



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ZVÝŠENÍ TEPELNĚ-IZOLAČNÍCH PARAMETRŮ KLASICKÝCH OBYTNÝCH BUDOV A JEJICH VLIV NA KVALITU VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

IMPROVEMENT OF HEAT INSULATION PARAMETERS OF CLASSIC RESIDENTIAL BUILDINGS
AND THEIR IMPACT ON QUALITY OF INNER ENVIRONMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. DAVID POSPÍŠIL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MICHAL JAROŠ, Dr.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. David Pospíšil

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Technika prostředí (2301T024)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Zvýšení tepelně-izolačních parametrů klasických obytných budov a jejich vliv na kvalitu vnitřního prostředí

v anglickém jazyce:

Improvement of heat insulation parameters of classic residential buildings and their impact on quality of inner environment

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současné době jsme svědky zvýšeného zájmu o problematiku energetických úspor v budovách. Hlavní cestou k jejich dosažení je zvýšení tepelně-izolačních parametrů obvodového pláště budov. To však vyžaduje určité investiční náklady. Z hlediska investora je důležité, nakolik účelně jsou tyto náklady vynaloženy a jaká je návratnost investice v důsledku následných energetických úspor. Důležitá je rovněž otázka vlivu těchto opatření na kvalitu bydlení.

Cíle diplomové práce:

Na základě energetické simulace zpracujte rozbor tepelných ztrát a zisků (včetně solárních) pro klasický cihlový rodinný a obytný dům. Navrhněte konkrétní opatření ke snížení spotřeby energie na úpravu vnitřního prostředí (vytápění a větrání, případně chlazení a osvětlení) při současném zvýšení kvality a komfortu bydlení. Při návrhu respektujte platnou legislativu. Posuďte účinnost jednotlivých opatření (např. zateplení, výměna oken, případně instalace pokročilých větracích systémů), jejich dopad na kvalitu vnitřního prostředí, předpokládané energetické úspory a ekonomickou výhodnost. Porovnejte jejich vhodnost a přínos pro oba typy obytných budov.

Seznam odborné literatury:

Vaverka, J. a kol.: Stavební tepelná technika a energetika budov. Vysoké učení technické v Brně, 2006.

Chmúrny, I.: Tepelná ochrana budov. Jaga group, Bratislava, 2003.

Chyský, J., Hemzal, K. a kol.: Větrání a klimatizace. 3. vydání. BOLIT-B press, Brno, 1993.

Vyhláška ze dne 18. června 2007 o energetické náročnosti budov. Sbírka zákonů č. 148/2008, s. 1855-1879.

Internetový portál TZB-info (www.tzb-info.cz).

Další internetové, časopisecké a jiné zdroje dle vlastního výběru studenta.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 23.11.2010

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Diplomová práce se zabývá využitím energetických simulací v oblasti klasických obytných budov při aplikaci opatření na snížení spotřeby tepla na vytápění. V úvodní části je zmíněn vývoj normativních požadavků na tepelné ztráty budov v České republice a způsoby snižování tepelné ztráty různými typy stavebních prvků. Další část je věnována vnitřnímu mikroklimatu budov a faktorům, které ho ovlivňují. Dále jsou zmíněny ekonomické a ekologické dopady těchto úprav. Poslední část popisuje zkoumané budovy a simulace, jejich nastavení a vyhodnocení.

Master's Thesis deals with utilization of energy simulation software in area of classic brick buildings and measures to decrease heat consumption. Introduction deals with historic development of heat loss demands in Czech Republic and ways how to decrease heat loss through different types of building elements. Next chapter is focused on indoor microclimate and it's affecting factors. Last but not least are mentioned environmental and financial aspects of these adjustments. Final part shows examined buildings, simulation configurations and output evaluations.

Bytový dům, rodinný dům, tepelná ztráta, tepelná zátěž, energetická náročnost, tepelná izolace, tepelný komfort, doba návratnosti, TRNSYS

Apartment house, villa, heat loss, heat loads, energy demand, thermal insulation, thermal comfort, rate of return, TRNSYS

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POSPÍŠIL, D. *Zvýšení tepelně-izolačních parametrů klasických obytných budov a jejich vliv na kvalitu vnitřního prostředí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 101 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Zvýšení tepelně-izolačních parametrů klasických obytných budov a jejich vliv na kvalitu vnitřního prostředí“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

26. května 2011

.....
David Pospíšil

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Michalu Jarošovi, Dr. za vedení při vypracování diplomové práce, za jeho cenné rady a připomínky.

Dále bych tímto chtěl poděkovat své rodině, mé Kačence a blízkým za jejich neustálou podporu během studia, která vedla až k tomuto dlouho očekávanému cíli.

Speciální pozornost si zaslouží i osoba, kterou potkávám v zrcadle, a která se mnou měla trpělivost a vůli po celou dobu mého studia.

OBSAH

OBSAH	9
ÚVOD	11
1. TEPELNÁ TECHNIKA	13
1.1 VLASTNOSTI STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ	13
1.1.1 SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA.....	13
1.1.2 ŠÍŘENÍ VLHKOSTI V KONSTRUKCI.....	15
1.2 NORMATIVNÍ POŽADAVKY A PŘEDPISY	16
1.2.1 VÝVOJ NORMATIVNÍCH POŽADAVKŮ V ČR	16
1.3 POTŘEBA ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ	18
1.3.1 SIMULAČNÍ METODY.....	18
1.3.2 ZJEDNODUŠENÉ VÝPOČTOVÉ METODY	18
1.3.3 ZÁKLADNÍ PARAMETRY.....	19
1.3.4 TEPELNÁ STABILITA MÍSTNOSTI.....	22
1.4 SNÍŽENÍ POTŘEBY ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ	23
1.4.1 TEPELNÉ ZTRÁTY VÝPLNĚMI STAVEBNÍCH OTVORŮ.....	23
1.4.2 TEPELNÉ ZTRÁTY STAVEBNÍMI KONSTRUKCEMI	25
1.4.3 ZATEPLOVÁNÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ	26
1.4.4 NEGATIVNÍ DŮSLEDKY	29
1.4.5 KLIMATIZACE	30
2. VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ	31
2.1 TEPELNÉ PROCESY V LIDSKÉM TĚLE	31
2.1.1 EKOSYSTÉMOVÝ KOMPLEX	33
2.2 INTERIÉROVÉ MIKROKLIMA	34
2.2.1 OPTIMÁLNÍ A PŘÍPUSTNÉ PODMÍNKY	34
2.2.2 INDEXY PMV A PPD.....	37
2.2.3 LOKÁLNÍ TEPELNÁ NEPOHODA	39
2.2.4 VLIV PROSTŘEDÍ NA ČLOVĚKA.....	40
3. EKONOMIE A EKOLOGIE	43
3.1 ENERGETICKO-EKOLOGICKÉ HODNOCENÍ	43
3.1.1 FINANČNÍ STRÁNKY TEPELNÝCH IZOLACÍ	43
3.1.2 METODY PRO HODNOCENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI	44
3.2 ZELENÁ ÚSPORÁM	45
3.2.1 ZÁKLADNÍ ČLENĚNÍ PROGRAMU	45
3.2.2 VÝŠE PODPORY PRO RODINNÉ DOMY	45
3.2.3 VÝŠE PODPORY PRO BYTOVÉ DOMY	46

4. BUDOVSY A SIMULACE	47
4.1 BUDOVSY	47
4.1.1 BYTOVÝ DŮM.....	47
4.1.2 RODINNÝ DŮM.....	48
4.2 SIMULAČNÍ SOFTWARE	49
4.2.1 TRNSYS SIMULATION STUDIO	49
4.2.2 TRNBUILD.....	49
4.3 NASTAVENÍ SIMULACÍ	51
4.3.1 PROFILY ŘÍZENÍ	51
4.3.2 KOMFORT.....	54
4.3.3 STAVEBNÍ KONSTRUKCE.....	55
4.4 VYHODNOCENÍ SIMULACÍ	58
4.4.1 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BYTOVÉHO DOMU	58
4.4.2 SOLÁRNÍ ZISKY BYTOVÉHO DOMU	62
4.4.3 KOMFORT BYTOVÉHO DOMU.....	63
4.4.4 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ BYTOVÉHO DOMU	66
4.4.5 ENERGETICKÁ NÁROČNOST RODINNÉHO DOMU	74
4.4.6 SOLÁRNÍ ZISKY RODINNÉHO DOMU	78
4.4.7 KOMFORT RODINNÉHO DOMU.....	79
4.4.8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ RODINNÉHO DOMU	83
4.4.9 SHRNUÍ VÝSLEDKŮ	90
DISKUSE	93
ZÁVĚR	95
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	97
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	99
SEZNAM PŘÍLOH	101

Energie potřebná na provoz budov ve vyspělých zemích tvoří 30–40% celkové spotřeby energie [3]. Proto je zejména kvůli neustále rostoucím cenám energie nutné pomocí dostupných opatření snižovat provozní náklady budov a s tím související ekonomické a ekologické dopady.

Z technického hlediska se tímto problémem podrobně zabývá vědní obor nazývaný stavební fyzika. Ta je jako samostatný vědní obor poměrně mladá a je dále dělena do třech základních disciplín [3]:

- tepelná technika
- akustika
- osvětlení a insulace (oslunění)

Všechny části tvoří úzce svázanou soustavu, která ovlivňuje nejen energetickou náročnost budov, ale také interiérovou pohodu. Proto je nutné, aby nebyla ani jedna skupina upřednostněna na úkor druhé a tvořily spolu vyvážený celek.

Z pohledu tepelných ztrát budovy je nejpodstatnější částí stavební fyziky tepelná technika, jejíž náplní je návrh všech konstrukcí budov, které poskytnou optimální pohodu vnitřního prostředí s požadovanými teplotními a vlhkostními parametry za dostatečné výměny vzduchu v konkrétních klimatických podmínkách [1].

Obor stavební fyziky je tedy ve vyspělých zemích považován za důležitý prvek nové zástavby, ale také za hlavní faktor při rekonstrukcích starších energeticky náročných budov [3]. A právě u rekonstrukcí starších nebo historických objektů je aplikace energetických úspor poněkud omezenější než u novostaveb, jelikož např. není možné zvolit moderní energeticky úsporné stavební materiály, ale pouze do určité míry zlepšovat parametry těch stávajících. To je nejčastěji realizováno pomocí izolace pláště budovy a výměny výplní stavebních otvorů (okna, dveře). K dalším krokům zahrnujícím změny parametrů otopné soustavy nebo instalaci větracích systémů se přistupuje již v menší míře.

Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov by měly být co nejlepší, což s sebou však nese i zvyšování finančních nákladů, a proto je v tomto procesu nutné hledat taková řešení, která vedou k efektivnímu využití vynaložených prostředků na snížení energetické náročnosti. To je hodnoceno podle návratnosti investic, která se ve velké míře nemůže řídit pouze energetickými úsporami, ale musí být vnímána jako globální změna vedoucí ke [6]:

- | | |
|-------------------------------------|--|
| - snížení provozních nákladů budovy | (zmenšení ekonom. a ekolog. zátěže) |
| - eliminaci tepelných mostů | (zvýšení životnosti konstrukce budovy) |
| - zlepšení vnitřního mikroklimatu | (snížení vlivu negativní radiace) |
| - rekonstrukci budovy jako takové | (zlepšení její estetické stránky) |

1.1 VLASTNOSTI STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Při tepelně technických výpočtech (při návrhu a posuzování stavebních konstrukcí budov) se vychází z fyzikálních vlastností materiálů tvořící tyto konstrukce. Konkrétně se jedná o objemovou hmotnost, vlhkost, tepelnou vodivost a měrnou tepelnou kapacitu. Při používání těchto hodnot je potřeba znát podmínky, za kterých byly zjištěny a dále také podmínky, ve kterých bude daný materiál exponován. Z experimentálních měření vyplývá, že tepelně technické hodnoty materiálů nejsou konstantní veličiny, ale jsou závislé na mnoha dalších parametrech. Pokud jsou použity jako konstantní veličiny dochází k jistému zjednodušení a vzniku chyby v případech, kdy se okolní podmínky změni (jsou tedy přesné pouze pro určitý interval) [3, 5].

1.1.1 SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA [3]

Šíří-li se teplo z vnitřního prostředí přes konstrukci do prostředí vnějšího (předpoklad gradientu teploty), je pak možné definovat hustotu tepelného toku vztahem:

$$q_i = q = q_e \quad (1.1)$$

Po vyjádření jednotlivých toků:

$$q_i = h_i \cdot (\theta_i - \theta_{si}) = \frac{\theta_i - \theta_{si}}{R_{si}} \quad (1.2)$$

$$q = \frac{\lambda}{d} \cdot (\theta_{si} - \theta_{se}) = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R} \quad (1.3)$$

$$q_e = h_e \cdot (\theta_{se} - \theta_e) = \frac{\theta_{se} - \theta_e}{R_{se}} \quad (1.4)$$

Ze součtu rovnic 1.2 až 1.4 vyjde vztah:

$$\theta_i - \theta_e = q \cdot (R_{si} + R + R_{se}) = q \cdot R_T \quad (1.5)$$

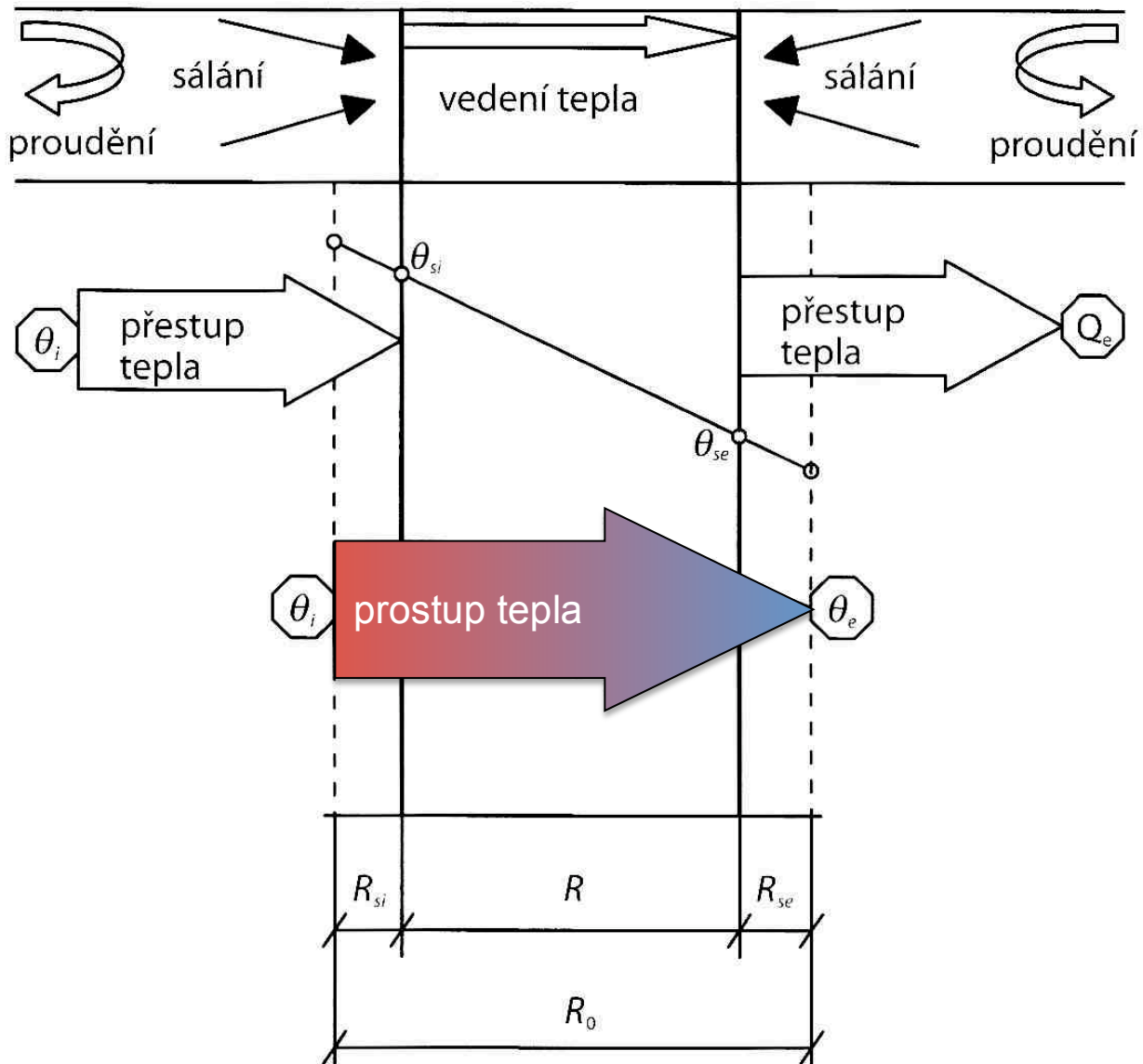
Veličina R_T se nazývá odpor konstrukce při prostupu tepla s jednotkou [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]. Určuje se ze vztahu 1.6 nebo pro vícevrstvou konstrukci ze vztahu 1.7.

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} \quad (1.6)$$

$$R_T = R_{si} + \sum_{j=1}^n R_j + R_{se} \quad (1.7)$$

Inverzní hodnota odporu konstrukce při prostupu tepla se nazývá **součinitel prostupu tepla U** [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad (1.8)$$



Obr. 1.1 Řez jednovrstvou konstrukcí znázorňující přestup a prostup tepla při šíření tepelného toku; [3]

Součinitelem prostupu tepla U (popř. tepelným odporem konstrukce R) se hodnotí ustálený tepelný tok prostupující celými konstrukcemi, prvky a díly. Konstrukce vytápěných nebo klimatizovaných prostor musí splňovat následující podmínku:

$$U < U_N \quad (1.9)$$

- kde je:

U_N požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla [$W/(m^2K)$]

Čím je nižší součinitel prostupu tepla konstrukcí, tím menší je tepelná ztráta. Je ho také možno chápat tak, že vyjadřuje tepelnou ztrátu prostupem tepla konstrukcí o ploše 1 m^2 při rozdílu vnitřní a vnější teploty 1 K .

1.1.2 ŠÍŘENÍ VLHKOSTI V KONSTRUKCI

Vodní páry obsažené ve vzduchu jsou schopné procházet stavebními konstrukcemi podobně jako tepelný tok. Stejnou analogií, kde je pro objasnění toku tepla nutný gradient teplot, je pak nutné znát gradient parciálních tlaků [3].

Pokud mezi dvěma prostředími o různých parciálních tlacích vodních par oddělenými od sebe pórovitou překážkou dojde k transportu vlhkosti, nastal jev zvaný **difuze**. Difundující vodní páry se pohybují po gradientu parciálních tlaků, tj. z míst o vyšším tlaku do míst o tlaku nižším. Za jistých tlakových a teplotních podmínek pak může v materiálu dojít ke kondenzaci vodních par [3].

V jednovrstvých materiálech bývá účinek kondenzace vodních par většinou zanedbatelný. Naproti tomu ve vícevrstvých konstrukcích bývá kondenzace vodních par častějším jevem, díky kterému může posléze dojít k degradaci materiálu a hygienickým nedostatkům (např. tvorba plísní) [3].

Plyn nebo vodní pára difunduje každou látkou, u které jsou mezimolekulární prostory větší než střední volná dráha molekul plynů. Ve stavebních materiálech se vyskytují dva typy mezimolekulárních prostor [3]:

- **makrokapiláry** ($d > 10^{-7}$ m)
 - nenastává kapilární kondenzace
 - pohyb vodních par podle zákona **difuze**
 - střední volná dráha molekul vodní páry je menší než průměr pórů
 - tepelně izolační materiály mají průměr pórů řádově i desetkrát (i vícekrát) větší, jak střední volná dráha molekul (difuze vodní páry je zde difuzí vzduchu)
- **mikrokapiláry** ($d < 10^{-7}$ m)
 - nastává kapilární kondenzace
 - pohyb vodních par podle zákona **efuze** (pohyb plynu malými otvory – vypouštění plynu pod určitým tlakem kapilárou)
 - střední volná dráha molekul vodní páry je stejná nebo větší než průměr póru

1.2 NORMATIVNÍ POŽADAVKY A PŘEDPISY

Vývoj normativních požadavků a předpisů ve stavební tepelné technice odpovídá vývoji energetické náročnosti objektů pozemního charakteru a stupni technické úrovně konstrukčních prvků v daném období.

Až do poloviny sedmdesátých let minulého století (první energetická krize 1973) se prioritním důvodem k zlepšení tepelně technických vlastností konstrukcí stala potřeba zmenšovat tepelné ztráty budov, tím snižovat spotřebu tepla na vytápění a využívat obnovitelné zdroje energie [5]. To však neplatí pro Kanadu a skandinávské země, které v tomto ohledu značně předběhly dobu a i v současnosti je jejich náskok znatelný. V posledních dvou dekádách se kritériální požadavky poměrně výrazně a často zpřísnují, což platí pro státy západní, ale i střední Evropy. Nejednotnost těchto požadavků je i v rámci států CEN (ČR členem od 1997) dána hlavně rozdílnými klimatickými podmínkami, různými stavebními tradicemi a také legislativními proporcemi každého státu [3].

V České republice je patrný pokrok v kompatibilitě normativní základny a legislativy ze sjednocování soustav ČSN s převzatými EN ISO.

1.2.1 VÝVOJ NORMATIVNÍCH POŽADAVKŮ V ČR

V současné době platný komplex **ČSN 73 0540 „Tepelná ochrana budov“**, který respektuje potřebu snižování energetické náročnosti konstrukcí a budov prošel za dobu své existence několikageneračním vývojem, kde každé období je možné definovat jako generační časové období (tab. 1.1) [3].

Norma zabývající se tepelně technickými problémy existovala v naší zemi již od roku 1954. Požadavky na tepelně technické vlastnosti vertikálních a horizontálních prvků konstrukce vycházely z etalonu zdi tloušťku 450 mm z plných cihel. V roce 1964 byl zvýšen požadavek na střešní konstrukce při zachování požadavků zdí [3].

Tab. 1.1 Hodnoty tepelných odporů R a součinitelů prostupu tepla U obvodového pláště a oken v závislosti na generaci konstrukcí; [3]

generace	vnější stěna		střecha		okno
	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]
I.	0,52	1,45	0,63	1,25	–
II.	0,52	1,45	0,91	0,93	3,70
III.	0,95	0,89	1,80	0,51	3,70
IV.	2,00	0,46	3,00	0,32	2,70
V.	2,90	0,33	4,35	0,23	2,90
VI.	3,83	0,25	4,86	0,20	1,20
VII.	3,83	0,25	6,11	0,16	1,20

GENERACE KONSTRUKČNĚ TECHNICKÝCH POŽADAVKŮ [3]:

I. Generace

- časové období před rokem 1964
- hodnoty R a k vycházely z etalonu stěny z plných cihel o tloušťce 450 mm
- požadavek na okna nebyl specifikován

II. Generace

- časové období let 1964 až 1979
- vycházelo se z hygienického požadavku na vnitřní povrchovou teplotu vyšší jak hodnota rosného bodu
- atribut byl splněn pouze v ploše konstrukčního prvku (nikoliv v koutech a rozích)

III. Generace

- časové období let 1979 až 1992
- ČSN 73 0540, ČSN 73 0542, ČSN 73 0544 a ČSN 73 0549
 - základní hledisko tepelné pohody během celého roku definované tepelnou stabilitou místnosti:
 - zimní období (součtová teplota na konci otopné přestávky $\Delta\theta_v(t)$)
 - letní období (nejvyšší denní vzestup teploty vnitřního vzduchu $\Delta\theta_{ai,max}$)

IV. Generace

- časové období let 1992 až 1994
- změna č. 4 k platné ČSN 73 0540 jako dočasné provizorium
- zpřísnění požadavků na konstrukční prvky
- dominance energetického hlediska
 - pokles spotřeby energie na vytápění z 9,3 na 7,3 MWh/rok na běžný byt

V. Generace

- časové období let 1994 až 2002
- konstrukce odpovídající doporučeným hodnotám z ČSN 73 0540 vydané 1994
- kritériálně dosahuje evropského standardu úsporných objektů

VI. Generace

- časové období let 2002 až 2005
- novelizována část 2 normy ČSN 73 0540
- výrazně zpřísněné původní i nové požadavky
- zavedení součinitele prostupu tepla U jako hodnotícího požadavku pro neprůsvitné konstrukce
- změna energetického požadavku
 - nová hodnotící veličina – měrná potřeba tepla na vytápění e_v
- zavedení energetického štítku

VII. Generace

- platnost od 2005
- změna Z1 k části 2 normy ČSN 73 0540
- novelizovány další části 1, 3 a 4 s ohledem na evropské normy
- nové hodnotící veličiny pro energetický požadavek
 - stavebně energetické vlastnosti se hodnotí pomocí průměrného součinitele prostupu tepla U_{em}

1.3 POTŘEBA ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ

Energie potřebná na vytápění budovy při plném pokrytí tepelných ztrát je výsledkem vzájemného působení tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí, budovy a systému vytápění při daném stavu vnitřního a vnějšího prostředí.

Tepelný tok je třeba do vytápěných prostor dodávat tak, aby se při daných venkovních klimatických podmínkách a při daných tepelně izolačních a tepelně akumulacích vlastnostech budovy dodržel definovaný stav vnitřního prostředí. Tepelná rovnováha vytápěného prostoru v čase je dána rovnováhou tepelných zisků a ztrát. Při uvažování rozhodujících bilančních položek ve vytápěném interiéru se používá termín **spotřeba tepla na vytápění** [5].

Početně vyjádřená spotřeba tepla na vytápění Q_h [J, kWh], je teplo, které by měl dodat ideální vytápěcí systém na udržení požadované vnitřní teploty po dobu otopné sezóny. Nezahrnují se vlastnosti otopné soustavy ani způsob přípravy tohoto tepla [5].

Výpočtové metody na předpovědění energetické náročnosti budov je možné rozdělit do dvou základních skupin [5]:

- simulační výpočtové teploty
- zjednodušené výpočtové metody

1.3.1 SIMULAČNÍ METODY

Vycházejí z fyzikální podstaty šíření tepla v nestacionárních podmínkách. Sestavené matematické modely, které popisují tento proces, se realizují na počítači a ověřují porovnáním s naměřenými hodnotami. Vlastní experiment s takto získaným modelem, tj. simulací, umožňuje získat výsledky o průběhu fyzikálních procesů a umožňuje analýzu modelovaného systému v reálných klimatických a provozních podmínkách. Za časový krok se většinou volí 1 hodina. Tepelná bilance budovy se modeluje v nestacionárních klimatických podmínkách podle klimatických údajů referenčního roku (TMY = Typical Meteorological Year). Simulační výpočtové metody mohou používat bilanční rovnici, ale mohou modelovat i činnost vytápěcího systému s odlišným otopným výkonem, dále jaká je teoretická spotřeba tepla, apod. [5]

1.3.2 ZJEDNODUŠENÉ VÝPOČTOVÉ METODY

Používají celý soubor zjednodušujících předpokladů s cílem přiblížit se jednoduchými výpočtovými prostředky k výsledné hodnotě spotřeby tepla na vytápění. Obyčejně vycházejí z ustáleného tepelného stavu a používají jako časový krok 1 měsíc nebo celou otopnou sezónu. Zjednodušených výpočtových metod je v praxi a celosvětovém měřítku mnoho a většinou se používají na hodnocení projektového řešení budov. To znamená, že se porovnávají varianty projektového řešení mezi sebou, případně konkrétní vypočítaná hodnota ve vztahu k předepsané kritické hodnotě v normativním předpise. Důležitý je charakter a rozsah zjednodušujících předpokladů, jelikož rozhoduje o tom, zda-li je výsledky podle zjednodušené metody ještě možné použít na porovnání hodnot se spotřebou energie za reálného provozu budov [5].

Příklad zjednodušující metody je uveden v rovnici 1.10, ve které se předpokládá rovnováha tepla na pokrytí tepelných ztrát a zisků (dříve byly tepelné zisky často zanedbávány) [5]:

$$Q_h = Q_T + Q_V - \eta \cdot (Q_i + Q_s) = Q_i - \eta \cdot Q_g \quad (1.10)$$

- kde je:

Q_T	potřeba tepla na krytí tepelné ztráty průchodem tepla	[kWh]
Q_V	potřeba tepla na krytí tepelné ztráty větráním	[kWh]
Q_i	teplo z vnitřních zdrojů tepla	[kWh]
Q_s	teplo ze sluneční radiace za zasklením budovy	[kWh]
η	součinitel využití tepelných zisků	[-]
Q_i	potřeba tepla na krytí celkové tepelné ztráty	[kWh]
Q_g	celkové tepelné zisky	[kWh]

1.3.3 ZÁKLADNÍ PARAMETRY

Základní parametry ovlivňující potřebu energie na vytápění budov [5]:

- průměrná teplota venkovního vzduchu po dobu otopné sezóny v místě lokality budovy
- oblast v krajině z hlediska rychlosti větru
- poloha budovy v krajině (chráněná, nechráněná, velmi nepříznivá)
- faktor tvaru budovy
- teplotnické vlastnosti stavebních konstrukcí, střechy a podlahy
 - hodnoty tepelných odporů konstrukcí
 - hodnoty součinitelů prostupu tepla konstrukcí
- teplotnické vlastnosti otvorových konstrukcí
 - hodnoty součinitelů prostupu tepla zasklení a rámu
 - součinitel průvzdušnosti spár okolo otevíratelných křídel oken a dveří
 - celková propustnost slunečního záření zasklením
- zastínění budovy
- orientace prosklených částí budovy na světové strany
- poměr plochy otvorových konstrukcí k neprůsvitným částem stěn
- konstrukční výška podlaží
- parametry stavu vnitřního prostředí
 - průměrná teplota vnitřního vzduchu
 - průměrná výměna vzduchu v budově (infiltrace a větrání)
- vnitřní zdroje tepla z osvětlení, od lidí a z technologie
- použitá otopná soustava, její stav a způsob provozování
- způsob regulace vytápění
- účinnost zdroje tepla, rozvodů, regulace a obsluhy
- způsob využívání budovy, provozní čas budovy

FAKTOR TVARU BUDOVY

Čím je plocha stavebních konstrukcí obklopující daný obestavěný objem větší, tím vyšší jsou i tepelné ztráty. Proto je třeba hledat rozměry budovy vedoucí k co nejmenší ploše stavebních konstrukcí, kterými se uskutečňují tepelné ztráty připadající na daný obestavěný objem. Tuto problematiku charakterizuje faktor tvaru budovy [m^{-1}]. Čím je faktor tvaru budovy menší, tím nižší je potřeba tepla na vytápění [5].

$$\text{faktor tvaru budovy} = \frac{\sum A_i}{V_b} \quad [5] \quad (1.11)$$

- kde je:

A_i	plocha teplosměnného obalu budovy	$[m^2]$
V_b	obestavěný objem budovy	$[m^3]$

Tvarové formy geometrických těles je možné seřadit podle rostoucího faktoru tvaru (po vynechání koule) takto [5]:

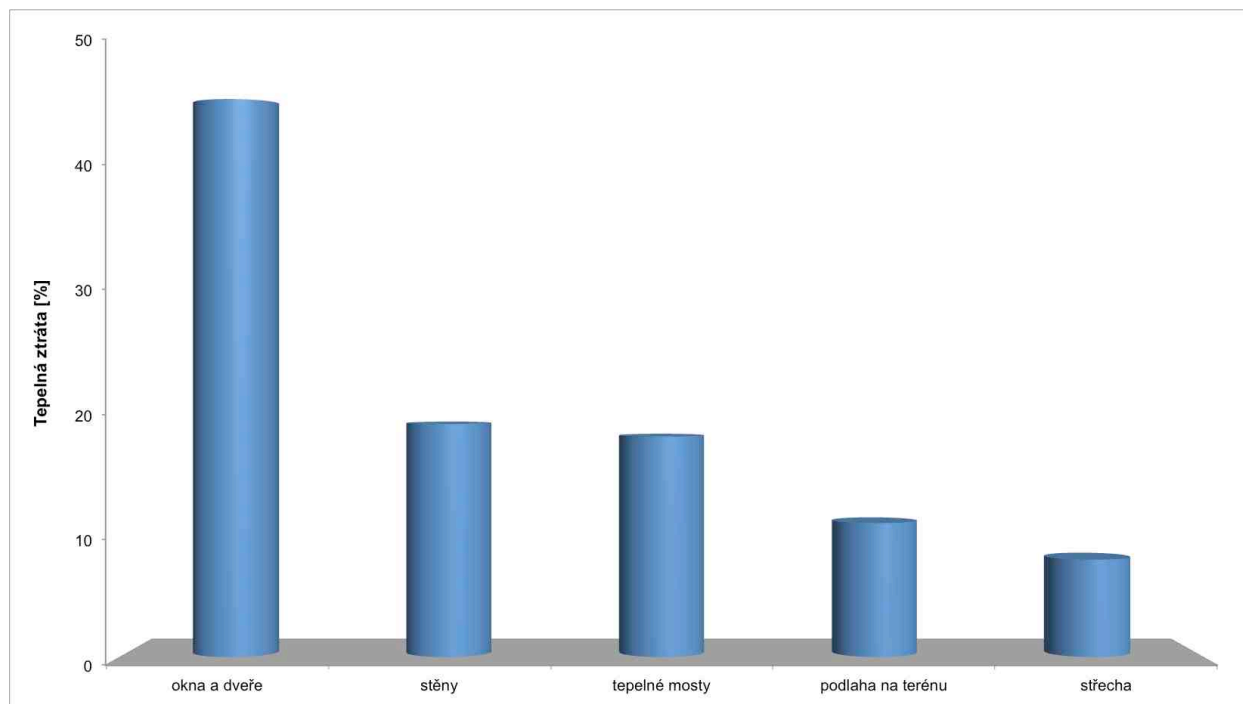
- polokoule
- válec
- krychle
- kvádr

Díky nejnižšímu faktoru tvaru polokoule je tento geometrický útvar použit u arktických obydlí Eskymáků – iglů (faktor tvaru 0,2 až 0,25 m^{-1}). U bytových a administrativních budov se faktor tvaru pohybuje v rozmezí od 0,27 do 0,45 m^{-1} . U rodinných domů je nejvyšší a to 0,67 až 1,4 m^{-1} [5].

STRUKTURA TEPELNÉ ZTRÁTY A SLOŽEK SPOTŘEBY TEPLA

Tepelná ztráta prostupem tepla se dá rozepsat na položky podle grafu 1.1 a je dělena do dvou hlavních skupin [5]:

- tepelnou ztrátu přes jednotlivé konstrukce (stěny, střechu, okna, apod.)
- tepelnou ztrátu způsobenou tepelnými mosty



Graf 1.1 Struktura tepelné ztráty prostupem tepla přes obvodové konstrukce budovy; [5]

V normativních hodnotách výpočtových postupů se pro tyto faktory uvažují dané referenční hodnoty, aby se výsledky výpočtů a hodnocení daly porovnat jednak mezi sebou a jednak ve vztahu k normalizované požadované hodnotě. Nezkoumá se konkrétní počinání uživatele, ale hodnotí se typické teplotnické vlastnosti budovy v referenčních podmínkách rovnocenných pro všechny budovy [5]. V případě simulací je nutné předem znát účel simulace a přizpůsobit tak nastavení těchto faktorů požadovaným podmínkám (jiné bude nastavení při porovnávání více simulovaných objektů mezi sebou a jiné zase při porovnávání vypočteného a simulovaného objektu).

INTENZITA VÝMĚNY VZDUCHU

Intenzita výměny vzduchu **infiltrací** skrz spáry, resp. přirozeným větráním je nejtěžší kvantifikovatelná veličina při určování tepelných bilancí budov. Z podstaty šíření vzduchu v budovách plyne, že jde o velmi proměnlivou veličinu. V zjednodušených modelech tepelné bilance budov se vychází z toho, že minimální hodnoty výměny vzduchu (infiltrací nebo větráním) nemohou být ve výpočtu spotřeby tepla na vytápění menší než je hygienické minimum. To znamená, že ve výpočtu není možné použít nižší intenzitu výměny vzduchu, než je hygienické minimum ($n = 0,5 \text{ h}^{-1}$), i pokud by výpočtem vyšla nižší výměna vzduchu. Každé zvýšení výměny vzduchu nad hygienické požadavky zvyšuje potřebu tepla, přičemž se kvalita vnitřního prostředí nezvyšuje [5].

Přirozené větrání je bráno jako výměna vzduchu mezi interiérem a exteriérem v důsledku účinků větru a rozdílu hustot venkovního a vnitřního vzduchu a právě díky závislosti na nestacionárních veličinách je také nazýváno neregulovatelné větrání. Tento systém větrání se realizuje přes netěsnosti obvodové konstrukce (zejména okolo otevíratelných křídel oken a dveří, přes otvory a šachty). Při řešení průvzdušnosti budov existují dva základní přístupy [5]:

- **Úplná těsnost budovy**, při které dodatečné zařízení zabezpečuje výměnu vzduchu pomocí mechanického větrání. Toto zařízení zpravidla využívá rekuperaci tepla. V rekuperátorech odevzdává odcházející znečištěný vzduch část tepla přiváděnému vzduchu, který se tak předehřívá. Tento způsob umožňuje snižovat spotřebu tepla na krytí tepelných ztrát větráním.
- **Limitovaná průvzdušnost budovy**, při které přirozená výměna vzduchu vyhovuje požadavkům.

Nejpoužívanějším způsobem neřízeného větrání je větrání pomocí oken. V místnosti se tak vymění množství vzduchu, jehož hodnoty jsou uvedené v tab. 1.2.

Tab. 1.2 Intenzita výměny vzduchu při různé poloze okna; [3]

Poloha oken (dveří)	Intenzita větrání [h^{-1}]
Okna i dveře uzamčeny	0 až 0,5
Otevřena jen výklopná část oken	0,3 až 1,5
Otevřena polovina okna	5 až 15
Otevřeno celé okno	10 až 15
Otevřeno okno i dveře	30 až 40

KONSTRUKČNÍ VÝŠKA PODLAŽÍ

Při přepočtu potřeby tepla z kWh/m³ na kWh/m² je patrné, že čím vyšší je konstrukční výška podlaží, tím vyšší je měrné teplo připadající na 1 m² měrné plochy. Je tedy zřejmé, že udávaná spotřeba tepla nebo energie udávané v kWh/(m²rok) jsou neúplné, pokud se nezapočítává konstrukční výška podlaží [5].

TEPELNÉ ZISKY

Tepelné zisky z vnitřních zdrojů tepla a z pasivních solárních zisků jsou časově proměnlivé veličiny. Ve výpočtech jsou zahrnuté jejich průměrné hodnoty po dobu výpočtového období. Přitom se uvažují jen tepelné zisky, které mohou kompenzovat potřebný tepelný výkon. Fakt, že ne všechny tepelné zisky se uplatní v tepelné bilanci vytápěného interiéru se zohlední součinitelem využití tepelných zisků [5]. V případě využití simulační metody je možné využít přesné hodnoty zisků a eliminovat tak chybu vzniklou zprůměrováním hodnot u výpočtových metod.

Vnitřní tepelné zisky zahrnují každé teplo vyprodukované ve vytápěném prostoru vnitřními zdroji, které nepatří do otopné soustavy, nejčastěji se jedná o [5]:

- produkci tepla obyvateli (metabolické teplo)
- teplo produkované přístroji a osvětlením

Vnitřní tepelné zisky Q_i a solární tepelné zisky Q_s tvoří celkový tepelný zisk.

TEPENÉ MOSTY

Pod pojmem tepelný most se rozumí část obvodového pláště budov, kterou proudí větší tepelný tok, než je tepelný tok proudící vlastní konstrukcí (zasklení oken se však za tepelné mosty nepovažuje). Z toho tedy plyne, že tepelné mosty zvětšují tepelnou ztrátu budov. Typickým příkladem tepelných mostů jsou styky dvou, popř. tří konstrukcí (kouty místností) [1].

Stará norma ČSN 06 0210 předepisovala zvýšení součinitele prostupu tepla U vlivem tepelných mostů o 10 %. To se však, vzhledem k malé závislosti tepelných mostů na tepelně izolačních vlastnostech jednotlivých konstrukcí, ukázalo jako nepřesné. Podle současně platné normy se součinitel prostupu tepla se zahrnutím tepelných mostů zvyšuje o konstantní hodnotu 0,1 nebo 0,25 W/(m²K) [1].

Tepelné mosty mohou být lineární (např. osazení okna do stěny), které se také nazývají tepelné vazby, vzhledem ke styku – vazbě – dvou různých konstrukcí. Nebo mohou být bodové (např. kotevní hmoždinka zateplovacího systému) [1].

1.3.4 TEPELNÁ STABILITA MÍSTNOSTI

Na charakterizování teplotních vlastností místnosti se používá pojem tepelná stabilita místnosti. Vyjadřuje schopnost systému konstrukcí místnosti zachovat svůj tepelný stav v definovaném teplotním intervalu. Tato vlastnost se projevuje v neustáleném teplotním stavu. Při hodnocení tepelné stability místnosti se zpravidla uvažují dvě extrémní období v roce, a to zimní a letní. V zimním období se hodnotí pokles teploty a v letním období vzestup teploty [5].

1.4 SNÍŽENÍ POTŘEBY ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ

Tepelné ztráty a spotřebu tepla při vytápění lze snižovat opatřeními, která souvisejí s tepelně technickými vlastnostmi budov, technickými zařízeními zajišťujícími přívod energie do budovy (hlavně při využití rekuperace odpadního tepla).

Jelikož se při problematice snižování koeficientu prostupu tepla jedná o fyzikálně-technickou analýzu, bylo jako kritérium hodnocení zvolena **výtěžnost tepelně izolačního efektu konstrukce VIE [%]**, definovaná podílem [1]:

$$VIE = \frac{U_o - U_{x=d}}{U_o} \cdot 100 \quad (1.12)$$

- kde je:

U_o	vztažná hodnota součinitele prostupu tepla konstrukce	[W/m ² K]
$U_{x=d}$	hodnota součinitele prostupu tepla konstrukce - při hodnocené tloušťce d	[W/m ² K] [m]

1.4.1 TEPELNÉ ZTRÁTY VÝPLNĚMI STAVEBNÍCH OTVORŮ

Výplně stavebních otvorů (okna, dveře) vždy byly a stále jsou nejslabším článkem obvodového pláště budovy z hlediska tepelné ztráty (viz graf 1.1) z důvodu výrazně většího součinitele prostupu tepla než je u neprůsvitných konstrukcí. Hlavní význam oken je zajištění zrakové pohody v místnosti a tím pádem i jistého minimálního proslunění místnosti – tepelná ztráta je tedy jeho „vedlejším produktem“. Tento fakt má být brán v potaz vždy, když se provádějí opatření ke zmenšení součinitele prostupu tepla oken [1] (tzn. ke zmenšování plochy okna přistupovat v poslední řadě).

Oproti neprůsvitným konstrukcím, kde se zmenšuje součinitel prostupu tepla zvětšováním tloušťky konstrukce (viz dále) není tento přístup u průsvitných konstrukcí možný. Obyčejné sklo má hodnotu součinitele tepelné vodivosti $\lambda = 0,76 \text{ W/(mK)}$, což při tloušťce skla 4 mm znamená tepelný odpor $R = 0,005 \text{ m}^2\text{K/W}$. Z toho je patrné, že i při několikanásobném zvětšení tloušťky skla se zvětší tepelný odpor velmi málo (také se snižuje světelná prostupnost skla a výrazně roste hmotnost) [1].

Při výzkumu šíření tepla vzduchovými vrstvami se zjistilo, že vzduchová vrstva získá určitý tepelný odpor, pokud je uzavřena mezi dvěma stěnami. Tohoto faktu se využilo u oken – použila se okna se dvěma skly, mezi nimiž je vzduchová vrstva o určité tloušťce. Za určitých podmínek lze uvažovat tepelný odpor vzduchové vrstvy $R_{vv} = 0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$, takže u okna se dvěma skly a jednou vzduchovou vrstvou se získá hodnota součinitele prostupu tepla $U_o = 3,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ (což je výrazné zmenšení oproti hodnotě okna s jedním sklem $U_o = 5,95 \text{ W/(m}^2\text{K)}$). Tato cesta nevede k realizaci oken se zvýšenou tepelnou izolační schopností a v praxi se realizují okna s nejvýše dvěma vzduchovými vrstvami (okna se třemi vzduchovými vrstvami se neprosadila) [1].

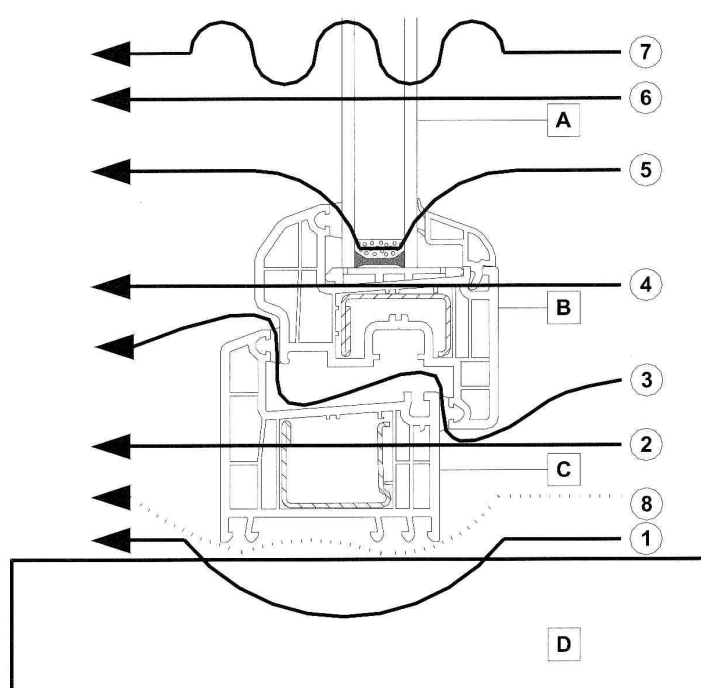
Dalším krokem ve vývoji oken byla výměna výplně mezi skly. Vzduch byl nahrazen plyny s menší tepelnou vodivostí, ke kterým patří zejména: argon, krypton a xenon. V tab. 1.3 jsou uvedeny hodnoty součinitele tepelné vodivosti daných plynů a součinitel prostupu tepla zasklením s jednou vrstvou plynu mezi dvěma skly v závislosti na tloušťce vrstvy d_{vv} [m] [1].

Tab. 1.3 Součinitel tepelné vodivosti λ [W/(mK)] klidového stavu plynů a součinitel prostupu tepla zasklení U_z [W/m²K] v závislosti na tloušťce vrstvy d_{vv} [m]; [1]

Plyn	λ [W/(mK)]	d_{vv} [m]	U_z [W/m ² K]		
			0,006	0,012	0,018
Vzduch	0,0258		3,30	2,93	2,80
Krypton	0,0054		2,75	2,59	2,56
Argon	0,0173		3,04	2,75	2,66
Xenon	0,0093		2,60	2,53	2,66

Plyny s malou tepelnou vodivostí v meziskelním prostoru postupně difundují do okolí a jsou nahrazovány vzduchem. Tato náhrada by však měla být minimální (do 3 % z celkového obsahu plynu ročně). V průměru se dá odhadnout, že výplňové plyny ztratí svoji účinnost zhruba po 40 letech (v závislosti na kvalitě oken a provedení práce) [6].

Okna jsou konstrukční celek skládající se ze zasklení, rámu a křídel. Na výsledný součinitel prostupu tepla (tepelné ztráty oknem) má vliv nejen zasklení, ale všechny části okna. Na obr. 1.2 je znázorněno schéma tepelných ztrát oknem.



Obr. 1.2 Schéma tepelných ztrát oknem u pětikomorového okna; [6]

Okno na obr. 1.2 je konstrukčně rozděleno na:

- A** zasklení
- B** okenní křídlo
- C** okenní rám
- D** zdivo

Únik tepla probíhá:

- 1 tepelnou vazbou (tepelným mostem) ostěním okna
- 2 prostupem skrz okenní rám
- 3 infiltrací mezi okenním rámem a okenním křídlem
- 4 prostupem skrz okenní křídlo
- 5 tepelným mostem distančním rámečkem mezi skly
- 6 prostupem skrz zasklení
- 7 radiací skrz zasklení
- 8 infiltrací mezi ostěním a okenním rámem

ÚNIK TEPLA PROSTUPEM A TEPELNÝMI MOSTY

Při prostupu tepla zasklením se vyskytuje problém v podobě dilatačních rámečků mezi skly. Ty jsou nejčastěji z hliníku ($\lambda = 204$ W/(m²K)) a způsobují tak velký tepelný most

v okrajích zasklení. Proto se používají často ocelové nebo plastové rámečky (ocel $\lambda = 58 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, plast $\lambda \approx 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Sklo je také nutné zapustit co nejvíce do rámu (minimálně však 28 mm), jinak hrozí na okraji kondenzace vodní páry [6].

Únik tepla prostupem tepla přes okenní rám a okenní křídla je u dřevěných oken eliminován používáním masivních profilů (a lze je opatřit i dodatečnou izolací). U plastových a kovových oken se využívá principu zrušení tepelného mostu pomocí komor (čím více, tím lépe – existují až sedmikomorové profily) [6].

Tepelný most mezi okenním rámem a ostěním je při výměně oken vhodné řešit zaizolováním ostění a až následným osazením okna [6].

ÚNIK TEPLA RADIACÍ

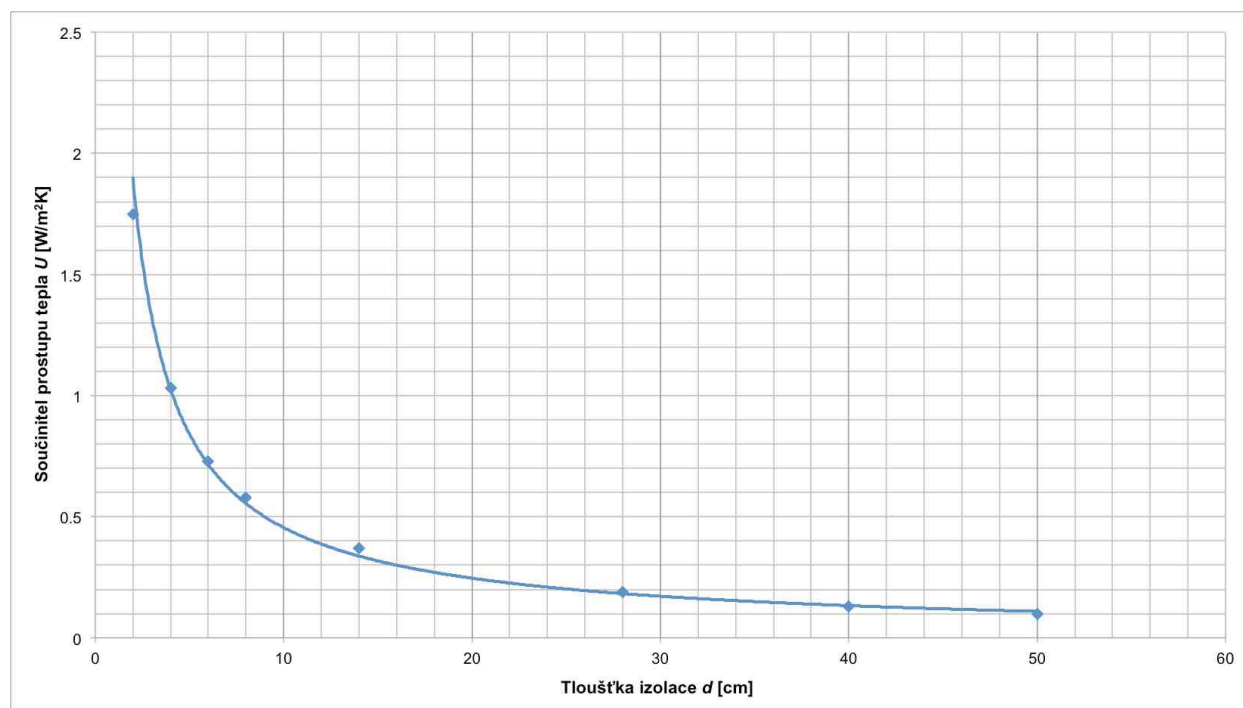
Únik tepla okny radiací se eliminuje různými pokoveními skel, které zvyšuje jejich odrazivost pro tepelné paprsky v oblasti dlouhovlnného tepelného (infračerveného) záření, ale přitom významně nesnižuje světelnou propustnost [6]. Příznivým efektem je i zvýšení ochrany místnosti před nežádoucími slunečními zisky v letních měsících.

ÚNIK TEPLA INFILTRACÍ

U úniku tepla infiltrací je jediný případ, kdy jeho snížení může působit naopak negativně (viz kapitola 1.4.4).

1.4.2 TEPELNÉ ZTRÁTY STAVEBNÍMI KONSTRUKCEMI

Limitní hodnota koeficientu prostupu tepla je nulová hodnota, tj. $U \rightarrow 0$, a pro její dosažení by byla potřeba nekonečně velká tloušťka konstrukce, tj. $d \rightarrow \infty$ (což plyne z definice součinitele prostupu tepla, viz kap. 1.1.1) [1].



Graf 1.2 Průběh součinitele prostupu tepla U [W/m²K] v závislosti na tloušťce izolace (konstrukce) d [cm]; [1]

Základem této problematiky je závislost součinitele prostupu tepla U [$W/(m^2K)$] na reálné tloušťce konstrukce d [m], která je pro případ izolace znázorněna v grafu 1.3 (za použití součinitele tepelné vodivosti $\lambda = 0,05 W/(mK)$) [1].

Z průběhu křivky v grafu 1.2 je patrné, že při zvětšující se tloušťce izolace hodnota součinitele prostupu prudce klesá a při větších tloušťkách klesá pouze nepatrně. Kvantitativně lze tuto závislost součinitele prostupu tepla na tloušťce charakterizovat výtěžností VIE . Pokud se například uvažuje zvýšení tloušťky izolace z 20 mm na 40 mm je výtěžnost $VIE = 41,3 \%$. Avšak při změně tloušťky izolace z 480 mm na 500 mm (tj. rovněž o 20 mm), pak je $VIE = 0,2 \%$ [1].

1.4.3 ZATEPLOVÁNÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

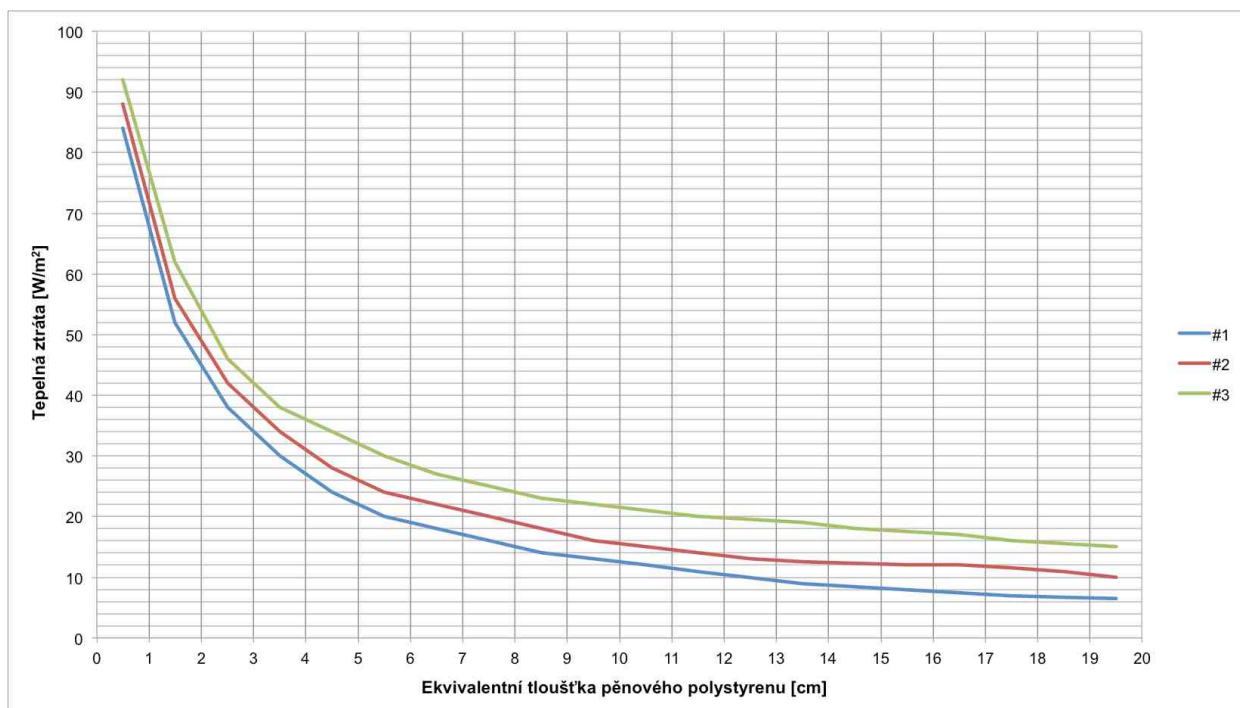
Kromě požadovaného snížení potřeby tepla na vytápění se při zateplování výrazně zlepšuje i kvalita bydlení. Z objektu zmizí současné plísňe, které jsou často skryté, čímž se do ovzduší přestanou šířit jejich spóry, které jsou výraznými alergeny. Zlepší se také pocit člověka při pobytu v místnosti vzhledem ke zvýšení povrchové teploty okolních stavebních konstrukcí [6].

Dodatečná tepelná izolace a nová okna vedou k výrazné zvukové izolaci od venkovního prostředí. Což je patrné zejména u moderně konstruovaných oken, kde jsou např. i mikroventilační klapky opatřené tlumičem hluku.

Dalším důvodem zateplování budov je zastavení (zpomalení) jejich postupné destrukce. To se týká zejména panelových domů z druhé poloviny 70. let a pozdější výstavby. U panelových domů je nutné zateplením eliminovat korozi vnitřní výztuže obvodových panelů a dále trhlinky v obvodovém plášti a zatékání do styků panelů apod. [6]

Při výběru tloušťky tepelné izolace je možné postupovat několika způsoby. Hlavním by mělo být řídit se hodnotami součinitelů prostupu tepla požadovaných v normě ČSN 73 0540–2. Nebo lze uvážit přístup energetické náročnosti výroby izolace, její zabudování do konstrukce stavby a likvidace při bourání stavby. A tuto hodnotu poté dát do rovnováhy s množstvím energie, kterou tepelná izolace za dobu své životnosti ušetří. Tepelná izolace má být pokud možno co nejsilnější podle možností konstrukce a finančních možností na pořízení. Za krajní mez lze považovat izolace o tloušťce 300 až 500 mm, kdy dochází k vyrovnání úspor energie tepelně izolačními vlastnostmi a množství energie potřebné na výrobu, zabudování a likvidaci. Do této tloušťky se nezapočítávají tepelné mosty, které mohou vyvolat potřebu zesílení tepelné izolace, což platí pro minerální vlnu a pěnový polystyren, kdy by silnější izolace za dobu své předpokládané životnosti (50 let) neušetřila tolik energie a naopak větší tloušťka by vedla ke zvýšení spotřeby energie [6].

S rostoucí silou tepelné izolace je nutné upozornit na fakt, že při snižování součinitele prostupu tepla (a tím zvyšování tepelného odporu), procentuálně nabývá na významu vliv tepelných mostů. Ty jsou totiž při stejném řešení detailu jen minimálně ovlivněny mocností tepelné izolace. Tepelné mosty (podle způsobu jejich řešení) zvyšují hodnotu součinitele prostupu tepla o pevně stanovenou přírážku, která se pohybuje v rozmezí od $\Delta U = 0,02 W/(m^2K)$ po $\Delta U = 0,25 W/(m^2K)$ a reálně i mnohem více. Zvýšení tepelné ztráty objektu v závislosti na použité síle tepelné izolace a přírážce reprezentující vliv tepelných mostů je patrné z grafu 1.3 [6].



Graf 1.3 Závislost tepelné ztráty na síle izolace a tepelných mostech; [6]
 #1 – bez tepelných mostů
 #2 – tepelné mosty zvyšující U o $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$
 #3 – tepelné mosty zvyšující U o $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$

DODATEČNÁ TEPELNÁ IZOLACE PLÁŠTĚ BUDOVY [6]

1. Kontaktní zateplovací systém (ETICS)

- na stávající stěnu se připevní izolace (kotvena lepením a hmoždinkami)
- překryje se tenkostěnnou omítkou vyztuženou perlínkou
- použité materiály jsou minerální vlna nebo pěnový polystyren
- minerální vlna se používá podle požárních předpisů
 - výšky nad 22 m nad prvním podlažím
 - pásy kolem jednotlivých požárních úseků (u panelových bytů jsou byty samostatným požárním úsekem)
 - nad únikovými cestami (nechráněnými stříškou proti stékání polystyrenu)

2. Odvětrávaná fasáda

- na stávající stěnu se připevní (zpravidla do roštu) tepelná izolace o malém difuzním odporu (minerální vlna nebo celulózová vlákna)
- na této tepelné izolaci je pak z vnější strany vzduchová dutina, která je dole a nahoře otevřena do exteriéru
 - do této vzduchové dutiny může proudit vodní pára z interiéru přes zdivo a tepelnou izolaci a dále se odvádí proudícím vzduchem pryč
 - může se sem vypařovat i zkondenzovaná voda ve zdivu, nebo voda proudící kapilární vztlínávaností ze zatečení apod.
- vnější plášť je pak tvořen jakýmkoliv materiálem
 - má za úkol chránit tepelnou izolaci před povětrností, zejména před srážkovou vodou

Důležité je věnovat pozornost izolaci objektu proti zemní vlhkosti – hydroizolaci. Ta se dá řešit například kompletním podříznutím objektu. Pokud je dům vlhký, je nutné použít odvětranou fasádu [6].

DRUHY KONTAKTNÍ IZOLACE [6]

U jednotlivých druhů dodatečně tepelné izolace je kromě součinitele tepelné vodivosti (čím je nižší, tím je izolace účinnější) také důležitý difuzní faktor μ (udávající propustnost materiálu vodní parou) a dále objemová hmotnost, pevnost, nasákavost, hořlavost, cena, zpracovatelnost, toxicita a tepelná stabilizace. Soubor těchto vlastností určuje vhodnost jednotlivých izolačních materiálů pro konkrétní aplikace.

- | | |
|-----------------------------------|---|
| pěnový polyuretan | <ul style="list-style-type: none"> - velmi účinná tepelná izolace - ve stavebnictví výhradně tvrdá polyuretanová pěna PUR - tvar desek nebo tvarovek - nebo jako jednosložková či dvousložková hmota - objem. hmotnost od 35 do 120 kg/m³ - snáší teploty -50 °C až 130 °C - odolný proti rozpouštědlům, kyselinám, louhům - nutné chránit před UV zářením |
| extrudovaný polystyren XPS | <ul style="list-style-type: none"> - dražší než pěnový polystyren - lepší mechanické vlastnosti - má uzavřenou buněčnou strukturu = je nenasákavý |
| pěnový polystyren EPS | <ul style="list-style-type: none"> - s minerální vlnou nejrozšířenější tepelně izolační materiál v ČR - díky nižší ceně je však upřednostňován oproti min. vlně - má uzavřenou buněčnou strukturu = je nenasákavý - pevnější než pěnový polystyren řezaný z vypěněných bloků |
| pěnový polystyren řezaný | <ul style="list-style-type: none"> - nejznámější výrobek tohoto druhu - řezaný z vypěněných bloků - probíhá u něj smršťování do původního nenapěněného stavu - tato objemová změna je závislá na čase a teplotě od výroby - snáší teploty do 85 °C - rozpustný organickými rozpouštědly |
| minerální vlna | <ul style="list-style-type: none"> - výroba tavením hornin na velmi slabá vlákna - posléze lisování na příslušné výrobky - prvotní surovina obvykle čedič (kamenná vlna), křemen - dále sklotvorné příměsi (skelná vata) - nízký difuzní odpor - lehká tvarovatelnost - odolnost proti vysokým teplotám |
| celulóza | <ul style="list-style-type: none"> - výroba ze starého papíru - při výrobě je nutné neporušit buničitá vlákna - porušení vede k větší objemové hmotnosti a nižším izol. sch. - v ČR známá pod názvem Climatizér plus - impregnace boraxem a kyselinou boritou - použitelnost v rozmezí -50 °C až 105 °C - nízká cena |

pěnový polyetylén	<ul style="list-style-type: none"> - drahý materiál - oproti ostatním materiálům ohebný - nenasákavý - používán hlavně jako tepelná izolace potrubí - v malých tloušťkách (2 mm) pod plovoucí podlahy - použitelný je od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $80\text{ }^{\circ}\text{C}$
pěnové sklo	<ul style="list-style-type: none"> - vzniká napěněním skloviny pomocí práškového uhlí - uzavřené póry = vodotěsnost + parotěsnost - snáší teploty od $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $430\text{ }^{\circ}\text{C}$ - nehořlavý - vysoká pevnost v tahu (od 0,7 do 1,6 MPa) - objemová hmotnost 120 až 180 kg/m^3 - nepružný = hodí se na zatížení podlahy, izolace bazénů, saun - dále náročných střeš, pochozí terasy, izolace komínů, apod.
perlit	<ul style="list-style-type: none"> - horniny expandované zahřátím na vysokou teplotu - dochází k uvolňování vázané vody, která způsobuje napěnění - čistě přírodní materiál - snáší vysokou teplotu - vodou nasákavý - objemová hmotnost 100 až 250 kg/m^3 - možno vyrábět z něj beton nebo maltu pro zdění a omítání
desky z dřevité vlny a cementu	<ul style="list-style-type: none"> - v ČR známé pod názvy Heraklit a Lihnát - dobrá přilnavost klasických stavebních pojiv (malta, beton) - velká tuhost desek - proto se kombinují s jinými méně pevnými izolacemi - např. pěnovým polystyrenem a deskami z minerální vlny
keramzit	<ul style="list-style-type: none"> - obdobně jako perlit vyráběn expandací z přírodních surovin (jílů) - snáší velmi vysoké teploty až do $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ - velká pevnost v tlaku - lehčivo do betonů - výroba předpjatého lehčeného betonu = český světový unikát
ovčí vlna	<ul style="list-style-type: none"> - poměrně nový materiál - výroba z chemicky ošetřené ovčí vlny - kolmým vsíváním do nosné tkaniny - ekologický materiál - hygroskopický - dokáže samovolně uvolňovat vlhkost do ovzduší - vhodný pro izolace ekologických staveb (např. dřevostaveb)

1.4.4 NEGATIVNÍ DŮSLEDKY

OKNA

Okna mohou způsobovat vznik plísní dvojím způsobem. První je ten, že je okenní rám či okenní křídlo (popřípadě osazení skla) špatně provedeno a tato konstrukce a nebo tepelná izolace je zde oslabena tak, že dochází k povrchové kondenzaci vodních par obsažených ve vzduchu a následnému růstu plísní. Obdobná situace je i okolo rámu

(na ostění). V tomto případě je nutné, aby rám i křídla byla dostatečně silná, nebo aby měla dostatečný počet vhodně tvarovaných komor, popřípadě aby bylo ostění dostatečně izolováno [6].

Druhým způsobem vzniku plísní vlivem oken je, že jsou těsná a neumožňují přirozené větrání netěsnostmi. Těsnost oken však není chybou, neboť umožňuje větrání regulovat podle potřeby a nedochází k nadměrné výměně vzduchu. Přirozené větrání, které nahrazuje dřívější zvýšenou výměnu vzduchu pomocí infiltrace je osazení oken mikroventilační štěrbinou, popřípadě tzv. čtyřpolohovým kováním (které umožňuje pootevření okna o několik milimetrů). Větrání je mírně intenzivnější u dřevěných oken, neboť tato okna musí mít větší spáry mezi okenním rámem a křídly. To je dáno tím, že dřevo výrazně mění svoji velikost v závislosti na vlhkosti [6].

Hlavním negativním důsledkem snížení infiltrace u nových oken je „psychologický efekt“. Pokud není okno vybaveno mikroventilační štěrbinou (což většinou není) je pro dodržení minimální dovolené výměny vzduchu v místnosti nutné častěji větrat nebo nechávat okno otevřené v poloze umožňující pootevření okna o několik milimetrů. Pokud není objekt po rekonstrukci vybaven nucenou ventilací a uživatelé si neosvojí nové postupy, dochází následně velmi často k zhoršení vnitřního mikroklimatu.

KOMPLETNÍ ZATEPLENÍ

Zejména u starších domů se slabou tepelnou izolací, nebo pokud je dům dodatečně tepelně izolován a tepelná izolace není provedena důsledně, se v domě velmi často vyskytují místa s velmi studeným povrchem a v kombinaci s výměnou oken za nová těsnější, dochází k povrchové kondenzaci na konstrukci a vznikům plísně [6].

Tepelná izolace pláště budov může v ojedinělých případech místo eliminace tepelných mostů naopak nové vytvořit a přispět tak k degradaci stavební konstrukce namísto k prodloužení její životnosti [1].

V poslední řadě je nutno podotknout, že skutečná dosažená efektivnost realizovaných opatření ke snížení tepelných ztrát a spotřeby tepla při vytápění je velmi výrazně ovlivněna uživateli budov [1].

1.4.5 KLIMATIZACE

Základní dělení klimatizace je [2]:

- přirozená
- mechanická

PŘIROZENÁ KLIMATIZACE

Pořizovací náklady jsou nesrovnatelně nižší než u klimatizace mechanické. Do přirozené klimatizace se dá zahrnout vhodná orientace budovy, vhodný stupeň prosklení a akumulace budovy, vhodná úprava obvodového pláště (stěn a oken), clony (zvláště horizontální a vertikální), energetická fasáda, hybridní větrání a podzemní architektura [2].

MECHANICKÁ KLIMATIZACE

Dělení mechanické klimatizace je mnohem obsáhlejší a konkrétní použité typy budou případně zmíněny v praktické části při simulaci budov.

2.1 TEPELNÉ PROCESY V LIDSKÉM TĚLE

Při hodnocení energetického výdeje lidského těla jsou metabolismy děleny na [3]:

- bazální metabolismus (BM)
- klidový metabolismus (RMR = resting metabolic rate)
- pracovní metabolismus celkový brutto
- pracovní metabolismus netto

BAZÁLNÍ METABOLISMUS (BM)

Nejnižší možný výdej energie za standardních podmínek v pokojové teplotě, vleže, v klidu, nalačno a s vyloučením specificko-dynamického účinku bílkovin. Je závislý na pohlaví, věku, výšce a hmotnosti. Bazální teplo produkují játra za naprosto klidového stavu organismu – v hlubokém spánku. Disproporce v tvorbě bazálního tepla mezi muži a ženami způsobují, že ženy v interiérech vyžadují vyšší vnitřní teplotu [3].

KLIDOVÝ METABOLISMUS (RMR)

Hodnota měřená při pokojové teplotě za tělesného klidu vsedě. RMR je o 15 až 20 % vyšší než BM [3].

PRACOVNÍ METABOLISMUS CELKOVÝ BRUTTO

Součet energetického výdeje v klidu a zvýšeného metabolismu při práci [3].

PRACOVNÍ METABOLISMUS NETTO

Přírůstek energie při práci [3].

METABOLICKÝ TEPELNÝ TOK [3]

$$q_m = \pm q_c \pm q_r + q_w + q_d \pm q_v \pm \Delta q_a \quad (2.1)$$

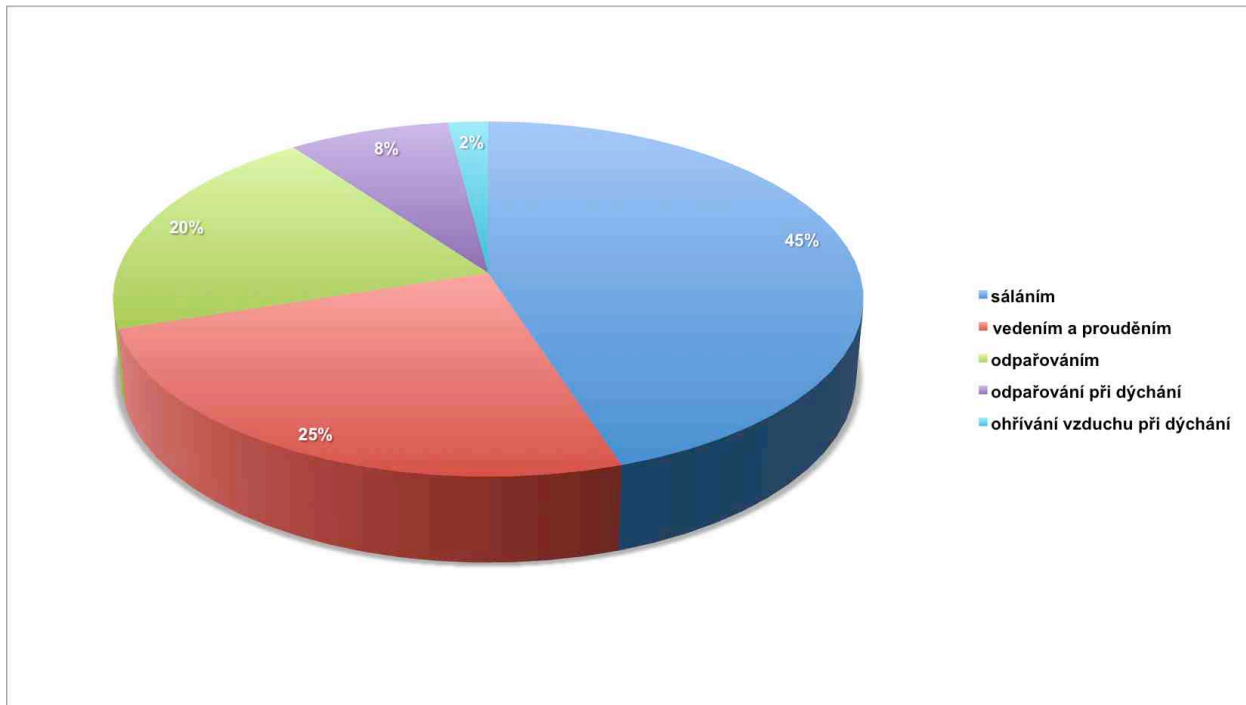
- kde je:

q_c	tepelný tok z těla prouděním	[W/m ²]
q_r	tepelný tok z těla sáláním	[W/m ²]
q_w	tepelný tok z těla vypařováním	[W/m ²]
q_d	tepelný tok z těla dýcháním	[W/m ²]
q_v	tepelný tok z těla vedením	[W/m ²]
Δq_a	teplo akumulované v organismu	[W/m ²]

Teplo akumulované v organismu je při optimální tepelné pohodě rovno nule. V rovnici 2.1 jsou nejdůležitějšími členy tepelná ztráta konvekcí q_c , radiací q_r , vypařováním q_w a dýcháním q_d . Tepelný tok vedením q_v je ve většině případů zanedbatelný. Kladná

znaménka znamenají, že tepelný tok je sdílen z povrchu těla směrem do okolí. V opačném případě je při záporných hodnotách účinná teplota okolních ploch vyšší než teplota vzduchu a dochází k tepelnému toku z prostředí do těla. K metabolickému toku tepla q_m se posléze ještě přičte vnější tepelná zátěž q a tento výsledný tepelný tok musí být z těla odveden konvekcí, sáláním, vypařováním a dýcháním.

Podíl členů rovnice 2.1 při běžných podmínkách je graficky znázorněn v grafu 2.1.



Graf 2.1 Podíl položek tepelné rovnováhy člověka při celkové tepelné ztrátě organismu; [3]

Klíčovým činitelem pro zajištění vhodného teplotního stavu organismu je tzv. **homoiotermie**. To znamená schopnost udržet tělesnou teplotu na fyziologicky přijatelné úrovni v rozmezí teplot 35 až 37 °C. Homoioetermie se týká tělesného jádra, což je mozek, vnitřní hrudní orgány a břišní orgány. Od hloubky 20 až 30 mm pod povrchem těla je teplota relativně stálá.

Tělesná teplota ovlivněná okolním prostředím, a která tudíž nemá stálou teplotu, se nazývá **poikilotermní**. Do této kategorie spadá více jak polovina lidského těla (pokožka, prsty, ušní boltce, tváře atd.).

Teplotní stav osob je charakterizován povrchovou teplotou pokožky a množstvím vyloučeného potu. Pouze ve dvou případech se tělesná teplota organismu zvyšuje z vnitřních příčin:

- při tělesné práci
- při nemoci – horečce

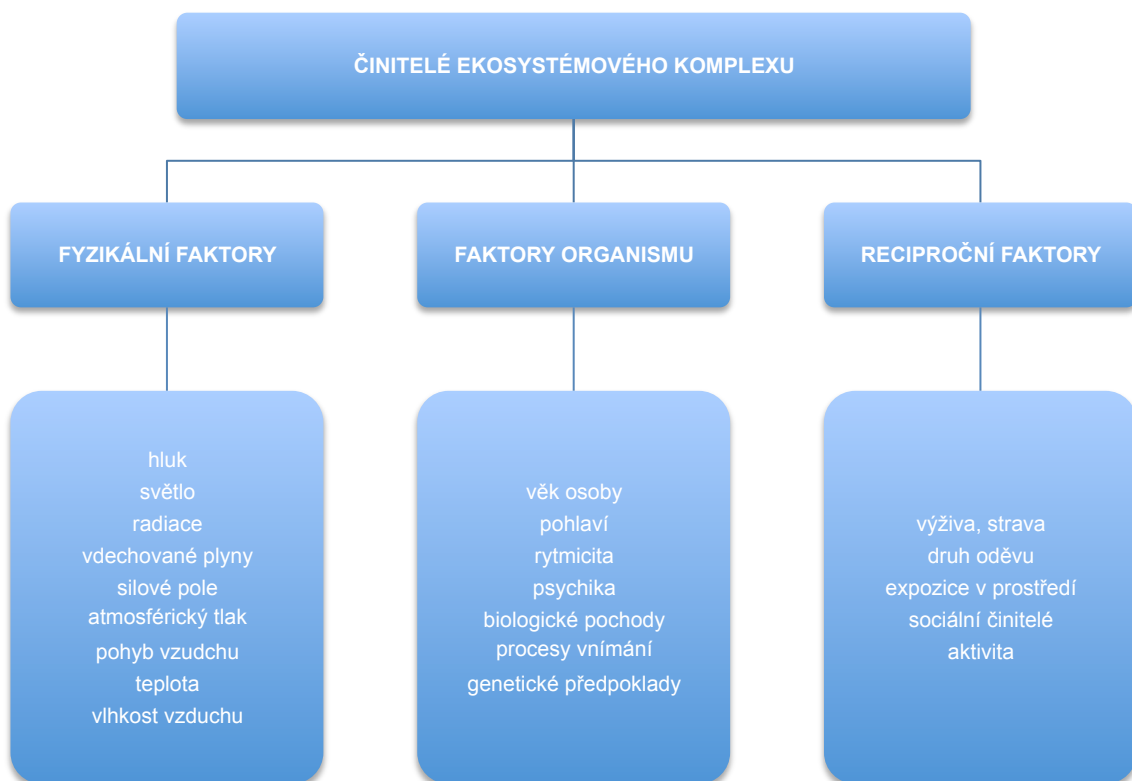
Při tělesné práci po započetí činnosti stoupá teplota organismu až na 38 °C, což má fyziologický účel pro lepší svalovou činnost. Zvýšená teplota při horečce (> 37 °C) je nutná pro průběh obranných reakcí organismu, jako pochod je řazena mezi chorobné děje.

Pro přizpůsobení teplotnímu stavu okolního prostředí člověk vědomě nebo reflexivně používá termoregulačních procesů, mezi které patří:

- **vazotermická regulace**
 - změna průměru cév pokožky → změna průtoku krve
 - tepelné přetížení → vazodilatace (rozšíření cév a vzestup teploty pokožky)
 - podchlazení → vazokontstrikce (zúžení cév a pokles teploty pokožky)
- **produkce potu**
 - odpařováním potu z lidské pokožky se tělu odebírání teplo
 - negativní působení na organismus v podobě poklesu koncentrace Na^+
 - možný vznik svalových křečí
- **chemická termoregulace**
 - uplatňuje se především při podchlazení
 - doprovázena chladovým stresem (rytmické neovladatelné záškuby svalstva)
 - svalový třes má za úkol zvýšit produkci tepla
- **vědomá termoregulace**
 - spojena s uvědomělou činností
 - např. změna tělesné činnosti, změna povrchu těla účastnícího se výměny tepla s okolím, změna oděvu, změna teploty prostředí apod.

2.1.1 EKOSYSTÉMOVÝ KOMPLEX

Člověk je v prostředí, ve kterém se nachází, vystaven působení celé řady činitelů, které jsou složkami ekosystémového komplexu (viz obr. 2.1) [3].



Obr. 2.1 Činitelé ekosystémového komplexu působícího na člověka; [3]

2.2 INTERIÉROVÉ MIKROKLIMA

Aby nebyl člověk nucen přistupovat v interiérech budov k některému z výše popsaných termoregulačních mechanismů, musí v nich pomocí dostupných technologií vytvořit takové vnitřní prostředí, které se nazývá **tepelná pohoda**. Což je pro lidský organismus subjektivně příjemný stav, který nastává při umožnění udržování stálé teploty těla v rozmezí 35 až 37 °C aniž by člověk cítil potřebu změny [3].

Kvalitu vnitřního prostředí lze hodnotit subjektivně nebo objektivně. Při subjektivním hodnocení se člověk řídí svými pocity a u objektivního hodnocení jsou výchozí provedená měření. Požadavky na obytné a pracovní prostředí jsou definovány [3]:

- v zákonu č. 258/200 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů ve znění pozdějších předpisů a ve vyhláškách a nařízeních k zákonu (např. č. 178/2001 Sb., č. 108/2001 Sb., č. 6/2003 Sb.)
- v revidované evropské normě ČSN EN ISO 7730, která umožňuje determinaci pocitu nespokojenosti, popř. reakci na jednotlivé makroklimatické parametry, který formulují tepelnou pohodu prostoru

2.2.1 OPTIMÁLNÍ A PŘÍPUSTNÉ PODMÍNKY

Optimální teplota vzduchu v interiérech objektů θ_{ai} zajišťující nejpříznivější podmínky termoregulace člověka závisí na vnitřní produkci tepla, na druhu oděvu, na stáří a zdraví jedince, na jeho schopnosti aklimatizovat se. Přitom optimální teplota podléhá nejen objektivním činitelům, ale do určité míry také některým subjektivním faktorům [3].

Optimální mikroklimatické podmínky vnitřního prostředí jsou charakterizovány [3]:

- operativní teplotou θ_o
- výslednou teplotou kulového teploměru θ_g
- rychlostí proudění vzduchu v místnosti v_{ai}
- relativní vlhkostí vzduchu θ_{ai}

Veličiny potřebné pro vyhodnocení mikroklimatických parametrů vnitřního prostředí a tepelné zátěže (měřené i stanovené) definované ve vztahu k člověku nacházejícímu se v daném prostoru jsou [3]:

teplota vzduchu θ_a [°C]	- také nazývaná suchá teplota - teplota v okolí lidského těla - měřeno teplotními čidly (neovlivněné sáláním okolních ploch)
výsledná teplota kulového teploměru θ_g [°C]	- teplota v okolí lidského těla - měřená kulovým teploměrem - zahrnuje vliv současného působení - teploty vzduchu - teploty okolních ploch - rychlosti proudění vzduchu
operativní teplota θ_o [°C]	- rovnoměrná teplota uzavřené černé plochy - v této ploše by člověk sdílel sáláním a konvekcí stejné teplo jako v reálném nehomogenním prostředí - stanovuje se výpočtem

střední radiační teplota $\bar{\theta}_r$ [°C]	<ul style="list-style-type: none"> - také nazývaná střední teplota sálavých ploch - rovnoměrná teplota okolních ploch - sdílí se při ní sáláním stejně tepla jako ve skutečném prostředí - měří se radiometry - nebo se vypočítá z θ_g a teploty vzduchu - jedna ze vstupních hodnot pro výpočet operativní teploty
rovinná radiační teplota θ_{pr} [°C]	<ul style="list-style-type: none"> - také nazývaná rovinná teplota sálání protilehlých ploch - rovnoměrná teplota okolních ploch - sálání na jedné straně malého rovinného prvku je stejné jako ve skutečném prostředí - popisuje sálání v jednom směru - slouží především k <ul style="list-style-type: none"> - stanovení asymetrie radiační teploty - výpočtu střední radiační teploty
asymetrie radiační teploty $\Delta\theta_{pr}$ [°C]	<ul style="list-style-type: none"> - také nazývaná asymetrie teploty sálání - rozdíl mezi rovinnými radiačními teplotami - u dvou protilehlých ploch malého rovinného prvku - při značně rozdílných teplotách protilehlých ploch
intenzita sálání I [W/m ²]	<ul style="list-style-type: none"> - vyjádřena jako efektivní tok sdílení sáláním - popisuje výměnu tepla sáláním - výměna tepla mezi okolními plochami a lidským tělem
korigovaná teplota θ_{korig} [°C]	<ul style="list-style-type: none"> - teplota vzduchu - snižena vlivem proudění vzduchu - hodnocení účinku větru na člověka ve venkovním prostředí
povrchová teplota θ_s [°C]	<ul style="list-style-type: none"> - teplota měřená na povrchu těles a stavebních konstrukcí - měření způsoby <ul style="list-style-type: none"> - kontaktní - bezkontaktní
relativní vlhkost φ_{ai} [%]	<ul style="list-style-type: none"> - stupeň nasycení vzduchu vodními parami - definováno poměrem hustoty vodní páry ve vzduchu a ve vlhkém vzduchu nasyceném vodní parou při stejné teplotě
teplota vlhkého teploměru θ_w [°C]	<ul style="list-style-type: none"> - také nazývaná psychrometrická - teplota nuceně větraného vlhčeného teplotního čidla - používá se při stanovení relativní vlhkosti vzduchu psychrometrem
teplota rosného bodu θ_d [°C]	<ul style="list-style-type: none"> - teplota rosení povrchů - tzn. vlhký vzduch je chlazen až na teplotu stavu sytosti - stanoví se z teploty a vlhkosti vzduchu - nebo výpočtem
rychlost proudění vzduchu v_{ai} [m/s]	<ul style="list-style-type: none"> - veličina charakterizující pohyb vzduchu v prostoru - charakterizuje tento pohyb velikostí a směrem - v čase dochází k výrazné změně této veličiny - střední hodnota za časovou jednotku a směrodatná odchylka

Operativní teplota při rychlosti proudění $v_{ai} \leq 0,2$ m/s, se nahrazuje výslednou teplotou kulového teploměru $\theta_o = \theta_i = \theta_g$ [3].

Pokud je rychlost proudění vzduchu $v_{ai} > 0,2$ m/s, stanoví se operativní teplota ze vztahu [4]:

$$\theta_o = \bar{\theta}_r + A \cdot (\theta_{ai} - \bar{\theta}_r) \quad (2.2)$$

Přípustné hodnoty mikroklimatických podmínek jsou patrné z tab. 2.1. Podmínky pro obytné prostředí nejsou ani v zahraničí ani v ČR zatím definovány. Proto lze z uvedených hodnot odhadem akceptovat třídu práce **II a** jako hodnoty pro obytné prostředí [3].

Tab. 2.1 Přípustné hodnoty mikroklimatických podmínek v interiéru po celý rok; [3]

třída práce	M [W/m ²]	operativní teplota θ_o [°C]			v_a [m/s]	ϕ_i [%]	SR _{to max} ⁺⁺⁺
		$\theta_{o min}$	$\theta_{o opt}$	$\theta_{o max}$			[g/h] [g/sm]
I	≤ 80	20	22±2	28	0,1 až 0,2	30 až 70	$\frac{107}{856}$
II a	81 až 105	18	20±2	27	0,1 až 0,2		$\frac{136}{1091}$
II b	106 až 130	14	16±2	26	0,2 až 0,3		$\frac{171}{1368}$
III a	131 až 160	10 ⁺	12±2	26 ⁺	0,2 až 0,3		$\frac{256}{2045}$
III b	161 až 200	10 ⁺⁺	12±2	26 ⁺⁺	0,2 až 0,3		$\frac{359}{2639}$

Vysvětlivky k tabulce 2.1 [3]:

$\theta_{o min}$	platná pro tepelný odpor oděvu 1 clo
$\theta_{o opt}$	platná pro tepelný odpor oděvu 0,75 clo
$\theta_{o max}$	platná pro tepelný odpor oděvu 0,5 clo
SR	jsou ztráty tekutin pocením a dýcháním (intenzita pocení)
g/h	je ztráta tekutin v gramech za hodinu
g/sm	je ztráta tekutin v gramech za směnu
+	z hlediska energetického výdeje práce není celosměnově únosná pro ženy
++	z hlediska energetického výdeje práce není celosměnově únosná pro muže
+++	platí pro osobu o ploše povrchu těla 1,8 m ²
θ_o	stanovena pro 60 % relativní vlhkosti
M	je celkový průměrný energetický výdej

Pro dosažení optimálních operativních teplot se předpokládá ohřev vzduchu v interiéru v zimě a chlazení vzduchu v létě. To znamená potřebu dimenzovat vytápění a klimatizaci na tyto teploty. Dosažení maximálních operativních teplot v horkém letním období se předpokládá pouze při tzv. přirozené klimatizaci (tj. uplatnění ochrany před nadměrným slunečním zářením stíněním apod.) [3].

2.2.2 INDEXY PMV A PPD

Tepelně technická kvalita vnitřního prostředí stavebních objektů a vnímání této kvality osobami se dá určit pomocí speciálních kritérií [3]:

Index PMV
(Predicted Mean Vote) - charakterizuje předpokládaný střední stupeň tepelné pohody

Index PPD
(Predicted Percentage of Dissatisfied) - charakterizuje procentní podíl nespokojených

Tato kritéria jsou definována v mezinárodní normě ISO 7730 – „*Moderate thermal environments, Determination of the PMV and PPD indicates and specification the conditions for thermal comfort*“, která byla vydána v roce 1984. V nové verzi norma vyšla v roce 1994 a posléze ji jako normu národní převzalo osmnáct evropských zemí a postupně se zavádí v celém světě. V roce 1997 byla tato norma vydána v českém jazyce jako ČSN EN ISO 7730 pod názvem „*Mírné tepelné prostředí – Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody*“. Hodnocení v normě se vztahuje na zdravé muže a ženy a popisuje [3]:

- postup v rámci predikce stupně nepohody osob vystavených teplotnímu prostředí
- příčiny vyvolávající pocity nepohody ve vnitřním prostředí

PŘEDPOKLÁDANÝ STŘEDNÍ STUPEŇ TEPELNÉ NEPOHODY

Indexem *PMV* lze stanovit reakci velké skupiny osob na teplotní stav prostředí pomocí sedmi stupňů [3]:

+3	velmi teplo
+2	teplo
+1	mírně teplo
0	neutrální stav
-1	mírně chladno
-2	chladno
-3	zima

Zjišťuje se z předpokladu známé tělesné činnosti, druhu oděvu, teploty vzduchu, povrchové teploty okolních konstrukcí, relativní vlhkosti vzduchu a rychlosti proudění vzduchu. Fyziologické reakce termoregulačního systému výchozí pro odvození výpočetních vztahů kritéria *PMV* byly naměřeny a statisticky zpracovány z výzkumu provedeného s 1300 respondenty. Doporučuje se používat v rozmezí -2 až $+2$ [3].

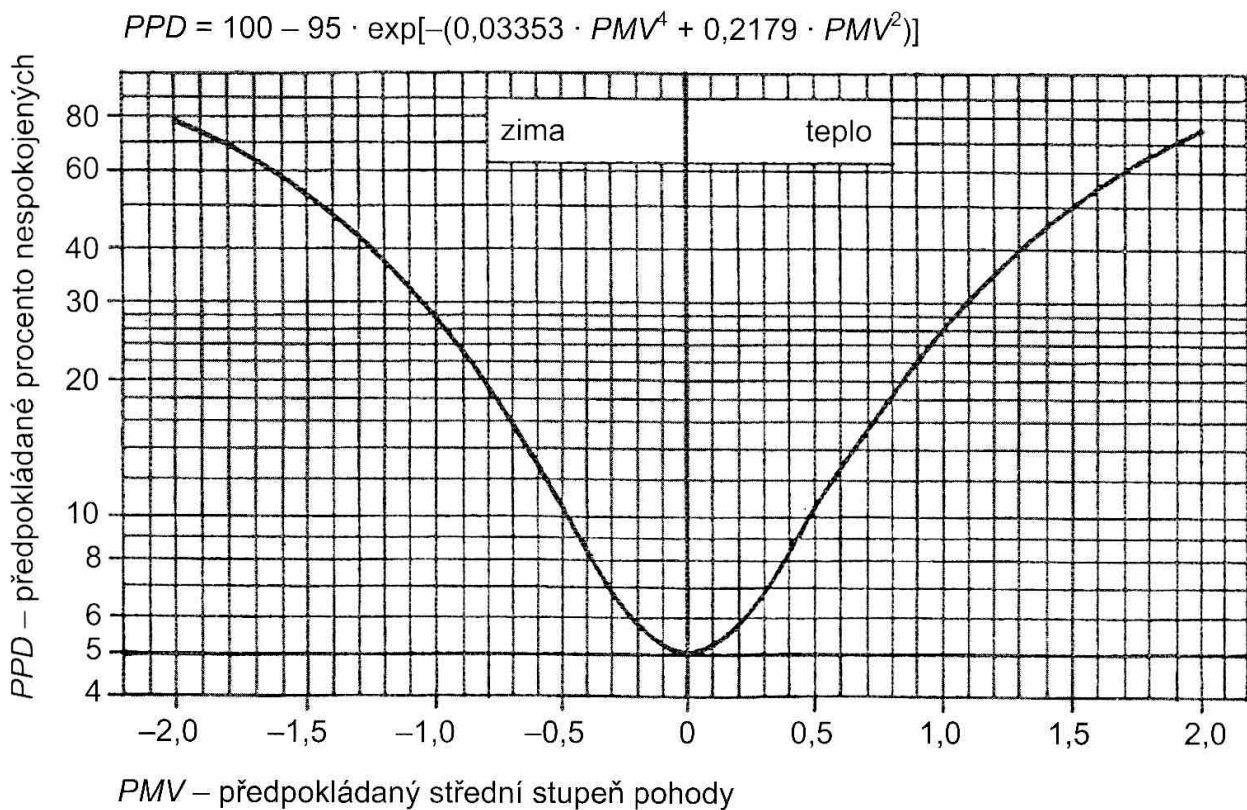
PŘEDPOKLÁDANÉ MNOŽSTVÍ NESPOKOJENÝCH OSOB

Index *PPD* vychází z indexu *PMV*, s jehož pomocí se kvantifikují osoby nespokojené s vlhkostním prostředím. Graficky je tato závislost zobrazena na obr. 2.2 [3].

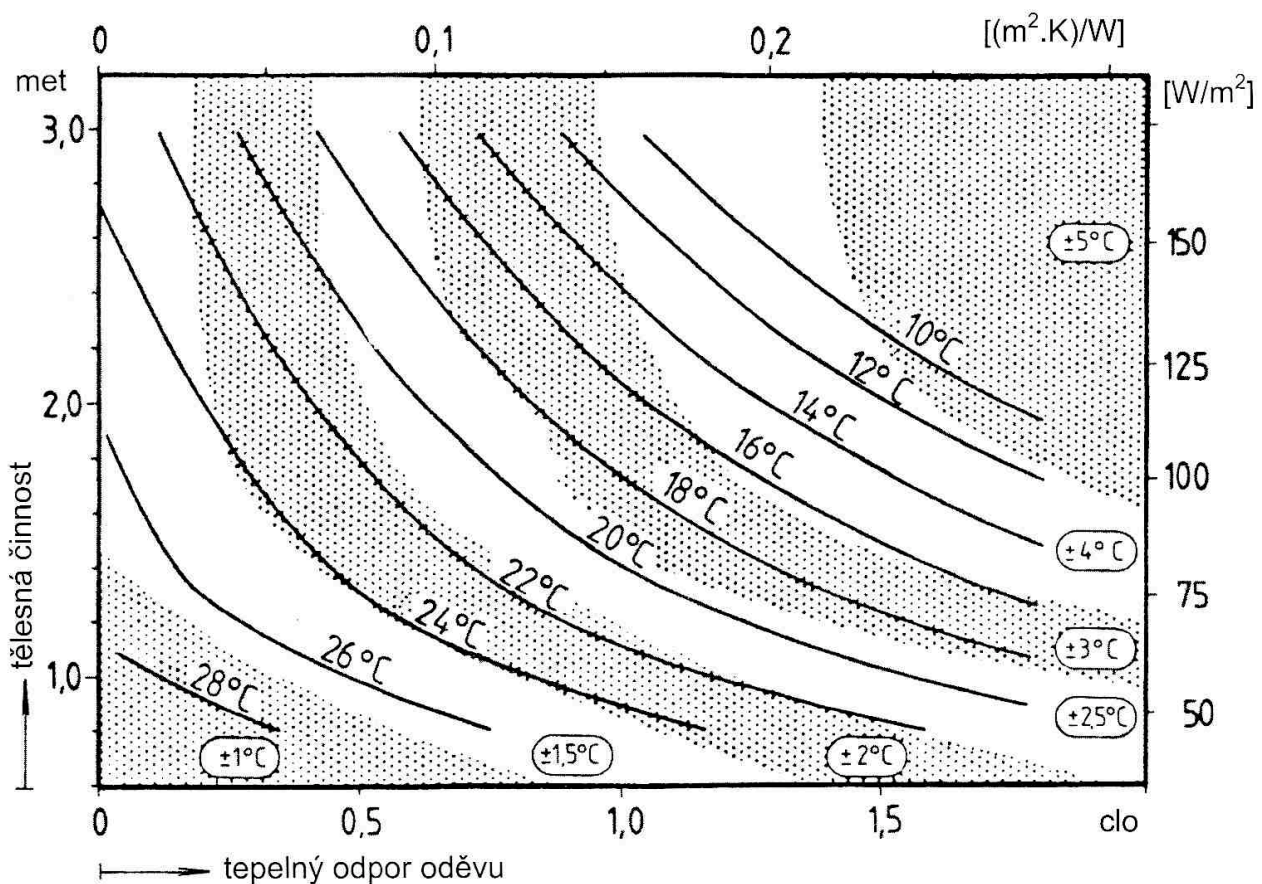
Za přípustné lze považovat hodnoty *PPD* pro jednotlivá roční období nižší než 10 %, což odpovídá nerovnosti [3]:

$$-0,5 < PMV < +0,5 \quad (2.3)$$

Pro dodržení nerovnosti zajišťující maximálně 10 % nespokojených osob je na obr. 2.3 v závislosti na činnosti osob a tepelně izolační schopnosti oděvu znázorněno, jakých optimálních operativních teplot by se mělo v interiéru dosáhnout. Šedě jsou znázorněny oblasti s teplotním rozpětím \pm ve $^{\circ}\text{C}$, které ještě stále zajišťují uvedenou nerovnost [3].



Obr. 2.2 Graficky znázorněný vztah mezi indexy PMV a PPD; [3]



Obr. 2.3 Optimální operativní teploty jako funkce energetického výdeje při tělesné činnosti a hodnoty tepelného odporu oděvu pro $PMV = 0$; [3]

Indexy *PMV* a *PPD* se v ISO 7730 používají k třídění mikroklimatu do tří kategorií [3]:

- A** nespokojených je méně než 6 %
- B** nespokojených je méně než 10 %
- C** nespokojených je méně než 15 %

2.2.3 LOKÁLNÍ TEPELNÁ NEPOHODA

Kromě požadavků tepelné neutrality musí také platit, že ani jedna část těla se nadměrně neohřívá, případně neochlazuje. Z tohoto důvodu je potřeba definovat další požadavky na stav tepelné pohody, které by vyloučily možnost vzniku **lokální tepelné nepohody** (lokálního diskomfortu) zapříčiněného těmito skutečnostmi [5]:

- asymetrie teploty sálání
- vertikální teplotní gradient vzduchu
- teplá nebo chladná podlaha
- proudění vzduchu

ASYMETRIE TEPLoty SÁLÁNÍ

Asymetrické (neuniformní) tepelné sálání v prostoru může být zapříčiněné chladem pronikajícím skrz okna, neizolovanými stěnami, ale také sálavým vytápěním ve stěnách a stropěch. Z experimentálních pozorování je zřejmé, že lidé jsou citlivější na asymetrii radiační teploty zapříčiněné stropním sálavým vytápěním více, než na negativní sálání chladnými povrchy stavebních konstrukcí (a to zejména okny). Z tohoto důvodu se doporučuje aby [5]:

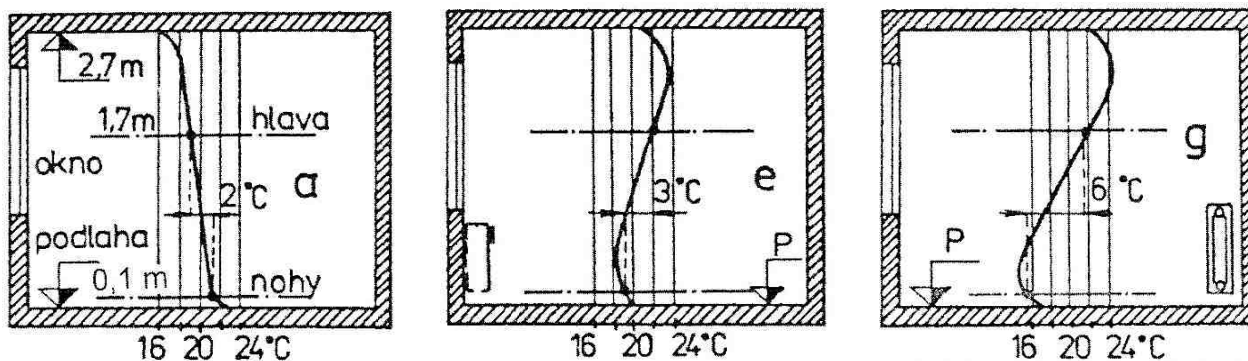
- asymetrie radiační teploty způsobená okny nebo jinými chladnými vertikálními povrchy byla nižší jak **10 K** (ve vztahu k malé vertikální ploše ve výšce 0,6 m nad podlahou) a platí *PPD* = 5 %
- asymetrie radiační teploty od teplých (vytápěných) stropů byla menší jak **5 K** (ve vztahu k malé vertikální ploše ve výšce 0,6 m nad podlahou) a platí *PPD* = 7 %

Tato doporučení platí pro osoby vyvíjející lehkou aktivitu (např. sezení). U osob s náročnější aktivitou se uvažuje menší citlivost na sálavou tepelnou asymetrii, a proto jsou přijatelné i vyšší hodnoty [5].

VERTIKÁLNÍ TEPLotní GRADIENT VZDUCHU

Ve většině interiérů v budovách není teplota vzduchu po výšce (od podlahy ke stropu) konstantní, jelikož je přirozené, že její hodnota roste se vzdáleností od podlahy. Jakmile je tento teplotní gradient dostatečně velký, může nastat lokální tepelná nepohoda z nadměrného tepla (např. v oblasti hlavy) nebo z nadměrného chladu (např. v oblasti chodidel), při které může tělo jako celek mít splněnou podmínku tepelné neutrality. Tato skutečnost závisí zejména na použití konkrétního vytápěcího systému. Je zřejmé, že teplotní gradient vzduchu v zóně pobytu člověka (od podlahy po úroveň hlavy) by měl být v určitém rozpětí. Doporučeno je, aby vertikální teplotní gradient pro lehkou činnost (sezení) byl mezi výškami 1,1 m a 0,1 m nad podlahou (úroveň hlavy a chodidel) menší jak 3 K (při sedavé činnosti odpovídá *PPD* ≈ 5 % nespokojených), přičemž lidé při namáhavější tepelné činnosti tolerují i vyšší tepelné rozdíly [5].

Vertikální rozložení teploty vzduchu různých typů vytápění je znázorněno na obr. 2.4.



Obr. 2.4 Vertikální průběh teploty vzduchu ve středu místnosti při vytápění zleva doprava: ideální, teplovodní radiátor u parapetu, teplovodní radiátor na vnitřní stěně; [3]

TEPLÁ NEBO STUDENÁ PODLAHA

Při přímém kontaktu mezi nohou a podlahou může nastat lokální tepelná nepohoda v důsledku příliš vysoké nebo nízké teploty podlahy. Kromě toho teplota podlahy má vliv na účinnou teplotu v interiéru. Na základě experimentálních měření je doporučeno, aby pro lehkou činnost (zejména sezení) byla povrchová teplota podlahy v intervalu 19 až 26 °C, přičemž podlahové vytápěcí systémy se mohou navrhovat až na hodnotu 29 °C. Tato doporučení zabezpečují přibližně 10 % nespokojených uživatelů [5].

PROUDĚNÍ VZDUCHU

Proudění vzduchu – průvan – znamená nežádoucí lokální ochlazování těla. Hodnotí se indexem **DR** (**D**raught **R**ate), který vyjadřuje procentuální podíl osob s převládajícím pocitem obtěžování průvanem. Určuje se početně [3]. Reakcí lidí na vznik lokální tepelné nepohody v důsledku nadměrného proudění vzduchu je většinou neúměrné zvyšování teploty v interiéru. Z vyhodnocení experimentálních měření procenta nespokojených jako funkce rychlosti proudění vzduchu při různých teplotách vnitřního vzduchu vyplynula tato doporučení [5]:

- při lehké činnosti (zejména sezení) v otopném období a výsledné teplotě v interiéru v rozsahu 20 až 24 °C musí být přiměřená rychlost proudění vzduchu menší jak 0,15 m/s
- při lehké činnosti (zejména sezení) v letním období a výsledné teplotě v intervalu 23 až 26 °C má být přiměřená rychlost vzduchu menší jak 0,25 m/s

2.2.4 VLIV PROSTŘEDÍ NA ČLOVĚKA

Mimo tepelného komfortu a diskomfortu a jevů s nimi spojenými působí na člověka v interiéru budov řada dalších faktorů ovlivňujících jeho stav [4, 7]:

- čistota vzduchu
- intenzita osvětlení
- hluk, vibrace a ultrazvuk
- koncentrace iontů ve vzduchu
- intenzita elektrických a magnetických polí
- prostorové a dispoziční řešení prostředí (řeší estetika)

ŠKODLIVINY A ZÁPACHY V INTERIÉROVÉM OVZDUŠÍ

Škodliviny jsou příměsi vzduchu, které způsobují pokles produktivní činnosti člověka a mohou také poškozovat jeho zdraví. Dále působí škodlivě na zařízení budov, na konstrukce budov a poškozují životní prostředí. V obytných objektech jsou jejich hlavním zdrojem činnost člověka a jeho samotný pobyt v interiéru (dále existují průmyslové škodliviny vznikající výrobní činností). Za škodlivinu lze považovat také nadměrné teplo [7].

Mezi hlavní škodliviny ve vnitřním prostředí patří **choroboplodné zárodky** (bakterie, viry, plísně, apod.), které však ve vzduchu nemohou existovat samostatně bez nosičů jako je např. **prach**, kapénky **vodní páry** [4].

Zápachy vnímá člověk ve vnitřním prostředí jako nepříjemné a vzduch se mu jeví „vydýchaný“. Kvantifikace pachů není chemickou analýzou možná, byla proto navržena umělá jednotka olf, která představuje dávku biologických příměsí do vzduchu od standardní osoby [7].

Snížení koncentrace škodlivin a zápachů vede k potřebě zvýšeného větrání a tím pádem k vyšší spotřebě energie.

INTENZITA OSVĚTLENÍ

Jak již bylo zmíněno v úvodu, jedna ze tří částí stavební fyziky se zabývá osvětlením a insulací (osluněním). Problematika osvětlení je příliš obsáhlá, ale s odkazem na kapitolu 1.3.3 je nutné zmínit se o insulaci (a následných slunečních ziscích). Sluneční zisky v otopné sezóně mohou pozitivně ovlivňovat energetickou bilanci budovy a snižovat její potřebu energie na vytápění. Což má naprosto opačný účinek v letních měsících. Je proto nutné hledat optimální řešení oslunění interiéru, které zabezpečuje dostatek osvětlení interiéru přirozeným světlem a přispívá tak k dílčí světelné pohodě a zároveň nezpůsobuje nadměrné tepelné zisky zejména v letních měsících.

To je do určité míry zabezpečeno prvky tzv. přirozené klimatizace (viz 1.4.5), a to zejména [2]:

- vhodnou orientací budovy
 - optimální řešení z hlediska minimálních tepelných zisků budovy je orientace její podélné osy ve směru východ-západ
 - ovlivnitelné pouze v návrhovém stádiu
- vhodným stupněm prosklení
 - ovlivnitelné v návrhovém stádiu a pouze částečně při rekonstrukcích
- clonami
 - žaluzie (externí, meziokenní, interiérové)
 - rolety (externí, meziokenní, interiérové)
 - markýzy
 - slunolamy
- úpravou oken
 - solární fólie aj.
 - determální skla aj.

3.1 ENERGETICKO-EKOLOGICKÉ HODNOCENÍ

Požadovaná potřeba tepla na vytápění jakožto výstup teplotnického hodnocení budovy má i svůj ekologický důsledek. Způsob a kvalita přípravy (výroby) této energie ovlivňuje množství znečištění ovzduší. Při spalování paliv vzniká množství emisí vypouštěných do venkovního prostředí. Jednou ze škodlivin je směs oxidu dusíku N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , až N_2O_5 . Tato směs, ve které nemusí být zastoupeny všechny typy oxidu dusíku, se označuje NO_x . Oxid dusíku podporuje jako katalyzátor přeměnu SO_2 na SO_3 a dále až na zředěnou kyselinu sírovou v ovzduší. Při srážkách, které dopadají na takto znečištěné území, prší „kyselý déšť“, způsobující velké škody na půdním a lesním fondu a nepříznivě působí na zdraví živočichů a lidského organismu. Další škodlivinou je zvyšující se koncentrace CO_2 v ovzduší, což má za následek tzv. skleníkový efekt [5].

V některých zemích se snaží zavést i energeticko-ekologické hodnocení budov, které by v konečném důsledku hodnotilo budovu z hlediska množství produkovaných emisí. Vychází se z množství emisí vytvořených při spalování paliv a udává se v kg na jednu vyrobenou kWh. Pokud je známá informace o produkovaných emisích při výrobě 1 kWh, potom je možné určit celkové množství emisí vyprodukované při vytápění konkrétní budovy [5].

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.4.3, neexistuje pouze jeden přístup při volbě tloušťky tepelné izolace. Takže z ekologického pohledu je nutné při snižování energetické náročnosti budov brát v potaz ekologický dopad energie vynaložené na výrobu použitého stavebního materiálu, na jeho přepravu a následnou instalaci (případně demolicí) a tuto hodnotu dát do rovnováhy s množstvím energie, která se za dobu životnosti těchto opatření při provozu budovy ušetří [1, 6].

3.1.1 FINANČNÍ STRÁNKY TEPELNÝCH IZOLACÍ

Na hodnocení návratnosti tepelných izolací má hlavní vliv cena této tepelné izolace. Pokud se například bude zateplovat dům kontaktním zateplovacím systémem, je cena včetně souvisejících prací cca 1000–1400 Kč/m² [6]. Pokud je však nutná samotná rekonstrukce domu a zateplování je pouze „druhotný produkt“, pak lze od samotných nákladů na zateplení odečíst cenu za postavení a pronájem lešení, dále penetraci podkladu, oplechování parapetů, novou omítku apod. Výsledkem bude, že náklady spojené se zateplením vyjdou přibližně na 400 Kč/m² [6], což je cena tepelné izolace včetně lepidla, kotvicích a dalších prvků a samotné práce. Zbývající náklady budou vynaložené pouze na opravu a není tedy možné je do ceny investice na zateplení počítat. Při zateplování domu se také dají odečíst výdaje na odstranění staré omítky, která by musela být jinak při rekonstrukci bez zateplování odstraněna před nanášením omítky nové, jelikož kontaktní zateplovací systémy se dají klást i na současnou omítku bez nutnosti jejího odstranění (k tomu se přistupuje pouze ve specifických případech).

3.1.2 METODY PRO HODNOCENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI

DOBA NÁVRATNOSTI [1]

$$d_n = \frac{I}{U_r} \quad (3.1)$$

- kde jsou:

I	vložené prostředky	[Kč]
U_r	dosažené roční úspory získané daným opatřením	[Kč/a]

METODA SOUČASNÉ HODNOTY [1]

Metoda současné hodnoty pořizovacích a provozních nákladů porovnává pořizovací náklady I [Kč] a roční úspory U_r [Kč/a] po dobu životnosti opatření n [a], převedené na současný základ pomocí zásobitele z [-].

Metodu současné hodnoty lze použít v několika modifikacích (jejich výběr):

a) Ukazatel efektivity

$$U_{ef} = \frac{I}{U_r \cdot z} \quad (3.2)$$

- kde jsou:

I	vložené prostředky	[Kč]
U_r	dosažené roční úspory získané daným opatřením	[Kč/a]
z	zásobitel, kterým se převádí hodnota úspor za životnost opatření n , na současnou hodnotu	[-]

Navržená opatření ke zmenšení spotřeby tepla jsou efektivní, je-li splněno $U_f < 1$, v opačném případě jsou opatření neefektivní

b) Ukazatel zisku

$$UZ = (U_r \cdot z) - I \quad (3.3)$$

- kde jsou:

U_r	dosažené roční úspory získané daným opatřením	[Kč/a]
I	vložené prostředky	[Kč]
z	zásobitel, kterým se převádí hodnota úspor za životnost opatření n , na současnou hodnotu	[-]

Metoda ukazatele zisku se nazývá také *čistou současnou hodnotou* (anglicky Net Present Value).

3.2 ZELENÁ ÚSPORÁM [17]

Je program **Ministerstva životního prostředí** administrovaný **Státním fondem životního prostředí ČR** zaměřený na úspory energie a obnovitelné zdroje energie v rodinných a bytových domech.

Program Zelená úsporám je zaměřen na podporu instalací zdrojů na vytápění s využitím obnovitelných zdrojů energie, ale také investic do energetických úspor při rekonstrukcích i v novostavbách. To znamená, že programem je podporováno kvalitní zateplování rodinných domů a bytových domů, náhrada neekologického vytápění za nízkoemisní zdroje na biomasu a účinná tepelná čerpadla, instalace těchto zdrojů do nízkoenergetických novostaveb a také výstavba v pasivním energetickém standardu.

Česká republika získala na tento program finanční prostředky prodejem tzv. emisních kreditů Kjótského protokolu o snižování emisí skleníkových plynů.

Podpora v rámci programu Zelená úsporám je nastavena tak, aby bylo možné prostředky čerpat v průběhu celého období platnosti programu od vyhlášení až do 31. prosince 2012. O dotaci je možné žádat před realizací opatření i po nich. Není však možné žádat o dotaci opatření dokončených před vyhlášením programu.

Program Zelená úsporám a základní postupy poskytování podpory upravuje směrnice Ministerstva životního prostředí č. 9/2009.

3.2.1 ZÁKLADNÍ ČLENĚNÍ PROGRAMU

Program se člení do tří základních oblastí podpory:

A. Úspora energie na vytápění

- celkové zateplení
- dílčí zateplení

B. Výstavba v pasivním energetickém standardu

C. Využití obnovitelných zdrojů energie pro vytápění a přípravu teplé vody

- výměna neekologického vytápění za nízkoemisní zdroje na biomasu a účinná tepelná čerpadla
- instalace nízkoemisních zdrojů na biomasu a účinných tepelných čerpadel do novostaveb
- instalace solárně-termických kolektorů

D. Dotační bonus za vybrané kombinace opatření

- některé kombinace opatření jsou zvýhodněny dotačním bonusem
- pouze při současném podání žádosti a maximálně jednou pro daný objekt

E. Dotace na přípravu a realizaci podporovaných opatření v rámci programu

3.2.2 VÝŠE PODPORY PRO RODINNÉ DOMY

ÚSPORY ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ

Celkové zateplení s dosažením měrné roční potřeby tepla na vytápění max. 40 kWh/m²:

- výše podpory **2200 Kč/m²** (max. na 350 m² podlahové plochy)

Celkové zateplení s dosažením měrné roční potřeby tepla na vytápění max. 70 kWh/m²:

- výše podpory **1550 Kč/m²** (max. na 350 m² podlahové plochy)

Dílčí zateplení - snížení měrné roční potřeby tepla na vytápění o 30%

- vnějších stěn
- střechy/stropu
- podlahy
- výměna oken a dveří
- instalace nuceného větrání s rekuperací
alespoň jedno z opatření a) – e)

- výše podpory **850 Kč/m²** (max. na 350 m² podlahové plochy)

Dílčí zateplení - snížení měrné roční potřeby tepla na vytápění o 20%

- vnějších stěn
- střechy/stropu
- podlahy
- výměna oken a dveří
- instalace nuceného větrání s rekuperací
alespoň jedno z opatření a) – e)

- výše podpory **650 Kč/m²** (max. na 350 m² podlahové plochy)

3.2.3 VÝŠE PODPORY PRO BYTOVÉ DOMY

ÚSPORY ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ

Celkové zateplení s dosažením měrné roční potřeby tepla na vytápění max. 30 kWh/m²:

- výše podpory **1500 Kč/m²** (max. na 120 m² na bytovou jednotku)

Celkové zateplení s dosažením měrné roční potřeby tepla na vytápění max. 70 kWh/m²:

- výše podpory **1050 Kč/m²** (max. na 120 m² na bytovou jednotku)

Dílčí zateplení - snížení měrné roční potřeby tepla na vytápění o 30%

- vnějších stěn
- střechy/stropu
- podlahy
- výměna oken a dveří
- instalace nuceného větrání s rekuperací
alespoň jedno z opatření a) – e)

- výše podpory **600 Kč/m²** (max. na 120 m² na bytovou jednotku)

Dílčí zateplení - snížení měrné roční potřeby tepla na vytápění o 20%

- vnějších stěn
- střechy/stropu
- podlahy
- výměna oken a dveří
- instalace nuceného větrání s rekuperací
alespoň jedno z opatření a) – e)

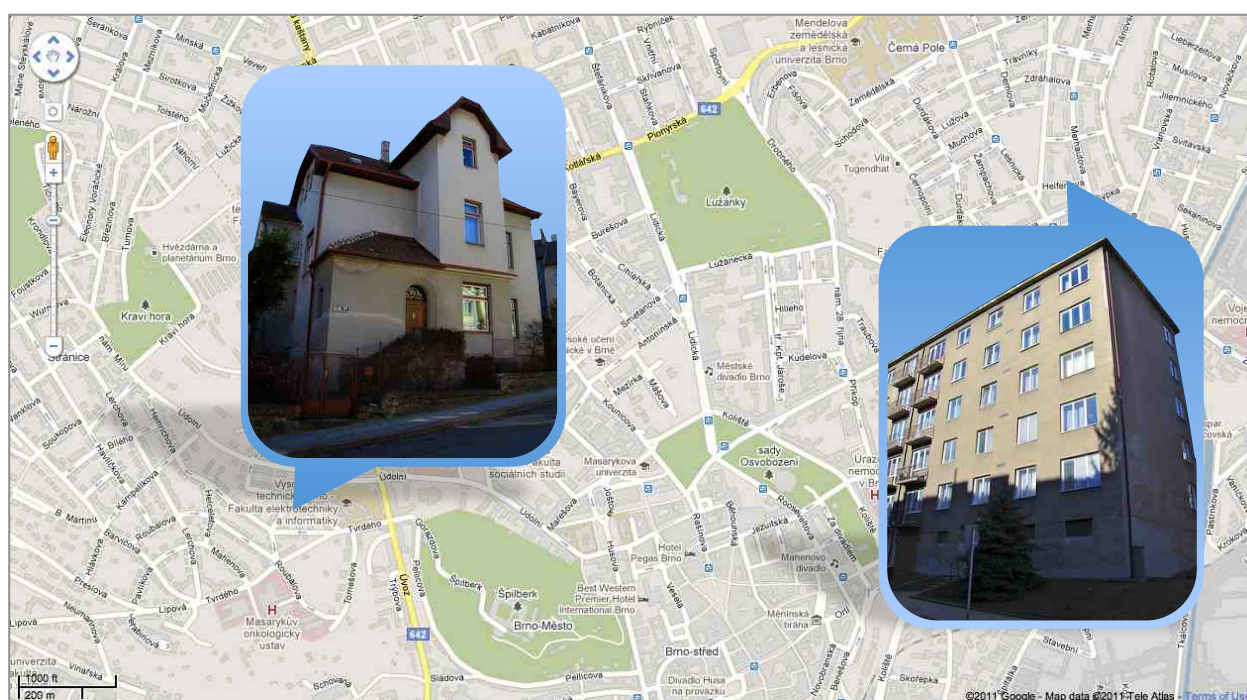
- výše podpory **450 Kč/m²** (max. na 120 m² na bytovou jednotku)

4.

BUDOVY SIMULACE

4.1 BUDOVY

Práce je zaměřena na zvýšení tepelně-izolačních parametrů klasických (cihlových) obytných budov, podle vlastního výběru za předpokladu splnění reprezentace jednoho rodinného a jednoho bytového domu. Oba objekty se nacházejí v Brně a jsou pro názornost zobrazeny na obr. 4.1 (foto při pohledu z ulice) spolu s jejich orientací vůči světovým stranám a umístění v městské zástavbě.



Obr. 4.1 Mapa vybrané části Brna s lokací simulovaných stavebních objektů; mapa [11]

Podkladem pro zpracování simulací byly částečné a neúplné plány obou objektů v dobové papírové podobě. Chybějící rozměry musely být proměřeny pro přesné vytvoření výkresů v elektronické podobě (viz přílohy).

4.1.1 BYTOVÝ DŮM

Bytový dům se nachází v městské části Brno – Černá Pole a pochází z počátku 60. let. Převážnou část obálky budovy tvoří cihlové zdi o tloušťce 37,5 cm. Objekt není podsklepen a přízemí je tvořeno užitnými nevytápěnými místnostmi, nad kterými se nachází pět obytných pater, každé po třech bytech. Byty jsou koncipovány podle klasické dobové dispozice 2+1 o ploše 52 m² (krajní symetrické byty) a 51 m² (byt

prostřední situovaný podélně do ulice). Konstrukční výška patra je 3 m. V objektu je instalována dvoutrubková otopná soustava a jako zdroj tepla je použita parní výměňková stanice (nacházející se ve vedlejším řadovém domě). Za dobu provozu budovy v ní nedošlo k žádným společným stavebním úpravám týkajících se vertikálních konstrukcí (byla však měněna střecha). Výkresová dokumentace zaznamenává původní stav (případné změny dispozice bytu byly prováděny jednotlivě, takže je obtížné je dohledat).

4.1.2 RODINNÝ DŮM

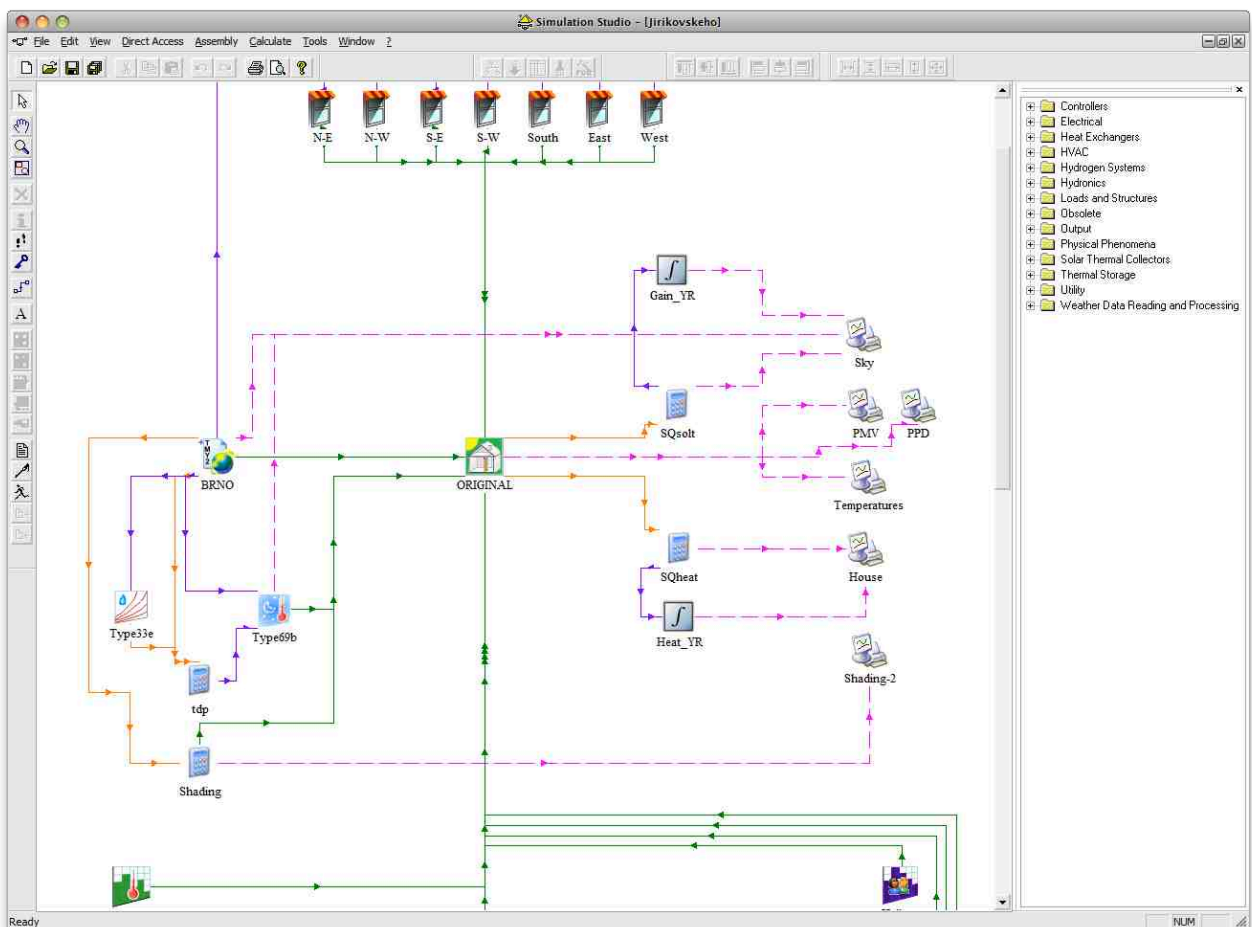
Rodinný dům v městské části Brno – Stránice byl postaven koncem 19. století a prošel rozšiřovacími stavebními úpravami v roce 1929. Obvodové zdi z pálených cihel jsou tvořeny kombinací tloušťek 30-45-60 cm. Konstrukční výška patra je 3,8 m. Současná podoba domu odpovídá necitlivé rekonstrukci v 70. letech. Budova je podsklepena a vzhledem ke kopcovitému terénu je pouze její část pod úrovní terénu. Dále je tvořena třemi obytnými patry o různých rozlohách. Původní rozdělení domu užívané jako celek s reprezentativními prostory, soukromou částí a s prostory pro služebnictvo již není respektováno a budova je nyní rozdělena na první obytné patro (rozloha cca 166 m²), druhé obytné patro (rozloha cca 140 m²) a třetí patro s půdními prostory a jednou samostatnou bytovou jednotkou. V objektu se nachází původní otopná soustava, která byla původně dvoutrubková s přirozeným oběhem a posléze nahrazena oběhem nuceným. Důsledkem původní otopné soustavy a rozdělení domu na samostatné bytové jednotky je častá tepelná nepohoda, jelikož soustava umožňuje pouze centrální regulaci pro celý objekt. V budově se za dobu jejího provozu postupně nacházel uhelný, naftový a v současné době plynový kotel. Výkresová dokumentace zaznamenává současný stav.

Jak je patrné z kap. 1.2.1 oba objekty spadají do generační kategorie, kdy byly kladeny jen minimální požadavky na koeficient prostupu tepla vertikálních a horizontálních prvků konstrukce (přesněji rodinný dům nespadá ani do kategorie požadavků mezi roky 1954 a 1964).

4.2 SIMULAČNÍ SOFTWARE

4.2.1 TRNSYS SIMULATION STUDIO

Simulační software TRNSYS je soubor programů, které jsou komerčně dostupné od roku 1975 [15]. Hlavním programem je simulační studio TRNSYS Simulation Studio, které pomocí grafického rozhraní napomáhá k intuitivnímu vytvoření simulace za pomoci vkládání a spojování různých komponent požadované funkce, profilu řízení apod. Jak již bylo zmíněno v kap. 1.3.1 o simulačních metodách, je potřebné zadat průměrná meteorologická data pro požadovanou oblast – v tomto případě Brno. Výsledky simulací jsou zobrazovány pomocí programové části TRNExe nebo je také možné je exportovat do externího souboru, který se následně vyhodnotí v tabulkovém procesoru. Grafické rozhraní simulačního studia je zobrazeno na obr. 4.2.

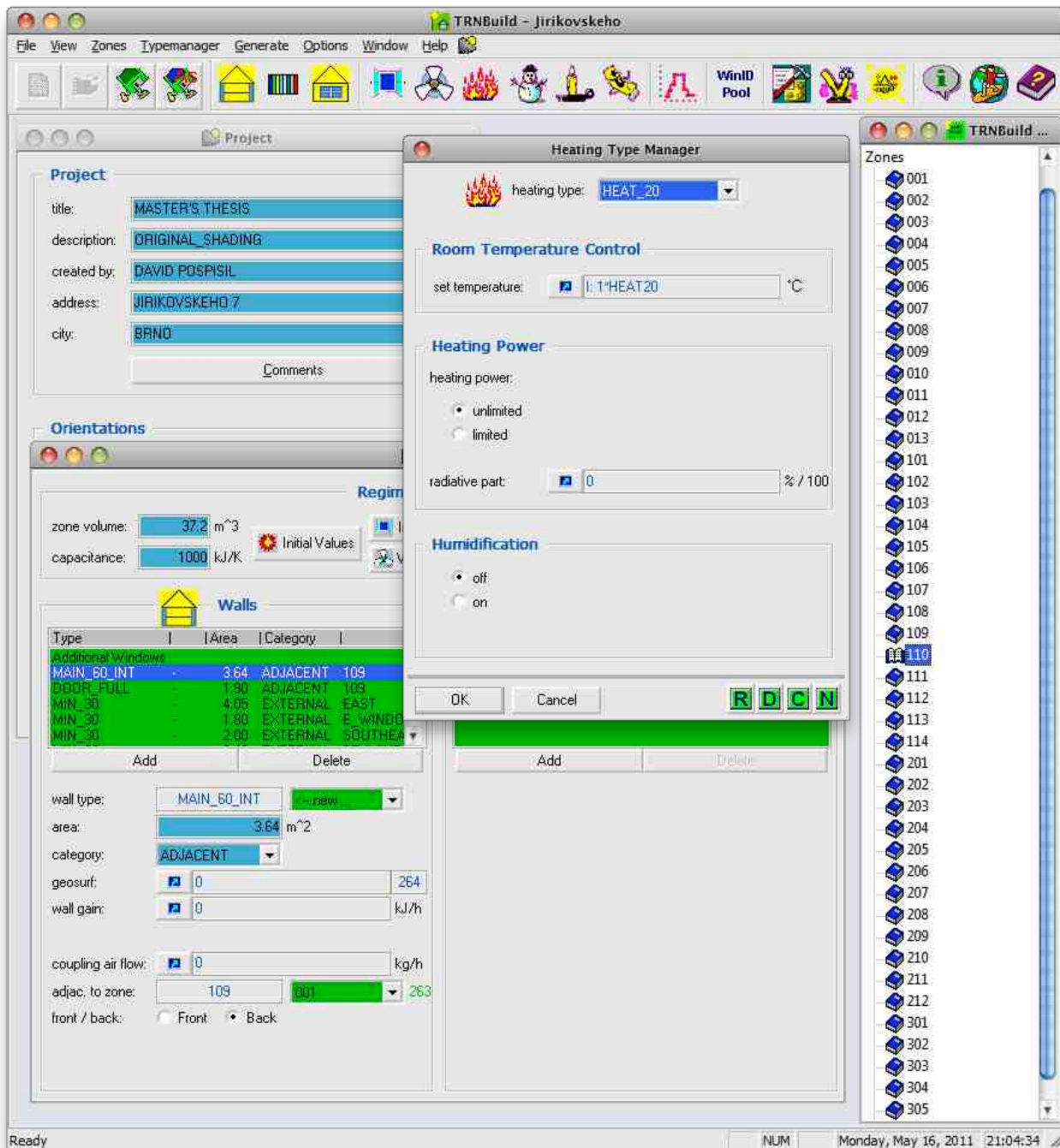


Obr. 4.2 Příklad grafického rozhraní TRNSYS Simulation Studio na vytvořené simulaci

4.2.2 TRNBUILD

Klíčová komponenta v případě simulace budov je **Type 56 – Multi-Zone Building**. Pro její editaci je nutná druhá podstatná část programu TRNSYS, což je TRNBuild. Budova je zde zadávána v 1D prostředí pomocí zadefinování veškerých konstrukčních prvků budovy (stavební konstrukce, výplně stavebních otvorů) podle požadovaných parametrů. U externích konstrukčních prvků je nutné zadat jejich orientaci vzhledem ke

světovým stranám a případně viditelnost vůči slunci a u interních konstrukčních prvků je nutné definovat vazbu s vedlejšími místnostmi nebo jestli se jedná o podmínku okrajovou (symetrickou nebo definovanou uživatelem). Dále jsou zde definovány typy vytápění, chlazení, vnitřní zdroje tepla apod. s možností konstantní hodnoty, řízení podle profilu zadaného v TRNBuild nebo pomocí vstupu, který je pak řízen komponentami simulačního studia. Ukázka programu TRNBuild je na obr. 4.3.



Obr. 4.3 Prostředí části programu TRNSYS – editor budov TRNBuild

4.3 NASTAVENÍ SIMULACÍ

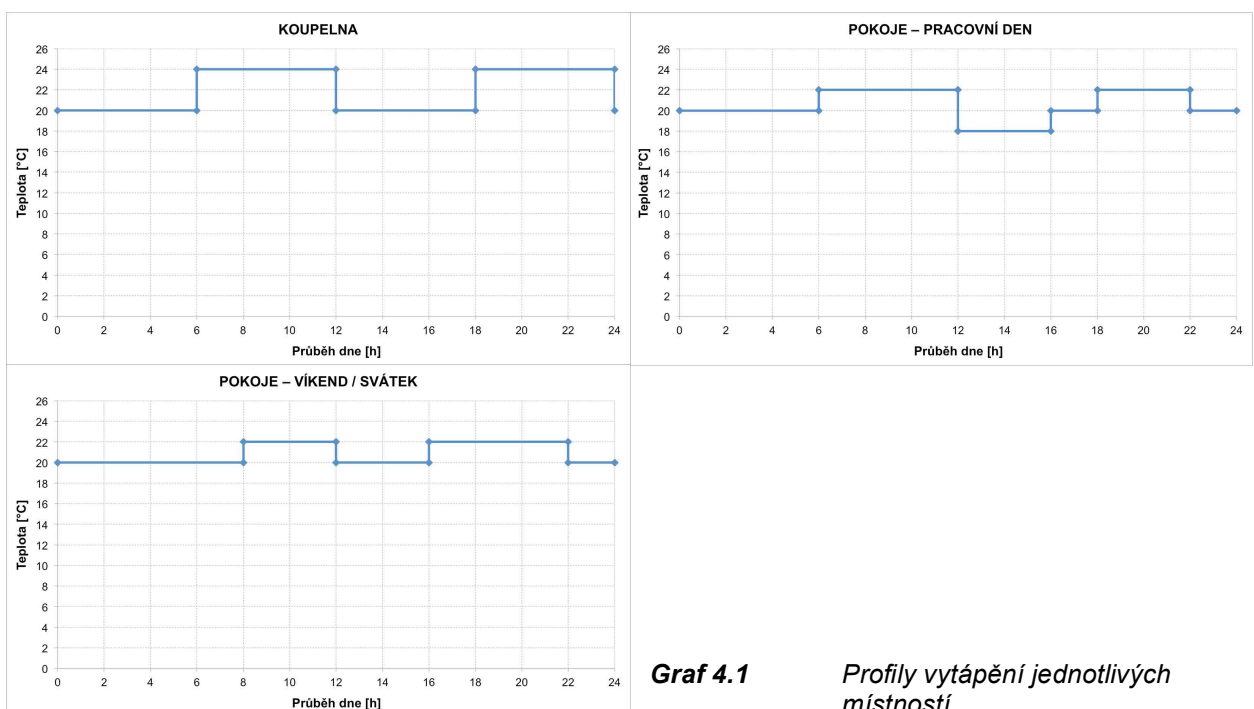
Vzhledem k rozsáhlosti zadání a volbě členitě velmi obtížného rodinného domu byla simulace bytového domu zjednodušena pouze na jedno ideální patro se symetrickými okrajovými podmínkami stropu a podlahy. Přestože byl bytový dům v programu TRNBuild původně vymodelován celý, došlo při editaci posledního patra k chybě, kterou se nepodařilo odstranit (nejspíše se jednalo o příliš velké množství zón, jelikož se problém začal objevovat po překročení zhruba 100. zóny). Posléze bylo tedy přikročeno k řešení pouze jednoho patra. Rodinný dům byl bez problémů zadefinován celý.

U obou objektů byla snaha o co nejpřesnější simulaci slunečních zisků. Byly zadávány odhadnuté faktory zastínění konkrétních zdí stromy, okolními objekty apod. Dále bylo zvoleno již v původním stavu stínění oken clonicími prvky, které jsou ve většině případů obyvateli používány (z důvodů viz kap. 2.2.4 intenzita osvětlení). Podmínka stínění byla definována pro všechny světové strany totožně s ohledem na vliv solárních zisků v zimním období a byla nastavena podmínka clonění od hodnoty, kdy teplota vnějšího vzduchu překročí 10 °C.

4.3.1 PROFILY ŘÍZENÍ

Ve všech simulacích se vyskytují totožné profily řízení vytápění, počtu obyvatel v místnostech, osvětlení a větrání. Vzhledem k obytnému charakteru obou objektů je velmi obtížné odhadnout přesný provoz v objektu a dochází tak k následným odchylkám výsledků simulací od reálného provozu. Proto bylo k problematice simulace obytných budov přistupováno spíše z pohledu zažitých provozních zvyklostí, než prostřednictvím matematické přesnosti (zejména při profilu větrání, kdy je těžké odhadnout chování všech obyvatel budovy). U profilů vytápění a výskytu osob bylo nutné zadefinovat nestandardní dny (svátky), které mají totožný profil jako víkend (tyto dny byly zadávány pro aktuální rok, tj. rok 2011).

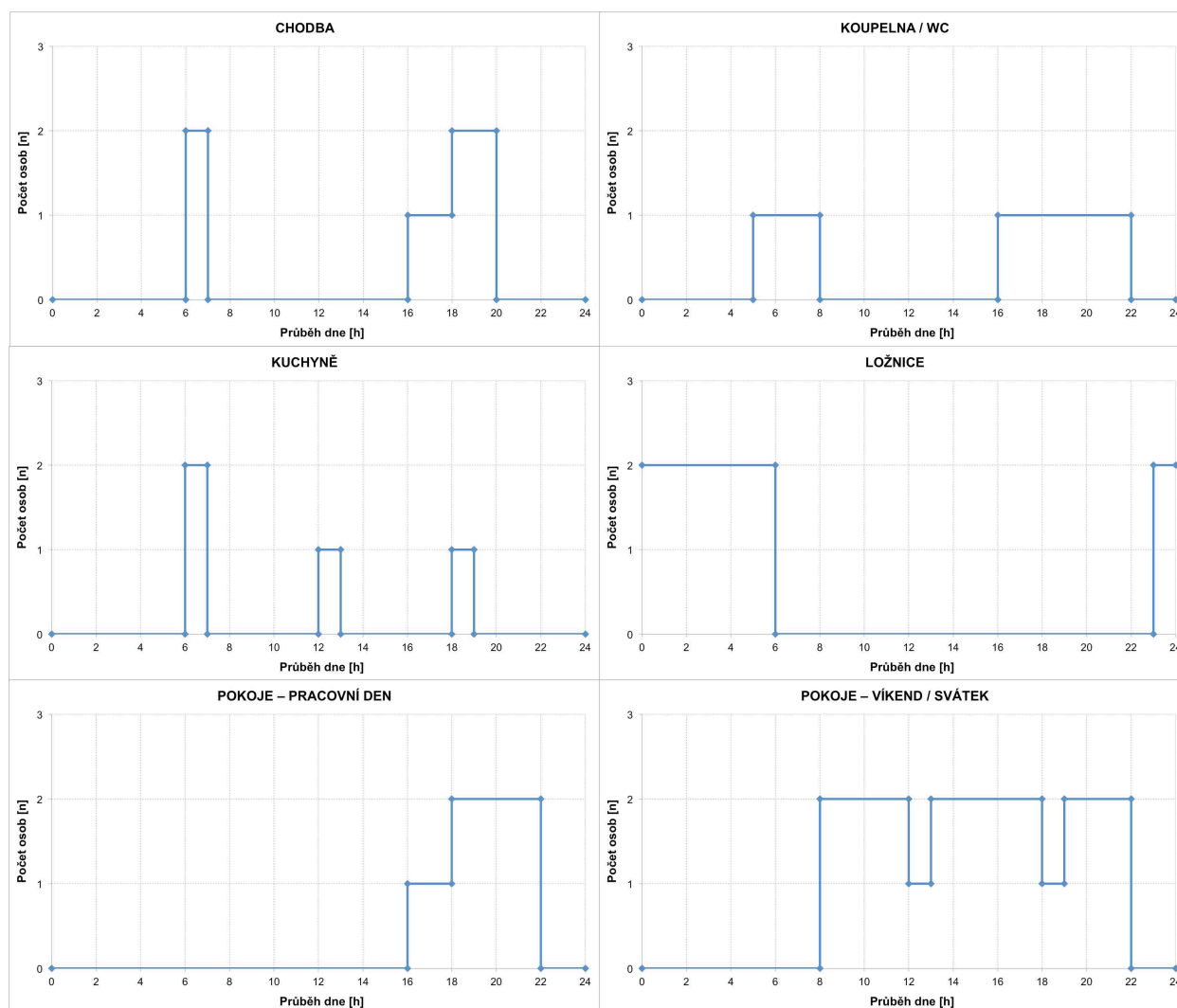
VYTÁPĚNÍ



Graf 4.1

Profily vytápění jednotlivých místností

OSOBY



Graf 4.2 Profily obsazenosti osob jednotlivých místností (odhad obsazenosti jedné bytové jednotky dvěma osobami, pro schodiště a spol. prostory použit profil chodby vynásoben odhadnutým číslem představující pohyb více lidí z bytových jednotek)

Hodnoty nabízené TRNBuild podle ISO 7730 – součet latentního a citelného tepla.

CHODBA	chůze 300 W
KOUPELNA / WC	činnost vsedě 170 W
KUCHYNĚ	lehká práce vestoje 185 W
LOŽNICE	odpočinek 100 W
POKOJE	lehká činnost v sedě 120 W

OSVĚTLENÍ

Typ umělého osvětlení je ve všech místnostech nastaven totožně s rozdílnou vztažnou podlahovou plochou.

Tepelný zisk **10 W/m²**

Konvekční složka **30%**

Hodnoty byly zvoleny podle přibližných hodnot v nabídce TRNBuild.

Vzhledem k velice nepřesnému modelu osvětlení v obytných budovách není možné tyto hodnoty zahrnout do celkové energetické bilance budovy, ale pouze jako vnitřní tepelné zisky zasahující do výpočtu potřeby tepla na vytápění.

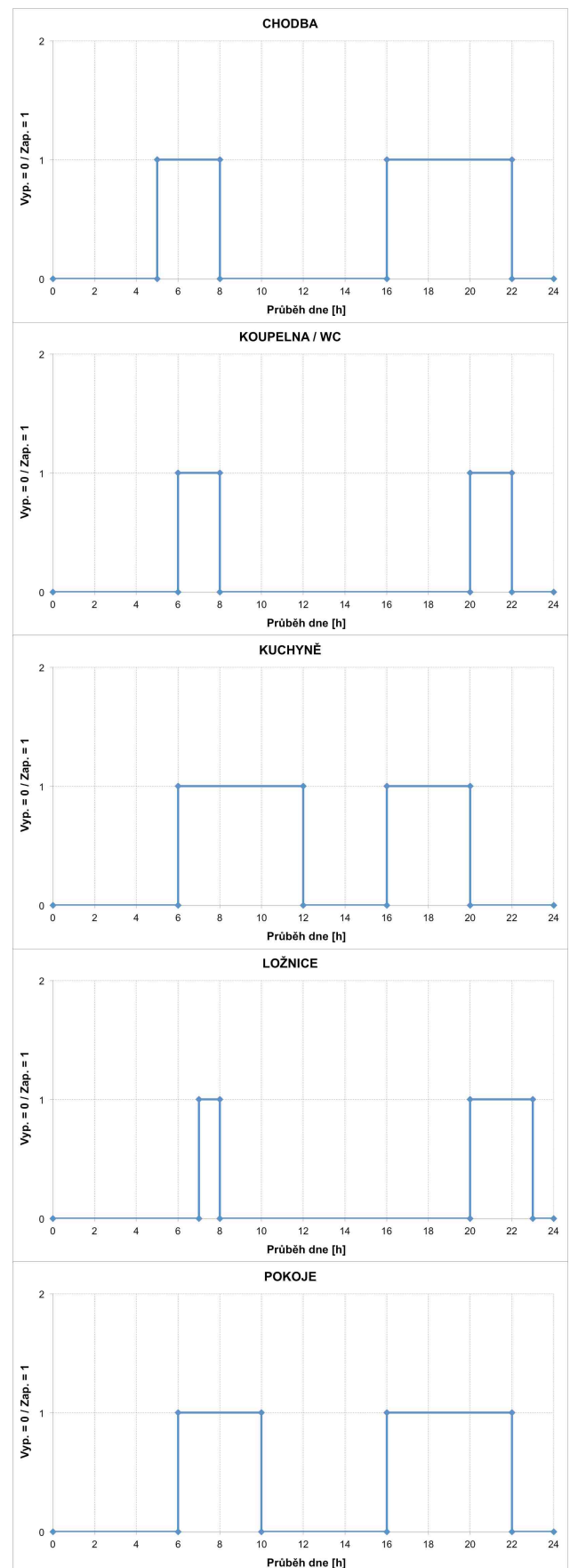
V případě budov administrativních, kde je mnohem přesněji možné podle pracovní doby simulovat dané podmínky a kde je instalováno většinou jednotné osvětlení je tato problematika mnohem lépe definovatelná.

To platí i pro další vnitřní zdroje, v jejichž případě je opět velmi těžko odhadnutelné jejich umístění v místnostech a hodnota tepla, které produkují.

Z tohoto důvodu byl proveden jediný předpoklad dalšího vnitřního zdroje v místnostech:

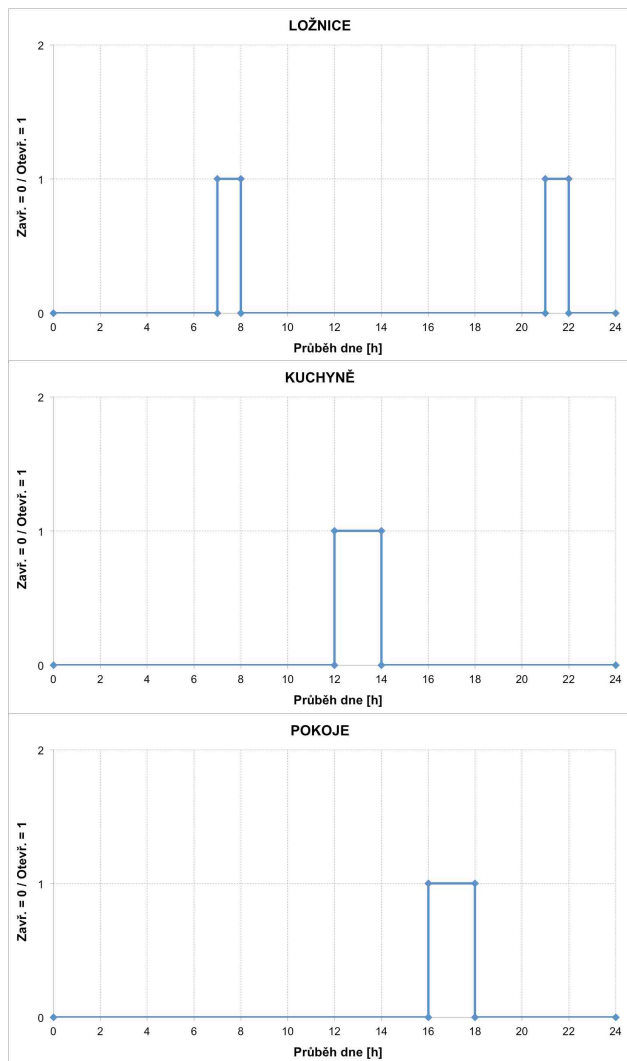
lednička v kuchyni

- nepřetržitý provoz
- zdroj tepla 230 W (hodnota TRNBuild)



Graf 4.3 Profily osvětlení jednotlivých místností

VĚTRÁNÍ



Graf 4.4 Profily větrání jednotlivých místností

Větrání je realizováno okny přívodem venkovního vzduchu. Profily znázorňují otevření okna, kde je intenzita přívodu vzduchu do místnosti řešena pomocí definovaného kalkulátoru v simulaci, ve kterém je zadaná odhadovaná hodnota výměny vzduchu v konkrétní místnosti ve vztahu k infiltraci a typu místnosti.

INFILTRACE

(neřízená profilem – pevná hodnota)

Bytový dům:

- původní okna byt $0,5 \text{ h}^{-1}$
- původní okna schodiště $0,7 \text{ h}^{-1}$
- nová okna byt $0,3 \text{ h}^{-1}$
- nová okna schodiště $0,6 \text{ h}^{-1}$

Rodinný dům:

- původní okna byt $0,5 \text{ h}^{-1}$
- původní okna nevyt. pr. $0,5 \text{ h}^{-1}$
- původní okna sklep $0,7 \text{ h}^{-1}$
- původní střecha $0,8 \text{ h}^{-1}$
- nová okna byt $0,4 \text{ h}^{-1}$
- nová okna nevyt. pr. $0,4 \text{ h}^{-1}$
- zaizolovaná střecha $0,5 \text{ h}^{-1}$

4.3.2 KOMFORT

Program TRNSYS umožňuje podle zadaných parametrů tepelného odporu oděvu, tělesné činnosti člověka a relativního proudění vzduchu měřit parametry související s pohodou prostředí. Indexy *PMV* a *PPD* byly sledovány pouze ve vybraných místnostech: kuchyně, ložnice a vytápěné pokoje.

Hodnoty tělesné činnosti byla zvoleny podle [3] a odpovídající hodnoty tepelného odporu oděvu byly odečteny z obr. 2.3 pro dosažení tepelné pohody při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

KUCHYŇĚ	$M = 1,6 \text{ met}$	$R_{cl} = 0,8 \text{ clo}$
LOŽNICE	$M = 0,8 \text{ met}$	$R_{cl} = 1,9 \text{ clo}$
POKOJE	$M = 1,2 \text{ met}$	$R_{cl} = 1,2 \text{ clo}$

4.3.3 STAVEBNÍ KONSTRUKCE

Příklad výpočtu součinitele prostupu tepla obvodové stěny rodinného domu:

- **vrstvy stěny:** pálená cihla (45 cm)
omítka břizolit (5 cm)
- **vstupní hodnoty [3]:** $\lambda_{\text{cihla}} = 0,78 \text{ W/(mK)}$
 $\lambda_{\text{omítka}} = 0,99 \text{ W/(mK)}$
 $R_{\text{si}} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $R_{\text{se}} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

$$R = \sum \frac{d_j}{\lambda_j} = \frac{0,45}{0,78} + \frac{0,05}{0,99} = 0,638 \text{ m}^2\text{K/W} \quad [3] \quad (4.1)$$

$$R_T = R_{\text{si}} + R + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,639 + 0,04 = 0,809 \text{ m}^2\text{W/K} \quad [3] \quad (4.2)$$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,638} = 1,235 \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad [3] \quad (4.3)$$

Po zdefinování fyzikálních vlastností všech použitých stavebních konstrukcí je hodnota součinitele prostupu tepla totožné stěny vypočtená programem rovna:

$$U = 1,254 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Jelikož platí, že čím nižší je hodnota součinitele prostupu tepla konstrukce, tím vyšší jsou její izolační schopnosti, je vyšší výpočtová hodnota programu TRNBuild přijatelná. Dále uvedené hodnoty koeficientů prostupu tepla v tab. 4.1 a tab. 4.3 jsou hodnoty vypočtené softwarem.

Příklad výpočtu součinitele prostupu tepla špaletového okna rodinného domu:

- **parametry okna:** vnější nové izolační sklo $U_{w1} = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
vnitřní jednoduché sklo $U_{w2} = 5,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- **vstupní hodnoty [3]:** $R_{\text{si}} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $R_s = 0,175 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $R_{\text{se}} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} - R_{\text{si}} + R_s - R_{\text{se}} + \frac{1}{U_{w2}}} \quad [3] \quad (4.4)$$

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{1,3} - 0,13 + 0,175 - 0,04 + \frac{1}{5,8}} \approx 1,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Hodnoty součinitele prostupu tepla výplněmi stavebních konstrukcí uvedené v tab. 4.2 a tab. 4.4 byly následně vybrány z jedné z dostupných knihoven v programu TRNBuild.

BYTOVÝ DŮM

Tab. 4.1 Přehled staveb. konstrukcí tvořících obálku bytového domu s uvedenými hodnotami součinitele prostupu tepla současného stavu a izolace pro dosažení hodnot normy

původní stav [cm]	U [W/(m ² K)]	požadované ČSN 0540-2 [cm]	U [W/(m ² K)]	doporučené ČSN 0540-2 [cm]	U [W/(m ² K)]
		těžká	< 0,38	těžká	< 0,25
zdivo 50 břizolit 2	1,203	+ EPS 7	0,373	+ EPS 12	0,250
		+ RW 8	0,359	+ RW 14	0,235
zdivo 37,5 břizolit 2	1,363	+ EPS 8	0,352	+ EPS 13	0,240
		+ RW 8	0,372	+ RW 14	0,241
zdivo 25 břizolit 2	1,958	+ EPS 9	0,347	+ EPS 14	0,238
		+ RW 10	0,335	+ RW 16	0,226

Tab. 4.2 Přehled výplní staveb. otvorů u bytového domu s uvedenými hodnotami součinitele prostupu tepla současného stavu a po výměně pro dosažení hodnot normy

původní stav [cm]	U [W/(m ² K)]	požadované ČSN 0540-2	U [W/(m ² K)]	doporučené ČSN 0540-2	U [W/(m ² K)]
			< 1,7		< 1,2
zdvojené okno	2,83	izolační dvojsklo	1,27	izolační trojsklo	0,86
luxfery	2,30	izolační dvojsklo	1,4	–	–

RODINNÝ DŮM

Tab. 4.3 Přehled staveb. konstrukcí tvořících obálku rodinného domu s uvedenými hodnotami součinitele prostupu tepla současného stavu a izolace pro dosažení hodnot normy

původní stav [cm]	U [W/(m ² K)]	požadované ČSN 0540-2 [cm]	U [W/(m ² K)]	doporučené ČSN 0540-2 [cm]	U [W/(m ² K)]
		těžká	< 0,38	těžká	< 0,25
zdivo 60 břizolit 5	1,010	+ EPS 7	0,352	+ EPS 12	0,241
		+ RW 7	0,370	+ RW 14	0,227
zdivo 45 břizolit 5	1,254	+ EPS 7	0,378	+ EPS 13	0,237
		+ RW 8	0,363	+ RW 14	0,237
zdivo 30 břizolit 5	1,653	+ EPS 8	0,368	+ EPS 13	0,248
		+ RW 10	0,328	+ RW 14	0,248

Tab. 4.4 Přehled výplní staveb. otvorů u rodinného domu s uvedenými hodnotami součinitele prostupu tepla současného stavu a po výměně pro dosažení hodnot normy

původní stav [cm]	U [W/(m ² K)]	požadované ČSN 0540-2	U [W/(m ² K)] < 1,7	doporučené ČSN 0540-2	U [W/(m ² K)] < 1,2
dvojité okno	2,26	–	–	vnější izol. dvojsklo	1,05
jednoduché okno	5,68	izolační dvojsklo	1,3	–	–

U všech dodatečných tepelných izolací je počítáno se stejnými podmínkami instalace:

- izolace bude aplikována na stávající omítku bez nutnosti jejího odstranění
- na izolaci bude nanесena nová lehká omítko o tloušťce 0,5 cm
- po instalaci těsnějších oken a zaizolování obvodového pláště se nijak nezmění chování uživatelů, tzn. nedojde k zintenzivnění větrání z důvodu porovnatelnosti dosažených výsledků

Pro **bytový dům** je specifické:

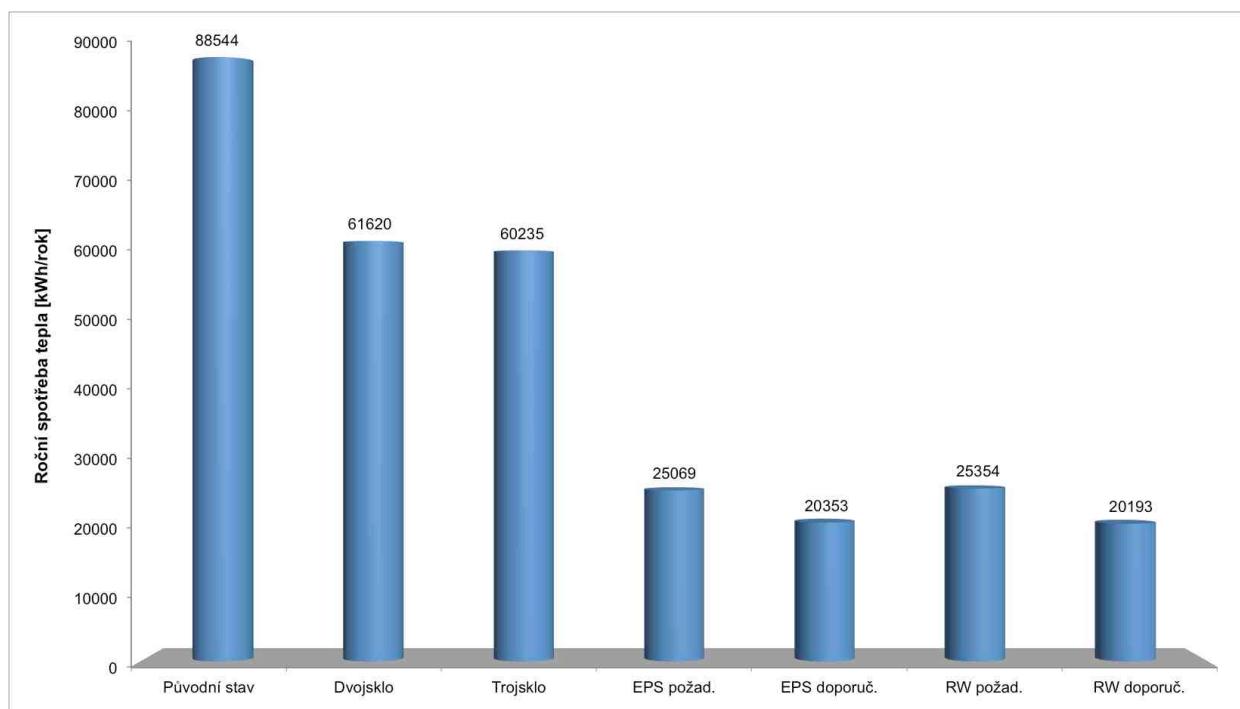
- při instalaci izolace podle hodnot požadovaných normou ČSN 0540-2 jsou použita okna s izolačním dvojsklem
- při instalaci izolace podle hodnot doporučených normou ČSN 0540-2 jsou použita okna s izolačním trojsklem
- výsledné hodnoty jsou pětinasobkem hodnot jednoho ideálního patra

Pro **rodinný dům** je specifické:

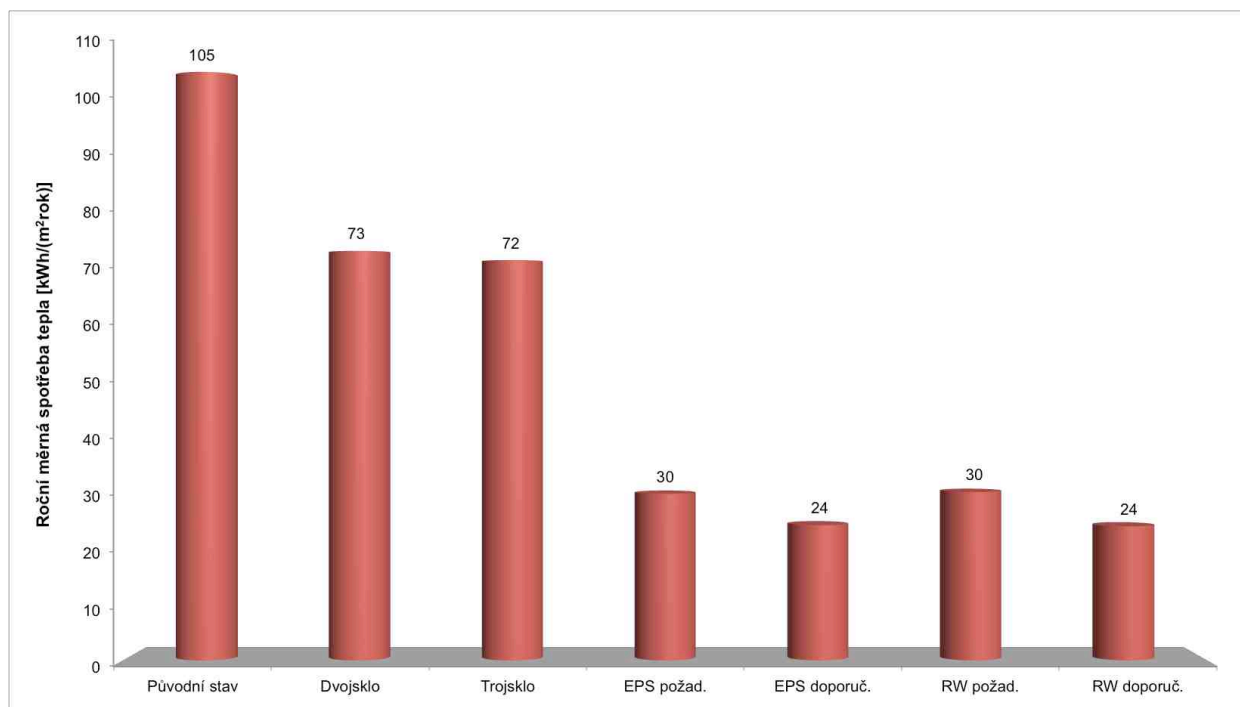
- daným izolačním dvojsklem je osazeno vnější křídlo současných špaletových oken pro všechny typy izolace
- výsledné hodnoty jsou výstupem celého domu
- při izolaci obvodového pláště budovy podle hodnot doporučených normou ČSN 0540-2 je tak přístupováno i k izolaci střechy (která však není zahrnuta do výsledného ekonomického hodnocení z důvodu malého vlivu na výsledky a z důvodu částečného geometrického zjednodušení)

4.4 VYHODNOCENÍ SIMULACÍ

4.4.1 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BYTOVÉHO DOMU



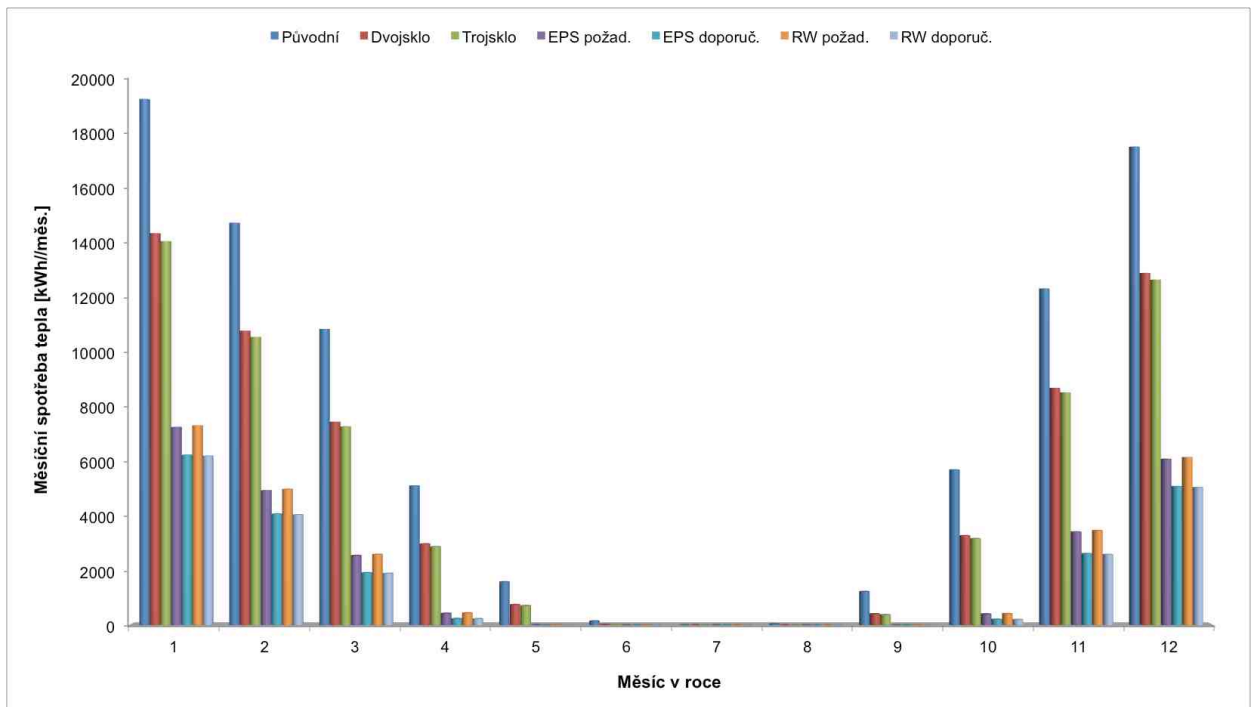
Graf 4.5 *Roční potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát bytového domu v jeho původním stavu, po výměně oken a po výměně oken se zateplením pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW podle požadovaných a doporučených hodnot*



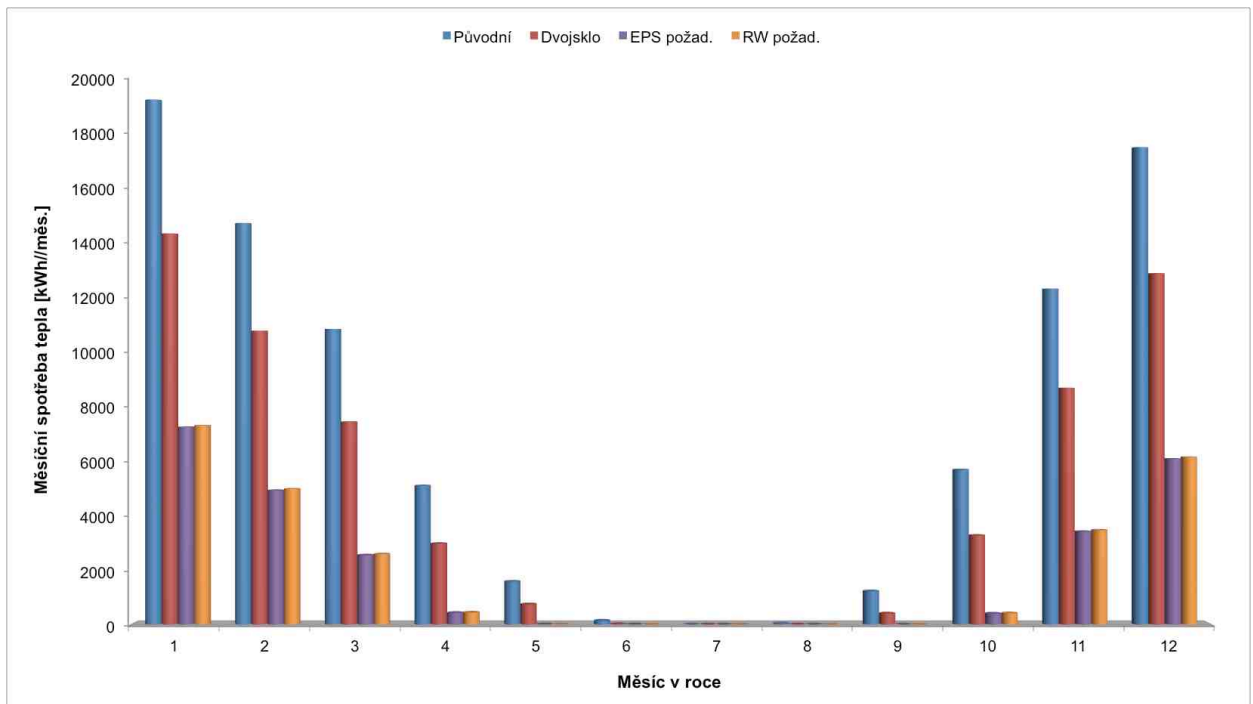
Graf 4.6 *Roční měrná potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát bytového domu v jeho původním stavu, po výměně oken a po výměně oken se zateplením pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW podle požadovaných a doporučených hodnot*

MĚSÍČNÍ BILANCE

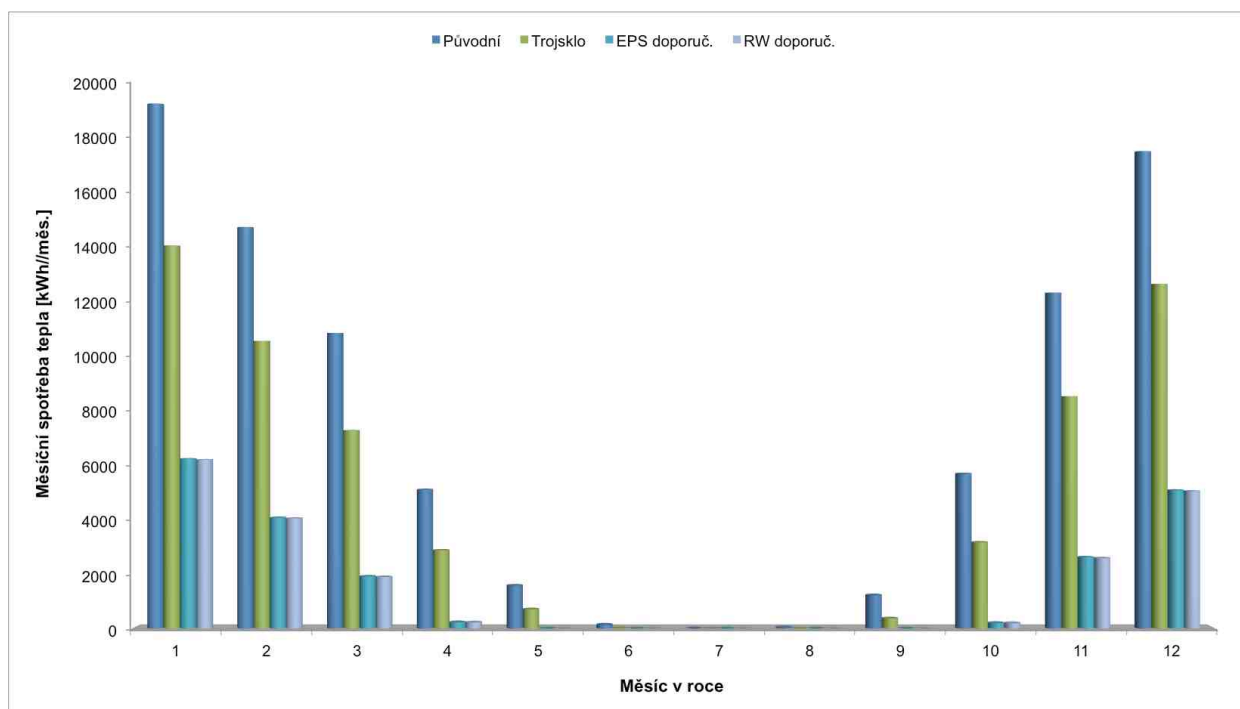
Grafy jsou uvedeny v následujícím pořadí: vše, požadované hodnoty ČSN 0540-2, doporučené hodnoty ČSN 0540-2 a výběr hodnot pouze pro konstrukční prvky budovy.



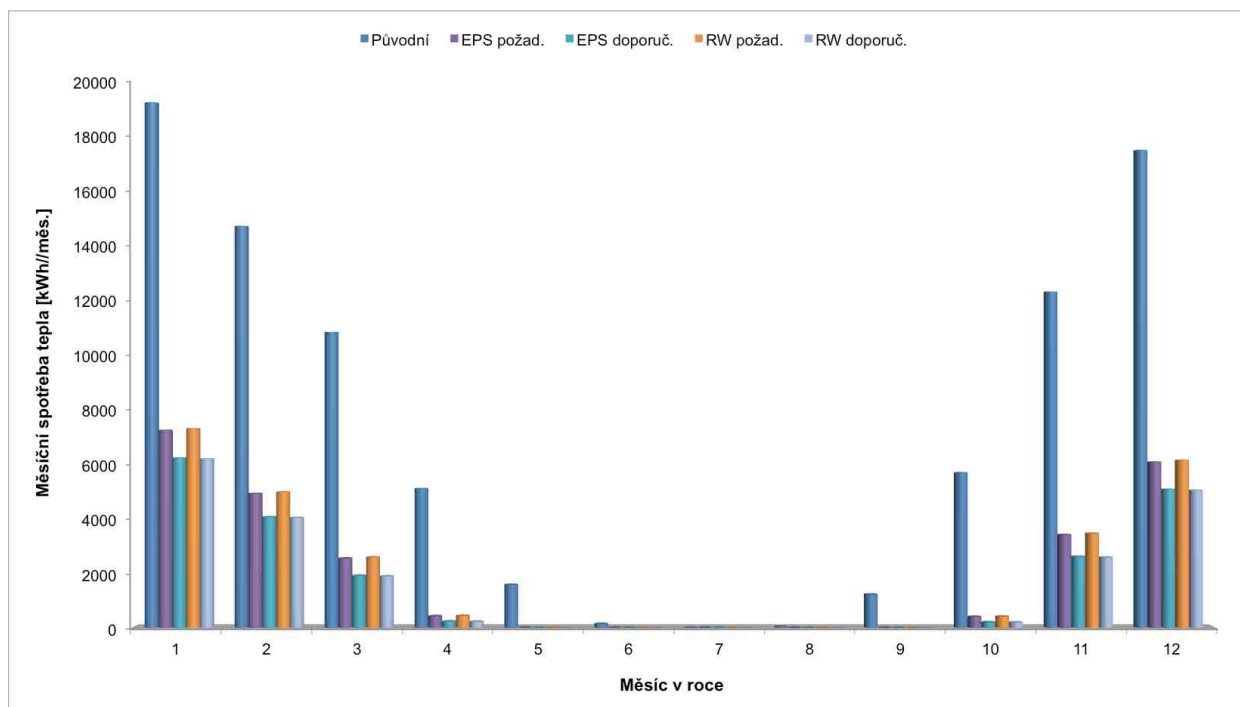
Graf 4.7 Měsíční potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát bytového domu v jeho původním stavu, po výměně oken a po výměně oken se zateplením pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW podle požadovaných a doporučených hodnot



Graf 4.8 Měsíční potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát bytového domu v jeho původním stavu, při dodržení požadovaných hodnot pro výměnu oken a pro zateplení pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW



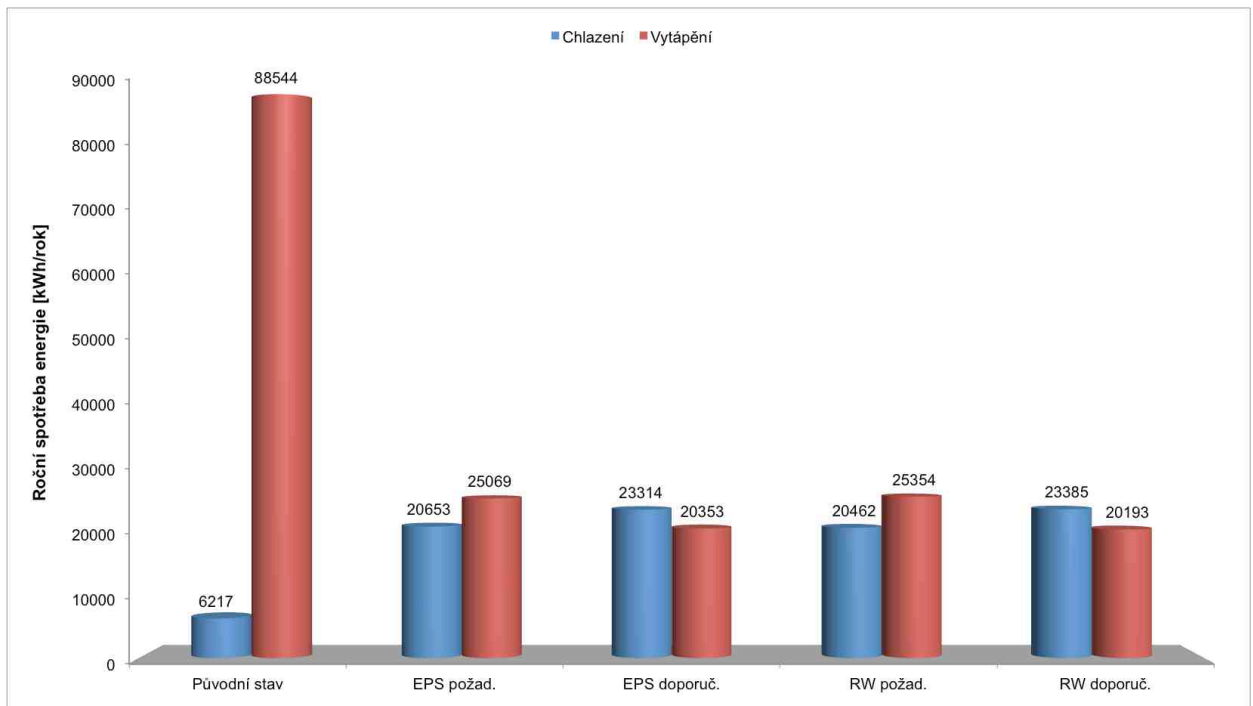
Graf 4.9 Měsíční potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát bytového domu v jeho původním stavu, při dodržení doporučených hodnot pro výměnu oken a pro zateplení pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW



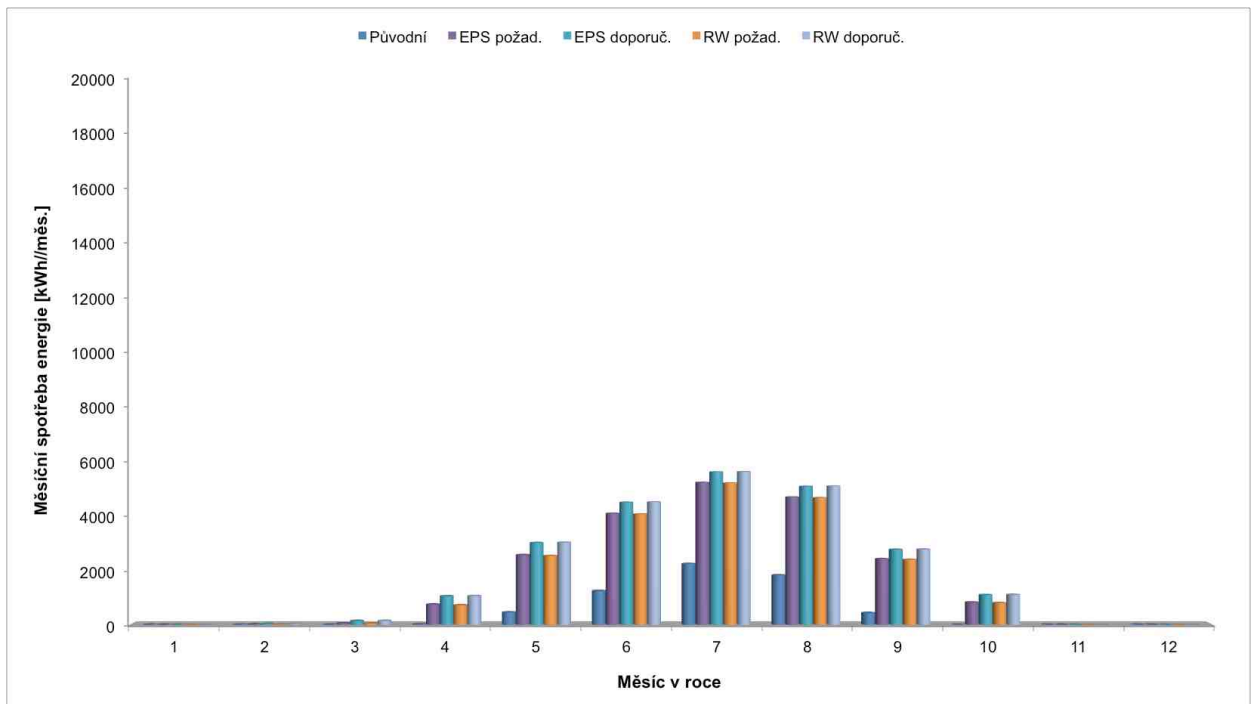
Graf 4.10 Měsíční potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát bytového domu v jeho původní stavu, při dodržení požadovaných a doporučených hodnot pro zateplení pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW

POTŘEBA CHLAZENÍ

V kuchyni, ložnici a obývacím pokoji byla použita klimatizace nastavená na pevnou hodnotu 26 °C. Pro porovnání se zateplenými stavby byla použita i ve stavu původním.



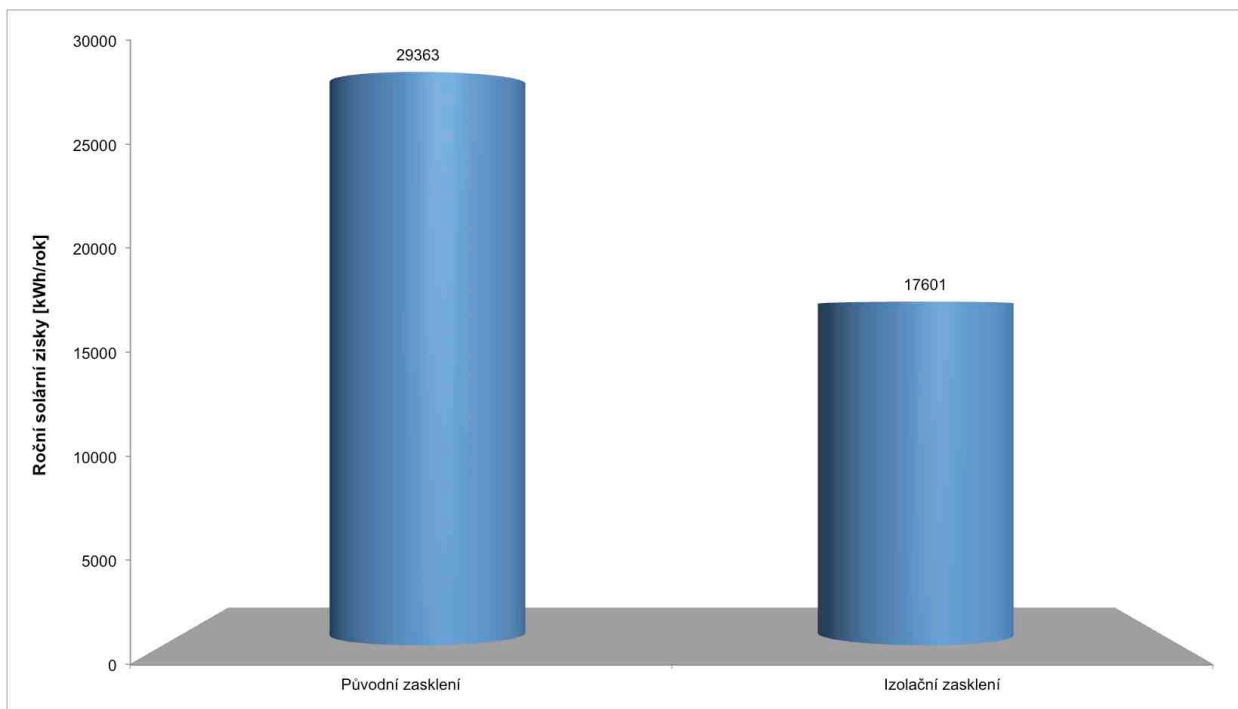
Graf 4.11 *Roční potřeba energie na chlazení místností s podmínkou max. vnitřní teploty vzduchu 26 °C pro porovnání s roční potřebou tepla na vytápění domu v jeho původním stavu a po zateplení pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW*



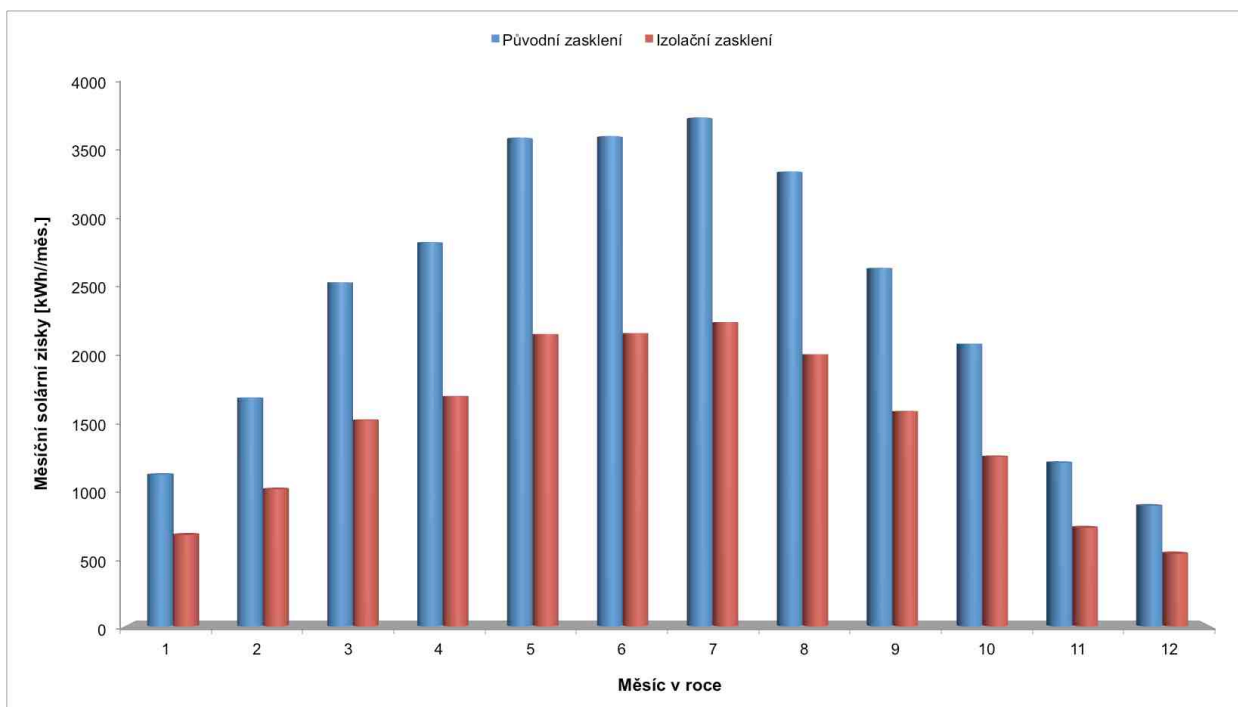
Graf 4.12 *Měsíční potřeba energie na chlazení místností s podmínkou max. vnitřní teploty vzduchu 26 °C v původním stavu a po zateplení pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW*

4.4.2 SOLÁRNÍ ZISKY BYTOVÉHO DOMU

Solární zisky interiérových prostor bytového domu s okny před a po jejich výměně.



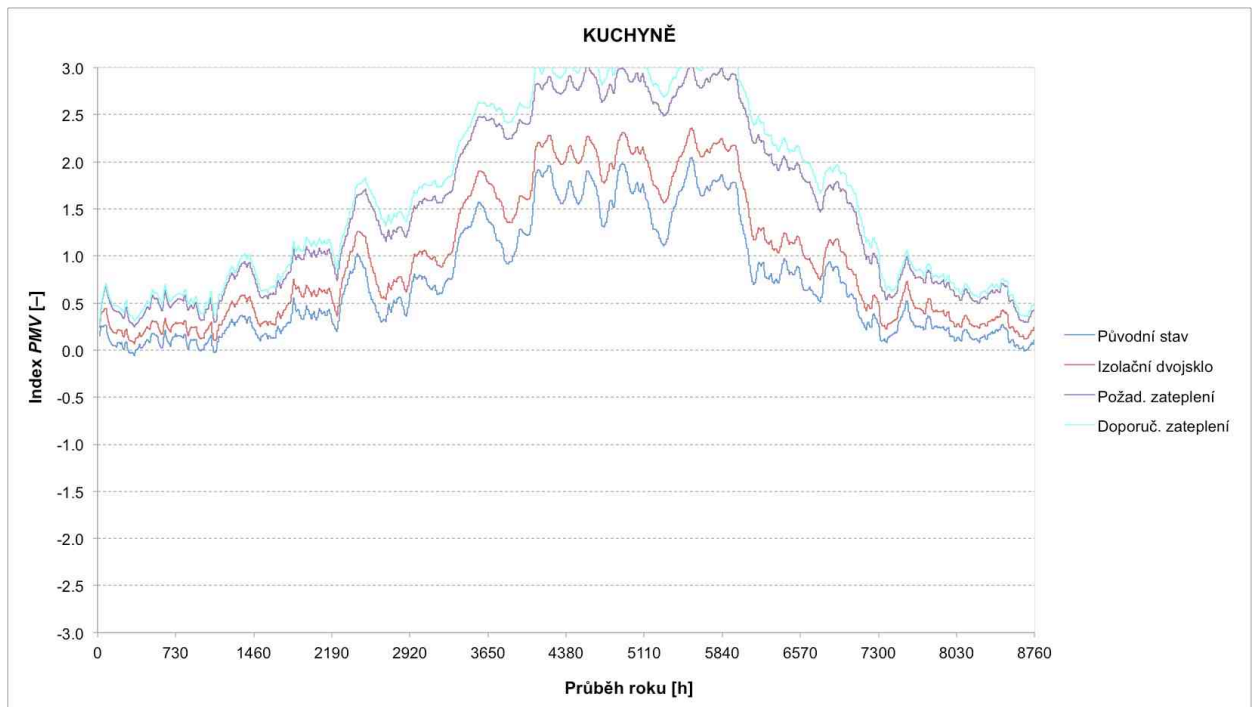
Graf 4.13 Roční solární zisky bytového domu s původními zdvojenými okny a po instalaci nových izolačních oken



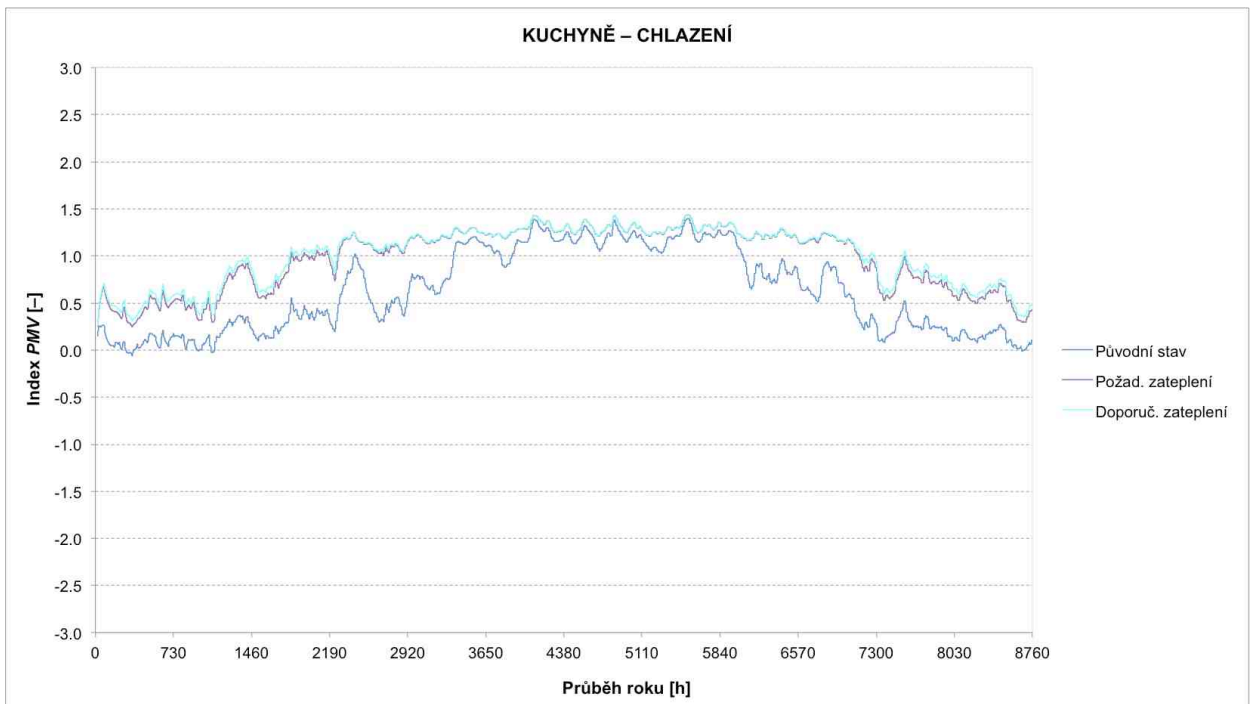
Graf 4.14 Měsíční solární zisky bytového domu s původními zdvojenými okny a po instalaci nových izolačních oken

4.4.3 KOMFORT BYTOVÉHO DOMU

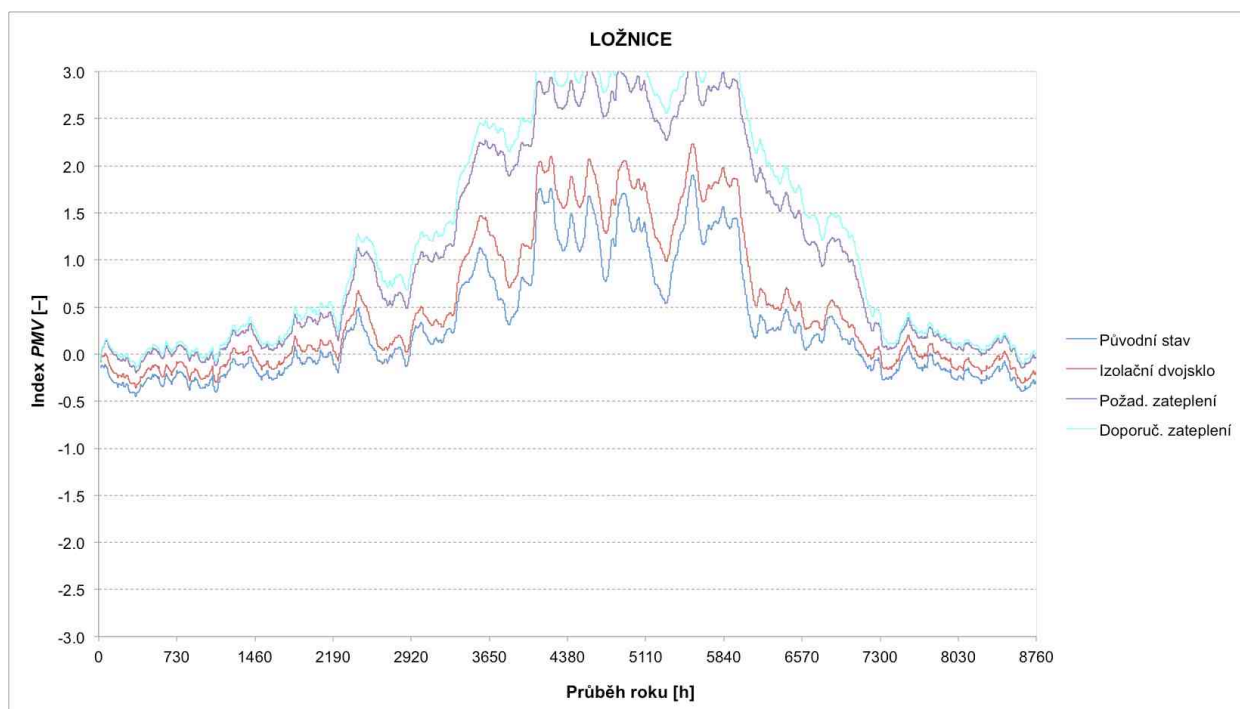
Hodnoty indexu *PMV* byly pro stejný typ sledovaných místností zprůměrovány.



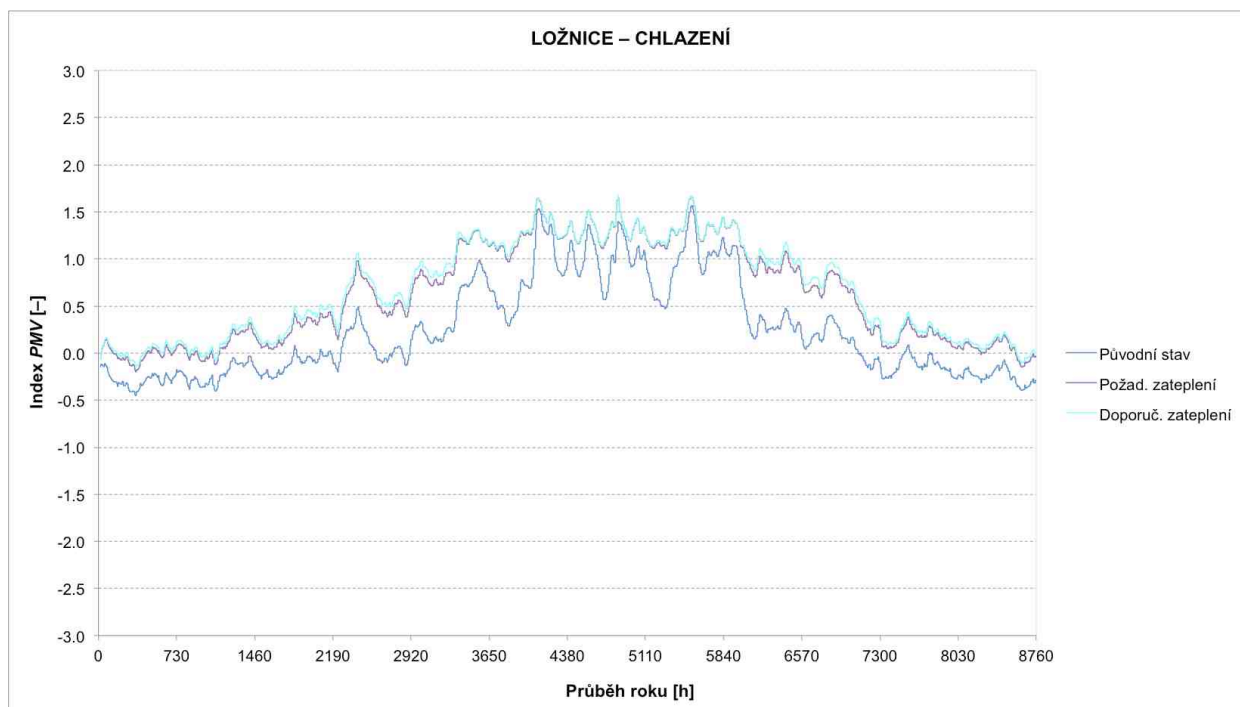
Graf 4.15 Hodnoty indexu *PMV* v průběhu roku pro průměrnou hodnotu 3 sledovaných kuchyní v současném stavu a po instalaci opatření na snížení potřeby tepla na vytápění



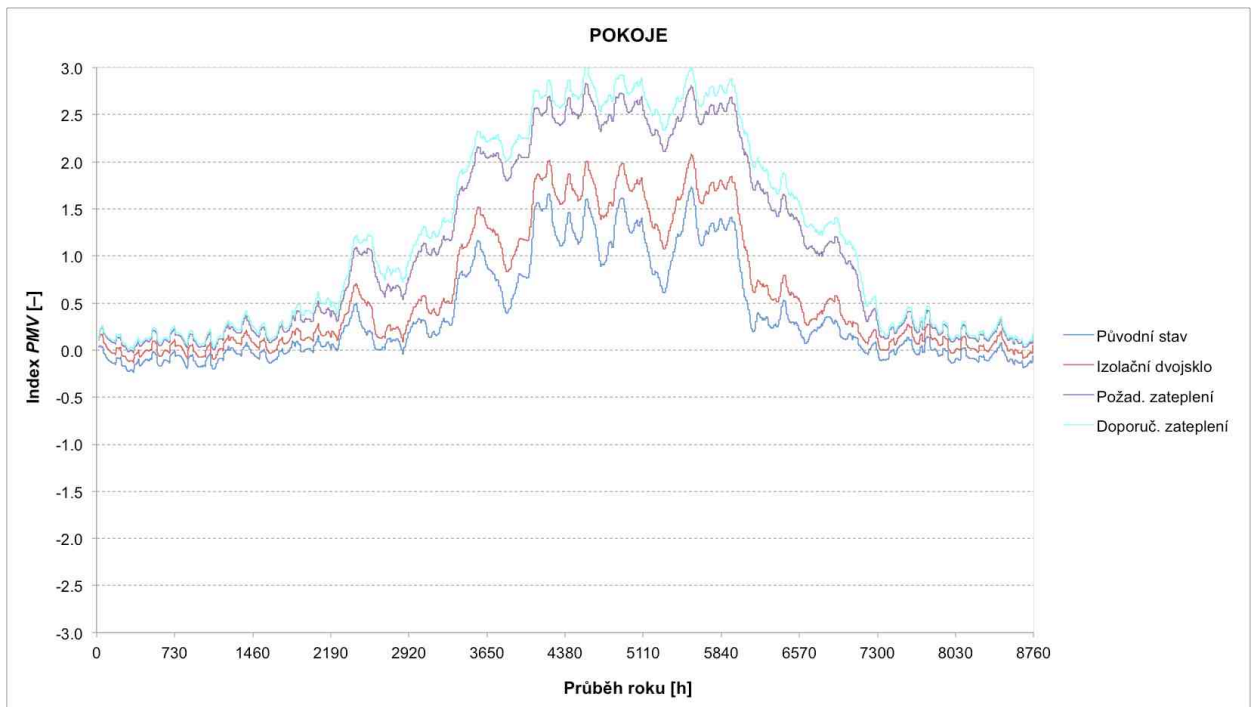
Graf 4.16 Hodnoty indexu *PMV* v průběhu roku pro průměrnou hodnotu 3 sledovaných kuchyní v současném stavu a po instalaci opatření na snížení potřeby tepla na vytápění s klimatizací (klimatizace pouze s výměnou oken není uvažována)



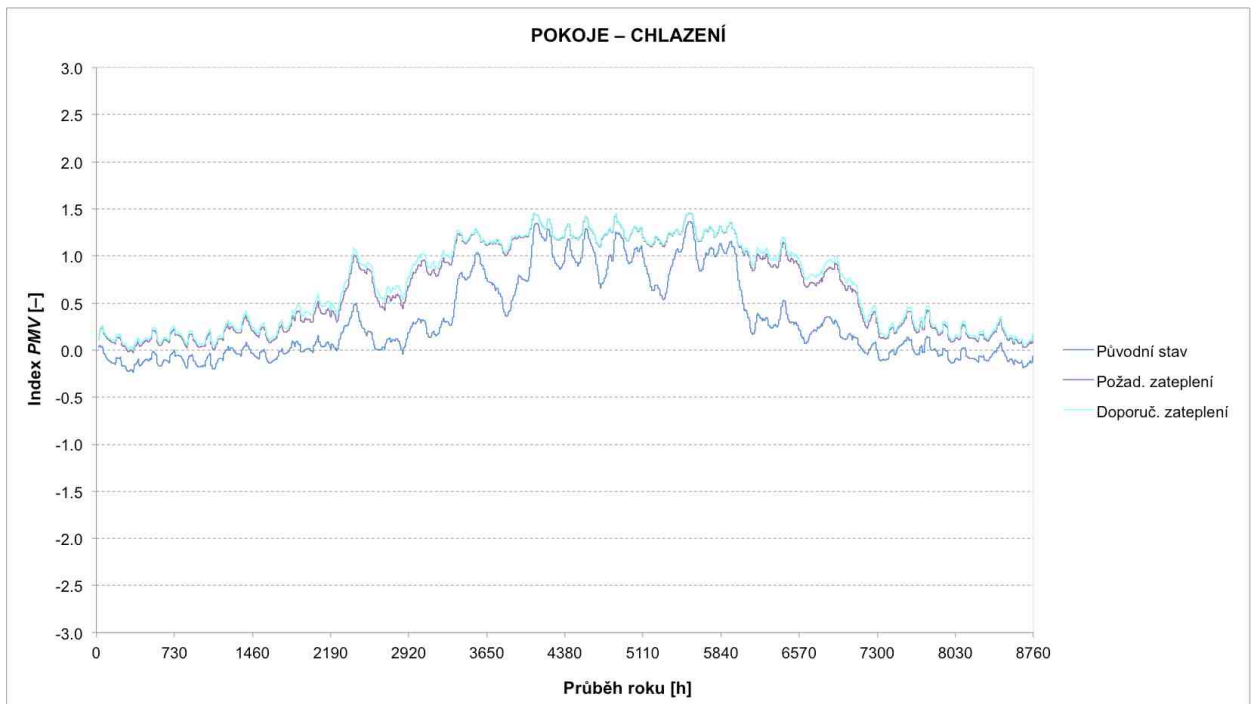
Graf 4.17 Hodnoty indexu PMV v průběhu roku pro průměrnou hodnotu 3 sledovaných ložnic v současném stavu a po instalaci opatření na snížení potřeby tepla na vytápění



Graf 4.18 Hodnoty indexu PMV v průběhu roku pro průměrnou hodnotu 3 sledovaných ložnic v současném stavu a po instalaci opatření na snížení potřeby tepla na vytápění s klimatizací (klimatizace pouze s výměnou oken není uvažována)



Graf 4.19 Hodnoty indexu PMV v průběhu roku pro průměrnou hodnotu 3 sledovaných obývacích pokojů v současném stavu a po instalaci opatření na snížení potřeby tepla na vytápění



Graf 4.20 Hodnoty indexu PMV v průběhu roku pro průměrnou hodnotu 3 sledovaných obývacích pokojů v současném stavu a po instalaci opatření na snížení potřeby tepla na vytápění s klimatizací (klimatizace pouze s výměnou oken není uvažována)

4.4.4 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ BYTOVÉHO DOMU

Cena tepelné energie [9]: $C_T = 1,908 \text{ Kč/kWh}$

Cena elektrické energie [9]: $C_E = 4,540 \text{ Kč/kWh}$

VÝMĚNA OKEN – DVOJSKLO

Orientační cena oken
s izolačním dvojsklem pro **jeden byt** [8]: $I_{BDW} = 55\,300,00 \text{ Kč}$

Orientační cena oken
s izolačním dvojsklem pro **schodiště** [8]: $I_{SDW} = 48\,800,00 \text{ Kč}$

Orientační cena oken
s izolačním dvojsklem pro **celý dům**: $I_{DDW} = 878\,300,00 \text{ Kč}$

Roční úspora energie (graf 4.5):

$$\Delta E_{DW} = E_{orig} - E_{DW} = 88544 - 61620 \quad \Delta E_{DW} = 26\,924,00 \text{ kWh/rok} \quad (4.5)$$

Roční finanční úspora za tepelnou energii:

$$U_{rDW} = \Delta E_{DW} \cdot C_T = 26924 \cdot 1,908 \quad U_{rDW} = 51\,370,99 \text{ Kč/rok} \quad (4.6)$$

Návratnost investic:

$$d_{nDW} = \frac{I_{DDW}}{U_{rDW}} = \frac{878300}{51370,99} \quad d_{nDW} = 17,10 \text{ let} \quad (4.7)$$

Snížení roční měrné potřeby energie (graf 4.6): 30,48 %

Snížení roční měrné energie splňuje dotaci:
(viz kap. 3.2.3), [17] 600,00 Kč/m²

Celková výše dotace [17]: 450 000,00 Kč

Cena po obdržení dotace: $I_{DDWd} = 428\,300,00 \text{ Kč}$

Návratnost investic s dotací:

$$d_{nDWd} = \frac{I_{DDWd}}{U_{rDW}} = \frac{428300}{51370,99} \quad d_{nDWd} = 8,34 \text{ let} \quad (4.8)$$

VÝMĚNA OKEN – TROJSKLO

Orientační cena oken s izolačním trojsklem pro **jeden byt** [8]: $I_{BTW} = 58\,500,00$ Kč

Orientační cena oken s izolačním dvojsklem pro **schodiště** [8]: $I_{SDW} = 48\,800,00$ Kč

Orientační cena oken s izolačním trojsklem pro byty a dvojsklem pro schodiště; **celý dům**: $I_{DTW} = 926\,300,00$ Kč

Roční úspora energie (graf 4.5):

$$\Delta E_{TW} = E_{orig} - E_{TW} = 88544 - 60235 \quad \Delta E_{TW} = 28\,309,00 \text{ kWh/rok} \quad (4.9)$$

Roční finanční úspora za tepelnou energii:

$$U_{rTW} = \Delta E_{TW} \cdot C_T = 28309 \cdot 1,908 \quad U_{rTW} = 54\,013,57 \text{ Kč/rok} \quad (4.10)$$

Návratnost investic:

$$d_{nTW} = \frac{I_{DTW}}{U_{rTW}} = \frac{926300}{54013,57} \quad d_{nTW} = 17,15 \text{ let} \quad (4.11)$$

Snížení roční měrné potřeby energie (graf 4.6): 31,43 %

Snížení roční měrné energie splňuje dotaci: 600,00 Kč/m²
(viz kap. 3.2.3), [17]

Celková výše dotace [17]: 450 000,00 Kč

Cena po obdržení dotace: $I_{DTWd} = 476\,300,00$ Kč

Návratnost investic s dotací:

$$d_{nTWd} = \frac{I_{DTWd}}{U_{rTW}} = \frac{476300}{54013,57} \quad d_{nTWd} = 8,82 \text{ let} \quad (4.12)$$

CELKOVÉ ZATEPLENÍ POLYSTYREN EPS – POŽADOVANÉ HODNOTY

Orientační cena oken s izolačním dvojsklem pro celý dům:	$I_{DDW} =$	878 300,00 Kč
Cena izolace EPS 70 F [14]:		
tloušťka 7 cm na zdivo 50	$I_{EPS7} =$	20 396,25 Kč
tloušťka 8 cm na zdivo 37,5	$I_{EPS8} =$	57 997,50 Kč
tloušťka 9 cm na zdivo 25	$I_{EPS9} =$	6 576,75 Kč
Orientační cena stavebních prací [14, 16]:	$I_{STBD} =$	460 000,00 Kč
Celková cena:	$I_{P1} =$	1 423 270,50 Kč

Roční úspora energie (graf 4.5):

$$\Delta E_{P1} = E_{orig} - E_{P1} = 88544 - 25069 \quad \Delta E_{P1} = 63\,475,00 \text{ kWh/rok} \quad (4.13)$$

Roční finanční úspora za tepelnou energii:

$$U_{rP1} = \Delta E_{P1} \cdot C_T = 63475 \cdot 1,908 \quad U_{rP1} = 121\,110,30 \text{ Kč/rok} \quad (4.14)$$

Návratnost investic:

$$d_{nP1} = \frac{I_{P1}}{U_{rP1}} = \frac{1423270,5}{121110,3} \quad d_{nP1} = \mathbf{11,75 \text{ let}} \quad (4.15)$$

Dosažená roční měr. potřeba energie (graf 4.6): 30,00 kWh/m²

Dosažená roční měrná energie splňuje dotaci:
(viz kap. 3.2.3), [17] 1 500,00 Kč/m²

Celková výše dotace [17]: 1 125 000,00 Kč

Cena po obdržení dotace: $I_{P1d} =$ **298 270,50 Kč**

Návratnost investic s dotací:

$$d_{nP1d} = \frac{I_{P1d}}{U_{rP1}} = \frac{298270,5}{121110,3} \quad d_{nP1d} = \mathbf{2,46 \text{ let}} \quad (4.16)$$

CELKOVÉ ZATEPLENÍ POLYSTYREN EPS – DOPORUČENÉ HODNOTY

Orientační cena oken s izolačním trojsklem pro byty a dvojsklem pro schodiště; celý dům: $I_{DTW} = 926\,300,00$ Kč

Cena izolace EPS 70 F [14]:

tloušťka 12 cm na zdivo 50 $I_{EPS13} = 34\,965,00$ Kč

tloušťka 13 cm na zdivo 37,5 $I_{EPS14} = 94\,245,90$ Kč

tloušťka 14 cm na zdivo 25 $I_{EPS15} = 10\,230,50$ Kč

Orientační cena stavebních prací [14, 16]: $I_{STBD} = 460\,000,00$ Kč

Celková cena: $I_{P2} = 1\,525\,741,40$ Kč

Roční úspora energie (graf 4.5):

$$\Delta E_{P2} = E_{orig} - E_{P2} = 88544 - 20353 \quad \Delta E_{P2} = 68\,191,00 \text{ kWh/rok} \quad (4.17)$$

Roční finanční úspora za tepelnou energii:

$$U_{rP2} = \Delta E_{P2} \cdot C_T = 68191 \cdot 1,908 \quad U_{rP2} = 130\,108,43 \text{ Kč/rok} \quad (4.18)$$

Návratnost investic:

$$d_{nP2} = \frac{I_{P2}}{U_{rP2}} = \frac{1525741,4}{130108,43} \quad d_{nP2} = 11,72 \text{ let} \quad (4.19)$$

Dosažená roční měr. potřeba energie (graf 4.6): $24,00$ kWh/m²

Dosažená roční měrná energie splňuje dotaci: $1\,500,00$ Kč/m²
(viz kap. 3.2.3), [17]

Celková výše dotace [17]: $1\,125\,000,00$ Kč

Cena po obdržení dotace: $I_{P2d} = 400\,741,40$ Kč

Návratnost investic s dotací:

$$d_{nP2d} = \frac{I_{P2d}}{U_{rP2}} = \frac{400741,4}{130108,43} \quad d_{nP2d} = 3,08 \text{ let} \quad (4.20)$$

CELKOVÉ ZATEPLENÍ MINERÁLNÍ VLNA RW – POŽADOVANÉ HODNOTY

Orientační cena oken s izolačním dvojsklem pro celý dům:	$I_{DDW} =$	878 300,00 Kč
Cena izolace Frontrock MAX E [12]:		
tloušťka 8 cm na zdivo 50	$I_{RW8} =$	48 730,50 Kč
tloušťka 8 cm na zdivo 37,5	$I_{RW8} =$	121 246,10 Kč
tloušťka 10 cm na zdivo 25	$I_{RW10} =$	13 161,40 Kč
Orientační cena stavebních prací [12, 16]:	$I_{STBD} =$	460 000,00 Kč
Celková cena:	$I_{M1} =$	1 521 438,00 Kč

Roční úspora energie (graf 4.5):

$$\Delta E_{M1} = E_{orig} - E_{M1} = 88544 - 25354 \quad \Delta E_{M1} = 63\,190,00 \text{ kWh/rok} \quad (4.21)$$

Roční finanční úspora za tepelnou energii:

$$U_{rM1} = \Delta E_{M1} \cdot C_T = 63190 \cdot 1,908 \quad U_{rM1} = 120\,566,52 \text{ Kč/rok} \quad (4.22)$$

Návratnost investic:

$$d_{nM1} = \frac{I_{M1}}{U_{rM1}} = \frac{1521438,0}{120566,52} \quad d_{nM1} = \mathbf{12,62 \text{ let}} \quad (4.23)$$

Dosažená roční měr. potřeba energie (graf 4.6): 30,00 kWh/m²

Dosažená roční měrná energie splňuje dotaci:
(viz kap. 3.2.3), [17] 1 500,00 Kč/m²

Celková výše dotace [17]: 1 125 000,00 Kč

Cena po obdržení dotace: $I_{M1d} =$ **396 438,00 Kč**

Návratnost investic s dotací:

$$d_{nM1d} = \frac{I_{M1d}}{U_{rM1}} = \frac{396438}{120566,52} \quad d_{nM1d} = \mathbf{3,29 \text{ let}} \quad (4.24)$$

CELKOVÉ ZATEPLENÍ MINERÁLNÍ VLNA RW – DOPORUČENÉ HODNOTY

Orientační cena oken s izolačním trojsklem pro byty a dvojsklem pro schodiště; celý dům: $I_{DTW} = 926\,300,00$ Kč

Cena izolace Frontrock MAX E [12]:

tloušťka 14 cm na zdivo 50 $I_{RW14} = 85\,278,40$ Kč

tloušťka 14 cm na zdivo 37,5 $I_{RW16} = 212\,180,70$ Kč

tloušťka 16 cm na zdivo 25 $I_{RW16} = 24\,442,60$ Kč

Orientační cena stavebních prací [12, 16]: $I_{STBD} = 460\,000,00$ Kč

Celková cena: $I_{M2} = 1\,708\,201,70$ Kč

Roční úspora energie (graf 4.5):

$$\Delta E_{M2} = E_{orig} - E_{M2} = 88544 - 20193 \quad \Delta E_{M2} = 68\,351,00 \text{ kWh/rok} \quad (4.25)$$

Roční finanční úspora za tepelnou energii:

$$U_{rM2} = \Delta E_{M2} \cdot C_T = 68351 \cdot 1,908 \quad U_{rM2} = 130\,413,71 \text{ Kč/rok} \quad (4.26)$$

Návratnost investic:

$$d_{nM2} = \frac{I_{M2}}{U_{rM2}} = \frac{1708210,7}{130413,71} \quad d_{nM2} = 13,10 \text{ let} \quad (4.27)$$

Dosažená roční měr. potřeba energie (graf 4.6): $24,00$ kWh/m²

Dosažená roční měrná energie splňuje dotaci: $1\,500,00$ Kč/m²
(viz kap. 3.2.3), [17]

Celková výše dotace [17]: $1\,125\,000,00$ Kč

Cena po obdržení dotace: $I_{M2d} = 583\,201,70$ Kč

Návratnost investic s dotací:

$$d_{nM2d} = \frac{I_{M2d}}{U_{rM2}} = \frac{583201,7}{130413,71} \quad d_{nM2d} = 4,47 \text{ let} \quad (4.28)$$

KLIMATIZACE – POLYSTYREN EPS (POŽADOVANÉ HODNOTY)

Orientační cena Multi-Split klimatizace
(3 jednotky na byt, 1 venkovní na patro) [10]:

$$I_{KLB D} = 317\,500,00 \text{ Kč}$$

Celková cena:

$$I_{P1^*} = 1\,740\,770,50 \text{ Kč}$$

Vzniklé náklady na chlazení (graf 4.11):

$$N_{P1^*} = E_{P1cool} \cdot C_E = 20653 \cdot 4,54 \quad N_{P1^*} = 93\,764,62 \text{ Kč/rok} \quad (4.29)$$

Roční finanční úspora na celkové energii:

$$U_{CrP1} = U_{rP1} - N_{P1^*} = 121110,3 - 93764,62 \quad U_{CrP1} = 27\,345,68 \text{ Kč/rok} \quad (4.30)$$

Návratnost investic:

$$d_{nP1^*} = \frac{I_{P1^*}}{U_{CrP1}} = \frac{1740770,5}{27345,68} \quad d_{nP1^*} = 63,66 \text{ let} \quad (4.31)$$

Návratnost investic s dotací na zateplení:

$$d_{nP1^*d} = \frac{I_{P1^*d}}{U_{CrP1}} = \frac{615770,5}{27345,68} \quad d_{nP1^*d} = 22,52 \text{ let} \quad (4.32)$$

KLIMATIZACE – POLYSTYREN EPS (DOPORUČENÉ HODNOTY)

Orientační cena Multi-Split klimatizace
(3 jednotky na byt, 1 venkovní na patro) [10]:

$$I_{KLB D} = 317\,500,00 \text{ Kč}$$

Celková cena:

$$I_{P2^*} = 1\,843\,241,40 \text{ Kč}$$

Vzniklé náklady na chlazení (graf 4.11):

$$N_{P2^*} = E_{P2cool} \cdot C_E = 23314 \cdot 4,54 \quad N_{P2^*} = 105\,845,56 \text{ Kč/rok} \quad (4.23)$$

Roční finanční úspora na celkové energii:

$$U_{CrP2} = U_{rP2} - N_{P2^*} = 130108,43 - 105845,56 \quad U_{CrP2} = 24\,262,87 \text{ Kč/rok} \quad (4.34)$$

Návratnost investic:

$$d_{nP2^*} = \frac{I_{P2^*}}{U_{CrP2}} = \frac{1843241,4}{24262,87} \quad d_{nP2^*} = 75,97 \text{ let} \quad (4.35)$$

Návratnost investic s dotací na zateplení:

$$d_{nP2^*d} = \frac{I_{P2^*d}}{U_{CrP2}} = \frac{718241,4}{24262,87} \quad d_{nP2^*d} = 29,60 \text{ let} \quad (4.36)$$

KLIMATIZACE – MINERÁLNÍ VLNA RW (POŽADOVANÉ HODNOTY)

Orientační cena Multi-Split klimatizace
(3 jednotky na byt, 1 venkovní na patro) [10]: $I_{KLBD} = 317\,500,00$ Kč

Celková cena: $I_{M1^*} = 1\,838\,938,00$ Kč

Vzniklé náklady na chlazení (graf 4.11):

$$N_{M1^*} = E_{M1cool} \cdot C_E = 20462 \cdot 4,54 \quad N_{M1^*} = 92\,897,48 \text{ Kč/rok} \quad (4.37)$$

Roční finanční úspora na celkové energii:

$$U_{CrM1} = U_{rM1} - N_{M1^*} = 120566,52 - 92897,48 \quad U_{CrM1} = 27\,659,04 \text{ Kč/rok} \quad (4.38)$$

Návratnost investic:

$$d_{nM1^*} = \frac{I_{M1^*}}{U_{CrM1}} = \frac{1838938}{27659,04} \quad d_{nM1^*} = 66,49 \text{ let} \quad (4.39)$$

Návratnost investic s dotací na zateplení:

$$d_{nM1^*d} = \frac{I_{M1^*d}}{U_{CrM1}} = \frac{713938}{27659,04} \quad d_{nM1^*d} = 25,81 \text{ let} \quad (4.40)$$

KLIMATIZACE – MINERÁLNÍ VLNA RW (DOPORUČENÉ HODNOTY)

Orientační cena Multi-Split klimatizace
(3 jednotky na byt, 1 venkovní na patro) [10]: $I_{KLBD} = 317\,500,00$ Kč

Celková cena: $I_{M2^*} = 2\,025\,701,70$ Kč

Vzniklé náklady na chlazení (graf 4.11):

$$N_{M2^*} = E_{M2cool} \cdot C_E = 23385 \cdot 4,54 \quad N_{M2^*} = 106\,167,90 \text{ Kč/rok} \quad (4.41)$$

Roční finanční úspora na celkové energii:

$$U_{CrM2} = U_{rM2} - N_{M2^*} = 130413,71 - 106167,9 \quad U_{CrM2} = 24\,245,81 \text{ Kč/rok} \quad (4.42)$$

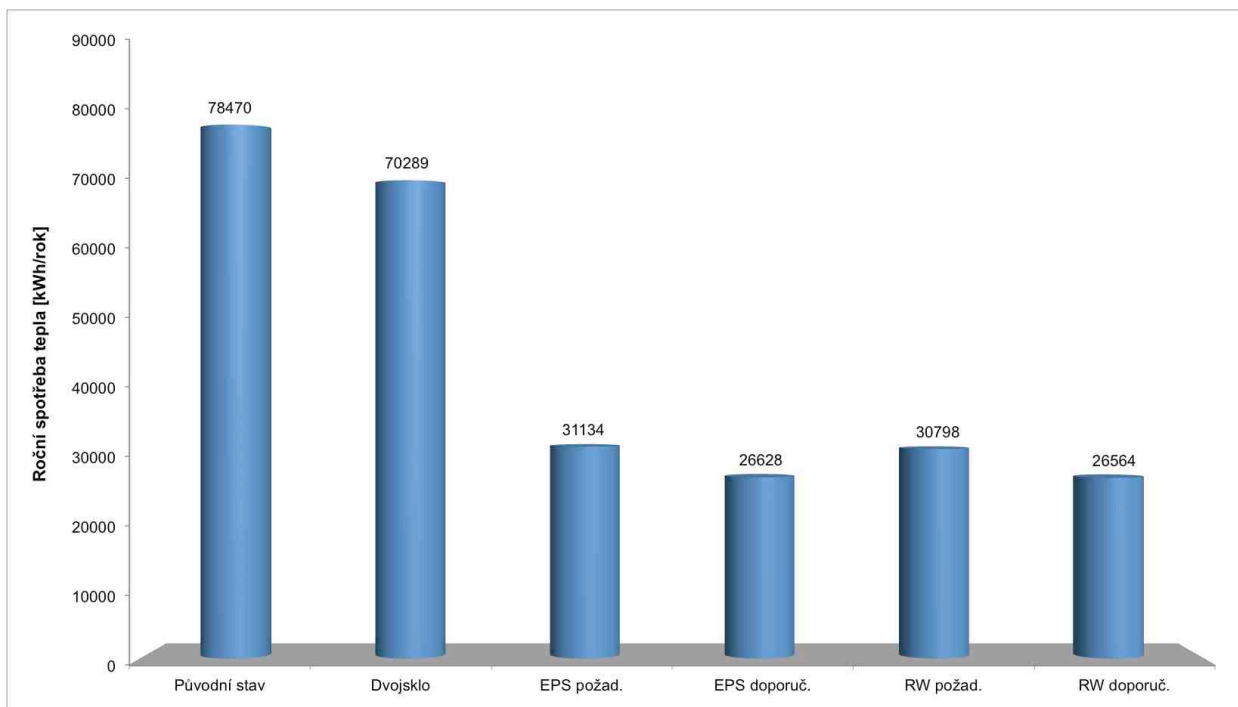
Návratnost investic:

$$d_{nM2^*} = \frac{I_{M2^*}}{U_{CrM2}} = \frac{2025701,7}{24245,81} \quad d_{nM2^*} = 83,55 \text{ let} \quad (4.43)$$

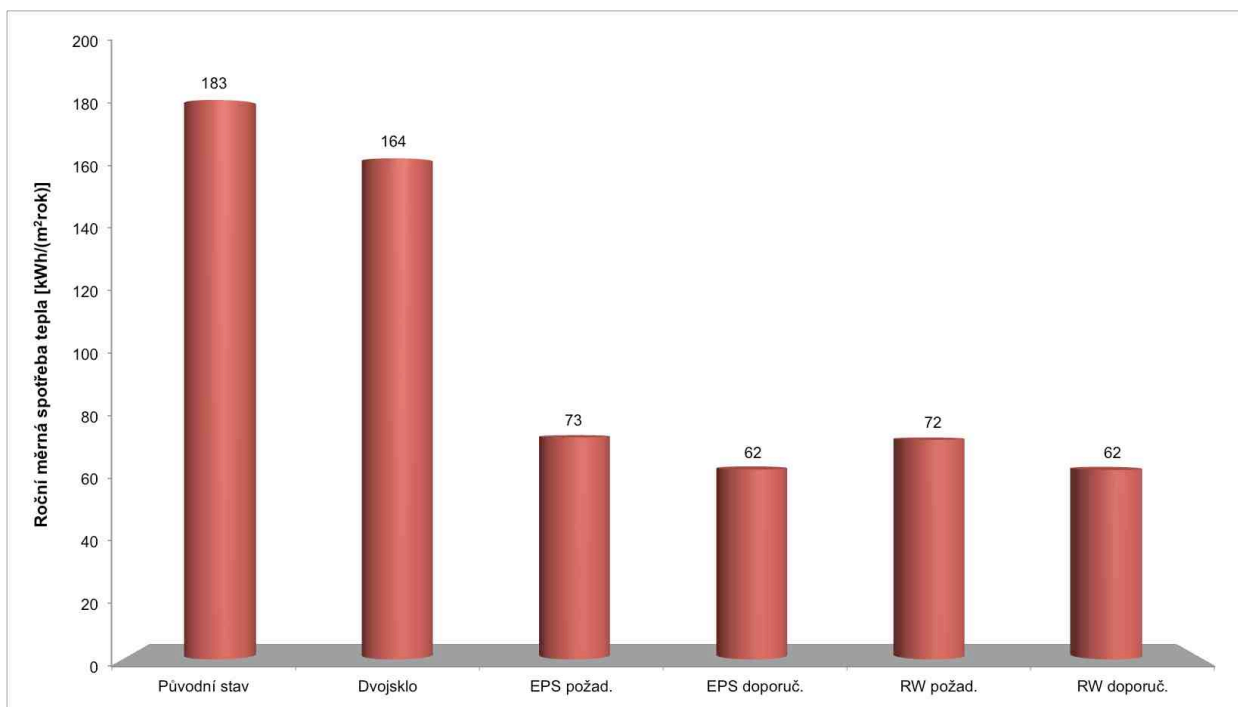
Návratnost investic s dotací na zateplení:

$$d_{nM2^*d} = \frac{I_{M2^*d}}{U_{CrM2}} = \frac{900701,7}{24245,81} \quad d_{nM2^*d} = 37,15 \text{ let} \quad (4.44)$$

4.4.5 ENERGETICKÁ NÁROČNOST RODINNÉHO DOMU



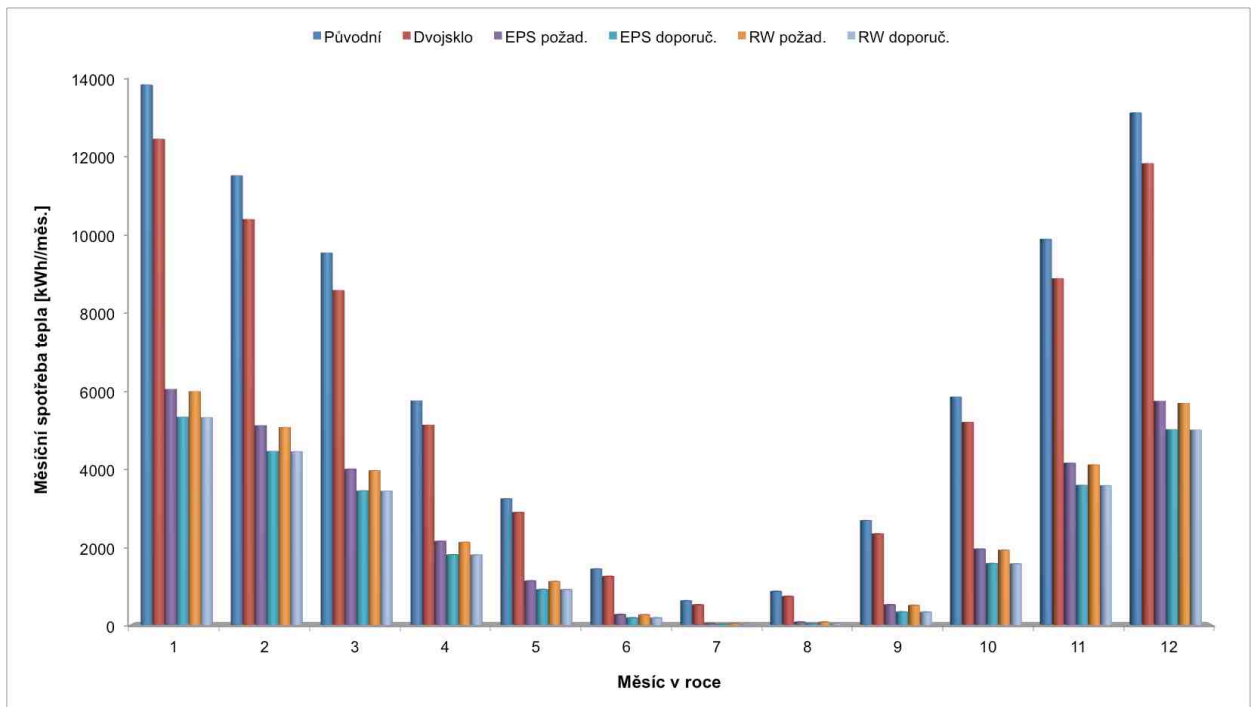
Graf 4.21 *Roční potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát rodinného domu v jeho původním stavu, po výměně oken a po výměně oken se zateplením pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW podle požadovaných a doporučených hodnot*



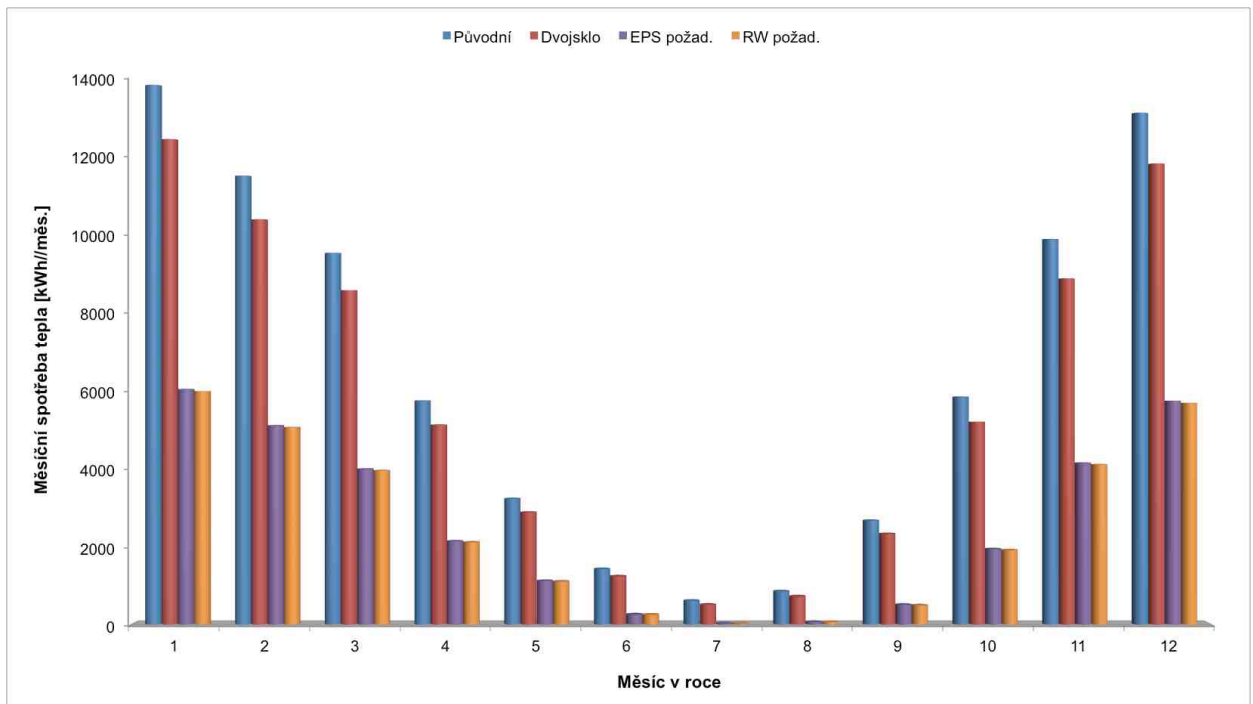
Graf 4.22 *Roční měrná potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát rodinného domu v jeho původním stavu, po výměně oken a po výměně oken se zateplením pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW podle požadovaných a doporučených hodnot*

MĚSÍČNÍ BILANCE

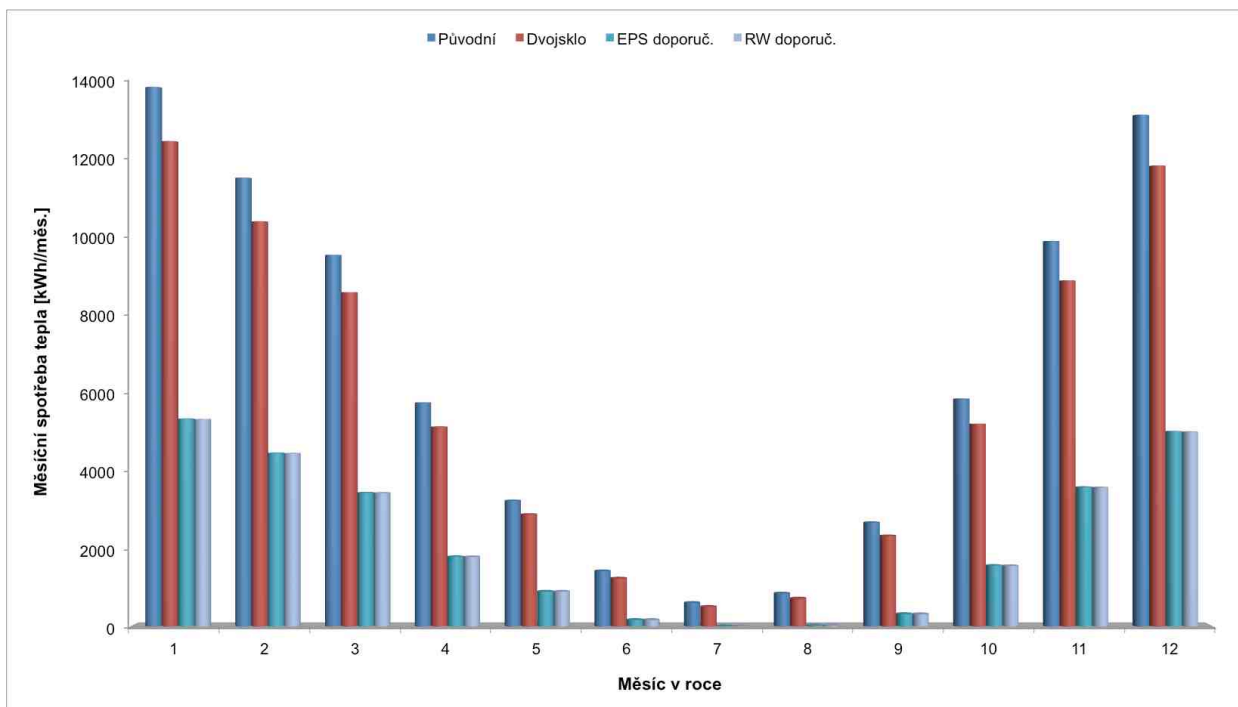
Grafy jsou uvedeny v následujícím pořadí: vše, požadované hodnoty ČSN 0540-2, doporučené hodnoty ČSN 0540-2 a výběr hodnot pouze pro konstrukční prvky budovy.



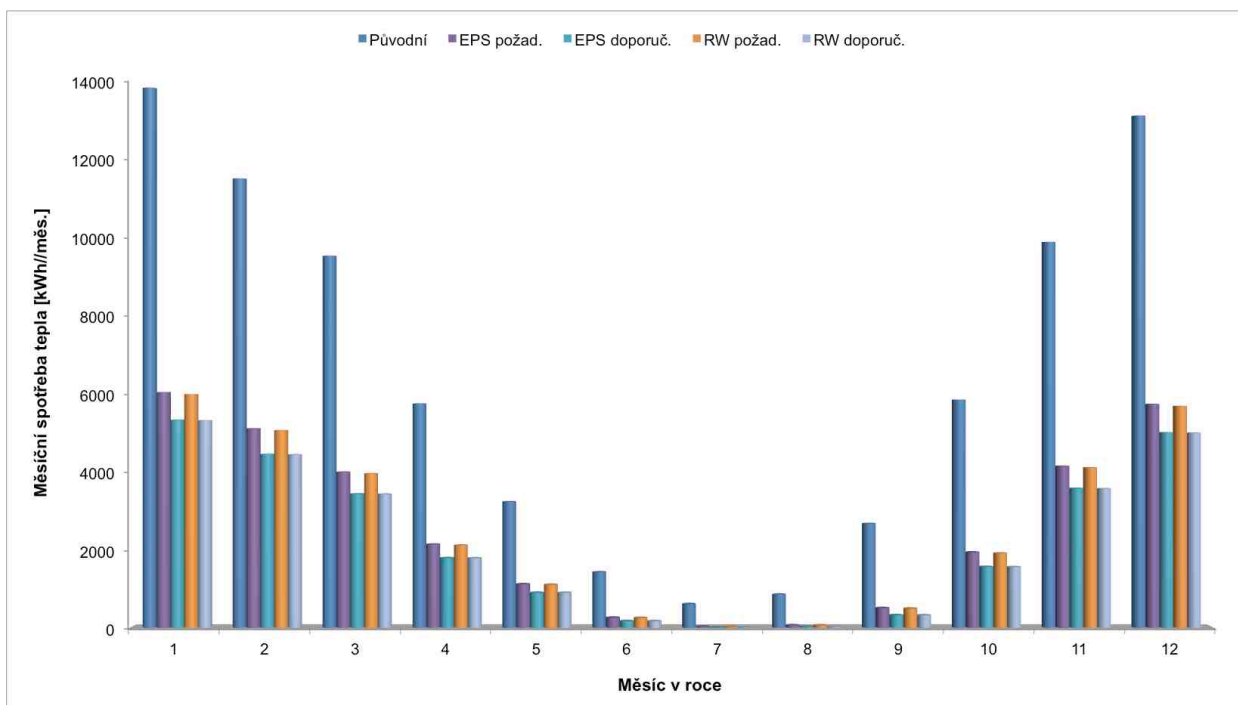
Graf 4.23 Měsíční potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát rodinného domu v jeho původním stavu, po výměně oken a po výměně oken se zateplením pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW podle požadovaných a doporučených hodnot



Graf 4.24 Měsíční potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát rodinného domu v jeho původním stavu, při dodržení požadovaných hodnot pro výměnu oken a pro zateplení pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW



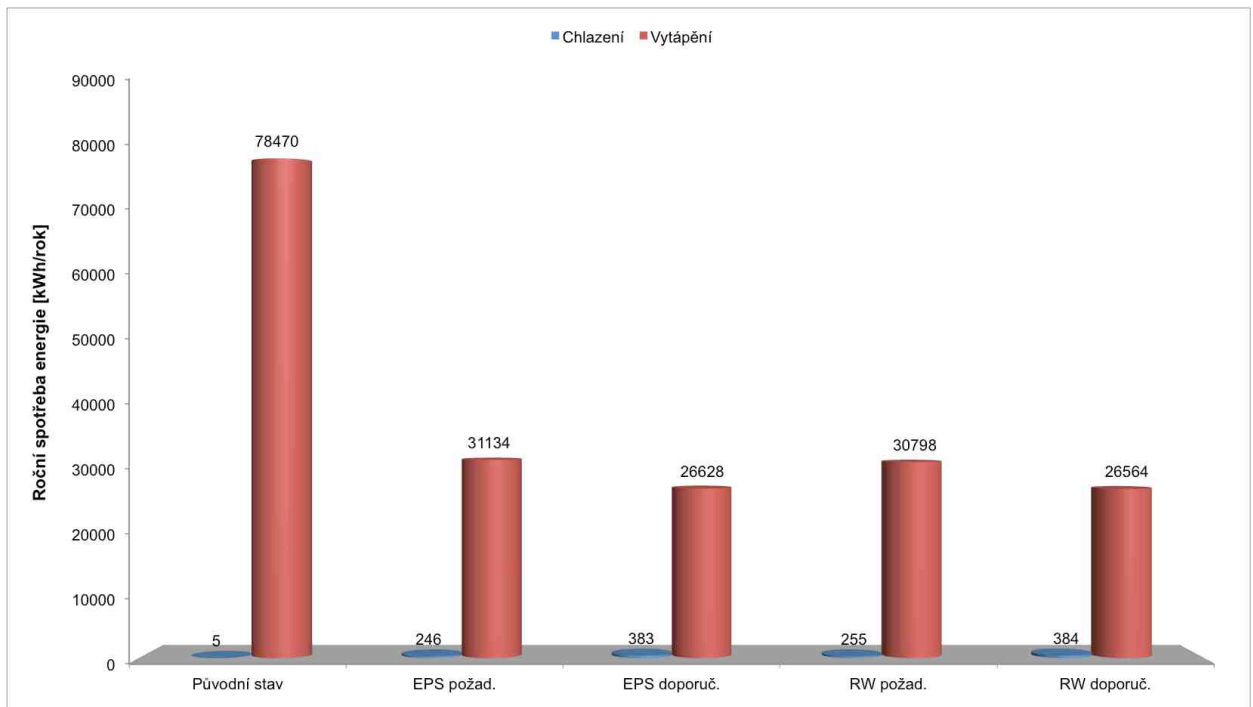
Graf 4.25 Měsíční potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát rodinného domu v jeho původním stavu, při dodržení doporučených hodnot pro výměnu oken a pro zateplení pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW



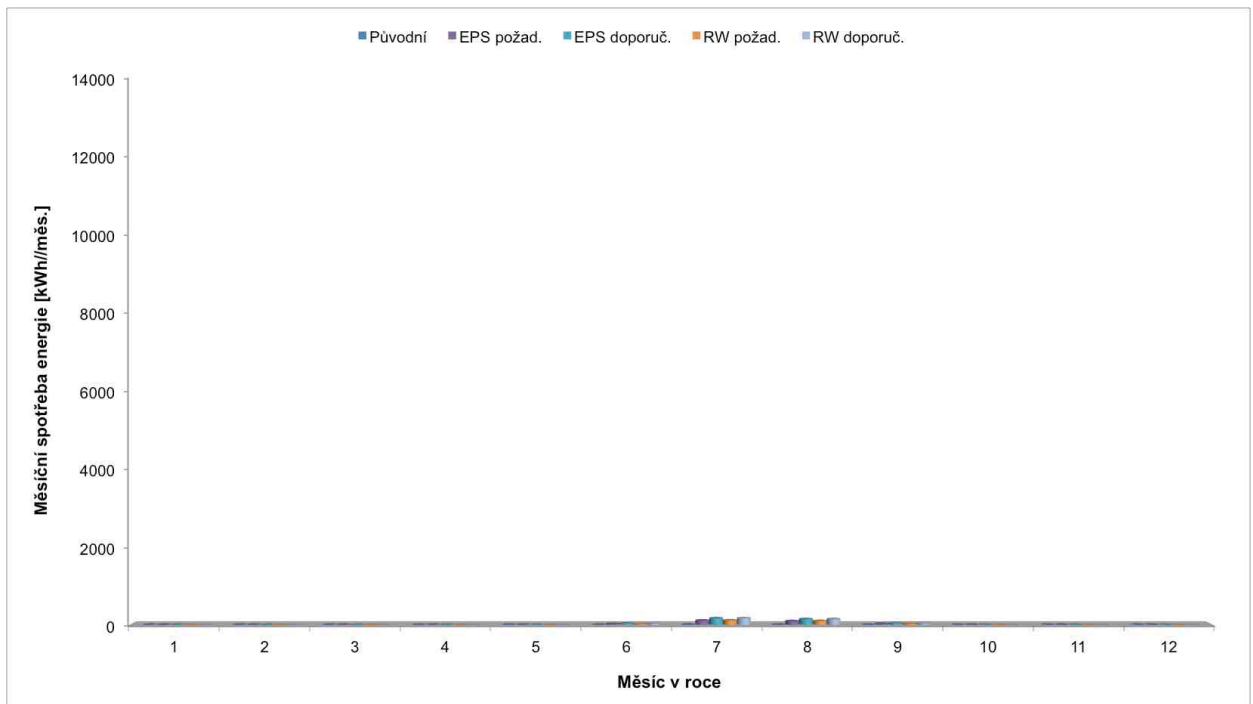
Graf 4.26 Měsíční potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát rodinného domu v jeho původní stavu, při dodržení požadovaných a doporučených hodnot pro zateplení pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW

POTŘEBA CHLAZENÍ

V kuchyni, ložnici a obývacím pokoji byla použita klimatizace nastavená na pevnou hodnotu 26 °C. Pro porovnání se zateplenými stavy byla použita i ve stavu původním.



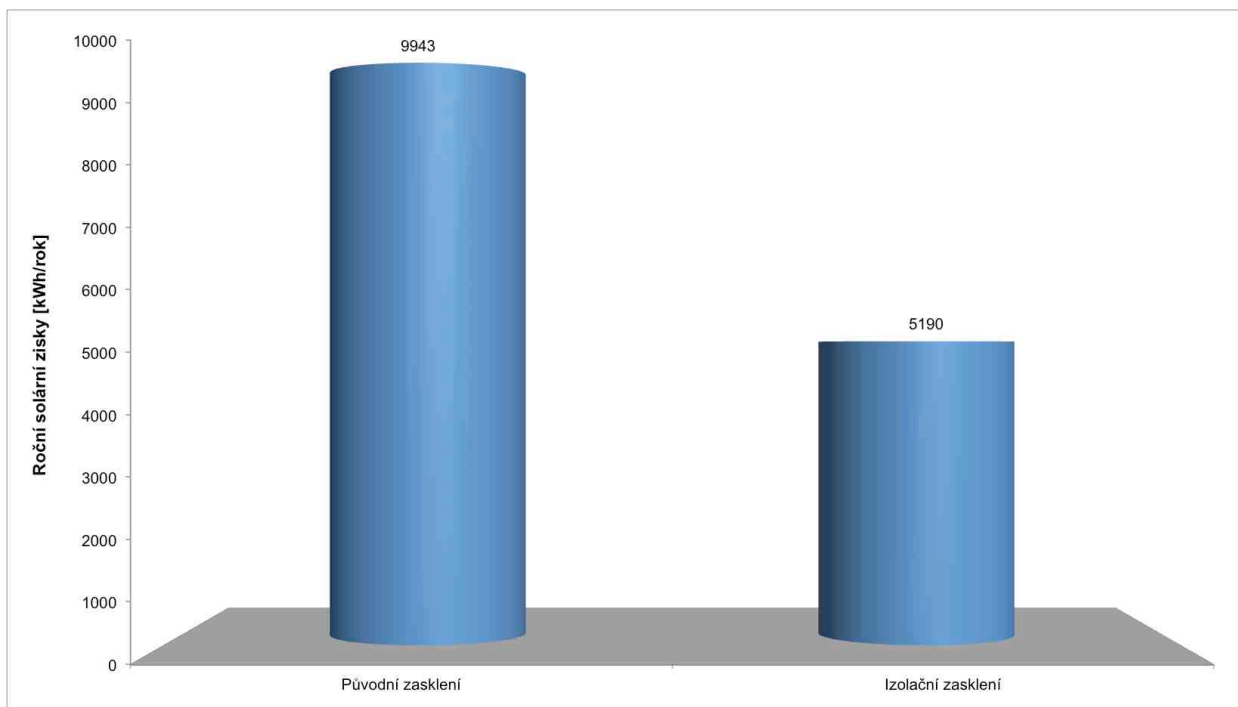
Graf 4.27 Roční potřeba energie na chlazení místností s podmínkou max. vnitřní teploty vzduchu 26 °C pro porovnání s roční potřebou tepla na vytápění domu v jeho původním stavu a po zateplení pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW



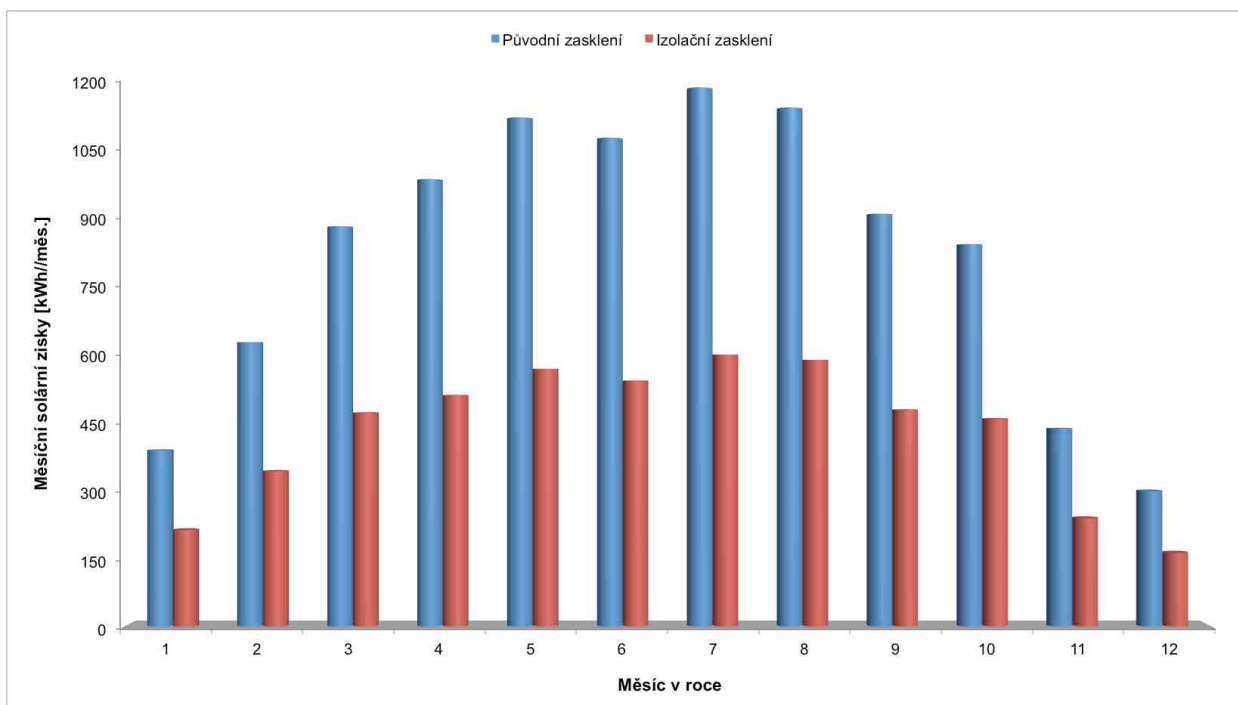
Graf 4.28 Měsíční potřeba energie na chlazení místností s podmínkou max. vnitřní teploty vzduchu 26 °C v původním stavu a po zateplení pěnovým polystyrenem EPS a minerální vlnou RW (měřítko ponecháno z důvodu porovnatelnosti s vytápěním)

4.4.6 SOLÁRNÍ ZISKY RODINNÉHO DOMU

Solární zisky interiérových prostor rodinného domu s okny před a po jejich výměně.



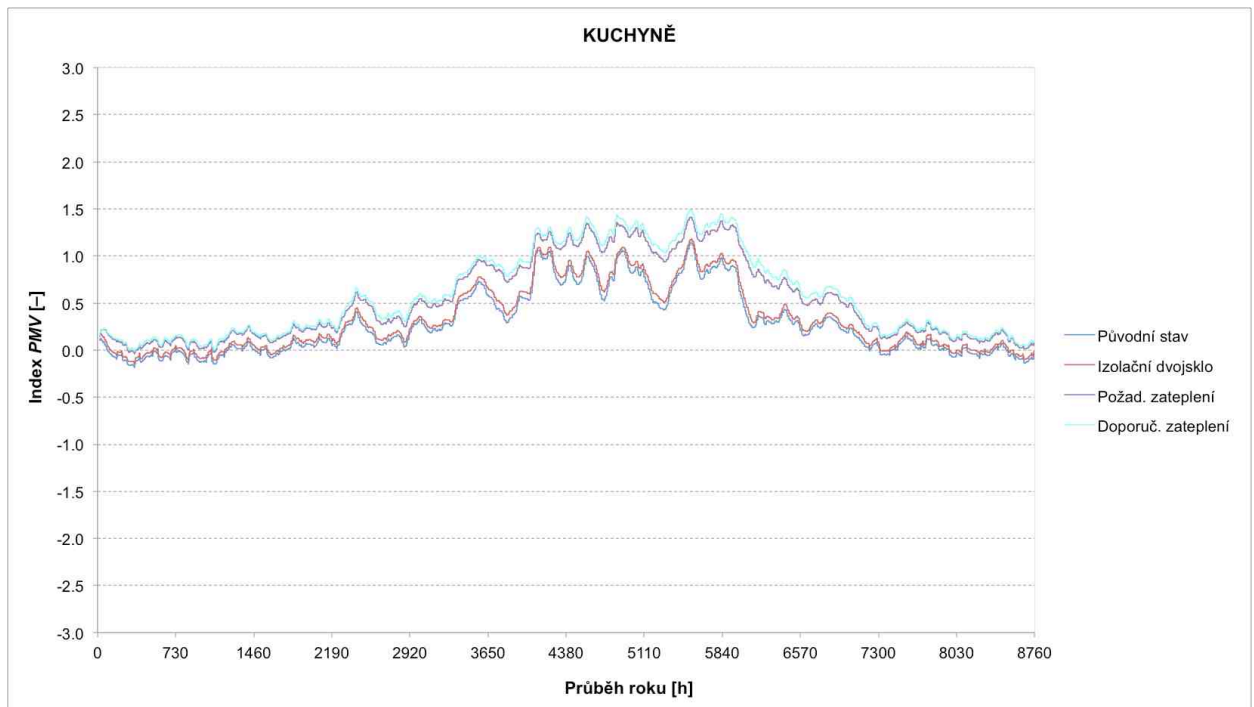
Graf 4.29 Roční solární zisky rodinného domu s původními dvojitými okny a po osazení vnějších křídel izolačním dvojsklem



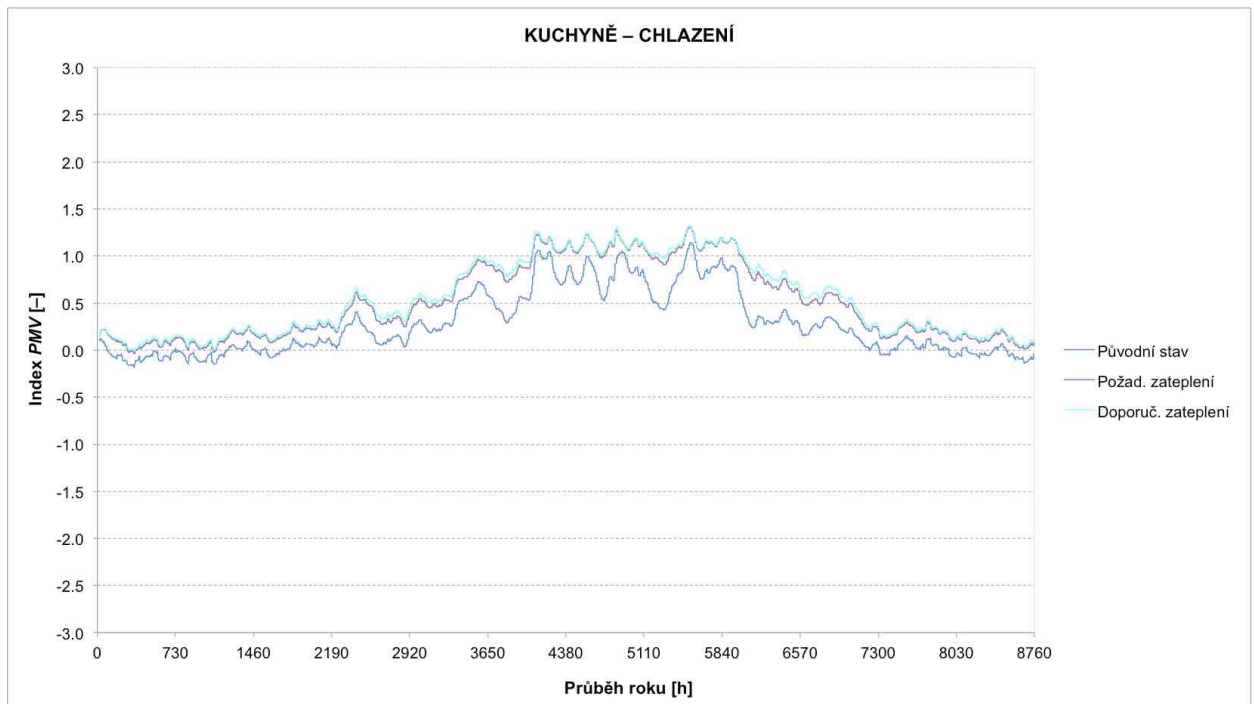
Graf 4.30 Měsíční solární zisky rodinného domu s původními dvojitými okny a po osazení vnějších křídel izolačním dvojsklem

4.4.7 KOMFORT RODINNÉHO DOMU

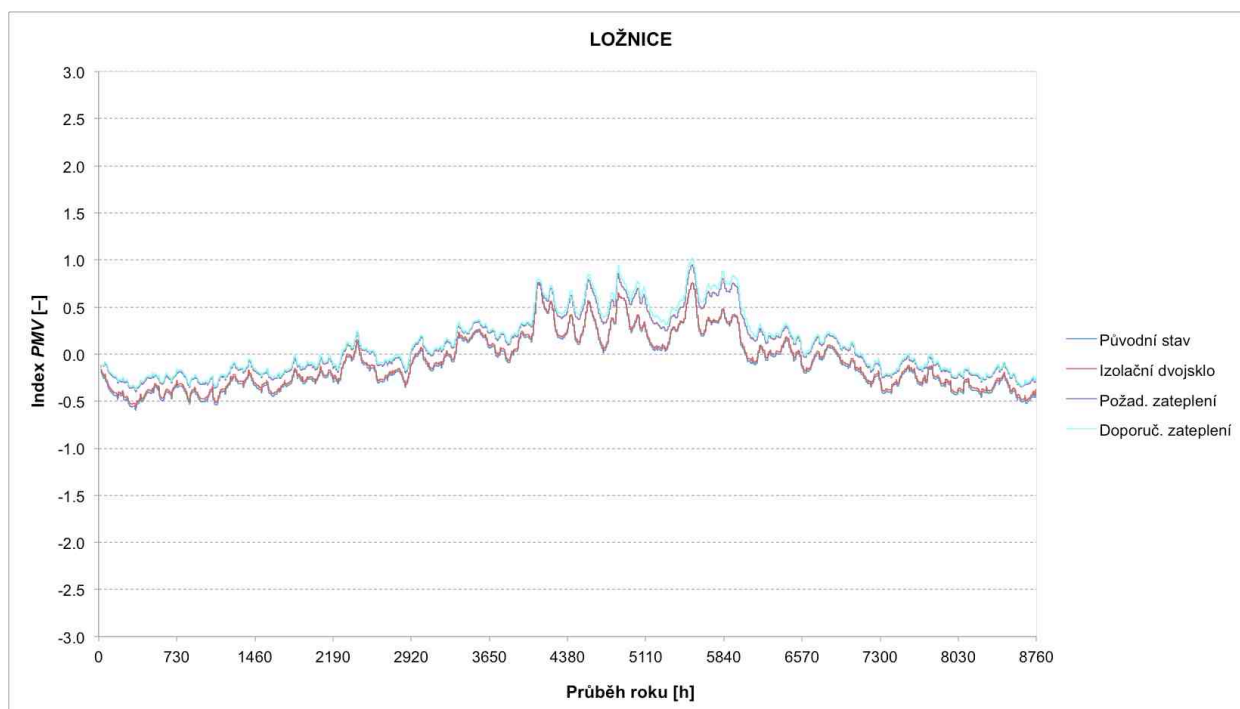
Hodnoty indexu *PMV* byly pro stejný typ sledovaných místností zprůměrovány.



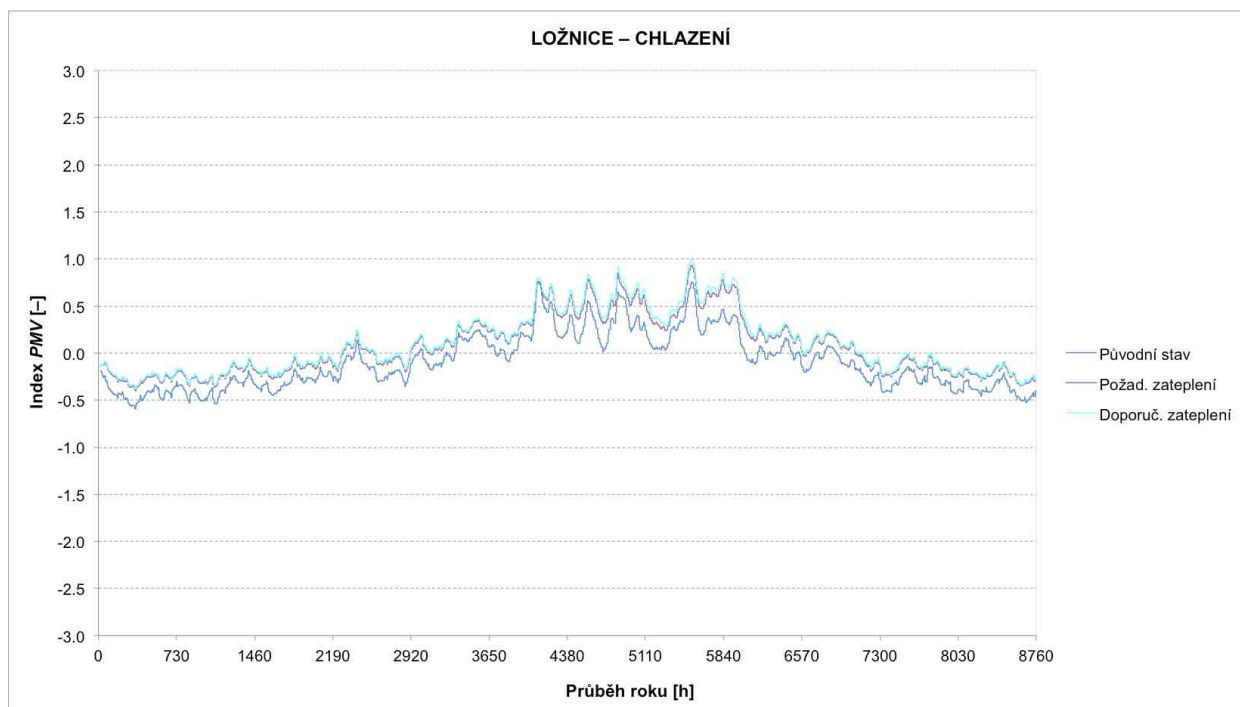
Graf 4.31 Hodnoty indexu *PMV* v průběhu roku pro průměrnou hodnotu 3 sledovaných kuchyní v současném stavu a po instalaci opatření na snížení potřeby tepla na vytápění



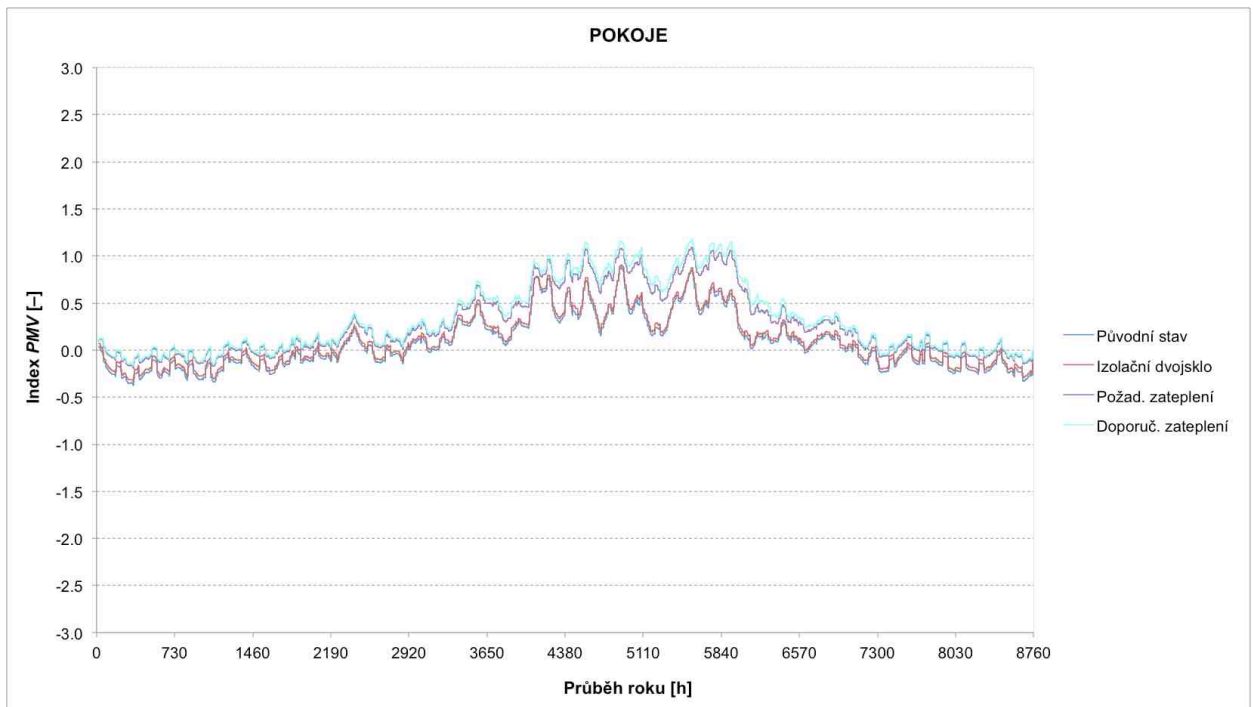
Graf 4.32 Hodnoty indexu *PMV* v průběhu roku pro průměrnou hodnotu 3 sledovaných kuchyní v současném stavu a po instalaci opatření na snížení potřeby tepla na vytápění s klimatizací (klimatizace pouze s výměnou oken není uvažována)



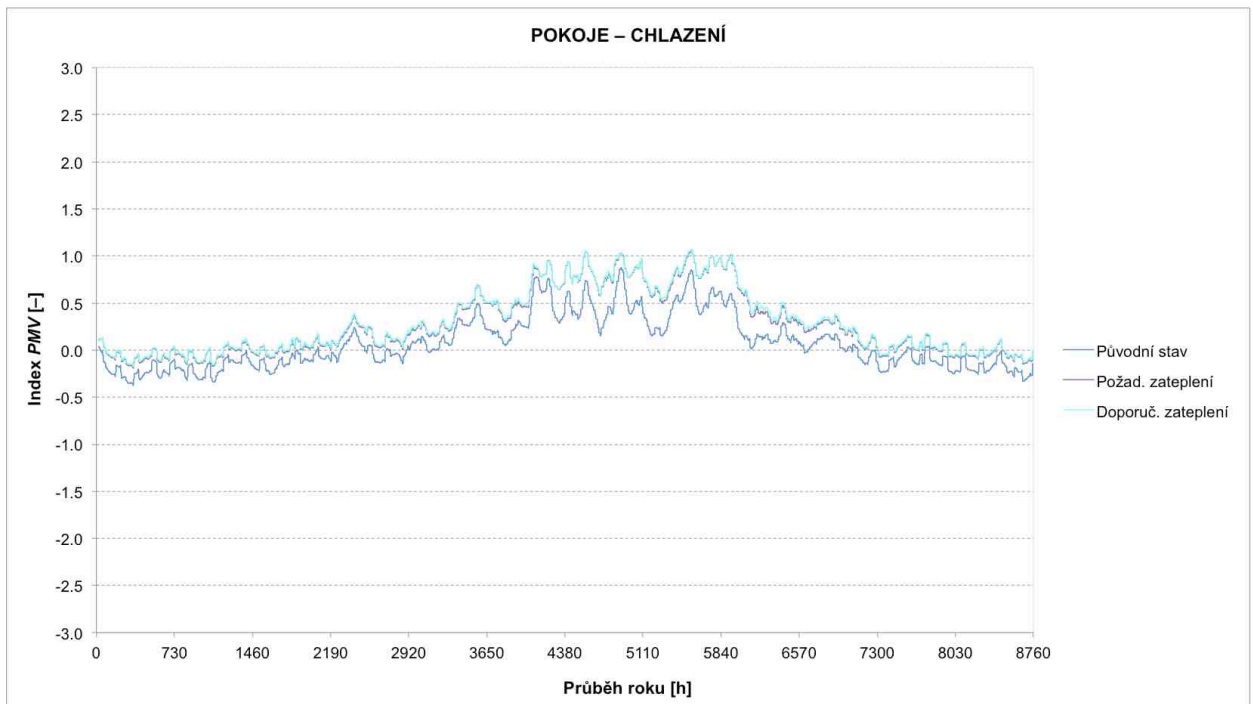
Graf 4.33 Hodnoty indexu PMV v průběhu roku pro průměrnou hodnotu 2 sledovaných ložnic v současném stavu a po instalaci opatření na snížení potřeby tepla na vytápění



Graf 4.34 Hodnoty indexu PMV v průběhu roku pro průměrnou hodnotu 2 sledovaných ložnic v současném stavu a po instalaci opatření na snížení potřeby tepla na vytápění s klimatizací (klimatizace pouze s výměnou oken není uvažována)



Graf 4.35 Hodnoty indexu PMV v průběhu roku pro průměrnou hodnotu 9 sledovaných pokojů v současném stavu a po instalaci opatření na snížení potřeby tepla na vytápění



Graf 4.36 Hodnoty indexu PMV v průběhu roku pro průměrnou hodnotu 9 sledovaných pokojů v současném stavu a po instalaci opatření na snížení potřeby tepla na vytápění s klimatizací (klimatizace pouze s výměnou oken není uvažována)

4.4.8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ RODINNÉHO DOMU

Cena tepelné energie [9]: $C_T = 1,908 \text{ Kč/kWh}$

Cena elektrické energie [9]: $C_E = 4,540 \text{ Kč/kWh}$

VÝMĚNA OKEN - DVOJSKLO

Orientační cena
izolačních dvojskel pro 2 **typická patro** [13]: $I_{FW} = 131\,620,00 \text{ Kč}$

Orientační cena
izolačních dvojskel pro **atypické patro** [13]: $I_{AFW} = 37\,140,00 \text{ Kč}$

Orientační cena
izolačních dvojskel pro **celý dům**: $I_{IZW} = 168\,760,00 \text{ Kč}$

Roční úspora energie (graf 4.21):

$$\Delta E_{IZW} = E_{orig} - E_{IZW} = 78470 - 70289 \quad \Delta E_{IZW} = 8\,181,00 \text{ kWh/rok} \quad (4.45)$$

Roční finanční úspora za tepelnou energii:

$$U_{rIZW} = \Delta E_{IZW} \cdot C_T = 8181 \cdot 1,908 \quad U_{rIZW} = 15\,609,35 \text{ Kč/rok} \quad (4.46)$$

Návratnost investic:

$$d_{nIZW} = \frac{I_{IZW}}{U_{rIZW}} = \frac{168760}{15609,35} \quad d_{nIZW} = 10,81 \text{ let} \quad (4.47)$$

Snížení roční měr. potřeby energie (graf 4.22): 10,38 %

Snížení roční měrné energie splňuje dotaci:
(viz kap. 3.2.2), [17] 0,00 Kč/m²

Celková výše dotace [17]: 0,00 Kč

CELKOVÉ ZATEPLENÍ POLYSTYREN EPS – POŽADOVANÉ HODNOTY

Orientační cena izolačních dvojskel pro celý dům:	$I_{IZW} =$	168 760,00 Kč
Cena izolace EPS 70 F [14]:		
tloušťka 7 cm na zdivo 60	$I_{EPS7} =$	12 665,10 Kč
tloušťka 7 cm na zdivo 45	$I_{EPS7} =$	48 849,90 Kč
tloušťka 8 cm na zdivo 30	$I_{EPS8} =$	11 055,60 Kč
Orientační cena stavebních prací [14, 16]:	$I_{STRD} =$	520 000,00 Kč
Celková cena:	$I_{P3} =$	761 330,60 Kč

Roční úspora energie (graf 4.21):

$$\Delta E_{P3} = E_{orig} - E_{P3} = 78470 - 31134 \quad \Delta E_{P3} = 47\,336,00 \text{ kWh/rok} \quad (4.48)$$

Roční finanční úspora za tepelnou energii:

$$U_{rP3} = \Delta E_{P3} \cdot C_T = 47336 \cdot 1,908 \quad U_{rP3} = 90\,317,09 \text{ Kč/rok} \quad (4.49)$$

Návratnost investic:

$$d_{nP3} = \frac{I_{P3}}{U_{rP3}} = \frac{761330,6}{90317,09} \quad d_{nP3} = \mathbf{8,43 \text{ let}} \quad (4.50)$$

Dosaž. roční měr. potřeba energie (graf 4.22): 73,00 kWh/m²
splňuje pouze dílčí dotaci (pokles o) 60,11 %

Dosažená roční měrná energie splňuje dotaci: 850,00 Kč/m²
(viz kap. 3.2.2), [17]

Celková výše dotace [17]: 297 500,00 Kč

Cena po obdržení dotace: $I_{P3d} = \mathbf{463\,830,60 \text{ Kč}}$

Návratnost investic s dotací:

$$d_{nP3d} = \frac{I_{P3d}}{U_{rP3}} = \frac{463830,6}{90317,09} \quad d_{nP3d} = \mathbf{5,14 \text{ let}} \quad (4.51)$$

CELKOVÉ ZATEPLENÍ POLYSTYREN EPS – DOPORUČENÉ HODNOTY

Orientační cena izolačních dvojskel pro celý dům:	$I_{IZW} =$	168 760,00 Kč
Cena izolace EPS 70 F [14]:		
tloušťka 12 cm na zdivo 60	$I_{EPS12} =$	21 711,60 Kč
tloušťka 12 cm na zdivo 45	$I_{EPS12} =$	83 742,80 Kč
tloušťka 13 cm na zdivo 30	$I_{EPS13} =$	17 965,35 Kč
Orientační cena stavebních prací [14, 16]:	$I_{STRD} =$	520 000,00 Kč
Celková cena:	$I_{P4} =$	812 179,75 Kč

Roční úspora energie (graf 4.21):

$$\Delta E_{P4} = E_{orig} - E_{P4} = 78470 - 26628 \quad \Delta E_{P4} = 51\,842,00 \text{ kWh/rok} \quad (4.52)$$

Roční finanční úspora za tepelnou energii:

$$U_{rP4} = \Delta E_{P4} \cdot C_T = 51842 \cdot 1,908 \quad U_{rP4} = 98\,914,54 \text{ Kč/rok} \quad (4.53)$$

Návratnost investic:

$$d_{nP4} = \frac{I_{P4}}{U_{rP4}} = \frac{812179,75}{98914,54} \quad \mathbf{d_{nP4} = 8,21 \text{ let}} \quad (4.54)$$

Dosaž. roční měr. potřeba energie (graf 4.22): 62,00 kWh/m²
 při poklesu měrné spotřeby o: 66,12 %

Dosažená roční měrná energie splňuje dotaci:
 (viz kap. 3.2.2), [17] 1550,00 Kč/m²

Celková výše dotace [17]: 542 500,00 Kč

Cena po obdržení dotace: $I_{P4d} =$ **269 679,75 Kč**

Návratnost investic s dotací:

$$d_{nP4d} = \frac{I_{P4d}}{U_{rP4}} = \frac{269679,75}{98914,54} \quad \mathbf{d_{nP4d} = 2,73 \text{ let}} \quad (4.55)$$

CELKOVÉ ZATEPLENÍ MINERÁLNÍ VLNA RW – POŽADOVANÉ HODNOTY

Orientační cena izolačních dvojskel pro celý dům:	$I_{IZW} =$	168 760,00 Kč
Cena izolace Frontrock MAX E [12]:		
tloušťka 7 cm na zdivo 50	$I_{RW7} =$	26 767,90 Kč
tloušťka 8 cm na zdivo 37,5	$I_{RW8} =$	116 711,90 Kč
tloušťka 10 cm na zdivo 25	$I_{RW10} =$	28 890,20 Kč
Orientační cena stavebních prací [12, 16]:	$I_{STRD} =$	520 000,00 Kč
Celková cena:	$I_{M3} =$	861 130,00 Kč

Roční úspora energie (graf 4.21):

$$\Delta E_{M3} = E_{orig} - E_{M3} = 78470 - 30798 \quad \Delta E_{M3} = 47\,673,00 \text{ kWh/rok} \quad (4.56)$$

Roční finanční úspora za tepelnou energii:

$$U_{rM3} = \Delta E_{M3} \cdot C_T = 47672 \cdot 1,908 \quad U_{rM3} = 90\,958,18 \text{ Kč/rok} \quad (4.57)$$

Návratnost investic:

$$d_{nM3} = \frac{I_{M3}}{U_{rM3}} = \frac{861130}{90958,18} \quad d_{nM3} = \mathbf{9,47 \text{ let}} \quad (4.58)$$

Dosaž. roční měr. potřeba energie (graf 4.22):	72,00 kWh/m ²
splňuje pouze dílčí dotaci (pokles o)	60,66 %

Dosažená roční měrná energie splňuje dotaci: (viz kap. 3.2.2), [17]	850,00 Kč/m ²
--	--------------------------

Celková výše dotace [17]:	297 500,00 Kč
---------------------------	---------------

Cena po obdržení dotace:	$I_{M3d} =$ 563 630,00 Kč
--------------------------	----------------------------------

Návratnost investic s dotací:

$$d_{nM3d} = \frac{I_{M3d}}{U_{rM3}} = \frac{563630}{90958,18} \quad d_{nM3d} = \mathbf{6,20 \text{ let}} \quad (4.59)$$

CELKOVÉ ZATEPLENÍ MINERÁLNÍ VLNA RW – DOPORUČENÉ HODNOTY

Orientační cena izolačních dvojskel pro celý dům:	$I_{IZW} =$	168 760,00 Kč
Cena izolace Frontrock MAX E [12]:		
tloušťka 14 cm na zdivo 50	$I_{RW14} =$	52 953,80 Kč
tloušťka 14 cm na zdivo 37,5	$I_{RW14} =$	204 245,80 Kč
tloušťka 14 cm na zdivo 25	$I_{RW14} =$	40 446,30 Kč
Orientační cena stavebních prací [12, 16]:	$I_{STRD} =$	520 000,00 Kč
Celková cena:	$I_{M4} =$	986 405,90 Kč

Roční úspora energie (graf 4.21):

$$\Delta E_{M4} = E_{orig} - E_{M4} = 78470 - 26564 \quad \Delta E_{M4} = 51\,906,00 \text{ kWh/rok} \quad (4.60)$$

Roční finanční úspora za tepelnou energii:

$$U_{rM4} = \Delta E_{M4} \cdot C_T = 51906 \cdot 1,908 \quad U_{rM4} = 99\,036,65 \text{ Kč/rok} \quad (4.61)$$

Návratnost investic:

$$d_{nM4} = \frac{I_{M4}}{U_{rM4}} = \frac{986405,9}{99036,65} \quad d_{nM4} = \mathbf{9,96 \text{ let}} \quad (4.62)$$

Dosaž. roční měr. potřeba energie (graf 4.22): 62,00 kWh/m²
 při poklesu měrné spotřeby o: 66,12 %

Dosažená roční měrná energie splňuje dotaci:
 (viz kap. 3.2.2), [17] 1550,00 Kč/m²

Celková výše dotace [17]: 542 500,00 Kč

Cena po obdržení dotace: $I_{M4d} = \mathbf{443\,905,90 \text{ Kč}}$

Návratnost investic s dotací:

$$d_{nM4d} = \frac{I_{M4d}}{U_{rM4}} = \frac{443905,9}{99036,65} \quad d_{nM4d} = \mathbf{4,48 \text{ let}} \quad (4.63)$$

KLIMATIZACE – POLYSTYREN EPS (POŽADOVANÉ HODNOTY)

Orientační cena Multi-Split klimatizace
(1 venkovní a 2 vnitřní jednotky na patro) [10]:

$$I_{KLRD} = 82\,700,00 \text{ Kč}$$

Celková cena:

$$I_{P3^*} = 844\,030,60 \text{ Kč}$$

Vzniklé náklady na chlazení (graf 4.27):

$$N_{P3^*} = E_{P3cool} \cdot C_E = 246 \cdot 4,54 \qquad N_{P3^*} = 1\,116,84 \text{ Kč/rok} \quad (4.64)$$

Roční finanční úspora na celkové energii:

$$U_{CrP3} = U_{rP3} - N_{P3^*} = 90317,09 - 1116,84 \qquad U_{CrP3} = 89\,200,25 \text{ Kč/rok} \quad (4.65)$$

Návratnost investic:

$$d_{nP3^*} = \frac{I_{P3^*}}{U_{CrP3}} = \frac{844030,6}{89200,25} \qquad d_{nP3^*} = 9,46 \text{ let} \quad (4.66)$$

Návratnost investic s dotací na zateplení:

$$d_{nP3^*d} = \frac{I_{P3^*d}}{U_{CrP3}} = \frac{546530,6}{89200,25} \qquad d_{nP3^*d} = 6,13 \text{ let} \quad (4.67)$$

KLIMATIZACE – POLYSTYREN EPS (DOPORUČENÉ HODNOTY)

Orientační cena Multi-Split klimatizace
(1 venkovní a 2 vnitřní jednotky na patro) [10]:

$$I_{KLRD} = 82\,700,00 \text{ Kč}$$

Celková cena:

$$I_{P4^*} = 894\,879,75 \text{ Kč}$$

Vzniklé náklady na chlazení (graf 4.27):

$$N_{P4^*} = E_{P4cool} \cdot C_E = 383 \cdot 4,54 \qquad N_{P4^*} = 1\,738,82 \text{ Kč/rok} \quad (4.68)$$

Roční finanční úspora na celkové energii:

$$U_{CrP4} = U_{rP4} - N_{P4^*} = 98914,54 - 1738,82 \qquad U_{CrP4} = 97\,175,72 \text{ Kč/rok} \quad (4.69)$$

Návratnost investic:

$$d_{nP4^*} = \frac{I_{P4^*}}{U_{CrP4}} = \frac{894879,75}{97175,72} \qquad d_{nP4^*} = 9,21 \text{ let} \quad (4.70)$$

Návratnost investic s dotací na zateplení:

$$d_{nP4^*d} = \frac{I_{P4^*d}}{U_{CrP4}} = \frac{352379,75}{97175,72} \qquad d_{nP4^*d} = 3,63 \text{ let} \quad (4.71)$$

KLIMATIZACE – MINERÁLNÍ VLNA RW (POŽADOVANÉ HODNOTY)

Orientační cena Multi-Split klimatizace
(1 venkovní a 2 vnitřní jednotky na patro) [10]: $I_{KLRD} = 82\,700,00$ Kč

Celková cena: $I_{M3^*} = 943\,830,00$ Kč

Vzniklé náklady na chlazení (graf 4.27):

$$N_{M3^*} = E_{M3cool} \cdot C_E = 255 \cdot 4,54 \quad N_{M3^*} = 1\,157,70 \text{ Kč/rok} \quad (4.72)$$

Roční finanční úspora na celkové energii:

$$U_{CrM3} = U_{rM3} - N_{M3^*} = 90958,18 - 1157,7 \quad U_{CrM3} = 89\,800,48 \text{ Kč/rok} \quad (4.73)$$

Návratnost investic:

$$d_{nM3^*} = \frac{I_{M3^*}}{U_{CrM3}} = \frac{943830}{89800,48} \quad d_{nM3^*} = 10,51 \text{ let} \quad (4.74)$$

Návratnost investic s dotací na zateplení:

$$d_{nM3^*d} = \frac{I_{M3^*d}}{U_{CrM3}} = \frac{646330}{89800,48} \quad d_{nM3^*d} = 7,20 \text{ let} \quad (4.75)$$

KLIMATIZACE – MINERÁLNÍ VLNA RW (DOPORUČENÉ HODNOTY)

Orientační cena Multi-Split klimatizace
(1 venkovní a 2 vnitřní jednotky na patro) [10]: $I_{KLRD} = 82\,700,00$ Kč

Celková cena: $I_{M4^*} = 1\,069\,105,90$ Kč

Vzniklé náklady na chlazení (graf 4.27):

$$N_{M4^*} = E_{M4cool} \cdot C_E = 384 \cdot 4,54 \quad N_{M4^*} = 1\,743,36 \text{ Kč/rok} \quad (4.76)$$

Roční finanční úspora na celkové energii:

$$U_{CrM4} = U_{rM4} - N_{M4^*} = 99036,65 - 1743,36 \quad U_{CrM4} = 97\,293,29 \text{ Kč/rok} \quad (4.77)$$

Návratnost investic:

$$d_{nM4^*} = \frac{I_{M4^*}}{U_{CrM4}} = \frac{1069105,9}{97293,29} \quad d_{nM4^*} = 10,99 \text{ let} \quad (4.78)$$

Návratnost investic s dotací na zateplení:

$$d_{nM4^*d} = \frac{I_{M4^*d}}{U_{CrM4}} = \frac{526605,9}{97293,29} \quad d_{nM4^*d} = 5,41 \text{ let} \quad (4.79)$$

4.4.9 SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ

BYTOVÝ DŮM

Tab. 4.5 Přehled investičních nákladů jednotlivých stavebních úprav bytového domu za účelem snížit jeho energetickou náročnost s vypočtenou návratností opatření

druh investice	investice [Kč]	návratnost [rok]	investice s dotací [Kč]	návratnost s dotací [Kč]
výměna oken izolační dvojsklo	878 300,00	17,10	428 300,00	8,34
výměna oken izolační trojsklo	926 300,00	17,15	476 300,00	8,82
celkové zateplení EPS požadované	1 423 270,50	11,75	298 270,50	2,46
s klimatizací	1 740 770,50	63,66	615 770,50	22,52
celkové zateplení EPS doporučené	1 525 741,40	11,72	400 741,40	3,08
s klimatizací	1 843 241,40	75,97	718 241,40	29,60
celkové zateplení RW požadované	1 521 438,00	12,62	396 438,00	3,29
s klimatizací	1 838 938,00	66,49	713 938,00	25,81
celkové zateplení RW doporučené	1 708 201,70	13,10	583 201,70	4,47
s klimatizací	2 025 701,70	83,55	900 701,70	37,15

INDEX PMV

Dům je lehčí konstrukce a na svoji velikost poměrně hodně prosklen, což s sebou nese negativní důsledky v případě opatření pro snižování tepelných ztrát, i když by se z počátku mohlo jevit vše opačně. Index *PMV* je v původním stavu domu v normě (až na drobné odchytky v intervalu -2 až $+2$). Už výměna oken má však za následek překročení hranice tohoto intervalu (např. graf 4.15) a kompletní izolace budovy s sebou nese enormní zvýšení vnitřních teplot hlavně v letních měsících a následnou tepelnou nepohodu, která musí být eliminována použitím chladicího zařízení). V reálném provozu by bylo překročeno k zintenzivnění větrání, změně oděvu, či činnosti, k čemuž však v simulaci, kvůli možnosti porovnávat výsledky obou domů, nebylo přistoupeno. Dá se tedy konstatovat, že zvýšení tepelné pohody v zimě (zvýšenou povrchovou teplotou konstrukcí) a snížení potřeby tepla u tohoto typu domu převáží negativní zvýšení tepelné zátěže v měsících letních.

RODINNÝ DŮM

Tab. 4.6 Přehled investičních nákladů jednotlivých stavebních úprav rodinného domu za účelem snížit jeho energetickou náročnost s vypočtenou návratností opatření

druh investice	investice [Kč]	návratnost [rok]	investice s dotací [Kč]	návratnost s dotací [Kč]
výměna skel izolační dvojsklo	168 760,00	10,81	–	–
celkové zateplení EPS požadované	761 330,60	8,43	463 830,60	5,14
s klimatizací	844 030,60	9,46	546 530,60	6,13
celkové zateplení EPS doporučené	812 179,75	8,21	269 679,75	2,73
s klimatizací	894 879,75	9,21	352 379,75	3,63
celkové zateplení RW požadované	861 130,00	9,47	563 630,00	6,20
s klimatizací	943 830,00	10,51	646 330,00	7,20
celkové zateplení RW doporučené	986 405,90	9,96	443 905,90	4,48
s klimatizací	1 069 105,90	10,99	526 605,9	5,41

INDEX PMV

Rodinný dům je z velice masivní konstrukce a v simulaci není zohledněn fakt, že se nachází na velice vlhkém jílovitém povrchu, což ovlivňuje podstatně i jeho vnitřní mikroklima. Hodnoty indexu *PMV* jsou ve všech případech velice stabilní (graf 4.31 až 4.36). To je do určité míry dáno zprůměrováním hodnot pro místnosti stejného účelu. U bytového domu jsou tyto hodnoty prakticky totožné, avšak rodinný dům je velmi členitý a po konstrukční stránce se v něm nachází mnoho rozdílných místností (pro účely simulace se stejným využitím, které je reálně těžké předpovědět). U tohoto typu domu by zvýšení tepelně izolačních vlastností obvodového pláště vedlo k výraznému zlepšení stavu vnitřního prostředí navýšením tepelné setrvačnosti budovy v přechodových obdobích a nevedlo by k negativním důsledkům nadměrné tepelné zátěže jako u domu bytového.

Navrhnutá opatření byla provedena na základě výběru nejčastěji používaných typů izolace ve stavebnictví při tepelné izolaci budov. Jiné varianty nebyly voleny z důvodu horší dostupnosti nebo neekonomičnosti řešení. Jejich tloušťka byla volena na základě požadovaných a doporučených hodnot normou ČSN 0540-2 (čerpáno z [3]), další varianty se jevily jako zbytečné. Výměna oken byla provedena podle skutečných realizací. U bytového domu za nová plastová okna, vzhledem k technickému i estetickému stavu oken původních. V případě rodinného domu byla volena pouze instalace izolačního skla do stávajících špaletových oken, která se na domě nacházejí buď původní nebo cca 30 let stará (a původní okna stará přes 80 let jsou v lepším technickém stavu než okna novější).

V ekonomickém hodnocení opatření pro snížení potřeby tepla na vytápění hraje velkou roli dotační program Zelená úsporám. U bytového domu významně ovlivní návratnost i při pouhé výměně oken, a to o více jak polovinu ze 17 let na 8 let. Z výsledků je patrné, že izolační dvojsklo a trojsklo vychází ekonomicky prakticky stejně (ekologicky je však mnohem výhodnější izolační dvojsklo, jelikož se na jeho výrobu spotřebuje méně materiálu). Při kompletní izolaci budovy vychází vždy výhodněji varianta polystyrenu EPS díky jeho nízké ceně. Minerální vlna je však materiál „hodnotnější“, jelikož kromě odolnější a stálější struktury, poskytuje také mnohem lepší akustickou izolaci pláště budovy a je také nehořlavá, což je velká slabina polystyrenu.

U bytového domu je možné použít prakticky libovolnou variantu, jelikož všechny splňují nejvyšší dotační limit (za předpokladu, že by byla dotace udělena) a záleží tedy jen na finančních možnostech, kterou variantu zvolit a popř. který materiál je pro daný objekt vhodnější. Problematická se však po zaizolování bytového domu stává akumulace tepla v letních měsících, což je nutné řešit klimatizováním, které v případech doporučených hodnot izolace překračuje i energetikou náročnost vytápění. Z tohoto důvodu by se tedy jevilo vhodnější volit variantu izolací požadovaných. V tomto objektu by bylo nejspíše vhodné instalovat vzduchotechniku s rekuperací tepla, jelikož je oproti rodinnému domu v domě s 15 bytovými jednotkami opodstatněná. Z důvodu rozsáhlosti práce však vzduchotechnika navrhována nebyla.

Z výsledků ekonomické návratnosti u rodinného domu se jeví jako lepší varianta izolací s hodnotami doporučenými, protože je v jejich případě možné čerpat druhou nejvyšší dotaci v programu Zelená úsporám pro rodinné domy. Hodnoty požadované stačí pouze na dotaci částečnou a tudíž se jeví jako méně efektivní po ekonomické stránce. U tohoto typu domu (a to hlavně vzhledem ke stáří domu) je zateplení velice vhodné a má pozitivní vliv na kvalitu vnitřního prostředí. Na rozdíl od bytového domu vede k výraznému snížení energie potřebné na vytápění a nijak dramaticky nevzroste potřeba chlazení v letních měsících.

Asi nejdůležitějším faktorem ekonomického hodnocení ale zůstává typ daného objektu, resp. kolik účastníků se bude na investici podílet, a z toho důvodu jsou tato energetická opatření nesrovnatelně náročnější pro rodinné domy než pro domy bytové. Doby návratnosti jsou počítány se současnými cenami energie, které mají stále rostoucí tendenci, a proto by návratnosti investic byla při realizaci ještě nižší než takto vypočtená.

Dalším neopominutelným faktorem je dopad ekologický, který je však těžko dohledatelný a vypočitatelný například pro výrobu izolace pro hodnoty požadované a doporučené. Pokud by se však vzala více v potaz stránka ekonomická, platí již uvedené závěry, že pro bytový dům se jeví jako vhodnější varianta izolace s hodnotami požadovanými a pro dům rodinný s hodnotami doporučenými. Jestli volit izolaci polystyrenem nebo minerální vlnou je opravdu těžké objektivně určit, opět kvůli rozdílnému poměru ekologického a ekonomického dopadu.

Při snižování potřeby energie na vytápění bylo cílem současně zvýšit kvalitu a komfort bydlení. Je však nutné podotknout, že prostředky energetické simulace toho není úplně možné dosáhnout, jelikož se opomíjí mnoho důležitých faktorů. Jeden z hlavních přínosů zvýšení tepelného odporu obálky budovy a výměny oken je následné zvýšení povrchové teploty ploch nacházejících se v interiéru, tj. eliminace negativní radiace. Pro přesné zjištění těchto hodnot a sálání povrchů na člověka by bylo nutné problematiku řešit spíše pomocí počítačového modelování CFD a nikoli energetickými simulacemi.

Dále bylo vzhledem k rozsahu zadání nutno přistoupit k mnoha zjednodušujícím předpokladům, což má sice jen minimální vliv na výsledky energetické bilance budov, ale vede opět ke značně orientačním hodnotám komfortu bydlení. Pro přesné zkoumání vlivu zateplování na kvalitu vnitřního prostředí by bylo vhodné se detailněji zabývat např. jednou bytovou jednotkou.

V práci nebyla nijak zmíněna vyhláška ze dne 18. června 2007 o energetické náročnosti budov, jelikož energetická náročnost budov je soubor veškeré dodané roční energie do budovy a detailně se simulovala pouze potřeba energie na vytápění, popř. chlazení. Energie potřebná na osvětlení nebo ohřev užitkové vody a dále potřeby (specifikace) otopné soustavy nebyly do simulací nijak zahrnuty. Hodnoty pro vypracování třídy energetické náročnosti budovy jsou tedy pouze částečné a nebylo tím pádem možné přesně stanovit tuto hodnotu.

ZÁVĚR

Dodatečné tepelné izolování starších objektů je v posledních letech trendem a vede k výraznému snižování energetické náročnosti takto upravených domů v zimním období. Ve velké míře k tomu přispěl právě dotační program Zelená úsporám, bez kterého by jistě velká míra úprav nebyla realizována. V práci je počítáno s přidělením požadované dotace, což však při reálné realizaci nemusí být vždy splněno.

U bytového domu vychází bez dotačního programu nejnižší návratnost 11,72 let, a to pro zateplení polystyrenem podle hodnot doporučených normou při investici 1 525 741,4 Kč (vyšší investice do izolace jsou kompenzovány úsporami za tepelnou energii, jelikož v případě požadovaných hodnot a zateplení EPS je návratnost 11,75 let při ceně úprav 1 423 270,5 Kč a obě tyto investice na celkové zateplení zvýší dobu návratnosti oproti pouhé výměně oken o cca 6 let). V případě obdržení dotace je nejnižší návratnost 2,46 let při zateplení EPS (cena 298 270,5 Kč) podle požadovaných hodnot (zde se projeví, že výše dotace je pro požadované a doporučené hodnoty stejná a oproti nedotovanému stavu vychází výhodněji požadované zateplení, oproti zateplení doporučenému s návratností investic 3,08 let). Zateplování minerální vlnou vychází ve všech případech finančně nevýhodně, ale je důležité zvážit úspory u levnějšího polystyrenu na úkor jeho horším technickým vlastnostem oproti minerální vlně.

Pokud by do bytového domu byla po celkovém zateplení instalována klimatizace pro dodržení tepelného komfortu v letním měsících, mělo by to za následek radikální zvýšení dob návratnosti v důsledku vzniklých nákladů na pořízení tohoto zařízení a zejména na jeho provoz. Nejnižší doba návratnosti pak vychází na 63,66 let opět u požadovaných hodnot zateplování polystyrenem. Po obdržení dotace je nejnižší doba návratnosti (u stejné varianty) 22,52 let. Z výsledků je patrné, že pro tento konkrétní typ budovy nese zvýšení tepelně izolačních parametrů obvodového pláště značné negativní důsledky v letních měsících a potřeby na chlazení v případech doporučených hodnot izolace překročí potřeby na vytápění. Vhodnost těchto opatření by tedy bylo nutné ještě dále zkoumat s různými modely větrání v letním období a s případnou instalací pokročilé vzduchotechniky pro celý objekt.

U rodinného domu dochází na rozdíl od domu bytového k rozdílné dotační situaci, a to že vůbec nesplňuje požadavky nebo nesplňuje limit pro dotaci na kompletní zateplení, i když kompletní zateplení provedeno bylo. Při pouhé výměně skel oken za izolační dvojskla není splněna žádná podmínka dotačního programu. Kompletní zateplení budovy je pak v případě hodnot požadovaných dotováno pouze částečně a vychází tedy méně výhodně, v porovnání se zateplení podle hodnot doporučených, kdy je splněna podmínka pro dotaci na kompletní zateplení. Nejnižší doba návratnosti nedotovaných variant je 8,21 let při ceně opatření 812 179,8 Kč pro doporučené hodnoty izolace polystyrenem a při obdržení dotace se sníží na 2,73 let (investice se sníží na 269 697,8 Kč). Návratnost při zateplení minerální vlnou vychází díky vyšší ceně tohoto materiálu opět delší, ale v případě tohoto historického objektu je možná vhodnější použít právě minerální vlnu.

Rodinný dům není ani po kompletním zateplení v létě nijak tepelně zatížen a instalace klimatizace tedy na základě výsledků není až tak nutná. Z provozu je však patrné, že do konkrétních místností by byla instalace klimatizace nutná vzhledem k velkému prosklení

a případné specifické konstrukci, kdy se nad místností nachází terasa. Pokud by byla podle zvolené varianty klimatizace instalována, tak se nejnižší návratnost zvýší z 2,73 let na 3,63 let a finanční náklady se zvýší na 352 379,8 Kč, což je mnohem menší rozdíl, než v případě bytového domu. Vhodnost opatření pro zvýšení tepelně izolačních parametrů obvodového pláště se pro případ rodinného domu jeví jako velice vhodná a kromě těžko předvídatelných hygienických důsledků s sebou nenese žádné negativní dopady pro letní období.

Posledním důležitým faktorem je cena jednotlivých opatření připadající na obyvatele, resp. bytovou jednotku. Při nejnižší možné návratnosti u bytového domu bez dotace a bez chlazení je to 101 716,1 Kč a v případě dotace 19 884,7 Kč. U rodinného domu je to bez dotace a bez chlazení 406 089,9 Kč a po dotaci 134 839,9 Kč vzhledem k tomu, že na financování domu se podílí pouze dvě hlavní obytná patra. Investice na obyvatele u rodinného domu jsou nesrovnatelně vyšší než u domu bytového, což není nijak překvapivé, ale vede to k překážkám v realizaci požadovaných úprav i v případě obdržení dotace v plné výši.

- [1] ŘEHÁNEK, Jaroslav – JANOUŠ, Antonín – KUČERA, Petr – KUČERA, Vlastimil – ŠAFRÁNEK, Jaroslav – VÁCLAVÍK, Vladimír. *4 x E o tepelné izolaci budov*. 1. vyd. Praha: ČKAIT, s. r. o., 2004. 252 s. ISBN 80-86769-25-9.
- [2] JOKL, Miroslav. *Přirozená klimatizace*. 1. vyd. Brno: ERA group spol. s r.o., 2004. 92 s. ISBN 80-86517-84-5.
- [3] VAVERKA, Jiří a kol. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. 1. vyd. Brno: VUT – nakladatelství Vutium, 2006. 648 s. ISBN 80-214-2910-0.
- [4] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí*. 1 vyd. Brno: VUT, 1991. 201 s. ISBN 80-214-0258-X.
- [5] CHMÚRNÝ, Ivan. *Tepelná ochrana budov*. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo Jaga group, v. o. s., 2003. 214 s. ISBN 80-88905-27-3.
- [6] ŠUBRT, Roman. *Tepelné izolace v otázkách a odpovědích*. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2005. 144 s. ISBN 80-7300-159-4.
- [7] CHYRSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol. *Větrání a klimatizace*. 3. zcela přepracované vyd. Brno: BOLIT-B press, 1993. 560 s. ISBN 80-901574-0-8.
- [8] *A-Okna poptávkový formulář* [online]. 2011 [cit. 2011-05-18]. < <http://www.aokna.cz/poptavka/zadani-poptavky.html>>.
- [9] *Ceny energie* [online]. 2011 [cit. 2011-05-18]. < <http://www.cenyenergie.cz/>>.
- [10] *Klimatizace-Shop* [online]. 2011 [cit. 2011-05-18]. < <http://www.klimatizace-shop.eu/>>.
- [11] *Google Maps* [online]. 2011 [cit. 2011-05-16]. <<http://maps.google.com/>>.
- [12] *Rockwool* [online]. 2011 [cit. 2011-05-18]. < <http://www.rockwool.cz/prodejci/cenik>>.
- [13] *Tospur s.r.o.* [online]. 2011 [cit. 2011-05-19]. < <http://www.tospur.cz/cz/kategorie/kalkulace-ceny.aspx>>.
- [14] *Tepelné izolace* [online]. 2011 [cit. 2011-05-18]. < <http://www.tepelna-izolace.cz/polystyren-eps-70-f-fasadni.html>>.
- [15] *TRNSYS – Official Website* [online]. 11.1.2011 [cit. 2011-05-16]. < <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/faq/faq.htm>>.

- [16] *Zateplení ceník - RoachStav* [online]. 2011 [cit. 2011-05-18]. < <http://www.zateplenosdotaci.cz/?id=cenik>>.
- [17] *Zelená úsporám* [online]. 2009 [cit. 2011-05-16]. < <http://www.zelenausporam.cz/>>.

SYMBOLY ZKRATKY

SYMBOLY

A	koeficient závislý na rychlosti proudění vzduchu	[-]
A_i	plocha teplosměnného obalu budovy	[m ²]
C	cena energie	[Kč/kWh]
d	tloušťka vrstvy konstrukce	[m]
d_n	doba návratnosti	[rok]
E	potřebná energie	[kWh]
h_e	součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce	[W/(m ² K)]
h_i	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	[W/(m ² K)]
I	intenzita sálání	[W/m ²]
I_{druh}	vložené prostředky	[Kč]
M	celkový průměrný energetický výdej	[W/m ²]
n	intenzita výměny vzduchu	[h ⁻¹]
q	hustota tepelného toku	[W/m ²]
q_c	tepelný tok z těla prouděním	[W/m ²]
q_d	tepelný tok z těla dýcháním	[W/m ²]
Q_h	potřeba tepla na vytápění	[kWh]
Q_i	teplo z vnitřních zdrojů tepla	[kWh]
Q_l	potřeba tepla na krytí celkové tepelné ztráty	[kWh]
q_m	metabolický tepelný tok	[W/m ²]
Q_q	celkové tepelné zisky	[kWh]
q_r	tepelný tok z těla sáláním	[W/m ²]
Q_s	teplo ze sluneční radiace za zasklením budovy	[kWh]
Q_T	potřeba tepla na krytí tepelné ztráty průchodem tepla	[kWh]
Q_v	potřeba tepla na krytí tepelné ztráty větráním	[kWh]
q_v	tepelný tok z těla vedením	[W/m ²]
q_w	tepelný tok z těla vypařováním	[W/m ²]
R	tepelný odpor	[m ² K/W]
R_{cl}	tepelný odpor oděvu	[clo]
R_{se}	tepelný odpor na vnější straně konstrukce	[m ² K/W]
R_{si}	tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce	[m ² K/W]
U	součinitel prostupu tepla	[W/(m ² K)]
U_{ef}	ukazatel efektivity	[rok]
U_r	roční úspory získané daným opatřením	[Kč/rok]
UZ	ukazatel zisku	[Kč]
v_{ai}	rychlost proudění vzduchu	[m/s]
V_b	obestavěný objem budovy	[m ³]
z	zásobitel	[-]

ΔE	roční úspora energie	[kWh/rok]
Δq_a	teplo akumulované v organismu	[W/m ²]
$\Delta \theta_{ai,max}$	nejvyšší denní vzestup teploty vnitřního vzduchu	[°C]
$\Delta \theta_{pr}$	asymetrie radiační teploty	[°C]
$\Delta \theta_v(t)$	součtová teplota na konci otopné přestávky	[°C]
η	součinitel využití tepelných zisků	[-]
θ_a	teplota vnitřního vzduchu	[°C]
θ_d	teplota rosného bodu	[°C]
θ_e	návrhová teplota venkovního vzduchu	[°C]
θ_g	výsledná teplota kulového teploměru	[°C]
θ_i	návrhová teplota vnitřního vzduchu	[°C]
θ_{korig}	korigovaná teplota	[°C]
θ_o	operativní teplota	[°C]
θ_p	rovinná radiační teplota	[°C]
$\bar{\theta}_r$	střední radiační teplota	[°C]
θ_s	povrchová teplota	[°C]
θ_{se}	nejnižší vnější povrchová teplota konstrukce	[°C]
θ_{si}	nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce	[°C]
θ_w	teplota vlhkého teploměru	[°C]
λ	tepelná vodivost	[W/(mK)]
μ	faktor difuzního odporu	[-]
φ_i	relativní vlhkost vnitřního vzduchu	[%]

ZKRATKY

CEN	Comité Européen de Normalisation	
EPS	Expanded Polystyrene	
ETICS	External Thermal Insulation Composite Systems	
BM	bazální metabolismus	
DR	Draught Rate	
PMV	Predicted Mean Vote	
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied	
RMR	Resting Matabolic Rate	
TMY	Typical Meteorological Year	
VIE	výtěžnost tepelně izolačního efektu konstrukce	[%]

PŘÍLOHY

- PŘÍLOHA 1:** Stavební výkres, č. výkresu H01
Helfertova 43, 1.NP
Formát A2
- PŘÍLOHA 2:** Stavební výkres, č. výkresu H02
Helfertova 43, 2–6.NP
Formát A2
- PŘÍLOHA 3:** Stavební výkres, č. výkresu J01
Jiříkovského 7, 1.PP
Formát A1
- PŘÍLOHA 4:** Stavební výkres, č. výkresu J02
Jiříkovského 7, 1.NP
Formát A1
- PŘÍLOHA 5:** Stavební výkres, č. výkresu J03
Jiříkovského 7, 2.NP
Formát A1
- PŘÍLOHA 6:** Stavební výkres, č. výkresu J04
Jiříkovského 7, 3.NP
Formát A1
- PŘÍLOHA 7:** Vybrané simulace stavebních objektů
(pouze v elektronické verzi na přiloženém CD)