráv různých druhů energetických hodnocení.

Ve čtvrté kapitole se práce zaměřuje na praktické určení energetické bilance konkrétního nízkoenergetického domu v Bakově nad Jizerou č.p. 114. Energetická bilance je provedena v programu ENERGIE 2010, Svoboda software, který propojuje všechny potřebné normy a vyhlášky spojené s požadavky na hodnocení stavby.

V následující kapitole se práce zabývá možnostmi využití termokamery ve stavebnictví a následným měřením výše uvedeného objektu. Důležitým parametrem pro měření termokamerou je dostatečný teplotní rozdíl mezi interiérem a měřeným exteriérem, který byl v našem případě téměř 20 °C. Další nezanedbatelnou součástí měření je vhodné počasí, tj. takové, kdy sluneční paprsky nedopadají na měřený objekt, ale zároveň nesmí přšet, což by měření zkreslilo.

Předposlední kapitola se věnuje různým druhům tepelných izolací, přičemž jsou různé varianty namodelovány na stěnu o ploše 1 m² a následně spočtena jejich ekonomická návratnost. Z důvodu měnících se cen energie je v práci uvedena i materiální úspora různých druhů materiálů pro vytápění. Obecně lze říci, že se zateplení domu vždy po nějaké době ekonomicky vrátí. Investor by neměl zateplení realizovat bez konzultace s odborníkem, z důvodů například požadavků na požární bezpečnost nebo rizika vzniku plísní v důsledku kondenzace vodních par.

Použité zdroje

Odborná literatura

- [1] Nagy, E.: *Nízkoenergetický ekologický dům*, Jaga group, s.r.o., Bratislava 2002
- [2] Počinková, M., Čuprová, D.: *Úsporný dům*, ERA, Brno 2004
- [3] Příhoda, M., Rédr, M.: *Sdílení tepla a proudění*, Ostrava 1998
- [4] Langer, E.: *Elektrotepelná technika – část I.+II.*, Editační středisko VŠSE, Plzeň 1974
- [5] Humm, O.: *Nízkoenergetické domy*, Grada, Praha 1999
- [6] Michejev, M.: *Základy sdílení tepla*, Průmyslové vydavatelství, Praha 1952
- [7] Kolat, P.: *Přenos tepla a hmoty*, VŠB, Ostrava 2001
- [8] Nožička, J.: *Sdílení tepla*, ČVUT, Praha 1997
- [9] Blahož, V.: Kadlec, Z.: *Základy sdílení tepla*, SPBI SPEKTRUM, Ostrava 1996
- [10] Rada, J.: *Elektrotepelná technika*, SNTL, Praha 1985
- [11] Tywoniak, J.: *Nízkoenergetické domy*, Grada, Praha 2005
- [12] ČSN 73 0540:2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky, ČSNI 2011
- [13] Tywoniak, J.: *Nízkoenergetické domy 2*, Grada, Praha 2008
- [14] Puškár, A. a kol.: *Okna, dveře a prosklené stěny*, Jaga-group, Bratislava 2003
- [15] Dafe-Plast: *Výplně pasivních rodinných domů*, Jihlava 2013
- [16] Konečný, K.: *Hodnoty PSI distančních rámečků*, Akutherm Sklo a.s, Praha 2013
- [26] Hudcová, L. a kol.: *Energetická náročnost budov*, Ekowatt, Praha 2009
- [27] Zákon č. 318/2012 Sb. *Zákon, kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů.*
- [28] Vyhláška č. 148/2007 Sb. *O energetické náročnosti budov*
- [29] Langer, E.: *Elektrotepelná technika část I. + II.*, Editační středisko VŠSE, Plzeň 1974
- [31] ČSN EN ISO 13789 - *Tepelné chování budov - Měrná ztráta prostupem tepla - Výpočtová metoda*, ČSNI 2009
- [32] ČSN EN ISO 13370 - *Tepelné chování budov - Přenos tepla zeminou - Výpočtová metoda*, ČSNI 2009
- [33] Balda, M.: *Oprava a přístavba domu čp.114, Bakov nad Jizerou*, Propos, Mladá Boleslav 2009
- [41] Flir Systems: *Flir T335 User's manual*, Flir Systems, Česká republika 2010

Internetové odkazy

- [17] <http://ottp.fme.vutbr.cz/> [cit. 25.10.2012]
- [18] <http://stavba.tzb-info.cz/> [cit. 30.10.2012]
- [19] <http://www.mpo-efekt.cz/> [cit. 27.12.2012]
- [20] <http://www.hlc.cz/> [cit. 27.1.2013]
- [21] <http://www.stavebnictvi3000.cz> [cit. 3.2.2013]
- [22] <http://www.sulko.cz> [cit. 14.2.2013]
- [23] www.dafe.cz [cit. 15.2.2013]
- [24] <http://www.ekowatt.cz> [cit.1.3.2013]
- [25] <http://www.zelenausporam-2.cz> [cit. 11.3.2013]
- [30] <http://hestia.energetika.cz> [cit. 12.3.2013]
- [34] <http://www.austrotherm.cz> [cit. 7.4.2013]
- [35] <http://www.centrum-zatepleni.cz> [cit. 10.4.2013]
- [36] <http://www.pur.cz> [cit. 10.4.2013]
- [37] <http://www.nazeleno.cz> [cit. 15.4. 2013]
- [38] <http://www.termogram.cz> [cit. 15.4.2013]
- [39] <http://teplovizo.ru> [cit. 15.4.2013]
- [40] <http://www.in-pocasi.cz> [cit. 15.4.2013]

Evidenční list

Souhlasím s tím, aby moje diplomová práce byla půjčována k prezenčnímu studiu v Univerzitní knihovně ZČU v Plzni.

Datum:

Podpis:

Uživatel stvrzuje svým čitelným podpisem, že tuto diplomovou práci použil ke studijním účelům a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno	Fakulta / katedra	Datum	Podpis