

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**ENERGETICKÁ NÁROČNOST
BUDOV**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval: Bc. Lukáš Zych

8-TŽP-2020

Vedoucí práce: Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zych** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **457511**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Energetická náročnost budov

Název diplomové práce anglicky:

Energy Performance of Buildings

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte studii stanovení potřeby tepla na vytápění v souladu s platnou legislativou ČR. Studii proveďte na čtyřech projektech rodinných domů z rozdílnou geometrií stavby a nuceným větráním se zpětným získáváním tepla. Výsledky potřeb energií získané dle platných norem porovnejte s matematickou simulací v softwaru IDA Indoor Climate and Energy. Navrhněte výpočtově optimální variantu potřeby tepla na vytápění s ohledem na použitou metodiku výpočtu. Stanovte vhodné složení stavebních konstrukcí s ohledem na tepelně-technické vlastnosti a zároveň také na poměr zasklení obálky budovy při konfrontaci s vypočtenou potřebou tepla na vytápění a chlazení.

Seznam doporučené literatury:

- 1) ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. ÚNMZ 2018.
- 2) ČSN EN 12831-3 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 3: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3. ÚNMZ 2019.
- 3) ČSN EN ISO 52016-1 Energetická náročnost budov - Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony - Část 1: Výpočtové postupy. ÚNMZ 2019.
- 4) Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov se změnami: č. 230/2015 Sb. Ministerstvo průmyslu a obchodu 2013.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Roman Vavříčka, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

SOUHRN

Diplomová práce porovnává hodnoty tepelných ztrát, potřeby energie na vytápění a chlazení u různých typů rodinných domů v závislosti na velikosti procenta zasklení celé obálky budovy. Součástí práce je řešení vlivu rozdílných tepelně-izolačních vlastností stavebních konstrukcí a oken na tyto energetické potřeby. Výpočtové modely použité v diplomové práci jsou komparovány s matematickou simulací potřeby energie na vytápění v programu IDA Indoor Climate and Energy.

SUMMARY

The diploma thesis deals with the comparison of heat losses, energy needs for heating and cooling of family houses depending on the increasing percentage of glazing of the building envelope. Furthermore, a study of the influence of different thermal insulation properties of building structures and windows on these energy needs is prepared. The results of all calculation methods are compared with mathematical simulations of the energy demand for heating from the IDA Indoor Climate and Energy program.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Energetická náročnost budov“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze

.....

Bc. Lukáš Zych

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat především panu Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D., za odborné vedení této diplomové práce a užitečné rady a připomínky při konzultacích. Dále děkuji panu Ing. Vojtěchu Zavřelovi, Ph.D., za seznámení se simulačním programem IDA ICE a v neposlední řadě své rodině za podporu po celé roky mého vysokoškolského života.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ	- 9 -
ÚVOD	- 12 -
1. VÝBĚR RODINNÝCH DOMŮ	- 13 -
1.1. Rodinný dům č. 1	- 13 -
1.2. Rodinný dům č. 2	- 14 -
1.3. Rodinný dům č. 3	- 16 -
1.4. Rodinný dům č. 4	- 18 -
2. PROCENTO ZASKLENÍ OBÁLKY DOMU	- 20 -
3. NÁVRH STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ	- 21 -
3.1. Součinitel prostupu tepla stavebních konstrukcí	- 21 -
3.1.1. Stěna vnější	- 22 -
3.1.2. Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně.....	- 23 -
3.1.3. Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně.....	- 23 -
3.1.4. Podlaha.....	- 23 -
3.1.5. Střecha.....	- 24 -
4. VÝBĚR OKEN	- 25 -
4.1. Typ č. 1	- 25 -
4.2. Typ č. 2	- 25 -
4.3. Typ č. 3	- 25 -
5. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT	- 26 -
5.1. Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla.....	- 26 -
5.1.1. Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí	- 26 -
5.1.2. Měrný tepelný tok prostupem do nebo přes sousední prostory.....	- 28 -
5.1.3. Měrný tepelný tok prostupem zeminou.....	- 28 -
5.2. Návrhová tepelná ztráta větráním	- 28 -

5.2.1.	Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním.....	- 29 -
5.2.2.	Výběr větrací jednotky	- 29 -
6.	VÝPOČET POTŘEBY ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ	- 30 -
6.1.	ČSN EN ISO 52016-1.....	- 30 -
6.2.	ČSN EN ISO 13 790.....	- 32 -
7.	VÝPOČET TEPELNÝCH ZISKŮ	- 33 -
7.1.	Vnitřní tepelné zisky	- 33 -
7.2.	Tepelné zisky z oslunění ČSN EN ISO 52016-1	- 33 -
7.3.	Tepelné zisky z oslunění ČSN EN ISO 13 790	- 36 -
8.	VÝPOČTOVÉ A SIMULAČNÍ PROGRAMY	- 38 -
8.1.	Energie 2019	- 38 -
8.2.	IDA Indoor Climate and Energy	- 39 -
9.	VYHODNOCENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT A POTŘEB ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ.....	- 41 -
9.1.	Vyhodnocení tepelných ztrát rodinných domů.....	- 42 -
9.2.	Vyhodnocení potřeb energie na vytápění rodinných domů.....	- 43 -
9.3.	Vyhodnocení potřeb energie na chlazení rodinných domů	- 47 -
10.	VHODNOST A PŘESNOST METOD PRO VÝPOČET POTŘEB ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ.....	- 49 -
11.	ZHODNOCENÍ DODANÝCH ENERGIÍ.....	- 57 -
	ZÁVĚR	- 62 -
	POUŽITÁ LITERATURA	- 67 -
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	- 69 -
	SEZNAM TABULEK	- 71 -
	SEZNAM PŘÍLOH.....	- 72 -
	Příloha 1 – Tepelné ztráty RD1 v1	- 73 -
	Příloha 2 – Tepelné ztráty RD2 v1	- 73 -
	Příloha 3 – Tepelné ztráty RD3 v1	- 74 -

Příloha 4 – Tepelné ztráty RD1 v2	- 74 -
Příloha 5 – Tepelné ztráty RD2 v2	- 75 -
Příloha 6 – Tepelné ztráty RD3 v2	- 75 -
Příloha 7 – Tepelné ztráty RD4 v2	- 76 -
Příloha 8 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD1 v1	- 76 -
Příloha 9 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD1 v2.....	- 77 -
Příloha 10 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD2 v1	- 77 -
Příloha 11 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD2 v2.....	- 78 -
Příloha 12 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD3 v1	- 78 -
Příloha 13 – Schéma zapojení tepelného čerpadla Buderus WPLS 8.2 v RD4 (Projekt II.).....	- 79 -
Příloha 14 – Půdorys VZT + klimatizace v RD4 (Projekt III.).....	- 80 -

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

a	- parametr	$[-]$
b	- upravující činitel	$[-]$
c	- měrná tepelná kapacita	$[J/kg.K]$
d_t	- ekvivalentní tloušťka podlahy	$[m]$
f	- činitel/součinitel	$[-]$
g	- solární faktor	$[-]$
i	- intenzita větrání	$[-]$
m	- počet dnů	$[den]$
n	- počet osob	$[-]$
q	- průtok vzduchu	$[m^3/s]$
s	- tloušťka	$[m]$
t	- čas	$[h]$
A	- plocha	$[m^2]$
B'	- charakteristický parametr	$[m]$
F	- korekční součinitel	$[-]$
H	- měrný tepelný tok	$[W/K]$
I	- intenzita slunečního záření	$[kWh/m^2]$
O	- obvod	$[m]$
Q	- potřeba energie na vytápění/chlazení	$[kWh]$
U	- součinitel prostupu tepla	$[W/m^2.K]$
R	- tepelný odpor	$[m^2.K/W]$
RD	- rodinný dům	$[-]$
S	- plocha	$[m^2]$
V	- objem	$[m^3]$
α	- součinitel přestupu tepla	$[W/m^2.K]$
γ	- poměr	$[-]$
λ	- součinitel tepelné vodivosti	$[W/m.K]$
η	- účinnost, faktor využití	$[-]$
ρ	- hustota	$[kg/m^3]$
θ	- teplota	$[^{\circ}C]$
Σ	- suma	$[-]$
τ	- časová konstanta zóny	$[h]$

Φ	- návrhová tepelná ztráta/zisk	[W]
<i>Indexy:</i>		
a	- střední, vzduch	
an	- roční	
calc	- výpočtová	
dyn	- dynamický	
e	- externí, vnější výpočtová	
eff	- účinná	
er	- rozdíl venkovní a zdánlivé teploty	
fr	- rám	
g	- zasklení	
gain	- trvalé tepelné zisky	
gn	- tepelné zisky	
gr	- zemina	
ht	- přenos tepla	
hu	- dodatečný zátopový tepelný výkon	
i	- interní, z/do interiéru	
ia	- prostupem z vytápěného prostoru do nebo přes sousední vytápěné prostory (avšak na jinou teplotu)/sousední prostor	
ie	- prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	
ig	- prostupem z vytápěného prostoru do zeminy	
int	- interní	
k	- k-tý/á stavební část/prvek	
lr	- dlouhovlnné sálání na vnějším povrchu	
m	- měsíční, zóna	
n	- n-tý/á	
np	- neprůhledné prvky	
nd	- celkový	
oc	- osoby	
op	- neprůsvitné	
obst	- vnější překážky	
p	- podlaha	
pp	- průhledné prvky	

poh	- pohledová
proc	- procesy
se	- vnější při přestupu tepla
set	- střední
sh	- externí překážky
si	- vnitřní při přestupu tepla
sky	- obloha
sol	- solární
sup	- přívodní
tb	- tepelné vazby
tr	- prostupem
use	- užitná
ve	- větráním
w	- okno, zasklení
wi	- průsvitné
zem	- zemina
zv	- vnitřní zisk
A	- spotřebiče
H	- vytápění
HL	- návrhový tepelný výkon
HVAC	- technické zařízení budov
F	- rám
L	- osvětlení
T	- prostupem tepla
TB	- přírážka na vliv tepelných vazeb
V	- větráním
WA	- rozvody teplé vody

ÚVOD

Diplomová práce se zabývá výpočtem energetické náročnosti různých budov – konkrétně se jedná o čtyři vzájemně odlišné rodinné domy. Práce porovnává hodnoty tepelných ztrát, potřeb energie na vytápění a potřeb energie na chlazení na základě rostoucího procenta zasklení obálky budovy. Výpočetní modely jsou zpracovány v programu Microsoft Excel a softwaru Energie 2019.

Dále práce srovnává aktuální a dnes již neplatné normy na výpočet potřeby energie na vytápění. Spolu s tím práce aplikuje výpočty používané při stanovení potřeby energie na vytápění ze standardního měsíčního časového kroku výpočtu na denní. Tyto výpočty jsou pak verifikovány s hodinovým krokem výpočtu a s nominální hodnotou získanou z energetických simulací v programu IDA Indoor Climate and Energy.

V neposlední řadě je vypracována studie vlivu rozdílných tepelně-izolačních vlastností použitých stavebních konstrukcí a různých typů oken, které se lišily v součiniteli prostupu tepla a propustnosti solárního záření. Tato rešerše je zahrnuta v jednotlivých krocích výpočtů celkových potřeb energie na vytápění a chlazení a také při stanovení primární neobnovitelné energie s použitím třech základních zdrojů tepla – tepelného čerpadla, plynového kondenzačního kotle a centrálního zásobování teplem.

Mezi hlavní cíle práce patří zjištění optimálního procenta zasklení obálky budovy v návaznosti na tepelně-izolační vlastnosti použitých stavebních prvků tak, aby došlo ke snížení dodané primární neobnovitelné energie. Dalším cílem této práce je zhodnocení přesnosti používaných metodik výpočtu potřeb energie na vytápění lišících se v délce časového kroku.

1. VÝBĚR RODINNÝCH DOMŮ

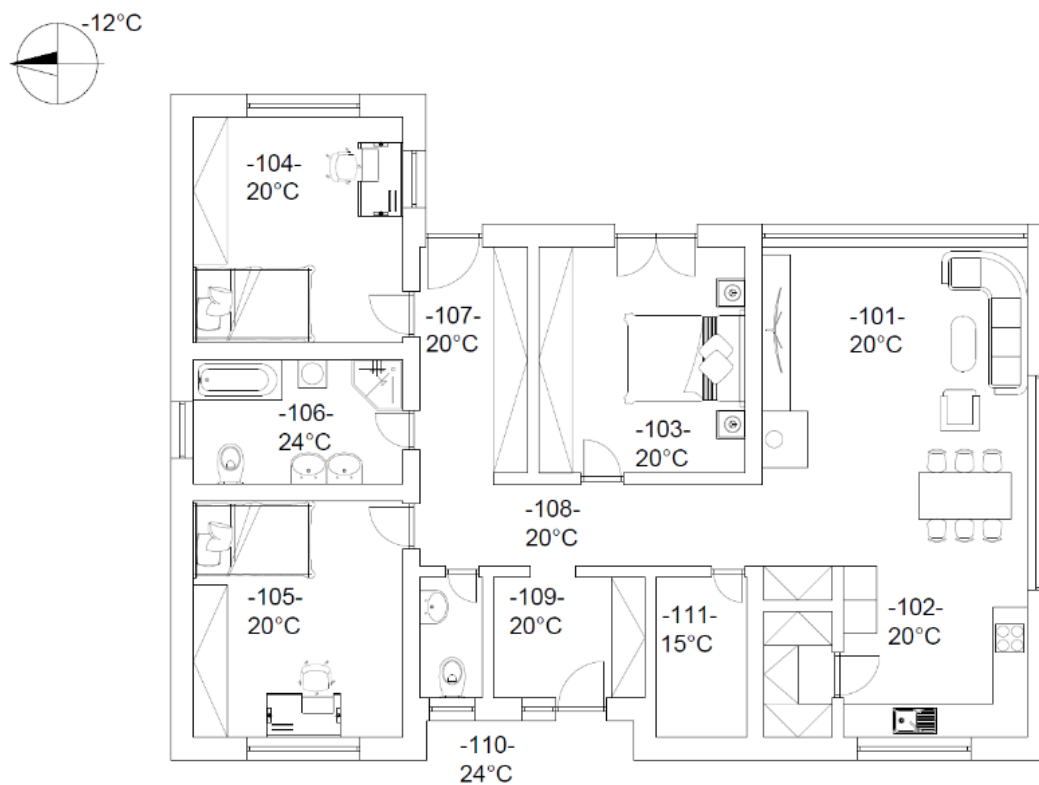
Do diplomové práce byly vybrány celkem čtyři rodinné domy. Diplomová práce navazuje tematicky na bakalářskou práci 5-TZSI-2018. Výběr domů byl zaměřen především na pestrost stavebních řešení, tedy počet pater, geometrický tvar domu a typy otvorových výplní. Pro výpočtovou část byla do tří domů uvažována čtyřčlenná rodina, do domu (RD č. 2) rodina pětičlenná. [1]

1.1. Rodinný dům č. 1

První rodinný dům je přízemního typu a patří do střední velikostní kategorie. Svou dispozicí 4+1 a celkovou užitkovou plochou 151,2 m² vyhovuje čtyřčlenné rodině. V obývacím pokoji se nachází velká francouzská okna orientovaná na východ a vedoucí na krytou terasu, která je v těsné blízkosti koupacího jezírka. [1]



Obr. 1 Rodinný dům č. 1



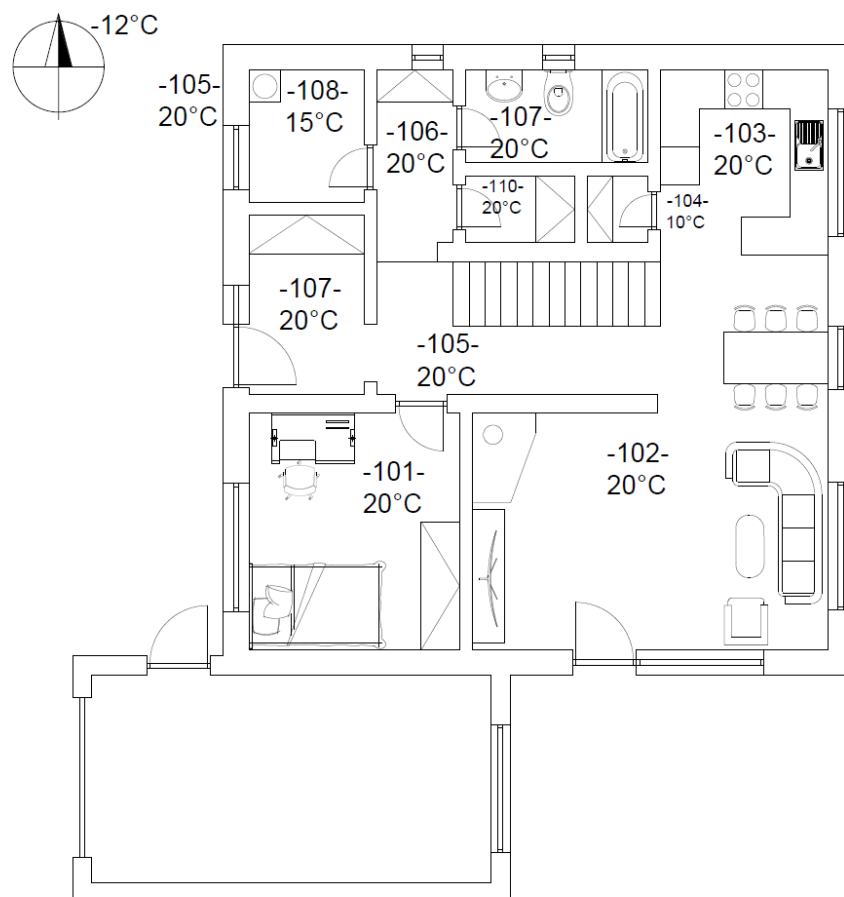
Obr. 2 Půdorys rodinného domu č. 1

1.2. Rodinný dům č. 2

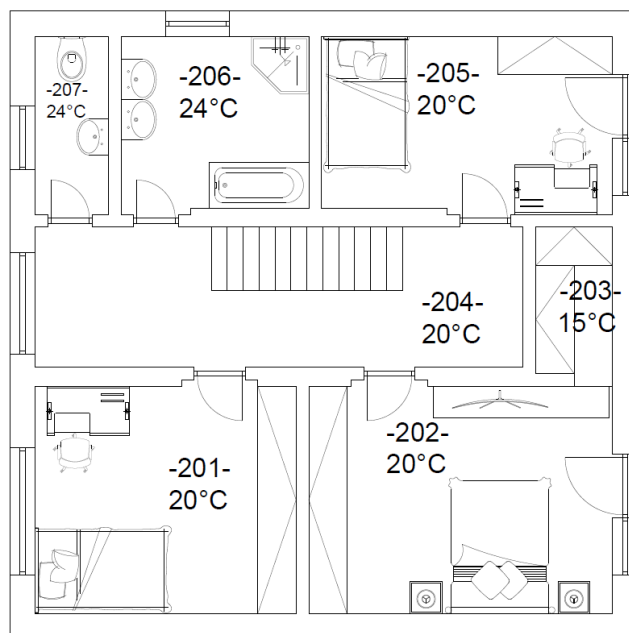
Druhý rodinný dům je dvoupodlažní, taktéž ze střední velikostní kategorie a pětičlennou rodinu uspokojí svou dispozicí 5+1 i celkovou užitkovou plochou $176,9 \text{ m}^2$. Z obývacího pokoje vede průchod na terasu skrze francouzská okna, která jsou orientována na jih. [1]



Obr. 3 Rodinný dům č. 2



Obr. 4 Půdorys přízemí rodinného domu č. 2



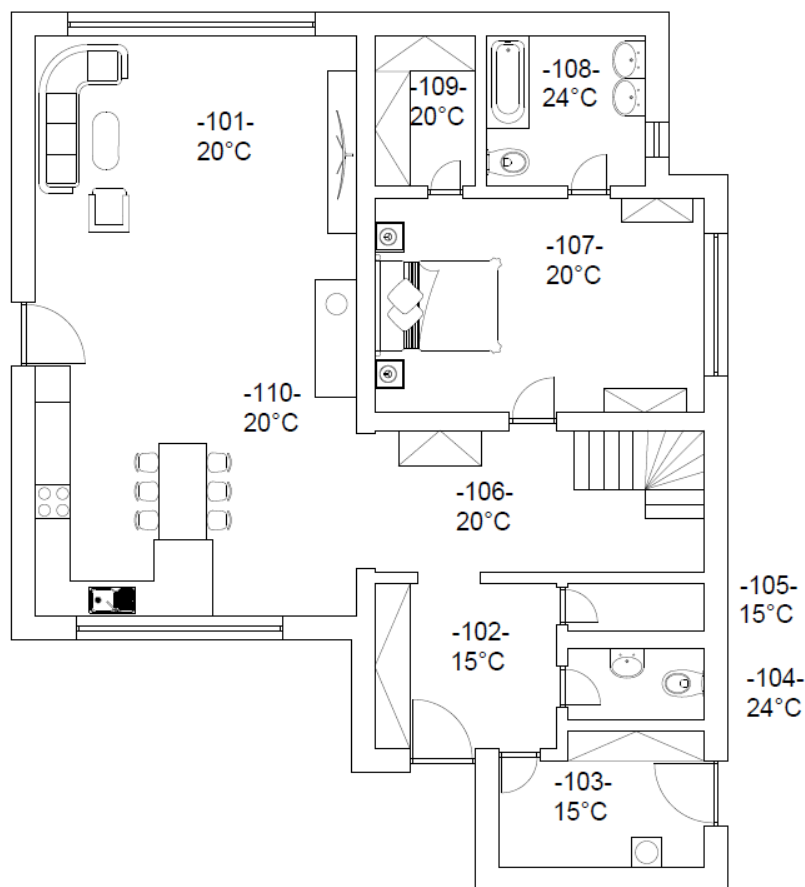
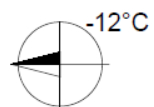
Obr. 5 Půdorys prvního patra rodinného domu č. 2

1.3. Rodinný dům č. 3

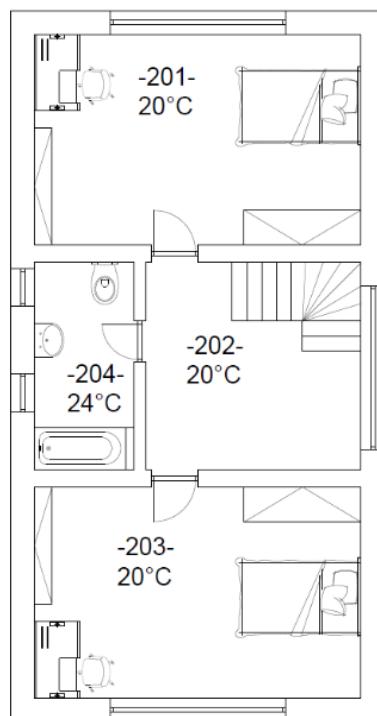
Jako třetí rodinný dům byl vybrán dvoupodlažní dům ze střední velikostní kategorie s dispozicí 4+1 a celkovou užitkovou plochou $163,3 \text{ m}^2$. Obě děti z čtyřčlenné rodiny budou mít dětské pokoje v prvním patře domu, tedy oddělené od ložnice, která je situována v přízemí. V přízemí se nachází také obývací pokoj, ze kterého je přístup na terasu pomocí velkých posuvných balkonových dveří směřujících na jih. [1]



Obr. 6 Rodinný dům č. 3



Obr. 7 Půdorys přízemí rodinného domu č. 3



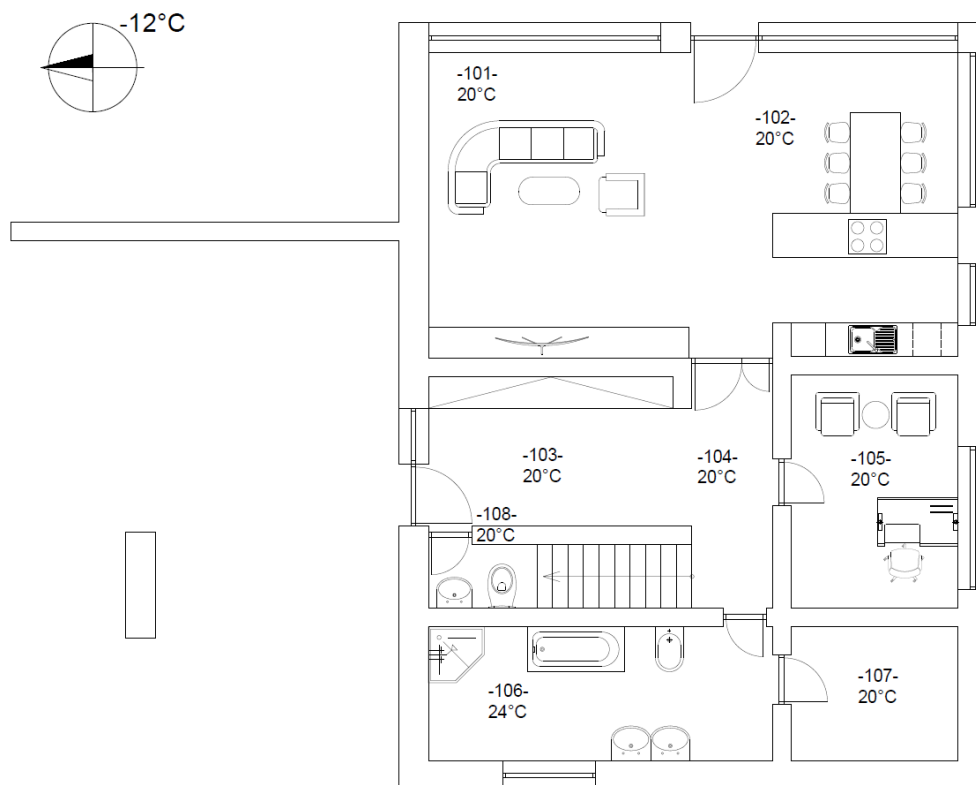
Obr. 8 Půdorys prvního patra rodinného domu č. 3

1.4. Rodinný dům č. 4

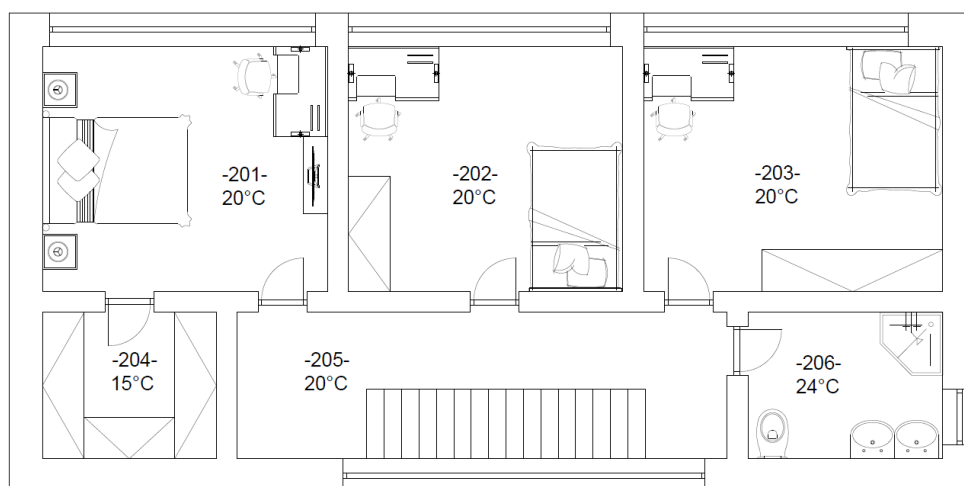
Poslední stavbou je dvoupodlažní rodinný dům ze střední velikostní kategorie s užitkovou plochou $193,5 m^2$, který je svou dispozicí 4+1 vhodný pro čtyřčlennou rodinu. Charakteristický vzhled domu je tvořen dvěma na sebe položenými kvádry a velkými francouzskými okny orientovanými na východ, která se nachází v obývacím pokoji spojeném s kuchyní a slouží ke vstupu na terasu.



Obr. 9 Rodinný dům č. 4



Obr. 10 Půdorys přízemí rodinného domu č. 4



Obr. 11 Půdorys prvního patra rodinného domu č. 4

2. PROCENTO ZASKLENÍ OBÁLKY DOMU

Procento zasklení obálky domu je podíl celkové plochy zasklení k celkové ploše obálky domu (vztaženo na vnější rozměry domu). Vliv tohoto procenta na potřebu energie dodané na provoz domu je znatelný. Největší změny probíhají ve velikosti tepelných zisků z oslunění, které mají vliv na potřebu energie na vytápění a potřebu energie na chlazení. Při nedostatečné ploše zasklení může takové řešení ovlivnit také potřebu energie na osvětlení. Výpočet potřeby dodané energie je vysvětlen v kapitole 6 a odpovídá požadavkům vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.

Zatímco u potřeby energie na chlazení může být na první pohled jasné, že pokud nebudou instalovány vnější žaluzie, tak bude se zvyšujícím se procentem zasklení domu prudce stoupat, u potřeby energie na vytápění není tak jednoduché určit, jak se bude dům chovat. Záleží zde totiž na mnoha dalších faktorech. Ve výpočtu potřeby energie na vytápění se samozřejmě počítá i se solárními zisky, které v konečném důsledku tuto potřebu energie snižují. Zároveň však rostou měrné tepelné toky prostupem, jelikož součinitel prostupu tepla oknem je zpravidla vyšší než součinitel prostupu tepla vnější stěnou. To znamená, že s rostoucí plochou zasklení roste také tepelná ztráta prostupem objektu, což potřebu energie na vytápění naopak zvyšuje. Výsledné chování domu je tedy závislé na tepelně-izolačních vlastnostech obálky domu, jako je součinitel prostupu tepla vnějších stěn, podlahy, střechy a oken. Nejdůležitějším parametrem ovlivňujícím solární tepelné zisky je pak činitel prostupu slunečního záření (solární faktor) g , který nám udává, kolik sluneční energie projde zasklením domu a kolik se jí od zasklení odrazí. Tedy čím je tento faktor menší, tím méně slunečních paprsků projde přes zasklení do domu a tím budou solární zisky menší. Podrobný postup výpočtu je uveden v kapitole 7.

Pro všechny výpočty a simulace byly použity tři druhy oken, která měla rozdílné součinitele prostupu tepla a solární faktory. Hodnoty součinitelů prostupu tepla obálky domu byly použity dvoje (kapitola 3). Každý dům měl své původní procento zasklení dané projektem (všechny domy cca 9 %). Pro dosažení změn podílu plochy zasklení k celkové ploše obálky domu byla upravována plocha zasklení tak, aby se u každého ze čtyř vybraných domů dosáhlo vždy celkem 5 variant zasklení, tj. původní projekt, 20 %, 30 %, 40 % a 50 %. Následné výpočty a simulace těchto celkem 120 variant rodinných domů naznačily, jak se mění výsledné hodnoty energetické náročnosti budovy – tedy potřeb energie na vytápění a chlazení.

3. NÁVRH STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Prvky stavební konstrukce byly navrženy tak, aby bylo dosaženo požadovaných součinitelů prostupu tepla v souladu s normou ČSN 73 0540-2. Jednalo se o dva typy. Prvním typem bylo dosaženo parametrů pasivního či nízkoenergetického standardu domu, u druhého typu bylo pouze nezbytné splnění požadovaných parametrů normy. Změny byly prováděny u stavební konstrukce podlahy, střechy a vnějších stěn. Pro potřeby výpočtů a simulací energetické náročnosti budov došlo ke zjednodušení stavebních konstrukcí střech – uvažovaly se zde jako ploché, nehledě na původní projekt.

3.1. Součinitel prostupu tepla stavebních konstrukcí

Součinitel prostupu tepla hraje klíčovou roli v energetickém hodnocení budovy. Jedná se o základní veličinu hodnotící tepelně-izolační vlastnosti stavební konstrukce, která udává, jaké množství tepla projde příslušnou stavební konstrukcí o ploše 1 m^2 při tepelném rozdílu 1 K . Jedná se o převrácenou hodnotu tepelného odporu R [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]. [1][2]

Počítá se dle vztahu

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m R_n + R_{se}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{n=1}^m \frac{s_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_e}}, \quad (1)$$

kde R_{si} představuje vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla, R_{se} vnější tepelný odpor při přestupu tepla a R_n tepelný odpor n -té stavební konstrukce. Tloušťka n -té stavební konstrukce se značí s_n , součinitel tepelné vodivosti n -té stěny stavební konstrukce je λ_n . [1][2][3][4]

Hodnoty součinitelů tepla pro uvažované stavební konstrukce jsou v souladu s normou ČSN 73 0540-2 a její výtah uvádí Tabulka 1. Výsledné zaokrouhlené součinitele prostupu tepla pro příslušné stavební konstrukce jsou uvedeny v následujícím textu. [1][4]

Tabulka 1 Požadované hodnoty součinitelů tepla

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [$W/m^2.K$]		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
<i>Stěna vnější</i>	0,3	0,25	0,18 až 0,12
<i>Stěna vnitřní (Δt do 5 °C)</i>	2,7	1,8	-
<i>Strop vnitřní (Δt do 5 °C)</i>	2,2	1,45	-
<i>Střecha</i>	0,24	0,16	0,15 až 0,10
<i>Podlaha</i>	0,45	0,3	0,22 až 0,15

3.1.1. Stěna vnější

Vnější stěny pro rodinné domy byly navrženy podle následujících tabulek. U vnější stěny typu 1 byly jako základní stavební prvky použity broušené cihly HELUZ Family 44 2in1, které se vyznačují propracovanou technologií dosahující vysoké pevnosti, prodyšnosti a vysokého tepelného odporu. Jako tepelná izolace byl zvolen pěnový polystyren tloušťky 140 mm. Součinitel prostupu tepla pro vnější stěnu domu typu 1 byl $U = 0,09 W/m^2.K$.

Tabulka 2 Složení vnější stěny typu 1

Stavební prvek	s [m]	λ [$W/m.K$]
HELUZ Family 44 2in1	0,44	0,059
Pěnový polystyren	0,14	0,039

Vnější stěna typu 2 měla jako stavební prvek broušené cihly HELUZ Family 30. Tepelná izolace v tomto případě nebyla použita. Součinitel prostupu tepla pro vnější stěnu domu typu 2 byl $U = 0,29 W/m^2.K$.

Tabulka 3 Složení vnější stěny typu 2

Stavební prvek	s [m]	λ [$W/m.K$]
HELUZ Family 30	0,30	0,093

3.1.2. Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně

Stavební prvky vnitřních stěn byly broušené cihly HELUZ UNI 25. Součinitel prostupu tepla pro vnitřní stěny domu byl $U = 0,63 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Tabulka 4 Složení vnitřních stěn rodinných domů

Stavební prvek	$s \text{ [m]}$	$\lambda \text{ [W/m.K]}$
HELUZ UNI 25	0,25	0,187

3.1.3. Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně

Jako základní stropní konstrukce byla zvolena variabilní montovaná konstrukce YTONG EKONOM 250+0 o tloušťce 250 mm. Pro nášlapnou vrstvu jsou použity OSB desky, na kterých je PVC podlaha. Součinitel prostupu tepla vnitřním stropem byl $U = 0,9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Tabulka 5 Složení stropu pro rodinné domy

Stavební prvek	$s \text{ [m]}$	$\lambda \text{ [W/m.K]}$
YTONG EKONOM 250+0	0,25	0,368
OSB deska	0,022	0,1
PVC podlahy Gerflor Nera First	0,0021	0,25

3.1.4. Podlaha

Základní část podlahové konstrukce typu 1 byla zvolena vrstva železobetonu, na které se nachází hydroizolační asfaltový pás ELASTEK 40 DEKOR. Jako tepelná izolace slouží podlahový EPS 200 o tloušťce 240 mm, na té se nachází vrstva cementového potěru, kterou již kryje samotná PVC podlaha. Návrh konstrukce podlahy probíhal dle normy ČSN 73 0540-2 tak aby byly zajištěny požadavky na tepelnou ochranu budovy. Avšak součinitel prostupu tepla podlahou pro výpočet měrné tepelné ztráty přilehlou zeminou byl vypočten v souladu s požadavky normy ČSN EN ISO 13 370. Součinitel prostupu tepla podlahou typu 1 byl $U = 0,12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (hodnota odpovídá požadavku ČSN 73 0540-2).

Tabulka 6 Složení podlahové konstrukce typu 1

Stavební prvek	s [m]	λ [W/m.K]
Železobeton	0,15	1,43
Hydroizolační asfaltový pás ELASTEK 40 DEKOR	0,009	0,2
Podlahový EPS 200	0,24	0,034
Cementový potěr	0,06	0,8
PVC podlahy Gerflor Nera First	0,0021	0,25

U druhého typu podlahové konstrukce byla změněna pouze tloušťka tepelné izolace z 240 mm na 100 mm. Součinitel prostupu tepla podlahou typu 2 poté byl $U = 0,24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (odpovídá požadavku ČSN 73 0540-2).

Tabulka 7 Složení podlahové konstrukce typu 2

Stavební prvek	s [m]	λ [W/m.K]
Železobeton	0,15	1,43
Hydroizolační asfaltový pás ELASTEK 40 DEKOR	0,009	0,2
Podlahový EPS 200	0,1	0,034
Cementový potěr	0,06	0,8
PVC podlahy Gerflor Nera First	0,0021	0,25

3.1.5. Střecha

Střecha rodinných domů je navržena jako jednoplášťová s tepelně izolační vrstvou, což je v prvním případě polystyren EPS o tloušťce 340 mm. U druhého typu střechy je tloušťka tepelné izolace pouze 160 mm. Jako hydroizolační vrstva slouží asfaltové pásy a lepenky. Nosná vrstva je tvořena masivním konstrukčním systémem YTONG Komfort 250+. Výsledná hodnota součinitele prostupu tepla podlahové konstrukce typu 1 činila $U = 0,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Pro druhý typ byl součinitel prostupu tepla $U = 0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Tabulka 8 Složení střešní konstrukce typu 1

Stavební prvek	s [m]	λ [W/m.K]
Asfaltové pásy a lepenky	0,0045	0,21
YTONG Komfort 250+	0,25	0,368
Střešní polystyren EPS	0,34	0,038

Tabulka 9 Složení střešní konstrukce typu 2

Stavební prvek	s [m]	λ [W/m.K]
Asfaltové pásy a lepenky	0,0045	0,21
YTONG Komfort 250+	0,25	0,368
Střešní polystyren EPS	0,16	0,038

4. VÝBĚR OKEN

Pro výpočty tepelných ztrát, solárních zisků a potřeb energie na vytápění a chlazení byly vybrány 3 typy oken a posuvných portálů. Tento výběr proběhl na základě rozdílných tepelně-izolačních vlastností. Důraz byl kladen hlavně na hodnoty U_g , což je součinitel prostupu tepla skla, U_w – součinitel prostupu tepla celého okna (tj. včetně tepelně-technických vlastností použitého typu rámu) a především parametru g – tj. činiteli prostupu slunečního záření (resp. solárního faktoru).

4.1. Typ č. 1

Jako první typ oken byla použita dvoukomorová plastová okna Vekra Premium EVO s trojsklem, solárním faktorem $g = 0,53$, součinitelem prostupu tepla skla $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2.K$ a výsledným součinitelem prostupu tepla celého okna $U_w = 0,7 \text{ W/m}^2.K$.

4.2. Typ č. 2

Druhým typem jsou zvolena taktéž okna od společnosti Vekra, tentokrát však typu Prima. K zasklení bylo zvoleno dvojsklo se solárním faktorem $g = 0,75$, součinitelem prostupu tepla sklem $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2.K$ a výsledným součinitelem prostupu tepla oknem $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2.K$.

4.3. Typ č. 3

Třetím a z tepelně-izolačního hlediska nejlepším typem pro zvolené stavby byla použita okna od společnosti Efficient Windows Collaborative se speciálním spektrálně selektivním zasklením, která mají schopnost snižovat tepelný zisk slunečním zářením při zachování vysoké světelné propustnosti. Zasklení se vyrábí pomocí rozprašování dvou nebo tří vrstev stříbra. Vnitřek zasklení je zde vyplněn inertním plynem – argonem. Vyznačují se nízkým solárním faktorem $g = 0,26$, součinitelem prostupu tepla zasklením $U_g = 0,25 \text{ W/m}^2.K$ a celkovým součinitelem prostupu tepla pouhých $U_w = 0,6 \text{ W/m}^2.K$. [5]

5. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

Výpočet tepelných ztrát rodinných domů proběhl v souladu s normou ČSN EN 12831-1. Návrhové teploty používané ve výpočtech, jako třeba venkovní výpočtová teplota, jsou uvažovány pro lokalitu města Prahy. Tepelné ztráty domů, potažmo návrhové tepelné výkony, se stanoví pomocí rovnice (1), kde $\Phi_{HL,i}$ představuje právě zmiňovaný návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru i , který se skládá z $\Phi_{T,i}$ návrhové tepelné ztráty prostupem vytápěného prostoru i , $\Phi_{V,i}$ návrhové tepelné ztráty větráním vytápěného prostoru i , $\Phi_{hu,i}$ volitelného dodatečného zátopového tepelného výkonu vytápěného prostoru i v případě přerušovaného vytápění a $\Phi_{gain,i}$ trvalých tepelných zisků ve vytápěném prostoru i . Přerušované vytápění u vybraných rodinných domů neuvažujeme, tudíž je ve výpočtu zanedbáno. Stejně tak je tomu i u trvalých tepelných zisků, těmi totiž nejsou myšleny zisky od osob či solární zisky, ale tepelné zisky, které svou povahou nejsou závislé na vnějších a vnitřních okrajových podmínkách výpočtu měrných tepelných toků, např. od lokálních zdrojů tepla trvalého provozního charakteru apod. Tyto trvalé tepelné zisky jsou většinou typické pro komerční budovy nebo průmyslové areály, nikoli pro rodinné domy. [3][6]

$$\phi_{HL,i} = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} + \phi_{hu,i} - \phi_{gain,i} \quad (1)$$

5.1. Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla

Tepelné ztráty prostupem tepla jsou tepelné ztráty do vnějšího prostředí způsobené vedením tepla obklopující konstrukcí. Jedná se o součet měrného tepelného toku prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí $H_{T,ie}$, součtu všech měrných tepelných toků prostupem z vytápěného prostoru do nebo přes sousední vytápěné prostory (avšak na jinou teplotu) $H_{T,ia}$ a měrného tepelného toku prostupem z vytápěného prostoru do země $H_{T,ig}$ násobený rozdílem vnitřní výpočtové teploty a venkovní výpočtové teploty. Výpočet dle (2). [3][6]

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + \sum H_{T,ia(\dots)} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (2)$$

5.1.1. Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie}$ se počítá podle vzorce

$$H_{T,ie} = \sum_k [A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}], \quad (3)$$

ve kterém je A_k plocha stavební části k , U_k součinitel prostupu tepla stavební části k , ΔU_{TB} přírážka na vliv tepelných vazeb, $f_{U,k}$ opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných U -hodnot a $f_{ie,k}$ teplotní opravný činitel. [3][6]

Tepelné vazby

Tepelné vazby negativně ovlivňují energetickou náročnost budov. Jedná se o místa, kde je vyšší tepelný tok z interiéru do exteriéru. Rozlišujeme tepelné vazby lineární a bodové, přičemž u bodových dochází ve většině případů ke křížení s lineárními. Pokud tomu tak je, bodové se ve výpočtu zanedbávají. Lineární tepelné vazby se vyskytují v místech napojení částí obálky budovy (tudiž například v rozích vnějších stěn, u napojení oken a dveří, přechodu vnější stěny na střechu). Pro výpočet tepelných ztrát byly tepelné vazby zohledněny pomocí přírážky na vliv tepelných vazeb $\Delta U_{TB} = 0,05 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Tato hodnota vychází z požadavků normy ČSN EN 12831-3, které uvádí Tabulka 10. [1][6]

Tabulka 10 Tabulka B.1 - Přírážka na vliv tepelných vazeb [6]

Kritéria výběru	Přírážka na vliv tepelných vazeb
	ΔU_{TB}
	$[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$
Nové budovy s vysokou úrovní tepelné izolace a ověřenou důsledně optimalizovanou úrovní tepelných vazeb, která převyšuje obecně uznávanou praxi	0,02
Nové budovy s optimalizovanými tepelnými vazbami v souladu s obecně uznávanou praxí	0,05
Budovy s převážně vnitřní tepelnou izolací narušenou pronikajícími pevnými stropními konstrukcemi (např. železobeton)	0,15
Všechny ostatní budovy	0,1

5.1.2. Měrný tepelný tok prostupem do nebo přes sousední prostory

Měrný tepelný tok prostupem do nebo přes sousední prostory byl vypočten dle vztahu (4), kde A_k představuje plochu stavební části k , U_k součinitel prostupu tepla stavební části k a $f_{ia(\dots),k}$ teplotní opravný činitel stanovený dle vztahu (5), v němž figuruje vnitřní výpočtová teplota $\theta_{int,i}$, vnější výpočtová teplota θ_e a teplota sousedního prostoru θ_{ia} . [6]

$$H_{T,ia(\dots)} = \sum_k [A_k \cdot U_k \cdot f_{ia(\dots),k}] \quad (4)$$

$$f_{ia(\dots)} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{ia(\dots)}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (5)$$

5.1.3. Měrný tepelný tok prostupem zeminou

Tento měrný tepelný tok s označením $H_{T,ig}$ se počítá dle ČSN EN ISO 13 370 pomocí zjednodušeného vztahu upraveného na základě zanedbání okrajové izolace jako

$$H_{T,ig} = S_p \cdot U_p, \quad (6)$$

kde S_p představuje plochu podlahy a U_p součinitel prostupu tepla podlahy stanovený podle níže uvedených vztahů

$$B' = \frac{S_p}{0,5 \cdot O_p} \quad (7)$$

$$d_t < B' \Rightarrow U_p = \frac{2 \cdot \lambda_{zem}}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right) \quad (8)$$

$$d_t \geq B' \Rightarrow U_p = \frac{\lambda_{zem}}{0,457 \cdot B' + d_t}, \quad (9)$$

kde O_p je obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí, B' je charakteristický parametr (7), který je porovnáván s celkovou ekvivalentní tloušťkou podlahy d_t a následně je z něj podle vztahu (8) resp. (9) počítáno U_p potřebné pro výpočet měrného tepelného toku prostupem zeminou $H_{T,ig}$ (6). [1][3][6]

5.2. Návrhová tepelná ztráta větráním

Návrhová tepelná ztráta větráním se vypočítá dle vztahu

$$\phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \cdot (1 - \eta), \quad (10)$$

kde $H_{V,i}$ představuje součinitel návrhové tepelné ztráty větráním a η je teplotní faktor zpětného získávání tepla. V případě, že je v domě uvažováno s přirozeným větráním,

je teplotní faktor zpětného získávání tepla roven hodnotě 0. Pro výpočty v diplomové práci byl uvažován teplotní faktor zpětného získávání tepla 91,4 %, kterou uvádí výrobce zvolené rekuperační jednotky. [1][3][6][7]

5.2.1. Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním

Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním je počítán podle vzorce (11). Veličina c je měrná tepelná kapacita vzduchu, ρ je hustota vzduchu, O představuje objem místnosti a i je intenzita větrání. [1][3][6]

$$H_{V,i} = \frac{i \cdot O}{3600} \cdot \rho \cdot c \quad (11)$$

5.2.2. Výběr větrací jednotky

Větrací jednotka s rekuperací tepla je vzduchotechnické zařízení sloužící k mechanickému větrání domu. Nasává čerstvý vzduch z vnějšího prostředí a zároveň odvádí znehodnocený vnitřní vzduch z domu. Rekuperace tepla nastává při průchodu těchto dvou oddělených toků vzduchu výměníkem tepla obsaženém ve větrací jednotce. Dochází zde k ohřevu zmiňovaného čerstvého vzduchu, který se ohřívá teplem obsaženým ve vzduchu odváděného z interiéru. Kromě ohřevu ve vzduchotechnické jednotce dochází také k filtraci, tudíž vnitřní vzduch dosahuje vyšší kvality než při přirozeném větrání. [1][7]

Pro minimalizaci návrhové tepelné ztráty větráním byla zvolena vysoce účinná rekuperační jednotka VENUS Comfort HRV-15AC-N-54-R s maximálním průtokem vzduchu $185 \text{ m}^3/\text{hod}$, který je dostatečný pro všechny vybrané domy. Z grafu rekuperace výrobce byl následně stanoven teplotní faktor zpětného získávání tepla 91,4 %. [1][7]

6. VÝPOČET POTŘEBY ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ

Výpočet byl proveden ve výpočetním programu Microsoft Excel podle nyní nově platné normy ČSN EN ISO 52016-1. Tento výpočet byl porovnán s metodou podle již neplatné normy ČSN EN ISO 13 790. Podle obou norem byla vypočtena potřeba energie na vytápění měsíční metodou. Nicméně s ohledem na použitelnost obou metodik byl tento způsob výpočtu aplikován i na 24hodinový časový krok výpočtu (dále tzv. denní metodu). Tzv. „denní metoda“ je obdobná jako měsíční, jediný rozdíl zde představuje použití denních teplot místo měsíčních, což by mělo lépe odpovídat reálným podmínkám a vypočtené hodnoty by se měly lépe přiblížit realitě. K ověření těchto předpokladů byly provedeny energetické simulace v programu Energie 2019 a také v programu IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE). Popis výpočtů a simulací se nachází v kapitole 8.

6.1. ČSN EN ISO 52016-1

Roční potřeba energie na vytápění tepelně upravované zóny $Q_{H;nd;an}$ se vypočítá podle vztahu

$$Q_{H;nd;an} = \sum_{m=1}^{12} Q_{H;nd;m} \quad (12)$$

kde $Q_{H;nd;m}$ představuje měsíční potřebu energie na vytápění a počítá se dle vzorce (13), $Q_{H;ht;m}$ je celkový přenos tepla pro režim vytápění, $Q_{H;gn;m}$ jsou celkově tepelné zisky pro režim vytápění a $\eta_{H;gn;m}$ je bezrozměrný činitel použití zisků. [8]

$$Q_{H;nd;m} = (Q_{H;ht;m} - \eta_{H;gn;m} \cdot Q_{H;gn;m}) \quad (13)$$

Celkový přenos tepla pro vytápění $Q_{H;ht;m}$ je dán vztahem (14), kde $Q_{H;tr;m}$ je celkový tepelný tok prostupem pro vytápění a $Q_{H;ve;m}$ celkový tepelný tok větráním pro vytápění. [8]

$$Q_{H;ht;m} = Q_{H;tr;m} + Q_{H;ve;m} \quad (14)$$

Celkové tepelné zisky pro vytápění $Q_{H;gn;m}$ se vypočítají pomocí vztahu (15). $Q_{H;int;m}$ představuje součet vnitřních tepelných zisků pro vytápění a $Q_{H;sol;m}$ je součet solárních zisků pro vytápění. [8]

$$Q_{H;gn;m} = Q_{H;int;m} + Q_{H;sol;m} \quad (15)$$

K výpočtu celkového tepelného toku prostupem pro vytápění $Q_{H;tr;m}$ se využívá vztahu (16), v němž je $H_{H;tr;m}$ celkový měrný tepelný tok prostupem pro vytápění pro všechny prvky budovy kromě prvků spojených se zeminou, $H_{gr;an;m}$ je měrný tepelný tok prvky budovy v tepelném kontaktu se zeminou zahrnující podlahy na zemině, zvýšené nebo nad nevytápěných suterénem, $\theta_{int;calc;H;m}$ je výpočtová teplota zóny pro vytápění, $\theta_{e;a;m}$ je střední měsíční teplota vzduchu venkovního prostředí, $\theta_{e;a;an}$ je střední teplota vnějšího (venkovního) prostředí pro celý rok a Δt_m je doba trvání měsíce m . [8]

$$Q_{H;tr;m} = \left(H_{H;tr;m} \cdot (\theta_{int;calc;H;m} - \theta_{e;a;m}) + H_{gr;an;m} \cdot (\theta_{int;calc;H;m} - \theta_{e;a;an}) \right) \cdot 0,001 \cdot \Delta t_m \quad (16)$$

Pro výpočet celkového tepelného toku prostupem pro vytápění $H_{H;tr;m}$ slouží vztah (17), kde $H_{H;el,k;m}$ je celkový měrný tepelný tok prostupem pro vytápění pro prvek budovy k , v měsíci m a $H_{tr;tb}$ je celkový měrný tepelný tok tepelnými vazbami v tepelně upravované zóně. $H_{H;el,k;m}$ se počítá dle vztahu (18), kde $U_{H;k;m}$ představuje součinitel prostupu tepla, $A_{el;k}$ je plocha prvku obálky budovy. [8]

$$H_{H;tr;m} = \sum_k (H_{H;el,k;m}) + H_{tr;tb} \quad (17)$$

$$H_{H;el,k;m} = U_{H;k;m} \cdot A_{el;k} \quad (18)$$

Pro tepelně upravovanou zónu se celkový tepelný tok větráním pro vytápění pro jednotlivý měsíc $Q_{H;ve;m}$ počítá dle vztahu (19), kde $H_{H;ve;m}$ je celkový měrný tepelný tok větráním pro vytápění počítán pomocí vztahu (20), kde veličina ρ_a představuje hustotu vzduchu, c_a měrnou tepelnou kapacitu vzduchu, $q_{V,k;H;m}$ měsíční časově průměrný průtok vzduchu odpovídající složce toku vzduchu k vstupující do tepelné zóny, $f_{ve;dyn;k;m}$ dynamický korekční činitel pro složku toku vzduchu k a $b_{ve,k;H}$ bezrozměrný upravující činitel pro složku toku vzduchu k pro vytápění, stanovený vztahem (21), přičemž $\theta_{sup,k;H;m}$ je přírodní teplota složky vzduchu k . [8]

$$Q_{H;ve;m} = H_{H;ve;m} \cdot (\theta_{int;calc;H;m} - \theta_{e;a;m}) \cdot \Delta t_m \quad (19)$$

$$H_{H;ve;m} = \rho_a \cdot c_a \cdot \sum_k (b_{ve,k;H;m} \cdot q_{V,k;H;m} \cdot f_{ve,k;H;m}) \quad (20)$$

$$b_{ve,k;H;m} = \frac{(\theta_{calc;H;m} - \theta_{sup,k;H;m})}{(\theta_{calc;H;m} - \theta_{e;a;m})} \quad (21)$$

6.2. ČSN EN ISO 13 790

Roční potřeba energie na vytápění $Q_{H,nd}$ se vypočte podle vzorce (22), kde vidíme celkové množství přeneseného tepla v režimu vytápění $Q_{H,ht}$, celkové solární zisky a vnitřní tepelné zisky budovy v režimu vytápění $Q_{H,gn}$ a bezrozměrný faktor využitelnosti tepelných zisků $\eta_{H,gn}$. [1][9][10]

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad (22)$$

Celkové množství přeneseného tepla $Q_{H,ht}$ je součet celkového množství tepla přeneseného prostupem $Q_{H,tr}$ a celkového množství tepla přeneseného větráním $Q_{H,ve}$. Ve vzorcích (24) a (25) je uveden výpočet těchto potřeb, ve kterém se objevuje měrný tepelný tok prostupem tepla H_{tr} a měrný tepelný tok větráním H_{ve} . Tyto měrné tepelné toky se počítají obdobně jako u předchozí normy. Střední venkovní teplotu θ_{ep} uvádí Tabulka 11. Střední vnitřní teplota $\theta_{int,set}$ je počítána dle vztahu (26) podle objemu určité místnosti a požadované teploty v ní. Ve vztahu se také objevuje t , což představuje počet hodin v určitém měsíci. [1][9][10]

$$Q_{H,ht} = Q_{H,V} + Q_{H,T} \quad (23)$$

$$Q_{H,tr} = H_{tr} \cdot (\theta_{int,set} - \theta_{ep}) \cdot t \quad (24)$$

$$Q_{H,ve} = H_{ve} \cdot (\theta_{int,set} - \theta_{ep}) \cdot t \quad (25)$$

$$\theta_{int,set} = \frac{\sum V_n \cdot \theta_n}{\sum V_n} \quad (26)$$

Celkové tepelné zisky $Q_{H,gn}$ se spočítají jako součet solárních tepelných zisků budovy $Q_{H,sol}$ a vnitřních tepelných zisků budovy $Q_{H,int}$. Solární tepelné zisky se počítají součtem tepelných zisků za určitý měsíc. Jejich výpočet je popsán spolu s vnitřními tepelnými zisky v následující kapitole. [1][9][10]

$$Q_{H,gn} = Q_{H,int} + Q_{H,sol} \quad (27)$$

7. VÝPOČET TEPELNÝCH ZISKŮ

Tepelné zisky představují důležitou část při výpočtu energetické náročnosti budovy. Rozlišujeme vnitřní tepelné zisky a tepelné zisky z oslunění.

7.1. Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky pro tepelně upravovanou zónu se vypočítají podle vztahu (28), kde $Q_{H;spec;int;oc;m}$ představuje měrné vnitřní tepelné zisky vlivem metabolického tepla od uživatelů, $Q_{H;spec;int;A;m}$ měrné vnitřní tepelné zisky vlivem disipovaného tepla od spotřebičů, $Q_{H;spec;int;L;m}$ měrné vnitřní tepelné zisky vlivem využitelných ztrát od osvětlení, $Q_{H;spec;int;WA;m}$ měrné vnitřní tepelné zisky vlivem využitelných ztrát od rozvodů teplé vody, $Q_{H;spec;int;HVAC;m}$ měrné vnitřní tepelné zisky vlivem využitelných ztrát od systémů pro vytápění, chlazení a větrání, $Q_{H;spec;int;proc;m}$ měrné vnitřní tepelné zisky vlivem využitelných ztrát od procesů, A_{use} užitná podlahová plocha zóny. [8]

$$Q_{H;int;m} = (Q_{H;spec;int;oc;m} + Q_{H;spec;int;A;m} + Q_{H;spec;int;L;m} + Q_{H;spec;int;WA;m} + Q_{H;spec;int;HVAC;m} + Q_{H;spec;int;proc;m}) \cdot A_{use} \quad (28)$$

7.2. Tepelné zisky z oslunění ČSN EN ISO 52016-1

Nejvyšších hodnot tepelných zisků z oslunění (resp. solárních zisků) se dosahuje v letních měsících, kdy je sluneční záření nejintenzivnější.

Solární tepelné zisky $Q_{H;sol;m}$ se počítají pomocí vztahu (29), v němž je součet měsíčních solárních zisků přes průsvitné prvky $Q_{H;sol;wi;k;m}$ a měsíčních solárních zisků přes neprůsvitné prvky $Q_{H;sol;op;k;m}$. [8]

$$Q_{H;sol;m} = \sum_{k=1} Q_{H;sol;wi;k} + \sum_{k=1} Q_{H;sol;op;k} \quad (29)$$

Tepelný tok solárními zisky přes průsvitné prvky obálky $Q_{H;sol;wi}$ je dán vzorcem (30), kde $g_{gl;wi;H;m}$ je bezrozměrný střední měsíční účinný celkový činitel prostupu slunečního záření pro vytápění, A_{wi} plocha průsvitných prvků, $F_{fr;wi}$ podíl plochy rámu k celkové ploše proskleného prvku, $F_{sh;obst;wi;m}$ bezrozměrný činitel stínění vnějšími překážkami, $H_{sol;wi;m}$ měsíční dávka slunečního ozáření na jednotku plochy prvku, při sklonu β_{wi} a orientaci γ_{wi} , $Q_{sky;wi;m}$ měsíční dodatečný tepelný tok vlivem sálání k obloze. [8]

$$Q_{H;sol;wi} = g_{gl;wi;H;m} \cdot A_{wi} \cdot (1 - F_{fr;wi}) \cdot F_{sh;obst;wi;m} \cdot H_{sol;wi;m} - Q_{sky;wi;m} \quad (30)$$

Tepelný tok solárními zisky přes neprůsvitné prvky obálky $Q_{H;sol;op}$ se počítá podle vztahu (31), kde $\alpha_{sol;k}$ je bezrozměrný činitel pohltivosti slunečního záření, $R_{se;k}$ odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu, $U_{c;op;k}$ součinitel prostupu tepla, $A_{c;k}$ plocha neprůsvitných prvků, $Q_{sky;k;m}$ měsíční dodatečný tepelný tok vlivem sálání k obloze počítán podle vztahu (32), $F_{sh;obst;k;m}$ bezrozměrný činitel stínění vnějšími překážkami, $H_{sol;k;m}$ měsíční dávka slunečního ozáření na jednotku plochy prvku. Tyto hodnoty uvádí Tabulka 11. [8]

$$Q_{H;sol;op} = \alpha_{sr;k} \cdot R_{se;k} \cdot U_{c;op;k} \cdot A_{c;k} \cdot F_{sh;obst;k;m} \cdot H_{sol;k;m} - Q_{sky;k;m} \quad (31)$$

$$Q_{sky;k;m} = 0,001 \cdot F_{sky;k} \cdot R_{se;k} \cdot U_{c;k} \cdot A_{c;k} \cdot h_{tr;e;k} \cdot \Delta\theta_{sky;m} \cdot \Delta t_m \quad (32)$$

Ve výpočtu tepelného toku vlivem sálání k obloze se vyskytuje $F_{sky;k}$, což je činitel viditelnosti mezi prvkem a oblohou, $R_{se;k}$ – odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu prvku, $U_{c;k}$ – součinitel prostupu tepla prvku, $A_{c;k}$ – plocha prvku, $h_{tr;e;k}$ – součinitel přestupu tepla dlouhovlnným sáláním na vnějším povrchu a $\Delta\theta_{sky;m}$ – průměrný rozdíl mezi zdánlivou teplotou oblohy a teplotou vzduchu. [8]

Tabulka 11 Celkové solární záření za měsíc [10]

	Počet dnů	Průměrná venkovní teplota	Celkové solární záření za měsíc								
	n	θ_{ep}	$H_{sol;k;m} [kWh/m^2]$								
Měsíc	[den]	[°C]	Sever	Jih	Východ	Západ	Horizont	SZ	JZ	SV	JV
Leden	31	-1	7	50	15	20	23	12	44	12	37
Únor	28	1	13	56	26	28	40	20	51	20	47
Březen	31	4	23	82	51	53	79	37	76	36	73
Duben	30	9	32	95	74	72	118	49	86	51	92
Květen	31	14,6	47	97	104	93	161	73	98	79	109
Červen	30	17	52	87	115	88	166	73	88	91	108
Červenec	31	18,2	47	93	100	93	162	75	97	78	103
Srpen	31	18,8	38	100	88	88	143	63	100	64	101
Září	30	13,8	24	95	60	64	96	40	86	38	82
Říjen	31	9,4	17	75	34	48	57	25	71	21	51
Listopad	30	4	9	36	14	18	24	11	32	10	25
Prosinec	31	-0,5	6	29	11	12	17	9	26	9	23

Faktor využitelnosti tepelných zisků se značí $\eta_{H,gn}$ a závisí hlavně na tepelně akumulčních vlastnostech objektu. Nikdy totiž nevyužijeme všechny tepelné zisky. Vypočítán je dle rovnice (33), resp. (34), (35) a (36). [1][8]

$$\gamma_{H,m} > 0 \text{ a } \gamma_H \neq 0 \quad \eta_{H,gn,m} = \frac{1 - \gamma_H^{a_{H,m}}}{1 - \gamma_H^{a_{H,m}+1}} \quad (33)$$

$$\gamma_{H,m} = 1 \quad \eta_{H,gn,m} = \frac{a_{H,m}}{a_{H,m} + 1} \quad (34)$$

$$\gamma_{H,m} \leq 0 \text{ a } Q_{H,gn,m} > 0 \quad \eta_{H,gn,m} = \frac{1}{\gamma_{H,m}} \quad (35)$$

$$\gamma_{H,m} \leq 0 \text{ a } Q_{H,gn,m} \leq 0 \quad \eta_{H,gn,m} = 1 \quad (36)$$

$$\gamma_H = \frac{\text{celkové tepelné zisky}}{\text{celková potřeba tepla}} = \frac{Q_{H,gn,m}}{Q_{H,ht,m}} \quad (37)$$

V rovnicích se objevuje $a_{H;m}$, což je bezrozměrný parametr závislý na časových konstantách budovy a počítá se dle vztahu (38), kde $a_{H;0}$ je bezrozměrný referenční číselný parametr, $\tau_{H;m}$ časová konstanta zóny pro vytápění a $\tau_{H;0}$ referenční časová konstanta. Časová konstanta zóny pro vytápění je dána vztahem (39), veličina $c_{m;eff}$ je vnitřní účinná tepelná kapacita zóny, další veličiny objevující se v tomto vztahu jsou již vysvětlené výše. [8]

$$a_{H;m} = a_{H;0} + \frac{\tau_{H;m}}{\tau_{H;0}} \quad (38)$$

$$\tau_{H;m} = \frac{c_{m;eff}/3600}{H_{H,tr;m} + H_{H,gr;adj} + H_{H,ve;m}} \quad (39)$$

7.3. Tepelné zisky z oslunění ČSN EN ISO 13 790

Tepelné zisky z oslunění podle normy ČSN EN ISO 13 790 se počítají podle vztahu

$$\phi_{sol} = F_{sh} \cdot (\sum A_{sol}) \cdot I_{sol} - F_{r,i} \cdot \phi_{r,i}, \quad (40)$$

kde F_{sh} představuje korekci stínění na externí překážky, $F_{r,i}$ je faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou – ten je buď roven 0,5 pro vertikální konstrukci, nebo 1 pro konstrukci horizontální. A_{sol} zastupuje součet účinných solárních sběrných ploch průhledných a neprůhledných prvků. Jeho výpočet je podrobněji popsán rovnicí (41) pro průhledné prvky a rovnicí (42) pro neprůhledné prvky. $F_{sh,gl}$ je korekční součinitel stínění, g_{gl} celková propustnost průhlednými prvky, která je součinem korekcí pro nerozptylové zasklení F_w a celkové propustnosti zasklení g_n . F_f je podíl plochy rámu a $A_{pp,poh}$ je plocha průhledných prvků. Ve vzorci (42) je počítána účinná solární sběrná plocha neprůhledných prvků pomocí pohltivosti slunečního záření neprůhledných prvků $\alpha_{s,c}$, tepelného odporu přestupu tepla na vnějším povrchu R_{se} , součinitele prostupu tepla neprůhledných částí U_{np} a plochy neprůhledných prvků $A_{np,poh}$. Sálání vůči obloze ϕ_r je popsáno rovnicí (43). Součinitel h_r je součinitel přestupu tepla sáláním na vnější straně a $\Delta\theta_{er}$ je průměrný rozdíl venkovní teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy. I_{sol} je intenzita slunečního záření, která je stejná jako u $H_{sol;k;m}$ v normě ČSN EN ISO 52016-1. Její hodnoty jsou tedy shodné (viz Tabulka 11). [1][9][10]

$$A_{sol,p} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{pp,poh} \quad (41)$$

$$A_{sol,n} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_{np} \cdot A_{np,poh} \quad (42)$$

$$\phi_r = R_{se} \cdot U_{np} \cdot A_{np,poh} \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \quad (43)$$

Faktor využitelnosti tepelných zisků $\eta_{H,gn}$ se zde opět objevuje a rovnice pro jeho výpočet jsou obdobné jako u normy ČSN EN ISO 52016-1. [1][9][10]

$$\gamma_H > 0 \text{ a } \gamma_H \neq 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad (44)$$

$$\gamma_H = 1 \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad (45)$$

$$\gamma_H < 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad (46)$$

$$\gamma_H = \frac{\text{celkové tepelné zisky}}{\text{celková potřeba tepla}} = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad (47)$$

8. VÝPOČTOVÉ A SIMULAČNÍ PROGRAMY

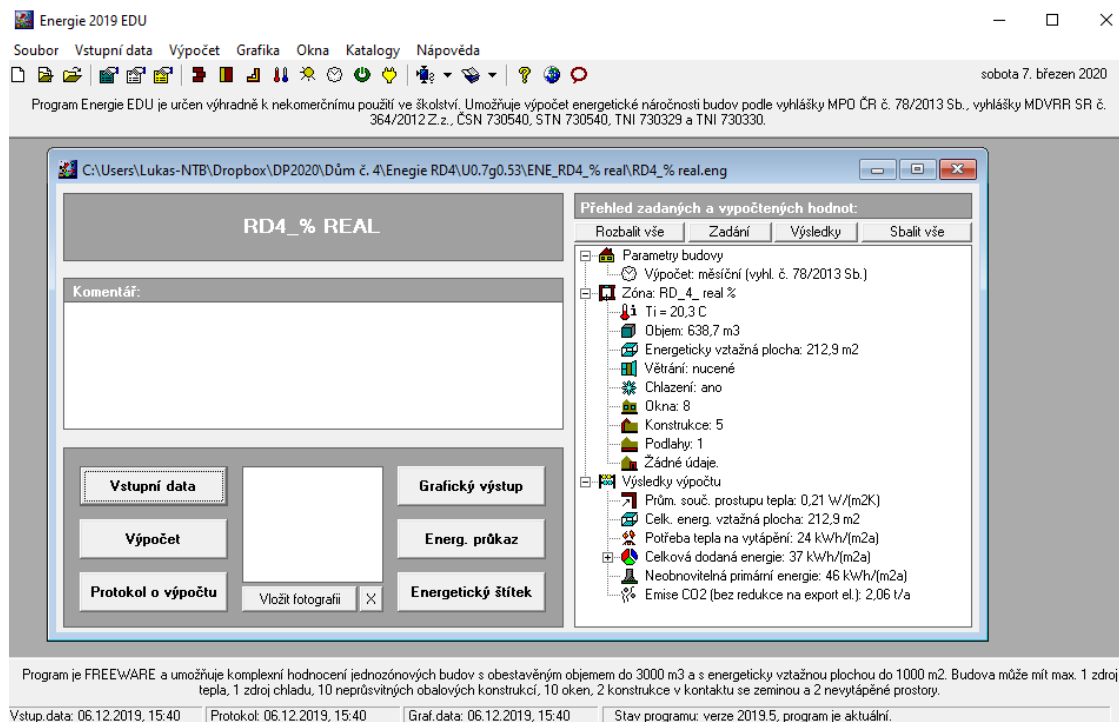
Aby bylo získáno co nejvíce výsledků potřeb energie na vytápění pro všechny verze rodinných domů a zároveň došlo k jejich vzájemnému porovnání, byly provedeny výpočty nejen ve vytvořených výpočtových listech v programu Microsoft Excel, ale také pomocí výpočetního programu Energie 2019 a v simulačním programu IDA Indoor Climate and Energy.

8.1. Energie 2019

Program Energie 2019 ze souboru programů pro řešení stavebně fyzikálních problémů, jejichž autorem je pan doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda z Fakulty stavební na ČVUT v Praze, slouží ke komplexnímu hodnocení energetické náročnosti budovy a je v praxi běžně využíván v souladu s požadavky vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov (v době vzniku této diplomové práce byla těsně před vydáním novelizace této zásadní vyhlášky, jejíž platnost se předpokládá od 1. 9. 2020). Umožňuje výpočet průměrného součinitele prostupu tepla budovy, měrných tepelných toků prostupem a větráním, tepelné ztráty budovy, potřeb energie na vytápění a chlazení, výpočtu dílčích dodaných energií do budovy, spotřeb celkové a neobnovitelné primární energie budovy, emisí CO₂ a zpracování průkazu energetické náročnosti budovy podle aktuální vyhlášky. [11]

V této diplomové práci sloužil program Energie 2019 pouze k výpočtům tepelných ztrát a potřeb energie na vytápění a chlazení. Jedná se o poměrně intuitivní program, do kterého byla zadána veškerá geometrie budov. To znamená plochy vnějších stěn, střech, oken a dveří včetně orientace na světové strany, což je důležité z hlediska solárních zisků, celkové energeticky vztažené plochy, vnitřní podlahové plochy, dále pak vnější a vnitřní objemy. Také je důležité ke všem těmto plochám přiřadit tepelně-izolační parametry. Kromě geometrie dochází k vyplnění průměrných měsíčních venkovních teplot, návrhové venkovní teploty a intenzit slunečního záření z konkrétní světové strany za určitý měsíc. Posléze se zadají průměrné toky vzduchu přiváděného a odváděného ze zóny, účinnost zpětného získávání tepla a netěsnost obálky budovy. V neposlední řadě se vyplní vnitřní zisky od osob a spotřebičů, obsazenost budovy a vnitřní návrhová teplota.

Dále je možné zadávat použité systémy pro vytápění, přípravu teplé vody, chlazení, případně solární systémy, avšak tyto funkce nebyly pro následující výpočty využity, jelikož od programu byl požadován pouze výpočet tepelných ztrát a potřeb energie na vytápění a chlazení.



Obr. 12 Výstřížek z programu Energie 2019

8.2.IDA Indoor Climate and Energy

IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) je BPS (Building Performance Simulation) program, což znamená, že umožňuje vícezónovou a dynamickou simulaci vnitřního prostředí, na jejíž základu vypočítá tepelnou ztrátu a potřeby energie na vytápění a chlazení. Program také dokáže simulovat denní osvětlení, dílčí dodané energie, emise CO₂ nebo třeba hodnocení tepelného komfortu. Program IDA ICE posloužil k výpočtu tepelných ztrát a potřeb energie na vytápění. [12]

Do programu byly importovány půdorysy z programu AutoCAD, podle kterých byly vytvořeny geometrie jednotlivých zón. Nastavuje se zde velikost Building body, což představuje hranici domu, tedy místo, kde se nachází vnitřní a kde vnější prostředí. Ke každé zóně se poté zadají parametry jako vnitřní návrhová teplota pro zimu a léto, vnitřní tepelné zisky od osob, osvětlení a spotřebičů, vybere a nastaví se větrací jednotka včetně množství přívodního/odvodního vzduchu v zónách. Dále dochází k nastavení tepelně-izolačních parametrů jednotlivých konstrukcí a prvků, stanovení tepelných vazeb, nastavení orientace domu vůči světovým stranám a hodnot infiltrace. Zvolí

se lokace budovy a dle toho také použití vhodného souboru s daty o místních klimatických podmínkách.

V programu se dají nastavit také stínící prvky okolních budov či stromů, stínící prvky oken nebo přesahy střechy, pro tuto práci bylo však uvažováno s tím, že budova stojí na otevřeném prostranství, tedy že není stíněná okolními prvky a stínící prvky na oknech se zde neobjevují.

The screenshot shows the IDA ICE software interface. The top part displays project data for 'IDA_RD2' at 'Praha/Ruzyně_115180 (ASHRAE 2013)'. Below this, there are tabs for 'Details', 'Zones', 'Zone totals', 'Zone setpoints', 'Surfaces', 'Windows', 'Openings', 'Leaks', 'Internal gains', 'Wall constructions', 'Time schedules', 'Materials', and 'Room units'. The 'Zones' tab is active, showing a table with the following data:

Name	Group	Floor height, m	Room height, m	Floor area, m ²	Heat setp., °C	Cool setp., °C	AHU	System	Supply air, L/(s.m ²)	Return air, L/(s.m ²)	Occup., no./m ²	Lights, W/m ²	Lights, kWh/m ²	Equipme nt, W/m ²	Equipme nt, kWh/m ²	Ext win. area, m ²	Occup. schedule	Light schedule	Equipm. schedule
Zone 1		0.0	2.6	20.61	19.8	25.0	Standa.	CAV	0.4189	0.0	0.09699	0.0	0.0	0.6	5.256	6.36	© Alwa...	© Alwa...	© Alwa...
Zone 2		0.0	2.6	12.21	19.8	25.0	Standa.	CAV	0.4167	0.0	0.0	0.0	0.0	1.02	8.935	1.6	© Alwa...	© Alwa...	© Alwa...
Zone 3		0.0	2.6	29.18	19.8	25.0	Standa.	CAV	0.0	0.6466	0.0	0.0	0.0	0.4284	3.753	3.2	© Alwa...	© Alwa...	© Alwa...
Zone 4		0.0	2.6	16.47	19.8	25.0	Standa.	CAV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.759	6.649	2.8	© Alwa...	© Alwa...	© Alwa...
Zone 5		3.0	2.6	22.58	19.8	25.0	Standa.	CAV	0.0	0.5807	0.0	0.0	0.0	0.5536	4.85	5.6	© Alwa...	© Alwa...	© Alwa...
Zone 6		3.0	2.6	23.98	19.8	25.0	Standa.	CAV	0.2223	0.0	0.0417	0.0	0.0	0.5213	4.567	3.8	© Alwa...	© Alwa...	© Alwa...
Zone 7		3.0	2.6	17.03	19.8	25.0	Standa.	CAV	0.4143	0.0	0.05872	0.0	0.0	0.734	6.43	3.734	© Alwa...	© Alwa...	© Alwa...
Zone 8		3.0	2.6	14.64	19.8	25.0	Standa.	CAV	0.4166	0.0	0.0683	0.0	0.0	0.8538	7.479	2.4	© Alwa...	© Alwa...	© Alwa...
Totallm2									0.2055	0.2041	0.0319	0.0	0.0	0.637	5.581	3.87			

Obr. 13 Výstřížek z programu IDA ICE

9. VYHODNOCENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT A POTŘEB ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ

Vyhodnocení v této kapitole bylo stanoveno na základě jednotných klimatických dat z TNI 73 0329 a zabývá se převážně vlivem procent zasklení obálky domu, různých druhů oken a tepelně-izolačních vlastností použitých stavebních konstrukcí na tepelné ztráty a potřeby energie na vytápění a chlazení rodinných domů.

Přehled součinitelů prostupu tepla použitých typů stavebních konstrukcí a oken ukazuje Tabulka 12 a Tabulka 13.

Tabulka 12 Součinitele prostupu tepla použitých typů stavebních konstrukcí

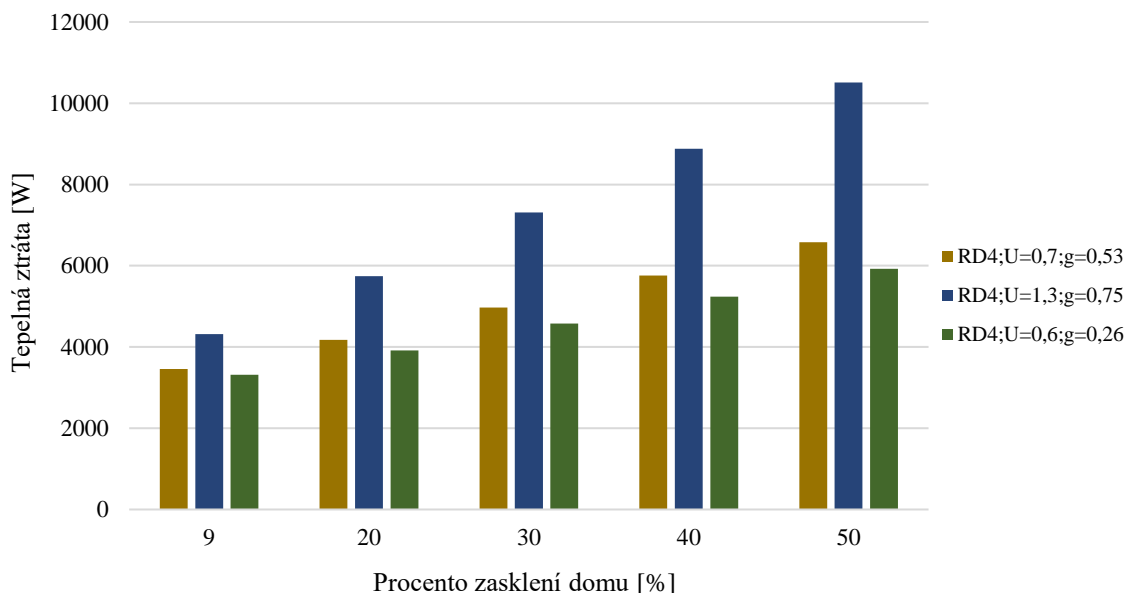
Stavební konstrukce	Typ	Součinitel prostupu tepla [$W/m^2.K$]
<i>Podlaha</i>	1	0,12
	2	0,24
<i>Střecha</i>	1	0,1
	2	0,2
<i>Vnější stěny</i>	1	0,09
	2	0,29

Tabulka 13 Součinitele prostupu tepla a solární faktory použitých typů oken

Stavební konstrukce	Typ	Součinitel prostupu tepla [$W/m^2.K$]	Solární faktor
<i>Okna</i>	1	0,7	0,53
	2	1,3	0,75
	3	0,6	0,26

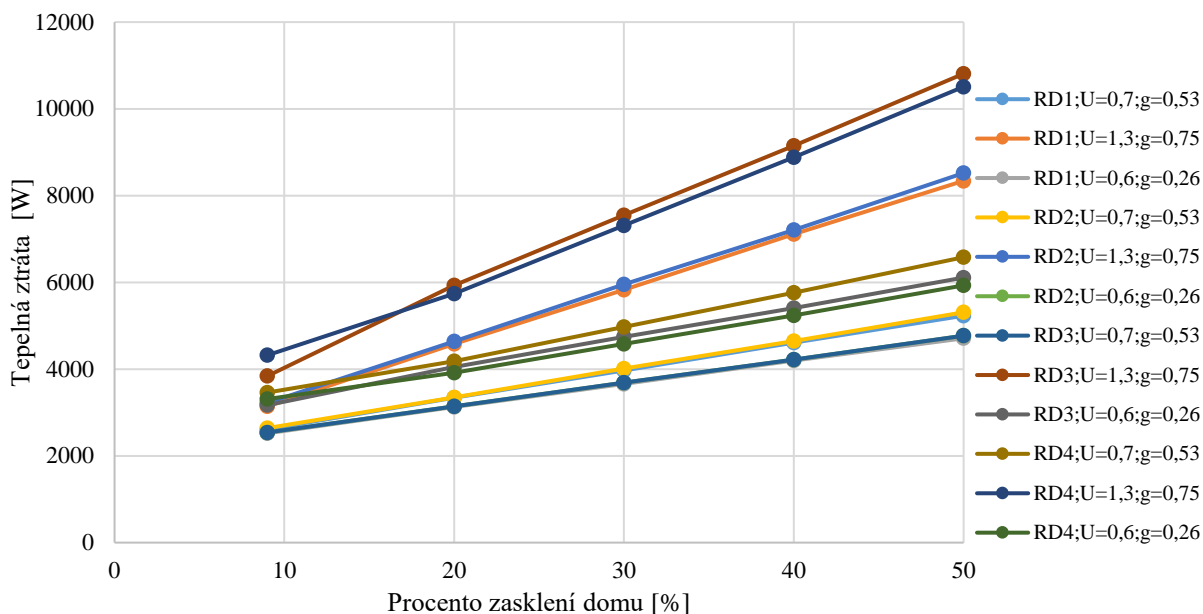
9.1. Vyhodnocení tepelných ztrát rodinných domů

Při porovnání tepelných ztrát získaných z metodiky výpočtu dle ČSN EN 12831-1 z prostředí MS Excel a z programu Energie 2019 bylo zjištěno, že se výsledky liší v rozsahu od 0,1 do 3 %. Z tohoto pohledu je tedy zřejmá velmi dobrá shoda použitých modelů výpočtů.



Obr. 14 Tepelné ztráty rodinného domu č. 4 se stavebními konstrukcemi typu 1

V grafu na Obr. 14 jsou tepelné ztráty čtvrtého rodinného domu se stavebními konstrukcemi prvního typu. Je zde vidět, že tepelná ztráta domu se zvyšujícím se procentem zasklení obálky téměř lineárně roste, jelikož součinitel prostupu tepla oknem je vyšší než součinitel prostupu tepla vnější stěnou domu, tudíž i měrný tepelný tok prostupem tepla zevnitř domu do vnějšího prostředí je vyšší. Zároveň je tedy jasné, že čím vyšší součinitel prostupu tepla oknem u jednotlivých verzí oken je, tím je tepelná ztráta domu také vyšší, což má za následek větší směrnici přímky růstu tepelné ztráty. Obdobně se chovají i tepelné ztráty zbylých třech domů. Tato skutečnost je také interpretována v následujícím grafu na Obr. 15. Hodnoty činitele prostupu slunečního záření zde nehrají roli, jelikož ty ovlivňují pouze solární zisky, které se ve výpočtu tepelné ztráty domu nezahrnují. Rozdílné hodnoty solárního faktoru se tedy projevují až u potřeb energie na vytápění a chlazení.

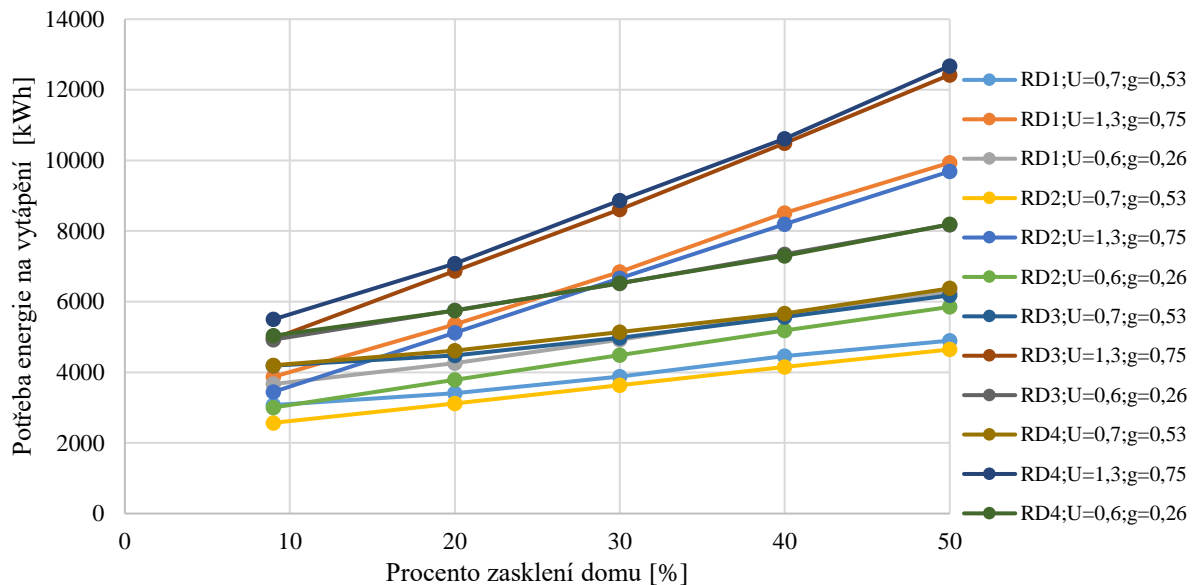


Obr. 15 Graf srovnání tepelných ztrát rodinných domů verze 1

9.2. Vyhodnocení potřeb energie na vytápění rodinných domů

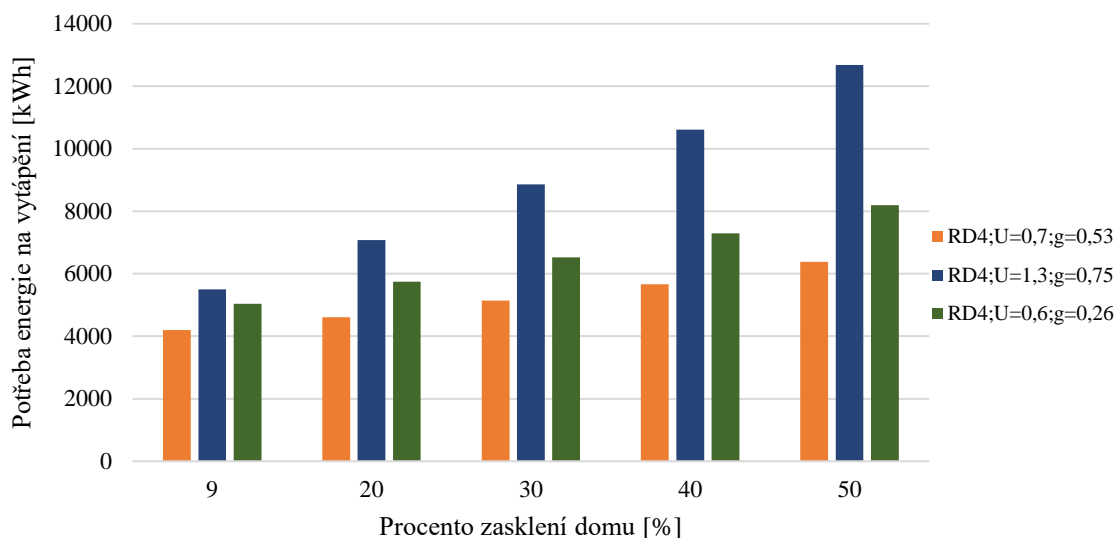
Potřeby energie na vytápění byly vypočteny podle normy ČSN EN ISO 13790 a ČSN EN ISO 52016-1 vždy měsíční metodou. Tato metodika byla dále využita i pro úpravu časového kroku na denní metodu. Pro vyhodnocování byly použity metody měsíční spolu s výsledky z programu Energie 2019, kde výpočet probíhá taktéž podle měsíční metody v souladu s normou ČSN EN ISO 52016-1. Rozdíl potřeb energie na vytápění mezi dnes již neplatnou normou ČSN EN ISO 13790 a normou ČSN EN ISO 52016-1, která ji od 1. 10. 2019 nahradila, se pohyboval u všech variant v rozmezí od cca 3 do 10 %, přičemž výpočty podle nové normy vykazují vždy nižší hodnoty.

Závislost potřeb energie na vytápění na procentu zasklení obálky domu pro typ stavebních konstrukcí č. 1, tedy pro stavby v pasivním nebo nízkoenergetickém standardu, roste téměř lineárně, jak můžeme vidět v grafu na Obr. 16. Z tohoto grafu je také patrné, že na potřebu energie na vytápění domu má vliv nejen hodnota součinitele prostupu tepla, ale také ji výrazně ovlivňuje hodnota solárního faktoru použitého zasklení.



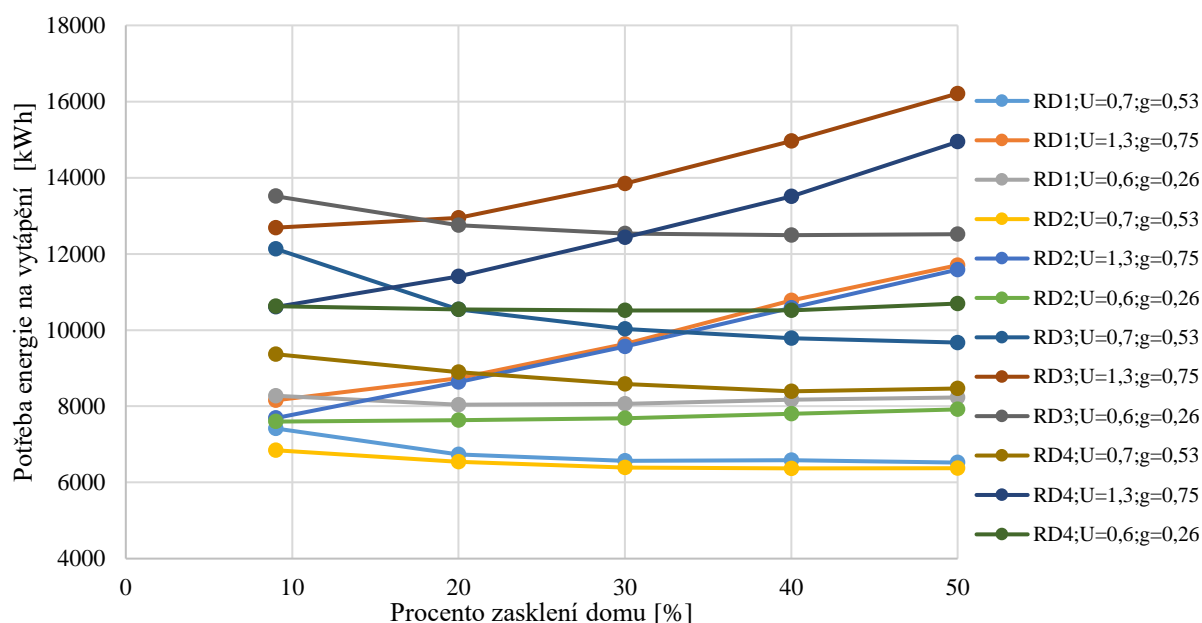
Obr. 16 Graf srovnání potřeb energie na vytápění domů verze 1

U oken třetího typu, kde je součinitel prostupu tepla i solární faktor nejnižší ($U = 0,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$; $g = 0,26$), se dosahuje vyšších hodnot potřeb energie na vytápění i přes nižší hodnotu součinitele prostupu tepla oknem (a tedy nižší tepelnou ztrátou) než u oken prvního typu ($U = 0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$; $g = 0,53$), což je způsobeno právě podílem prostupu slunečních paprsků přes zasklení okna, který ovlivňuje solární zisky a tím pádem potřebu energie na vytápění zmenšují. Okna druhého typu ($U = 1,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$; $g = 0,75$) dosahují nejvyšších hodnot potřeb energie na vytápění i přes to, že díky vyšší propustnosti solárního záření vykazují nejvyšší solární zisky. To je způsobené tím, že díky vyššímu součiniteli přestupu tepla oknem jsou měrné tepelné toky obálkou budovy tak vysoké, že ani vysoké solární zisky nedokáží potřebu energie na vytápění kompenzovat. Detailnější příklad tohoto faktu je vidět v grafu na Obr. 17, kde je srovnání potřeb energie na vytápění čtvrtého rodinného domu se stavebními konstrukcemi prvního typu.



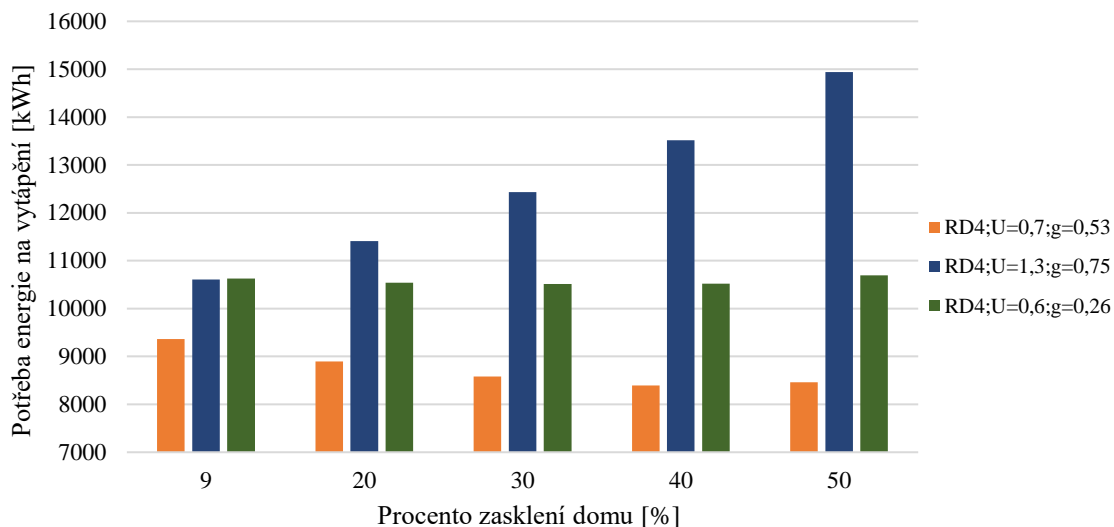
Obr. 17 Graf srovnání potřeb energie na vytápění 4. rodinného domu

U hodnot potřeb energie na vytápění domů se stavebními konstrukcemi druhého typu, tedy konstrukcemi s vyššími hodnotami součinitele prostupu tepla, se objevují odlišnosti. Pro okna druhého typu, která mají největší součinitel prostupu tepla oknem, zůstává průběh stejný jako u potřeb energie na vytápění domů s prvními (co se tepelně-izolačních vlastností týče kvalitnějšími) stavebními konstrukcemi – tedy téměř lineární závislost a rostoucí průběh. U oken prvního a třetího typu se však dostáváme k případům, kde tyto hodnoty u nějakých typů oken již lineárně nestoupají, avšak klesají, či jsou téměř konstantní, nebo konvexní, a vykazují tak hodnotu minima v určitých procentech zasklení. Toto je patrné z grafu na Obr. 18.



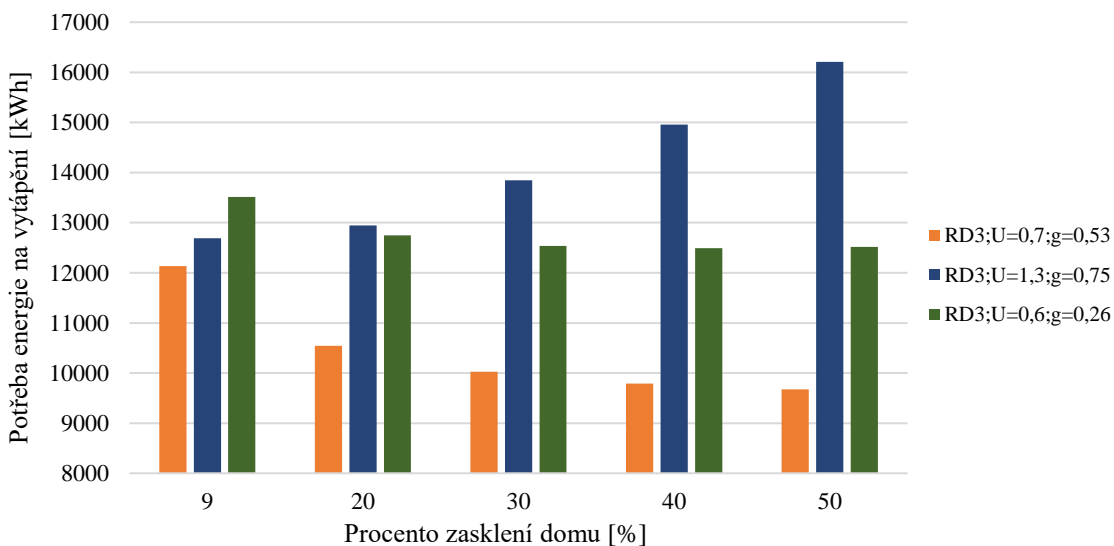
Obr. 18 Graf srovnání potřeb energie na vytápění domů verze 2

Graf na Obr. 19 ukazuje průběh potřeb energie na vytápění u rodinného domu č. 4 se stavebními konstrukcemi typu 2. V grafu je vidět, že minimální hodnota potřeby tepla na vytápění pro okna prvního ($U = 0,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; $g = 0,53$) a třetího typu ($U = 0,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; $g = 0,26$) leží na hodnotě procenta zasklení obálky domu 40 %.



Obr. 19 Graf srovnání potřeb energie na vytápění domu č. 4 verze 2

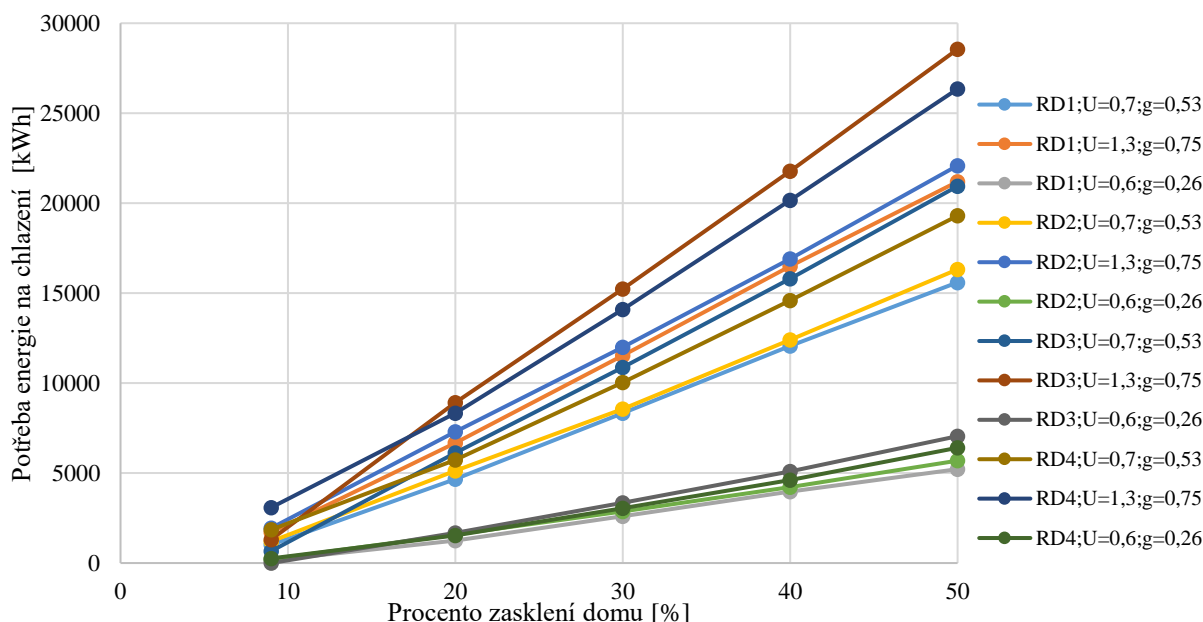
V grafu na Obr. 20 je totéž, avšak pro třetí dům. Zde je minimum pro potřebu energie na vytápění pro okna třetího typu ($U = 0,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; $g = 0,26$) taktéž na hodnotě 40 %. Pro okna prvního typu ($U = 0,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; $g = 0,53$) klesá dále až na 50 %.



Obr. 20 Graf srovnání potřeb energie na vytápění domu č. 3 verze 2

9.3. Vyhodnocení potřeb energie na chlazení rodinných domů

Potřeba energie na chlazení má podobný průběh jako tepelná ztráta domu – lineárně stoupá se zvětšujícím se procentem zasklení obálky domu. Tato skutečnost vyplývá z toho, že se zvětšující se plochou zasklení se zvětšují solární zisky, a tudíž roste i potřeba energie na chlazení domu.



Obr. 21 Graf srovnání potřeb energie na chlazení domů verze 1

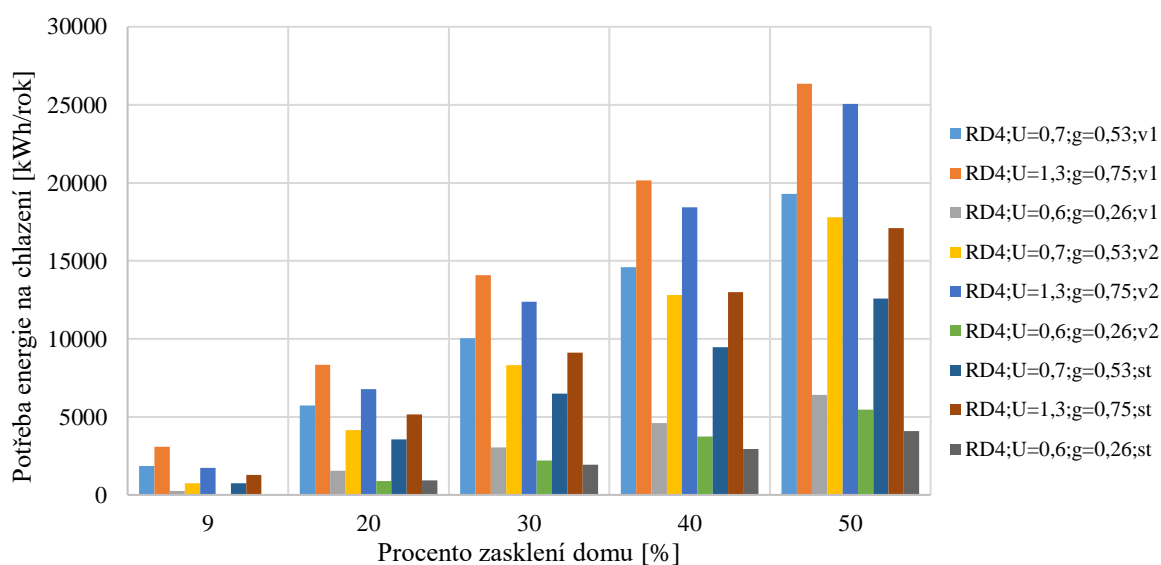
Veličinou, která nejvíce ovlivňuje solární zisky, je solární faktor g , což je vidět v grafu na Obr. 21. Platí tedy, že čím nižší solární faktor zasklení je, tím menší budou solární zisky, a tedy i potřeba energie na chlazení. Je zde patrné, že okna třetího typu se solárním faktorem $g = 0,26$ mají úhel směrnice přímky nejmenší, zatímco okna druhého typu se solárním faktorem $g = 0,75$ největší.

Při srovnání hodnot potřeb energie na chlazení pro stavební konstrukce prvního a druhého typu je vidět (Obr. 22), že nižších hodnot se dosahuje u konstrukcí druhého typu, tedy u konstrukcí s horšími tepelně-izolačními vlastnostmi. To je způsobeno rozdílnou kapacitou uvažovaných konstrukcí. Vyšší hodnota součinitele prostupu tepla v tomto případě znamená rychlejší odezvu na proměnné teplotní podmínky. Tuto skutečnost ukazuje Tabulka 14, kde je znázorněn procentuální rozdíl potřeb energie na chlazení rodinného domu č. 4 v těchto dvou verzích stavebních konstrukcí s okny prvního typu ($U = 0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$; $g = 0,53$). Čím větší plochu obálky domu tvoří zasklení, tím je menší plocha tvořena stěnami, tudíž procentuální rozdíl těchto potřeb klesá, jelikož klesá vliv rozdílu tepelně izolačních vlastností stavebních konstrukcí prvního a druhého typu.

Tabulka 14 Srovnání potřeb energie na chlazení pro RD4 s okny prvního typu

Zasklení	Potřeba chladu st. konstrukce typu 1	Potřeba chladu st. konstrukce typu 2	Procentuální rozdíl
%	kWh/rok	kWh/rok	%
9	1852	745	149
20	5728	4152	38
30	10036	8312	21
40	14591	12819	14
50	19300	17806	8

Pro čtvrtý rodinný dům proběhla v programu Energie simulace vnějšího stínění oken za účelem snížení solárních zisků v letních měsících, a tedy potřeby energie na chlazení. Jednalo se o světlé vnější žaluzie s korekčním činitelem clonění 0,35, které představují pohyblivé prvky ochrany proti slunečnímu záření během období, kdy je dům aktivně chlazen.



Obr. 22 Potřeby energie na chlazení RD4

V grafu na Obr. 22 je prezentována potřeba energie na chlazení domu s prvním typem stavebních konstrukcí a vnějším stíněním. Díky vnějšímu stínění se sníží potřeba energie na chlazení a je dosaženo výrazně nižších hodnot potřeby energie než u výsledků se stavebními konstrukcemi druhého typu. Z této simulace vychází, že čistě z pohledu nižší potřeby energie na chlazení domu by bylo nejvýhodnější použití stavebních konstrukcí s „horšími“ tepelně-izolačními vlastnostmi a okny s nízkým solárním faktorem, ale s vnějším stíněním a nízkým procentem zasklení obálky domu.

10. VHODNOST A PŘESNOST METOD PRO VÝPOČET POTŘEB ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ

V této kapitole došlo ke srovnání potřeb energie na vytápění domu pomocí hodinového, denního a měsíčního kroku. Tzv. denostupňová metoda nebyla v této práci uvažována. Problémem denostupňové metody je, že ve výpočtech přímo neuvažuje žádné vnitřní a vnější tepelné zisky, které, jak již bylo v práci prokázáno, potřebu energie na vytápění významně ovlivňují. Denostupňová metoda používá systém opravných koeficientů, které ale nelze s ohledem na potřeby diplomové práce zobecnit, či odvodit pro konkrétní případy řešených rodinných domů s ohledem na požadavek výpočtů vnějších a vnitřních tepelných zisků.

Tabulka 15 Hodnoty potřeb energie na vytápění pro různé výpočtové metody

Potřeba energie na vytápění [kWh/rok]				
Zasklení	Měsíční	Denní	Hodinová	IDA
RD1				
U=0,7;g=0,53	3345	3425	3315	3505
U=1,3;g=0,75	4240	4335	4195	3620
U=0,6;g=0,26	3840	3835	3845	3575
RD2				
U=0,7;g=0,53	2825	2945	2800	2810
U=1,3;g=0,75	3820	3955	3760	3490
U=0,6;g=0,26	3220	3305	3155	3400
RD3				
U=0,7;g=0,53	4415	4515	4305	4400
U=1,3;g=0,75	5225	5355	5105	5040
U=0,6;g=0,26	5145	5115	4900	5245
RD4				
U=0,7;g=0,53	4585	4715	4490	4605
U=1,3;g=0,75	6025	6180	5885	5800
U=0,6;g=0,26	5390	5400	5170	5580

Hodnota potřeby energie z programu IDA ICE byla pro potřeby této diplomové práce vybrána jako nominální hodnota, se kterou probíhá srovnání přesnosti dalších výpočtových metod. Simulace v programu IDA ICE byla provedena s hodinovým krokem a klimatickými údaji IWEC (International Weather for Energy Calculation) od asociace ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). Pro využití těchto klimatických hodnot i v ostatních metodách došlo k vytvoření měsíčních teplot z hodinových a přepočtu celkového solárního záření, které

bylo udáno ve W/m^2 na kWh/m^2 pro určitou světovou stranu. Tento přepočítání probíhal dle normy ČSN 73 0548 pomocí výpočtů sluneční deklinace a slunečního azimutu, což následně vedlo k výpočtům intenzity sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu. Tyto hodnoty uvádí Tabulka 16 a byly použity i pro další metody, tudíž veškeré následující výpočty byly provedeny se stejnými klimatickými daty, jaká používá IDA ICE a to proto, aby bylo možné porovnat tyto metody výpočtu mezi sebou. Zde je nutno zdůraznit, že výsledky dosažené v této kapitole jsou tedy odlišné od těch, které byly prezentovány v předchozích kapitolách.

Vnitřní tepelné zisky byly do programu IDA ICE zadány stejně jako do výpočtových Excelů a programu Energie, tj. jejich hodnoty včetně stejného zahrnutí do výpočtů a využitelnosti. Rozdíl výsledků je tedy závislý především na časovém kroku, který zde byl hodinový a tudíž by měl vykazovat oproti měsíčnímu či dennímu výpočtu přesnější výsledky.

Tabulka 16 Hodnoty solárního záření a měsíčních teplot IWEC

Měsíc	Průměrná venkovní teplota	Celkové solární záření za měsíc				
	t_{ep}	$I_{sol,j}$ [kWh/m^2]				
	[°C]	Sever	Jih	Východ	Západ	Horizont
Leden	-0,02	0	50	7	13	18
Únor	0,91	0	68	12	23	34
Březen	3,80	0	100	29	48	84
Duben	7,82	1	97	48	67	140
Květen	13,91	6	86	64	85	196
Červen	15,67	9	77	67	89	209
Červenec	18,57	7	88	65	90	200
Srpen	17,73	2	105	54	75	153
Září	13,51	0	106	36	48	89
Říjen	8,55	0	88	21	26	43
Listopad	3,42	0	54	9	12	17
Prosinec	0,66	0	40	5	8	10

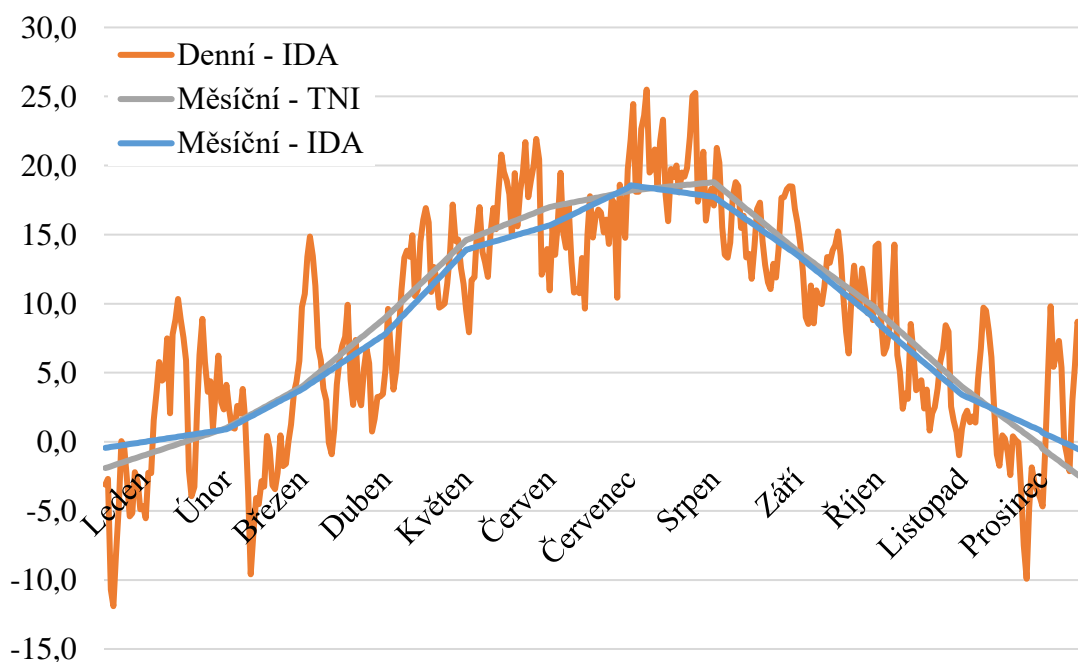
Průměrná venkovní měsíční teplota lze vypočítat zprůměrováním denních hodnot, které se stanovují dle Kämtzova vzorce (48). Teplota t_7 představuje venkovní teplotu v 7 hodin, t_{14} ve 14 hodin a t_{21} ve 21 hodin. Jedná se o empirický vzorec, který nejlépe vyhovuje klimatickým podmínkám České republiky a vychází z dlouhodobého měření. Pomocí tohoto vzorce proběhl přepočítání hodinových teplot získaných z programu

IDA ICE na teploty denní, které byly následně použity pro výpočty. Graf s těmito teplotami je k vidění na Obr. 23. [17]

$$t_d = \frac{t_7 + t_{14} + 2 \cdot t_{21}}{4} \quad (48)$$

V grafu na Obr. 23 jsou zobrazené teploty denní (křivka Denní – IDA), které byly získány výpočtem z hodinových hodnot pomocí výše zmíněného Kämtzova vzorce. Dále jsou uvedeny teploty měsíční vypočtené zprůměrováním těchto denních teplot (křivka Měsíční – IDA) a pro porovnání s hodnotami použitými pro výpočty v předchozích kapitolách jsou v grafu uvedeny také hodnoty měsíčních teplot uvedených v TNI 73 0329 (křivka Měsíční – TNI).

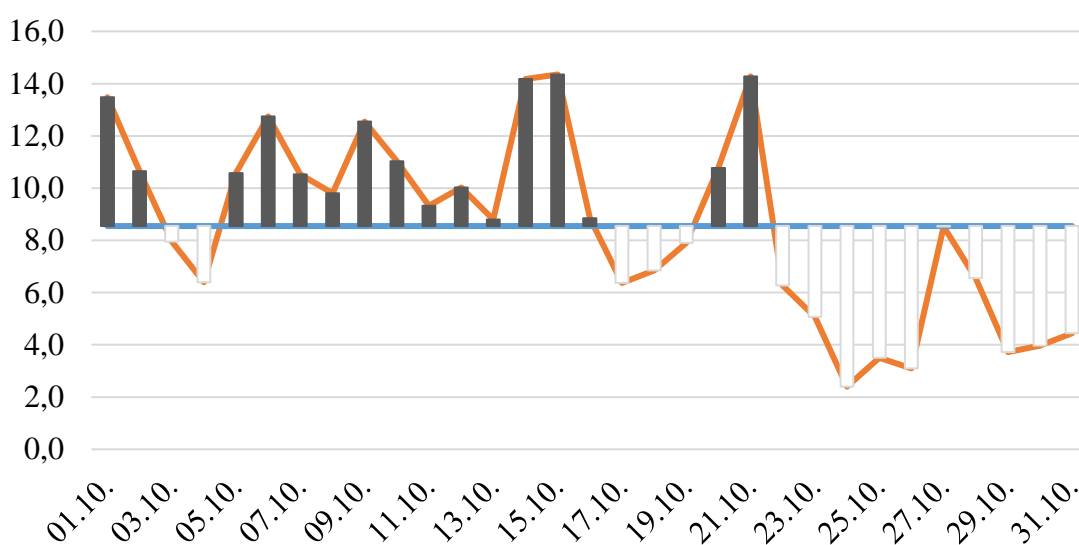
Z grafu je patrné, že měsíční teploty z TNI 73 0329 (Měsíční – TNI), které byly použity pro výpočty v předchozích kapitolách, jsou převážnou část roku vyšší než teploty získané zprůměrováním denních teplot získaných z hodinových meteorologických dat používaných programem IDA ICE (Měsíční – IDA). Průměrná roční teplota (stanovená průměrem všech měsíčních teplot) je 9,03 °C, zatímco u dat z IDA ICE je to 8,71 °C. Průměrná roční teplota z originálních hodinových dat z IDA ICE je 8,74 °C. Z tohoto hlediska lze tak přepočtené hodinových teplot na denní pomocí Kämtzova vzorce a následné zprůměrování na teploty měsíční považovat za dostatečně přesný pro účely této diplomové práce.



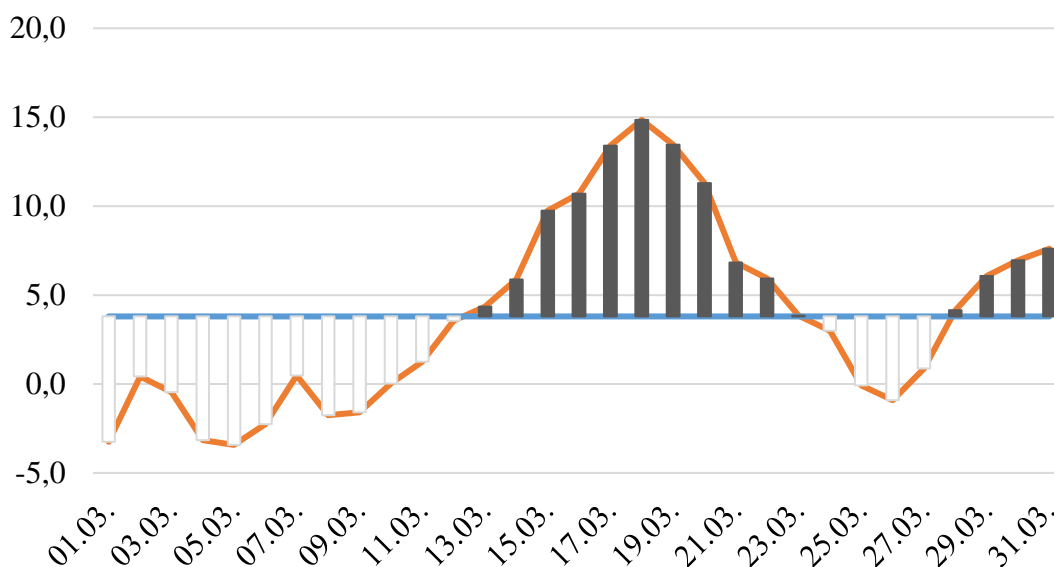
Obr. 23 Porovnání denních a měsíčních teplot

Z průběhu denních teplot je vidět, že ač se zde vyskytují během celého roku relativně velké teplotní výkyvy, přepočten na měsíční teploty se pohybuje v rámci středních hodnot této křivky.

Pro zajímavost je uveden bližší rozbor průběhu denních teplot. Na Obr. 24 se nachází ukázka průběhu denních teplot za měsíc říjen v porovnání s měsíční hodnotou. S ohledem na použitou metodu výpočtu měsíčních teplot musí součet hodnot nad přímkou průměrné měsíční teploty odpovídat součtu hodnot pod touto přímkou. Zajímavé však je, jak rozdílných hodnot denních teplot je v přechodových měsících dosahováno. V říjnu tento rozdíl činil cca 12 K a březnu cca až 18 K.

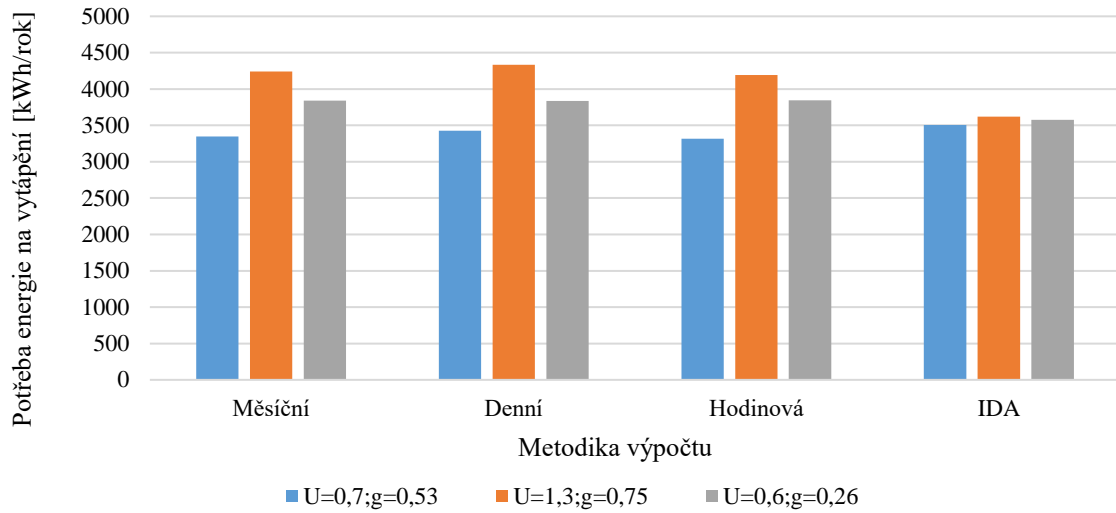


Obr. 24 Průběh denních a měsíčních teplot za měsíc říjen

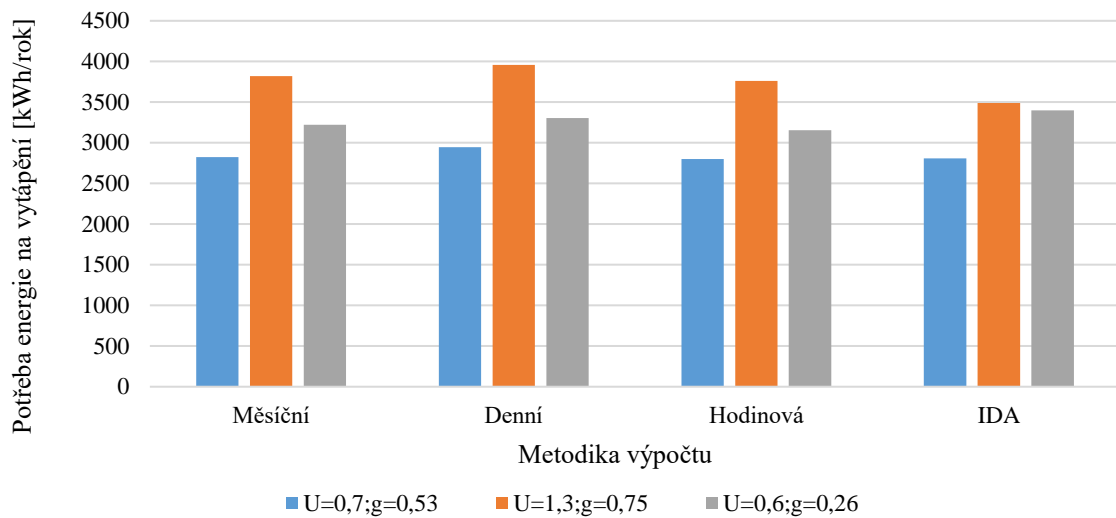


Obr. 25 Průběh denních a měsíčních teplot za měsíc březen

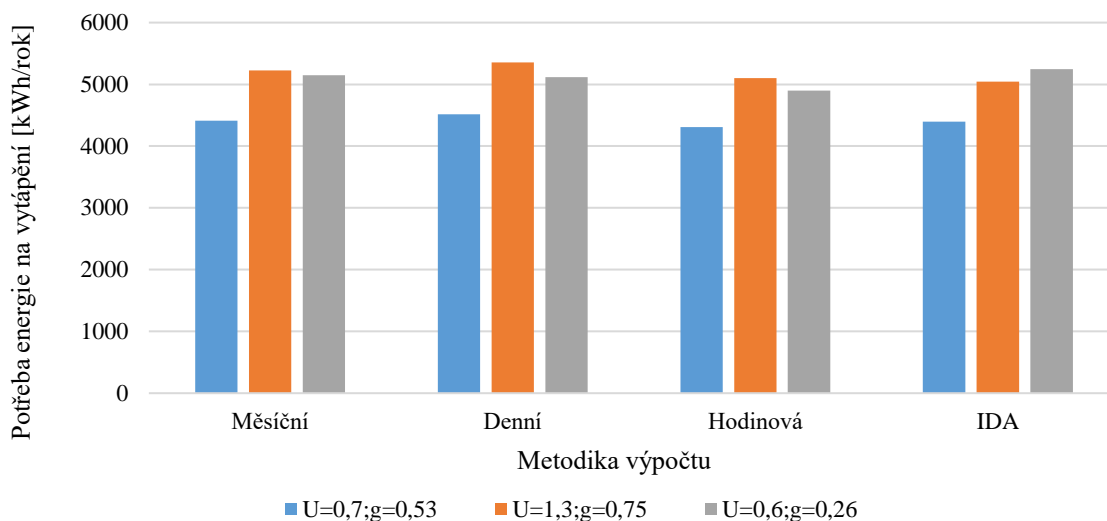
V následujících grafech je prezentována potřeba energie na vytápění pro všechny čtyři domy s třemi druhy oken, která je vypočtena přes měsíční, denní a hodinovou metodu. Ke srovnání jsou uvedeny také výsledky ze simulací v programu IDA ICE.



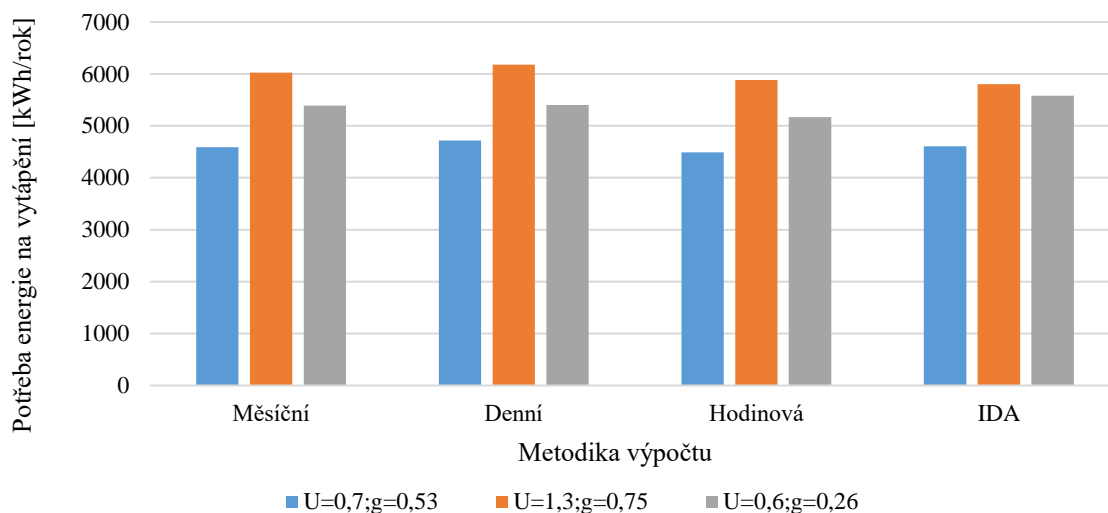
Obr. 26 Potřeba energie na vytápění RDI



Obr. 27 Potřeba energie na vytápění RD2



Obr. 28 Potřeba energie na vytápění RD3



Obr. 29 Potřeba energie na vytápění RD4

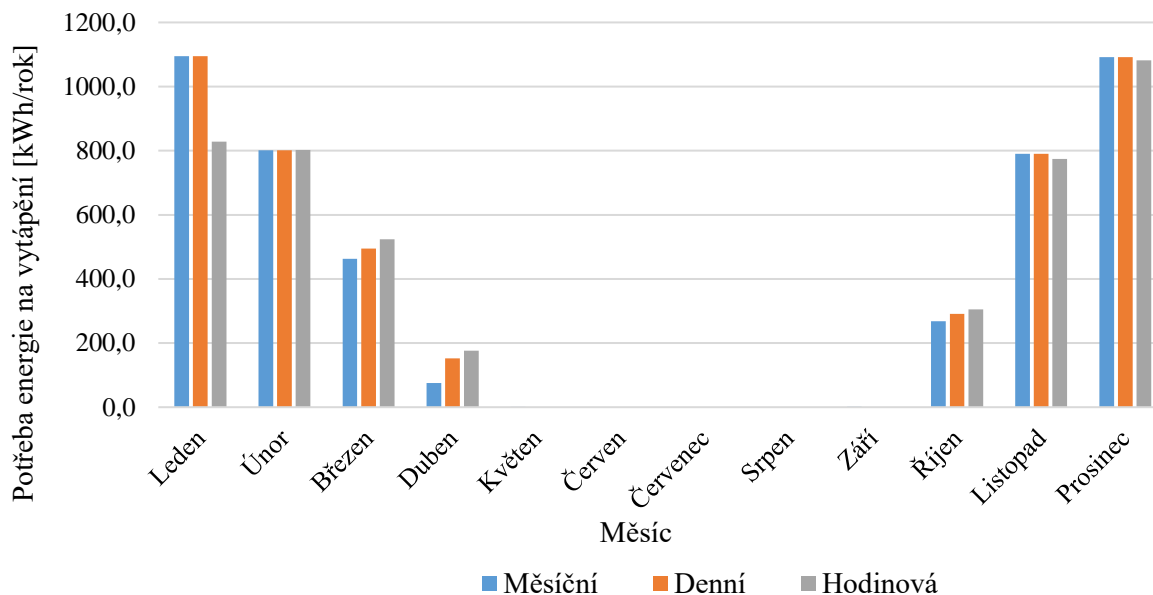
Měsíční metoda uvažuje s delším časovým krokem a používá průměrné měsíční teploty, při kterých mohou vznikat nepřesnosti, jelikož neuvažuje případy, kdy by byly dny s vyššími nebo naopak nižšími teplotami vzduchu, než jaké odpovídají průměrné měsíční teplotě.

Tzv. denní metoda, která je rozšířenou měsíční metodou využívá denní teploty, které byly spočítány podle Kämtzova vzorce (48). Je zřejmé, že denní krok výpočtu by měl lépe zohlednit zejména jarní a podzimní měsíce, kde je část měsíce nutné počítat s vytápěním, ale i chlazením (např. září, říjen nebo duben a květen).

Oproti tomu hodinová metoda (metodicky obdobná denní) uvažuje s hodinovým krokem, tudíž originálními hodinovými teplotami z programu IDA ICE. Tato metoda by se měla nejvíce podobat simulaci z tohoto programu, což u většiny případů platí.

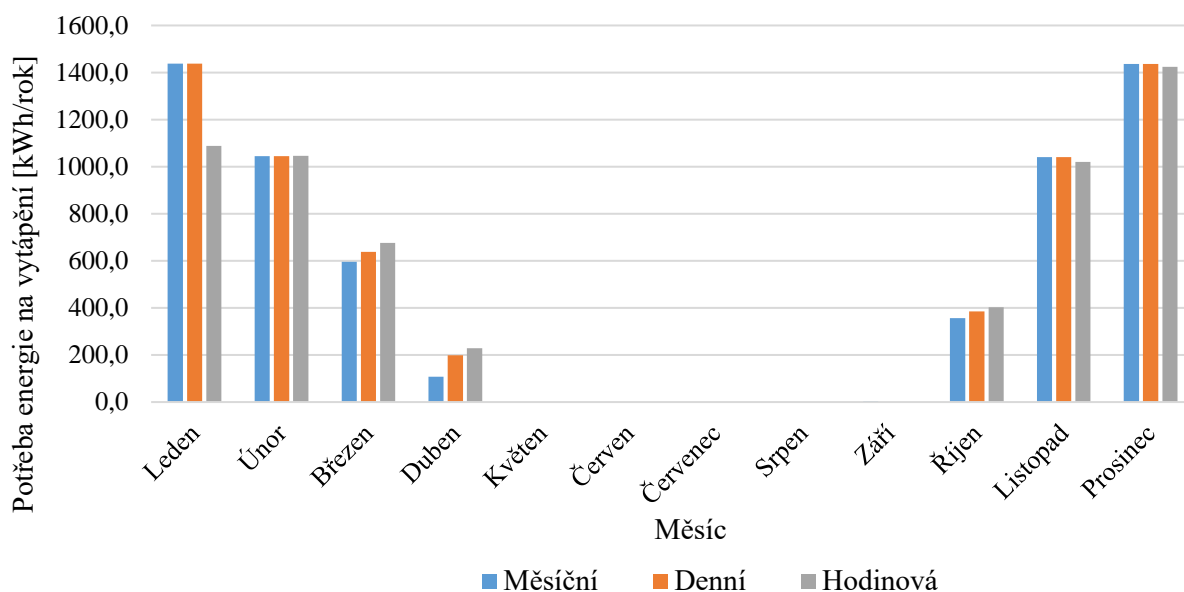
U všech variant rodinných domů se u měsíce ledna dosahuje při výpočtu dle hodinové metody nižší potřeby energie na vytápění o 24 % oproti denní či měsíční. Po detailním zkoumání hodinových klimatických dat bylo dosaženo závěru, že tento fakt je způsobený výrazně teplým koncem měsíce, kdy denní teploty dosahují až 13 °C, přičemž průměrná měsíční teplota za leden je 0 °C. Zde se tedy objevuje určitá nepřesnost vznikající přepočtem hodinových dat na denní, resp. měsíční, pomocí Kämtzova vzorce, který jak již bylo zmíněno průměruje teploty pouze v určité hodiny.

V grafu na Obr. 30 je znázorněn průběh roční potřeby energie na vytápění rodinného domu č. 4 s okny prvního typu ($U = 0,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; $g = 0,53$) rozdělené po příslušných měsících pro měsíční, denní a hodinovou metodu. Zde je ale vidět, že měsíční metoda s denní metodou mají téměř podobný průběh a hodinová metoda vykazuje mírně vyšší hodnoty potřeb energie na vytápění v jarních a podzimních měsících, naopak pouze pro měsíc leden vykazuje tato metoda potřebu výrazně menší.



Obr. 30 Potřeba energie na vytápění RD4 $U=0,7; g=0,53$

Obdobně vypadají tyto potřeby i pro ostatní varianty, pro ukázkou je uveden ještě graf na Obr. 31, který se týká rodinného domu č. 4 s okny druhého typu ($U = 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; $g = 0,75$).



Obr. 31 Potřeba energie na vytápění RD4_ $U=1,3;g=0,75$

Každá metoda výpočtu potřeby energie na vytápění naráží na zásadní problém, kterým jsou klimatická data. Ať už jde o teploty či hodnoty solárního záření. A vždy se jedná o zásadní okrajové podmínky, které se ve výpočtech objevují. Například program Energie 2019 nabízí pro výpočet energetické náročnosti budov dle Vyhlášky č. 78/2013 Sb. vložení klimatických dat podle ČSN 73 0331-1 (2018), což jsou normové hodnoty používané nezávisle na lokaci budovy. Pro přiblížení se reálným výsledkům potřeb energie na vytápění by bylo třeba mít hodinová klimatická data pro konkrétní zeměpisnou polohu, ve které se budova nachází. Tato data je ovšem často velmi obtížné získat.

Dnešním trendem je stále se zlepšující zateplování budov za účelem snížení tepelných ztrát, a dosažení nižších potřeb energie na vytápění a tím i finančním nákladům s nimi spojenými. Hodnoty těchto potřeb jsou právě díky lepším tepelně-izolačním vlastnostem obálky budovy v posledních letech tak malé, že každá nepřesnost, která vznikne buď nevhodně použitými klimatickými daty či právě dlouhým časovým krokem výpočetní metody, mění výsledek výpočtu v rámci desítek procent.

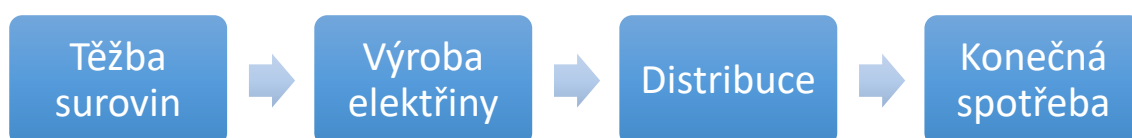
11. ZHODNOCENÍ DODANÝCH ENERGIÍ

Ke zhodnocení dodaných energií na vytápění a chlazení pro jednotlivé varianty proběhl přepočít na primární neobnovitelnou energii pomocí Vyhlášky o energetické náročnosti budov č. 78/2013 Sb., která je v platnosti od roku 2013. [13][14][15]

Primární energie je taková energie, která neprošla žádným procesem přeměny, jedná se tedy o takovou formu energie, jaká se vyskytuje v přírodě. Rozděluje se na obnovitelnou a neobnovitelnou. Primární obnovitelná energie je energie získaná z obnovitelných zdrojů, tedy například voda, vítr, sluneční záření a biomasa. Primární neobnovitelná energie je získaná ze zdrojů neobnovitelných, tzv. fosilních paliv, jako třeba zemní plyn, uhlí, ropa nebo jaderná energie. Ropa, uhlí a zemní plyn se dají uvažovat jako obnovitelné energie, ale z důvodu dlouhého času jejich vzniku se berou jako neobnovitelné. [13][14][15]

Vyšší produkci CO₂ a negativní vliv na životní prostředí má právě neobnovitelná primární energie, kde navíc dochází k postupnému snižování množství zásob fosilních paliv. Snižování spotřeby této energie se tedy stává dnešním trendem, pozorovat to můžeme například u snahy o budovy s nulovou spotřebou energie, zde se právě myslí spotřeba neobnovitelné primární energie. Kromě snižování spotřeby energie je zde snaha o větší využívání obnovitelných zdrojů. [13][14][15]

Přepočít na primární neobnovitelnou energii proběhl podle faktoru primární neobnovitelné energie z výše zmiňované vyhlášky. Ten zahrnuje celý řetězec výroby energie, například tedy elektrická energie z uhelných elektráren zahrnuje těžbu uhlí, dopravu k místu elektrárny, spalování uhlí s určitou účinností elektrárny, a nakonec rozvod elektřiny se ztrátami v rozvodných sítích. Faktor neobnovitelné primární energie udává podíl mezi potřebou neobnovitelné primární energie a potřebou energie dodané na hranici budovy a je tedy vždy vyšší než 1. [13][14][15]



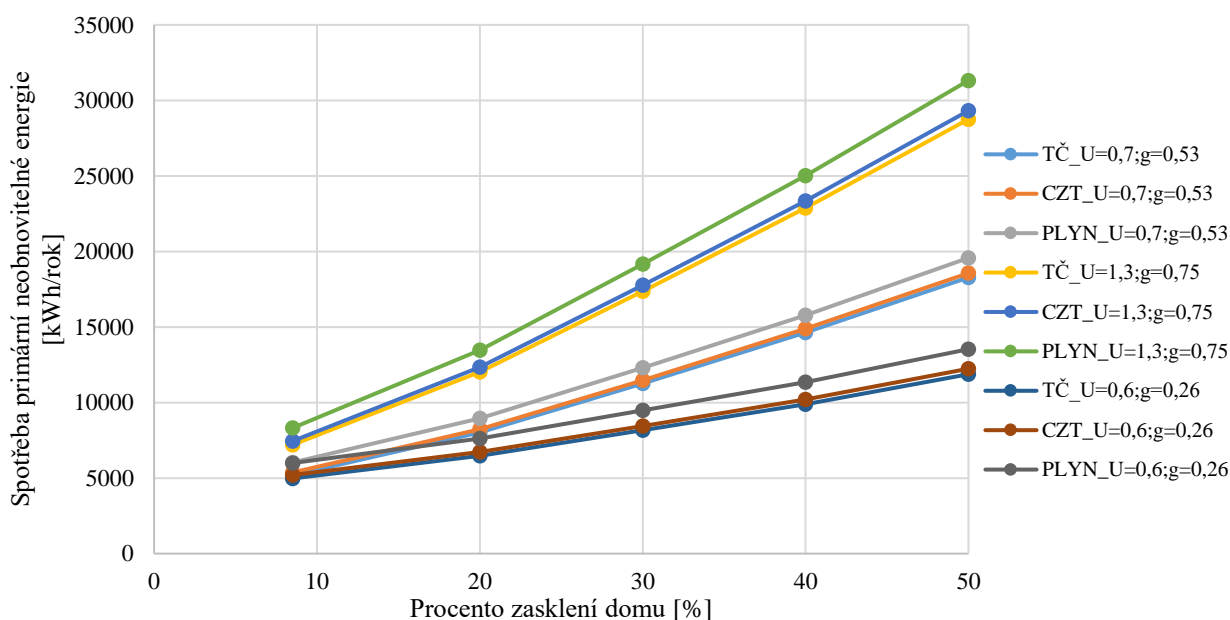
Obr. 32 Řetězec výroby energie

Tabulka 17 Hodnoty faktoru primární energie pro hodnocenou budovu [16]

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

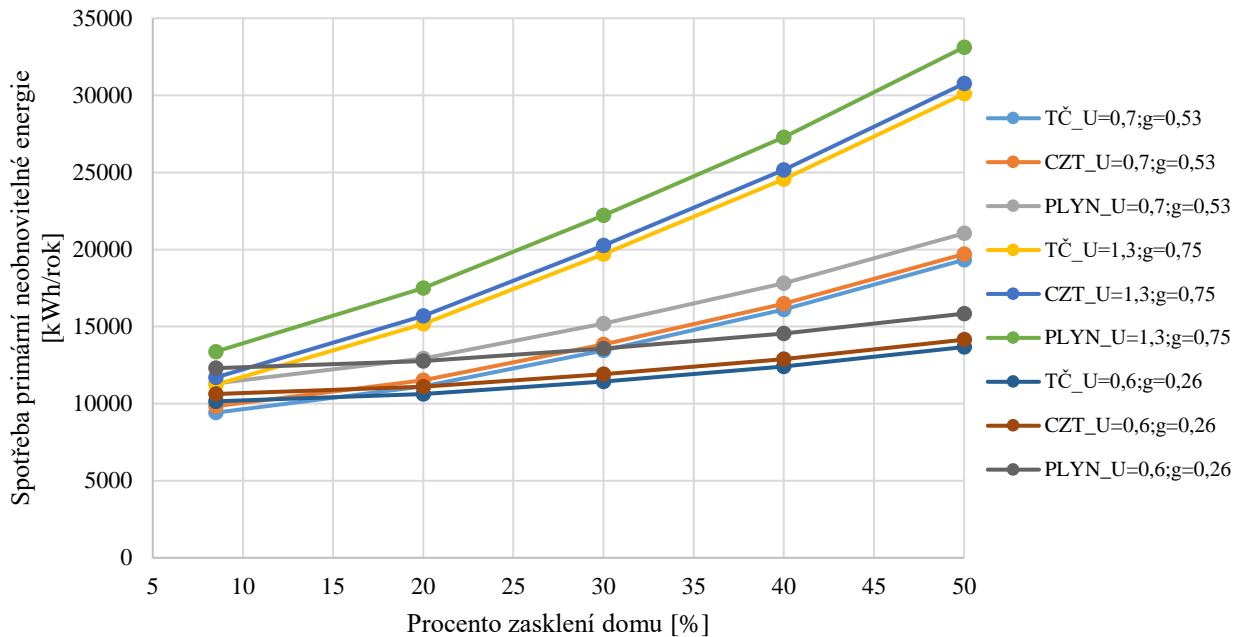
Jako zdroje vytápění vybraných rodinných domů byl zvolen plynový kondenzační kotel, tepelné čerpadlo vzduch-voda a centrální zásobování teplem (CZT). K jednotlivým potřebám energií na vytápění a chlazení se zohlednily účinnosti a sezónní topné a chladicí faktory.

Účinnost pro výrobu energie plynovým kondenzačním kotlem byla uvažována 95 % (podle TNI 73 0329). Další parametry projektu jsou totožné z navrženého projektu Vytápění (předmět Projekt II 2163012). Sezónní topný faktor pro tepelné čerpadlo vzduch-voda činil 3,14 a byl převzat z projektu Vytápění, kde probíhal návrh vytápění rodinného domu č. 4 pomocí podlahového vytápění, kde bylo jako zdroj otopné vody použito tepelného čerpadlo vzduch-voda Logatherm WPLS 8.2 od společnosti Buderus. Jednalo se o čerpadlo skládající se z venkovní a vnitřní jednotky. Sezónní chladicí faktor činil 4,75. K získání této hodnoty posloužil projekt Větrání a klimatizace (předmět Projekt III 2163013), ve kterém došlo k návrhu větracího a klimatizačního systému pro dům č. 4. Klimatizační systém zde tvořila Multi-SPLIT jednotka Fujitsu AOYG45LBT8 s chladivem R410A a vnitřní nástěnné cirkulační jednotky.



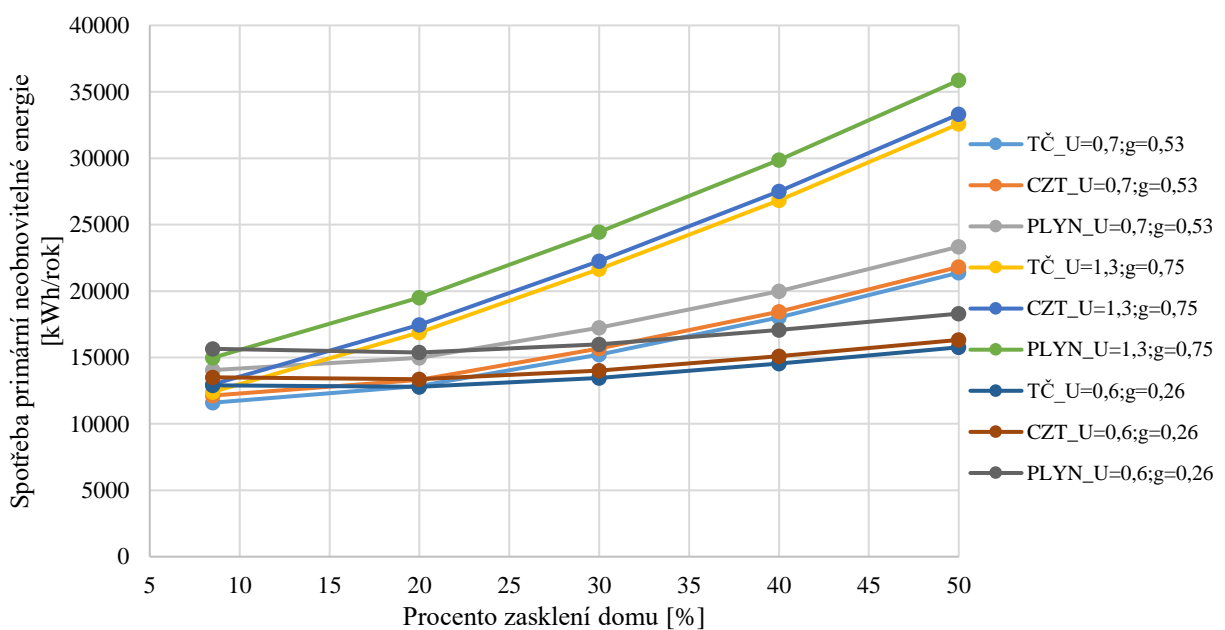
Obr. 33 Spotřeba primární neobnovitelné energie domu č. 4 verze 1

Z grafu na Obr. 33 plyne, že spotřeba primární neobnovitelné energie pro dům č. 4 ve verzi stavebních konstrukcí č. 1, tudíž s nižšími hodnotami součinitele prostupu tepla, je nejnižší pro třetí typ oken, jelikož se zde dosahuje nejnižších solárních zisků, a tedy i potřeby energie na chlazení.



Obr. 34 Spotřeba primární neobnovitelné energie domu č. 4 verze 2

Avšak v grafu na Obr. 34 je vidět, že v malých procentech zasklení obálky domu se stavebními konstrukcemi verze 2 se dosahuje nižších spotřeb primární neobnovitelné energie u prvního typu oken, jelikož solární zisky jsou dostatečně velké na to, aby snížily potřebu energie na vytápění, ale nejsou v podílu celkových tepelných ztrát a zisků až tak vysoké, aby zapříčinily příliš vysokou potřebu energie na chlazení. V součtu tedy do určitého procenta zasklení vychází nejlépe okna prvního typu, poté už ale solární zisky opět vzrostou na úroveň, kde způsobí vysokou potřebu energie na chlazení. Nejnižších hodnot dosahují okna třetího typu, které solární zisky značně eliminují.



Obr. 35 Spotřeba primární neobnovitelné energie domu č. 3 verze 2

Stejný jev můžeme pozorovat i u domu č. 3, kde se dokonce opět objevuje na konvexní křivce minimum, tentokrát na 20 % zasklení (Obr. 35). Znamená to tedy, že při použití třetího typu oken bude lepší, když bude mít dům procento zasklení obálky kolem 20 %, jelikož se v tomto bodě dosahuje optimálních solárních zisků, které zajistí snížení potřeby energie na vytápění a zároveň použité konstrukce nepředstavují významnou potřebu energie na chlazení.

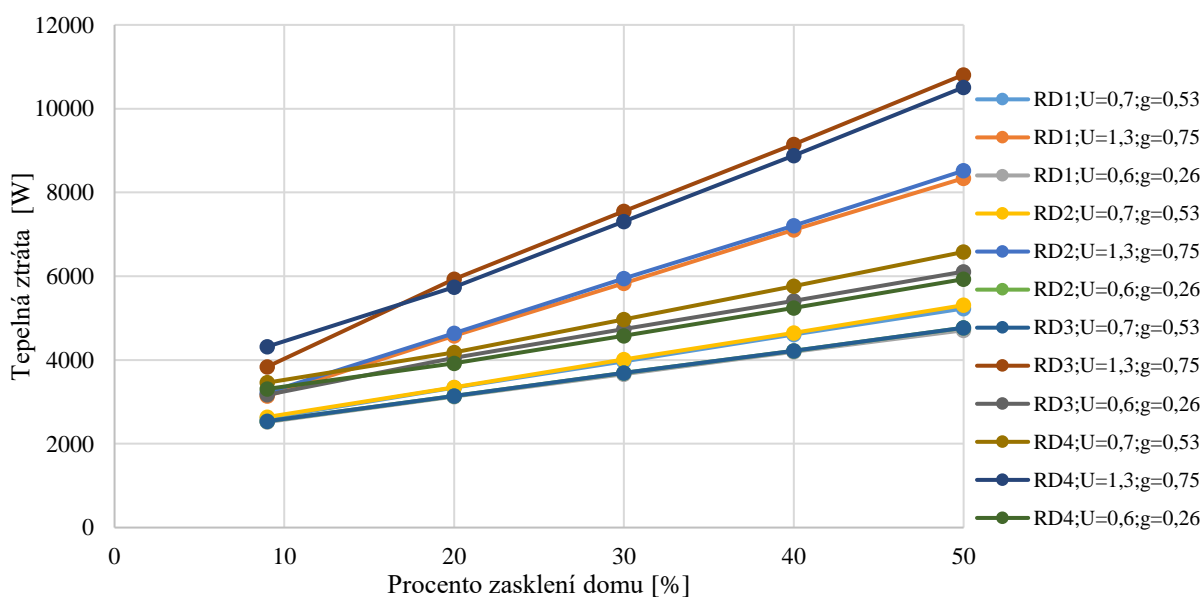
Co se použitých zdrojů vytápění týče, tak nejnižších hodnot spotřeby primární neobnovitelné energie na vytápění a chlazení domu dosahuje tepelné čerpadlo, poté využití centrálního zásobování teplem a nejhůře vychází použití plynového kondenzačního kotle.

ZÁVĚR

V diplomové práci s názvem Energetická náročnost budov byly nejprve navrženy dva typy stavebních konstrukcí a byly vybrány tři typy oken, které se lišily v tepelně-izolačních vlastnostech. Poté proběhly výpočty tepelných ztrát a potřeb energie na vytápění a chlazení pro čtyři rodinné domy, u kterých došlo ke zvyšování procenta zasklení obálky budovy z původního procenta daného projektem až k 50 %, což vedlo ke zjištění rozdílných průběhů hodnot tepelných ztrát a potřeb dodaných energií.

U výpočtů potřeb energie na vytápění došlo k porovnání výsledků z dnes již neplatné normy ČSN EN ISO 13790 a normy aktuální, tedy ČSN EN ISO 52016-1. Zde bylo zjištěno, že výsledky z nové normy vykazují nepatrně nižší hodnoty potřeb energie na vytápění.

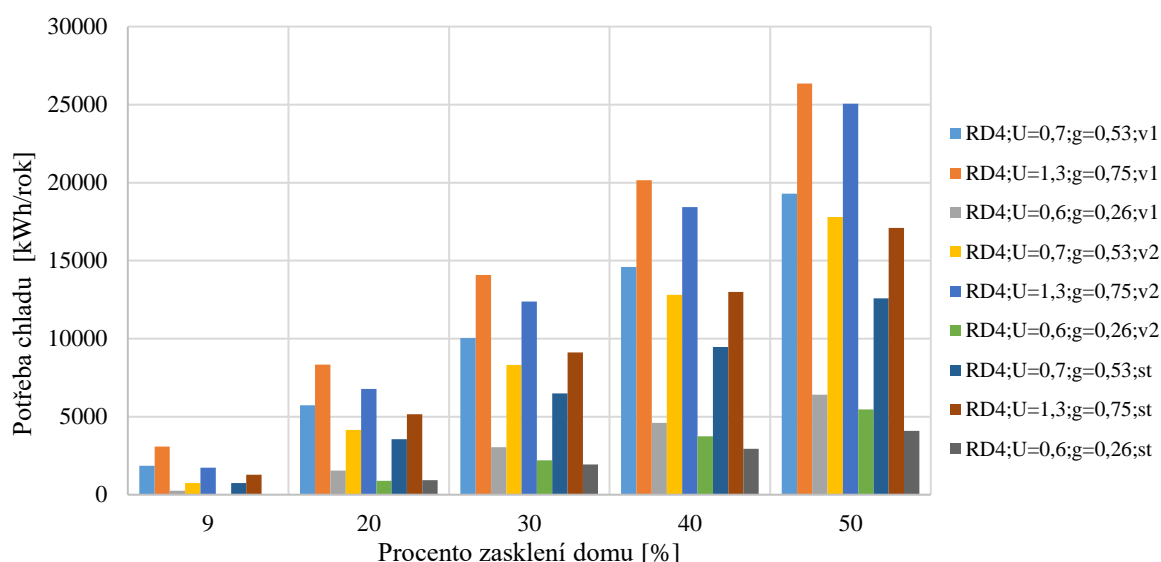
V případě tepelných ztrát byl již před výpočty předpoklad, že s rostoucím procentem zasklení obálky domu bude docházet ke zvyšování tepelné ztráty. Stejně tak v případě zvyšujících se hodnot součinitelů prostupu tepla stavebními konstrukcemi a okny byla domněnka, že bude tepelná ztráta růst. Tyto předpoklady byly pomocí výpočtů v programu Microsoft Excel a Energie 2019 prokázány, v grafu na Obr. 36 je vidět téměř lineární růst tepelné ztráty jednotlivých rodinných domů v závislosti na procentu zasklení obálky domu. Z pohledu velikosti tepelných ztrát se dá tedy říci, že nejideálnějším případem by bylo použití stavebních konstrukcí s nízkými součiniteli prostupu tepla a nulové procento zasklení obálky domu, což by se ale kvůli absenci solárních zisků projevilo na potřebě energie na vytápění a také na potřebě elektrické energie na osvětlení.



Obr. 36 Tepelné ztráty rodinných domů se stavebními konstrukcemi prvního typu

U potřeby energie na chlazení budovy se objevuje podobný průběh jako u tepelné ztráty, a to je rostoucí potřeba chladu při rostoucím procentu zasklení obálky budovy. Tento jev je daný tím, že se zvětšujícím se procentem zasklení rostou vnější tepelné zisky z oslunění, takže potřeba energie na chlazení stoupá. Tato potřeba je poté tím vyšší, čím vyšší je solární faktor zasklení. U oken druhého typu ($U = 1,3 \text{ W/m}^2.K$; $g = 0,75$) je nejvyšší, kdežto u oken třetího typu ($U = 0,6 \text{ W/m}^2.K$; $g = 0,26$) nejmenší.

V případě porovnání dvou výše zmíněných typů stavebních konstrukcí bylo zjištěno, že při použití stavebních konstrukcí druhého typu, tedy těch, které mají horší tepelně-izolační vlastnosti, se dosahuje nižších potřeb energie na chlazení než při použití stavebních konstrukcí prvního typu. Tento jev je způsoben tím, že při vyšších hodnotách součinitele prostupu tepla dochází k rychlejší odezvě na proměnné teplotní podmínky. Srovnání potřeb energie na chlazení rodinného domu č. 4 je v grafu na Obr. 37.

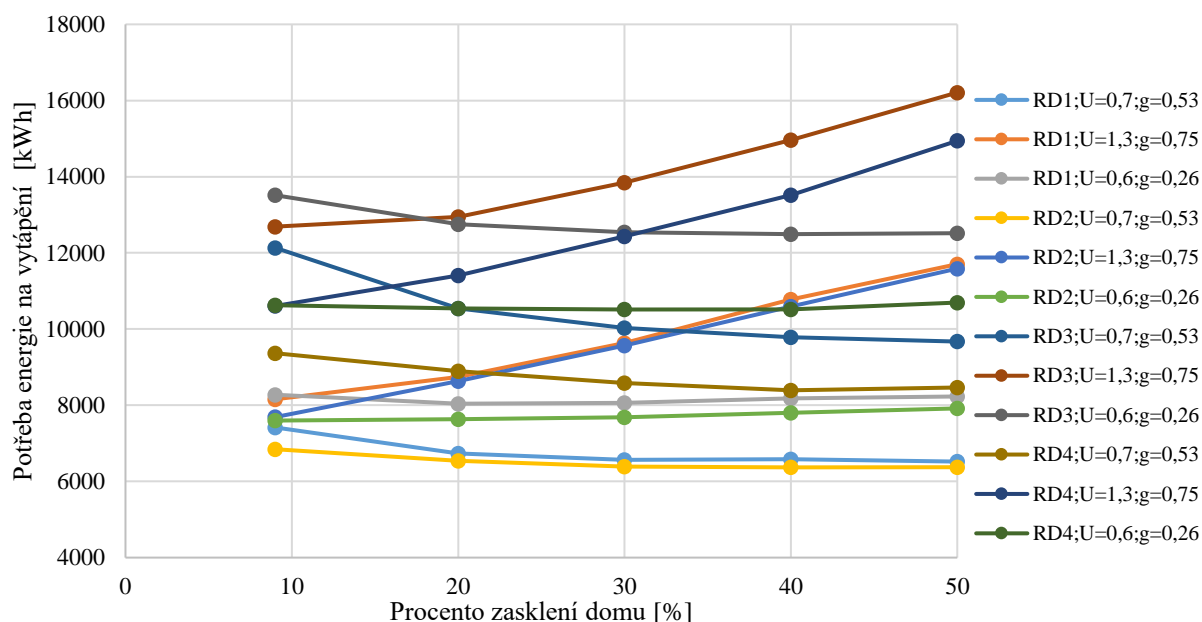


Obr. 37 Potřeby energie na chlazení rodinného domu č. 4

V tomto grafu je také ukázána potřeba energie na chlazení čtvrtého řešeného rodinného domu se simulací vnějšího stínění oken, což vedlo k rapidnímu poklesu solárních zisků, tudíž i potřeby energie na chlazení. Stínění bylo simulováno vnějšími žaluziemi světlé barvy, které slouží jako pohyblivé prvky ochrany proti slunečním paprskům během doby, kdy se dům aktivně chladí. Z grafu na Obr. 37 vyplývá, že pokud bude v domě realizované chlazení, tak se nejmenších hodnot potřeb energie na provoz těchto zařízení dosáhne s použitím stavebních konstrukcí s horšími tepelně-izolačními vlastnostmi, malým procentem zasklení s nízkým solárním faktorem a vnějším stíněním.

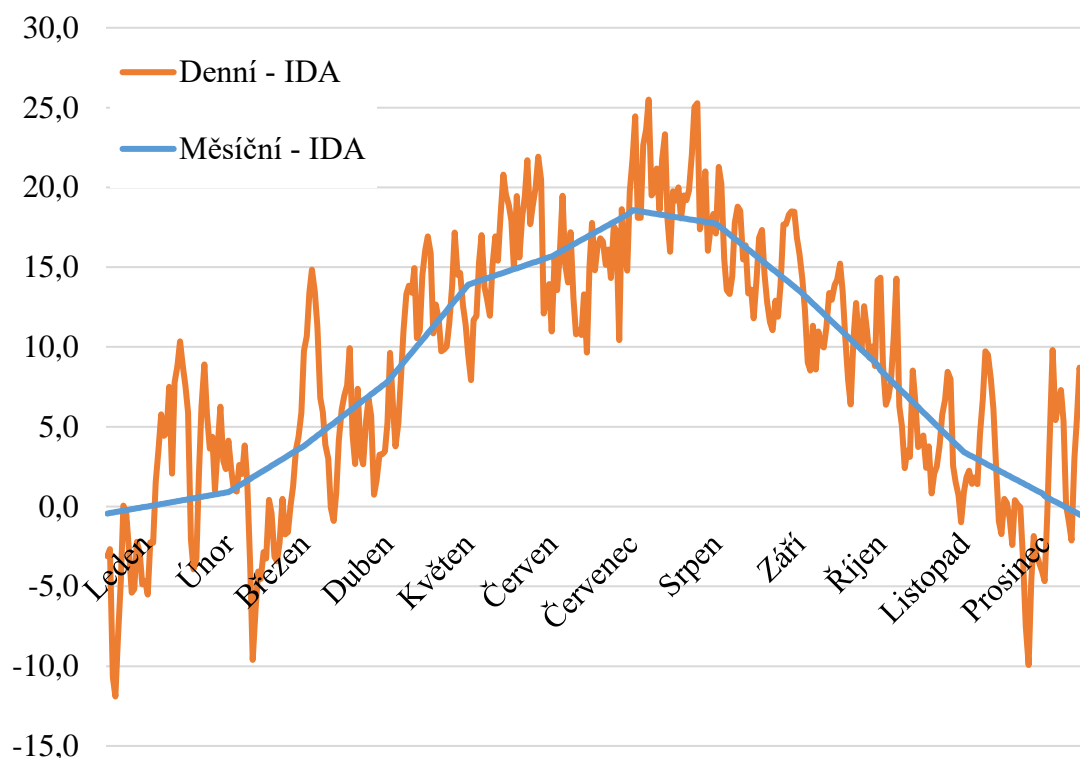
Tento předpoklad se však vztahuje pouze na potřeby energie na chlazení, co se týče potřeb energie na vytápění, vyskytuje se zde u stavebních konstrukcí prvního typu obdobný průběh jako u tepelných ztrát a potřeb energie na chlazení, tedy téměř lineární růst této potřeby se zvyšujícím se procentem zasklení obálky domu. Objevuje se zde však pravidlo, že i přes nízkou hodnotu součinitele prostupu tepla u třetího typu oken (tudíž nižší tepelné ztráty) bude potřeba energie na vytápění vyšší, než které dosáhne dům při použití oken prvního typu, kde je sice vyšší součinitel prostupu tepla, avšak je i vyšší solární faktor, tudíž tepelné zisky z oslunění zde větší tepelnou ztrátou ve výsledné potřebě energie na vytápění kompenzují.

Při použití stavebních konstrukcí druhého typu a oken prvního či třetího typu bylo zjištěno, že závislost potřeb energie na vytápění na rostoucím procentu zasklení domu již není lineární, avšak buď klesající, nebo dokonce proměnná s hodnotou minima na určitém procentu zasklení. To je patrné z grafu na Obr. 38. Obecně se tedy dá říci, že pokud v domě nebude realizované chlazení a obálka domu bude mít horší tepelně-izolační vlastnosti, ale okna s dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi a nižším solárním faktorem, vyplatí se zvýšit procento zasklení obálky domu na 30 až 40 %, přičemž tepelné solární zisky zde budou neoptimálnější a dům bude vykazovat v celkovém pohledu nejnižší potřebu energie na vytápění.



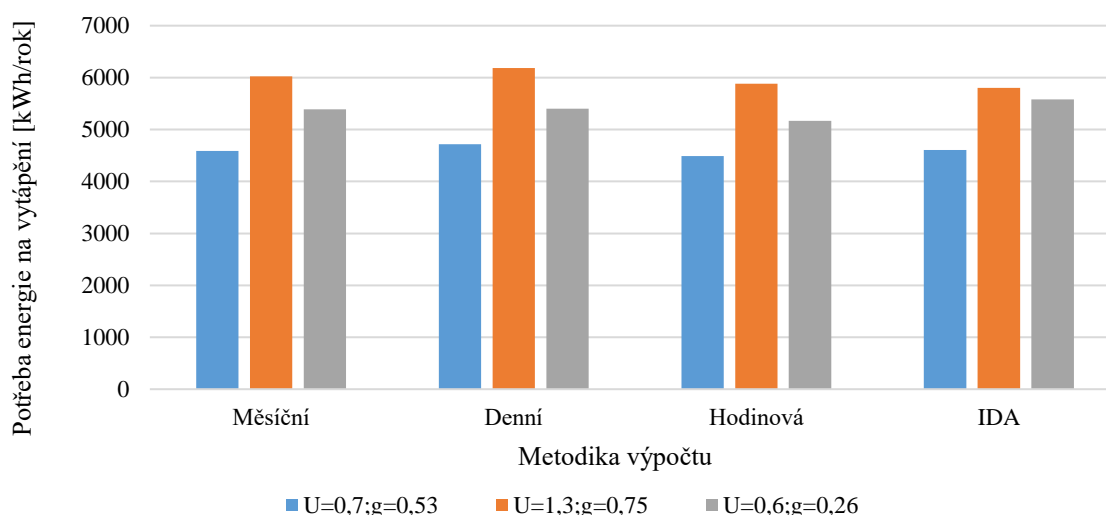
Obr. 38 Potřeby energie na vytápění rodinných domů se stavebními konstrukcemi druhého typu

Dále proběhlo posouzení vhodnosti a přesnosti výpočetních metod potřeby energie na vytápění lišících se v délce časového kroku. Měsíční metoda tohoto výpočtu, s kterou uvažuje norma ČSN EN ISO 52016-1, byla rozšířena na metodu denní a hodinovou. Následně proběhlo srovnání hodnot vypočtených těmito metodami s hodnotami získanými ze simulací v programu IDA Indoor Climate and Energy, které byly uvažovány jako nominální. Program IDA ICE počítá s hodinovým krokem, a tudíž s hodinovými klimatickými daty, konkrétně se jedná o teploty a hodnoty solárního záření. Teploty byly tedy přepočteny na denní a následně na měsíční.



Obr. 39 Porovnání denních a měsíčních teplot

V grafu na Obr. 39 je vidět průběh denních a měsíčních teplot v rámci celého roku. Dochází zde k výskytu velkých výkyvů denních teplot od křivky s těmi měsíčními, avšak v kapitole 10 bylo zjištěno, že se měsíční hodnoty pohybují kolem středních hodnot denních teplot. Je zde tedy předpoklad dobré shody, ačkoliv by denní metoda výpočtu potřeb energie na vytápění měla zajistit vyšší přesnost právě z důvodu těchto výkyvů teplot v daném měsíci. V diplomové práci nedošlo k prokázání výrazných rozdílů hodnot potřeb energie na vytápění vypočtených metodou denní či měsíční. Rozdíly těchto hodnot pro všechny tři typy zvolených oken jsou k vidění například v grafu na Obr. 40, kde se nachází potřeba energie na vytápění rodinného domu č. 4.



Obr. 40 Potřeba energie na vytápění rodinného domu č. 4

Zde bylo tedy dosaženo závěru, že měsíční krok výpočtu se zdá být podle výše zjištěných a následně porovnaných hodnot dostačujícím časovým krokem a není nutné se zabývat podrobnějším, tedy denním či hodinovým výpočtem potřeb energie na vytápění.

Použití vhodných klimatických dat (teplot a hodnot solárního záření) hraje ve výpočtech energetické náročnosti domu velkou roli. Častý problém, který se však objevuje, je stanovení těchto klimatických dat pro konkrétní lokaci budovy. Při výpočtech se tedy mohou objevovat chyby způsobené nevhodně zvolenými klimatickými daty. Tyto chyby mohou poté být až v rámci desítek procent. Ačkoliv v posledních letech dochází ke stále masivnějšímu zateplování budov, čímž jsou hodnoty potřeb energie na vytápění velice nízké, lze říci, že každá nepřesnost v zadání okrajových podmínek značně mění hodnotu potřeb energie na vytápění a chlazení.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ZYCH, Lukáš. *Náklady na vytápění u rodinných domů*. Praha, 2018. Bakalářská práce. ČVUT, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí. Vedoucí práce Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.
- [2] *Prostup tepla stavební konstrukcí: Součinitel prostupu tepla*. TZB-info [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla>
- [3] VAVŘIČKA, Roman. *01 – Výpočet tepelných ztrát* [online]. 21.12.2019 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/001_Tepelne_ztraty_New_2019.pdf
- [4] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [5] *Window Technologies: Glazing Types – Double Low-E Glazing* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: https://www.efficientwindows.org/gtypes_2lowe.php
- [6] ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [7] *Rekuperační jednotky Venus Comfort a Venus Ready HRV nové generace. Multi-VAC* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <http://www.multivac.cz/produkty/rekuperacni-jednotky-venus>
- [8] ČSN EN ISO 52016-1. *Energetická náročnost budov – Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony – Část 1: Výpočtové postupy*. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [9] ČSN EN ISO 13790. *Energetická náročnost budov – Výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení*. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [10] VAVŘIČKA, Roman. *02 – Výpočet potřeby tepla a paliva* [online]. 28.3.2017 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/002_Potreba_tepla.pdf

- [11] *Stavební fyzika – Energie 2019*. [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/energie/>
- [12] *IDA Indoor Climate and Energy* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/IDA_Indoor_Climate_and_Energy
- [13] MATUŠKA, Tomáš. *Hodnocení energetické náročnosti z pohledu primární energie* [online]. 2015 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/10/ZZT-P10_primarni_energie_CZT.pdf
- [14] *Energetická náročnost budov – definice. TZB-info* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/239-energeticka-narocnost-budov-definice-pojmu>
- [15] *Neobnovitelná primární energie. TZB-info* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapani/16491-neobnovitelna-primarni-energie>
- [16] ČESKO. *Vyhláška č. 78/2013 Sb. ze dne 22. března 2013 o energetické náročnosti budov*. Dostupná také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78>
- [17] LITSCHMANN, Tomáš a Jan BROTON. *Vliv různých způsobů stanovení denní průměrné teploty vzduchu na hodnotu teplotní sumy* [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <http://www.amet.cz/TEPLSUMY.pdf>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Rodinný dům č. 1.....	- 13 -
Obr. 2 Půdorys rodinného domu č. 1.....	- 14 -
Obr. 3 Rodinný dům č. 2.....	- 15 -
Obr. 4 Půdorys přízemí rodinného domu č. 2.....	- 15 -
Obr. 5 Půdorys prvního patra rodinného domu č. 2.....	- 16 -
Obr. 6 Rodinný dům č. 3.....	- 16 -
Obr. 7 Půdorys přízemí rodinného domu č. 3.....	- 17 -
Obr. 8 Půdorys prvního patra rodinného domu č. 3.....	- 17 -
Obr. 9 Rodinný dům č. 4.....	- 18 -
Obr. 10 Půdorys přízemí rodinného domu č. 4.....	- 19 -
Obr. 11 Půdorys prvního patra rodinného domu č. 4.....	- 19 -
Obr. 12 Výstřižek z programu Energie 2019.....	- 39 -
Obr. 13 Výstřižek z programu IDA ICE.....	- 40 -
Obr. 14 Tepelné ztráty rodinného domu č. 4 se stavebními konstrukcemi typu 1	- 42 -
Obr. 15 Graf srovnání tepelných ztrát rodinných domů verze 1	- 43 -
Obr. 16 Graf srovnání potřeb energie na vytápění domů verze 1	- 44 -
Obr. 17 Graf srovnání potřeb energie na vytápění 4. rodinného domu	- 45 -
Obr. 18 Graf srovnání potřeb energie na vytápění domů verze 2.....	- 45 -
Obr. 19 Graf srovnání potřeb energie na vytápění domu č. 4 verze 2	- 46 -
Obr. 20 Graf srovnání potřeb energie na vytápění domu č. 3 verze 2	- 46 -
Obr. 21 Graf srovnání potřeb energie na chlazení domů verze 1	- 47 -
Obr. 22 Potřeby energie na chlazení RD4	- 48 -
Obr. 23 Porovnání denních a měsíčních teplot	- 51 -
Obr. 24 Průběh denních a měsíčních teplot za měsíc říjen.....	- 52 -
Obr. 25 Průběh denních a měsíčních teplot za měsíc březen.....	- 52 -
Obr. 26 Potřeba energie na vytápění RD1	- 53 -
Obr. 27 Potřeba energie na vytápění RD2	- 53 -
Obr. 28 Potřeba energie na vytápění RD3	- 54 -
Obr. 29 Potřeba energie na vytápění RD4	- 54 -
Obr. 30 Potřeba energie na vytápění RD4 $U=0,7;g=0,53$	- 55 -
Obr. 31 Potřeba energie na vytápění RD4 $U=1,3;g=0,75$	- 56 -
Obr. 32 Řetězec výroby energie	- 57 -

Obr. 33 Spotřeba primární neobnovitelné energie domu č. 4 verze 1	- 59 -
Obr. 34 Spotřeba primární neobnovitelné energie domu č. 4 verze 2	- 60 -
Obr. 35 Spotřeba primární neobnovitelné energie domu č. 3 verze 2	- 60 -
Obr. 36 Tepelné ztráty rodinných domů se stavebními konstrukcemi prvního typu. -	62 -
Obr. 37 Potřeby energie na chlazení rodinného domu č. 4.....	- 63 -
Obr. 38 Potřeby energie na vytápění rodinných domů se stavebními konstrukcemi druhého typu	- 64 -
Obr. 39 Porovnání denních a měsíčních teplot	- 65 -
Obr. 40 Potřeba energie na vytápění rodinného domu č. 4.....	- 66 -

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Požadované hodnoty součinitelů tepla.....	- 22 -
Tabulka 2 Složení vnější stěny typu 1	- 22 -
Tabulka 3 Složení vnější stěny typu 2	- 22 -
Tabulka 4 Složení vnitřních stěn rodinných domů	- 23 -
Tabulka 5 Složení stropu pro rodinné domy.....	- 23 -
Tabulka 6 Složení podlahové konstrukce typu 1	- 24 -
Tabulka 7 Složení podlahové konstrukce typu 2	- 24 -
Tabulka 8 Složení střešní konstrukce typu 1	- 24 -
Tabulka 9 Složení střešní konstrukce typu 2	- 25 -
Tabulka 10 Tabulka B.1 - Přírážka na vliv tepelných vazeb [6]	- 27 -
Tabulka 11 Celkové solární záření za měsíc [10].....	- 35 -
Tabulka 12 Součinitele prostupu tepla použitých typů stavebních konstrukcí.....	- 41 -
Tabulka 13 Součinitele prostupu tepla a solární faktory použitých typů oken.....	- 41 -
Tabulka 14 Srovnání potřeb energie na chlazení pro RD4 s okny prvního typu.....	- 48 -
Tabulka 15 Hodnoty potřeb energie na vytápění pro různé výpočtové metody	- 49 -
Tabulka 16 Hodnoty solárního záření a měsíčních teplot IWEC	- 50 -
Tabulka 17 Hodnoty faktoru primární energie pro hodnocenou budovu [16].....	- 58 -

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Tepelné ztráty RD1 v1

Příloha 2 – Tepelné ztráty RD2 v1

Příloha 3 – Tepelné ztráty RD3 v1

Příloha 4 – Tepelné ztráty RD1 v2

Příloha 5 – Tepelné ztráty RD2 v2

Příloha 6 – Tepelné ztráty RD3 v2

Příloha 7 – Tepelné ztráty RD4 v2

Příloha 8 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD1 v1

Příloha 9 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD1 v2

Příloha 10 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD2 v1

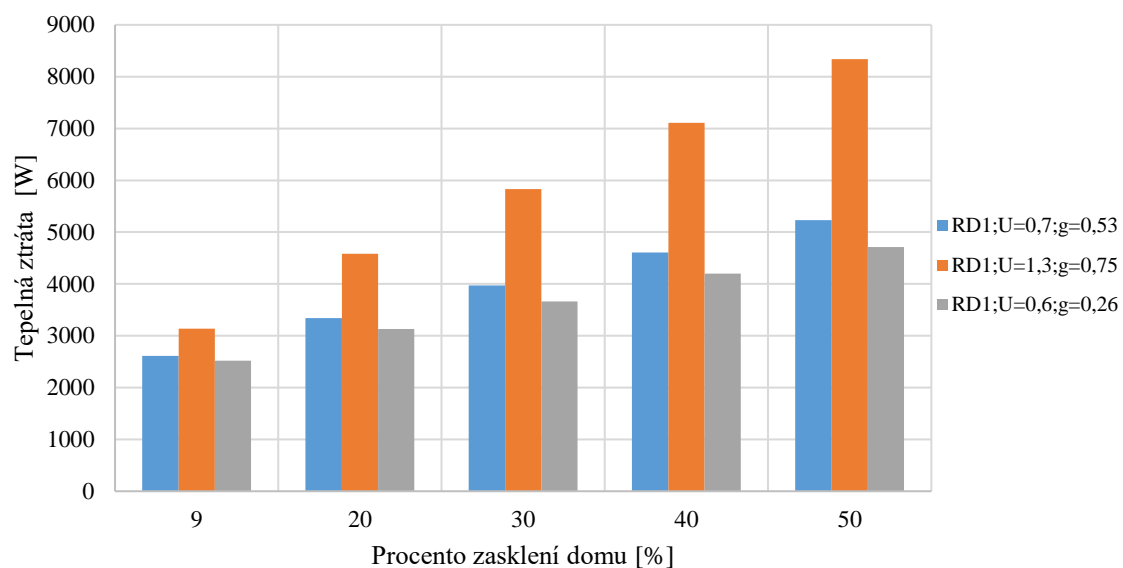
Příloha 11 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD2 v2

Příloha 12 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD3 v1

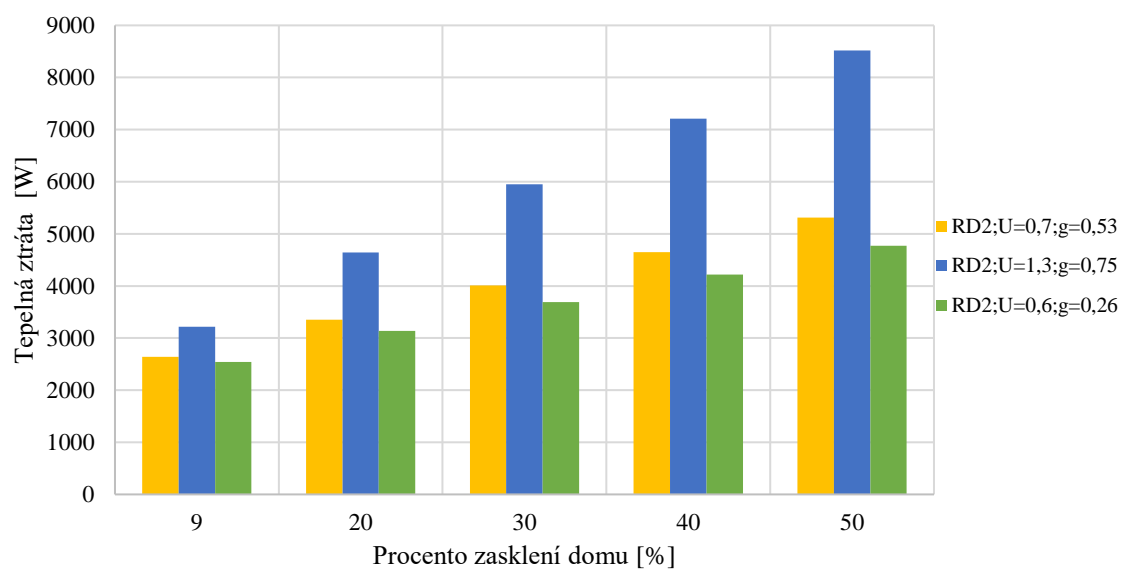
Příloha 13 – Schéma zapojení tepelného čerpadla Buderus WPLS 8.2 v RD4 (Projekt II.)

Příloha 14 – Půdorys VZT + klimatizace v RD4 (Projekt III.)

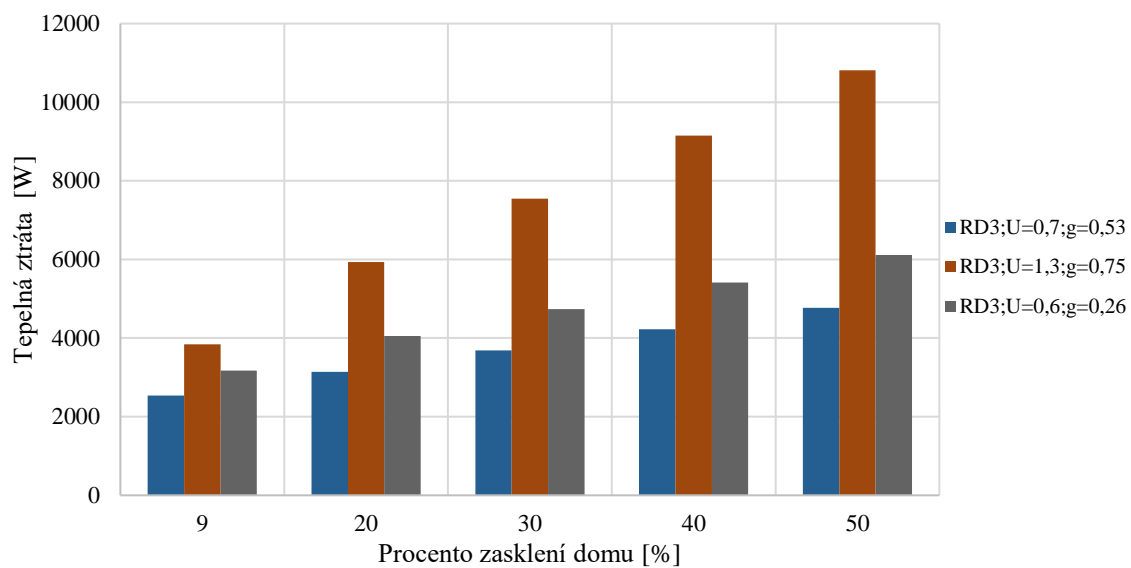
Příloha 1 – Tepelné ztráty RD1 v1



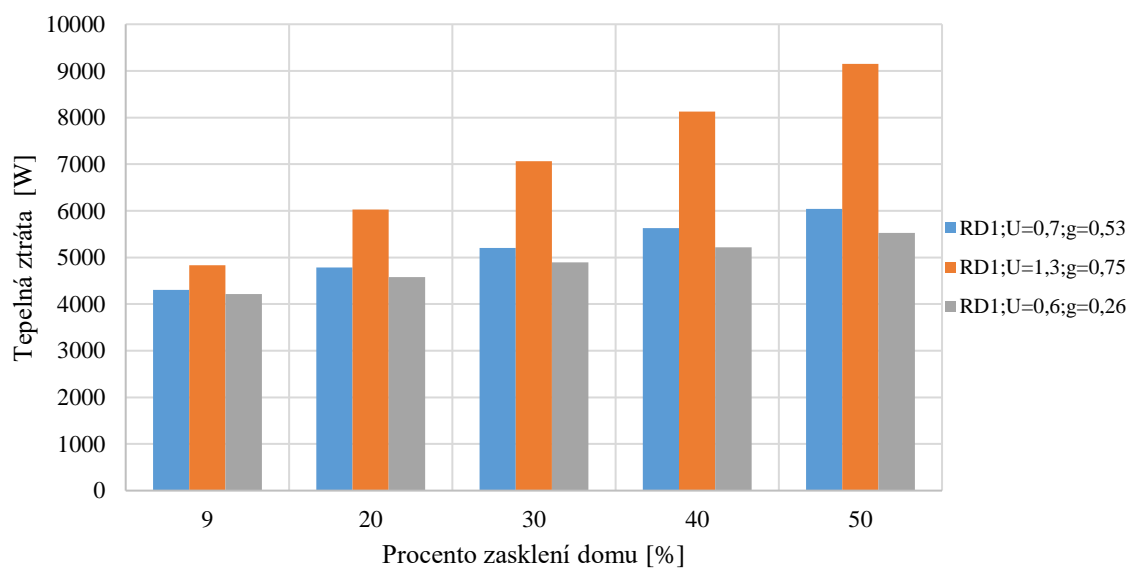
Příloha 2 – Tepelné ztráty RD2 v1



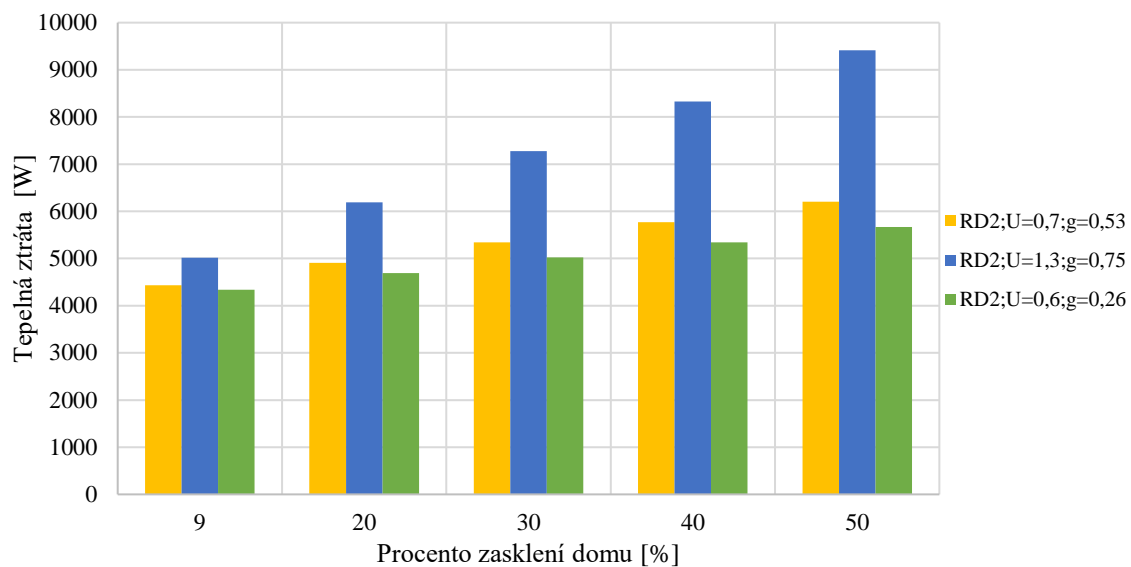
Příloha 3 – Tepelné ztráty RD3 v1



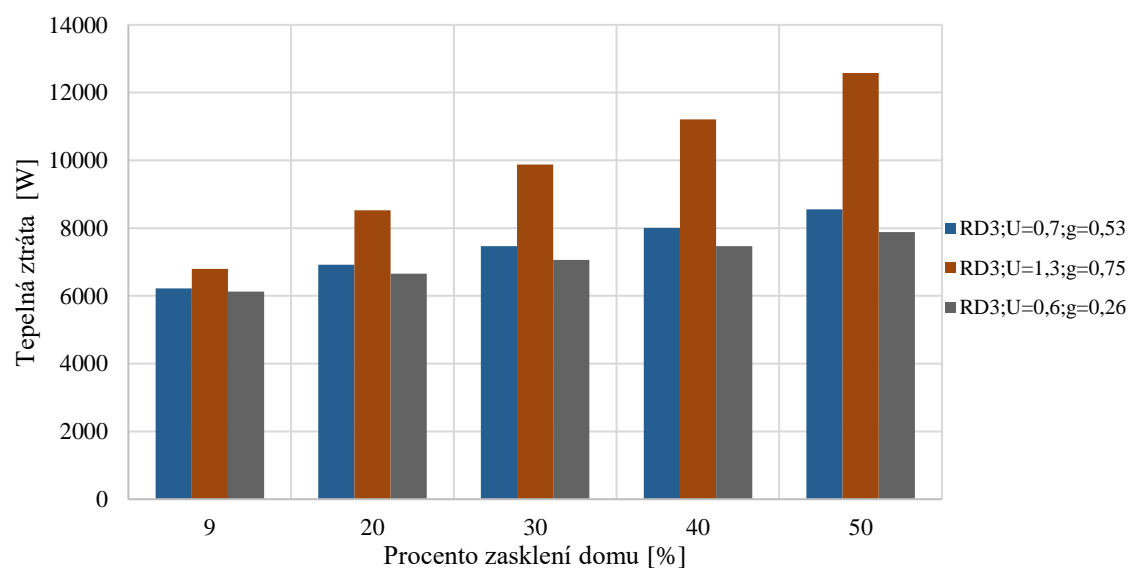
Příloha 4 – Tepelné ztráty RD1 v2



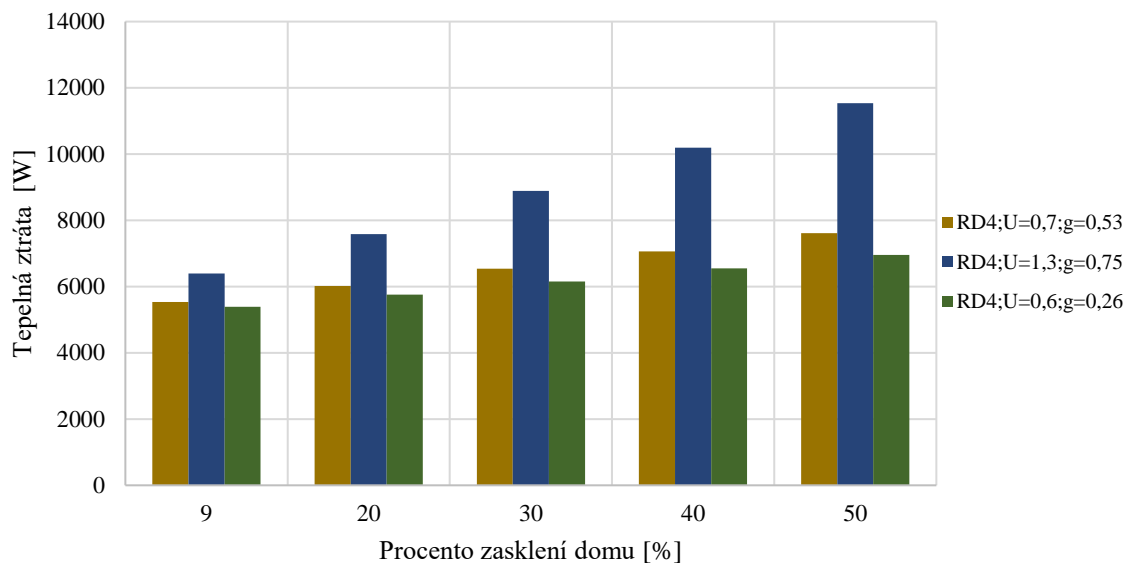
Příloha 5 – Tepelné ztráty RD2 v2



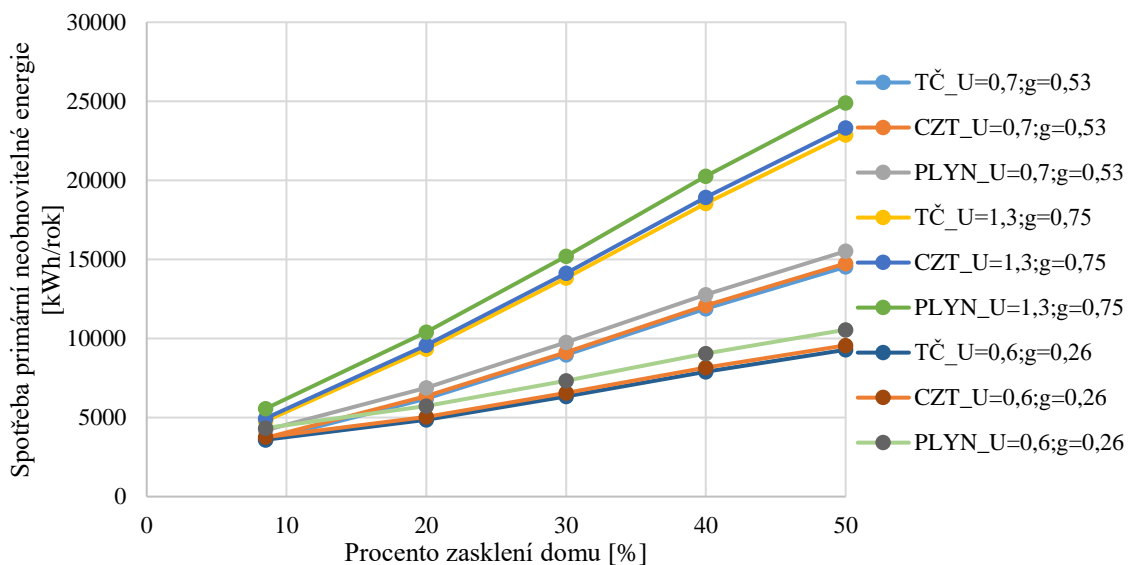
Příloha 6 – Tepelné ztráty RD3 v2



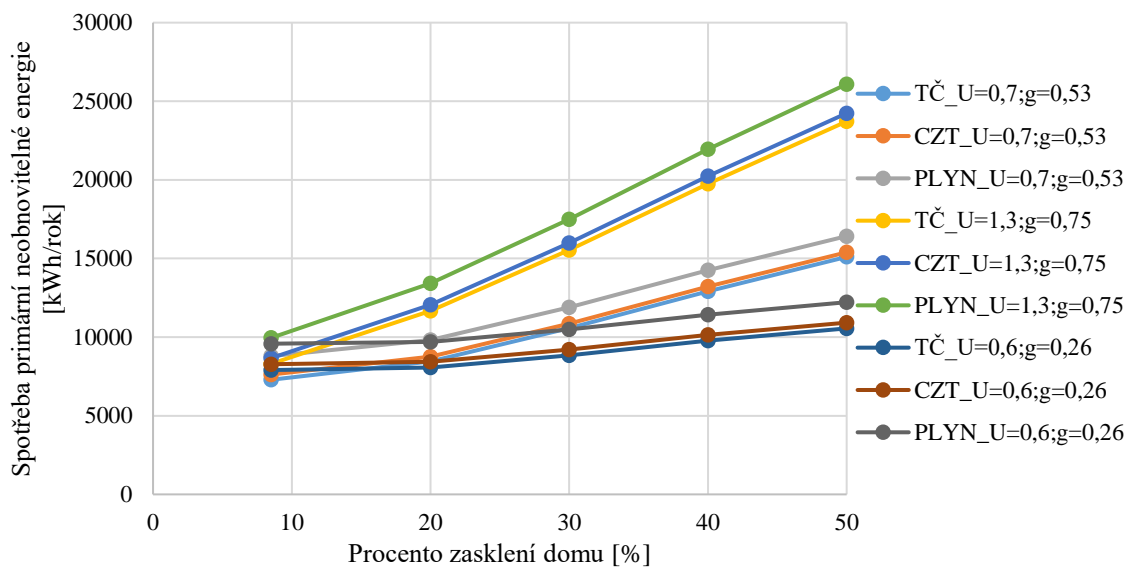
Příloha 7 – Tepelné ztráty RD4 v2



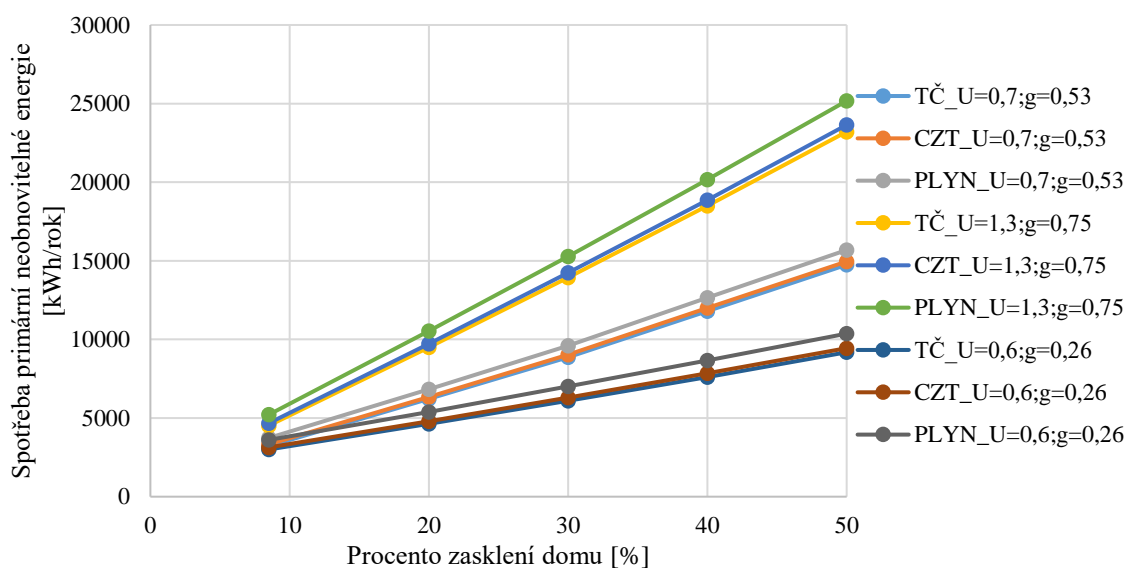
Příloha 8 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD1 v1



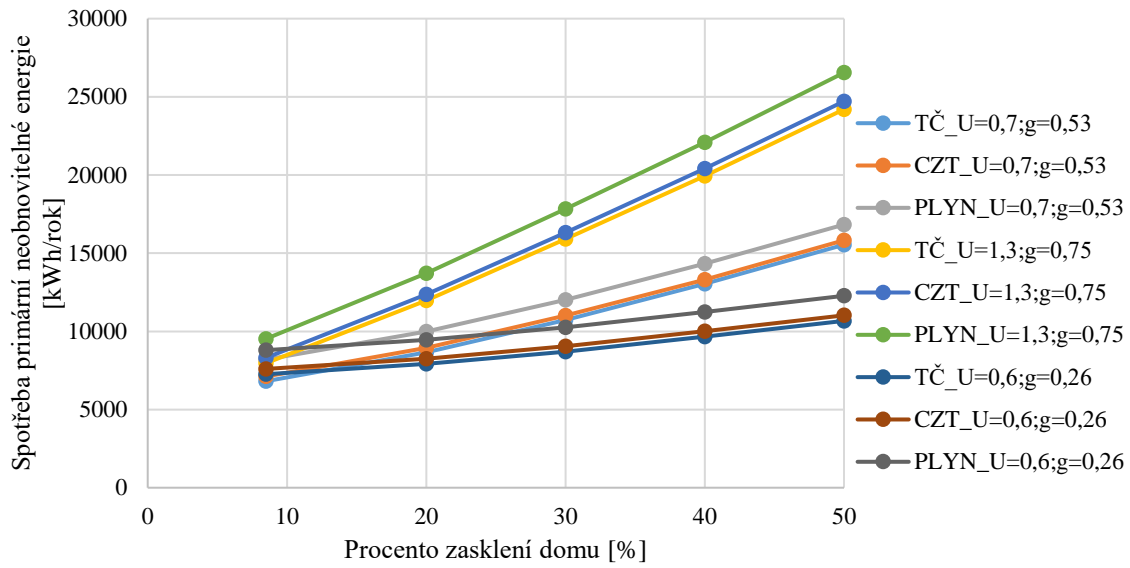
Příloha 9 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD1 v2



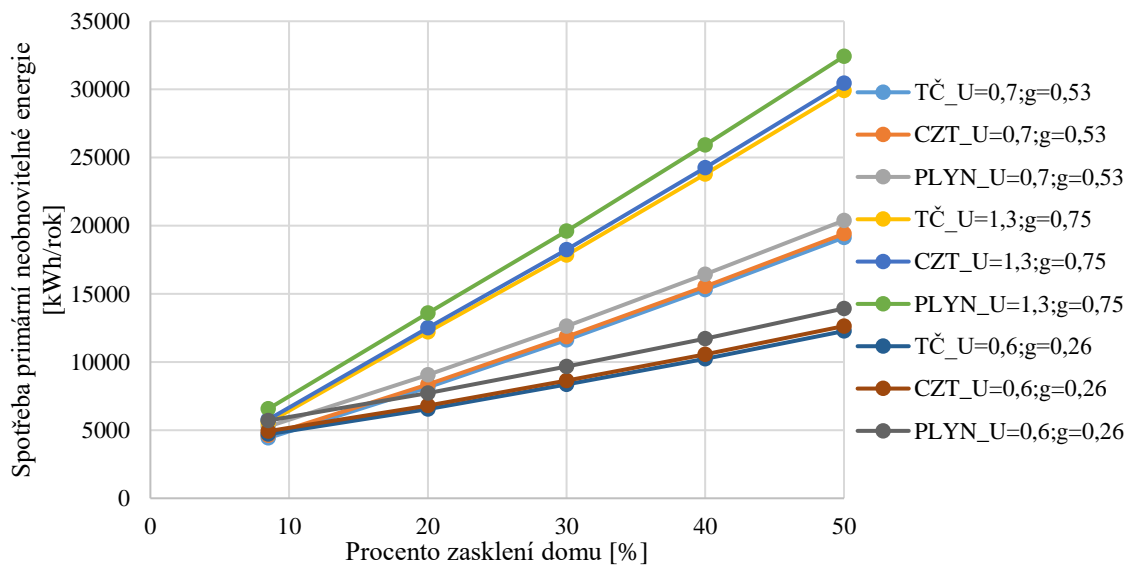
Příloha 10 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD2 v1



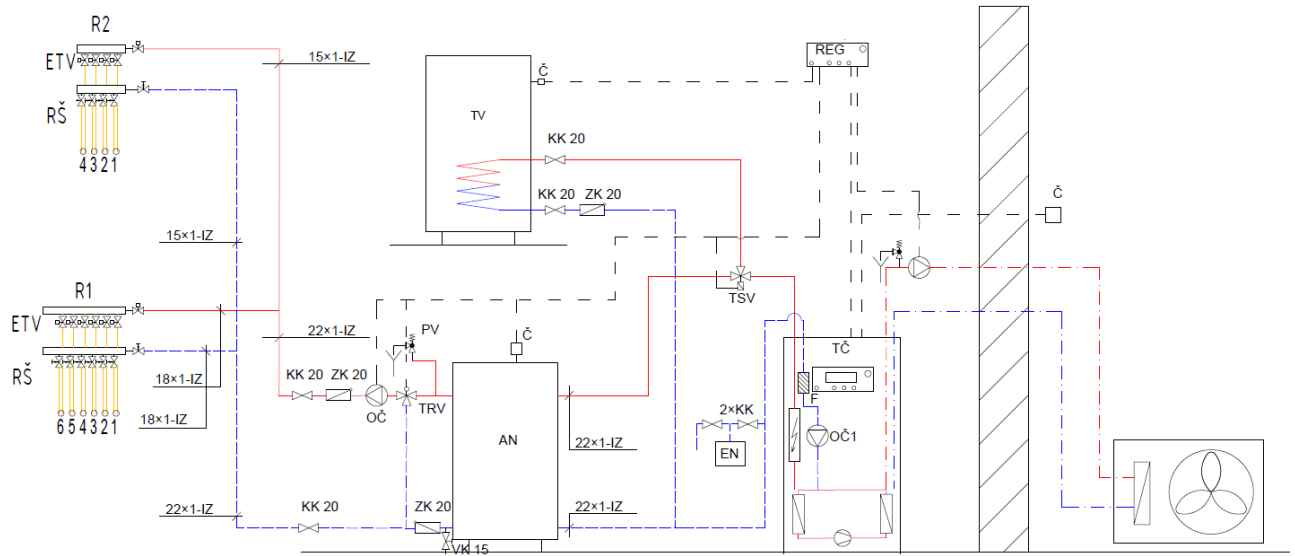
Příloha 11 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD2 v2



Příloha 12 – Spotřeba primární neobnovitelné energie RD3 v1



Příloha 13 – Schéma zapojení tepelného čerpadla Buderus WPLS 8.2 v RD4 (Projekt II.)



LEGENDA ZAŘÍZENÍ

R1	ROZDĚLOVAČ A SBĚRAČ PRO 6 OKRUHŮ
RŠ	REGULAČNÍ ŠROUBENÍ IVAR.DD 305
ETV	ELEKTROTHERMICKÁ HLAVICE IVAR.VD 2101
R2	ROZDĚLOVAČ A SBĚRAČ PRO 4 OKRUHY
TČ	TEPELNÉ ČERPADLO BUDERUS LOGATHERM WPLS 8.2
AN	AKUMULAČNÍ NÁDRŽ REGULUS LOGALUX P120.5 (120l)
TV	ZÁSOBNÍK TEPLÉ VODY LOGALUX SU 200.5 (200l)
EN	EXPANZNÍ NÁDOBA HS012
Č	TEPLOTNÍ ČIDLO

LEGENDA ARMATUR

F	FILTR (SOUČÁST TČ)
VK	VYPOUŠTĚCÍ VENTIL
ZK	ZPĚTNÁ KLAPKA
OČ	OBĚHOVÉ ČERPADLO OTOPNÉHO OKRUHU ALPHA2 L 20-40 150
PV	POJISTNÝ VENTIL HONEYWELL SM 120
TSV	TROJCESTNÝ SMĚŠOVACÍ VENTIL VRG232 SE SERVOPOHONEM ARA643
TRV	TROJCESTNÝ REGULAČNÍ VENTIL SBI31.20

Příloha 14 – Půdorys VZT + klimatizace v RD4 (Projekt III.)

