

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra konstrukcí pozemních staveb



**Analýza měřených údajů z
pasivního rodinného domu**

Analysis of measured data in a passive family house

Diplomová práce

Bc. Marcela Friedrichová

Praha 2017

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Kopecký, PhD.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Friedrichová Jméno: Marcela Osobní číslo: 396522
Zadávací katedra: Katedra konstrukcí pozemních staveb K124
Studijní program: Budovy a prostředí
Studijní obor: Konstrukce staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Analýza měřených údajů z pasivního rodinného domu

Název diplomové práce anglicky: Analysis of measured data in a passive family house

Pokyny pro vypracování:

Diplomová práce bude obsahovat tyto dílčí kroky:

1) Popisná statistika měřených údajů. Jedná se o základní statistické vyhodnocení měřených veličin, například teplot, relativních vlhkostí, spotřeb energie, provoz technických systémů budov (zejména tepelného čerpadla). V tomto kroku bude vyhodnocena i kvalita vnitřního prostředí. 2) Porovnání výpočtené hodnoty potřeby tepla na vytápění s měřenými údaji. Chceme zjistit, zda vypočtená (předpokládaná) hodnota odpovídá měřené spotřebě tepla na vytápění. 3) Hledání závislostí mezi měřenými veličinami. Jedná se o hledání závislosti spotřeb tepla na vytápění či elektrické energie na venkovních klimatických podmínkách.

Seznam doporučené literatury:

-

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Pavel Kopecký Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 7.10.2016 Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2016

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího kateary

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

7. 10. 2016

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny v seznamu citované literatury.

Nemám námitek proti použití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze 6. ledna 2017

.....
Bc. Marcela Friedrichová

Poděkování

Ráda bych poděkovala Ing. Pavlu Kopeckému, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a věcné rady při zpracování této práce. Rovněž patří dík mé rodině, přátelům a partnerovi za jejich podporu při práci a samotném studiu.

Anotace

Diplomová práce se zabývá analýzou měřených údajů z let 2014 a 2015 z rodinného pasivního domu v Koberovech. V práci je nejdříve představen analyzovaný objekt a jeho konstrukční i technické řešení. Druhá část se věnuje popisné statistice měřených dat (teplot, relativních vlhkostí a spotřeb energie), hodnocení kvality vnitřního prostředí a analýze provozu tepelného čerpadla země-voda. Poslední část práce se zaměřuje na výpočet potřeby tepla na vytápění podle normových postupů, porovnání vypočtených hodnot s měřenou spotřebou tepla na vytápění a na ověření skutečné tepelně-izolační kvality obálky budovy pomocí zjištění reálného celkového měrného tepelného toku na základě měřených údajů.

Klíčová slova

pasivní dům v Koberovech, analýza měřených údajů, popisná statistika, spotřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody, kvalita vnitřního prostředí, tepelné čerpadlo, měrný tepelný tok, skutečná tepelně - izolační kvalita obálky budovy

Abstract

The master's thesis deals with the analysis of measured data for the years 2014 and 2015 from the family passive house in Koberovy. The work first presents the analyzed object and its structural and technical solutions. The next part is devoted to descriptive statistics of measured data (temperature, relative humidity and energy consumption), evaluation of indoor environmental quality and the analysis of the heat pump ground-water operation. The last part is focused on the calculation of heating needs according to standardized methods, comparing the calculated values with the measured heating consumption and for verification of real thermal insulation quality of building enclosure by ascertaining the real heat transfer coefficient based on measured data.

Keywords

passive house in Koberovy, analysis of measured data, descriptive statistics, energy consumption for heating and domestic hot water, indoor environmental quality, heat pump, heat transfer coefficient, real thermal insulation quality of building enclosure

Značení použitých veličin a jejich jednotky

symbol	popis	jednotka
A	plocha	m ²
A _{f,ext}	vnější podlahová plocha	m ²
A _{f,int}	vnitřní podlahová plocha	m ²
a _s	teplotní vodivost zeminy	m ² /s
A _{s,j}	účinná solární sběrná plocha transparentního prvku s j-tou orientací	m ²
A _w	plocha okna ze stavebních rozměrů	m ²
b	činitel teplotní redukce	-
c	měrná tepelná kapacita	J/(kg·K)
c _a	měrná tepelná kapacita vzduchu	J/(kg·K)
c _m	účinná vnitřní tepelná kapacita zóny	J/K
e	součinitel větrné expozice	-
E _A	měrná roční potřeba tepla na vytápění	kWh/(m ² a)
elo_cerp	měřená elektrická energie - čerpadlo	kWh
elo_Izt	měřená elektrická energie - zásobník tepla IZT	kWh
elo_main	měřená elektrická energie - celková na patě domu	kWh
elo_TC	měřená elektrická energie - tepelné čerpadlo země-voda	kWh
elo_vzt	měřená elektrická energie - VZT jednotka	kWh
F _C	korekční činitel clonění	-
F _F	korekční činitel rámu	-
F _f	dílčí činitel stínění bočními žebry	-
F _h	dílčí činitel stínění horizontem	-
F _o	dílčí činitel stínění markýzou	-
f _{os}	časový podíl přítomnosti osob	-
f _{osv}	časový podíl osvětlení	-
F _S	korekční činitel stínění	-
f _{spotř}	časový podíl využívání spotřebičů	-
F _w	korekční činitel úhlu dopadu	-
G	produkce vodní páry v interiéru	kg/s
g	celková energetická propustnost zasklení při normálovém dopadu slunečních paprsků	-
H	celkový měrný tepelný tok	W/K
H _j	měsíční dávka ozáření na j-tou orientaci	kWh/m ²
H _T	měrný tepelný tok prostupem	W/K
H _V	měrný tepelný tok větráním	W/K
K1	měřené teplo vyrobené solárními termickými kolektory	kWh
K2	měřené teplo odebrané VZT jednotkou a otopnými žebříky	kWh
K5	měřená energie chlazení	kWh
K6	měřené teplo vyrobené krbem a předané do zásobníku	kWh

K7	měřené teplo na ohřev kohoutkové vody	kWh
K8	měřené teplo na ohřev vody do pračky a myčky	kWh
n_{50}	neprůvzdušnost obálky budovy při tlakovém rozdílu 50 Pa	h^{-1}
n_c	intenzita cirkulace vzduchu	h^{-1}
n_{os}	počet uživatelů v budově	-
n_v	intenzita větrání	h^{-1}
occup	součinitel průměrné obsazenosti	-
ozareni	měřená intenzita slunečního záření dopadající na vodorovnou rovinu	W/m^2
ozáření _{prum,den}	průměrná denní intenzita slunečního záření	W/m^2
P	elektrická energie potřebná pro pohon tepelného čerpadla (příkon TČ)	kWh
Q_g	celkové tepelné zisky	kWh
Q_{int}	celkové vnitřní tepelné zisky	kWh
$Q_{int}(\text{osoby})$	vnitřní tepelné zisky od osob	kWh
$Q_{int}(\text{osvětlení})$	vnitřní tepelné zisky od osvětlení	kWh
$Q_{int}(\text{spotřebiče})$	vnitřní tepelné zisky od spotřebičů	kWh
$q_{int,os}$	měrný výkon vnitřních zisků od osob	W/os
$q_{int,osv}$	měrný výkon vnitřních zisků od osvětlení	W/m^2
$q_{int,spotř}$	měrný výkon vnitřních zisků od spotřebičů	W/m^2
Q_l	celkové tepelné ztráty	kWh
Q_{nd}	potřeba tepla na vytápění	kWh
Q_{sol}	celkové solární tepelné zisky	kWh
Q_T	celkové tepelné ztráty prostupem	kWh
Q_V	celkové tepelné ztráty větráním	kWh
RH	relativní vlhkost vzduchu	%
RH_{ae}	relativní vlhkost venkovního vzduchu	%
RH_{ae}	měřená relativní vlhkost vzduchu v exteriéru	%
$RH_{ae,prum,mesic}$	průměrná měsíční relativní vlhkost venkovního vzduchu	%
RH_{ai}	relativní vlhkost vnitřního vzduchu	%
RH_{ai}	měřená relativní vlhkost vzduchu v interiéru	%
$RH_{ai}(\text{ZZV})$	relativní vlhkost vnitřního vzduchu při využití zpětného získávání vlhkosti	%
$RH_{ai,den,max}$	maximální denní relativní vlhkost vnitřního vzduchu	%
$RH_{ai,den,min}$	minimální denní relativní vlhkost vnitřního vzduchu	%
R_v	plynová konstanta pro vodní páru	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
t	délka kroku výpočtu	h
$T_{07\text{cm}}$	měřená teplota zeminy v hloubce 7 cm (mimo zemní výměník)	$^{\circ}\text{C}$
$T_{27\text{cm}}$	měřená teplota zeminy v hloubce 27 cm (mimo zemní výměník)	$^{\circ}\text{C}$

$T_{55\text{cm}}$	měřená teplota zeminy v hloubce 55 cm (mimo zemní výměník)	$^{\circ}\text{C}$
$T_{80\text{cm}}$	měřená teplota zeminy v hloubce 80 cm (mimo zemní výměník)	$^{\circ}\text{C}$
T_{ae}	teplota venkovního vzduchu	$^{\circ}\text{C}$
T_{ae}	měřená teplota vzduchu v exteriéru	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{ae,prum,den}}$	průměrná denní teplota venkovního vzduchu	$^{\circ}\text{C}$
T_{ai}	teplota vnitřního vzduchu	$^{\circ}\text{C}$
T_{ai}	měřená teplota vzduchu v interiéru	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{ai,den,prum}}$	průměrná denní teplota vnitřního vzduchu	$^{\circ}\text{C}$
T_{max}	maximální teplota	$^{\circ}\text{C}$
T_{min}	minimální teplota	$^{\circ}\text{C}$
$t_{\text{p,max}}$	maximální operativní teplota	$^{\circ}\text{C}$
$t_{\text{p,min}}$	minimální operativní teplota	$^{\circ}\text{C}$
T_{prim1}	měřená teplota solanky na vstupu do TČ	$^{\circ}\text{C}$
T_{prim2}	měřená teplota solanky na výstupu z TČ	$^{\circ}\text{C}$
U	součinitel prostupu tepla	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
U_{w}	součinitel prostupu tepla okna	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
V_{a}	objemový tok větracího vzduchu	m^3/s
v_{a}	rychlost proudění vzduchu	m/s
\dot{V}_{a}	průměrný objemový tok větracího vzduchu ve vytápěné zóně	m^3/h
V_{a}	objem vzduchu ve vytápěné zóně	m^3
$\dot{V}_{\text{a,d}}$	návrhový objemový tok vzduchu	m^3/h
V_{ext}	obestavěný objem zóny	m^3
V_{int}	objem vzduchu v zóně	m^3
V_{os}	potřeba čerstvého vzduchu	$\text{m}^3/(\text{os}\cdot\text{h})$
$V_{\text{TV,rok}}$	roční předpokládaná spotřeba teplé vody	m^3
\dot{V}_{x}	přídavný tok vzduchu	m^3/h
$xT1 - xT9$	měřené teploty zeminy na vstupu, výstupu a uprostřed zemního výměníku	$^{\circ}\text{C}$
α	konstanta pro výpočet klouzavé střední teploty venkovního vzduchu	-
ΔT	teplotní spád	K
ΔU_{tb}	přirážka součinitele prostupu tepla vlivem tepelných vazeb	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
$\Delta \rho_{\text{v}}$	přirážka k hustotě vodní páry vlivem provozu	kg/m^3
η_{g}	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	-
η_{g}	faktor využitelnosti tepelných zisků	-
η_{ZZT}	účinnost zpětného získávání tepla	%
η_{ZZV}	účinnost zpětného získávání vlhkosti	%
θ	teplota	$^{\circ}\text{C}$
ϑ_{e}	průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu	$^{\circ}\text{C}$

ϑ_{ed-1}	denní střední teplota venkovního vzduchu pro předchozí den	°C
ϑ_i	výpočtová vnitřní teplota vzduchu vytápěné zóny	°C
$\vartheta_{i,max}$	maximální operativní teplota	°C
$\vartheta_{i,min}$	minimální operativní teplota	°C
$\vartheta_{r,m}$	klouzavá střední teplota venkovního vzduchu	°C
ϑ_{rm-1}	klouzavá střední teplota venkovního vzduchu pro předchozí den	°C
λ	tepelná vodivost	W/(m·K)
ρ	objemová hmotnost	kg/m ³
ρ_a	objemová hmotnost vzduchu	kg/m ³
ρ_v	hustota vodní páry	g/m ³
$\rho_{v,sat}$	hustota nasycení vodní páry	g/m ³
ρ_{ve}	hustota vodní páry venkovního vzduchu	g/m ³
$\rho_{ve,out}$	hustota vodní páry venkovního vzduchu přiváděného do interiéru	g/m ³
$\rho_{ve,prum,den}$	průměrná denní hustota vodní páry venkovního vzduchu	g/m ³
$\rho_{ve,prum,mesic}$	průměrná měsíční hustota vodní páry venkovního vzduchu	g/m ³
ρ_{vi}	hustota vodní páry vnitřního vzduchu	g/m ³
$\rho_{vi,prum,den}$	průměrná denní hustota vodní páry vnitřního vzduchu	g/m ³
$\rho_{vi,prum,mesic}$	průměrná měsíční hustota vodní páry vnitřního vzduchu	g/m ³
τ	časová konstanta vytápěné zóny	h
Υ	poměr tepelných zisků a ztrát v daném měsíci	-
ϕ	tepelná energie dodaná tepelným čerpadlem do zásobníku	kWh
ϕ_{den}	průměrná denní spotřeba energie	kWh
φ_e	relativní vlhkost venkovního vzduchu	%
φ_i	relativní vlhkost vnitřního vzduchu	%

Seznam použitých zkratk

COP	topný faktor tepelného čerpadla
PMV	předpokládaná střední volba (predicted mean vote)
PPD	předpokládané procento nespokojených (predicted percentage of dissatisfied)
RD	rodinný dům
TČ	tepelné čerpadlo
TV	teplá voda
VZT jednotka	vzduchotechnická jednotka
ZZT	zpětné získávání tepla
ZZV	zpětné získávání vlhkosti

Obsah

1	Úvod.....	3
2	Rodinný pasivní dům v Koberovech	4
2.1	Architektonicko – stavební řešení	4
2.2	Konstrukční řešení.....	6
2.3	Technické řešení.....	7
2.3.1	Rekuperační jednotka Duplex RB.....	8
2.3.2	Tepelné čerpadlo země – voda Atrea TCA 3.1.....	9
2.4	Měřené údaje.....	11
3	Popisná statistika měřených údajů	13
3.1	Exteriérové podmínky	13
3.1.1	Teplota vzduchu.....	13
3.1.2	Relativní vlhkost vzduchu	16
3.1.3	Intenzita slunečního záření.....	17
3.2	Interiérové podmínky	19
3.2.1	Teplota vzduchu v interiéru	19
3.2.1.1	Výsledky měřených dat.....	20
3.2.1.2	Diskuze nad výsledky	25
3.2.2	Relativní vlhkost vzduchu v interiéru.....	27
3.2.2.1	Výsledky měřených dat.....	28
3.2.2.2	Diskuze nad výsledky	38
3.3	Kvalita vnitřního prostředí (tepelně-vlhkostní mikroklima)	40
3.3.1	Vliv teploty a relativní vlhkosti na kvalitu vnitřního prostředí.....	43
3.3.2	Hodnocení vnitřního prostředí dle ČSN EN 15251.....	45
3.4	Spotřeby energií	48
3.4.1	Spotřeba energie na vytápění.....	48
3.4.2	Spotřeba energie na ohřev TV	52
3.4.2.1	Předpokládána spotřeba.....	52
3.4.2.2	Skutečná spotřeba	54
3.4.3	Spotřeba elektrické energie.....	56
3.4.3.1	Vzduchotechnická jednotka	58
3.4.3.2	Tepelné čerpadlo země-voda.....	60
3.4.3.3	Oběhové čerpadlo (solární okruh)	61
3.4.3.4	Osvětlení, drobné el. spotřebiče a neměřená oběhová čerpadla.....	62
3.5	Technická zařízení budovy - tepelné čerpadlo země-voda.....	65
3.5.1	Topný faktor tepelného čerpadla	65
3.5.2	Teplotní režim zeminy	67

3.5.2.1	Měřené teploty zeminy mimo výměník	67
3.5.2.2	Měřené teploty zeminy v okolí zemního výměníku	68
3.5.3	Teploty solanky na primárním okruhu	69
4	Potřeba tepla na vytápění	71
4.1	Popis výpočtu	71
4.2	Popis vstupních parametrů	76
4.2.1	Systémová hranice budovy	76
4.2.2	Konstrukce na systémové hranici vytápěného prostoru	77
4.2.3	Vstupní parametry – vnitřní a solární zisky	78
4.2.4	Vstupní parametry - teplota vzduchu v interiéru a exteriéru	81
4.2.5	Vstupní parametry - větrání	82
4.3	Výsledky výpočtu	83
4.3.1	Varianta 1	83
4.3.2	Varianta 2	84
4.3.3	Varianta 3	85
4.3.4	Varianta 4	85
4.3.5	Měřená spotřeba tepla na vytápění	87
4.4	Porovnání vypočtené a skutečné spotřeby tepla na vytápění	88
4.5	Skutečný měrný tepelný tok prostupem a větráním	90
4.5.1	Jednoduchá lineární regrese	91
4.5.2	Bilanční výpočet	95
4.5.3	Porovnání reálných a předpokládaných hodnot tepelných toků	96
5	Závěr	98
5.1	Rekapitulace výsledků	98
5.2	Návrh další činnosti	101
	Seznam použité literatury a zdrojů	102
	Seznam obrázků	104
	Seznam tabulek	105
	Seznam grafů	106

1 Úvod

Počet pasivních domů každým rokem narůstá a zájem veřejnosti o snižování energetické náročnosti budov a využívání obnovitelných zdrojů energie se zvyšuje. Důvodem tohoto trendu je nejen tlak ze strany zvyšujících cen energií a ze strany legislativy (např. ČSN 73 0540, vyhláška č. 78/2013 Sb., směrnice 2010/31/EU), která nárok na novostavby neustále zvyšuje a například od roku 2020 povoluje stavět pouze budovy s téměř nulovou spotřebou energie, ale také možná podpora dotačním programem Nová zelená úsporám, který investici do pasivních domů snižuje a přibližuje je širší veřejnosti. Dalším lákadlem kromě nízkých nákladů na provoz domu je pro budoucí uživatele pasivního domu také vyšší komfort života v podobě stále čerstvého vzduchu, příjemných teplot po celý rok a optimálních hodnot relativní vlhkosti.

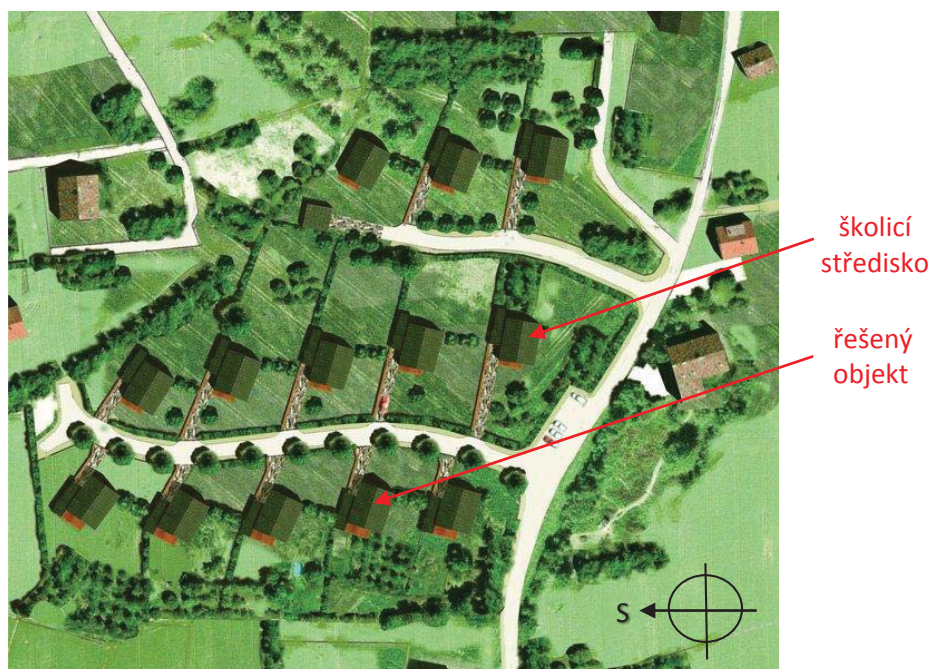
Dosavadní zkušenosti z pasivních domů ukazují, že pro dosažení daných požadavků (měrná potřeba tepla na vytápění u RD $\leq 20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, neprůvzdušnost obálky budovy $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$, celková potřeba primární energie $\leq 60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) a zmíněných výhod vyžadují tyto stavby mnohem větší nároky na projekci i na samotnou realizaci než běžné novostavby. Vystává zde tedy otázka, zda předpokládaný pasivní standard objektů a vyšší komfort uživatelů opravdu odpovídá realitě a není jen pouhým předpokladem vypočteným dle normových postupů?

Odpověď na otázku a poučení z případných chyb je prakticky možné pouze monitoringem stávajících staveb a zpětným vyhodnocením měřených údajů. V rámci této diplomové práce se budu věnovat analýze měřených dat z roku 2014 a 2015 z konkrétního rodinného pasivního domu umístěného v obytném souboru třinácti pasivních domů v Koberovech s **cílem**:

- analyzovat a popsat měřená data a to zejména teploty, relativní vlhkosti a spotřeby energie (vytápění, ohřev TV, elektrické energie)
- vyhodnotit kvalitu vnitřního prostředí (tepelně-vlhkostní mikroklima)
- analyzovat a popsat provoz tepelného čerpadlo země-voda
- porovnat skutečnou spotřebu tepla na vytápění s vypočtenou potřebou tepla na vytápění podle ČSN EN ISO 13790 a ověřit skutečnou kvalitu objektu
- hledat závislosti mezi veličinami – například spotřeby tepla na vytápění nebo elektrické energie na venkovních klimatických podmínkách

2 Rodinný pasivní dům v Koberovech

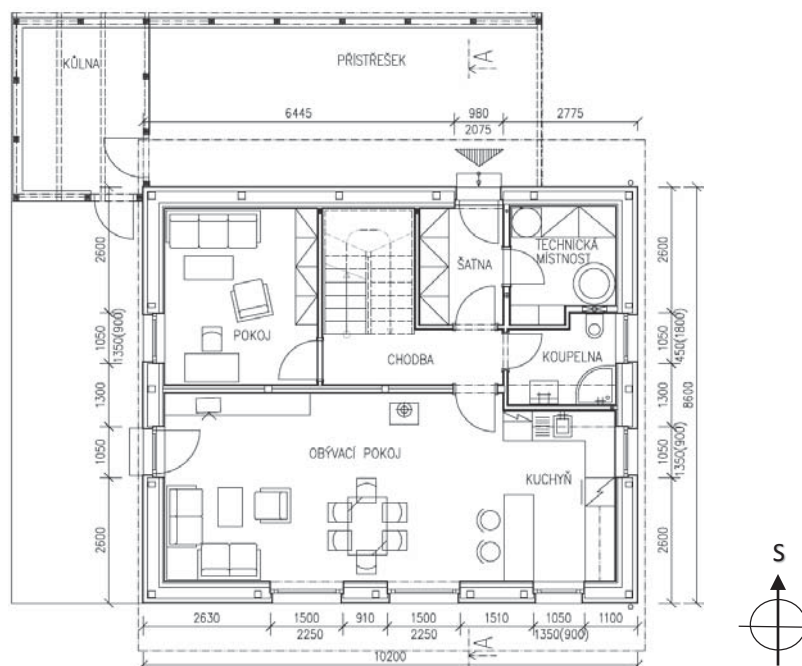
Obytný soubor nízkonákladových pasivních domů dokončený v roce 2007 v intravilánu obce Koberovy představuje první hromadně realizovanou výstavbu na bázi úsporné dřevoskeletové konstrukce v ČR. Součástí komplexu je kromě 11 trvale užívaných rodinných domů jeden vzorový neobydlený dům a školicí středisko postavené ve standardu energeticky nulového domu. Objekty jsou od výstavby dlouhodobě monitorovány a právě měřené údaje z jednoho ze 4 podrobněji monitorovaných domů jsou předmětem této diplomové práce. Pro bližší představu o řešeném objektu a lepší pochopení analyzovaných údajů bude v následujícím textu popsáno architektonicko-stavební, konstrukční a technické řešení budovy.



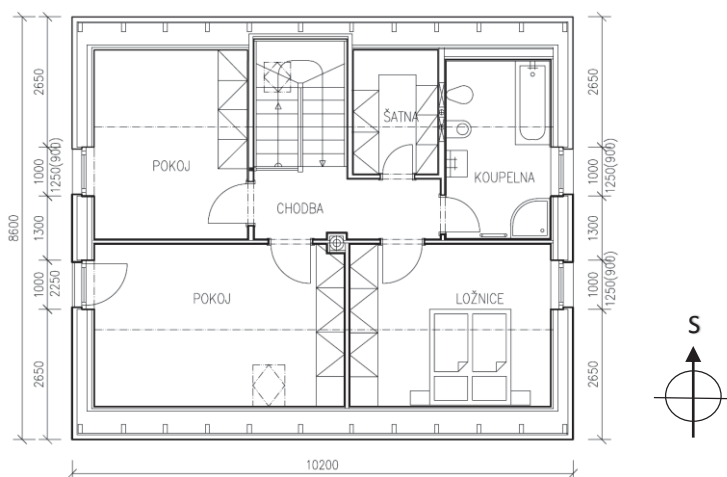
Obrázek 1 - Obytný soubor 13 pasivních domů v Koberovech, situace [1]

2.1 Architektonicko – stavební řešení

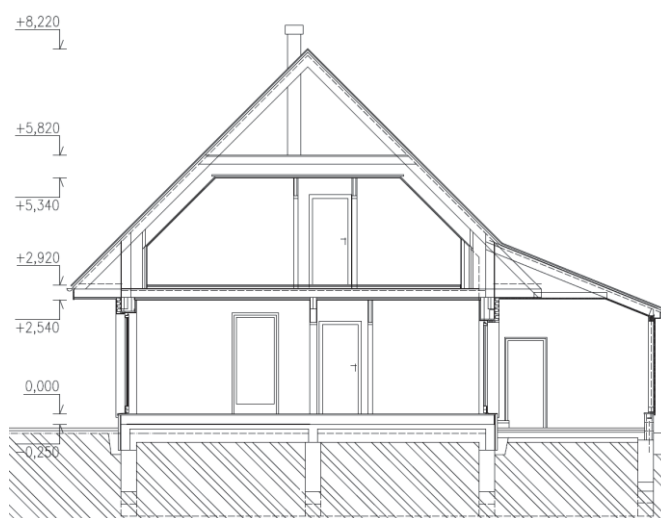
Jedná se o jednopodlažní rodinný dům s využitým podkrovím a sedlovou střechou o půdorysných rozměrech 8,6 x 10,2 m. Dispozičně jsou hlavní obytné prostory objektu orientovány do jižního průčelí s rozsahem prosklení téměř 30 % a s ochranou proti letnímu přehřívání 950mm přesahem střechy. Vstupní, sociální a technické prostory jsou naopak orientovány na sever s minimálním prosklených ploch. Konkrétní dispoziční řešení je patrné z půdorysu 1. a 2. NP na obrázku 2 a 3. Objekt je využíván 3 dospělými osobami (2 pracující, 1 důchodkyně).



Obrázek 2 - Půdorys 1.NP



Obrázek 3 - Půdorys 2.NP



Obrázek 4 - Řez A

2.2 Konstrukční řešení

Konstrukční řešení objektu (kromě základové desky) vychází z úsporného systému dřevěné skeletové konstrukce od firmy Atrea, s.r.o sestaveného přímo na stavbě. Nosnou konstrukci tvoří v přízemí skeletová soustava z dřevěných prvků uložená na základovém prahu, v úrovni střechy pak velkorozponové staveništní vazníky uložené na průvlecích. Díky absenci vnitřních podpor je tak v podkroví vytvořen dispozičně variabilní prostor.



Obrázek 5 - Dřevoskeletová konstrukce RD [2]

Nenosné obvodové stěny objektu ($U \approx 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) jsou sestaveny ze dvou samostatných plášťů se skládanou výplní z minerálních desek ROCKMIN (tloušťka $\approx 300 \text{ mm}$). Vnější plášť je konkrétně řešen pomocí kontaktní termofasády s izolací FASROCK (tloušťka $\approx 100 \text{ mm}$) a vnitřní plášť je tvořen sádrovláknitými deskami FERMACELL na roštu s instalačním prostorem. Mezi vnitřním a vnějším pláštěm je instalována fólie Jutafol N, která tvoří parotěsnou vrstvu obvodových stěn. Střešní plášť ($U=0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) je zateplen stejně jako obvodové stěny minerální tepelnou izolací ROCKMIN na CD lištách podhledu. Zateplení podlahy na terénu ($U=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) tvoří tepelná izolace EPS 200 S o tloušťce 200 mm. Pro okenní výplně ($U_w=0,84 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) jsou použity kvalitní dřevěná okna s trojitým zasklením. [1]



Obrázek 6 – Analyzovaný rodinný pasivní dům v Koberovech [3]

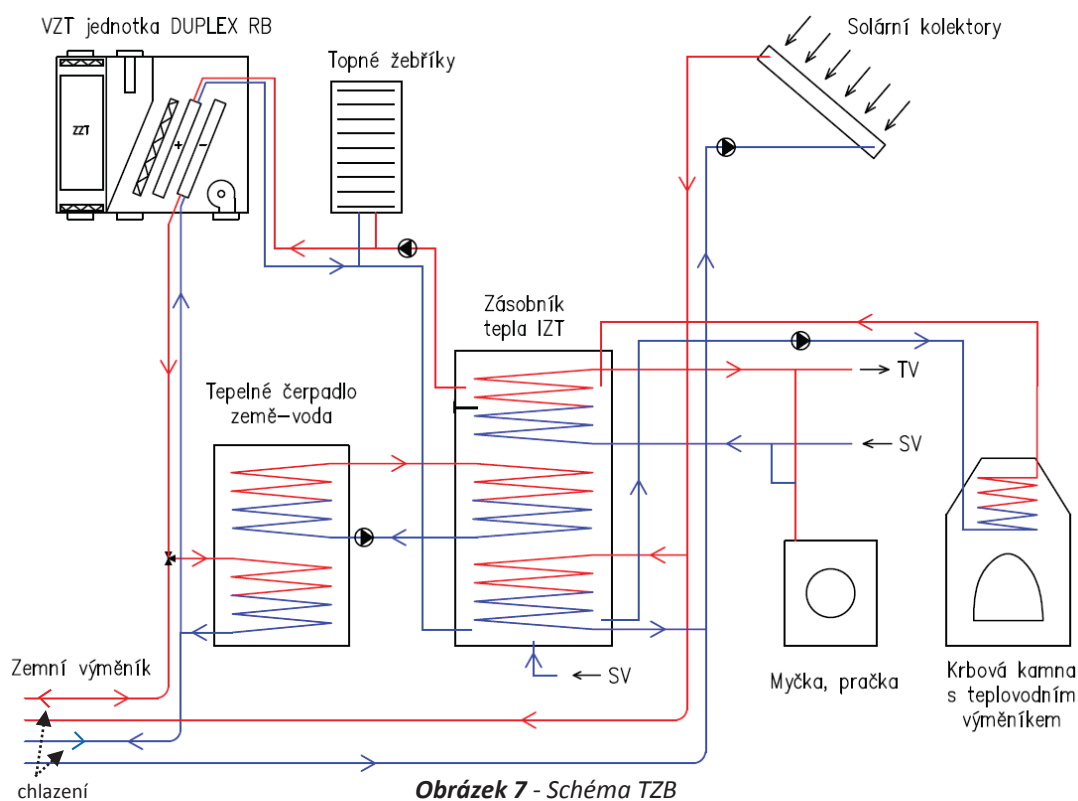
2.3 Technické řešení

Tepelnou pohodu v rodinném domě zajišťuje rekuperační jednotka Duplex RB, pomocí které je objekt teplovzdušně vytápěn, nuceně větrán a chlazen. Pro vytápění objektu je dále využito topných žebříků v koupelnách a krbových kamen osazených v obývacím pokoji.

Zdrojů tepla je v rodinném domě několik a jejich významnost pro ohřev topné vody v akumulčním zásobníku tepla se během roku mění. V otopném období je hlavním zdrojem energie tepelné čerpadlo země-voda Atrea TCA 3.1 s plošným zemním kolektorem, doplňkový zdroj pak tvoří krbová kamna na kusové dřevo s teplovodní vložkou. V letním období jsou naopak nejpodstatnějším zdrojem solární termické kolektory o ploše 6 m² umístěné na střeše objektu s orientací na jih.

Nesoučasnost mezi ziskem a odběrem vyrovnává integrovaný zásobník tepla IZT 915, jež byl spolu s tepelným čerpadlem do objektu v roce 2013 nainstalován. Topná voda, do které je akumulována energie vyrobená jednotlivými zdroji tepla, je využívána pro teplovodní regist větrací jednotky, pro otopné žebříky a pro průtočný ohřev teplé vody k přímé spotřebě a pro pračku a myčku.

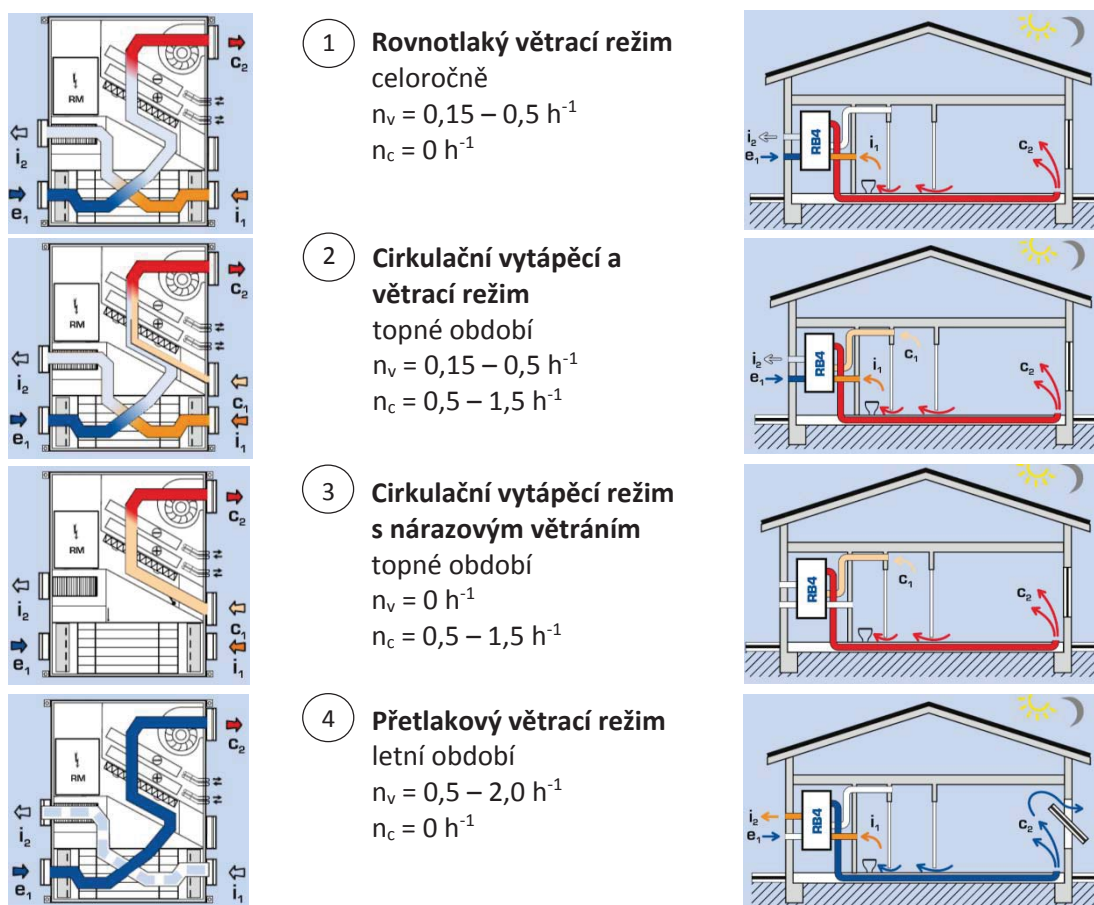
Na obrázku 7 je zobrazeno schéma TZB, z něhož jsou některá důležitá technická zařízení lépe popsána v následujících podkapitolách.



2.3.1 Rekuperační jednotka Duplex RB

Dvouzónová vzduchotechnická jednotka Duplex RB s protiproudým rekuperačním výměníkem (max. účinnost 90 %) zajišťuje v rodinném domě kvalitní mikroklima, tepelnou pohodu a objekt je pomocí ní větrán, vytápěn a chlazen. Jednotka je téměř ve všech objektech napojena na vzduchový zemní výměník obvykle sloužící pro předehřev nebo předchlazení přiváděného vzduchu. V našem analyzovaném domě se tohoto řešení už ovšem nevyužívá, a vzduchový výměník dnes slouží pouze pro spojení (vedení potrubí) primárního okruhu TČ a zde osazených teplotních čidel s technickou místností objektu.

Rekuperační jednotka pracuje během roku v několika režimech, jež jsou kromě chlazení naznačeny v obrázku 8. V zimě je to režim samotné cirkulace, režim větrání nebo režim cirkulace a větrání a to vždy buď bez dohřevu nebo s dohřevem vzduchu (pokud nejsou tepelné ztráty pokryty tepelnými zisky). V létě se jednotka používá především pro odsávání vzduchu z koupelen, WC a kuchyní nebo pro letní chlazení. Chlazení je popsáno v kapitole 2.3.2 a naznačeno v obrázku 9. [2]



c_1 ... vstup cirkulačního vzduchu do jednotky
 e_1 ... vstup čerstvého venkovního vzduchu
 i_2 ... výstup odpadního vzduchu z jednotky

c_2 ... výstup topného, chladícího a čerstvého vzduchu z jednotky
 i_1 ... vstup odpadního vzduchu ze sociálních zařízení do jednotky
 n_v, n_c ... intenzita větrání /cirkulace

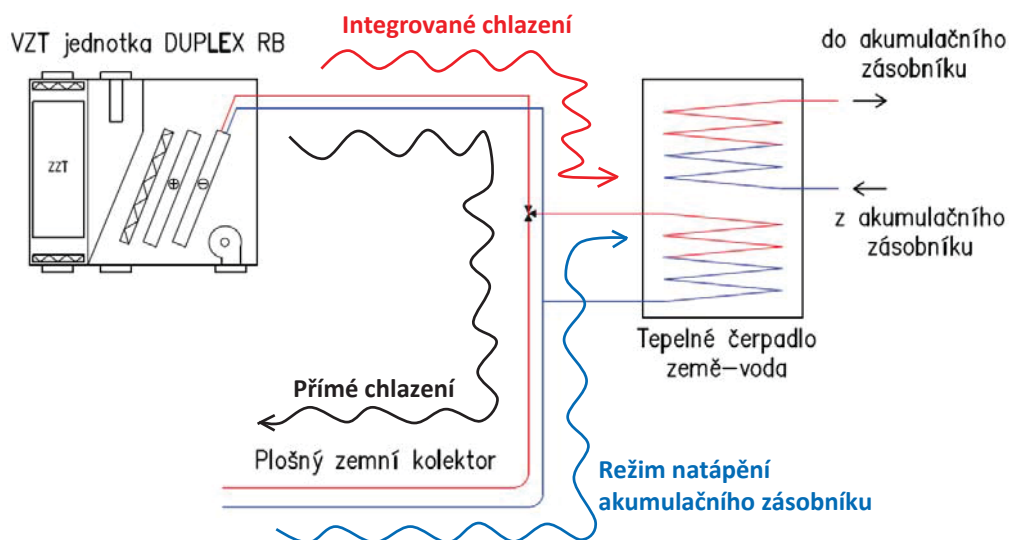
Obrázek 8 – Režimy VZT jednotky Duplex RB [4]

Směs čerstvého a cirkulačního vzduchu je po domě rozváděna pomocí podlahových rozvodů do podokenních podlahových vyústek. Odváděný vzduch je potom skrz bezprahové dveře odváděn do předsíní a potrubím pod stropem zpět do jednotky, kde dochází k jeho filtraci, ohřevu a směšování s čerstvým venkovním vzduchem. Z WC, koupelen a kuchyní je vzduch přímo přepravován do jednotky, kde předává své teplo čerstvému vzduchu a poté je odváděn do exteriéru. [5]

2.3.2 Tepelné čerpadlo země – voda Atrea TCA 3.1

V srpnu 2013 byl do objektu nainstalován další energetický zdroj a to tepelné čerpadlo země-voda Atrea TCA 3.1 o výkonu 3,1 kW s plošným zemním kolektorem ve tvaru slinek. Tento typ TČ byl vyvinut přímo pro pasivní domy s malou tepelnou ztrátou do 2,5 kW a umožňuje **tři režimy provozu** (viz obrázek 9):

- režim natápění akumulčního zásobníku IZT (využití pro vytápění i ohřev TV) - teplo odebrané ze zeminy v okolí kolektoru je předáno TČ a přes kondenzátor přeneseno do topné vody
- režim integrovaného chlazení (využití pro ohřev TV) - teplo odebrané z interiérového vzduchu je předáno TČ a přes kondenzátor přeneseno do topné vody
- režim přímého chlazení - vyřazení TČ a přímé propojení zemního výměníku s chladičem VZT jednotky -> teplo odebrané z interiérového vzduchu předané do země pomáhá k regeneraci zeminy [4]

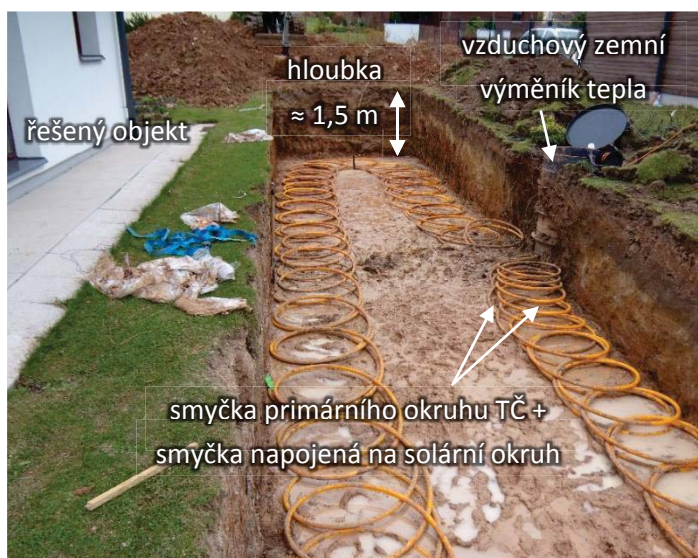


Obrázek 9 – Tři režimy tepelného čerpadla země-voda [4]

Primární okruh TČ je tvořen plošným zemním výměníkem tvaru slinek (smyček) v hloubce cca 150 cm pod úrovní terénu. Výhodou tohoto řešení oproti klasickému zemnímu kolektoru ve tvaru meandru je, že vyžaduje velmi malou plochu na pozemku, naopak nevýhodou je použití většího množství materiálu (hadic) a nemrznoucí směsi. **Sekundární okruh TČ** tvoří topný okruh vedoucí do akumulčního zásobníku IZT.

Ve výkopu je spolu s hadicí primárního okruhu TČ paralelně veden i výměník napojený na solární okruh termických kolektorů umístěných na střeše. Díky němu je možné využít jinak nevyužitou nízkopotenciální solární energii, která se do akumulčního zásobníku z důvodu nižší teploty na solárních panelech nedostává, a tím napomáhat k lepší regeneraci zemního výměníku v otopném období. Obě slinkové instalace jsou s technickou místností propojeny pomocí dříve využívaného vzduchového zemního výměníku.

Pro názornost přibližného umístění zemního plošného kolektoru a jeho fungování je přiložen obrázek 10.



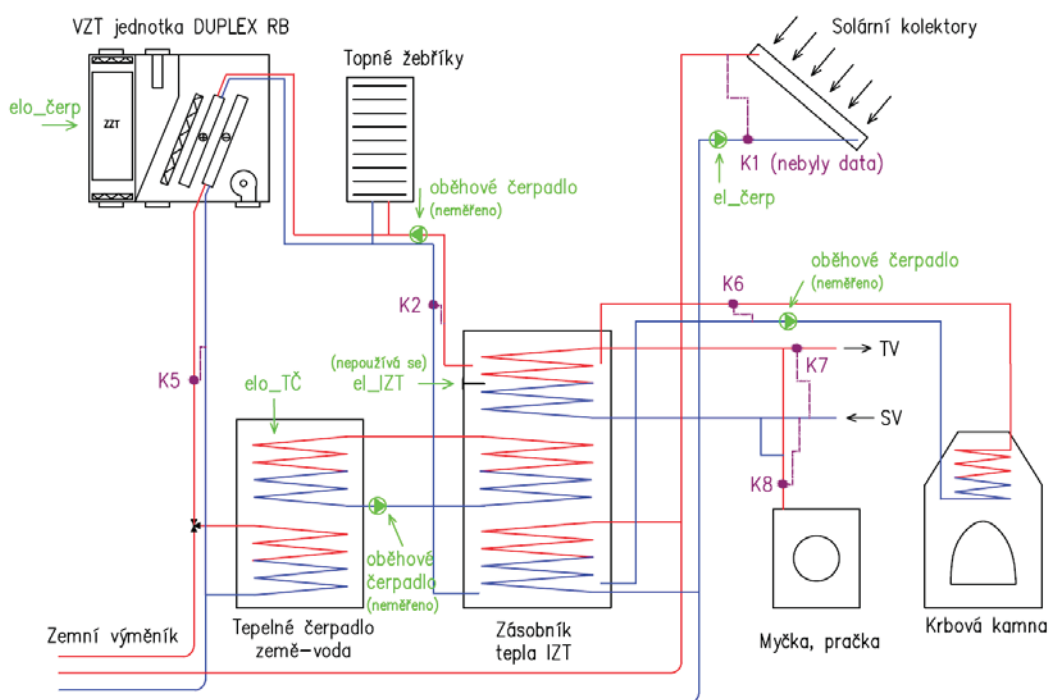
Obrázek 10 - zemní plošný výměník ve tvaru slinek v hloubce 1,5 m (fotka z realizace)

2.4 Měření údajů

Jedním druhem osazených měřidel jsou kalorimetrická počítadla, která slouží k měření **množství dodané nebo odebrané energie** v topných a chladicích systémech na základě vyhodnocení průtoku a teploty média na přívodním a zpětném potrubí podle kalorimetrické rovnice. Konkrétní osazení kalorimetrických počítadel využitých v následujících analýzách je zobrazeno na obrázku 11 pomocí značek K1-K8. Dále jsou v objektu prováděny odečty **elektrické energie** pomocí elektroměrů a to na patě domu, vzduchotechnické jednotce, tepelném čerpadle, zásobníku tepla a na jednom oběhovém čerpadle. Elektrická energie potřebná na osvětlení, drobné spotřebiče a pohon dalších čerpadel není v objektu měřena.

Uvnitř objektu je osazeno čidlo zaznamenávající **teplotu a relativní vlhkost vzduchu v interiéru**, konkrétní umístění je zobrazeno na obrázku 12. Mimo dům je měřena také **teplota a relativní vlhkost v exteriéru** a pomocí pyranometru osazeného na hřebeni střechy je zaznamenáváno **ozáření na vodorovnou rovinu**. Při dodatečné instalaci tepelného čerpadla země – voda byly osazeny také teplotní čidla měřící **teplotu zeminy** (v místě výměníku, i mimo něj) a **teplotu solanky** na vstupu a výstupu z tepelného čerpadla.

Jednotlivé měřené hodnoty jsou předávány v reálném čase pomocí wifi sítě do počítačové ústředny. Všechny měřidla zaznamenávají data po 5 minutách, pouze teplotní čidla měřící teplotu zeminy a solanky jsou zaznamenávány po 15 minutách.



Obrázek 11 - Schéma TZB s osazenými měřicími přístroji

Tabulka 1 – Analyzované měřené veličiny

Měřené veličiny			
Zkratka	Jednotky	Název	
K1	heat_sol	[kWh]	teplo vyrobené solárními termickými kolektory
K2	heat_top	[kWh]	teplo odebrané VZT jednotkou a otopnými žebříky
K5	heat_chlaz	[kWh]	energie na chlazení
K6	heat_krb	[kWh]	teplo vyrobené krbem a předané do zásobníku
K7	heat_tv	[kWh]	teplo na ohřev kohoutkové vody
K8	heat_pracka	[kWh]	teplo na ohřev vody do pračky a myčky
elo_main	[kWh]	elektrická energie - celková na patě domu	
elo_Izt	[kWh]	elektrická energie - zásobník tepla IZT	
elo_cerp	[kWh]	elektrická energie – čerpadlo	
elo_vzt	[kWh]	elektrická energie - VZT jednotka	
elo_TC	[kWh]	elektrická energie - tepelné čerpadlo země-voda	
Tai	[°C]	teplota vzduchu v interiéru	
RHai	[%]	relativní vlhkost vzduchu v interiéru	
Tae	[°C]	teplota vzduchu v exteriéru	
RHae	[%]	relativní vlhkost vzduchu v exteriéru	
ozareni	[W/m ²]	sluneční ozáření dopadající na vodorovnou střešní rovinu	
T_80cm	[°C]	teplota zeminy v hloubce 80 cm (mimo zemní výměník)	
T_55cm	[°C]	teplota zeminy v hloubce 55 cm (mimo zemní výměník)	
T_27cm	[°C]	teplota zeminy v hloubce 27 cm (mimo zemní výměník)	
T_07cm	[°C]	teplota zeminy v hloubce 07 cm (mimo zemní výměník)	
xT1 – xT9	[°C]	teplota země na vstupu, výstupu a uprostřed zemního výměníku – 30 cm pod, v úrovni a 30 cm nad výměníkem	
Tprim1	[°C]	teplota solanky na vstupu do TČ	
Tprim2	[°C]	teplota solanky na výstupu z TČ	

3 Popisná statistika měřených údajů

Tato kapitola je věnována popisné statistice měřených údajů (exteriérovým a interiérovým podmínkám a spotřebám energie), hodnocení kvality vnitřního prostředí a analýze provozu tepelného čerpadla.

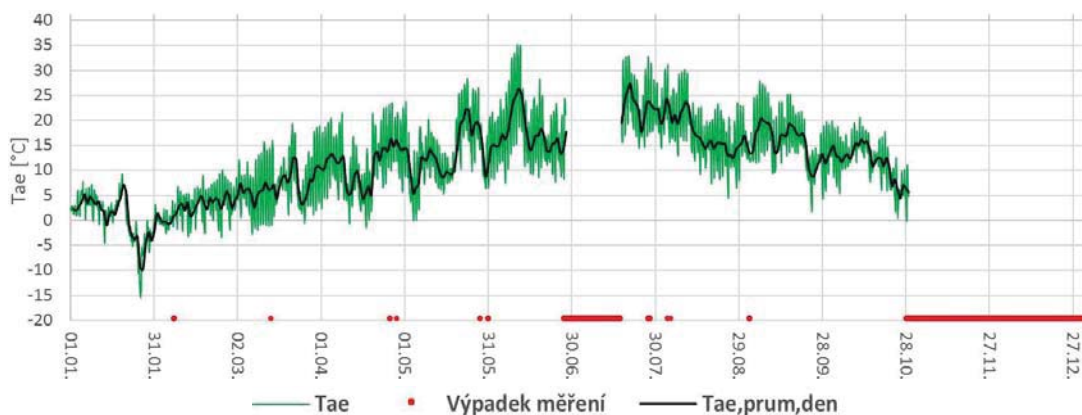
Pro lepší popis jednotlivých výsledků bylo nutné kalendářní rok rozdělit na 2 období - otopné a letní, protože hodnoty měřených veličin jsou v těchto obdobích často rozdílné. Otopné období je pro následující analýzy definováno podle zdroje [6] od ½ září do ½ května (242 topných dní). Pro detailnější popis výsledků je občas využíváno termínu přechodné období, což je část otopného období (není definováno přesné rozmezí), kdy se venkovní teplota už pohybuje ve vyšších hodnotách (např. denní teploty nad 15 °C) a v objektu ve skutečnosti není potřeba moc topit.

3.1 Exteriérové podmínky

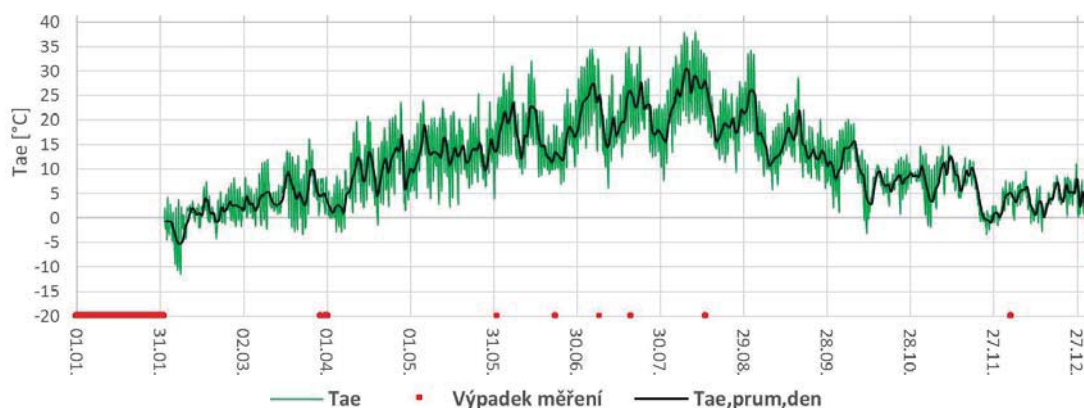
V následujících podkapitolách jsou popsány a zobrazeny klimatické podmínky v obci Koberovy (431 m. n. m), které velkou měrou ovlivňují nespočet jiných veličin, jako např. vnitřní klima, spotřeby energie, apod. Mezi ty nejzákladnější venkovní parametry patří teplota, relativní vlhkost vzduchu a sluneční ozáření.

3.1.1 Teplota vzduchu

V grafech 1 a 2 je zobrazen roční průběh venkovní teploty vzduchu (T_{ae}) včetně průměrných denních hodnot ($T_{ae,prum,den}$) let 2014 a 2015. Na první pohled nejsou vidět žádné markantní rozdíly mezi měřenými roky, pouze extrémy jsou viditelně odlišné. V zimě roku 2014 klesla venkovní teplota velmi nízko a to na -15,4 °C (26. 1. ve 4:00), zatímco v roce následujícím pouze na -11,5 °C (7. 2. v 6:15). Oproti tomu letní maximální teploty dosahovaly poměrně vysokých hodnot, v roce 2014 byla naměřena nejvyšší teplota 35,2 °C (10. 6. v 11:30) a v roce 2015 dokonce až 37,9 °C (11. 8. v 12:05).

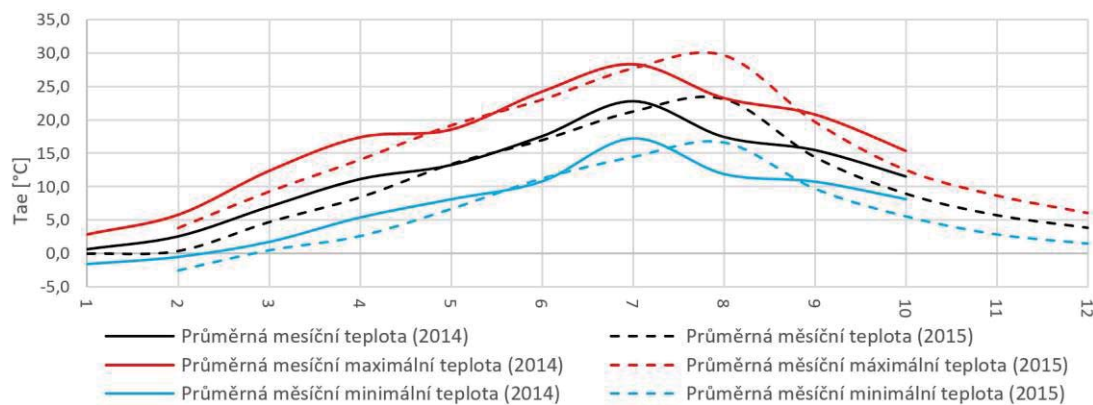


Graf 1 - Průběh teploty vzduchu v exteriéru (rok 2014)



Graf 2 - Průběh teploty vzduchu v exteriéru (rok 2015)

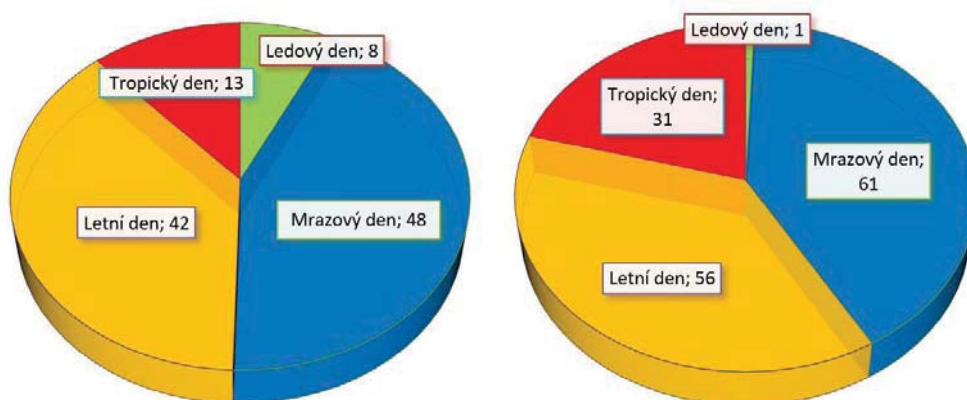
Grafy 3, 4 a 5 umožňují lepší porovnání venkovních teplot během měřených let a jednotlivých měsíců pomocí průměrných měsíčních hodnot a počtu určitým způsobem předdefinovaných dní (arktických, ledových, mrazových, letních, tropických). V lednu roku 2014 byla sice naměřena nejnižší teplota a 8 ledových dní (viz graf 5), ovšem zbytek otopného období byl dle grafu 3 v porovnání s rokem 2015 viditelně teplejší. To je patrné i z grafu 5, kdy bylo v roce 2015 naměřeno více mrazových dní. Naopak letní průměrné teploty dosahovaly dle grafu 3 zhruba podobných hodnot pouze s tím rozdílem, že v roce 2015 byl počet letních i tropických dní značně vyšší a nejteplejší období nastalo zhruba o měsíc později než v roce předchozím.



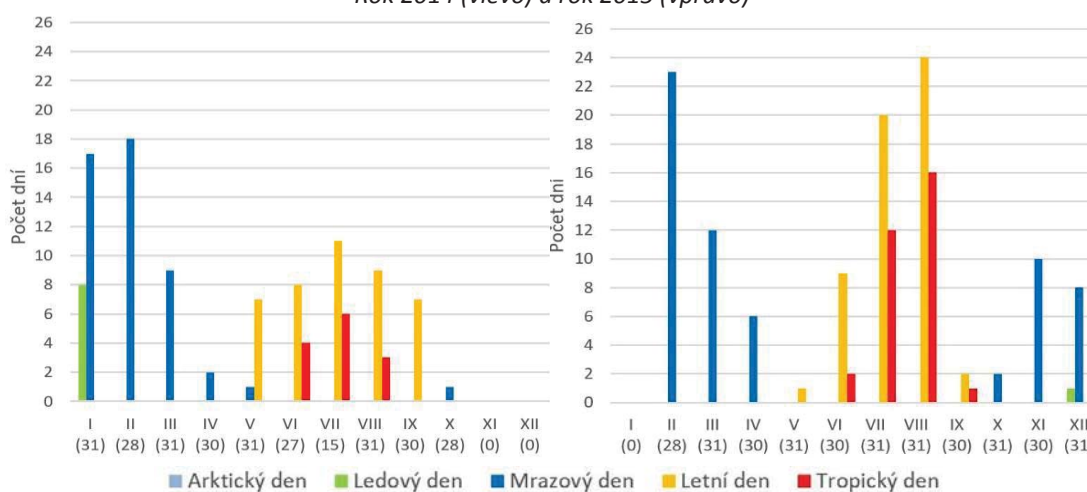
Graf 3 – Průběh průměrné měsíční, maximální a minimální teploty vzduchu v exteriéru porovnání let 2014 a 2015

Tabulka 2 - Definice meteorologických termínů

Název	Definice
Arktický den	Den, kdy teplota nestoupne nad -10 °C ($T_{\max} < -10\text{ °C}$)
Ledový den	Den, kdy teplota nestoupne nad 0 °C ($T_{\max} < 0\text{ °C}$)
Mrazový den	Den, kdy teplota klesne pod 0 °C ($T_{\min} < 0\text{ °C}$)
Letní den	Den, kdy teplota vystoupí nad 25 °C ($T_{\max} > 25\text{ °C}$)
Tropický den	Den, kdy teplota vystoupí nad 30 °C ($T_{\max} > 30\text{ °C}$)



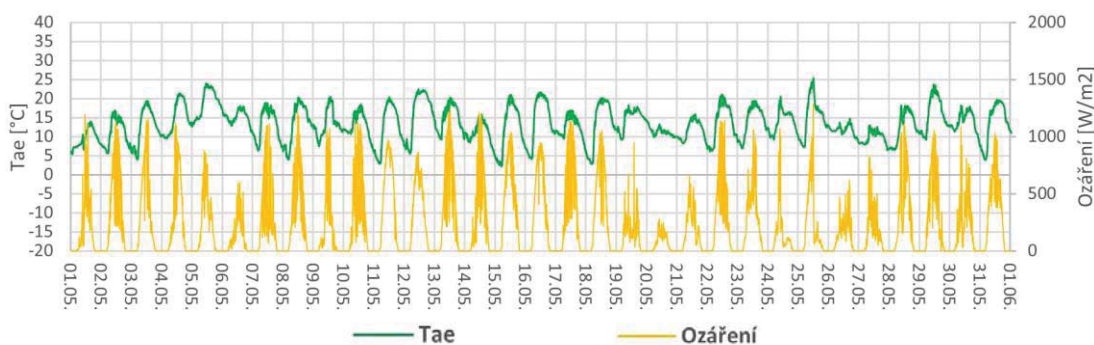
Graf 4 - Počet arktických, ledových, mrazových, letních a tropických dní za rok 2014 (vlevo) a rok 2015 (vpravo)



Graf 5 - Počet arktických, ledových, mrazových, letních a tropických dní v měsíci rok 2014 (vlevo) a rok 2015 (vpravo)

pozn.: u jednotlivých měsíců v závorce zobrazen počet měřených dní

Teplota venkovního vzduchu (T_{ae}) úzce souvisí se slunečním ozářením. Tuto závislost zobrazuje graf 6, kde je pro názornost vybrán pouze jeden měsíc z přechodného, resp. letního období (květen 2015), kdy je závislost díky vyšším hodnotám ozáření více vidět. Teplota reaguje na sluneční ozáření s určitým časovým posunem, jež charakterizuje tepelnou setrvačnost povrchových vrstev.



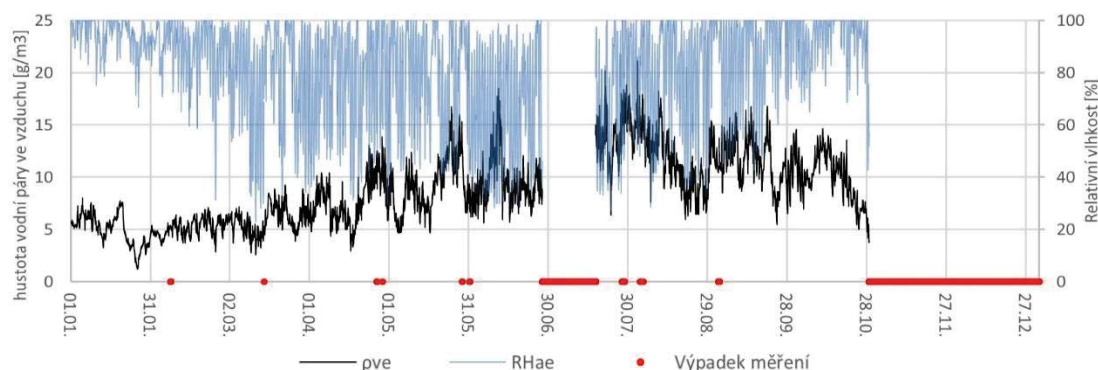
Graf 6 - Průběh teploty vzduchu v exteriéru a slunečního záření (květen 2015)

3.1.2 Relativní vlhkost vzduchu

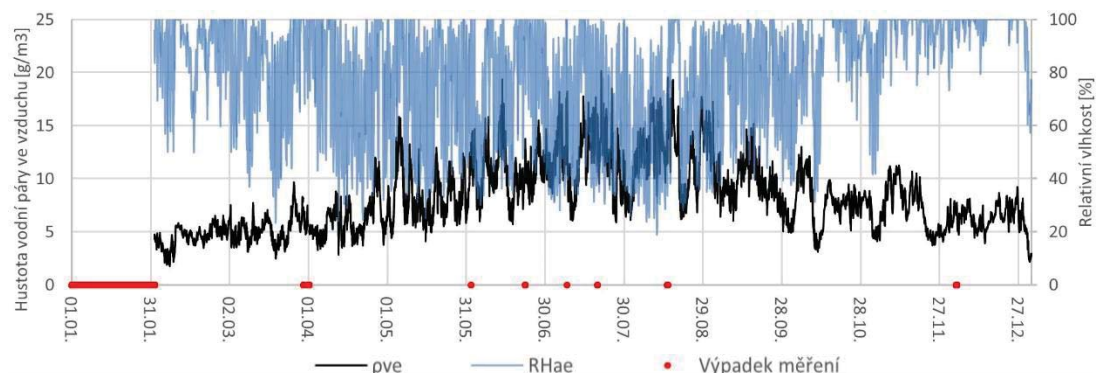
V grafu 7 a 8 jsou zobrazeny roční průběhy relativní (RH_{ae}) a absolutní vlhkosti venkovního vzduchu (ρ_{ve}) během let 2014 a 2015, v grafu 9 je pak ukázáno porovnání jejich průměrných měsíčních hodnot. Je potřeba zmínit, že absolutní vlhkost neboli hustota vodní páry nebyla přímo měřenou veličinou a byla dopočítána z měřených veličin dle vztahů (3.2.2.1.1) a (3.2.2.1.1) popsanych v podkapitole 3.2.2.1.

Grafy 7 - 9 potvrzují obecně známou věc, že relativní vlhkost v exteriéru dosahuje vyšších hodnot v zimě než v létě, kdežto u hustoty vodní páry to platí přesně naopak. Absolutní vlhkost viditelně kopíruje venkovní teplotu zobrazenou v grafech 1 a 2. V letním období je tedy vzduch reálně vlhčí díky většímu množství vodní páry, ale v zimě je zase blíže stavu nasycení.

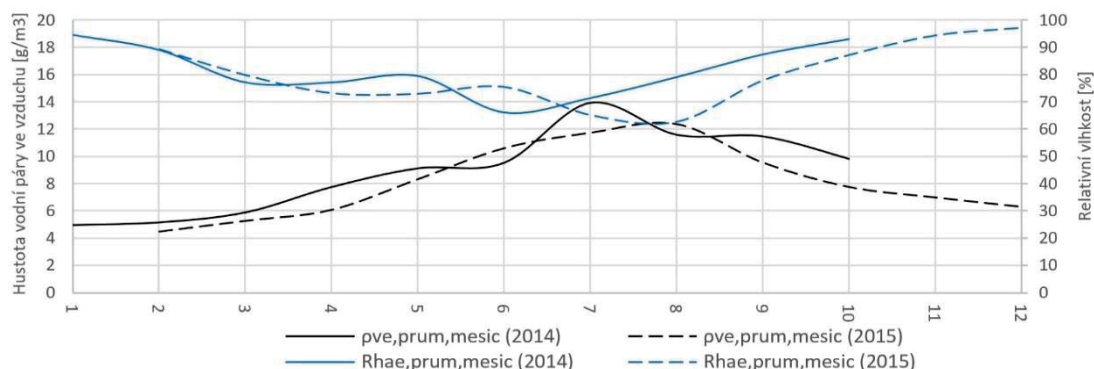
Konkrétně se měsíční průměrné hodnoty relativní vlhkosti pohybovaly dle grafu 9 v otopném období mezi 75 - 95 %, v létě pak mezi 60 - 80 %. Hustota vodní páry kolísala v otopném období průměrně mezi 5 - 8 g/m^3 , v létě pak mezi 8 - 14 g/m^3 . Jedná se ale pouze o průměrné měsíční hodnoty a skutečné množství vodní páry se pohybovalo i o hodně výš nebo níž oproti těmto průměrným hodnotám. Konkrétně kleslo v době minimálních venkovních teplot až na hodnotu 1 g/m^3 a v létě při velmi vysokých teplotách bylo naopak naměřeno téměř 20 g/m^3 .



Graf 7 - Průběh relativní a absolutní vlhkosti v exteriéru (2014)



Graf 8 - Průběh relativní vlhkosti a hustoty vodní páry v exteriéru (2015)



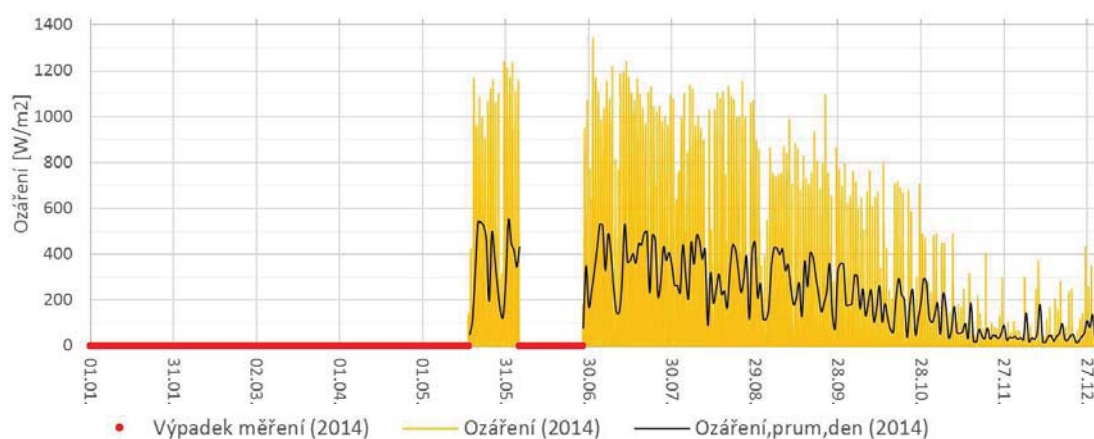
Graf 9 - Průběh průměrných měsíčních hodnot relativní a absolutní vlhkosti (2014, 2015)

3.1.3 Intenzita slunečního záření

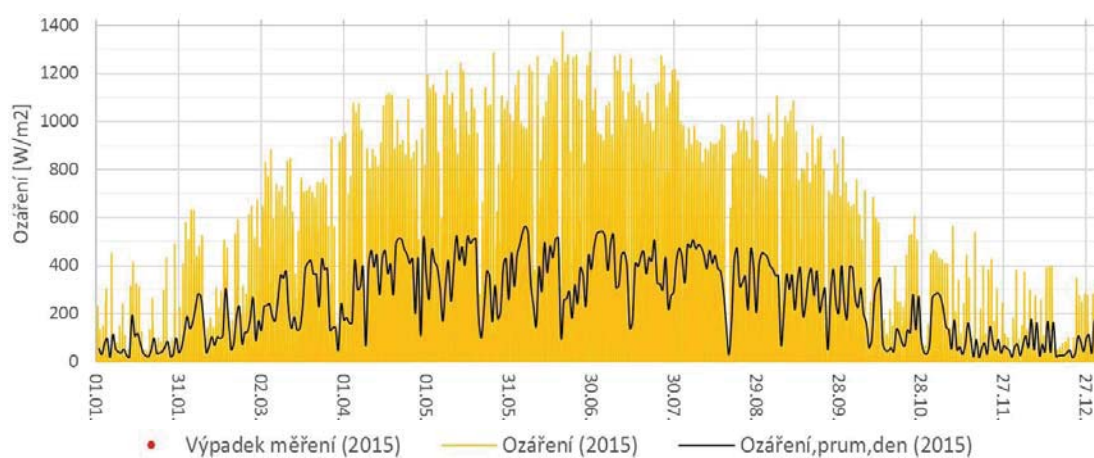
Na hřebeni střechy RD byla měřena intenzita slunečního záření dopadajícího na vodorovnou rovinu [W/m^2] během let 2014 a 2015. Měřené celkové (globální) sluneční záření se obecně skládá ze dvou složek (přímé a difuzní), jejichž poměr závisí zejména na oblačnosti oblohy. Velikost intenzity solárního záření se pak odvíjí především podle zeměpisné polohy, nadmořské výšky a čistoty ovzduší. Maximální hodnoty nemohou dosahovat vyšších hodnot, než je solární konstanta $1367 W/m^2$, která vyjadřuje intenzitu solárního záření na povrchu atmosféry.

V České republice je průměrný roční úhrn globálního záření $950 - 1340 kWh/m^2$, kdy zhruba 75 % dopadá v letním období. Konkrétně v Koberovech se hodnoty dle zdroje [7] průměrně pohybují kolem $1000 kWh/m^2$. Dalším zjišťovaným údajem je doba slunečního svitu, která představuje čas, po který je intenzita slunečního záření větší než $120 W/m^2$. Ta se průměrně pohybuje v ČR od 1300 - 1900 h/rok, v Koberovech pak konkrétně mezi 1400 - 1500 h/rok.

V grafech 10 a 11 je zobrazen průběh intenzity solárního záření a jejich průměrné denní hodnoty v letech 2014 a 2015. Dle grafů je vidět, že se naměřené hodnoty pohybovaly v obou letech pro konkrétní lokalitu podezřele vysoko a je tedy pravděpodobné, že zařízení neměřilo správně. Maximální naměřená hodnota vystoupala až na $1350 W/m^2$, což je nereálné číslo, protože podle zdroje [8] může být maximální intenzita záření v ČR cca $1100 W/m^2$. Celkový roční úhrn za rok 2015, kdy nebyl zaznamenán jediný výpadek dat, činil $1326 kWh/m^2$, což je opět poměrně vysoká hodnota odpovídající spíše jižnějším státům (Maďarsko, Slovinsko). Zmíněná doba slunečního svitu bohužel z naměřených 5minutových dat nelze zjistit, protože výsledek by byl nereálný. Důvodem je, že přístroj měří okamžitou intenzitu solárního záření a nelze předpokládat, zda celých 5 minut předtím byla hodnota stejná, menší či větší.

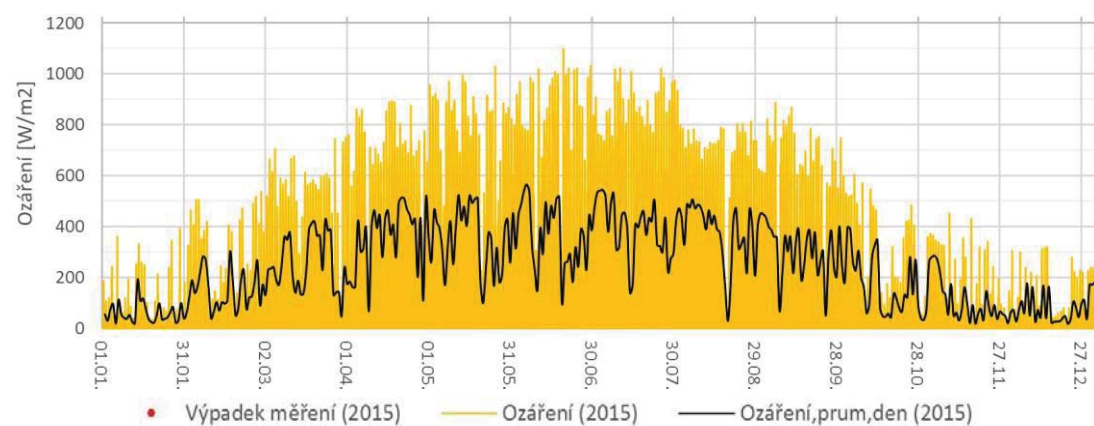


Graf 10 - Průběh ozáření na vodorovnou rovinu (rok 2014)



Graf 11 - Průběh ozáření na vodorovnou rovinu (rok 2015)

Pokud bychom uvažovali, že přístroj měřil s 20% odchylkou a všechny naměřené intenzity bychom snížili na 80 % naměřené hodnoty, roční úhrn by klesl na 1061 kWh/m^2 , což už by byla reálná hodnota odpovídající dané lokalitě. Také maximální hodnota intenzity slunečního záření by se dle grafu 12 dostala na pravděpodobnější hodnotu kolem 1100 W/m^2 . Proč ale zařízení měřilo špatně, nejsme schopni zjistit a ani velikost odchylky nelze nijak přesně předpokládat. Data o ozáření proto nebudou v dalších analýzách využívána.



Graf 12 - Průběh ozáření na vodorovnou rovinu, hodnoty snižené o 20 % (rok 2015)

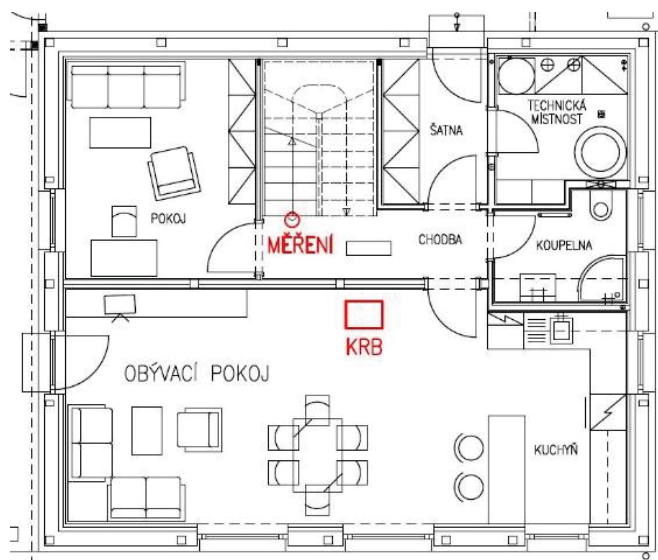
3.2 Interiérové podmínky

3.2.1 Teplota vzduchu v interiéru

Teplota vzduchu uvnitř budov tvoří jednu z hlavních složek podílejících se na kvalitě vnitřního prostředí a je významnou veličinou ovlivňující náš komfort a zdraví. Pro zajištění tepelné pohody a spokojenosti obyvatelů stanovilo Centrum pasivního domu [9] optimální teplotu v otopném období mezi 18 - 24 °C, v letním období od 20 – 28 °C. Zmíněné limitní hranice jsou využity v analýzách kapitoly 3.2.1.

Následná analýza popisuje průběh vnitřní teploty vzduchu během let 2014 a 2015 s cílem zjistit, jak se teplota uvnitř pasivního domu během roku chová a zda se pohybuje v optimálních mezích.

Měření probíhalo pouze v jediném místě celého objektu, konkrétně na schodišti v úrovni 2.NP, viz obrázek 12. Vzhledem k prostorovému rozložení teplot v domě je jasné, že pouhé jedno čidlo není schopno postihnout celý prostor objektu a lze očekávat, že teplota naměřená v úrovni 2.NP bude o něco vyšší než například v přízemí. Rozdíl teplot však u pasivního domu v běžném provozu nepředpokládáme nikterak výrazný a naměřené teploty tak považujeme za reprezentativní pro následnou analýzu.

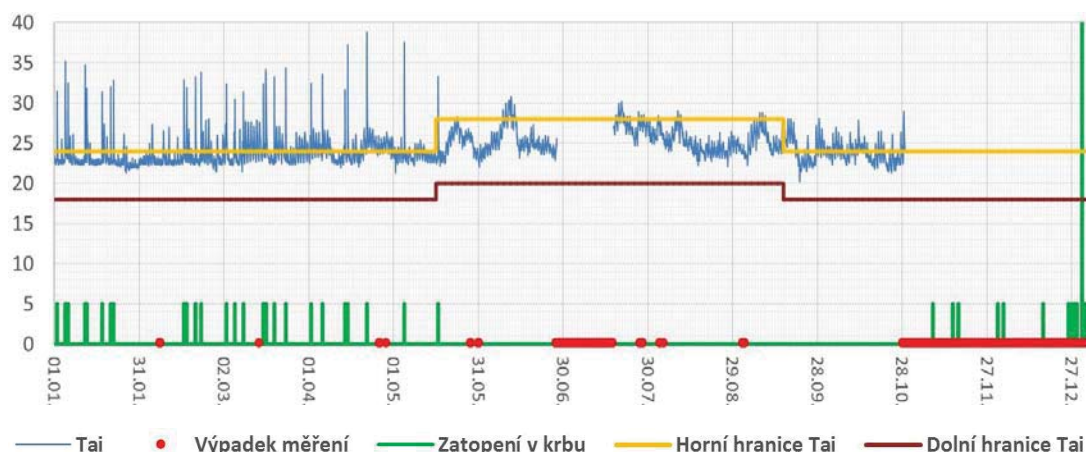


Obrázek 12 - Umístění čidla vnitřní teploty

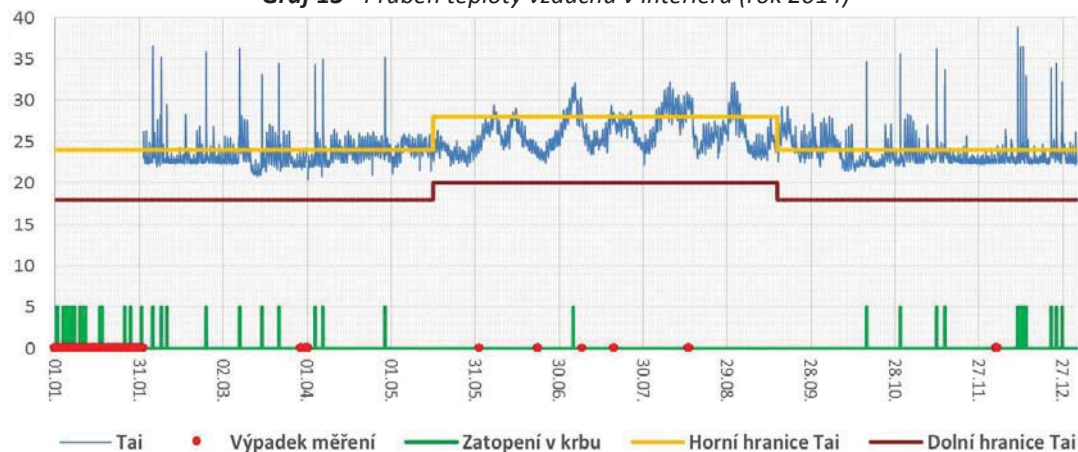
3.2.1.1 Výsledky měřených dat

Roční průběhy

V grafech 13 a 14 jsou zobrazeny roční průběhy teplot vzduchu v interiéru během let 2014 a 2015 a limitní teplotní hranice zmíněné v úvodu kapitoly 3.1.1. Na první pohled se teplota v otopném období zdá jako značně kolísavá a ve velké míře dosahující velmi vysokých hodnot. Po zobrazení změn tepla proudícího z krbových kamen lze ale vidět, že velké výkyvy přesahující 30 °C (max. 38,9 °C), se objevují pouze, když se v krbu zatopí.



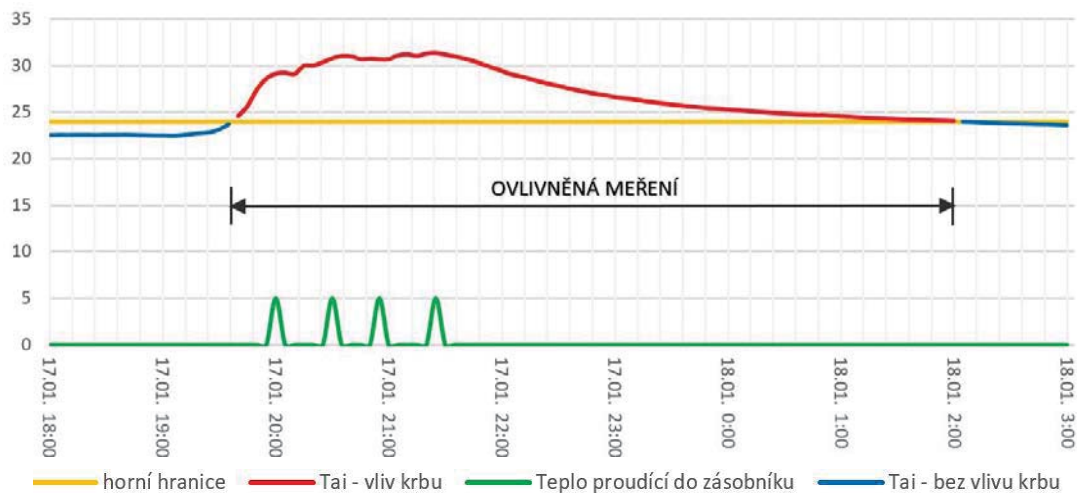
Graf 13 - Průběh teploty vzduchu v interiéru (rok 2014)



Graf 14 - Průběh teploty vzduchu v interiéru (rok 2015)

Pro neovlivnění výsledků analýzy bylo potřeba v dalších grafech vyfiltrovat vysoké teploty způsobené zatopením v krbu. Můžeme totiž předpokládat, že hodnoty budou o hodně vyšší než teploty v jiných částech objektu a nejsme schopni v tuto dobu předpovědět jejich reálnou hodnotu. Oddělení těchto dat proběhlo pomocí 2 podmínek. Nejprve byla vybrána všechna měření, ve kterých proudilo teplo z výměníku krbu do zásobníku tepla a dále všechny teploty těmto měřením blízké, které přesahovaly horní limitní hranici 24 °C (patrný vliv krbu vlivem teplotní setrvačnosti). Dle grafu 15 jde vidět, že se jedná o minimum teplot

před samotným prouděním tepla z krbu do zásobníku, kdy se v krbu začínalo topit, a dále o všechny následující teploty, kdy z krbu už teplo do zásobníku sice neproudilo, ale krb měl díky kvalitní tepelně izolační obálce a tepelné akumulaci stále vliv na vnitřní teplotu.

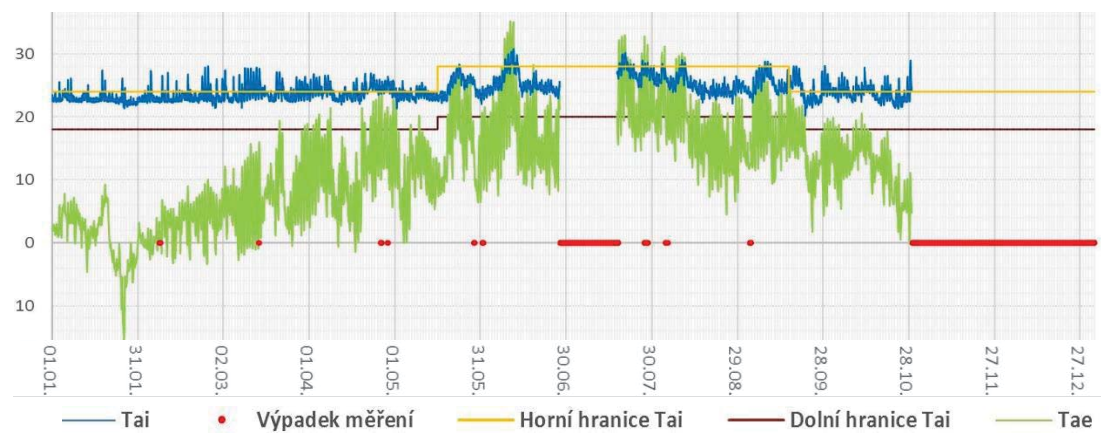


Graf 15 - Výsek průběhu teploty při zatopení v krbu - ukázka ovlivněných měření

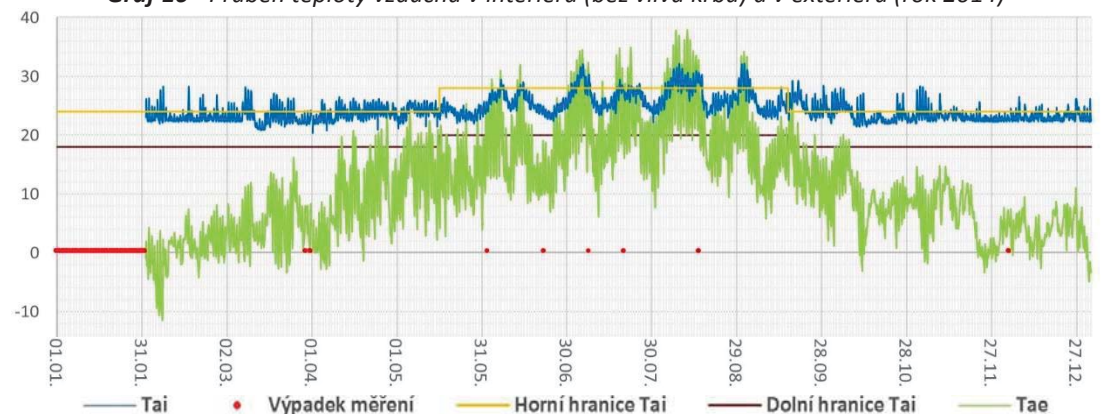
V grafech 16 a 17 jsou zobrazeny roční průběhy teplot v interiéru bez vyfiltrovaných dat v závislosti na průběhu teploty v exteriéru. V typicky topném období s nízkou venkovní teplotou byl průběh vnitřní teploty poměrně stálý, což dobře zobrazují grafy 18 a 19 s průměrnými denními teplotami. Teplota kolísala převážně v průběhu dne a rozdíl mezi jednotlivými dny byl minimální. Vnitřní teplota se průměrně pohybovala mezi 22 – 24 °C a jen zřídka přesahovala horní hranici 24 °C.

Oproti tomu v přechodném topném období, kdy se venkovní teplota pohybovala během dne ve vyšších hodnotách (≈ 15 °C) a nemuselo se pravděpodobně vytápět, se průběh podobá spíše letnímu období, pouze s menší amplitudou teploty. Vnitřní průměrná teplota v grafech 18 a 19 byla v tomto období o něco vyšší než v zimě a pohybovala se mnohem častěji nad horní hranicí 24 °C. Lze proto tvrdit, že s narůstající teplotou v exteriéru se zvyšovala četnost výskytu nadlimitních hodnot v interiéru.

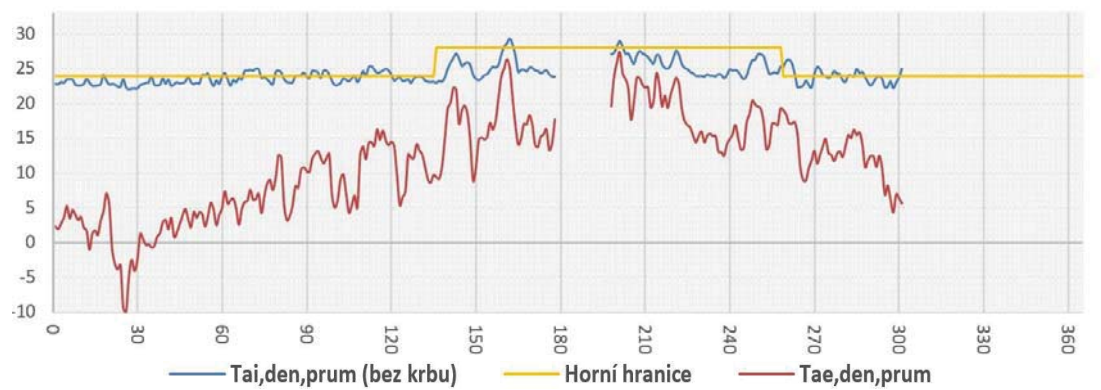
Naopak v letním období byl průběh už zcela odlišný od typicky zimního. Vnitřní teplota mnohem viditelněji reagovala na teplotu venkovní, resp. ozáření, jež v létě dosahuje mnohem vyšších hodnot a tím větších solárních zisků. Vnitřní teplota nekolísala pouze v průběhu dne jako v zimě, ale byly i markantní rozdíly mezi jednotlivými dny. Při déle trvajících vysokých venkovních teplotách jde vidět, že dům nestihl během noci vychladnout a teplota se neustále zvyšovala až do doby klesání teploty v exteriéru během dne.



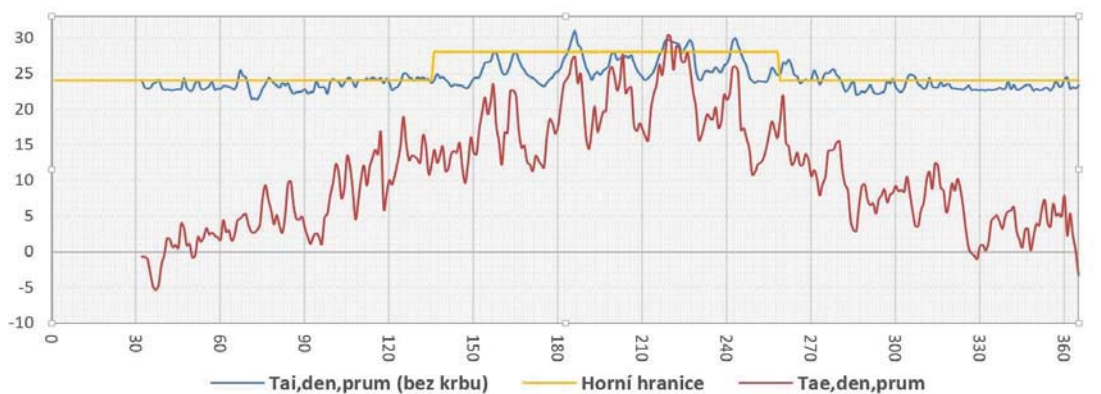
Graf 16 - Průběh teploty vzduchu v interiéru (bez vlivu krbu) a v exteriéru (rok 2014)



Graf 17 - Průběh teploty vzduchu v interiéru (bez vlivu krbu) a v exteriéru (rok 2015)



Graf 18 – Průběh průměrné denní teploty vzduchu v interiéru (bez vlivu krbu) a v exteriéru (rok 2014)

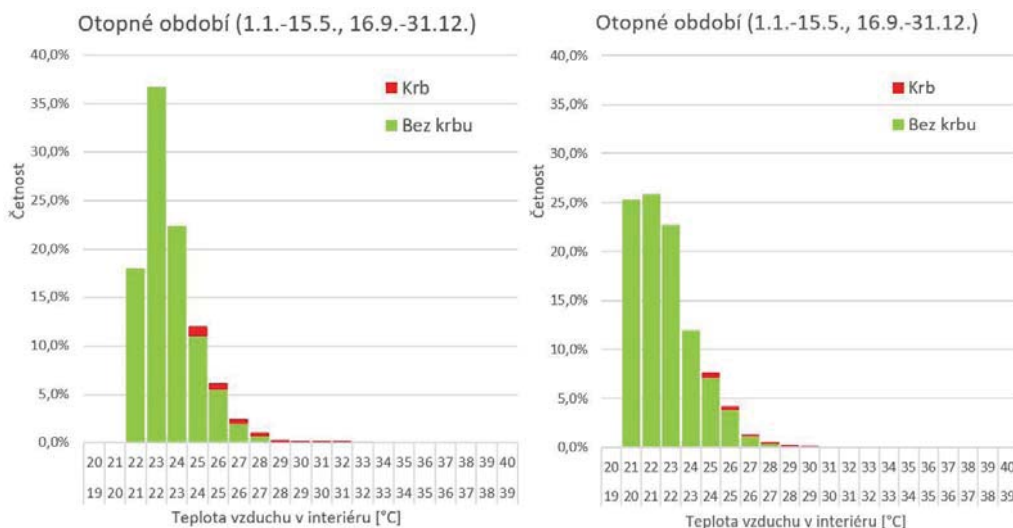


Graf 19 – Průběh průměrné denní teploty vzduchu v interiéru (bez vlivu krbu) a v exteriéru (rok 2015)

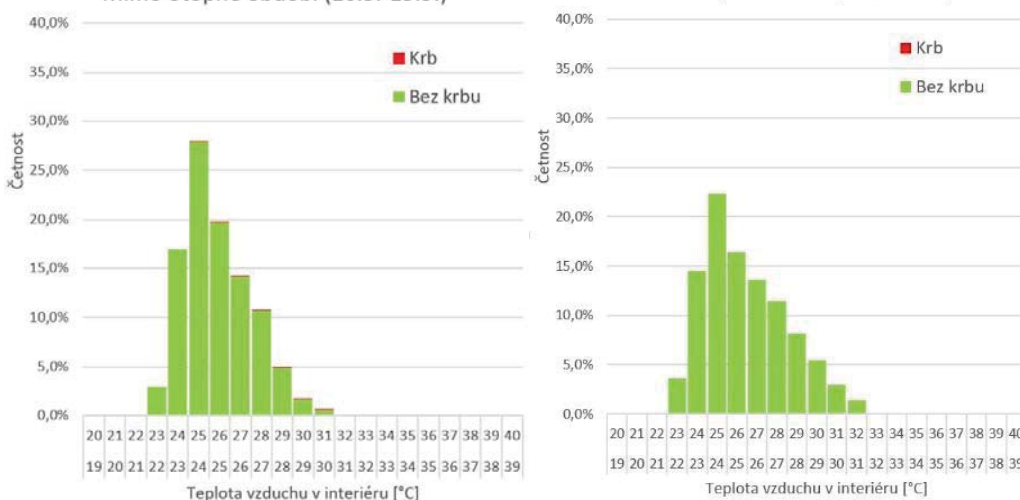
Histogramy

Histogramy v grafech 20 a 21 zobrazují četnost výskytu jednotlivých teplot v interiéru v obou obdobích let 2014 a 2015. Díky nim lze dobře vidět, že data ovlivněná zatopením v krbu sice dosahují velmi vysokých hodnot, ale činí pouhý zlomek všech údajů (v roce 2014 3,8 %, v roce 2015 jen 1,7 %) a to převážně jen v otopném období. Mnohem větším problémem je množství teplot krbem neovlivněných, jež přesahují limitní hranici.

V otopné sezóně roku 2015 překročilo horní hranici 24 °C 12,6 % měřených dat a v roce 2014 dokonce 19,1 %. Oproti tomu v létě, kdy je horní hranice posunuta na 28 °C, přesáhlo tuto hodnotu v roce 2014 7,1 % dat a v roce 2015 až 18,1 %. Je tedy vidět, že v roce 2014 bylo naměřeno více nadlimitních dat v otopném období, naopak v roce 2015 v letním období. Tyto výsledky jsou zapříčiněny teplejší zimou, resp. létem v daném roce, což dobře zobrazuje počet předem definovaných dní (letních, mrazových, atd.) v kapitole 3.2.1.



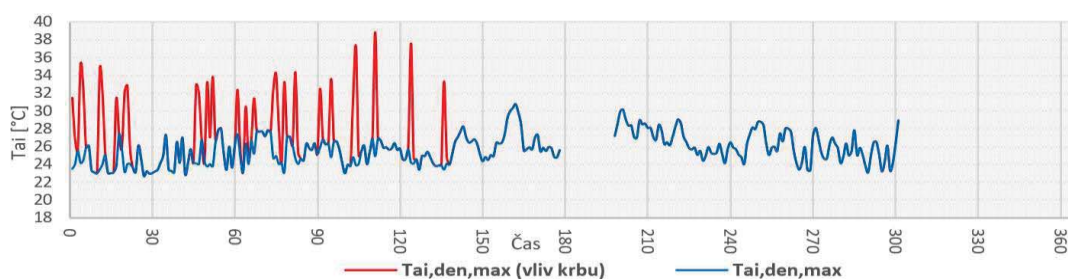
Graf 20 - Histogramy teplot vzduchu v interiéru v otopném období v letech 2014 a 2015
Mimo otopné období (16.5.-15.9.)



Graf 21 - Histogramy teplot vzduchu v interiéru mimo otopné období v letech 2014 a 2015
Maximální, minimální hodnoty

V grafech 22 a 23 je zobrazen průběh maximálních denních vnitřních teplot s vlivem krbu (červeně) a bez něj (modře) během let 2014 a 2015. Z grafů je patrné, že se maximální vnitřní teplota krbem ovlivněných hodnot v obou letech pohybovala kolem 39 °C. Po zanedbání těchto ovlivněných měření se křivka mírně vyhladila v otopném období, ale i přesto se průběh max. denní teploty v grafech 22 a 23 pohyboval stále po celý rok velmi vysoko. V otopném období roku 2014 byla naměřena max. teplota 28,96 °C (28. 10.), v roce 2015 až 29,3 °C (19. 9.), v tento den byla ale zároveň i vysoká venkovní teplota pohybující se v odpoledních hodinách kolem 20°C a nejedná se tedy o den, kdy by se reálně topilo. V letním období roku 2014 dosáhla max. denní teplota v interiéru hodnoty 30,8 °C (11. 6.), v roce 2015 dokonce až 32,2 °C (31. 8.).

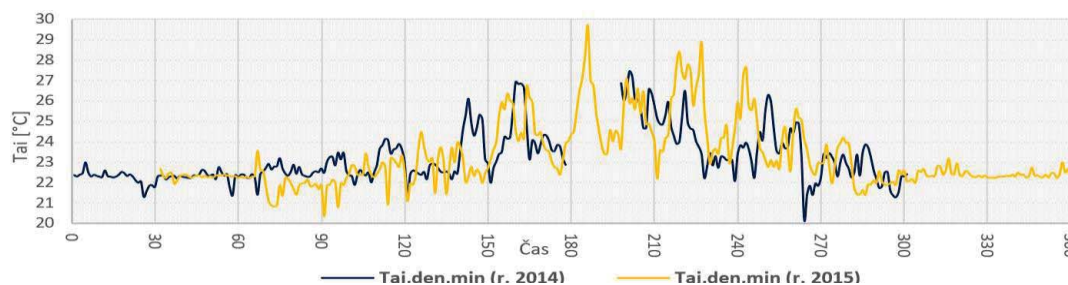
Naměřené minimální hodnoty vnitřní teploty se pohybovaly dle grafu 24 taktéž ve vyšších hodnotách než bychom očekávali a během obou měřených let teplota ani jednou neklesla pod 20 °C. V roce 2014 (21. 9. 17:20) byla naměřena nejnižší teplota 20,17 °C, v roce 2015 (1. 4. 6:40) dosáhla minimální teplota o něco vyšší hodnoty a to 20,35 °C.



Graf 22 – Průběh maximální denní teploty v interiéru (rok 2014)



Graf 23 – Průběh maximální denní teploty v interiéru (rok 2015)



Graf 24 – Průběh minimální teploty vzduchu v interiéru v letech 2014 a 2015

3.2.1.2 Diskuze nad výsledky

Centrum pasivního domu [9] tvrdí, že pasivní domy mají několik výhod, mezi které například patří minimální teplotní rozdíly v místnosti a příjemné teploty v zimě i v létě. Analýza měřených dat z posledních dvou let (2014, 2015) z rodinného pasivního domu v Koberovech ale ukázala, že toto tvrzení zde neplatí. Pomocí ročních průběhů teplot v interiéru bez vlivu krbu v grafech 16 a 17 a histogramů v grafech 20 a 21 bylo dokázáno, že se vnitřní teplota pohybovala obecně po celý rok poměrně vysoko a překračovala často horní hranici optimální teploty v otopném období i mimo něj. V otopném období roku 2014 konkrétně překročilo horní hranici 24°C 19,1 % měření a max. teplota dosáhla až k 29 °C. Je však třeba si uvědomit, že více jak 85% z těchto nadlimitních dat bylo naměřeno v teplejší části otopného období (březen- květen, září - říjen), zatímco v typicky chladné části roku (listopad – únor) se vnitřní teplota téměř vždy pohybovala v optimálním rozmezí. V letním období, kdy je horní limitní hranice posunuta na 28 °C, bylo v roce 2015 naměřeno 18,1 % teplot nad limitem a maximální teplota přesáhla dokonce až 32°C. Naopak dolní limitní hranice nebyla během obou let ani jednou překročena. Dle zjištěných výsledků je potřeba se ptát, proč horní hranici i po vyfiltrování krbem ovlivněných teplot překročilo v obou obdobích tolik procent měření? Může to být důsledek velkých solárních zisků, resp. nedostatečného stínění či neúměrně velkých prosklených ploch? Nebo je to způsobeno nastavením uživatele?

Obyvatelé domu mají na celkové klima a chod zařízení samozřejmě významný vliv, ale jak velký se můžeme jen domnívat. Díky průměrné teplotě kolísající mezi 22 - 24 °C (grafy 18 a 19) v typicky zimním období lze předpokládat, že uživatelem nastavená teplota pro vytápění se pohybovala ve vyšších hodnotách, než je zvykem a to okolo 22 - 23 °C. Kromě nastavitelné komfortní teploty pro vytápění může mít člověk vliv na průběh teploty i jiným způsobem. V létě může například větrat přirozeně a pouštět tak do domu teplý exteriérový vzduch nebo může svou přítomností a aktivitou zvyšovat vnitřní zisky a tím i vnitřní teplotu. Tato ovlivnění už ale nejsme bohužel z analýz schopni zjistit. Vzhledem k tomu, že k vyšším vnitřním teplotám docházelo ale spíše v přechodném nebo letním období, kdy dosahuje venkovní teplota, resp. i ozáření vyšších hodnot, je velmi pravděpodobné, že viníkem nadlimitních hodnot budou spíše venkovní klimatické podmínky než nastavení uživatele. Jižní fasáda je prosklená z téměř 30 % a proti letnímu přehřívání ji chrání 950mm přesah střechy bez dalších stínících prvků. Západní a východní fasáda je prosklena sice méně, ale není navrženo vůbec žádné stínění.

Takto vysoké hodnoty vnitřní teploty vzduchu mohou mít za následek nejen tepelný diskomfort uživatelů, ale i nízkou relativní vlhkost, která je s teplotou úzce spjata. Tato

problematika je lépe popsána v následující kapitole 3.2.2. Obecně vyšší průměrná vnitřní teplota, než se kterou je počítáno v normových výpočtech (20 °C) může mít za následek také větší spotřebu tepla na vytápění, než která byla původně dle normy předpokládána a je možné, že s takto vysokými vnitřními teplotami už nemusí objekt splňovat požadovanou potřebu tepla na vytápění 20 kWh/m²rok. Skutečná měrná roční spotřeba tepla na vytápění je zjištěna v kapitole 4.3.5.

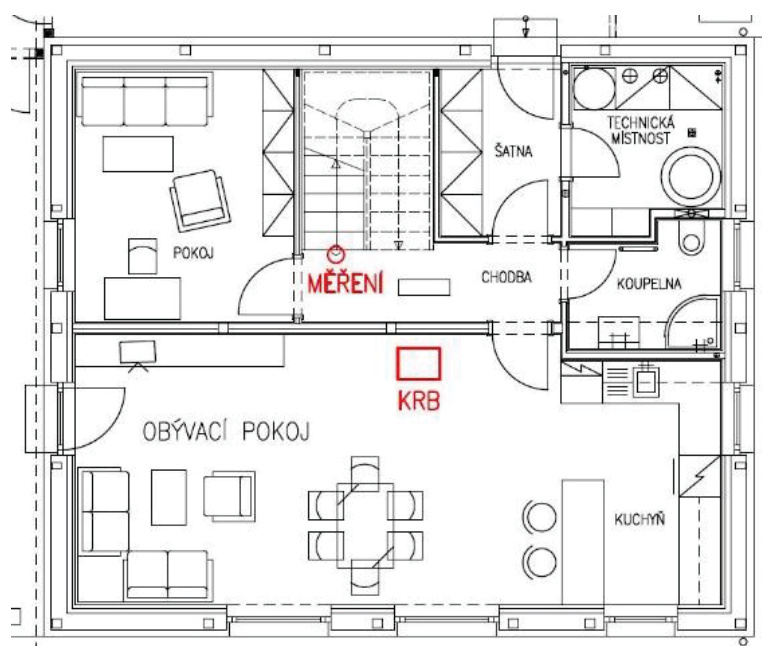
Zároveň je nutné také zmínit spojitost mezi nejvyššími naměřenými teplotami dosahujícími až k 39°C a krbovými kamny umístěnými v obývacím pokoji. Ačkoli bylo v celé analýze předpokládáno, že tyto teploty nereprezentují chování teploty v celém objektu a pro neovlivnění výsledků byly vyfiltrovány, je to pouhá logická domněnka. Schodiště, kde je v úrovni 2.NP osazeno čidlo, je pro teplý vzduch jakýmsi komínem a je tedy pravděpodobné, že v době zatopení v krbu je zde teplota i o několik stupňů vyšší než jinde. O jak moc vyšší, to samozřejmě nelze přesně určit a je tedy otázkou, zda je v této době zajištěn tepelný komfort obyvatel v ostatních částech domu. Vzhledem k tomu, že původní osazená krbová kamna podle zdroje [10] dodávají cca 50 % tepla do zásobníku tepla a zbytek do místnosti, je pravděpodobné, že se teplo díky kvalitní tepelně izolační obálce bude v pasivním domě hromadit a způsobovat vysokou vnitřní teplotu. Jak vysokou se můžeme pouze domnívat, ale ačkoli je sálavé teplo vnímáno dobře, ani vyšší hodnoty dál od kamen by nemuseli způsobovat příliš velký diskomfort. I přesto by bylo lepší pořídit krbová kamna vhodnější pro pasivní domy, která budou většinu tepla dávat do zásobníku a nebudou tak přehřívat interiér.

3.2.2 Relativní vlhkost vzduchu v interiéru

Relativní vlhkost vzduchu v interiéru se spolu s teplotou podílí nejméně na kvalitě vnitřního prostředí a ovlivňuje tak nejen náš komfort a zdraví, ale i stavební konstrukce a budovu jako celek. Zajištění relativní vlhkosti v přijatelném rozmezí, které se dle zdroje [9] pohybuje v rozmezí 30 – 70 %, je ale o něco složitější než u vnitřní teploty, protože její změny vnímáme mnohem méně a záleží na mnoha faktorech, které neumíme vždy ovlivnit. Mezi ty nejdůležitější faktory patří vnitřní produkce vodních par a výměna vzduchu, zároveň je ale relativní vlhkost úzce spjata s vnitřními a venkovními podmínkami.

Následná analýza popisuje průběh vnitřní relativní vlhkosti vzduchu během let 2014 a 2015 s cílem zjistit, jakých hodnot relativní vlhkost uvnitř pasivního domu dosahuje a zda se pohybuje v optimálních mezích.

Měření relativní vlhkosti probíhalo v jediném místě objektu (na schodišti v úrovni 2. NP viz obrázek 13) pomocí senzoru snímajícího zároveň vnitřní teplotu vzduchu. Stejně jako u vnitřní teploty je jasné, že pouhé jedno čidlo není schopno postihnout rozložení vlhkosti v celém objektu a lze očekávat, že například v koupelně či v kuchyni bude vlhkost vyšší. Tento rozdíl by měl být však nárazový dle aktuálního užívání a je pravděpodobné, že náhle vzniklá vlhkost byla v těchto místnostech ihned odvětrána pomocí VZT jednotky ven z objektu. Z tohoto důvodu je možné předpokládat, že naměřené relativní vlhkosti se dají považovat za reprezentativní pro celý objekt.



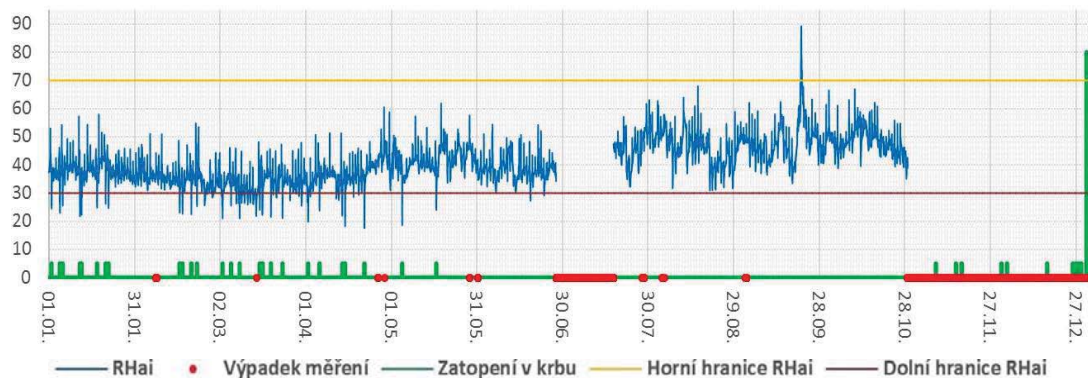
Obrázek 13 - Umístění čidla relativní vlhkosti

3.2.2.1 Výsledky měřených dat

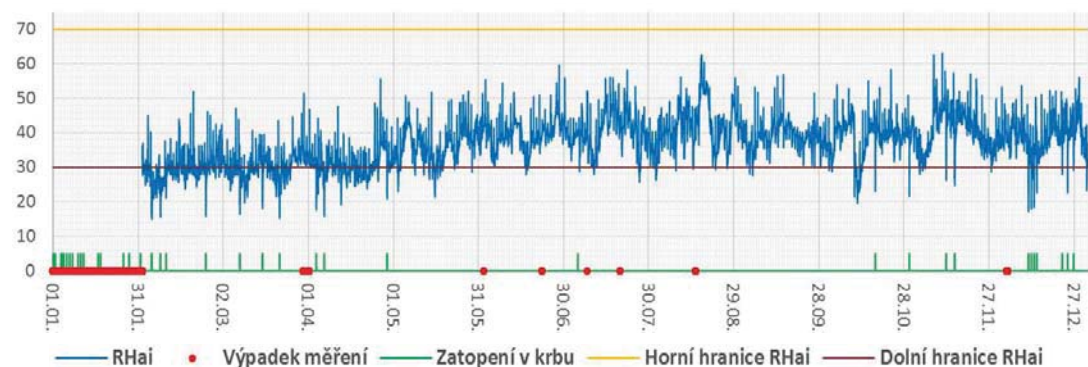
Roční průběhy

V grafech 25 a 26 je zobrazen průběh relativní vlhkosti vzduchu v interiéru (RH_{ai}) během let 2014 a 2015 a optimální rozmezí hodnot zmíněné v úvodu kapitoly 3.1.2. Na první pohled se relativní vlhkost v otopném období pohybuje velmi nízko a často pod dolní hranicí 30 %. Po zobrazení změn tepla proudícího z krbových kamen lze ale vidět, že velké výkyvy relativní vlhkosti blížící se k 20 % a v roce 2015 dokonce i k 15 % se objevují pouze, když se v krbu zatopí.

Tato měření ovlivněná zatopením v krbu bylo potřeba pro neovlivnění výsledků vyfiltrovat. Stejně jako vnitřní teplota, která se při zatopení v krbu může lišit v místě měření i o několik stupňů a nevypovídá nic o skutečné teplotě v jiných částech domu, se nedá ani relativní vlhkost považovat v této době za reprezentativní. Důvodem je vztah mezi relativní vlhkostí a vnitřní teplotou, v kterém platí, že čím je vzduch teplejší, tím je schopen pojmout více vodní páry a tím je snížena i jeho relativní vlhkost. Výběr ovlivněných dat je totožný právě s výběrem ovlivněné vnitřní teploty, jež je zobrazen a popsán nad grafem 15 v kapitole 3.1.1.1.



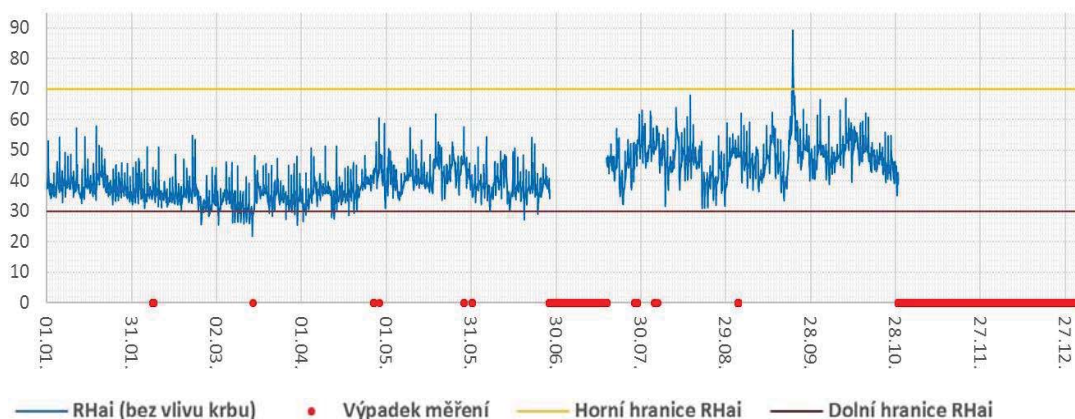
Graf 25 - Průběh relativní vlhkosti vzduchu v interiéru (r. 2014)



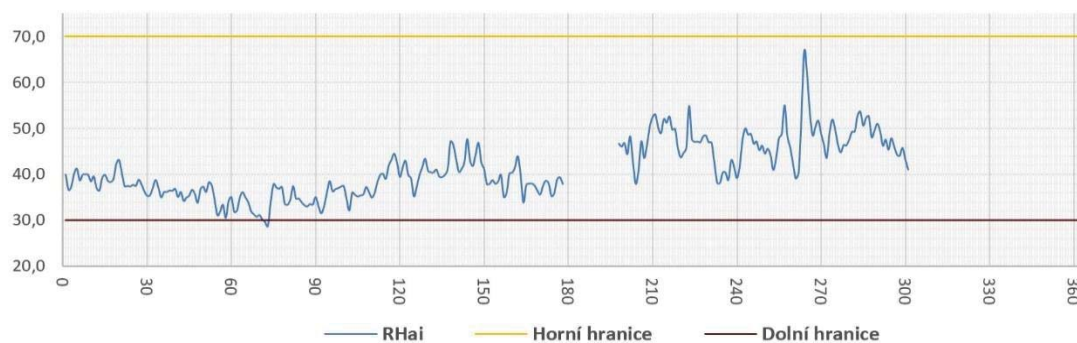
Graf 26 - Průběh relativní vlhkosti vzduchu v interiéru (r. 2015)

V grafu 27 zobrazujícím průběh relativní vlhkosti v interiéru v roce 2014 lze vidět, že po vyfiltrování ovlivněných dat se relativní vlhkost pohybovala po většinu roku v optimálním rozmezí. Dolní hraniční hodnota 30 % byla sice párkrát překročena, ale převážně jen v otopném období, kdy vnitřní teplota (T_{ai}) značně přesahovala horní optimální hranici 24 °C. Tuto závislost ukazuje graf 29, který zobrazuje průběh relativní vlhkosti (RH_{ai}) během března, kdy bylo naměřeno nejvíce podlimitních hodnot. Jde vidět, že při velkém nárůstu teploty došlo k prudkému snížení relativní vlhkosti, naopak k vyšším hodnotám docházelo kolem poledne, kdy byla v domě nejspíš větší produkce vodní páry. Oproti tomu s vlhkým vzduchem nebyl nikdy problém, pouze v jednom dni na konci září (21. 9.) vystoupala relativní vlhkost výjimečně nad horní hranici 70 % (až k 85 %). Výsek tohoto období je zobrazen v grafu 30, kde je vidět, že v místech nejvyšších hodnot relativní vlhkosti klesla i vnitřní teplota a to na nejnižší naměřenou hodnotu za celé řešené období let 2014 a 2015. Z jakého důvodu ale došlo k takto prudkému nárůstu relativní vlhkosti nelze říci.

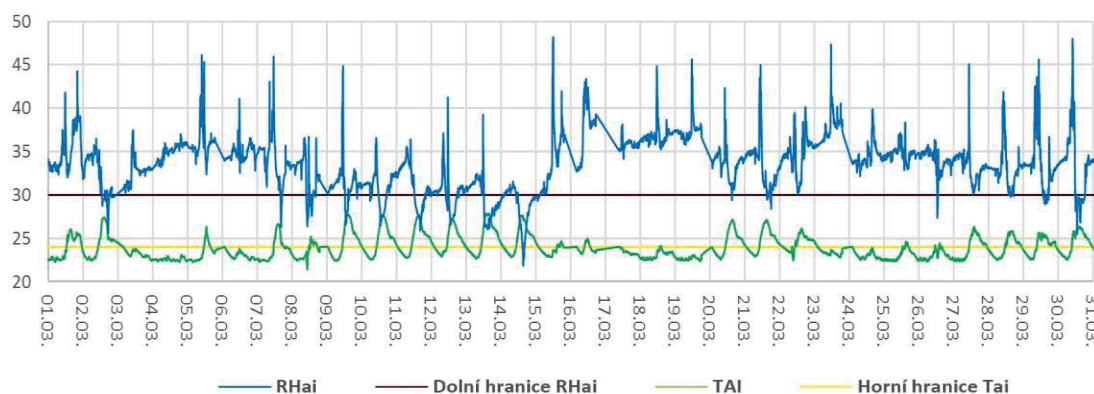
V grafu 28 je zobrazen průběh průměrných denních hodnot relativní vlhkosti v roce 2014 a dle očekávání je vidět, že v otopném období byl vzduch sušší než v létě. Průměrné denní hodnoty se v tomto období pohybovaly mezi 30 - 40 % a kromě poloviny března křivka nikdy nepřesáhla dolní hranici 30 %. V období letním byly průměrné denní hodnoty už vždy v optimálním rozmezí a kolísaly převážně mezi 40 - 55 %.



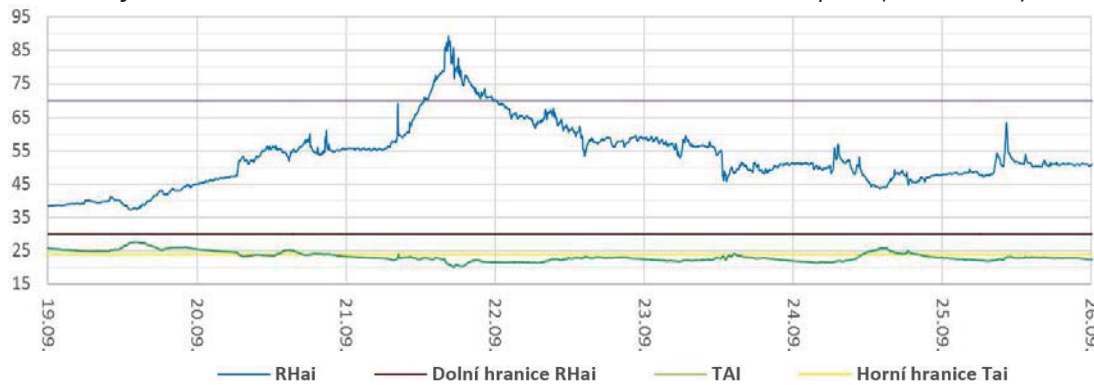
Graf 27 - Průběh relativní vlhkosti vzduchu v interiéru - bez vlivu krbu (rok 2014)



Graf 28 - Průběh průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu v interiéru - bez vlivu krbu (rok 2014)



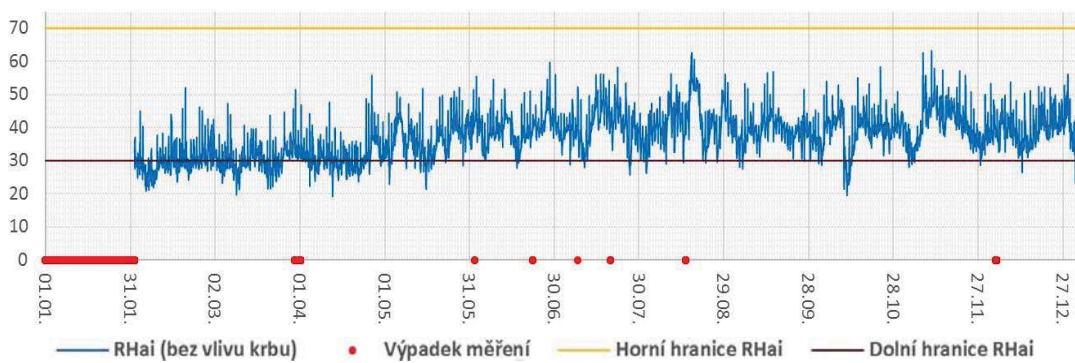
Graf 29 - Průběh relativní vlhkosti v interiéru v závislosti na vnitřní teplotě (březen 2014)



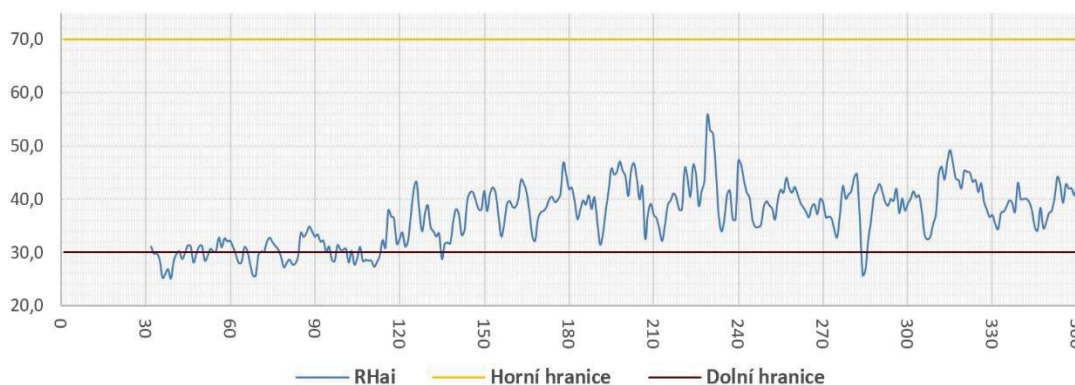
Graf 30 - Průběh relativní vlhkosti v interiéru (výšek září 2014)

V grafu 31 je zobrazen průběh relativní vlhkosti v interiéru během roku 2015. Oproti předchozímu roku se ani po vyfiltrování ovlivněných dat hodnoty v otopném období nepohybovaly v přijatelném rozmezí relativních vlhkostí. Horní hranice 70 % nebyla sice nikdy překročena, ale podlimitních hodnot bylo naměřeno nespočet a to převážně od února do dubna. Zatímco v roce 2014 byly tyto podlimitní hodnoty naměřeny převážně v době, kdy se vnitřní teplota pohybovala vysoko nad horní hranicí 24 °C, dle grafu 32 byla v roce 2015 relativní vlhkost pod limitem 30 %, i když se vnitřní teplota pohybovala v optimálních mezích. Velké zvýšení vnitřní teploty sice zapříčinilo i snížení relativní vlhkosti ještě na nižší hodnoty,

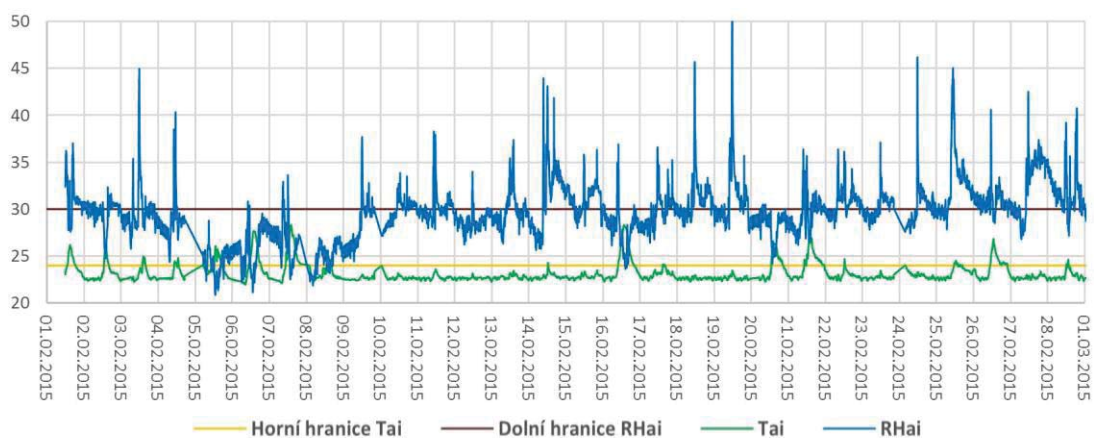
ale relativní vlhkost se pohybovala obecně po celé toto období (únor --duben) dosti nízko. Dle grafu 32 kolísaly průměrné denní hodnoty mezi 25 - 35%. Oproti tomu v otopném období na konci roku a zároveň i v období letním se relativní vlhkost pohybovala většinou v optimálních mezích a průměrné denní hodnoty byli převážně mezi 30 – 50 %.



Graf 31 - Průběh relativní vlhkosti vzduchu v interiéru - bez vlivu krbu (rok 2015)



Graf 32 - Průběh průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu v interiéru - bez vlivu krbu (rok 2015)

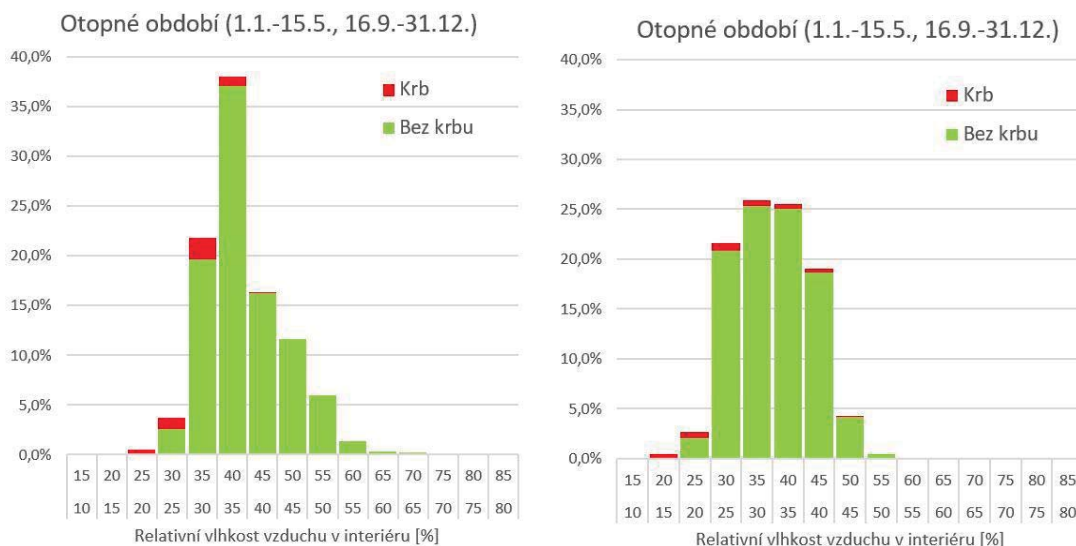


Graf 33 - Průběh relativní vlhkosti v interiéru v závislosti na vnitřní teplotě (únor 2015)

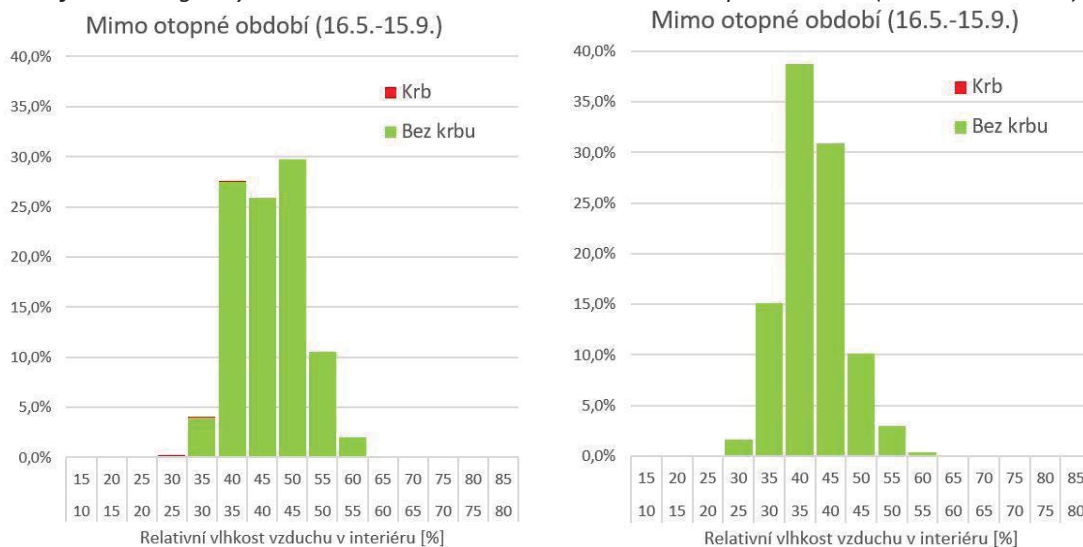
Histogramy

Histogramy v grafech 34 a 35 zobrazují četnost výskytu jednotlivých relativních vlhkostí v interiéru během let 2014 a 2015. Dle grafů je vidět, že ačkoli relativní vlhkost ovlivněná zatopením v krbu dosahovala v otopném období i velmi nízkých hodnot, tyto hodnoty tvořily pouhý zlomek všech podlimitních měření a to zhruba 1,7 % v obou letech.

V grafech 34 a 35 můžeme vidět zároveň i porovnání jednotlivých let. V roce 2014 dosahovala relativní vlhkost vyšších hodnot než v roce 2015 a počet podlimitních hodnot byl minimální. V otopném období roku 2014 překročilo 30% hranici pouze 2,6 % měření a v letním období pouze 0,1 %. Větší problém nastal v roce následujícím, kdy v letním období bylo sice naměřeno jen 1,6 % podlimitních hodnot, ale v období otopném přesáhlo dolní 30% hranici dokonce až 22,9 % měření a z toho 83 % jich bylo od února do dubna.



Graf 34 - Histogramy relativních vlhkostí vzduchu v interiéru v otopném období (roku 2014 a 2015)



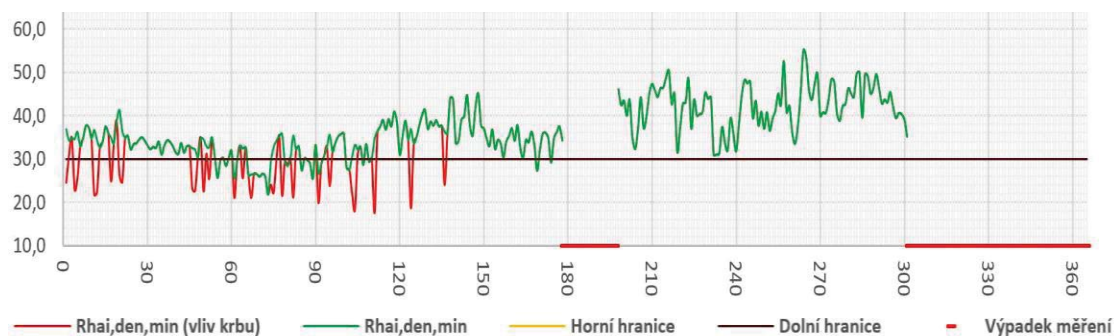
Graf 35 - Histogramy relativních vlhkostí vzduchu v interiéru v letním období (roku 2014 a 2015)

Maximální a minimální hodnoty

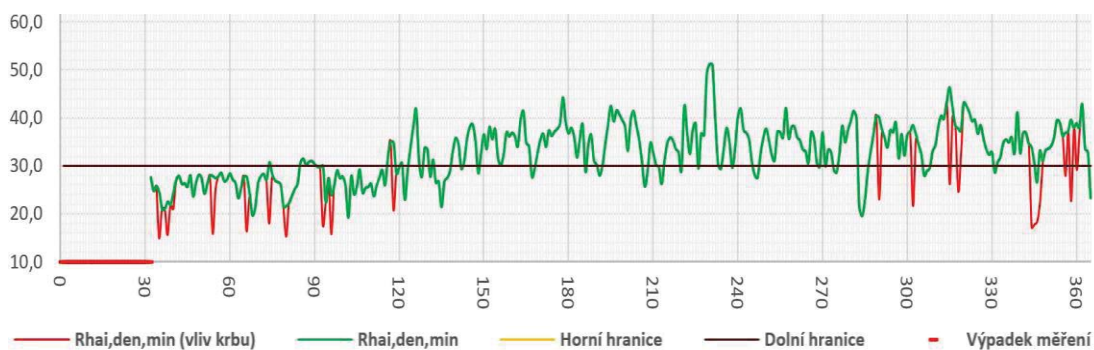
a) Minimální hodnoty

V grafech 36 a 37 je zobrazen průběh minimálních denních relativních vlhkostí v interiéru ($RH_{ai, den, min}$) s vlivem krbu i bez něj během let 2014 a 2015. Po většinu roku 2014 se po vyfiltrování dat ovlivněných krbem pohybovala relativní vlhkost v přijatelných mezích, pouze v období únor - březen byly minimální denní hodnoty pod dolní optimální hranicí 30 %. Konkrétně byla v otopném období roku 2014 naměřena minimální relativní vlhkost 21,8 % (14. 3.), oproti tomu v letním období, kdy se hodnoty pohybovaly převážně v optimálních mezích, byla naměřena minimální relativní vlhkost 27,3 % (18. 6.).

V roce 2015 dosahovala relativní vlhkost o něco nižších hodnot než v roce předchozím, což dobře zobrazují i minimální denní hodnoty v grafu 37. V otopném období únor - duben byly minimální denní hodnoty téměř vždy pod hranicí 30 %, zatímco ve zbylé části roku se pohybovaly většinou v optimálním rozmezí. Minimální relativní vlhkost klesla v otopném období roku 2015 až na 19,2 % (12. 4.) a v letním období na 25,7 % (26. 7.).



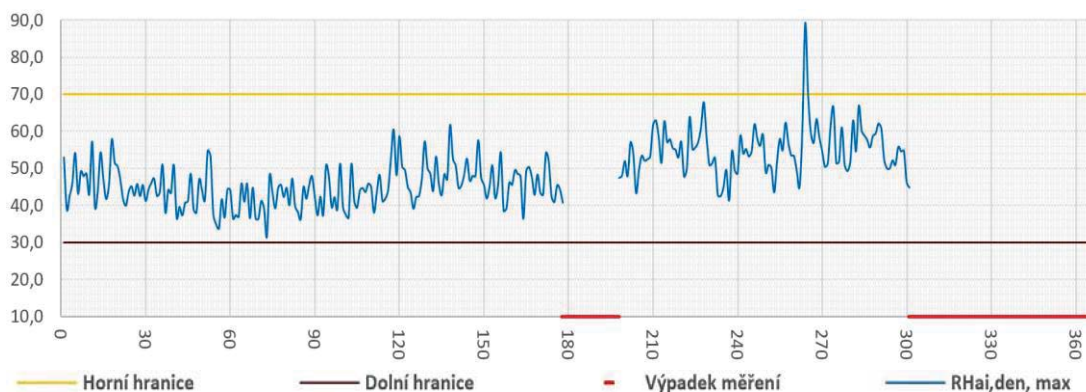
Graf 36 - Průběh minimální denní relativní vlhkosti v interiéru v roce 2014



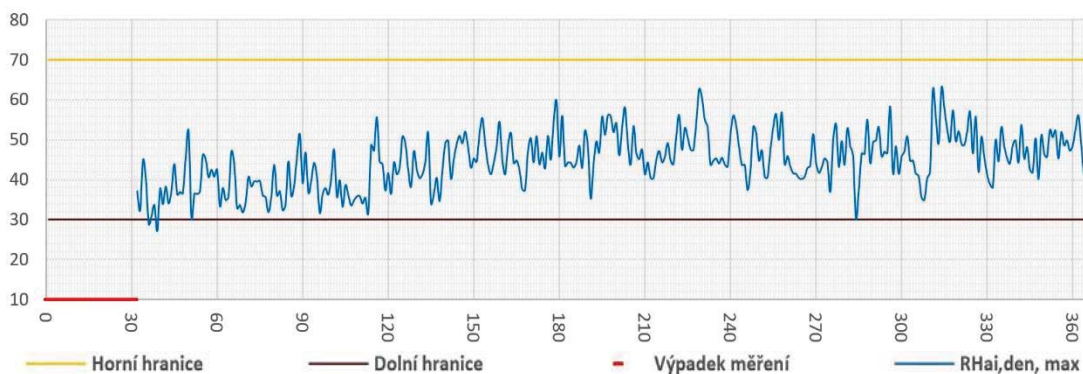
Graf 37 - Průběh minimální denní relativní vlhkosti v interiéru v roce 2015

b) Maximální hodnoty

Pomocí grafů 38 a 39 zobrazujících průběh maximálních denních relativních vlhkostí ($RH_{ai, den, max}$) během let 2014 a 2015 lze vidět, že horní 70% hranice byla překročena pouze jednou a to ke konci září roku 2014. Konkrétně to bylo 21. 9., kdy relativní vlhkost vzrostla až na max. hodnotu 83,9 %.



Graf 38 - Průběh maximální denní relativní vlhkosti v interiéru v roce 2014



Graf 39 - Průběh maximální denní relativní vlhkosti v interiéru v roce 2015

Hustota vodní páry ve vzduchu

Relativní vlhkost udává míru nasycení vzduchu vodní parou a definuje se například jako poměr hustoty vodní páry ρ_v [kg/m^3] a hustoty nasycené vodní páry $\rho_{v,sat}$ [Pa], viz vztah (3.2.2.1.1). Ze známých relativních vlhkostí $\varphi_{i(e)}$ a teplot $T_{ai(e)}$ bylo potřeba pro další analýzy tyto veličiny dle vztahu (3.2.2.1.1 a 3.2.2.1.2) dopočítat. Oba níže uvedené vztahy matematicky dokazují již dříve zmíněnou závislost relativní vlhkosti na interiérových, resp. exteriérových podmínkách.

$$\varphi_{i(e)} = \frac{\rho_{vi(e)}}{\rho_{v,sat}} \Rightarrow \rho_{vi(e)} = \varphi_{i(e)} \cdot \rho_{vi(e),sat} \quad (3.2.2.1.1)$$

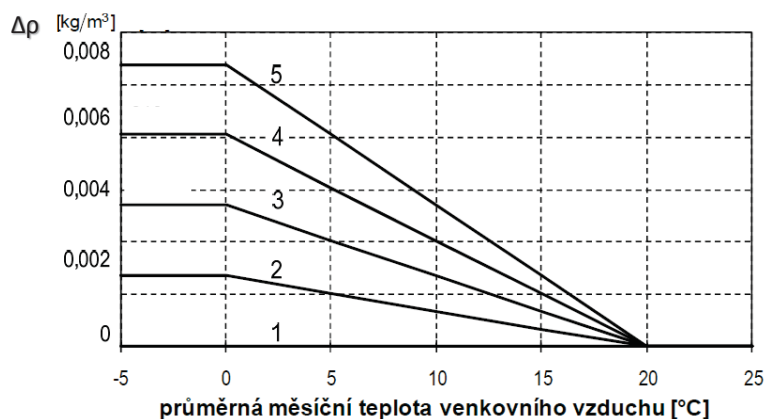
$$\rho_{vi(e),sat} = \frac{a(b + \frac{T_{ai(e)}}{100})^n}{R_v(T_{ai(e)} + 273,15)} \quad (3.2.2.1.2)$$

$$\text{kde pro } -20 \leq T_a \leq 0 \quad a = 4,689 \text{ Pa} \quad b = 1,486 \quad n = 12,3$$

$$0 \leq T_a \leq 30 \quad a = 288,68 \text{ Pa} \quad b = 1,098 \quad n = 8,02$$

Pomocí bilanční rovnice hmotnostních toků vodní páry v ustáleném stavu (3.2.2.1.3) lze pak dopočítat produkci vodní páry v interiéru a objemový tok větracího vzduchu, resp. jejich poměr nazývaný jako přírážka k hustotě vodní páry vlivem provozu $\Delta\rho_v$. Velikost této přírážky se stanovuje v normových výpočtech ČSN EN ISO 13788 [11] dle vlhkostní třídy a průměrné měsíční teploty venkovního vzduchu podle tabulky 3 a grafu na obrázku 14. My však můžeme vyjádřit její hodnotu z naměřených veličin ze vztahu (3.2.2.1.3) a znát její skutečnou velikost v průběhu roku. Pro správnost je nutné dodat, že v bilanci je zanedbáno množství vodní páry difundující skrz obvodové konstrukce, protože je v porovnání s množstvím přenášeným větráním malé.

$$\underbrace{V_a \cdot \rho_{ve}}_{\text{množství vodní páry vstupující do interiéru}} + \underbrace{G}_{\text{produkce vodní páry v interiéru}} = \underbrace{V_a \cdot \rho_{vi}}_{\text{množství vodní páry vystupující z interiéru}} \Rightarrow \rho_{vi} = \rho_{ve} + \underbrace{\frac{G}{V_a}}_{\Delta\rho_v \dots \text{přírážka vlivem provozu}} \quad (3.2.2.1.3)$$



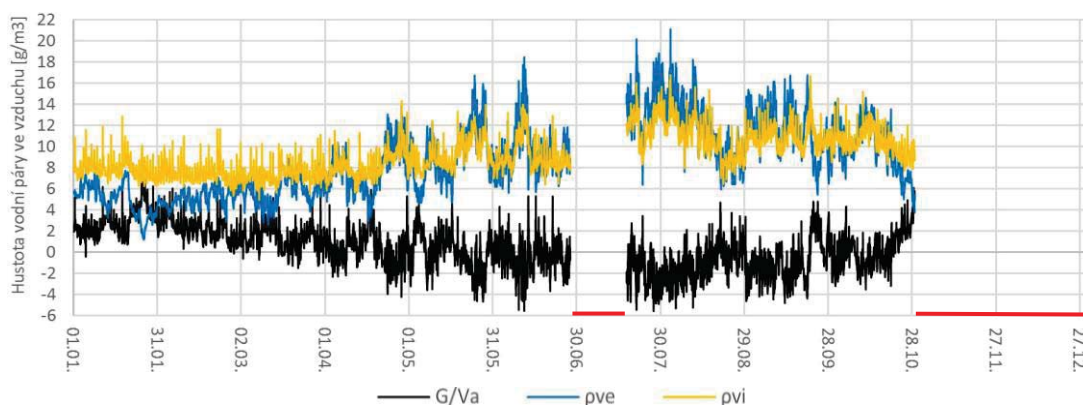
Obrázek 14 - Přírážka $\Delta\rho$ [kg/m^3] pro vlhkostní třídy v závislosti na průměrné měsíční venkovní teplotě

Tabulka 3 - Vlhkostní třídy podle ČSN EN ISO 13788

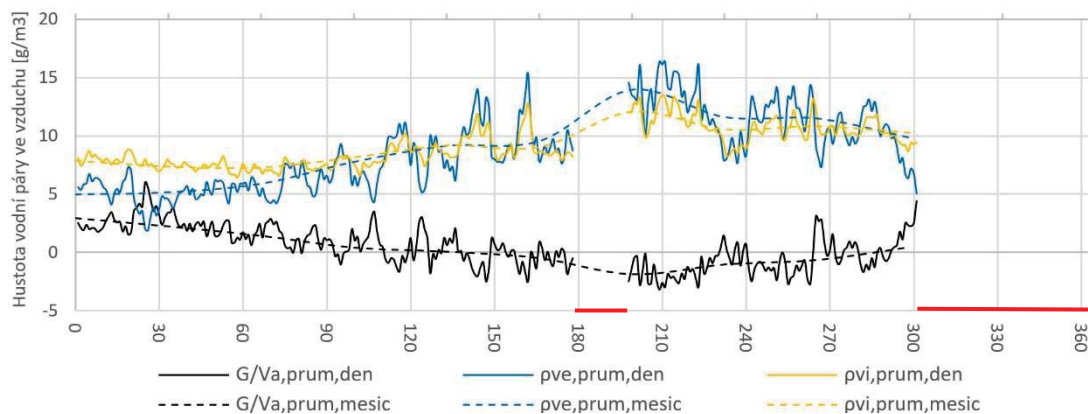
Vlhkostní třída	Budova, provoz
1	Sklady a ostatní objekty bez zdrojů vlhkosti a bez pobytu osob
2	Kanceláře a obchody s nucenou výměnou vzduchu
3	Obytné budovy s malým obsazením osobami
4	Běžné obytné budovy, kuchyně, jídelny
5	Budovy s vlhkým provozem (prádelny, plavecké bazény, sportovní haly atd.)

Stejně jako je u přenosu tepla hnací silou rozdíl teplot, u přenosu vlhkosti je to zase rozdíl hustot vodních par v interiéru a exteriéru. Pomocí zobrazeného množství vodní páry uvnitř (ρ_{vi}) a venku (ρ_{ve}) v grafech 40 - 43 jde vidět, že v typicky zimních měsících (listopad - březen) difundovala vodní pára z interiéru do exteriéru, naopak v létě (červen - srpen), kdy se venkovní teploty pohybují ve vyšších hodnotách než v interiéru, byl směr opačný.

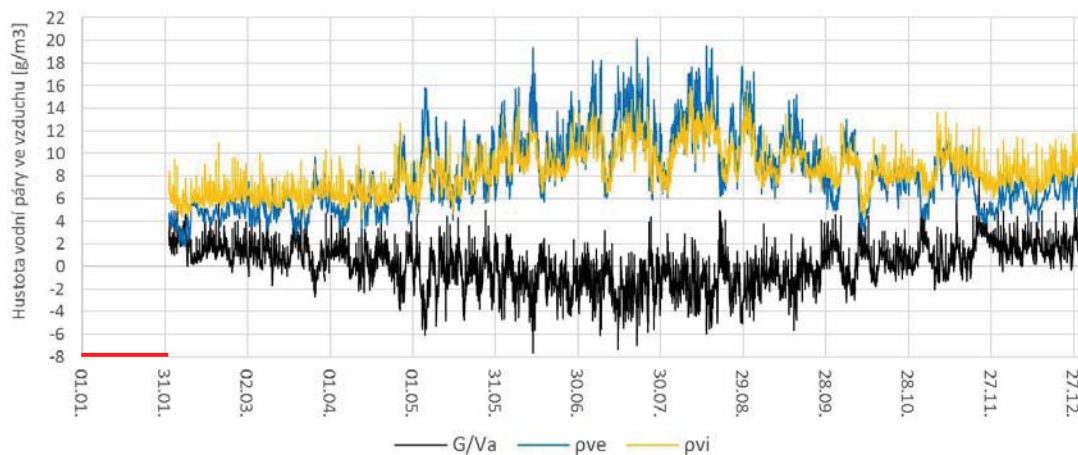
Směr difuze během roku zobrazuje i průběh přírážky vlivem provozu, která se v létě kvůli opačnému směru pohybovala v záporných hodnotách, v zimě naopak v kladných. Její velikost závisí přímoúměrně na vnitřní produkci vodní páry G a nepřímoúměrně na objemovém toku větracího vzduchu V_a . Jinak řečeno, pokud uživatel hodně větrá nebo produkuje málo vodní páry, přírážka je menší, pokud větrá málo nebo hodně zvlhčuje vzduch, přírážka je větší. Jak je vidět v grafech 41 a 43 s průměrnými hodnotami, v zimě (listopad - březen) je poměr G/V_a větší a to pravděpodobně kvůli minimální násobnosti výměny vzduchu. Průměrné měsíční hodnoty se v tomto období pohybují okolo 2 g/m^3 , což dle obrázku 14 přibližně odpovídá 2. vlhkostní třídě. V přechodných měsících s vyššími venkovními teplotami uživatelé pravděpodobně více větrají (nuceně nebo přirozeně) a hodnoty se proto pohybují okolo nuly, což opět odpovídá obrázku 14, kdy s narůstající venkovní teplotou klesá poměr G/V_a . V létě v době nejvyšších venkovních teplot dosahují hodnoty G/V_a podobných hodnot jako v zimě, pouze s opačným znaménkem. Důvodem by mohlo být snížení intenzity větrání, kvůli vyšším venkovním teplotám.



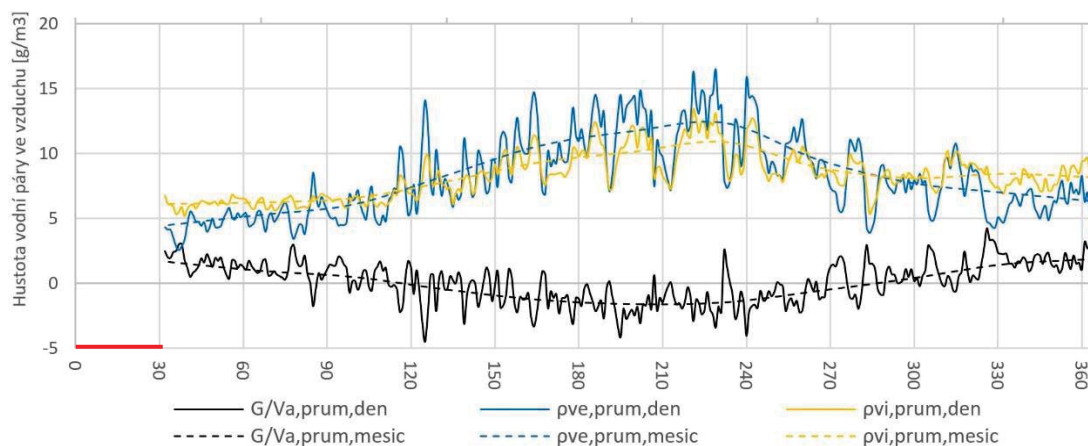
Graf 40 - Průběh hustoty vodní páry v interiéru a exteriéru a přírážky vlivem provozu v roce 2014



Graf 41 - Průběh průměrných denních hodnot hustot vodní páry v interiéru ($\rho_{vi,prum}$) a exteriéru ($\rho_{ve,prum}$) a vlhkostní přírážky ($G/V_{a,,prum}$) v roce 2014



Graf 42 - Průběh hustoty vodní páry v interiéru a exteriéru a přírážky vlivem provozu v roce 2015



Graf 43 - Průběh průměrných denních hodnot hustot vodní páry v interiéru ($\rho_{vi,prum}$) a exteriéru ($\rho_{ve,prum}$) a vlhkostní přírážky ($G/V_{a,,prum}$) v roce 2015

3.2.2.2 Diskuze nad výsledky

Hodnoty relativní vlhkosti by se měly uvnitř budov pohybovat mezi 30 - 70 % [9] (ideálněji mezi 40 – 60 %), aby nedocházelo k příliš suchému či vlhkému vzduchu a tím k ovlivnění našeho zdraví nebo funkce stavebních konstrukcí. Analýza měřených relativních vlhkostí z rodinného pasivního domu v Koberovech ukázala, že se relativní vlhkost v interiéru pohybovala v obou letech obecně v nižších hodnotách a to zejména v otopném období, jak je vidět v histogramech v grafu 34 a v grafech 27 a 31 s ročními průběhy. Konkrétně kolísaly denní průměrné hodnoty v zimních měsících dle grafů 28 a 32 mezi 25 - 40 % a od února do dubna roku 2015 bylo dokonce více než 80 % měření pod hodnotou 30 %. Zároveň byla v průběhu analýzy v grafech 29 a 33 ukázána spojitost nízké relativní vlhkosti a vyšší vnitřní teploty, která v otopném období kolísala průměrně mezi 22 – 24 °C.

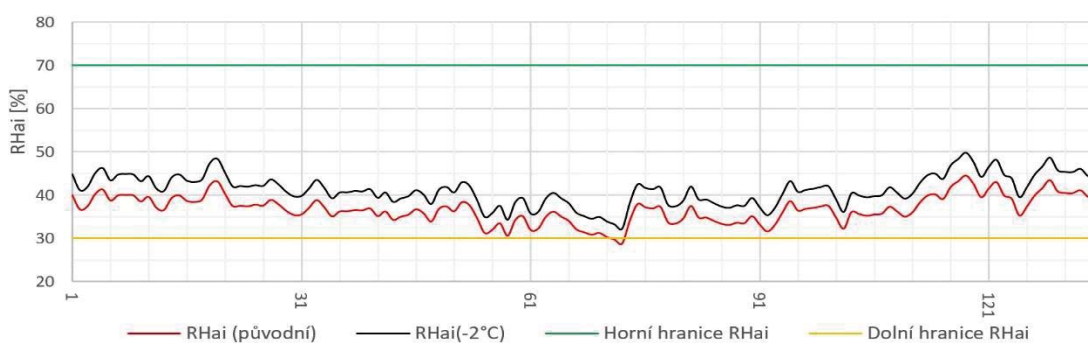
Dle těchto zjištěných dat je potřeba se ptát, proč se relativní vlhkost pohybovala v otopném období v tak nízkých hodnotách? Pokud je to následek obecně vyšší průměrné teploty v interiéru, pomohlo by její snížení zvýšit hodnoty relativní vlhkosti? Nebo může být na vině nucené větrání a nastavená příliš velká výměna vzduchu? A co vliv uživatelů, nemůžou být nízké hodnoty relativní vlhkosti způsobeny např. malou produkcí vodní páry?

Řízené větrání s rekuperací tepla by při správném nastavení jednotky, resp. **měněného objemu vzduchu**, nemělo způsobovat problémy s nízkou relativní vlhkostí a mělo by zajišťovat optimální hodnoty. V typicky zimním období, kdy je kvůli nízkým teplotám nejvyšší riziko vysoušení vzduchu, by mělo být vyměňováno pouze jeho hygienicky nezbytné množství. Naopak z míst, kde by hrozila vysoká vlhkost, by měla jednotka odvádět nadbytečnou vodní páru (koupelna, kuchyň). Pokud by však množství měněného vzduchu bylo hlavně při nízkých venkovních teplotách vyšší, mohlo by být řízené větrání (resp. špatně nastavená velikost objemu větracího vzduchu) příčinou nižších hodnot relativní vlhkosti. V zimních měsících je potřeba udělat tedy jistý kompromis a větrat o něco méně komfortněji, aby nedocházelo k vysoušení vzduchu.

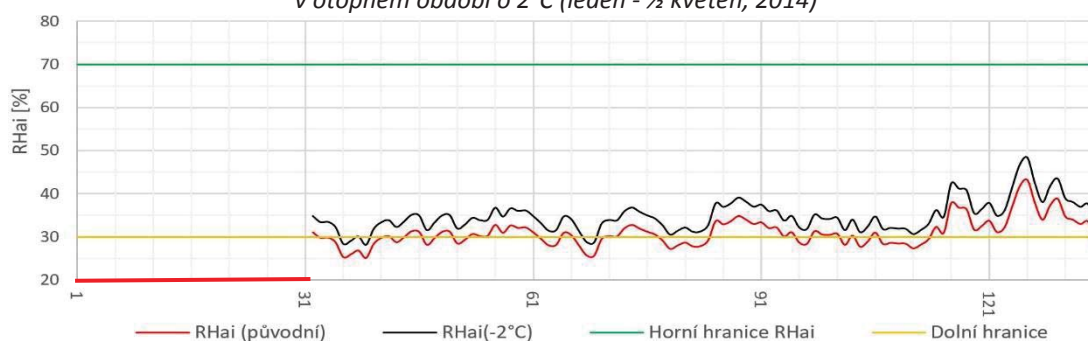
Viníkem nízkých hodnot relativní vlhkosti může být ale i uživatel prostřednictvím **nízké produkce vodní páry**. Ve sledovaném rodinném domě žijí pouze manželé, kteří jsou od rána do večera mimo domov a jejich maminka, která tam je celý den. Nejedná se tedy o typickou rodinu s dětmi, kde je produkce vodní páry odhadem několikanásobně vyšší a může proto i při výměně pouze hygienicky nezbytného množství vzduchu docházet k nízkým hodnotám relativní vlhkosti.

V následujících grafech 44 a 45 je ukázáno, jak by se změnila relativní vlhkost v otopném období (leden - ½ květen) při stejném množství vodní páry a **snížení naměřených**

vnitřních teplot o 2 °C. Relativní vlhkost by stoupla o 4,5 %, což by znamenalo, že v roce 2014 by překročilo 30% hranici relativní vlhkosti pouze 0,3 % měření místo původních 2,6 % a v roce 2015 pouze 5,2 % místo původních 22,9 %. Pro rok 2015 by to znamenalo z hlediska podlimitních dat výrazné zlepšení, i když by se všechny hodnoty zvýšili “pouze” o 4,5 %. Otázkou tedy zůstává, zda uživatelé domu opravdu potřebují pro svůj tepelný komfort vytápět průměrně na 22 – 23 °C nebo by jim stačila např. o 2 °C nižší teplota, aby nedocházelo tak často k nízkým hodnotám relativní vlhkosti?



Graf 44 - Porovnání relativních vlhkostí v interiéru při snížení vnitřní teploty v otopném období o 2°C (leden - ½ květen, 2014)



Graf 45 - Porovnání relativních vlhkostí v interiéru při snížení vnitřní teploty v otopném období o 2°C (leden-květen, 2015)

Prvním již dokázaným řešením nízkých hodnot relativní vlhkosti, které by však pro uživatele nemuselo být komfortní, bylo zmíněné snížení vnitřní teploty ukázané v grafech 44 a 45. Dalším způsobem, i když poměrně nákladným, by mohla být výměna rekuperační výměníku za typ, který umožňuje kromě zpětného získávání tepla i **zpětný zisk vlhkosti (ZZV)**. Existují například regenerační rotační výměníky nebo rekuperační výměníky se speciální membránou s účinností ZZV mezi 60 – 85 %, díky kterým by mohla být část vlhkosti znovu využita, aby nedocházelo k vysoušení interiérového vzduchu. U zpětného získávání vlhkosti je ale potřeba zajistit, aby nečistoty z odváděného vzduchu nevníkaly do vzduchu přírodního.

V následujících grafech 46 a 47 je ukázáno, jak by se změnilы hodnoty relativní vlhkosti v otopném období (leden - ½ květen) při použití výměníku s 60% účinností ZZV. Jsou zde zobrazeny původní denní průměrné hodnoty relativní vlhkosti ($RH_{ai(původní)}$), nové průměrné denní hodnoty ($RH_{ai(ZZV)}$) vypočítané dle vztahu (3.2.2.2.1) a průměrné měsíční

hodnoty dosaženého rozdílu relativních vlhkostí. Z grafů je patrné, že při použití výměníku se zpětným získáváním vlhkosti dojde ke značnému navýšení relativní vlhkosti v otopném období a to průměrně o 10 %. V typicky zimních měsících může být tento rozdíl ještě vyšší. Naopak v přechodných měsících, kdy se venkovní teploty nepohybují už tak nízko a rozdíl koncentrace vodních par uvnitř a venku je minimální, bude navýšení menší.

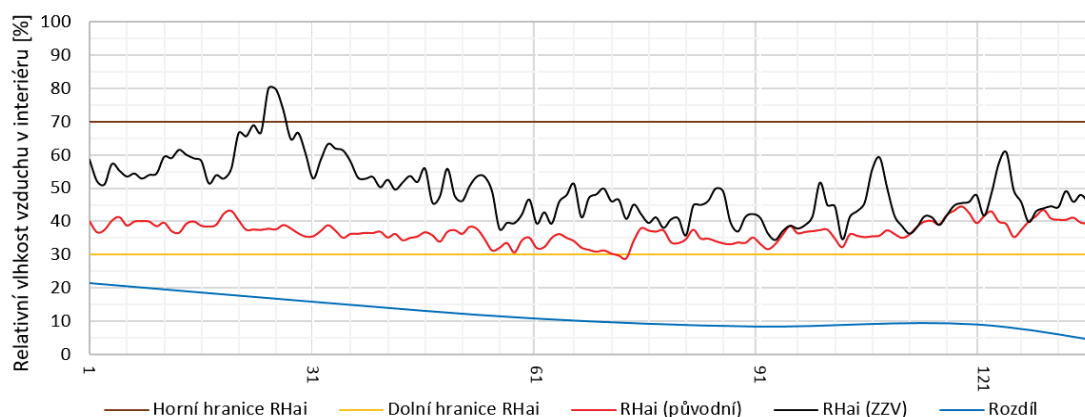
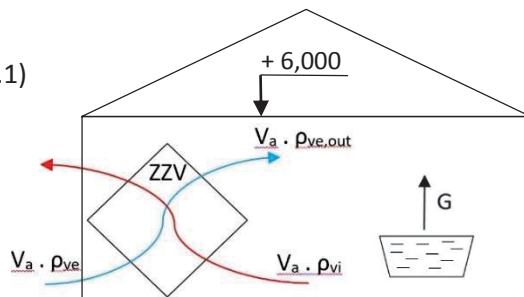
Bilance toků vodní páry:

$$V_a \cdot \rho_{vi} = V_a \cdot \rho_{ve,out} + G \quad (3.2.2.2.1)$$

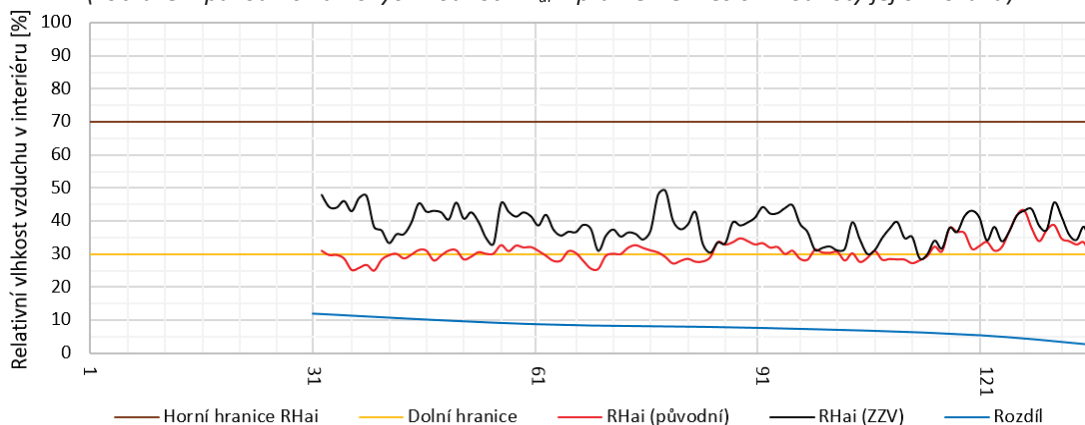
$$V_a \cdot \rho_{vi} = V_a (\rho_{ve} + \eta_{ZZV} (\rho_{vi} - \rho_{ve})) + G$$

↓ Další matematické úpravy

$$\rho_{vi} = \frac{G}{V_a (1 - \eta_{ZZV})} + \rho_{ve}$$



Graf 46 – Zvýšení relativní vlhkosti v interiéru v otopném období pomocí ZZV (rok 2014) (zobrazení původních a nových hodnot RH_{ai} + průměrné měsíční hodnoty jejich rozdílu)

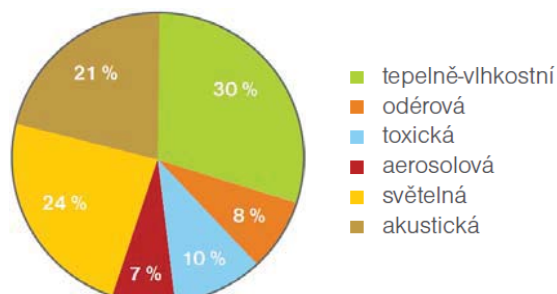


Graf 47 – Zvýšení relativní vlhkosti v interiéru v otopném období pomocí ZZV (rok 2014) (zobrazení původních a nových hodnot RH_{ai} + průměrné měsíční hodnoty jejich rozdílu)

3.3 Kvalita vnitřního prostředí (tepelně-vlhkostní mikroklima)

Kvalitní vnitřní prostředí a maximální komfort uživatelů je cíl, kterého se snažíme dosáhnout ve všech budovách (ne jen v těch pasivních), jelikož právě v nich trávíme většinu

času. Vnitřní klima se skládá z několika složek, které odlišnou měrou a vzájemnou kombinací ovlivňují naše zdraví, spokojenost, výkonnost, ale i životnost a správnou funkci stavebních materiálů a budovy jako celek. Nejvýznamnější složkou vnitřního prostředí je dle obrázku 15 tepelně-vlhkostní mikroklima, které lze zároveň jako jediné z měřených dat hodnotit.



Obrázek 15 - Poměrné zastoupení jednotlivých složek podílejících se na kvalitě vnitřního prostředí [9]

Pro obytné prostory neexistují žádné závazné předpisy, jež by stanovovaly tepelně-vlhkostní mikroklimatické podmínky. Doporučené hodnoty se tak dle různých zdrojů liší, ale vždy se pohybují v podobném rozmezí. Například dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [12], které stanovuje podmínky ochrany zdraví při práci, odpovídá třída práce IIa práci prováděné v obytném prostředí. Přípustné hodnoty pro tuto třídu jsou ukázány v tabulce 4. Dle jiných zdrojů [9] a [13], zabývajících se problematikou pasivních domů, jsou doporučeny hodnoty uvedené v tabulce 5. Jedná se o podobné hodnoty jako v tabulce 4 pouze s tím rozdílem, že jsou specifikované pro dvě odlišná období (otopné, letní). Toto detailnější rozdělení je podle mého názoru lepší, protože v zimě nám mohou vyhovovat jiné podmínky nežli v létě.

Tabulka 4 - Přípustné hodnoty pro pracovní třídu IIa dle nařízení vlády 361/2007 Sb. [12]

Průměrný energetický výdej [W/m^2]	Operativní teplota [$^{\circ}C$]		v_a [m/s]	RH [%]
	$t_{o,min}$	$t_{o,max}$		
81 až 105	18	27	0,1 - 0,2	30 - 70

Tabulka 5 - Doporučené hodnoty tepelně-vlhkostního mikroklimatu dle zdroje [12]

Parametry		topné období	letní období	měřeno
Operativní teplota	$^{\circ}C$	18 - 24	20 - 28	NE – ale měří se teplota vzduchu
Relativní vlhkost vzduchu	%	30 - 70	30 - 70	ANO
Rychlost proudění vzduchu	m/s	$\leq 0,1$	0,1 - 0,2	NE
Rozdíl teplot ve výšce 0,2 a 1,7 m	$^{\circ}C$	≤ 3	≤ 3	NE

Prvním parametrem souvisejícím s kvalitou tepelně-vlhkostního mikroklimatu je **operativní teplota**, jejíž hodnoty nejsou v objektu měřeny. Lze ale předpokládat, že se rovnají měřeným hodnotám teploty vzduchu, protože díky pasivnímu standartu by měly mít ochlazované stěny vysokou teplotu a vzduch by se měl při správném nastavení VZT jednotky pohybovat malými rychlostmi (max. 0,1 - 0 2 m/s). Dle tabulky 5 by se měla operativní teplota pohybovat v otopném období mezi 18 – 24 °C a v letním období o něco výše mezi 20 – 28 °C. Zda se měřené hodnoty vnitřních teplot vyskytovaly v těchto mezích, je detailněji popsáno v podkapitole 3.2.1.

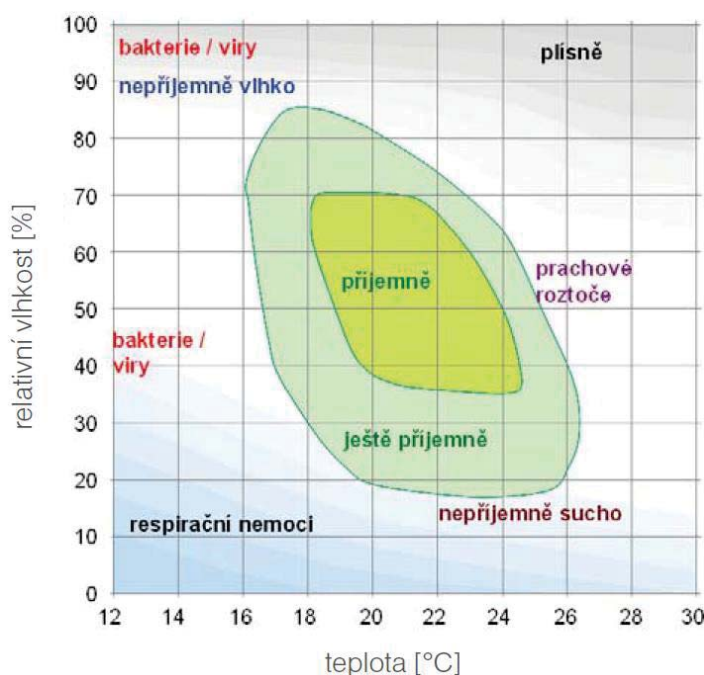
Dalším podstatným údajem je **vertikální rozložení teplot**, které se liší dle různých typů vytápění a rozdíl mezi kotníky a hlavou člověka by neměl překročit 3 °C. Rozložení teplot nebylo v objektu měřeno a nejsme schopni tuto část vyhodnotit.

Dalším důležitým parametrem ovlivňujícím naše zdraví, komfort ale i životnost a správnou funkci stavebních materiálů je **relativní vlhkost vzduchu**, která by se měla podle tabulky 4 i 5 po celý rok pohybovat mezi 30 – 70 %. Zda se hodnoty měřených relativních vlhkostí vyskytovaly v těchto mezích, je detailněji popsáno v podkapitole 3.2.2. Vyšší vlhkost zvyšuje množství přežívajících mikroorganismů v ovzduší (už od 60 % RH_{air}), může zapříčinit tvorbu plísní na chladných místech (což by neměl být v pasivním domě problém) a také zbytečně zvyšuje množství vodní páry difundující skrz konstrukce, které by mohlo po cestě obvodovými stěnami zkonenzovat. Zároveň na vlhkosti, resp. na množství vodní páry ve vzduchu, závisí ochlazování organismu odpařováním potu, kdy při velké koncentraci vodní páry může dojít k přehřátí. Naopak příliš suchý vzduch způsobuje vysoušení sliznic a zdravotní potíže s tím spojené, snižuje ale množství roztočů a výskyt alergií.

Na tepelnou pohodu má dále vliv **rychlost proudění vzduchu**, která by se měla pohybovat max. mezi 0,1 – 0,2 m/s. S vyšší rychlostí proudícího vzduchu dochází k ochlazování povrchu těla a tím k pocitu “průvanu” a většího chladu při stejné vnitřní teplotě. Naopak velmi malé rychlosti způsobují pocit “stojícího vzduchu” a tím snížené odpařování a rychlý nárůst únavy a nesoustředěnosti. Rychlost proudění vzduchu nebyla v objektu měřena a nelze tuto část vyhodnotit.

3.3.1 Vliv teploty a relativní vlhkosti na kvalitu vnitřního prostředí

Na obrázku 16 jsou zobrazeny oblasti hodnot relativních vlhkostí a vnitřních teplot v interiéru, kdy se uživatelé cítí příjemně, kdy je to ještě přijatelné a kdy už vzniká velký diskomfort vlivem zhoršení kvality vnitřního prostředí. Pomocí grafu na obrázku 16 jsou pro porovnání sestaveny grafy 48 a 49, kde je zobrazen výskyt skutečných průměrných denních hodnot relativních vlhkostí a teplot (krbem neovlivněných) v jednotlivých obdobích během let 2014 a 2015.



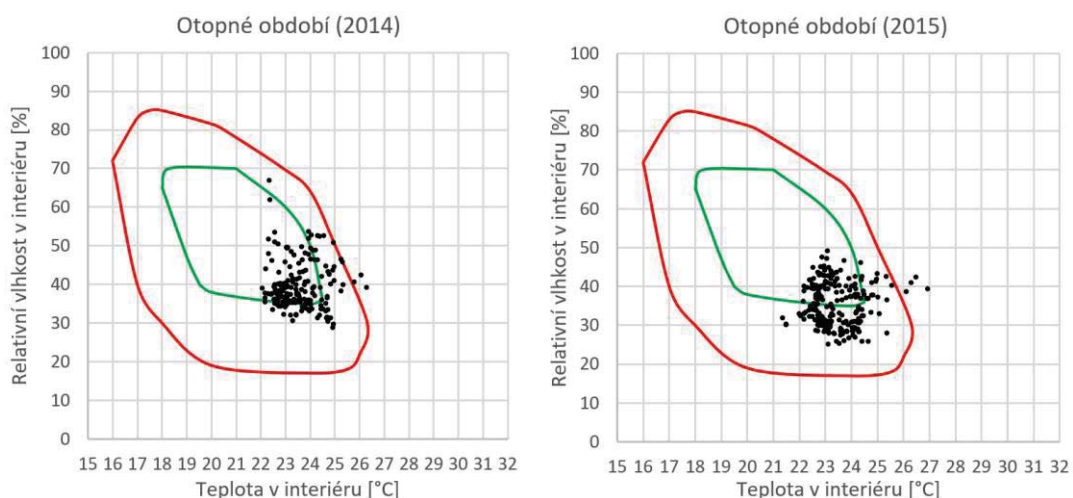
Obrázek 16 - Diagram vlivu teploty a relativní vlhkosti na komfort a případná rizika zhoršení kvality vnitřního prostředí [9]

Z grafů 48 a 49 je patrné, že kvalita tepelně-vlhkostního mikroklima nebyla během roku úplně ideální. V otopném období byly měřené průměrné denní hodnoty teplot a relativních vlhkostí v přijatelnějších mezích než v létě a jen zřídka překročily oblast, kdy se uživatelé cítí ještě příjemně (červená čára). Shluk naměřených průměrných hodnot je v tomto období v menším rozptýlu, což je způsobeno poměrně stálou vnitřní teplotou bez velkých výkyvů. Ve vertikálním směru je v grafickém znázornění při porovnání s letním obdobím patrný větší rozsah bodů z důvodu nestálých relativních vlhkostí. Průměrné denní hodnoty relativní vlhkost klesaly v zimě až k 25 % (hlavně v roce 2015). Zároveň je v roce 2014 vidět již dříve zmíněná vysoká relativní vlhkost, která pouze v jednom jediném dni během obou měřených let přesáhla horní 70% limitní hranici a to při nejnižších vnitřních teplotách. Oproti tomu v letním období překračují průměrné hodnoty velmi často oblast ještě přijatelných hodnot (červená čára) a kvalita vnitřního mikroklima se jeví jako značně nevyhovující. Shluk

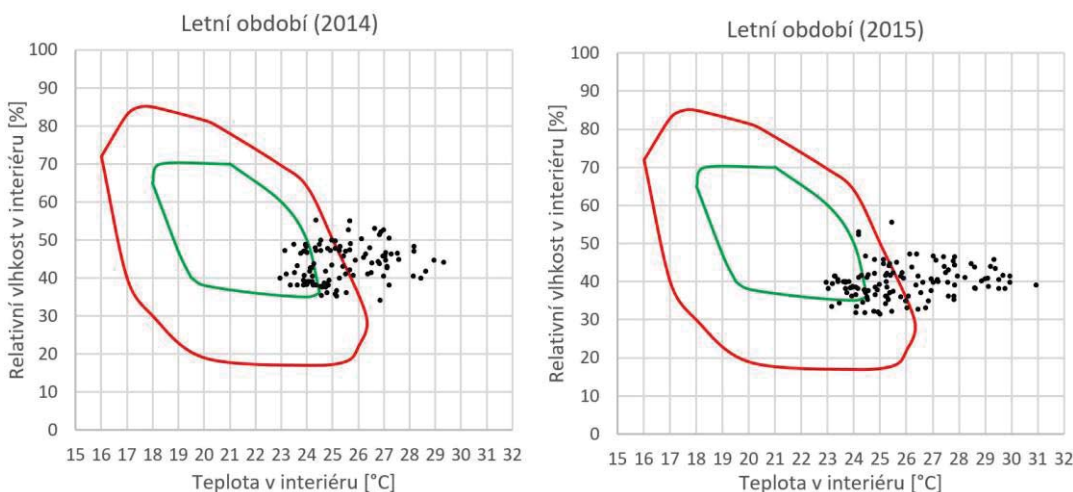
naměřených průměrných hodnot je v tomto období plošší a ve větším rozptylu v horizontálním směru z důvodu většího rozmezí vnitřních teplot, které dosahovaly až k 31°C.

Dle grafů 48 a 49 lze předpokládat, že bylo pro uživatele zejména v letním období uvnitř domu velké teplo, naopak v zimě mohli mít pocit sucha. Oba extrémny jsou markantnější v roce 2015, kdy bylo vnitřní klima teplejší a sušší.

Dále by bylo vhodné zmínit procentuální množství hodnot, které překročili oblast příjemných hodnot (zelená čára) a oblast ještě přípustných hodnot (červená čára). To však nelze přesně zjistit, protože zmíněné oblasti byly pouze opticky odhadnuty dle obrázku 16 a neexistuje pro ně žádný matematický předpis.



Graf 48 – Zobrazení denních průměrných hodnot relativních vlhkostí a teplot v otopném období



Graf 49 – Zobrazení denních průměrných hodnot relativních vlhkostí a teplot v letním období

Toto hodnocení nebere v úvahu schopnost člověka se přizpůsobovat okolním podmínkám, a proto méně odpovídá reálnému komfortu či diskomfortu. V následující podkapitole je z tohoto důvodu posouzeno tepelně-vlhkostní mikroklima dle jiného hodnocení (ČSN EN 15251), které zavádí tzv. adaptivní model.

3.3.2 Hodnocení vnitřního prostředí dle ČSN EN 15251

Norma ČSN EN 15251 [14] využívá na rozdíl od předchozího hodnocení tzv. adaptivní model založený na vzájemné interakci člověka a vnitřního prostředí, kdy je uživatel schopen očekávat a přizpůsobit se teplejším podmínkám. Tento model je možné použít pouze v objektech bez strojního chlazení, kde člověk vykonává práci v sedě s metabolickým výdejem v rozmezí od 1 do 1,3 met a kde je schopen ovlivnit teplotní podmínky např. otevřením oken či změnou oblečení.

V tabulce 6 jsou uvedeny 4 kategorie vnitřního prostředí definované na základě hodnot PPD (Predicted percentage of dissatisfied = předpokládané procento nespokojených), a PMV (Predicted mean vote = předpokládaná střední volba), jež berou v úvahu tepelný odpor oděvu, intenzitu činnosti, teplotu vzduchu, střední radiační teplotu, rychlost proudění a relativní vlhkost. Vzhledem k pasivnímu standartu analyzovaného domu by se měly měřené hodnoty pohybovat v kategorii I a II.

Tabulka 6 - Kategorie vnitřního prostředí dle ČSN EN 15251 [14]

Kategorie	PPD [%]	PMV	Popis
I	< 6	- 0,2 < PMV < + 0,2	Vysoká úroveň očekávání - doporučena pro prostory s velmi citlivými osobami s křehkým zdravím, se zvláštními požadavky (nemocní, velmi malé děti, starší osoby)
II	< 10	- 0,5 < PMV < + 0,5	Běžná úroveň očekávání – pro nové budovy a rekonstrukce
III	< 15	- 0,7 < PMV < + 0,7	Přijatelné, střední úroveň očekávání – pro stávající budovy
IV	> 15	PMV < - 0,7 nebo + 0,7 < PMV	Hodnoty mimo kritéria pro výše uvedené kategorie – přípustné pouze po omezenou část roku

Na obrázku 17 jsou graficky zobrazeny rozsahy operativních teplot ($\vartheta_{i,max}$, $\vartheta_{i,min}$) pro jednotlivé kategorie, jejichž limitní hodnoty jsou definovány dle vztahů (3.3.2.1 – 3.3.2.6) podle zdroje [14] v závislosti na klouzavé střední teplotě venkovního vzduchu ϑ_{rm} .

Kategorie I horní limit: $\vartheta_{i,max} = 0,33 \vartheta_{rm} + 18,8 + 2$ pro $10 < \vartheta_{rm} < 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (3.3.2.1)

 dolní limit: $\vartheta_{i,min} = 0,33 \vartheta_{rm} + 18,8 - 2$ pro $15 < \vartheta_{rm} < 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (3.3.2.2)

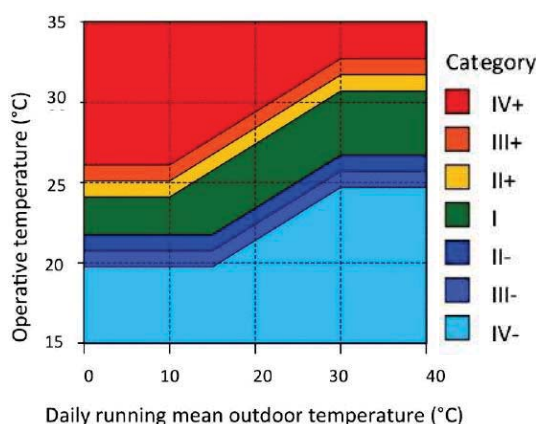
Kategorie II horní limit: $\vartheta_{i,max} = 0,33 \vartheta_{rm} + 18,8 + 3$ pro $10 < \vartheta_{rm} < 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (3.3.2.3)

 dolní limit: $\vartheta_{i,min} = 0,33 \vartheta_{rm} + 18,8 - 3$ pro $15 < \vartheta_{rm} < 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (3.3.2.4)

Kategorie III horní limit: $\vartheta_{i,max} = 0,33 \vartheta_{rm} + 18,8 + 4$ pro $10 < \vartheta_{rm} < 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (3.3.2.5)

 dolní limit: $\vartheta_{i,min} = 0,33 \vartheta_{rm} + 18,8 - 4$ pro $15 < \vartheta_{rm} < 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (3.3.2.6)

kde ϑ_{rm} je klouzavá střední teplota venkovního vzduchu



Obrázek 17 - Rozsahy operativních teplot pro jednotlivé kategorie dle ČSN EN 15251 [15]

Pro zobrazení naměřených hodnot bylo nutné dopočítat již zmíněnou klouzavou střední teplotu venkovního vzduchu, která zjednodušeně řečeno říká, jak bylo nejen ve vyhodnocovaný den, ale i jak bylo den předchozí. Hodnoty byly stanoveny dle vztahu (3.3.2.6) dle zdroje [14].

$$\vartheta_{rm} = (1 - \alpha) \vartheta_{ed-1} + \alpha \vartheta_{rm-1} \quad (3.3.2.6)$$

kde ϑ_{rm} ... klouzavá střední teplota venkovního vzduchu pro vyhodnocovaný den

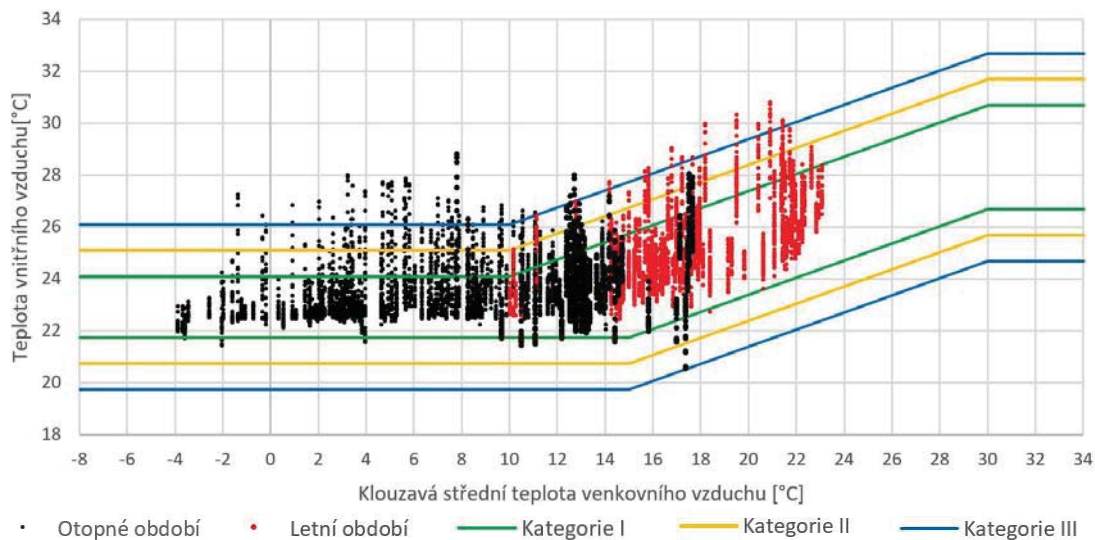
ϑ_{rm-1} ... klouzavá střední teplota venkovního vzduchu pro předchozí den

ϑ_{ed-1} ... denní střední teplota venkovního vzduchu pro předchozí den

α ... konstanta, doporučená hodnota = 0,8

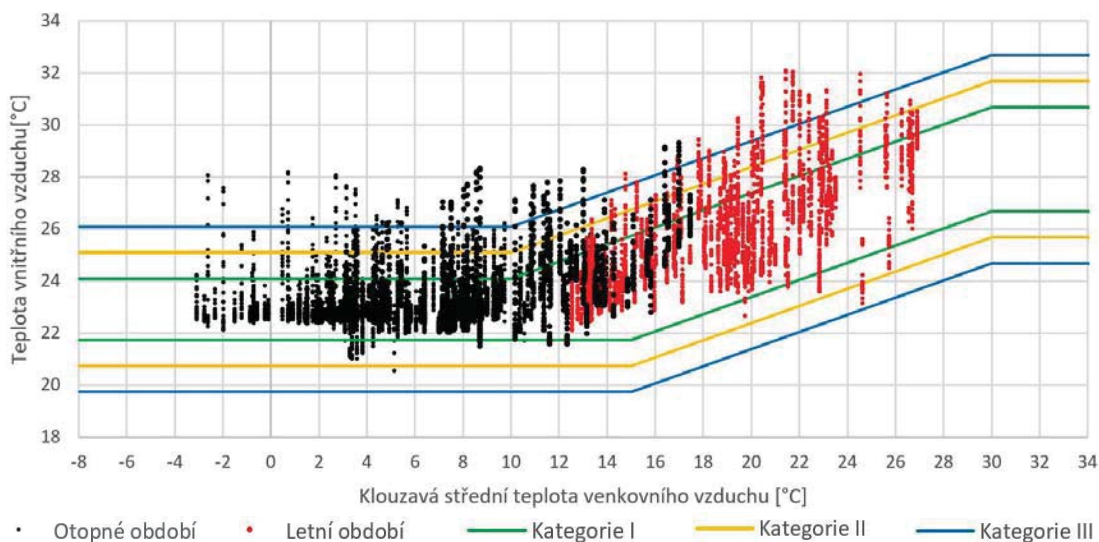
V grafech 50 a 51 jsou roztříděny průměrné hodinové hodnoty vnitřních teplot podle denní klouzavé střední venkovní teploty se zobrazením limitních hranic jednotlivých kategorií. Tyto naměřené hodnoty by se měly podle mého názoru vyskytovat vzhledem k pasivnímu standartu budovy v maximálním rozsahu I. a II. kategorie. Z grafů je patrné, že se průměrná hodinová vnitřní teplota pohybovala často nad horní hranicí II. kategorie a dolní limit naopak téměř nikdy nepřekročila. Konkrétní procentuální zastoupení měřených hodnot v jednotlivých kategoriích během obou let je zobrazeno v grafu 52. Z tohoto grafu je patrné, že požadovaný standart II. kategorie překročilo v roce 2014 7% měření (492 hodin), z toho 2 % hodnot (159 hodin) bylo dokonce v kategorii IV. V roce 2015 překročilo limitní hranice II. kategorie 9 % měření (704 hodin), z toho 4 % (283 hodin) bylo v kategorii IV.

Jak tyto výsledky vyhodnotit není v normě jasně řečeno. Z grafů 50 a 51 je pouze jasně vidět, že se vnitřní teplota pohybovala dosti vysoko a její minimální hodnoty byly posazeny průměrně o 2 °C výše než dolní hranice kategorie II. Zároveň se hodnoty občas pohybovaly v kategorii IV a to konkrétně 2 – 4 % času. Zda je toto procento času vysoké, nelze posoudit, protože v tabulce 6 je pouze řečeno, že kategorie IV je přípustná jen po omezenou část roku, kolik hodin by to ale mělo být, není specifikováno.



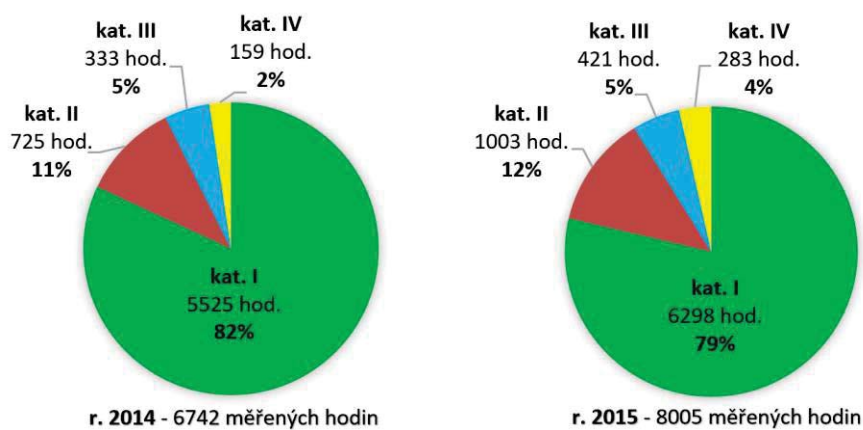
Graf 50 – Vyhodnocení dle ČSN EN 15251 (rok 2014)

(Pozn. Roztřídění průměrných hodinových hodnot vnitřní teploty podle denních hodnot kluzavé střední teploty venkovního vzduchu)



Graf 51 – Vyhodnocení dle ČSN EN 15251 (rok 2015)

(Pozn. Roztřídění průměrných hodinových hodnot vnitřní teploty podle denních hodnot kluzavé střední teploty venkovního vzduchu (rok 2015))



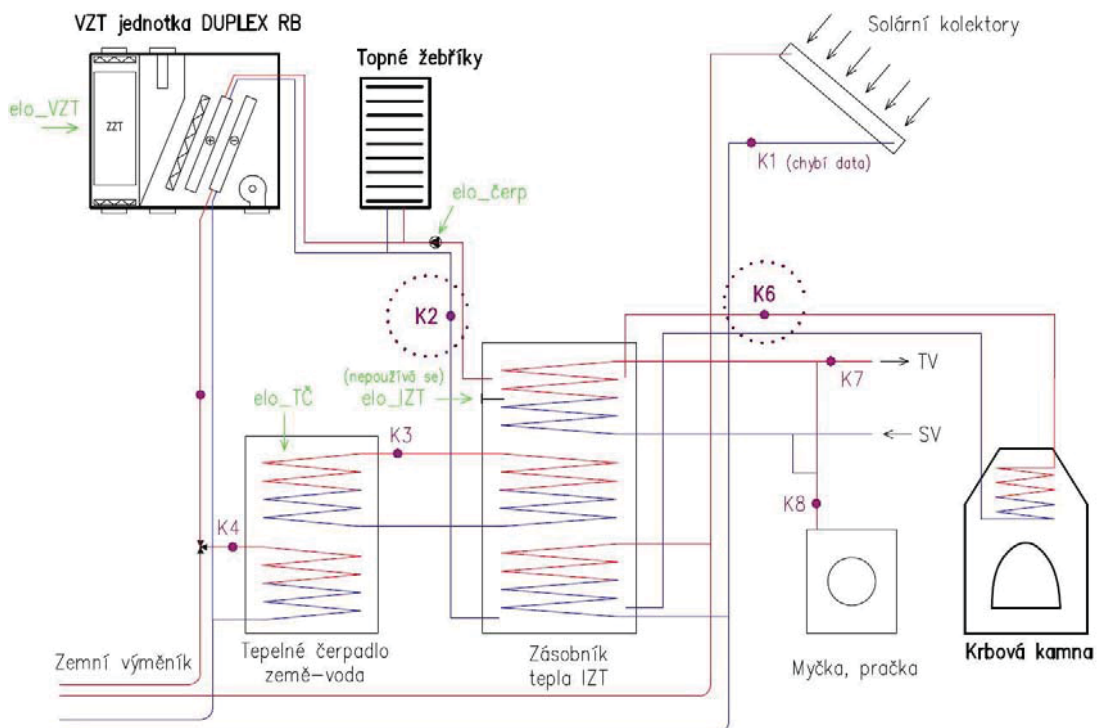
Graf 52 – Vyhodnocení vnitřního prostředí dle ČSN EN 15251

3.4 Spotřeby energií

3.4.1 Spotřeba energie na vytápění

Pro dosažení tepelné pohody je využito několika systémů, jež se odlišnou měrou podílí na vytápění objektu. Tím nejvýznamnějším prvkem je vzduchotechnická jednotka Duplex RB, která dům teplovzdušně vytápí, větrá a chladí a díky osazenému rekuperačnímu výměníku zároveň snižuje samotnou spotřebu tepla na vytápění. Dalšími systémy podílejícími se na vytápění objektu jsou topné žebříky osazené v koupelnách a krbová kamna s teplovodním výměníkem v obývacím pokoji.

Dle obrázku 18 s TZB schématem je vidět, že energie proudící do topných žebříků a VZT jednotky je měřena pomocí jednoho společného kalorimetrického počítadla K2. Oproti tomu teplo předávané pomocí krbových kamen do obývacího pokoje není nijak zaznamenáváno, ale dá se určitým způsobem předpokládat. Krb dle zdroje [10] zhruba 50 % tepelné energie předává do akumulčního zásobníku, to je měřeno pomocí kalorimetrického počítadla K6, a 50 % odevzdává do místnosti. Část energie předávané do zásobníku se dále využívá prostřednictvím topné vody pro vytápění a proto je potřeba 50% podíl odevzdaný do místnosti (část pro vytápění) o něco zvýšit. Z celkové tepelné energie vyrobené krbem je v dalších analýzách uvažováno 75 % pro vytápění.



Obrázek 18 - Schéma TZB s kalorimetry – vyznačení údajů důležitých pro vytápění

V tabulce 7 jsou zobrazeny statistické údaje spotřeb energie na vytápění během měřených let 2014 a 2015. Na základě měření kalorimetru K2 je vidět, že v roce 2014 nastal téměř roční výpadek a kalorimetr K2 nezaznamenal data o spotřebě tepla pro VZT a otopné žebříky (kromě posledních 3 dní v roce). Z tohoto důvodu nejsou vyplněny data o průměrných denních spotřebách, která by byla zavádějící.

Tabulka 7 – Statistické údaje spotřeb tepelné energie na vytápění

Typ	Rok	Počet měření		Počet topných dní		Roční spotřeba	Průměrná denní spotřeba		Max. denní spotřeba
				kdy se topilo	kdy se topilo v otopném období min. 1 hod/den		kdy se topilo	kdy se topilo v otopném období min. 1 hod/den	
		[den]	[hod]	[den]	[den]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
VZT + otopné žebříky (K2)	2014	3	52	2	2	42,8	výpadek měření (zavádějící výsledek)	výpadek měření (zavádějící výsledek)	26,9
	2015	365	8738	236	187	2717	11,5	14,5	34,2
Krb (K6)	2014	343	8200	38	38	308	8,1	7,6	58,5
	2015	365	8738	36	36	326	9,0	8,4	19,5

Vysvětlení k tabulce:

Počet měření – počet dní/hodin, kdy byla měřena data

Počet topných dní (kdy se topilo) – počet dní, kdy se pomocí zdroje topilo (byť jen jednou)

Počet topných dní (kdy se topilo min. 1hod/den) – počet dní, kdy se pomocí zdroje topilo minimálně 1 hodinu za celý den

Roční spotřeba – celková spotřeba energie za rok

Průměrná denní spotřeba (kdy se topilo) – průměrná denní spotřeba ve dnech, kdy se topilo (byť jen jednou)

Průměrná denní spotřeba (kdy se topilo min. 1hod/den) – průměrná denní spotřeba ve dnech, kdy se topilo min. 1 hodinu

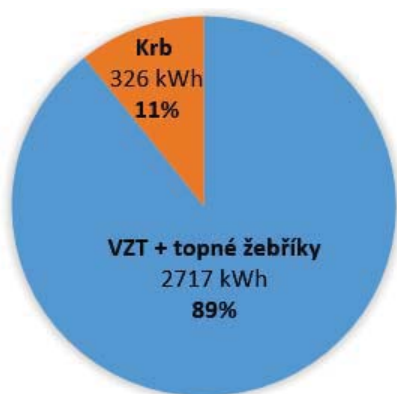
Max. denní spotřeba – maximální denní spotřeba, která nastala za celý rok

VZT jednotka se podílí největší měrou na vytápění objektu, což dokazuje graf 53, kde roční podíl VZT a otopných žebříků činil v roce 2015 89 % a jejich celková roční spotřeba byla 2717 kWh. Dle tabulky 7 se pomocí VZT jednotky nebo otopných žebříků topilo (byť jen na malou chvíli) až 2/3 roku a průměrná denní spotřeba byla v těchto dnech 11,5 kWh. Dle grafu 54 se zobrazeným ročním průběhem je ovšem vidět, že se topilo i v době, kdy to nebylo nutné a nejspíše byly zapnuty pouze topné žebříky v koupelnách (např. v létě nebo přechodných měsících) a tyto dny jsou zahrnuty v počtu topných dní. Proto je v tabulce 7 uveden i druhý sloupec u průměrné denní spotřeby a počtu topných dní, kdy se v otopném období topilo minimálně 1 hodinu denně. Počet topných dní klesl zhruba na 1/2 roku (187 dní) a průměrná spotřeba se v těchto dnech zvýšila na hodnotu 14,5 kWh.

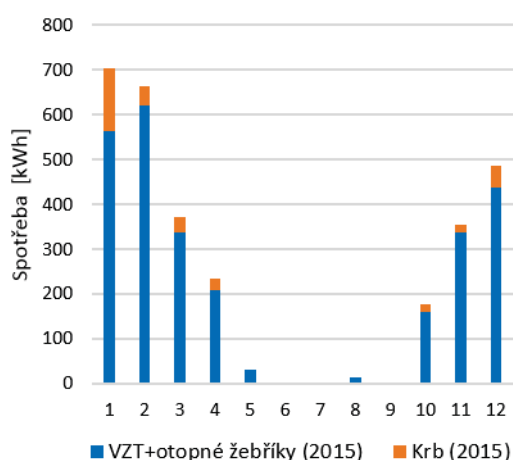
Krb je v objektu pouze doplňkovým zdrojem, což je patrné z grafu 53, kde byl jeho podíl na vytápění v roce 2015 pouze 11 %, a celková roční spotřeba činila 326 kWh. Uživatelé

v něm topili během obou let málo a to dle tabulky 7 cca 1/10 roku s průměrnou denní spotřebou $\approx 8,5$ kWh. Pouze na konci roku 2014 (30. 12.) se v krbu topilo až nevysvětlitelně nadprůměrně a byla dosažena za pouhých 25 minut max. denní spotřeba 58,5 kWh. Toto číslo je podezřele vysoké a nejspíš chybné, protože během 5 minut měření byl z krbu do zásobníku zaznamenán přírůstek tepelné energie o hodnotě 24 kWh, kdežto během celého roku činila tato hodnota vždy pouze 1,5 kWh. Dle mého názoru došlo nejspíš k chybě měření, protože takto extrémní přírůstek je nepravděpodobný a zcela vybočuje z celoročního měřeného chování.

Roční spotřeba energie na vytápění (2015)



Měsíční spotřeba energie na vytápění

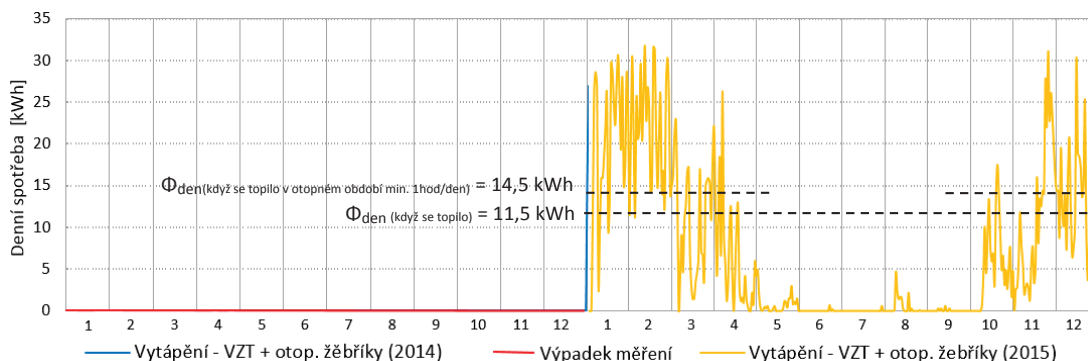


Graf 53 - Podíl jednotlivých tepelných zdrojů na spotřebě energie na vytápění (rok 2015)

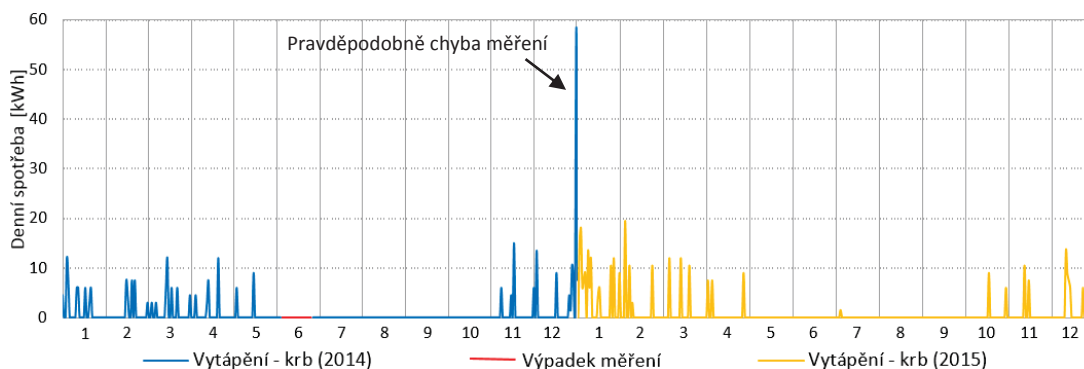
V grafu 54 je zobrazen průběh denních spotřeb tepla vzduchotechnickou jednotkou a otopnými tělesy během let 2014 a 2015. V první polovině grafu, jež zobrazuje rok 2014, je vidět téměř roční výpadek dat, kromě posledních 3 dnů. Z jakého důvodu nebyly data na tomto jediném kalorimetru zaznamenány, není známo. V roce 2015 je vidět jasný roční průběh, kdy se topilo hlavně leden - únor a listopad - prosinec, o trochu méně v přechodných měsících a v letním období téměř vůbec. Občasná spotřeba v letních měsících je pravděpodobně způsobena použitím otopných žebříků v koupelnách, což by bylo pravděpodobně možné ověřit z měřených teplot VZT jednotky, které v této práci nejsou analyzovány. Z grafu 54 je patrná již zmíněná max. denní spotřeba 34,2 kWh, která nastala na konci roku 2015, a průměrná denní spotřeba v otopném období (kdy se topilo déle než 1 hodinu) pohybující se okolo 14,5 kWh.

V grafu 55 je zobrazen průběh denních spotřeb tepla pomocí krbových kamen během let 2014 a 2015. Je patrné, že uživatelé zatápěli v krbu pouze občas v otopném období a

spotřeba byla v zimních měsících několikrát menší než u VZT jednotky. Na konci roku 2014 je vidět již zmíněný nezvyklý nárůst spotřeby, kdy byla změřena max. denní spotřeba 58,5 kWh.



Graf 54 - Průběh denních spotřeb tepla na vytápění (VZT a otopné žebříky) během let 2014 a 2015



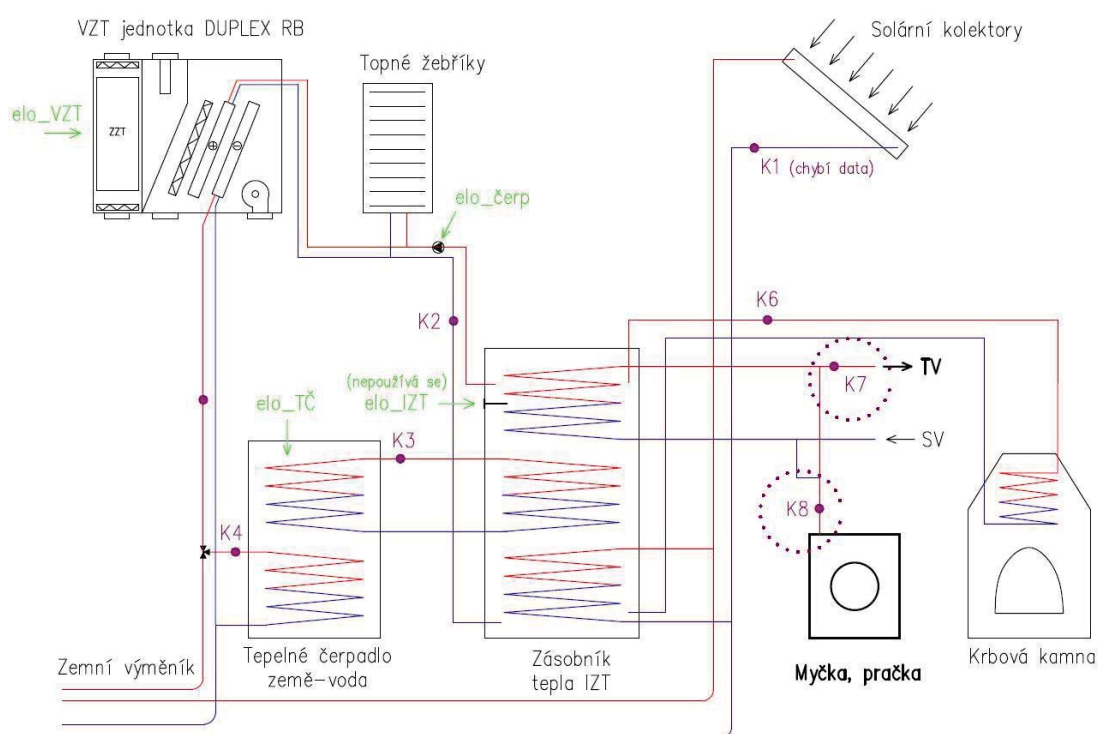
Graf 55 - Průběh denních spotřeb tepla na vytápění (krb) během let 2014 a 2015

Celková roční spotřeba tepla na vytápění zahrnující teplovzdušné vytápění, otopné žebříky i krbová kamna byla v roce 2015 3043 kWh, což při vnější podlahové ploše 175 m² znamená měrnou roční potřebu tepla na vytápění 17,4 kWh/m². Tato hodnota splňuje požadavek pro pasivní rodinné domy (20 kWh/(m²a)) a naměřené hodnoty lze považovat za reálné.

3.4.2 Spotřeba energie na ohřev TV

Studená voda je průtočně ohřívána v integrovaném zásobníku tepla, odkud proudí do sociálních zařízení pro přímou spotřebu (kohoutková voda) a do myčky a pračky. Jedná se o energeticky úspornější systém, protože teplá voda potřebná pro praní či mytí nádobí je průtočně ohřáta pomocí již teplé vody ohřáté od obnovitelných zdrojů energie (tepelné čerpadlo, solární kolektory, krbová kamna), a nedochází tak k ohřevu až ve spotřebiči pomocí přímé elektrické energie.

Na obrázku 19 je patrné osazení kalorimetrů měřících spotřebu tepelné energie pro ohřev vody pro přímou spotřebu (K7) a pro ohřev vody do myčky a pračky (K8).



Obrázek 19 - Schéma TZB – vyznačení údajů důležitých pro ohřev TV

3.4.2.1 Předpokládána spotřeba

Předpokládána spotřeba tepla na ohřev TV (kohoutkové vody)

Před samotnou analýzou bylo nutné nejdříve vypočítat předpokládanou spotřebu tepla potřebného na ohřátí kohoutkové vody, aby bylo možné ověřit, zda naměřená data z kalorimetru K7 odpovídají realitě. V tabulce 8 jsou dle TNI 73 0302 [16] uvedeny denní spotřeby teplé vody [l] na 1 osobu při různých standardech a z nich jsou dále dopočítány celkové roční spotřeby vody [m³] pro celý objekt při uvedené obsazenosti 3 osobami. Z kalorimetrické rovnice pak byly dle vztahu (3.4.2.1.1) dopočítány celkové roční spotřeby tepla pro celý objekt pro jednotlivé standardy. Pokud se uživatelé chovají standardně a příliš

neplýtvají či naopak příliš nešetří, měly by se naměřené hodnoty pohybovat ve střední kategorii s roční spotřebou tepla na ohřev vody mezi 1150 – 2290 kWh.

$$Q_{TV} = \frac{V_{TV,rok} * \rho * c * \Delta T}{3,6 * 10^6} \quad [\text{kWh}] \quad (3.4.2.1.1)$$

kde $V_{TV,rok}$... roční předpokládaná spotřeba teplé vody pro celý objekt dle tabulky 8 [m³]

ρ ... hustota vody $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

c ... měrná tepelná kapacita vody $c = 4180 \text{ J/(kg.K)}$

ΔT ... teplotní spád $\Delta T = 45 \text{ K}$

Tabulka 8 - Denní předpokládaná spotřeba TV a tepla na ohřev TV

Typ budovy	Typ spotřeby	Denní spotřeba na osobu	Obsazenost objektu	Roční spotřeba pro celý objekt	
		[l/os.den]		[osoba]	[m ³]
Obytné budovy	Nízký standart	10 – 20	3	11 – 22	570 - 1150
	Střední standart	20 - 40		22 – 44	1150 - 2290
	Vysoký standart	40 - 80		44 – 88	2290 - 4580

Předpokládaná spotřeba tepla pro pračku a myčku

Opět bylo nutné nejdříve vypočítat předpokládanou spotřebu tepla pro ohřev vody do pračky a myčky, aby bylo možné ověřit, zda naměřená data z kalorimetru K8 odpovídají realitě.

Předpokládaná spotřeba byla zjištěna 2 odlišnými způsoby:

1. Tabulka 9 - zde jsou uvedeny orientační spotřeby teplé vody [l] novějších spotřebičů na 1 praní/mytí podle zdroje [17], z nich jsou vypočteny roční spotřeby vody při typickém využívání spotřebičů [m³] a dle vztahu (3.4.2.1.1) jsou dopočítány roční spotřeby energie [kWh]
2. Tabulka 10 – zde jsou uvedeny hodnoty z technických listů náhodně vybraných spotřebičů [18, 19], konkrétně spotřeba vody na 1 praní/mytí [l], spotřeba energie na 1 praní/mytí [kWh], roční spotřeba energie [kWh], roční spotřeba vody [m³]

Zjištěné roční spotřeby v tabulkách 9 a 10 jsou pouze předpokládanými hodnotami pro typickou domácnost, která využívá spotřebiče standardním způsobem, tedy pere například zhruba 4 pračky týdně a pouští myčku zhruba 6x týdně. Pokud uživatelé nevlastní extrémně staré spotřebiče, což se nepředpokládá, a využívají je tímto typickým způsobem, pak by se měla spotřeba energie na ohřev vody pro praní a mytí pohybovat mezi 400 – 600 kWh ročně.

Tabulka 9 - Roční předpokládaná spotřeba vody a tepla pro pračku a myčku – 1. způsob

Tabulka 10 - Roční předpokládaná spotřeba vody a tepla pro pračku a myčku – 2. způsob

Druh	ΔT	1 mytí/praní	Počet cyklů/týden	Počet cyklů/rok	Roční spotřeba	
					[m ³]	[kWh] – dle (7)
-	[K]	[l]	[-]	[-]		
Pračka	30	40	4 x	208	8,3	290
Myčka	55	15	6 x	312	4,68	300
Celkem					11,4	590
Druh	Příklad výrobku		1 mytí/praní	Počet cyklů/rok	Roční spotřeba	
-	-		[kWh]	[l]	[-]	[m ³]
Pračka	Zanussi (7 kg prádla, A+++)		≈ 0,7	50	220	9,5
Myčka	Zanussi (13 jídel. souprav, A+)		≈ 1,1	11	280	3,1
Celkem					12,6	466

3.4.2.2 Skutečná spotřeba

V tabulce 11 jsou zobrazeny statistické údaje ohledně spotřeb energie na ohřev kohoutkové vody a vody pro pračku a myčku během let 2014 a 2015. Odběr teplé vody pro přímou spotřebu probíhal dle tabulky 11 každý den měření a celková roční energie potřebná pro její ohřev se pohybovala mezi 1250 – 1300 kWh. Z kalorimetrické rovnice (3.4.2.1.1) lze dopočítat, že při ohřevu vody z 10°C na 55°C vychází denní spotřeba teplé vody kolem 70 l, tedy při obsazenosti 3 osobami je to 23 l na jednoho uživatele. Tímto množstvím vody spadá naměřená spotřeba dle tabulky 8 do střední kategorie, což znamená, že výsledky jsou reálné.

Pračka a myčka byla oproti přímé spotřebě teplé vody využívána dle tabulky 11 o něco méně a to zhruba ve 3 ze 4 měřených dnů. Při analýze dat bylo zjištěno, že měřené hodnoty byly extrémně vysoké a nebylo jasné v jakých jednotkách kalorimetr K8 měřil. Vzhledem k tomu, že byla měřená spotřeba 10x vyšší (3575 kWh) než předpokládaná spotřeba z tabulek 9 a 10, je nejpravděpodobnější vysvětlením, že kalorimetr měřil stejně jako ostatní kalorimetry v kWh pouze s tím rozdílem, že hodnoty zaznamenával 10x vyšší. Z jakého důvodu není jasné, ale pokud bychom uvažovali naměřené hodnoty pouze z 10 %, roční spotřeba tepelné energie by se pohybovala mezi 310 – 360 kWh za rok, což už jsou zcela reálné výsledky. V případě přepočtu spotřeby energie dle kalorimetrické rovnice (3.4.2.1.1) s předpokládaným průměrným rozdílem teplot okolo 45°C, by se celková roční spotřeba teplé vody pohybovala okolo 6,5 m³. Množství vody nelze ale přesně spočítat, protože nelze relevantně určit přesný poměr praček a myček na dané spotřebě a každý ze spotřebičů ohřívá vodu na jinou potřebnou teplotu. Směrodatný údaj je proto u pračky a myčky spíše spotřeba energie a množství spotřebované vody udávané v tabulce 11 je pouze orientační.

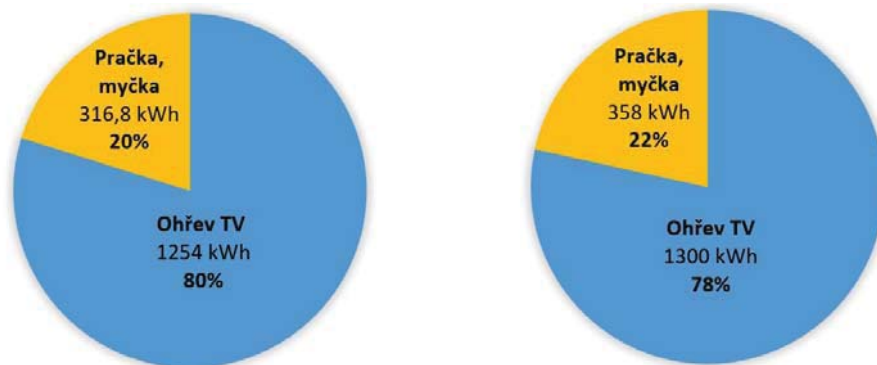
Tabulka 11 - Statistické údaje spotřeb energie na ohřev TV

	Rok	Počet měření	Počet využití	Roční spotřeba		Průměrná denní spotřeba (když byl odběr)		Průměrná denní spotřeba		Max. denní spotřeba	
		[den]	[den]	[kWh]	[m ³]	[kWh]	[l]	[kWh]	[l]	[kWh]	[l]
Ohřev TV (kohoutkové)	2014	343	343	1254	24,0	3,7	70,0	3,7	70,0	11	210,5
	2015	365	361	1300	24,9	3,6	68,9	3,6	68,2	11	210,5
Pračka, myčka	2014	343	267	317	6,1	1,2	22,7	0,9	17,7	6,1	116,7
	2015	365	309	358	6,8	1,2	22,2	1,0	18,8	6,0	114,8

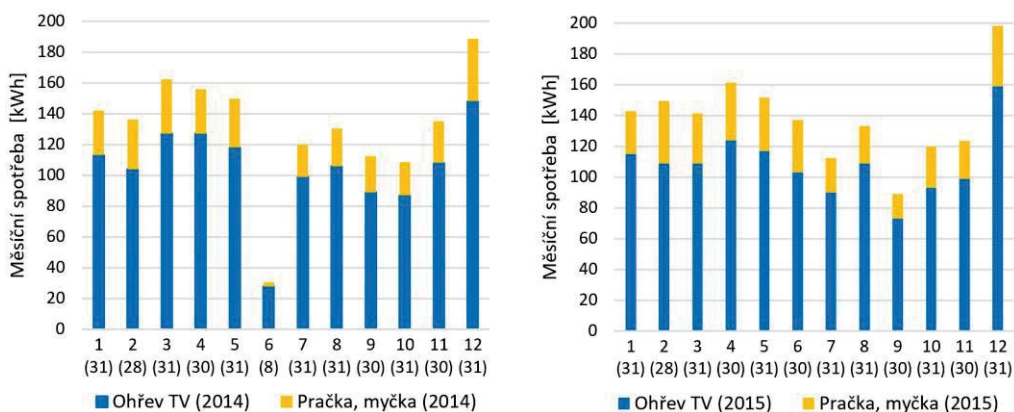
Vysvětlení k tabulce:

Počet měření – počet dní, kdy byla měřena data
 Počet využití – počet dní, kdy byl odběr (byť jen jednou nebo na malou chvíli)
 Roční spotřeba – celková spotřeba energie na ohřev vody za rok
 Průměrná denní spotřeba (když byl odběr) – průměrná denní spotřeba ve dnech, kdy byl odběr
 Průměrná denní spotřeba – průměrná denní spotřeba za rok
 Max. denní spotřeba – maximální denní spotřeba, která nastala za celý rok

V grafu 56 a 57 je zobrazen podíl jednotlivých spotřeb na celkové spotřebě energie na ohřev teplé vody během jednotlivých měsíců a za celý rok. Teplá voda využívaná přímo (sprchování, mytí rukou, atd.) činila v obou letech zhruba 80 % celkové spotřeby energie na ohřev teplé vody, voda ohřívána pro praní či mytí nádobí pouze 20 %.



Graf 56 - Roční podíly na spotřebě energie na ohřev TV (rok 2014 - vlevo, rok 2015 vpravo)

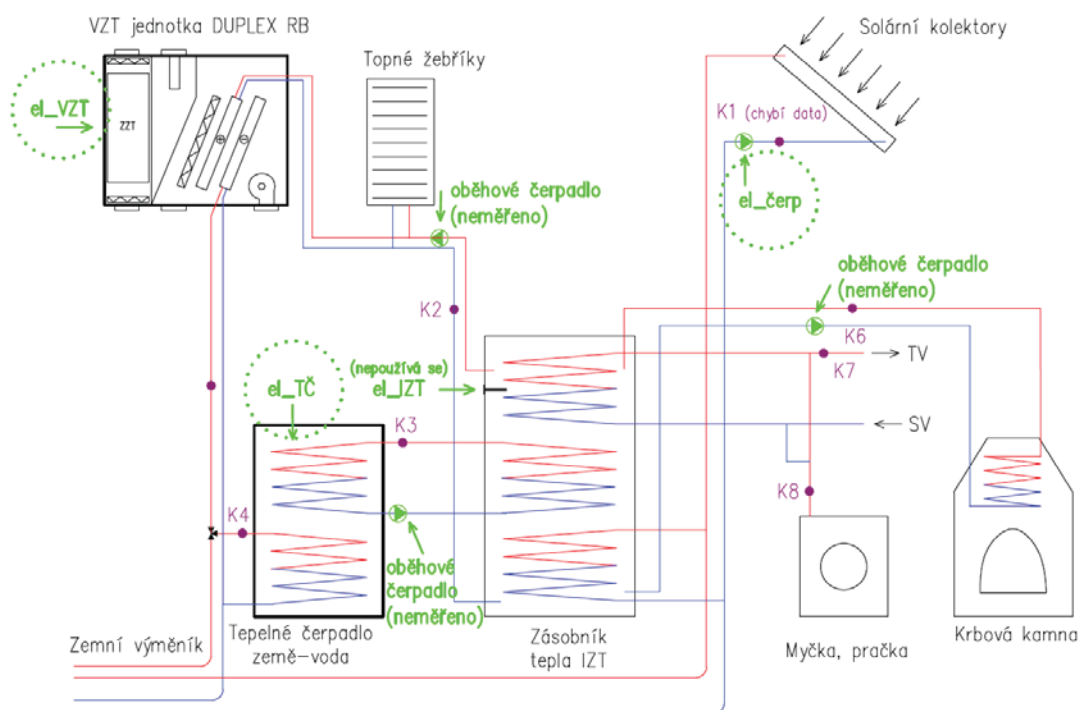


Graf 57 - Měsíční podíl spotřeb energie na ohřev teplé vody (rok 2014 - vlevo, rok 2015 vpravo) (pozn. pod měsícem zobrazen počet měřených dní)

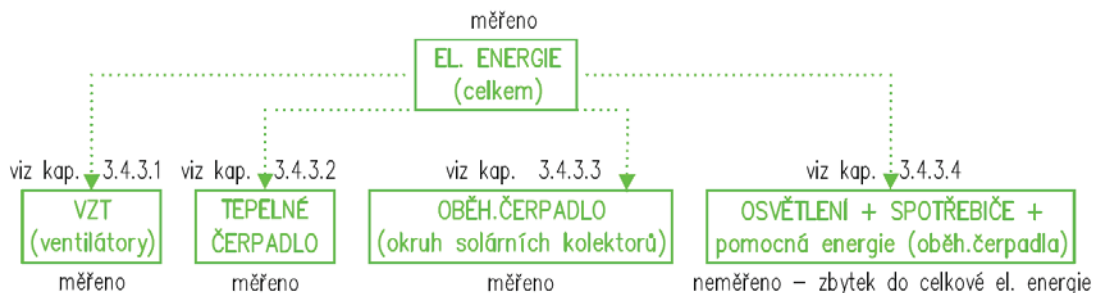
3.4.3 Spotřeba elektrické energie

V objektu je osazeno několik podružných elektroměrů, jež měří spotřebu elektrické energie jednotlivých technických systémů. Konkrétně je měřena spotřeba elektrické energie vzduchotechnické jednotky (elo_VZT), tepelného čerpadla země-voda (elo_TČ) a oběhového čerpadla osazeného pravděpodobně v solárním okruhu (elo_čerp). Dále je měřena celková elektrická energie na patě domu, ve které jsou zahrnuty další neměřené spotřeby elektřiny, jako je elektrická energie potřebná na osvětlení, pohon drobných domácích spotřebičů a dalších oběhových čerpadel (topný okruh, okruh tepelného čerpadla, okruh krbu).

Z obrázku 20 a 21 je patrné, že ne všechna elektrická energie byla v objektu měřena. Pokud však odečteme elektrickou energii spotřebovanou pro VZT jednotku, tepelné čerpadlo a oběhové čerpadlo v solárním okruhu, od celkové spotřeby na patě domu, dostaneme sumu těchto neznámých spotřeb elektrické energie. Na obrázku 20 je zobrazen zásobník tepla s el. topnou spirálou, která podle měřených dat v letech 2014 a 2015 nebyla využita.

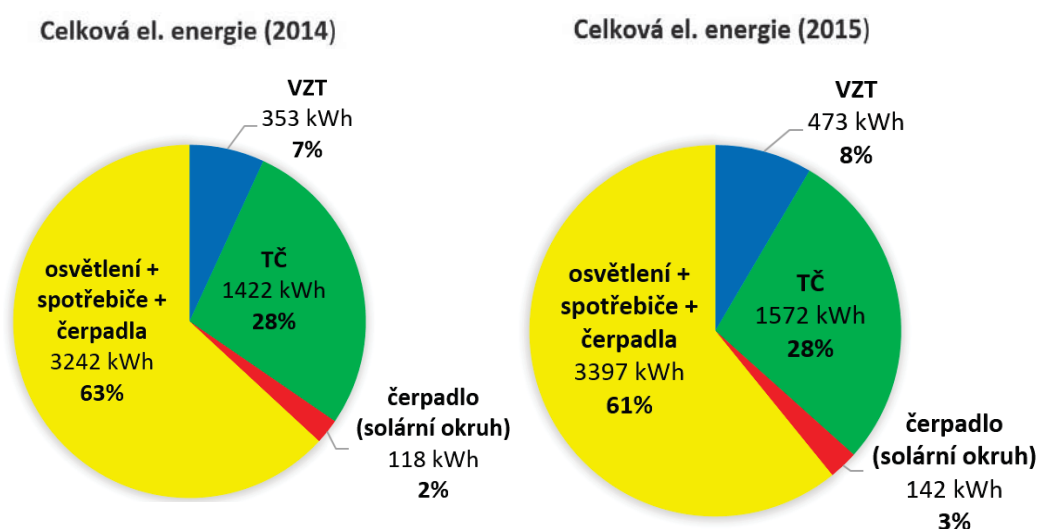


Obrázek 20 - Schéma TZB – vyznačení údajů důležitých pro spotřebu elektrické energie

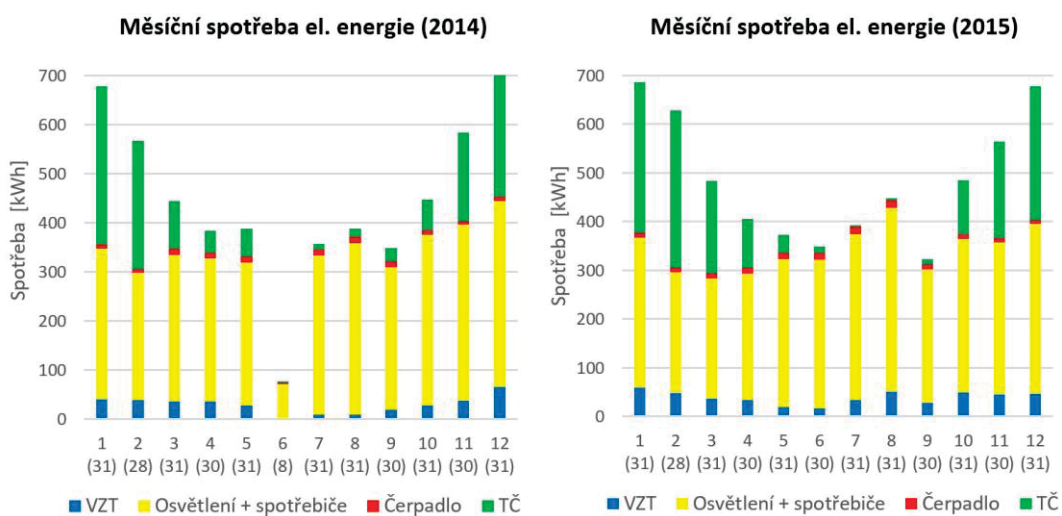


Obrázek 21 – Schéma elektrické energie a rozdělení do jednotlivých složek

V grafu 58 a 59 je zobrazen podíl jednotlivých složek na roční, resp. měsíční spotřebě celkové elektrické energie během let 2014 a 2015. Z grafů je patrné, že největší podíl na celkové spotřebě elektřiny má dopočítaná složka zahrnující osvětlení, spotřebiče a neměřená oběhová čerpadla a tvoří více než 60 % celkové spotřeby. Druhým nejvýznamnějším spotřebitelem elektrické energie je tepelné čerpadlo, které využívá pro svůj chod téměř 30 % celkové elektrické energie. VZT jednotka pak spotřebovává kolem 8 % celkové spotřeby elektrické energie a měřené čerpadlo solárního okruhu dokonce jen okolo 2 %. Konkrétní data o spotřebách jednotlivých spotřebičů jsou rozebrána v následujících podkapitolách.



Graf 58 - Podíl jednotlivých složek na roční spotřebě celkové elektrické energie (rok 2014 a 2015)



Graf 59 - Podíl jednotlivých složek na měsíční spotřebě celkové elektrické energie (rok 2014 a 2015)

3.4.3.1 Vzduchotechnická jednotka

Vzduchotechnická jednotka využívá elektrickou energii pro pohon ventilátoru odpadního a cirkulačního vzduchu. Dle tabulky 12 se jejich celková roční spotřeba pohybovala mezi 350 – 470 kWh, což činí pouze 7 - 8 % celkové elektrické energie spotřebované v RD. Dle tabulky 12 byla VZT jednotka využívána každý den měření (pouze v roce 2014 se nepoužívala 2 dny) a její průměrná denní spotřeba se pohybovala mezi 1,0 – 1,3 kWh.

Tabulka 12 - Statistické údaje spotřeb el. energie potřebné na chod VZT jednotky

Elektrická energie	Rok	Počet měření	Počet využití	Roční spotřeba	Průměrná denní spotřeba (když byl odběr)	Průměrná denní spotřeba	Max. denní spotřeba
		[den]	[den]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
VZT	2014	343	341	353,3	1,04	1,03	3
	2015	365	365	472,5	1,29	1,29	4,6

Vysvětlení k tabulce:

Počet měření – počet dní, kdy byla měřena data

Počet využití – počet dní, kdy byl odběr el. energie (byť jen jednou nebo na malou chvíli)

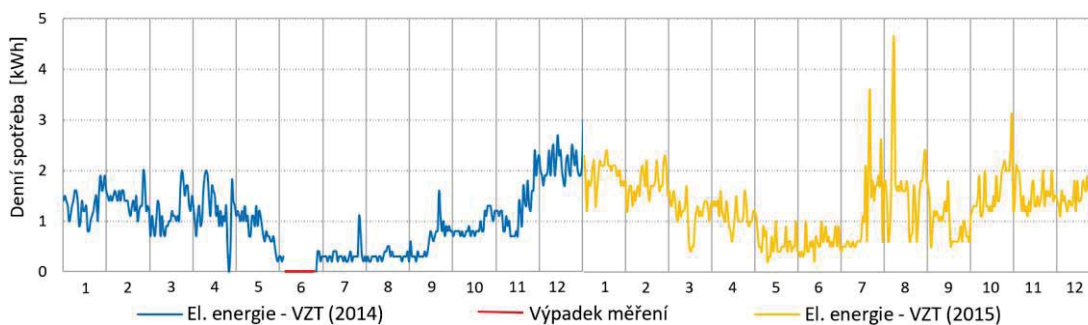
Roční spotřeba – celková spotřeba energie el. energie za rok

Průměrná denní spotřeba (když byl odběr) – průměrná denní spotřeba ve dnech, kdy byl odběr el. energie

Průměrná denní spotřeba – průměrná denní spotřeba el. energie za rok

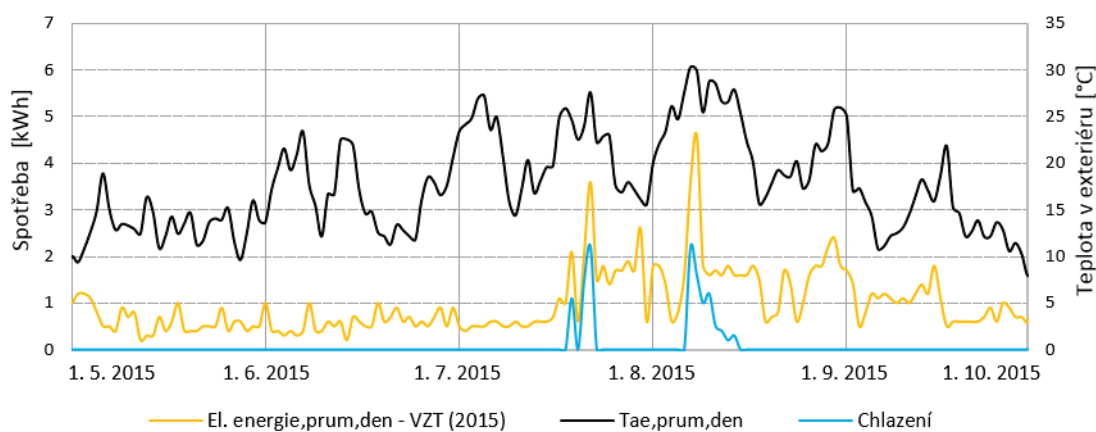
Max. denní spotřeba – maximální denní spotřeba el. energie, která nastala za celý rok

Graf 60 zobrazuje průběh naměřených denních spotřeb elektrické energie potřebné pro chod ventilátorů ve VZT jednotce během let 2014 až 2015. Z grafu je patrné, že spotřeba elektrické energie byla nejvyšší v zimních měsících, kdy je nutné pomocí VZT jednotky nejen větrat ale i vytápět a ventilátory jsou často v provozu. Průměrné denní hodnoty se v této části roku pohybovaly mezi 1 – 1,5 kWh. V přechodných měsících, kdy se tolik netopí a uživatelé větrají i okny, dosahovala spotřeba dle grafu 60 menších hodnot a trend snižování spotřeby elektrické energie pokračoval až do léta. V létě roku 2014 spotřebovávala VZT jednotka už minimum elektrické energie a denní hodnoty se pohybovaly okolo 0,5 kWh. V létě roku 2015 byl tento trend přerušen a je vidět, že v období červenec – srpen spotřebovávala VZT jednotka neočekávaně velké množství energie.

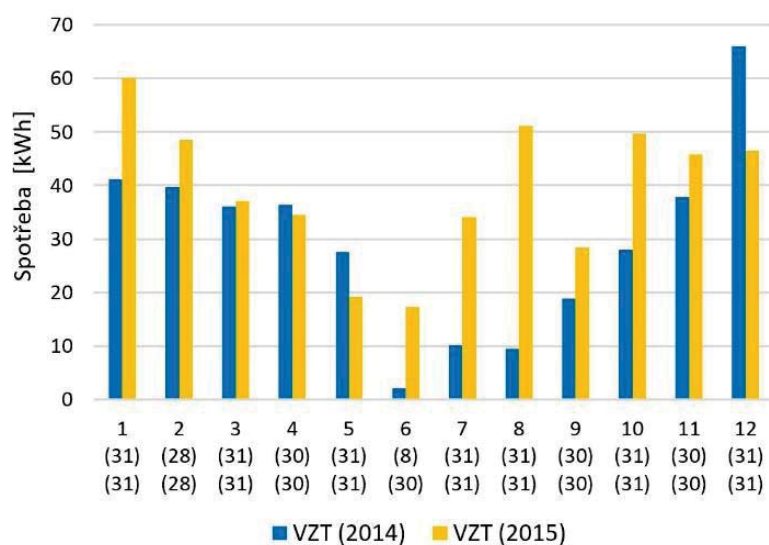


Graf 60 - Průběh denních spotřeb el. energie potřebné na chod VZT jednotky (rok 2014 a 2015)

Zmíněný letní nárůst spotřeby elektrické energie pravděpodobně souvisí s teplejším létem, které v roce 2015 nastalo, kdy právě v červenci a v srpnu byl podle grafu 5 v kapitole 3.1.1 velký počet letních a tropických dní. V grafu 61 je zobrazen výsek roku 2015 (květen - září) se zobrazenými denními hodnotami spotřeby elektrické energie a chladu ve VZT jednotce a s průměrnou denní teplotou v exteriéru. Z grafu 61 vyplývá, že v druhé polovině července a první polovině srpna byl objekt chlazen pomocí VZT jednotky, což mělo za následek velké výkyvy spotřeby elektrické energie. Spotřeba energie byla ale vysoká, i když objekt chlazen nebyl, což by mohlo být způsobeno vyšším využitím nuceného větrání (nastavením uživatele). Dá se předpokládat, že uživatelé v době nejvyšších teplot v exteriéru větrali pouze pomocí vzduchotechniky, aby nepouštěli skrze okna příliš teplý vzduch do objektu.



Graf 61 - Průběh denních hodnot spotřeb elektrické energie VZT jednotky a spotřeby chladu pro VZT jednotku a denních průměrných teplot v exteriéru (květen-září 2015)



Graf 62 – Měsíční spotřeba el. energie na chod VZT jednotky (rok 2014 a 2015)

3.4.3.2 Tepelné čerpadlo země-voda

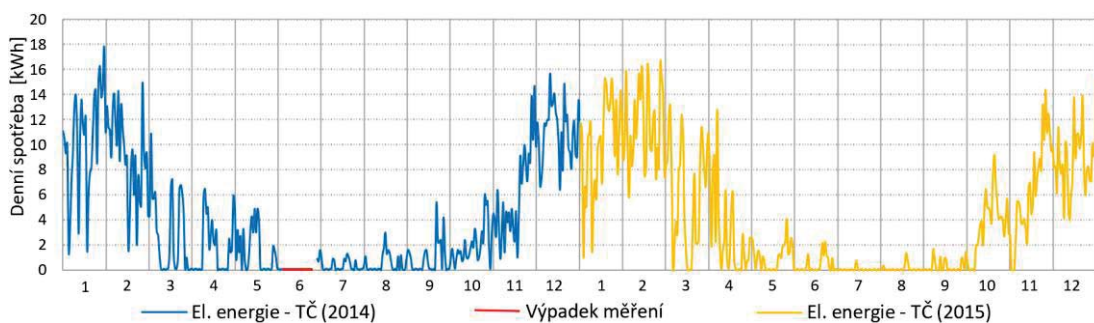
Elektrická energie se v tepelném čerpadle spotřebovává na pohon kompresoru a dalších pomocných komponentů. Spotřeba elektrické energie se během měřených let 2014 a 2015 pohybovala mezi 1400 – 1600 kWh za rok, což činilo zhruba 28 % celkové elektrické energie spotřebované v RD. Z grafu 63 a tabulky 13 je patrné, že většina elektrické energie byla spotřebována v otopném období, kdy je tepelné čerpadlo hlavním zdrojem tepla a ohřívá jak užitkovou, tak i topnou vodu. Zatímco v období letním, kdy je účinnost solárních kolektorů největší a je potřeba ohřívat pouze teplou užitkovou vodu a vodu pro pračku a myčku, bylo využití tepelného čerpadla minimální.

Dle tabulky 13 činila spotřeba v otopném období konkrétně 96 % celkové spotřeby elektrické energie spotřebované tepelným čerpadlem a průměrná denní spotřeba se pohybovala okolo 6 kWh. Oproti tomu v letním období byly spotřebovány pouze 4 % celkové roční elektrické energie spotřebované tepelným čerpadlem a průměrná denní spotřeba se pohybovala mezi 0,4 – 0,6 kWh.

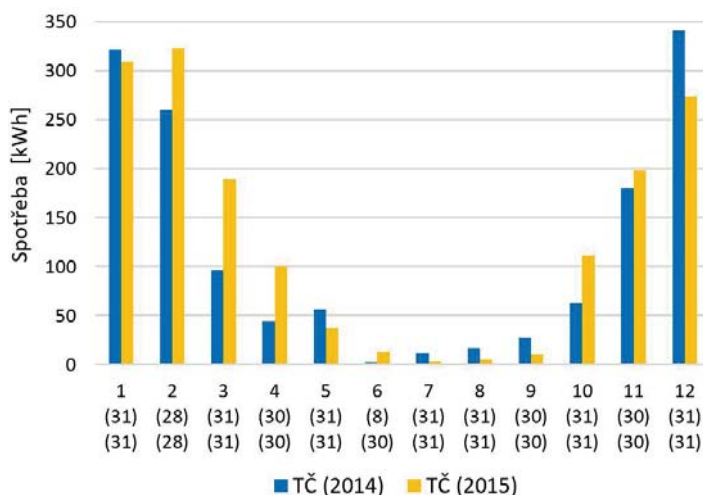
Tabulka 13 - Statistické údaje spotřeb el. energie potřebné na chod tepelného čerpadla

El. energie	Rok	Počet měření	Počet využití	Roční spotřeba	Otopné období		Letní období		Max. denní spotřeba
					Celková spotřeba	Průměr. denní spotřeba	Celková spotřeba	Průměr. denní spotřeba	
					[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	
TČ	2014	341	305	1421,6	1360,4 (96%)	5,62	61,1 (4%)	0,62	17,8
	2015	365	318	1572,4	1524,7 (97%)	6,3	47,7 (3%)	0,39	16,6

Vysvětlení k tabulce:
 Počet měření – počet dní, kdy byla měřena data
 Počet využití – počet dní, kdy byl odběr el. energie (byť jen jednou nebo na malou chvíli)
 Roční spotřeba – celková spotřeba el. energie za rok
 Celková spotřeba – celková spotřeba el. energie za dané období
 Průměrná denní spotřeba – průměrná denní spotřeba el. energie za dané období
 Max. denní spotřeba – maximální denní spotřeba el. energie, která nastala za celý rok



Graf 63 - Průběh denních spotřeb el. energie potřebné pro chod tepelného čerpadla (rok 2014 a 2015)



Graf 64 – Měsíční spotřeba el. energie na chod tepelného čerpadla (rok 2014 a 2015)

3.4.3.3 Oběhové čerpadlo (solární okruh)

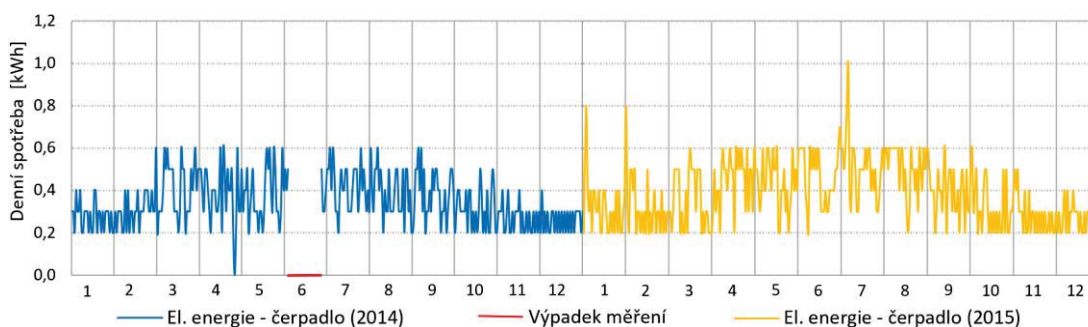
Oběhové čerpadlo využívá elektrickou energii k zajištění transportu určitého média. Podobných pomocných zařízení je v systému osazeno několik, ale měřeno je pouze jedno a v měřených datech nebylo jasně specifikováno, o jaké čerpadlo se konkrétně jedná. Vzhledem k tomu, že čerpadlo dosahuje dle grafu 65 a 66 větší spotřeby elektrické energie v letním období než v období otopném mělo by jít nejspíš o oběhové čerpadlo osazené v okruhu solárních kolektorů. Ostatní čerpadla umístěná v okruhu otopné soustavy, krbových kamen a tepelného čerpadla by totiž měla průběh právě opačný a byla by využívána nejvíce v době, kdy se topí.

Oběhové čerpadlo osazené v solárním okruhu bylo dle tabulky 14 využito každý den měření a jeho roční spotřeba se v roce 2014 a 2015 pohybovala mezi 118 – 142 kWh. Průměrná denní spotřeba elektrické energie za rok byla okolo 0,35 kWh. V letních měsících, kdy bylo čerpadlo více v provozu, stoupla maximální denní spotřeba na hodnotu 0,6 kWh, ojediněle až na 1 kWh.

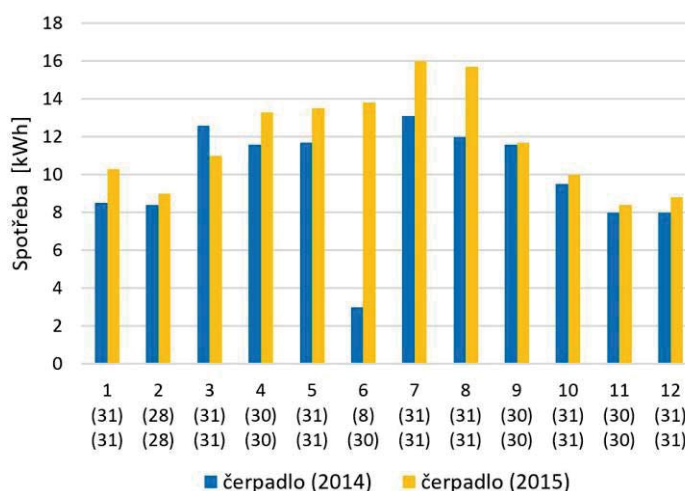
Tabulka 14 - Statistické údaje spotřeb el. energie potřebné na chod čerpadla

Elektrická energie	Rok	Počet měření	Počet využití	Roční spotřeba	Průměrná denní spotřeba	Max. denní spotřeba
		[den]	[den]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
čerpadlo	2014	342	341	118	0,35	0,6
	2015	365	365	141,5	0,39	1

Vysvětlení k tabulce:
 Počet měření – počet dní, kdy byla měřena data
 Počet využití – počet dní, kdy byl odběr el. energie (buť jen jednou nebo na malou chvíli)
 Roční spotřeba – celková spotřeba el. energie za rok
 Průměrná denní spotřeba (když byl odběr) – průměrná denní spotřeba ve dnech, kdy byl odběr el. energie
 Průměrná denní spotřeba – průměrná denní spotřeba el. energie za rok
 Max. denní spotřeba – maximální denní spotřeba el. energie, která nastala za celý rok



Graf 65 - Průběh denních spotřeb el. energie potřebné pro chod čerpadla (rok 2014 a 2015)



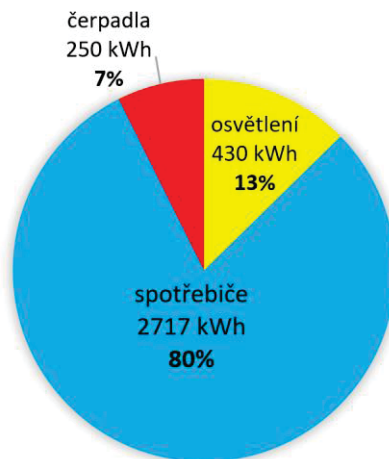
Graf 66 – Měsíční spotřeba el. energie na chod čerpadla (rok 2014 a 2015)

3.4.3.4 Osvětlení, drobné el. spotřebiče a neměřená oběhová čerpadla

Elektrická energie spotřebovaná na osvětlení a chod spotřebičů nebyla v objektu měřena. Bylo ji možné ale dopočítat z celkové spotřeby měřené na patě domu a to odečtením všech měřených zařízení spotřebovávajících elektrickou energii (VZT jednotka, tepelné čerpadlo, oběhové čerpadlo solárního okruhu). V této dopočítané hodnotě jsou zahrnuty i spotřeby neměřených oběhových čerpadel, jejichž roční spotřeba by měla být v porovnání s celkovou dopočtenou spotřebou na osvětlení a spotřebiče zanedbatelná.

Pokud bychom zobrazili odhad jednotlivých spotřeb (osvětlení, spotřebičů a čerpadel) na celkové dopočítané spotřebě, mohly by poměry vypadat zhruba jako v grafu 67. Roční spotřeba oběhových čerpadel by měla být velmi malá a při přihlédnutí ke spotřebě oběhové čerpadla osazeného v solárním okruhu, by se její hodnota mohla pohybovat okolo 250 kWh za rok. Roční spotřeba elektřiny na osvětlení by také neměla tvořit velkou část ze zobrazovaného grafu. Dle TNI 73 0331 [20] se měrná roční spotřeba elektřiny při použití úsporných i běžných svítidel rovná v rodinném domě zhruba 3,35 kWh/(m²rok), což by při 130 m² užitné plochy znamenalo roční spotřebu 430 kWh. Největší podíl by dle grafu 67 měla mít spotřeba elektrické energie potřebná pro chod drobných el. spotřebičů. Její hodnotu by

bylo možné také určitým odhadem stanovit a ověřit reálnost poměrů zobrazených v grafu 67, ale každá domácnost je jinak náročná a vlastní jiné druhy spotřebičů, že by výsledek mohl být spíše matoucí než blížící se skutečnosti.



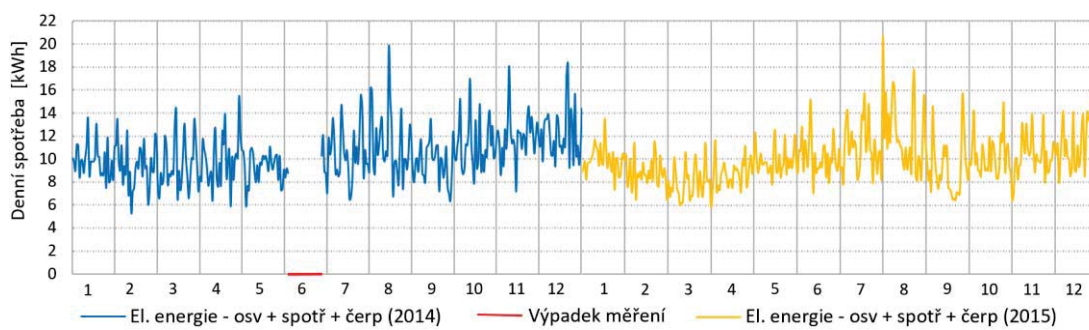
Graf 67 - Odhad poměrů jednotlivých spotřeb elektrické energie (osvětlení, drobné el. spotřebiče, čerpadla)

Celková spotřeba elektřiny využitá na osvětlení, chod spotřebičů a oběhových čerpadel se v roce 2014 a 2015 pohybovala mezi 3550 – 3650 kWh za rok. Pro ověření pravdivosti této hodnoty, lze zjištěnou spotřebu porovnat s průměrnou roční spotřebou ze zdroje [21], kde se předpokládá roční spotřeba elektřiny na osvětlení a spotřebiče na 1 osobu 1100 kWh, což při 3 obyvatelích RD odpovídá výsledkům. Dle tabulky 15 a grafu 68 se pohybovala průměrná denní spotřeba elektřiny na osvětlení, spotřebiče a čerpadla kolem 10 kWh. Zároveň je zde vidět, že denní spotřeba nikdy neklesla pod hodnotu 6 kWh a během měřených let bylo dosaženo maximální denní spotřeby 20,6 kWh.

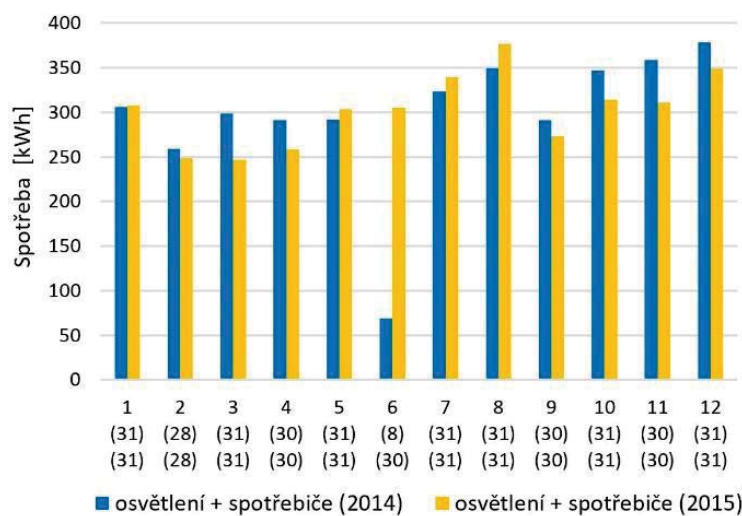
Tabulka 15 - Statistické údaje spotřeb el. energie potřebné na osvětlení a spotřebiče

Elektrická energie	Rok	Počet měření	Počet využití	Roční spotřeba	Průměrná denní spotřeba	Max. denní spotřeba
		[den]	[den]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
osvětlení + spotřebiče + (oběhová čerpadla)	2014	342	342	3566	10,4	19,8
	2015	365	365	3633	10,0	20,6

Vysvětlení k tabulce:
 Počet měření – počet dní, kdy byla měřena data
 Počet využití – počet dní, kdy byl odběr el. energie (byť jen jednou nebo na malou chvíli)
 Roční spotřeba – celková spotřeba el. energie za rok
 Průměrná denní spotřeba (když byl odběr) – průměrná denní spotřeba ve dnech, kdy byl odběr el. energie
 Průměrná denní spotřeba – průměrná denní spotřeba el. energie za rok
 Max. denní spotřeba – maximální denní spotřeba el. energie, která nastala za celý rok



Graf 68 - Průběh denních spotřeb el. energie potřebné na osvětlení a spotřebiče (r. 2014 a 2015)

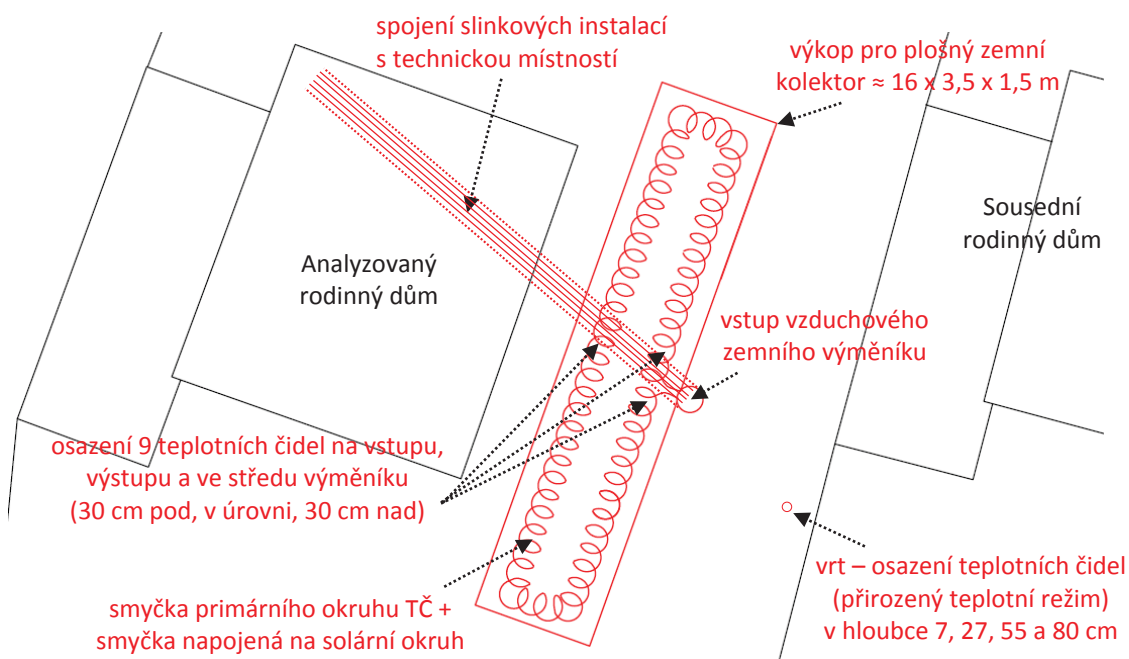


Graf 69 – Měsíční spotřeba el. energie na osvětlení a spotřebiče (r. 2014 a 2015)

3.5 Technická zařízení budovy - tepelné čerpadlo země-voda

V roce 2013 bylo do objektu osazeno tepelné čerpadlo země – voda Atrea TCA 3.1 o tepelném výkonu 3,1 kW. Primární okruh TČ je tvořen plošným zemním výměníkem ve tvaru slínek osazených v hloubce cca 1,5 m pod terénem. Sekundární okruh TČ pak tvoří topný okruh vedoucí do akumulčního zásobníku. Paralelně s hadicí primárního okruhu TČ je ve výkopu vedena i smyčka napojená na solární okruh termických kolektorů. Díky ní je možné využít jinak nevyužitou nízkopotenciální solární energii, která se do akumulčního zásobníku z důvodu nižší teploty na solárních panelech nedostává, a tím napomáhat k lepší regeneraci zemního výměníku v otopném období (zvýšení COP tepelného čerpadla). Tuto domněnku však nelze ověřit, protože nebyla poskytnuta měřená data ze solárních panelů.

Více informací o tepelném čerpadle je uvedeno v kapitole 2.3.2.



Obrázek 22 – Situační umístění plošného zemního výměníku

3.5.1 Topný faktor tepelného čerpadla

Topný faktor, ve zkratce nazývaný COP (coefficient of performance), je jedním ze základních parametrů tepelného čerpadla a udává poměr mezi vyprodukovaným teplem (získaný výkon) a spotřebovanou energií potřebnou pro provoz TČ (dodaný příkon). Jedná se o bezrozměrnou veličinu, jejíž teoretickou hodnotu udává výrobce na základě laboratorního měření dle normy ČSN EN 14511 za předem stanovených standardních podmínek (například u TČ typu země – voda je teplotní charakteristika B0/W35, což znamená teplotu solanky na vstupu do výparníku 0°C a teplotu výstupní vody z kondenzátoru 35°C). Hodnoty udávané

výrobci slouží hlavně pro možnost porovnání jednotlivých výrobků za totožných vstupních podmínek a nemusí vypovídat nic o reálné hodnotě topného faktoru. Ta je ve skutečnosti proměnná během roku a závisí na reálných okrajových podmínkách, jež mohou být v některých případech zcela odlišné od těch standardních.

Díky měřeným údajům z rodinného domu v Koberovech lze teoretickou hodnotu topného faktoru **4,4** [-] stanovenou výrobcem pro osazené TČ Atrea TCA 3.1 ověřit a zjistit, jakých hodnot topný faktor v roce 2014 a 2015 skutečně dosahoval a jaký byl jeho průběh během roku.

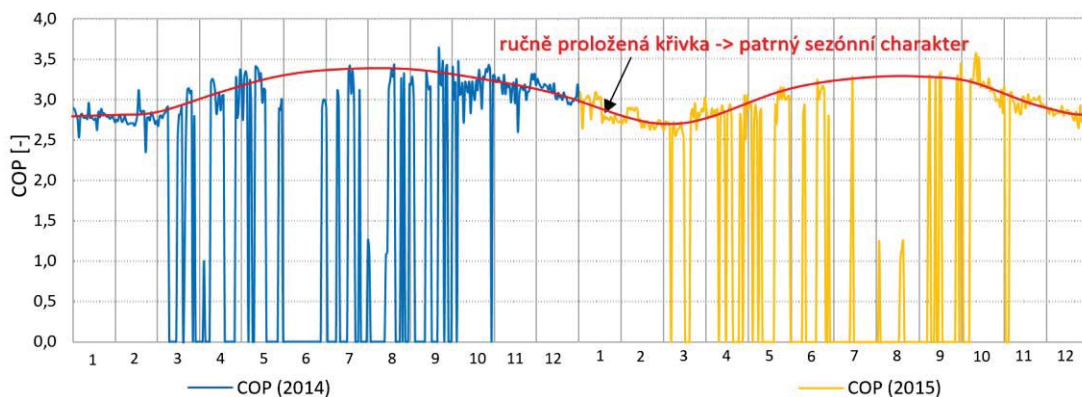
Skutečná hodnota topného faktoru TČ

Denní hodnoty reálného topného faktoru tepelného čerpadla zobrazené v grafu 70 byly vypočteny z rovnice (3.5.1.1) jako poměry denních spotřeb tepelné energie dodávané z TČ do akumulčního zásobníku (kalorimetr K3 viz obrázek 11 v podkapitole 2.4) a denních spotřeb elektrické energie potřebné pro pohon TČ (elektroměr elo_TČ viz obrázek 11).

$$\text{COP} = \frac{\Phi [\text{kWh}]}{P [\text{kWh}]} = \frac{\text{teplo dodávané z TČ do zásobníku}}{\text{elektrická energie potřebná pro pohon TČ}} \quad [-] \quad (3.5.1.1)$$

V grafu 70 je ze zobrazených skutečných denních hodnot jasně patrný **sezónní charakter COP**. Topný faktor byl viditelně nižší v období otopném, kdy se pohyboval průměrně mezi hodnotami **2,8 až 3**, a naopak vyšší v období letním, kdy hodnoty stoupaly až k **3,5**. V grafu 70 je také vidět provoz TČ, kdy v době jeho nevyužívání COP klesl na 0.

Jak už bylo řečeno, reálný topný faktor TČ závisí na skutečných okrajových podmínkách, tedy na teplotě vstupního a výstupního média. Pokud bychom uvažovali, že teplota výstupní topné vody zůstává po celý rok konstantní (což není úplně pravda), byl by sezónní charakter COP pravděpodobně způsoben odlišnými teplotami vstupního média, resp. teplotami v zemině. Zda opravdu sezónní charakter COP souvisí s průběhem teplot v zemině, je ukázáno v následujících podkapitolách 3.5.2 a 3.5.3.



Graf 70 - Průběh denních hodnot topného faktoru TČ

3.5.2 Teplotní režim zeminy

Přirozený teplotní režim půdních vrstev závisí na mnoha okolnostech, mezi které patří zejména teplota venkovního vzduchu a solární záření. Tyto faktory jsou během roku proměnné, z čehož vyplývá i proměnný průběh teplot v zemině. Jak moc ale půda reaguje na tyto venkovní klimatické podmínky, záleží hlavně na hloubce pod úrovní terénu a fyzikálních vlastnostech, konkrétně na teplotní vodivosti a_s [m^2/s] definované jako podíl součinitele tepelné vodivosti λ [$W/(mK)$] a součinu objemové hmotnosti ρ [kg/m^3] a měrné tepelné kapacity c [$J/(kgK)$]. Teplotu zeminy kolem výměníku ovlivňuje kromě výše zmíněných faktorů i samotný zemní výměník, který odebírá ze země teplo a tím zeminu částečně ochlazuje. Zároveň v době vyšších teplot a dávek ozáření (letní období) by měla zemina regenerovat a ustálit se zpět na přirozeném teplotním režimu.

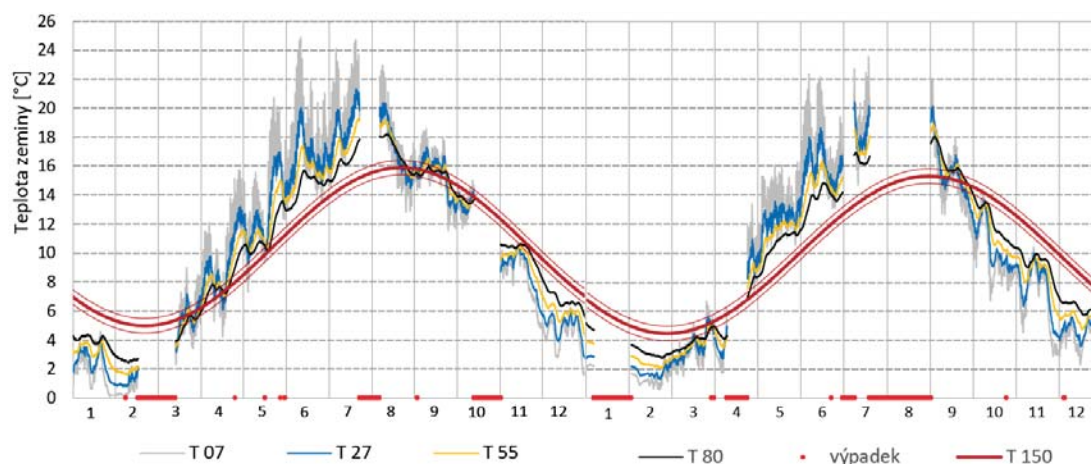
Z měřených dat z RD v Koberovech, kde bylo na pozemku osazeno několik teplotních čidel v různých hloubkách a to jak v místě výměníku tak i mimo něj, lze ověřit, jak se teploty zeminy v průběhu roku skutečně pohybovaly a zda sezónní charakter COP s nimi souvisí.

3.5.2.1 Měřené teploty zeminy mimo výměník

Na pozemku mimo výměník bylo do zeminy osazeno několik teplotních čidel (viz obrázek 22), pomocí kterých byla v různých hloubkách (7, 27, 55 a 80 cm) zaznamenávána přirozená teplota půdy. Z měřených dat let 2014 a 2015 byl pak sestaven graf 71 s průběhy teplot v jednotlivých měřených hloubkách a je z něho patrné, že:

- perioda výkyvů teplot (denních i ročních) se s hloubkou nemění
 - amplituda teplot s hloubkou klesá -> denní výkyvy nejsou viditelné v hloubce 1 – 2 m, roční výkyvy v 10 m
 - čas maxima a minima se s hloubkou zpožďuje -> fázový posun
 - ve všech vrstvách je jasně viditelný roční průběh, který má vliv na **sezónní charakter COP** -> v zimě je kvůli nižším teplotám zeminy nižší hodnota COP, v létě je naopak díky vyšším teplotám zeminy vyšší hodnota COP
- } Fourierovy zákony

V grafu je zároveň zobrazen **neměřený průběh teploty v hloubce 150 cm** (poskytnutý Ing. Pavlem Kopeckým, Ph.D.), který bylo nutné dopočítat pro možnost porovnání s měřenými teplotami zeminy ovlivněnými výměníkem. Teplota zeminy v hloubce 150 cm byla vypočtena z denních průměrných hodnot teplot v hloubce 27 a 80 cm podle [22] podkapitoly 2.1.4 a jedná se pouze o teoretický průběh teploty, který ve skutečnosti nemusí být tak hladký. V této hloubce budou totiž ještě viditelné (i když minimálně) výkyvy teplot v exteriéru a proto se bude zobrazený průběh spíše pohybovat v pásmu $\pm 0,5$ °C.



Graf 71 - Průběhy měřených teplot zeminy mimo výměník v hloubce 7, 27, 55 a 80 cm + dopočtený idealizovaný průběh teploty zeminy mimo výměník v hloubce 150 cm

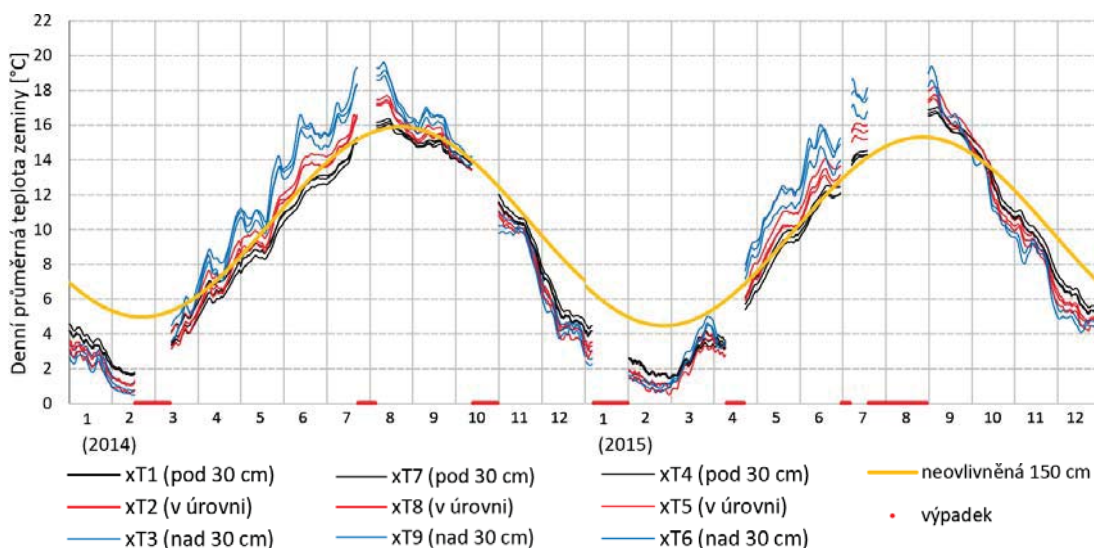
3.5.2.2 Měření teploty zeminy v okolí zemního výměníku

V místě plošného zemního výměníku bylo nainstalováno 9 teplotních čidel (viz obrázek 22), konkrétně 3 v místě výstupu smyček ze země, 3 na vstupu do země a 3 ve středu okruhu a to vždy zhruba 30 cm pod úroveň smyček, v úrovni kolektoru a 30 cm nad ním.

V grafu 72 je zobrazen průběh denních průměrných teplot zeminy v úrovni zemního kolektoru, 30 cm nad ním a 30 cm pod ním během obou měřených let 2014 a 2015. U těchto teplot ($xT1 - xT9$) bohužel nebylo předem známo, k jakému teplotnímu čidlu patří (výškově i půdorysně), ale dle grafu 72 se lze domnívat, že:

- **modré křivky** charakterizují teploty zeminy **30 cm nad** úrovní výměníku – vzhledem k nejmenší hloubce umístění kopírují nejvíce venkovní podmínky (největší amplituda) -> v letním období dosahují nejvyšších hodnot a v zimě naopak nejnižších
- **červené křivky** charakterizují teploty zeminy **v úrovni** výměníku – pokud je zemní kolektor opravdu v hloubce 1,5 m, měly by se tyto hodnoty v letním období co nejvíce blížit neovlivněné teplotě zeminy (oranžová) v hloubce 1,5 m -> podle naměřených hodnot se zdá, že je výměník ve skutečnosti v menší hloubce než 1,5 m
- **černé křivky** charakterizují teploty zeminy **30 cm pod** úrovní výměníku – vzhledem k největší hloubce umístění teploty kopírují nejméně venkovní teploty (nejmenší amplituda) -> v letním období dosahují nejnižších hodnot a v zimě naopak nejvyšších

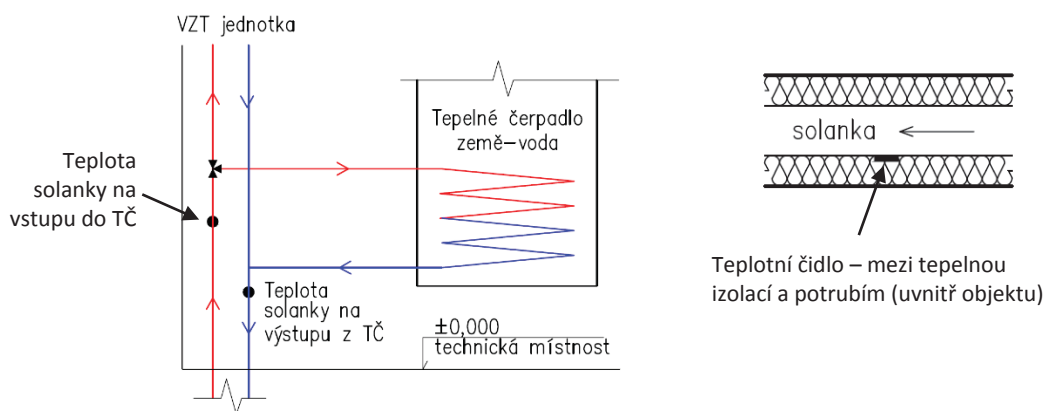
V grafu je zobrazen zároveň i teoretický dopočtený průběh neovlivněné teploty v hloubce 150 cm, díky kterému je vidět, jaký vliv má odběr tepla ze země na teplotu půdy v otopném období. Je patrné, že zhruba v půlce otopného období je rozdíl mezi ovlivněnou a neovlivněnou teplotou nejmarkantnější ($\approx 4 \text{ }^\circ\text{C}$), naopak v letním období už teplota zeminy v úrovni kolektoru přibližně kopíruje dopočtenou křivku neovlivněné teploty.



Graf 72 - Průběhy denních průměrných teplot zeminy v úrovni zemního kolektoru 30 cm pod a 30 cm nad + porovnání s průběhem neovlivněné teploty zeminy v hloubce 150 cm

3.5.3 Teploty solanky na primárním okruhu

V rámci zemního výměníku byly měřeny i teploty nemrzoucí směsi na primárním okruhu (teplota solanky na vstupu do TČ a teplota solanky na výstupu z TČ). Přibližné umístění teplotních čidel je patrné z obrázku 23.

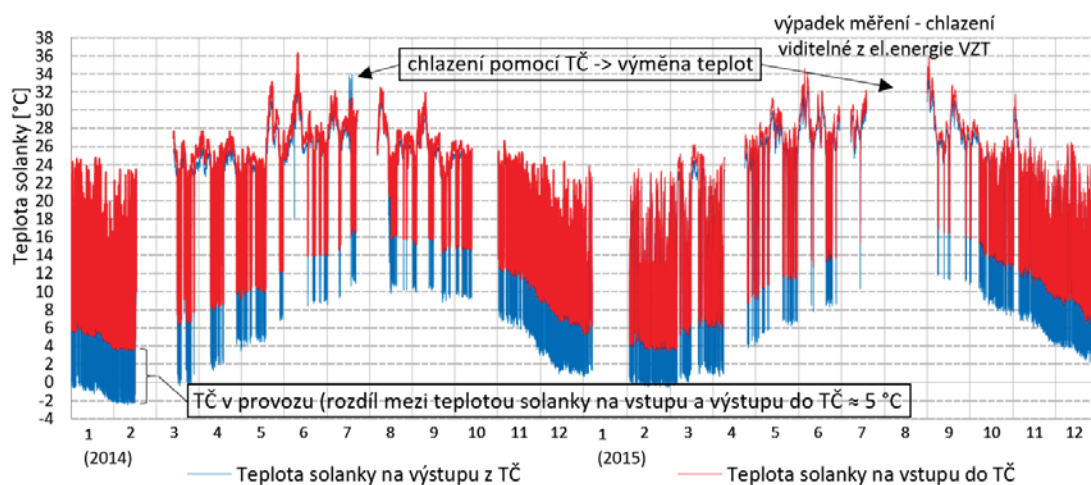


Obrázek 23 – Osazení teplotních čidla na primárním kruhu TČ (na vstupu a výstupu solanky z TČ)

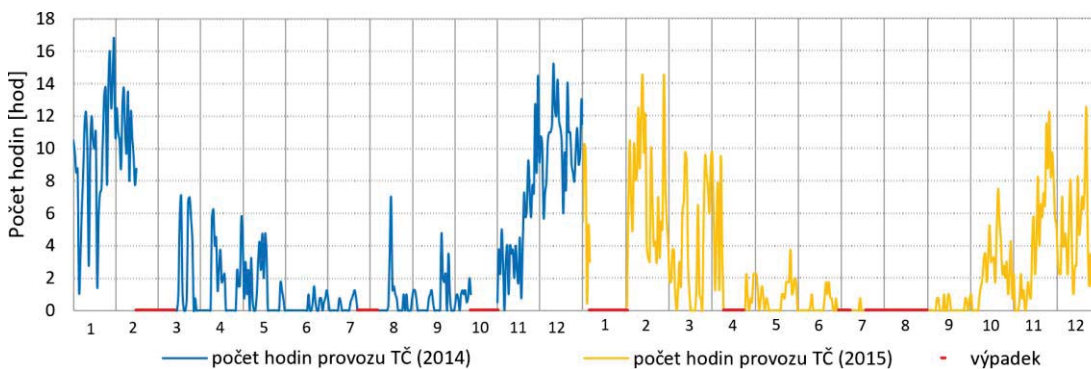
V grafu 73 jsou zobrazeny teploty solanky na vstupu a výstupu z TČ během roku 2014 a 2015 a vyplývá z něj několik věcí. Z grafu je například patrný totožný **sezónní charakter** v době provozu TČ (sinusový průběh) jako u teplot v zemině (graf 72), tedy nejnižší hodnoty v otopném období, kdy teplota solanky na výstupu z TČ klesla i pod 0 °C, a naopak nejvyšší v období letním, kdy se teplota na výstupu pohybovala až kolem 10 °C. Modrá plocha zdola ohraničená teplotou na výstupu a shora teplotou na vstupu do TČ zároveň ukazuje teplotní **rozdíl**, o který se solanka v zemním výměníku ohřála a je vidět, že se tato hodnota pohybovala po celý rok na konstantní hodnotě **5 °C**.

Z grafu 73 vyplývá také **využití** tepelného čerpadla. Je vidět, že TČ bylo v provozu hlavně v otopném období, kdy sloužilo jako hlavní zdroj tepla, a občas i v období letním, kdy se používalo hlavně pro ohřev TV při nedostatku tepla ze solárních kolektorů. Z teplot na primárním okruhu jsme také schopni zjistit počet hodin za den, kdy bylo TČ v provozu. Roční průběh provozních hodin je zobrazen v grafu 74. V roce 2014 bylo TČ v provozu 1130 hodin (15 % měřených hodin) a v roce 2015, kdy bylo teplejší léto a tím pádem i více tepla ze solárních kolektorů, bylo TČ v provozu 805 hodin (12 % měřených hodin).

Zároveň je z grafu 73 patrné, kdy se pomocí zemního výměníku v objektu **chlادilo**, protože teplota solanky na výstupu z TČ je v této době vyšší než teplota na vstupu do TČ. To nastalo v červenci roku 2014 a podle měřených dat z elektrické energie VZT jednotky (viz podkapitola 3.4.3.1, graf 60) i v červenci až srpnu roku 2015, v této době byl ale výpadek měření na teplotách primárního okruhu a proto tuto domněnku z podkapitoly 3.4.3.1 nelze ověřit.



Graf 73 - Měřené teploty solanky na primárním okruhu TČ



Graf 74 - Provozní hodiny TČ

4 Potřeba tepla na vytápění

Do výpočtu potřeby tepla na vytápění vstupuje mnoho určitým způsobem předpokládaných parametrů, jež ovlivňují menší či větší měrou jeho výsledek. Jedná se hlavně o okrajové podmínky vnitřního a venkovního prostředí, chování obyvatelů a skutečnou kvalitu stavebních konstrukcí a objektu jako celku. Vliv na výpočet má i samotný uživatel výpočtového programu (energetický specialista), který svými volbami (např. zónování objektu) ovlivňuje výsledek. Ve výpočtu potřeby tepla na vytápění jsou předpokládány parametry většinou voleny dle norem, vyhlášek nebo technických normalizačních informací, které vychází z hodnot za delší období (např. statistický dlouhodobý normál exteriérových podmínek) a hodnot volených dle typu užívání (vnitřní podmínky, větrání, vnitřní zisky).

Měřená data z RD v Koberovech nám umožňují některé z těchto parametrů definovat přesněji a díky nim normový výpočet určitým způsobem zpřesnit. V kapitole 4 je nejdříve nastíněn samotný výpočet, dále detailněji popsány využité parametry a nakonec jsou uvedeny výsledky jednotlivých variant výpočtu potřeby tepla na vytápění. Výsledky jsou následně porovnány se skutečnou spotřebou tepla stanovenou z měřených dat roku 2015, díky čemuž je možné zjistit, jak moc se teoretická potřeba tepla blíží skutečnosti a jaký vliv mají některé parametry. Pro rok 2014 není porovnání možné, protože došlo téměř k ročnímu výpadku dat z kalorimetru K2 (teplo proudící do VZT jednotky a otopných žebříků). Poslední část kapitoly 4 se věnuje výpočtu celkového měrného tepelného toku.

4.1 Popis výpočtu

Pro výpočet potřeby tepla na vytápění byl využit vlastní výpočtový model s měsíčním krokem (v programu Excel), který se řídí dle metodiky ČSN EN ISO 13790 [23]. Správnost modelu a volba parametrů byla v průběhu tvorby ověřována s oficiálními výpočtovými programy jako např. Energetika (DEKSOFT) a Energie (Svoboda software). Výpočet potřeby tepla na vytápění je proveden v několika variantách, ve kterých byla postupně zohledněna některá měřená data a proměnná intenzita větrání.

Varianty výpočetních modelů:

- (1) Výpočet dle ČSN EN ISO 13790 (T_{ae} , T_{air} , V_{os} voleny dle norem, TNI, atd.)
- (2) Varianta 1 + skutečná průměrná měsíční teplota v exteriéru (měřená data r. 2015)
- (3) Varianta 2 + skutečná průměrná měsíční teplota v interiéru (měřená data r. 2015)
- (4) Varianta 3 + proměnná intenzita větrání během roku (předpokládaná)
- (5) Skutečná spotřeba tepla na vytápění stanovená s měřených dat z roku 2015

1. Potřeba tepla na vytápění

Potřebu tepla na vytápění Q_{nd} vypočteme v měsíčním kroku jako rozdíl tepelných ztrát a využitelných zisků podle rovnice (4.1.1)

$$Q_{nd} = Q_l - \eta_g \cdot Q_g \quad [\text{kWh}] \quad (4.1.1)$$

kde Q_l [kWh] ... celkové tepelné ztráty

η_g [-] ... faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění

Q_g [kWh] ... celkové tepelné zisky

2. Tepelné ztráty

Celkové tepelné ztráty vytápěné zóny Q_l vypočteme v měsíčním kroku jako součet tepelných ztrát prostupem a větráním podle rovnice (4.1.2)

$$Q_l = Q_T + Q_V \quad [\text{kWh}] \quad (4.1.2)$$

kde Q_T [kWh] ... celkové tepelné ztráty prostupem

Q_V [kWh] ... celkové tepelné ztráty větráním

2a. Tepelné ztráty prostupem

Tepelné ztráty prostupem Q_T vypočteme v měsíčním kroku jako součin měrného tepelného toku prostupem, rozdílu teplot mezi vnitřním a venkovním prostředím a délky kroku výpočtu podle rovnice (4.1.3)

$$Q_T = H_T \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (4.1.3)$$

kde H_T [W/K] ... měrný tepelný tok prostupem

ϑ_i [°C] ... výpočtová vnitřní teplota vytápěné zóny (použité hodnoty popsány v podkapitole 4.2.4, varianty (1) a (2) s výpočtovou teplotou 20°C, varianty (3) a (4) s měřenými průměrnými měsíčními teplotami)

ϑ_e [°C] ... průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu (použité hodnoty popsány v podkapitole 4.2.4, varianta (1) s venkovními teplotami dle [25], varianty (2), (3) a (4) s měřenými průměrnými měsíčními teplotami)

t [h] ... délka kroku výpočtu (počet hodin v měsíci)

Měrný tepelný tok prostupem

Měrný tepelný tok prostupem H_T vypočteme jako součet sumy měrných tepelných toků jednotlivých konstrukcí na systémové hranici a průměrného vlivu tepelných vazeb na podle rovnice (4.1.4)

$$H_T = \sum_i A_i \cdot U_i \cdot b_i + A \cdot \Delta U_{tb} \quad [\text{W/K}] \quad (4.1.4)$$

kde A_i [m²] ... plocha i-té konstrukce (použité hodnoty jsou v tabulce 17)

- U_i [W/(m²K)] ... součinitel prostupu tepla i-té konstrukce (použité hodnoty jsou v tabulce 19, jedná se o převzaté hodnoty ze zdroje [24])
- b_i [-] ... činitel teplotní redukce (použité hodnoty jsou v tabulce 17)
- A [m²] ... plocha obálky budovy (použitá hodnota je v tabulce 16)
- ΔU_{tb} [W/(m²K)] ... přírážka na tepelné vazby (použitá hodnota je v tabulce 17, jedná se o vypočtenou hodnotu převzatou ze zdroje [24])

2b. Tepelné ztráty větráním

Tepelné ztráty větráním Q_V vypočteme v měsíčním kroku jako součin měrného tepelného toku větráním, rozdílu teplot mezi vnitřním a venkovním prostředím a délky kroku výpočtu podle rovnice (4.1.5)

$$Q_V = H_V \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (4.1.5)$$

- kde H_V [W/K] ... měrný tepelný tok větráním
- ϑ_i [°C] ... výpočtová vnitřní teplota vytápěné zóny (použité hodnoty popsány v podkapitole 4.2.4, výpočty (1) a (2) s výpočtovou teplotou 20°C, výpočty (3) a (4) s měřenými průměrnými měsíčními teplotami)
- ϑ_e [°C] ... průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu (použité hodnoty popsány v podkapitole 4.2.4, výpočet (1) s venkovními teplotami dle [25], výpočty (2), (3) a (4) s měřenými průměrnými měsíčními teplotami)
- t [h] ... délka kroku výpočtu (počet hodin v měsíci)

Měrný tepelný tok větráním

Měrný tepelný tok větráním H_V vypočteme jako součin objemové tepelné kapacity vzduchu a průměrného objemového toku větracího vzduchu podle rovnice (4.1.6)

$$H_V = \rho_a \cdot c_a \cdot \dot{V}_a \quad [\text{W/K}] \quad (4.1.6)$$

- kde ρ_a [kg/m³] ... objemová hmotnost vzduchu
- c_a [J/kg·K] ... měrná tepelná kapacita vzduchu
- \dot{V}_a [m³/h] ... průměrný objemový tok větracího vzduchu ve vytápěné zóně

Průměrný objemový tok větracího vzduchu \dot{V}_a se v případě nuceného větrání vypočítá jako součet průměrného návrhového objemového toku větracího vzduchu $\dot{V}_{a,d}$ se zohledněním účinnosti ZZV a přídatného toku vzduchu netěsnostmi \dot{V}_x podle rovnice (4.1.7)

$$\dot{V}_a = \dot{V}_{a,d} \cdot (1 - \eta_{ZZT}) + \dot{V}_x = n_{os} \cdot V_{os} \cdot occup \cdot (1 - \eta_{ZZT}) + V_a \cdot n_{50} \cdot e \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4.1.7)$$

- kde n_{os} [-] ... počet uživatelů v budově (použitá hodnota je v tab. 16)

V_{os}	$[m^3]$... potřeba čerstvého vzduchu na osobu za hodinu (použitá hodnota je v tabulkách 21 a 22)
occup	$[m^3/h]$... součinitel průměrné obsazenosti (použitá hodnota je v tabulce 21)
\dot{V}_a	$[m^3]$... objem vzduchu ve vytápěné zóně (použitá hodnota je v tabulce 21)
n_{50}	$[h^{-1}]$... násobnost výměny vzduchu při talkovém rozdílu 50 Pa (míra těsnosti budovy, použitá hodnota je v tabulce 21)
e	$[-]$... součinitel větrné expozice (použitá hodnota je v tabulce 21)

3. Využitelné tepelné zisky

Využitelné tepelné zisky jsou tepelné zisky, které je možné využít pro pokrytí potřeby tepla na vytápění a vypočteme je jako součin tepelných zisků Q_g a faktoru využitelnosti η_g

3a. Celkové tepelné zisky

Celkové tepelné zisky vytápěné zóny Q_g vypočteme jako součet vnitřních a solárních tepelných zisků podle rovnice (4.1.8)

$$Q_g = Q_{int} + Q_{sol} \quad [kWh] \quad (4.1.8)$$

kde Q_{int} [kWh] ... vnitřní tepelné zisky

Q_{sol} [kWh] ... solární tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky Q_{int} zahrnují tepelné zisky od osob, spotřebičů a osvětlení, které vypočteme podle rovnic (4.1.9, 4.1.10 a 4.1.11)

$$Q_{int} (\text{osoby}) = q_{int,os} \cdot f_{os} \cdot n_{os} \cdot t \quad [kWh] \quad (4.1.9)$$

kde $q_{int,os}$ [W/os] ... měrný výkon vnitřních zisků od osob (použité hodnoty jsou v tab. 18)

f_{os} [-] ... časový podíl přítomnosti osob (použité hodnoty jsou v tabulce 18)

t [h] ... délka kroku výpočtu (počet hodin v měsíci)

$$Q_{int} (\text{spotřebiče}) = q_{int,spotř} \cdot f_{spotř} \cdot A_{f,int} \cdot t \quad [kWh] \quad (4.1.10)$$

kde $q_{int,spotř}$ [W/m²] ... měrný výkon vnitřních zisků od spotřebičů (použité hodnoty jsou v tabulce 18)

$f_{spotř}$ [-] ... časový podíl využívání spotřebičů (použité hodnoty jsou v tab. 18)

t [h] ... délka kroku výpočtu (počet hodin v měsíci)

$$Q_{int} (\text{osvětlení}) = q_{int,osv} \cdot f_{osv} \cdot A_{f,int} \cdot t \quad [kWh] \quad (4.1.11)$$

kde $q_{int,osv}$ [W/m²] ... měrný výkon vnitřních zisků od osvětlení (použité hodnoty jsou v tabulce 18)

f_{osv} [-] ... časový podíl osvětlení (použité hodnoty jsou v tabulce 18)

t [h] ... délka kroku výpočtu (počet hodin v měsíci)

Solární tepelné zisky

Solární tepelné zisky Q_{sol} vypočteme jako součet příspěvků jednotlivých oken pro každou orientaci podle rovnice (4.1.12)

$$Q_{sol} = \sum_j H_j \cdot \sum_i A_{s,i} \quad [\text{kWh}] \quad (4.1.12)$$

kde H_j [kWh/m²] ... měsíční dávka ozáření na j-tou orientaci

$A_{s,i}$ [m²] ... účinná solární sběrná plocha n-tého transparentního prvku s j-tou orientací

Účinnou solární sběrnou plochu A_s vypočteme podle rovnice (4.1.13)

$$A_s = A_w \cdot g \cdot F_w \cdot F_f \cdot F_c \cdot F_s \quad [\text{m}^2] \quad (4.1.13)$$

kde A_w [m²] ... plocha okna ze stavebních rozměrů

g [-] ... celková energetická propustnost zasklení při normálovém dopadu slunečních paprsků (pro trojskla uvažována hodnota $g = 0,5$)

F_w [-] ... korekční činitel úhlu dopadu (běžně uvažován $F_w = 0,9$)

F_f [-] ... korekční činitel rámu, poměr plochy zasklení ku celkové ploše prvku (není znám přesný typ okna, ve výpočtu uvažováno $F_f = 0,3$)

F_c [-] ... korekční činitel clonění (prvky protisluneční ochrany nejsou v objektu osazeny, proto je jeho hodnota ve výpočtu rovna 1)

F_s [-] ... korekční činitel stínění, pro který platí $F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$, kde F_h [-] je dílčí činitel stínění horizontem, F_o [-] je dílčí činitel stínění markýzou a F_f [-] je dílčí činitel stínění bočními žebry

... hodnoty korekčních činitelů jsou uvedeny v tabulce 19

3b. Faktor využitelnosti tepelných zisků

Faktor využitelnosti tepelných zisků vypočteme podle rovnice (4.1.14)

$$\eta_g = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad [-] \quad (4.1.14)$$

kde γ [-] ... poměr tepelných zisků a ztrát v daném měsíci $\gamma = \frac{Q_g}{Q_l}$

a [-] ... číselný parametr, pro který platí $a = 1 + \frac{\tau}{15}$

τ [h] ... časová konstanta vytápěné zóny, pro kterou platí $\tau = \frac{c_m/3600}{H_T + H_V}$

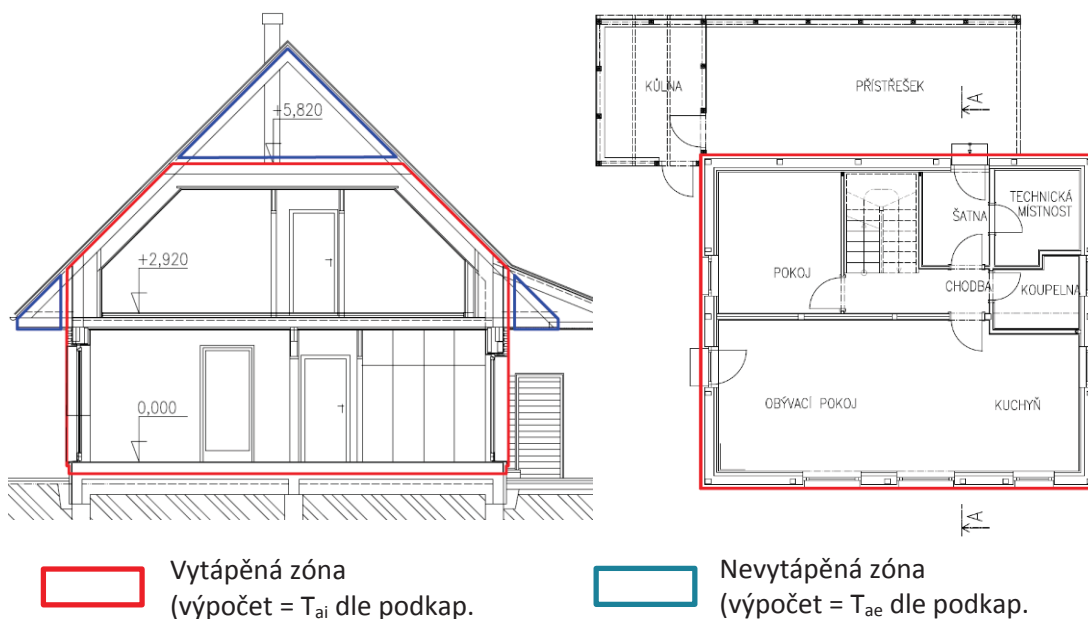
c_m [J/K] ... účinná vnitřní tepelná kapacita zóny (pro výpočet zvolena hodnota pro lehkou třídu $110\,000 \cdot A_{f,int}$), kde $A_{f,int}$ představuje vnitřní podlahovou plochu (hodnota uvažovaná ve výpočtu je v tabulce 16)

4.2 Popis vstupních parametrů

4.2.1 Systémová hranice budovy

Pro výpočet bylo nejdříve nutné stanovit systémovou hranici vytápěného prostoru (objekt uvažován jako **jednozónový**). Ta se stanovuje z vnějších rozměrů a je zobrazena na obrázku 24 červenou čarou. Modrá čára v tomtéž obrázku pak zobrazuje nevytápěný prostor s o něco vyšší teplotou než je v exteriéru, což je ve výpočtu tepelných ztrát jednotlivých konstrukcí zohledněno hodnotou redukčního činitele b menší než 1. Vzhledem k tomu, že se ale jedná o dům v pasivním standartu a přes obvodové konstrukce uniká minimum tepla, teplota v těchto nevytápěných prostorech bude dost blízká teplotě v exteriéru a ve výpočtu bude proto uvažováno s redukčním činitelem o hodnotě 1 (na straně bezpečnosti).

Po stanovení systémové hranice bylo možné vypočítat plochy a objemy vytápěné zóny, jež jsou uvedeny v tabulce 16 a jsou shodné pro všechny varianty výpočtu.



Obrázek 24 - Systémová hranice obálky budovy (řez + půdorys 1.NP)

Tabulka 16 – Vstupní údaje pro výpočet (parametry zóny)

PARAMETRY ZÓNY			
Parametr	Označení	Hodnota	Jednotka
Užitná podlahová plocha	$A_{f,int}$	140	m^2
Vnější podlahová plocha	$A_{f,ext}$	175	m^2
Objem vzduchu v zóně	V_{int}	348	m^3
Obestavěný objem zóny	V_{ext}	486	m^3
Plocha obálky budovy	A	334	m^2
Počet osob	n_{os}	3	os

4.2.2 Konstrukce na systémové hranici vytápěného prostoru

Dále bylo potřeba spočítat plochy všech konstrukcí na systémové hranici vytápěného prostoru, které jsou ve styku s venkovním prostředím, zemínou nebo nevytápěným prostorem. Předpokládané **součinitele prostupu tepla** U [$W/(m^2K)$] jednotlivých konstrukcí byly převzaty z diplomové práce Jana Antonína [24] a jsou i spolu s **vypočtenými plochami** A [m^2] uvedeny v tabulce 17.

U jednotlivých konstrukcí je zároveň uveden i **redukční činitel** b zahrnující teplotní rozdíl mezi teplotou přilehlého prostředí a venkovní teplotou. Konstrukce ve styku s nevytápěným prostorem, kde je teplota o něco vyšší než v exteriéru, by měly mít správně hodnotu redukčního činitele menší než 1. U pasivních domů, kde nejsme schopni odhadnout teplotu v těchto nevytápěných prostorech, lze ale předpokládat, že díky kvalitní tepelně izolační obálce uniká skrz obvodové konstrukce minimum tepla a teplota je velmi blízká teplotě v exteriéru. Z tohoto důvodu byl ve výpočtu uvažován redukční činitel pro obvodovou stěnu 2.NP a strop pod nevytápěnou půdou rovný 1. Redukční činitel podlahy na terénu o hodnotě $b = 0,82$ byl převzat z výpočetního programu Energetika (DEKSOFT), který má v sobě zabudován podrobnější výpočet tohoto činitele a udává reálnější hodnotu než např [25]. Teplota zeminy bude totiž pod pasivním domem opět menší než v běžných budovách, kde skrz podlahu uniká větší množství tepla a bylo by velmi optimistické použít doporučené hodnoty dle [25]. Ostatní konstrukce, jež jsou v přímém styku s exteriérem, mají hodnotu 1.

V tabulce je kromě konstrukcí uvedena i **přirážka na tepelné vazby** ΔU_{tb} . Ta byla převzata z DP Jana Antonína [24], kde byl pro jednotlivé detaily vypočten lineární činitel prostupu tepla a měrná tepelná ztráta o hodnotě $1,47$ W/K. Při ploše obálky budovy rovné 334 m^2 se pak přirážka k základní hodnotě součinitele prostupu tepla ΔU_{tb} rovná zhruba $0,0044$ W/ (m^2K) . Údaje z tabulky 17 jsou shodné pro všechny varianty výpočtu.

Tabulka 17 – Plochy jednotlivých konstrukcí a jejich součinitel prostupu tepla U

Konstrukce	A [m^2]	U [$W/(m^2K)$]	b [-]
Obvodová stěna	141,9	0,108	1
Obvodová stěna 2.NP	23,1	0,077	1
Podlaha na terénu	87,7	0,17	0,82
Šikmá střecha	58,0	0,092	1
Strop pod nevytápěnou půdou	45,8	0,094	1
Okna	19,8	0,84	1
Střešní okna	1,2	1,2	1
Dveře vstupní	2,0	1,14	1
Tepelné vazby ΔU_{tb}		0,0044	

4.2.3 Vstupní parametry – vnitřní a solární zisky

V pasivních domech jsou tepelné ztráty objektu značně minimalizované a tepelné zisky zde hrají velkou roli. Potřeba tepla na vytápění je totiž rovna rozdílu těchto dvou hodnot, a proto při stanovení hodnoty tepelných zisků podle různých předpokladů může být výsledná vypočtená potřeba tepla velmi rozdílná od té skutečné.

Vnitřní zisky

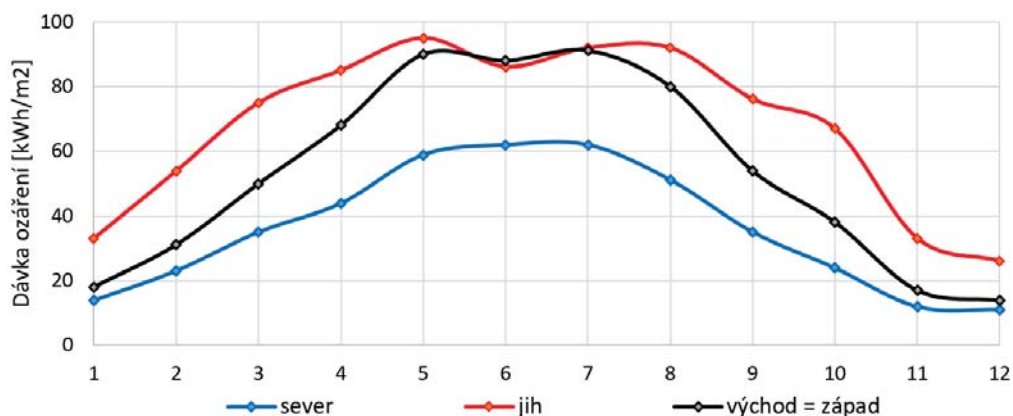
Velikost vnitřních zisků nelze předem přesně předpokládat, a z toho důvodu jsou vždy hodnoty tepelných zisků od osob, spotřebičů a osvětlení pouze odhadnuty s jistým přihlédnutím k realitě. V tabulce 18 jsou uvedeny použité vstupní parametry pro výpočet vnitřních zisků, jež jsou zvoleny podle **TNI 73 0331** pro profil užívání „Rodinné domy – obytné prostory“. Ve výpočtu je uvažováno, že každý uživatel vydává teplo 60 W ($q_{\text{int,os}}$) a v objektu se vyskytuje 70 % času (f_{os}), a že všechny domácí spotřebiče vydávají měrný výkon 3 W/m² ($q_{\text{int,spotř}}$) po 20 % roku ($f_{\text{spotř}}$). Pouze pro zisky z osvětlení byl časový podíl užívání (f_{osv}) upraven, protože je ve skutečnosti proměnný během roku a uvažování konstantní hodnoty ($f_{\text{osv}} = 0,17$) po celý rok by bylo dosti nepřesné. Hodnoty časového podílu osvětlení byly převzaty z oficiálního výpočetního programu Energetika (DEKSOFT), kde byl proveden pro ověření správnosti modelu kontrolní výpočet.

Tabulka 18 – Vstupní parametry pro výpočet tepelných vnitřních zisků

VSTUPNÍ PARAMETRY - VNITŘNÍ ZISKY														
měsíc			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
osoby	$q_{\text{int,os}}$	W/os	60											
	f_{os}	-	0,7											
spotřebiče	$q_{\text{int,spotř}}$	W/m ²	3											
	$f_{\text{spotř}}$	-	0,2											
osvětlení	$q_{\text{int,osv}}$	W/m ²	2,2											
	f_{osv}	-	0,26	0,21	0,18	0,14	0,12	0,11	0,11	0,12	0,15	0,18	0,21	0,26

Solární zisky

Oproti tomu tepelné zisky ze solárního záření by se daly určitým způsobem zpřesnit a to použitím přesnějších okrajových podmínek pro danou lokalitu. V našem případě toto zpřesnění ale není možné, protože jak už bylo zmíněno v kapitole 3.1.3, měřená data o ozáření nelze považovat za reálná. Hodnoty **dávky ozáření** dopadající na plochu určité orientace byly proto převzaty z katalogu sluneční energie z programu Energie (Svoboda software) pro lokalitu Hradec Králové (malé množství lokalit). Průběh použitých hodnot pro jednotlivé orientace je zobrazen v grafu 75.



Graf 75 – Dávka ozáření (hodnoty z programu Energie pro lokalitu Hradec Králové)

Pro výpočet solárních zisků a velikosti účinné solární sběrné plochy výplní bylo nutné odhadnout **korekční činitele** uvedené v rovnici (4.1.13). Korekční činitel úhlu dopadu F_w zohledňuje, že solární záření dopadá na plochu výplně pod jiným úhlem než kolmo a jeho hodnota se běžně uvažuje 0,9. Korekční činitel rámu F_F zohledňuje poměr plochy zasklení ku celkové ploše okna, jehož hodnotu při neznámém typu oken lze uvažovat 0,7. Korekční činitel clonění F_C zohledňující prvky protisluneční ochrany (žaluzie, rolety,..) je vy výpočtu roven 1, protože v objektu nejsou žádné takovéto prvky použity. Korekční činitel stínění F_S zohledňuje stínění horizontem F_H , markýzou F_O a bočním žebrem F_f . Okna na jižní straně jsou proti letnímu přehřívání kryta přesahem střechy o velikosti zhruba 950 mm, a proto bylo potřeba korekční činitel markýzou F_O dopočítat. Pro jednotlivé měsíce byl nejdříve zjištěn úhel dopadu slunečního záření, z něj pak dopočítána zastíněná plocha jižní oken a z toho dále dopočítán korekční činitel. Vstupní dveře jsou umístěny na severní straně, kde je umístěn přístřešek, a proto jsou zcela zastíněny $F_O = 0$. Stínění horizontem bylo zjištěno pro jednotlivá okna na jižní a východní straně, kde jsou jiné rodinné domy. Pro jižní stranu byla spočtena hodnota $F_h = 0,62$, pro východní okna v 1.NP pak $F_h = 0,94$ a v 2.NP $F_h = 0,98$. Stínění bočními žebry se nevyskytuje a proto je $F_f = 1$. Použité hodnoty korekčních činitelů jsou vypsány v tabulce 19.

Tabulka 19 - Použité korekční činitele stínění

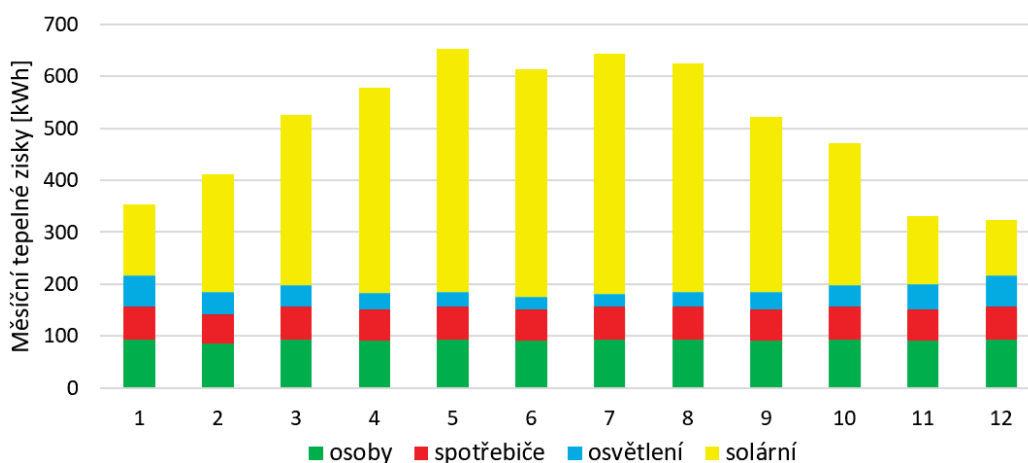
		KOREKČNÍ ČINITELE																
Výplň	orien.	F_w	F_F	F_C	F_h	F_f	F_O											
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
O1 (1.NP)	J	0,9	0,7	1	0,62	1	1	0,96	0,85	0,69	0,53	0,44	0,48	0,63	0,79	0,92	1	1
	V	0,9	0,7	1	0,94	1							1					
	Z	0,9	0,7	1	1	1							1					
O2 (2.NP)	V	0,9	0,7	1	0,98	1							1					
	Z	0,9	0,7	1	1	1							1					
Střešní okno	S	0,9	0,7	1	1	1							1					
	J	0,9	0,7	1	1	1							1					
Dveře	S	0,9	0,3	1	1	1							0					

Celkové tepelné zisky

V tabulce 20 jsou zobrazeny měsíční a roční hodnoty vnitřních a solárních zisků, jež jsou použity ve všech variantách výpočtu. V grafu 76 jsou pak tyto hodnoty zobrazeny graficky, z čehož je patrný podíl jednotlivých zisků na celkových měsíčních tepelných ziscích. Zároveň je v grafu vidět, že vnitřní zisky od osob a spotřebičů jsou konstantní během roku (rozdíly jsou způsobeny rozdílným počtem hodin v měsíci), zatímco zisky od osvětlení a solárního záření jsou jasně proměnné.

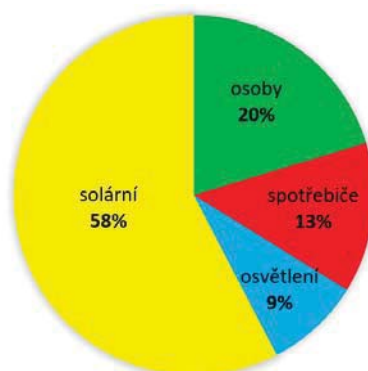
Tabulka 20 – Měsíční a roční hodnoty vnitřních a solárních tepelných zisků

VNITŘNÍ A SOLÁRNÍ ZISKY – měsíční a roční hodnoty															
měsíc			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σ
osoby	$Q_{int,os}$	[kWh]	94	85	94	91	94	91	94	94	91	94	91	94	1104
spotřebiče	$Q_{int,spotř}$	[kWh]	62	56	62	60	62	60	62	62	60	62	60	62	734
osvětlení	$Q_{int,osv}$	[kWh]	60	44	41	32	28	24	25	28	33	41	48	60	465
solární	Q_{sol}	[kWh]	137	227	327	394	469	438	462	441	337	274	133	107	3745



Graf 76 – Měsíční podíl jednotlivých tepelných zisků

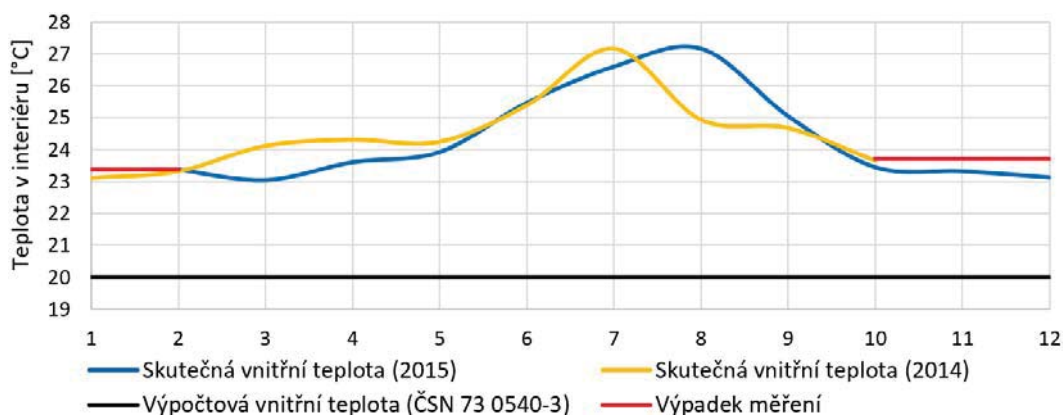
Graf 77 zobrazuje roční poměr tepelných zisků od osob, spotřebičů, osvětlení a slunečního záření a je vidět, že solární zisky jsou v roční bilanci jasně nejdominantnější a poměr vnitřních a solárních zisků je zhruba 42:58.



Graf 77 - Roční podíl jednotlivých tepelných zisků

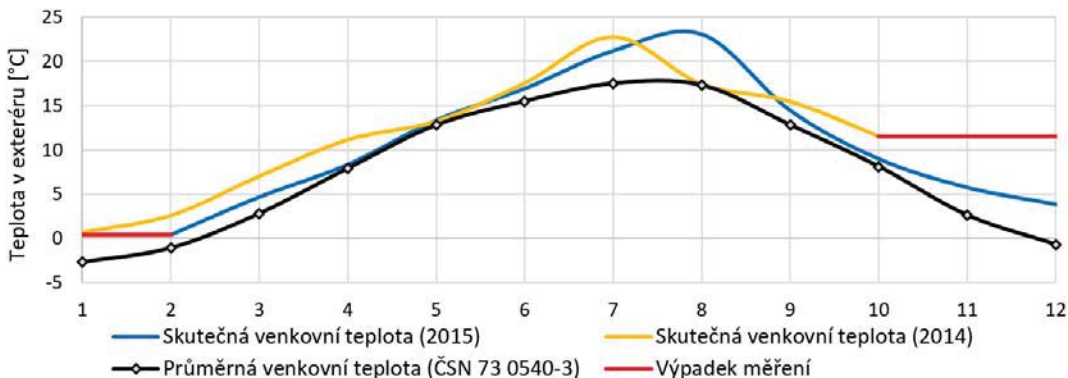
4.2.4 Vstupní parametry - teplota vzduchu v interiéru a exteriéru

Výpočtová **vnitřní teplota vzduchu**, jejíž konstantní hodnota se většinou uvažuje pro obytné prostory 20 °C (např. dle [25]), se od té reálné teploty často liší. Ve skutečnosti je totiž teplota v interiéru během roku proměnná, což je patrné i z grafu 78 se zobrazenými hodnotami vnitřních teplot z obou měřených let. Je vidět, že reálná průměrná měsíční teplota se v obou letech pohybovala min. o 3 °C výš než teplota výpočtová a v létě dosahovala až k 27 °C. Vyšší teplota v interiéru by měla mít za následek vyšší tepelné ztráty a tím i vyšší potřebu tepla na vytápění. Jak velký vliv tento rozdíl vnitřních teplot má na potřebu tepla na vytápění, je ukázáno pomocí výpočtové varianty (3) a (4).



Graf 78 - Průběh průměrných měsíčních teplot v interiéru (měřená r. 2014 a 2015 x výpočtová)

Průměrné měsíční **teploty vzduchu v exteriéru** se ve výpočtech potřeby tepla na vytápění stanovují buď pro konkrétní města v ČR (seznam lokalit je omezený), a nebo podle nadmořské výšky dle ČSN 75 0540-3 tab. H3 [25]. Pro řešený rodinný dům umístěný v nadmořské výšce 453 m. n. m. jsou průměrné měsíční teploty (pro variantu 1) zvoleny interpolací podle [25] a jejich průběh je zobrazen v grafu 79. Dle naměřených dat se ale průměrné hodnoty venkovní teploty pohybovaly ve skutečnosti o něco výš (průměrně o 2 °C) než dle [25] a jsou zobrazeny taktéž v grafu 79. Vyšší měřené venkovní teploty byly použity ve výpočetní variantě (2), (3) a (4) a měly by mít za následek snížení potřeby tepla na vytápění.



Graf 79 - Porovnání průměrných měsíčních teplot v exteriéru – měřených x předpokládaných z [25]

4.2.5 Vstupní parametry - větrání

V řešeném objektu je větrání zajištěno pomocí VZT jednotky se zpětným získáváním tepla. Díky tomu je do objektu přiváděno potřebné množství čerstvého vzduchu a nedochází k tak vysokým ztrátám tepla, jako je tomu u přirozeného větrání. Množství přiváděného čerstvého vzduchu (V_{os}) je v průběhu roku ve skutečnosti proměnné, ale pro výpočty potřeby tepla na vytápění se většinou uvažuje pro obytné budovy konstantní hodnota 25 m^3 čerstvého vzduchu na osobu za hodinu. Dalšími parametry ovlivňujícími měrný tepelný tok větráním je koeficient přítomnosti osob (occup), který se pro obytné budovy uvažuje 0,7, a vzduchotěsnost budovy (n_{50}), jejíž hodnota by v pasivních domech měla být max. $0,6 \text{ h}^{-1}$. Vzhledem k osazení budovy v intravilánu obce byl součinitel větrné expozice zvolen 0,01. Posledním velmi důležitým parametrem pro měrný tepelný tok větráním je účinnost rekuperačního výměníku (η_{ZZT}). Dle technického listu osazené VZT jednotky je tato účinnost až 90 %, ovšem ve skutečnosti je potřeba počítat s o něco menší účinností. Uvažovaná účinnost je ve výpočtech stanovena na hodnotu 80 %.

Tabulka 21 - Vstupní parametry pro výpočet tepelné ztráty větráním

VSTUPNÍ PARAMETRY - VĚTRÁNÍ			
Parametr	Označení	Hodnota	Jednotka
Množství přiváděného čerstvého vzduchu	$V_{os} =$	25	m^3/h
Součinitel průměrné obsazenosti	occup =	0,7	-
Násobnost výměny vzduchu při tlak. rozdílu 50 Pa	$n_{50} =$	0,6	h^{-1}
Součinitel větrné expozice	e =	0,01	-
Účinnost systému zpětného získávání tepla	$\eta_{ZZT} =$	0,8	-

V téměř všech variantách výpočtu (1), (2) a (3) jsou použity hodnoty zobrazené v tabulce 21, tedy konstantní množství čerstvého vzduchu během roku. Ve skutečnosti je ale množství přiváděného čerstvého vzduchu v průběhu roku proměnné. V zimě by se mělo teoreticky větrat méně a měla by být zajištěna pouze nezbytná výměna vzduchu, aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám tepla a vysoušení vzduchu. Kdežto v přechodných a letních měsících, kdy dosahují venkovní teploty už vyšších hodnot, by se mělo větrat více (ať už nuceně nebo přirozeně). Tato domněnka je využita ve variantě 4, kde je množství čerstvého vzduchu proměnné během roku. Zvolené a zcela odhadnuté hodnoty jsou zobrazené v tabulce 22.

Tabulka 22 – Množství přiváděného čerstvého vzduchu během roku (pro variantu (4))

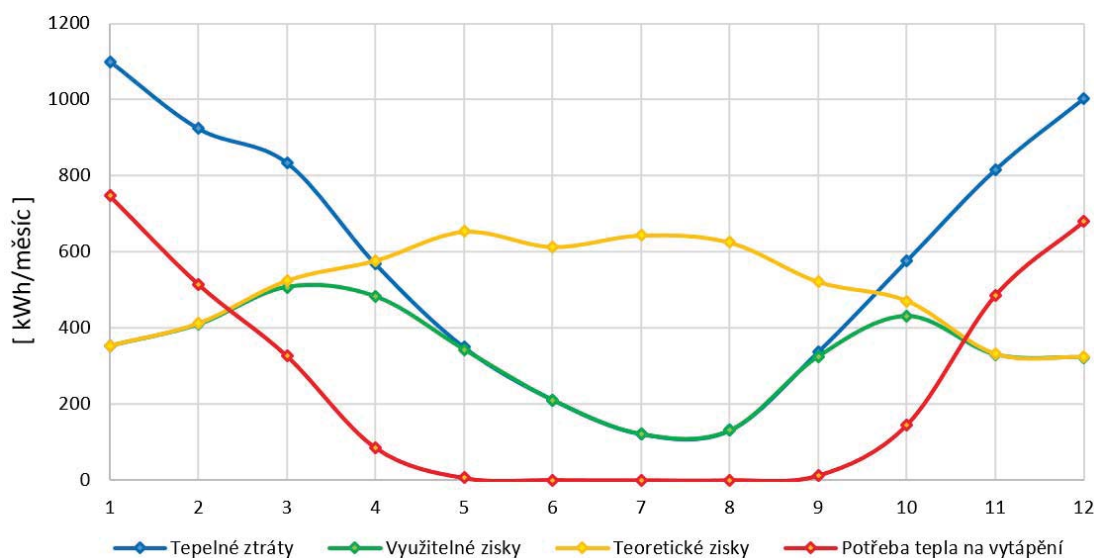
MNOŽSTVÍ ČERSTVÉHO VZDUCHU V_{os} [$\text{m}^3/(\text{h.os})$]												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V_{os} [$\text{m}^3/(\text{h.os})$]	15	25	50	75	100	100	100	100	75	50	25	15

4.3 Výsledky výpočtu

4.3.1 Varianta 1

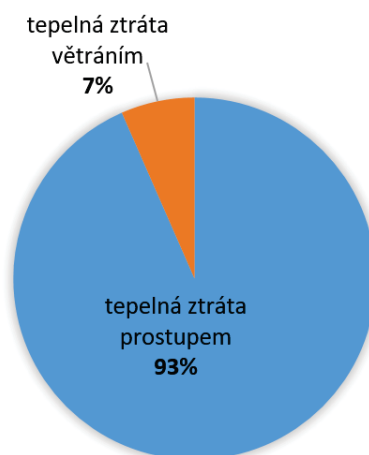
Jedná se o normový výpočet potřeby tepla na vytápění s měsíčním krokem dle metodiky [23], ve kterém byly všechny vstupující parametry pouze předpokládané, respektive volené dle norem a TNI. Výsledná měrná potřeba tepla na vytápění **17,1 kWh/(m²a)** je tedy pouze teoretickou hodnotou, která by byla stanovena například v PENB.

V grafu 80 jsou zobrazeny průběhy tepelných ztrát a zisků a potřeba tepla na vytápění pro variantu (1). Modrá křivka značí tepelné ztráty objektu, tedy tepelnou ztrátu prostupem a větráním. Žlutá křivka ukazuje tepelné zisky od osob, spotřebičů, osvětlení a solárního záření, jejichž využití pro pokrytí potřeby tepla na vytápění není stoprocentní a mění se v průběhu roku v závislosti na tepelných ztrátách a tepelné kapacitě objektu. Při zohlednění těchto aspektů jsou získány využitelné zisky (zelená křivka). Červená křivka pak zobrazuje průběh potřeby tepla na vytápění, z čehož je vidět, že by podle normového výpočtu bylo potřeba topit od ledna do května a od září do prosince. Plocha vymezená průnikem křivek tepelné ztráty a teoretickými a využitelnými zisky ukazuje množství energie, které by se mohlo teoreticky ušetřit při vyšší využitelnosti zisků.



Graf 80 - Průběh tepelných zisků a ztrát a potřeby tepla na vytápění během roku (varianta 1))

V grafu 81 je zobrazen poměr tepelných ztrát prostupem (skrz jednotlivé konstrukce na systémové hranici budovy) a tepelných ztrát větráním. Je vidět, že větrání tvoří pouze 7 % všech ztrát, což je způsobeno díky rekuperačnímu výměníku se zpětným získáváním tepla. Tento graf je totožný pro výpočetní variantu (1), (2) i (3).

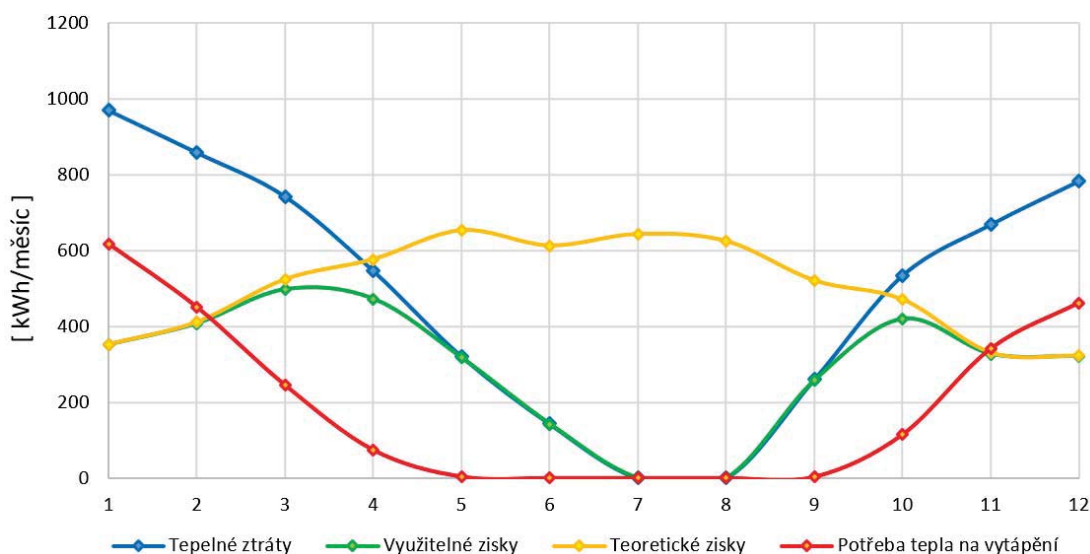


Graf 81 - Podíl tepelných ztrát prostupem a větráním (platí pro variantu (1), (2) i (3))

4.3.2 Varianta 2

Jedná se o totožný výpočetní model jako ve variantě (1) pouze s tím rozdílem, že pro průměrné měsíční teploty v exteriéru jsou použity skutečné hodnoty z měřených dat z roku 2015. Tyto hodnoty, jak je vidět v podkapitole 4.1.4 a grafu 79, se pohybovaly o něco výš než teploty stanovené dle [25] a vypočtená měrná potřeba tepla na vytápění díky nim klesla na hodnotu **13,2 kWh/(m²a)**. Je tedy patrné, že volba venkovní teploty je velmi podstatná pro výpočet a její hodnoty značně ovlivňují výsledek potřeby tepla na vytápění.

V grafu 82 jsou zobrazeny průběhy tepelných zisků a ztrát a potřeby tepla na vytápění. Je patrné, že se potřeba tepla na vytápění v otopném období snížila oproti předchozí variantě. Měřené venkovní teploty, které dosahovaly v létě vyšších hodnot než výpočtová vnitřní teplota (20°C), způsobily nulové tepelné ztráty v objektu během července a srpna.

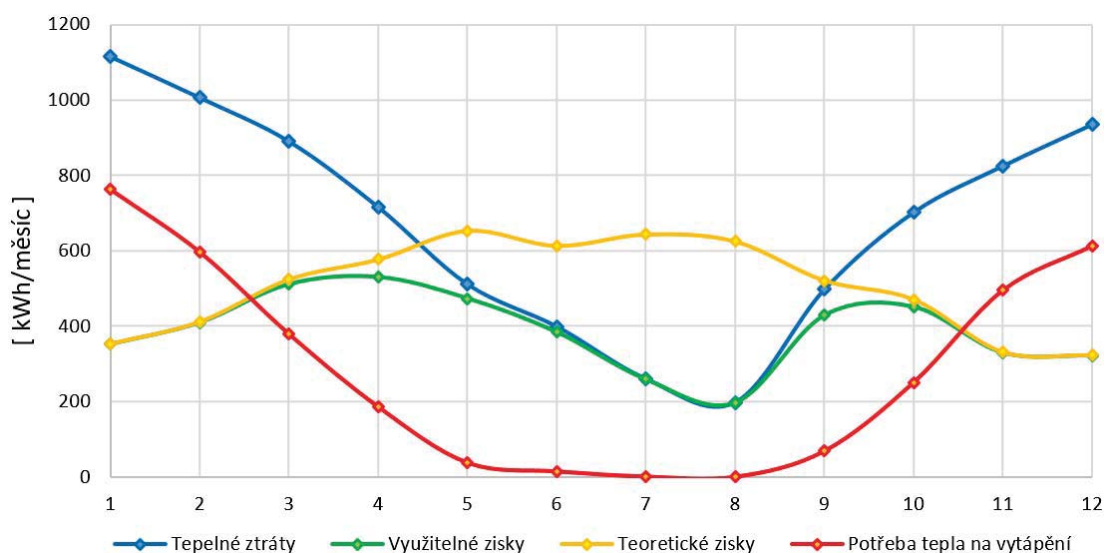


Graf 82 - Průběh tepelných zisků a ztrát a potřeby tepla na vytápění během roku (varianta (2))

4.3.3 Varianta 3

Jedná se o totožný výpočetní model jako ve variantě (2) pouze s tím rozdílem, že kromě skutečné venkovní teploty jsou využity i reálné průměrné měsíční vnitřní teploty. V podkapitole 4.1.4 v grafu 78 je vidět, že hodnoty teplot v interiéru se pohybovaly minimálně o 3°C výš než výpočtová teplota dle [25] (20°C), což má za následek velké zvýšení měrné potřeby tepla na vytápění a to z hodnoty 13,2 kWh/(m²a) až na hodnotu **19,4 kWh/(m²a)**. Je tedy vidět, že volba vnitřní teploty je stejně důležitá jako volba venkovní teploty a značně ovlivňuje výsledek.

V grafu 83 jsou zobrazeny průběhy tepelných zisků a ztrát a potřeby tepla na vytápění. Je patrné, že potřeba tepla na vytápění se v otopném období zvýšila oproti variantě (2) a v období od května do června nedosahuje nulových hodnot, jako tomu bylo v předchozích variantách.



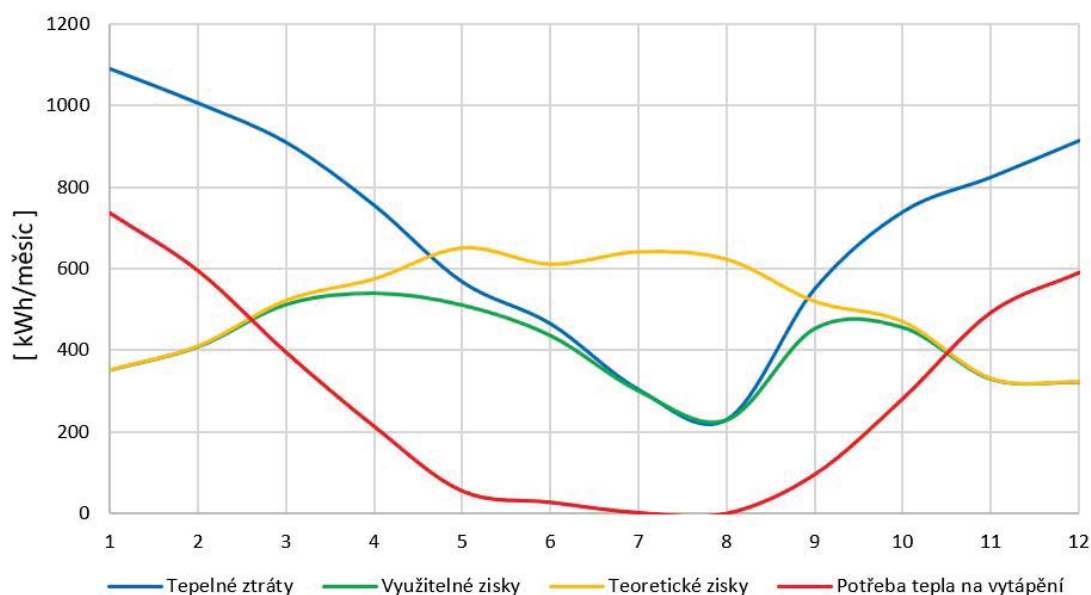
Graf 83 - Průběh tepelných zisků a ztrát a potřeby tepla na vytápění během roku (varianta (3))

4.3.4 Varianta 4

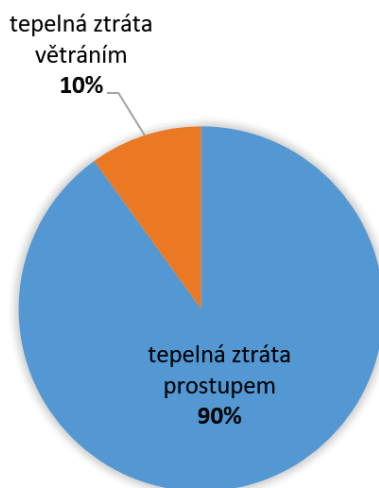
Jedná se o totožný výpočetní model jako ve variantě (3) pouze s tím rozdílem, že je zohledněn vliv proměnného množství přiváděného čerstvého vzduchu. V době velmi nízkých teplot se pravděpodobně větrá v objektu méně (např. pouze 15 m³/(os.hod)) než v období přechodném nebo letním, kdy teplota v exteriéru dosahuje vyšších hodnot a množství přiváděného vzduchu je větší. Proměnné množství přiváděného čerstvého vzduchu (hodnoty zobrazeny v podkapitole 4.1.5 v tabulce 22) způsobilo nárůst měrné potřeby z hodnoty 19,4 kWh/(m²a) na **19,9 kWh/(m²a)**. Změna v potřebě tepla na vytápění je minimální, protože tepelná ztráta větráním se na celkové tepelné ztrátě podílí v malé míře (viz graf 81). Pokud by ale v zimě jednotka vyměňovala nepřírozeně velké množství vzduchu, což v našem výpočtu

nebylo uvažováno, výsledky by mohly být odlišné a měrná potřeba by mohla být o hodně vyšší. Navíc by docházelo k vysoušení vzduchu až na extrémní hodnoty a účinnost rekuperace by byla ve skutečnosti kvůli větším průtokům venkovního vzduchu menší.

V grafu 84 jsou zobrazeny průběhy tepelných zisků a ztrát a potřeby tepla na vytápění a je z něj patrné, že potřeba tepla na vytápění se oproti předchozí variantě (3) nijak viditelně neliší. Změna je vidět pouze při zobrazení podílu tepelných ztrát prostupem a větráním. Dle grafu 85 se podíl větrání zvýšil ze 7 na 10 % a přitom potřeba tepla na vytápění stoupla pouze o 0,5 kWh.



Graf 84 - Průběh tepelných zisků a ztrát a potřeby tepla na vytápění během roku (varianta 3)



Graf 85 - Podíl tepelných ztrát prostupem a větráním (varianta 4)

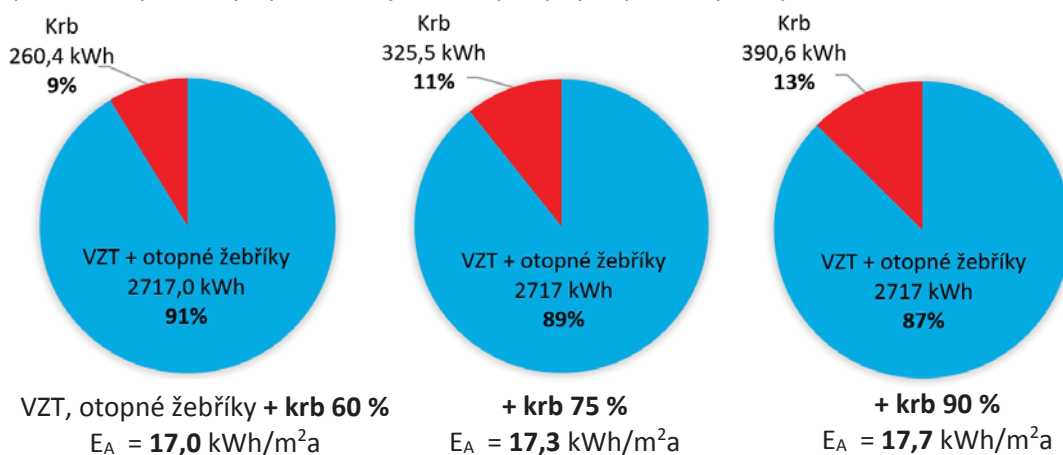
4.3.5 Měřená spotřeba tepla na vytápění

Na spotřebě tepla na vytápění, respektive na zajištění požadované teploty uvnitř objektu, se podílí několik systémů. Nejvýznamnějším systémem je VZT rekuperační jednotka, jejíž odebírané teplo je spolu s otopnými žebříky měřeno pomocí kalorimetru K2 (viz obrázek 11). Dalším a pouze doplňkovým zdrojem jsou krbová kamna osazená v obývacím pokoji, která své vyrobené teplo sdílí částečně do místnosti ($\approx 50\%$) a částečně do akumulčního zásobníku ($\approx 50\%$). Jak už bylo popsáno v podkapitole 3.4, část krbové energie předané do zásobníku se ale dále využívá a to v podobě otopné vody proudící do VZT jednotky a otopných žebříků (jak velká část ovšem nevíme). Pro výpočet potřeby tepla na vytápění budeme předpokládat, že teplo vyprodukované krbovými kamny podílející se na vytápění je proměnné a jeho hodnotu nelze přesně stanovit. Reálně by se ale hodnoty mohly pohybovat mezi 60 – 90 % z celkového tepla vyprodukovaného v krbu.

Skutečná spotřeba tepla na vytápění byla stanovena z měřených dat z roku 2015 podle rovnice (4.3.5.1). V roce předchozím nebylo možné její hodnotu zjistit, protože na kalorimetru K2 došlo téměř k ročnímu výpadku měření.

$$Q_{nd} = Q_{(K2 - VZT \text{ A OTOPNÉ ŽEBŘÍKY})} + 2 \cdot Q_{(K6 - \text{TEPLO Z KRBU DO ZÁSOBNÍKU})} \cdot (0,6 \div 0,9) \quad (4.3.5.1)$$

Dle grafu 86 se **skutečná spotřeba tepla na vytápění** pohybovala zhruba mezi 2977 až 3108 kWh za rok, což při užité podlahové ploše 140 m² činí měrnou roční potřebu **17 až 17,7 kWh/(m²a)**. Graf 86 zároveň zobrazuje podíl VZT jednotky, otopných žebříků a krbových kamen na vytápění a je vidět, že se krb podílel na celkové spotřebě tepla na vytápění pouze z 9 – 13 %. Podle výsledků je tedy možné tvrdit, že určení přesného podílu krbem vyprodukovaného tepla podílejícího se na vytápění není až tak podstatné, protože rozdíl ve spotřebě tepla na vytápění mezi jednotlivými případy není výrazný.

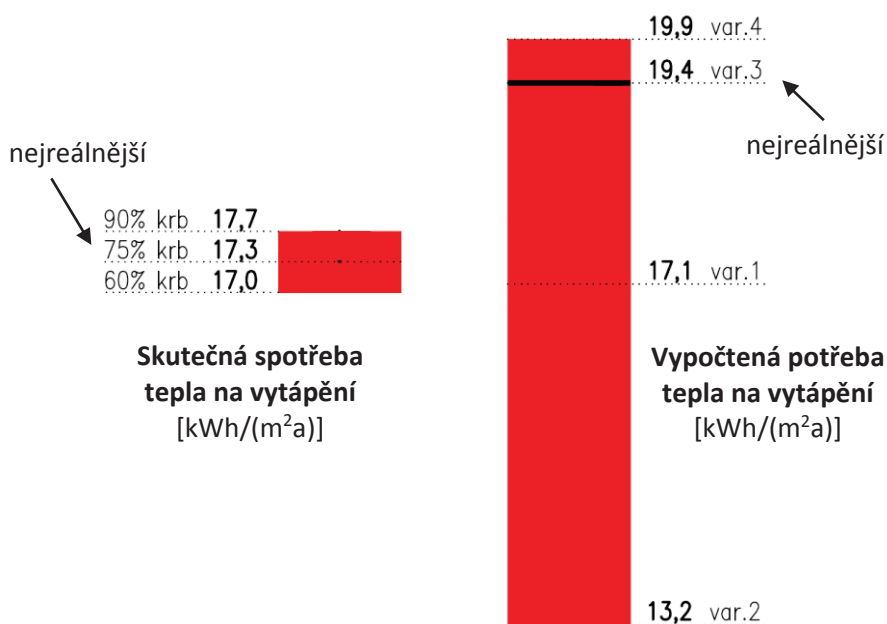


Graf 86 – Roční podíl VZT, otopných žebříků a krbu na vytápění a měrná roční potřeba tepla na vytápění při uvažování různého vlivu krbu (60, 75 a 90 %)

4.4 Porovnání vypočtené a skutečné spotřeby tepla na vytápění

Na obrázku 25 je ukázáno srovnání měřené spotřeby tepla na vytápění (vlevo) a vypočtených potřeb tepla na vytápění jednotlivých variant (vpravo). Z výsledků je vidět, že analyzovaný dům splňuje požadavek na měrnou roční potřebu tepla na vytápění a to jak vypočtenými tak i měřenými hodnotami. Z obrázku 25 je díky viditelnému překryvu měřených a vypočtených potřeb tepla na vytápění taktéž patrné, že vlastní výpočtový model je reálný (není v něm hrubá chyba, která by výrazně ovlivnila výsledek) a kvalita objektu je stejná, jako bylo předpokládáno.

Nejreálnější výpočtovou variantou je podle mého názoru varianta (3) s měrnou roční potřebou tepla na vytápění $19,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, do výpočtu byly totiž zahrnuty skutečné měřené údaje a to venkovní i vnitřní teplota vzduchu. U skutečné spotřeby tepla na vytápění, která nemohla být přesně stanovena kvůli neznámému podílu krbu na vytápění, považuji za nejpravděpodobnější variantu tu, která počítá se 75% podílem krbu a jejíž měrná roční potřeba tepla na vytápění vyšla $17,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.



Obrázek 25 - Porovnání skutečné a vypočtené potřeby na vytápění

Rozdíl mezi nejrealnějšími výsledky měřené spotřeby (17,3 kWh/(m²a)) a vypočtené potřeby tepla na vytápění (19,4 kWh/(m²a)) je malý a mohl by být pravděpodobně způsoben vstupními parametry, jež byly ve výpočetní variantě 3 zvoleny a nejednalo se o ověření či měřené hodnoty. Mohly to způsobit hlavně:

- nižší hodnoty vnitřních zisků
- nižší hodnoty solárních zisků (léto roku 2015 mělo více letních a tropických dní než je dlouhodobý normál a lze předpokládat, že velikost skutečných solárních zisků byla větší, než se kterou bylo počítáno)
- vyšší hodnota měrného tepelného toku prostupem (odhad redukčního činitele a součinitele prostupu tepla)
- vyšší hodnota měrného tepelného toku větráním (odhad účinnosti ZZV a množství přiváděného vzduchu)

Co mělo největší vliv z výše uvedených bodů na vyšší vypočtenou potřebu tepla na vytápění ve variantě (3), nelze přesně určit. Z měřené spotřeby tepla na vytápění jsme ale schopni zjistit skutečný **celkový měrný tepelný tok prostupem a větráním** a tím ověřit předpokládanou kvalitu obálky budovy. Tato problematika je rozebrána v následující podkapitole 4.5.

4.5 Skutečný měrný tepelný tok prostupem a větráním

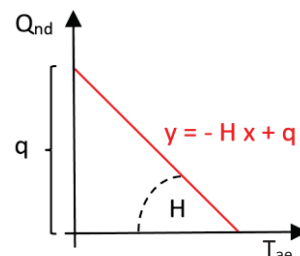
Měrný tepelný tok prostupem a větráním je jednou z předpokládaných veličin vstupujících do výpočtu potřeby tepla na vytápění a jeho hodnota se po realizaci objektu může v některých případech značně lišit od té skutečné. Měrný tepelný tok prostupem H_T [W/K] se v pasivních domech podílí na hodnotě celkového měrného tepelného toku z více jak 90 % a jeho správné stanovení je proto pro výpočet klíčové. Výsledná hodnota tepelného toku prostupem H_T obvykle vychází z vlastností obalových konstrukcí definovaných v projektové dokumentaci, a pokud je při stavbě dodržena navržená kvalita obálky, měla by být i po realizaci velmi podobná. Oproti tomu reálný měrný tepelný tok větráním H_V [W/K] se od toho výpočtového může lišit o něco více. Množství přiváděného vzduchu je totiž závislé na nastavení jednotky a je ve skutečnosti proměnné během roku, zatímco ve výpočtech uvažujeme vždy s konstantní doporučenou hodnotou. Dalším významným a neznámým parametrem může být účinnost rekuperace, která se mění s velikostí průtoku a může být velmi odlišná od hodnoty uvedené v technickém listu výrobku. Pokud ale do objektu není přiváděno nadbytečné množství čerstvého vzduchu jednotkou nebo netěsnostmi v obálce budovy ($n_{50} \gg 0,6$), neměl by skutečný měrný tepelný tok větráním být až tak odlišný. Zároveň se podílí jen malou měrou na celkovém měrném tepelném toku a proto i jeho méně přesné určení by nemělo mít výrazný vliv.

Pomocí měřených dat z roku 2015 lze v rodinném pasivním domě v Koberovech ověřit reálnou kvalitu obálky budovy a zjistit, zda předpokládaná hodnota měrného tepelného toku prostupem a větráním odpovídá realitě. Výpočet skutečného měrného tepelného toku je proveden 2 způsoby:

- (1) **jednoduchá lineární regrese**
 - využití měřené spotřeby tepla na vytápění a reálné průměrné venkovní teploty v otopném období
 - pomocí této metody lze zjistit i reálnou hodnotu využitelných zisků
- (2) **bilanční výpočet**
 - využití měřené spotřeby tepla na vytápění, reálné průměrné venkovní a vnitřní teploty v otopném období a předpokládaných tepelných zisků
 - kvůli využití předpokládané hodnoty celkových tepelných zisků se jedná o méně přesnou metodu výpočtu

4.5.1 Jednoduchá lineární regrese

Lineární regrese je metoda, ve které pomocí grafického bodového zobrazení měřených hodnot se souřadnicemi x, y (konkrétně spotřeb tepla na vytápění a teplot vzduchu v exteriéru) proložíme přímkou. Její rovnice pak vyjadřuje matematický předpis zobrazených bodů a závislost měřené veličiny y na veličině x. Touto metodou lze konkrétně stanovit průměrnou hodnotu celkového měrného tepelného toku **v otopném období**. Pokud by byly v grafu zobrazeny i hodnoty z letního období, došlo by k ovlivnění sklonu proložené křivky a tím k ovlivnění výsledku měrného tepelného toku.



Pro zjištění celkového měrného tepelného toku pomocí jednoduché lineární regrese bylo nejdříve nutné najít předpis obecné rovnice pro jeho výpočet. Metoda vychází z rovnice (4.5.1.1), která říká, že spotřebu tepla na vytápění vypočteme jako rozdíl tepelných ztrát a využitelných tepelných zisků.

$$\underbrace{Q_{nd}}_{\text{Spotřeba tepla na vytápění}} = \underbrace{H \cdot (T_{ai} - T_{ae})}_{\text{Tepelná ztráta}} - \underbrace{\eta \cdot Q_g}_{\text{Využitelné tepelné zisky}} \quad [W] \quad (4.5.1.1)$$

Po úpravě rovnice (4.5.1.1) je vidět, že v rovnici (4.5.1.2) jsou 2 neznámé (neměřené veličiny) a to měrný tepelný tok H [W/K] a využitelné zisky $\eta \cdot Q_g$ [kWh]. V tuto chvíli jsou dva způsoby, jak rovnici dále upravit a zjistit obecný předpis pro lineární regresi.

$$Q_{nd} = H \cdot T_{ai} - H \cdot T_{ae} - \eta \cdot Q_g \quad [W] \quad (4.5.1.2)$$

Buď vneseme do výpočtu určitou nejistotu a budeme předpokládat velikost využitelných zisků, viz rovnice (4.5.1.3), potom ale zjištěný měrný tepelný tok bude touto nejistotou ovlivněn a nemusí odpovídat realitě

$$\underbrace{Q_{nd} + \eta \cdot Q_g}_y = \underbrace{-H \cdot T_{ae}}_x + \underbrace{H \cdot T_{ai}}_q \quad [W] \quad (4.5.1.3)$$

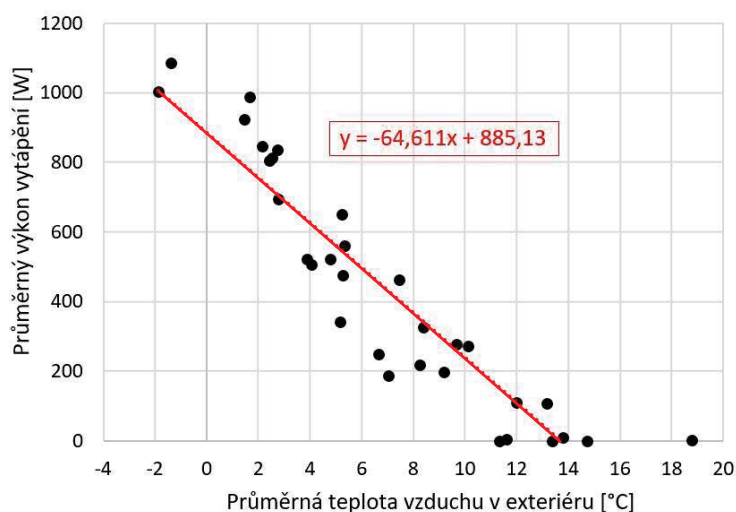
nebo využijeme pouze měřené hodnoty potřeby tepla na vytápění Q_{nd} a venkovní teploty T_{ae} a ostatní neznámé členy rovnice budeme považovat za konstantu q , viz rovnice (4.5.1.4). Dle mého názoru je tento předpis rovnice přesnější, protože do zobrazovaných hodnot x, y nevnášíme žádnou nejistotu a je proto využit pro zobrazení hodnot v grafu 86 a 87.

$$\underbrace{Q_{nd}}_y = \underbrace{-H \cdot T_{ae}}_x + \underbrace{H \cdot T_{ai} - \eta \cdot Q_g}_q \quad [W] \quad (4.5.1.4)$$

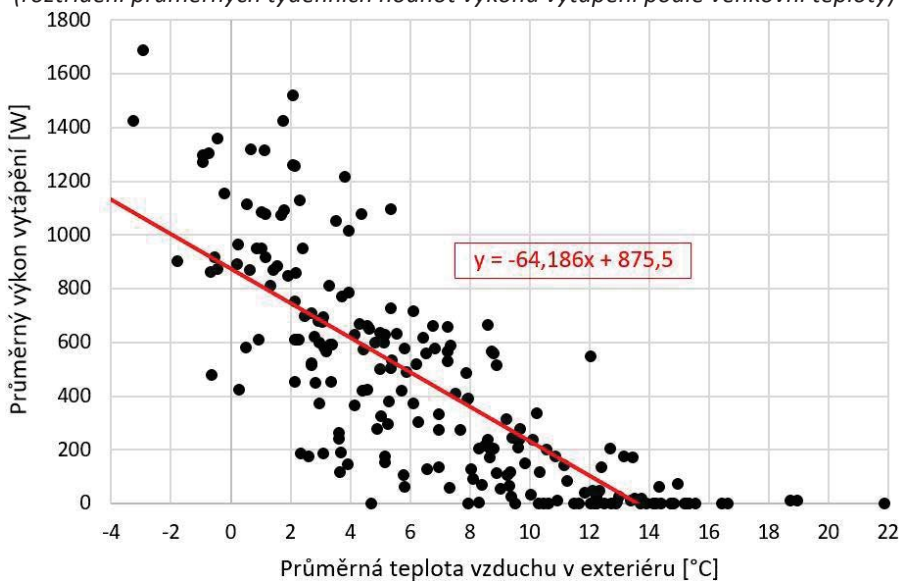
Výsledky

V následujících grafech 87 a 88 jsou rozříděny měřené průměrné týdenní a denní hodnoty výkonu vytápění podle teplot v exteriéru a metodou jednoduché lineární regrese je proložena přímka. Z grafů je potom patrný její předpis, jenž je v obou případech velmi podobný. V grafu 87 s **týdenními** hodnotami vyšla průměrná hodnota celkového měrného tepelného toku v otopném období **64,6 W/K**, v grafu 88 s **denními** hodnotami **64,2 W/K**.

Pokud tyto hodnoty porovnáme s předpokládanou hodnotu **65,1 W/K** uvažovanou ve výpočtových variantách 1-3, tak zjistíme, že se hodnoty téměř neliší. Dle výsledků se lze domnívat, že zvolená metoda jednoduché lineární regrese v tomto objektu funguje a reálná kvalita obálky budovy je podobná, jako byl její výpočtový předpoklad.



Graf 87 – Metoda jednoduché lineární regrese pomocí týdenních hodnot (roztřídění průměrných týdenních hodnot výkonu vytápění podle venkovní teploty)

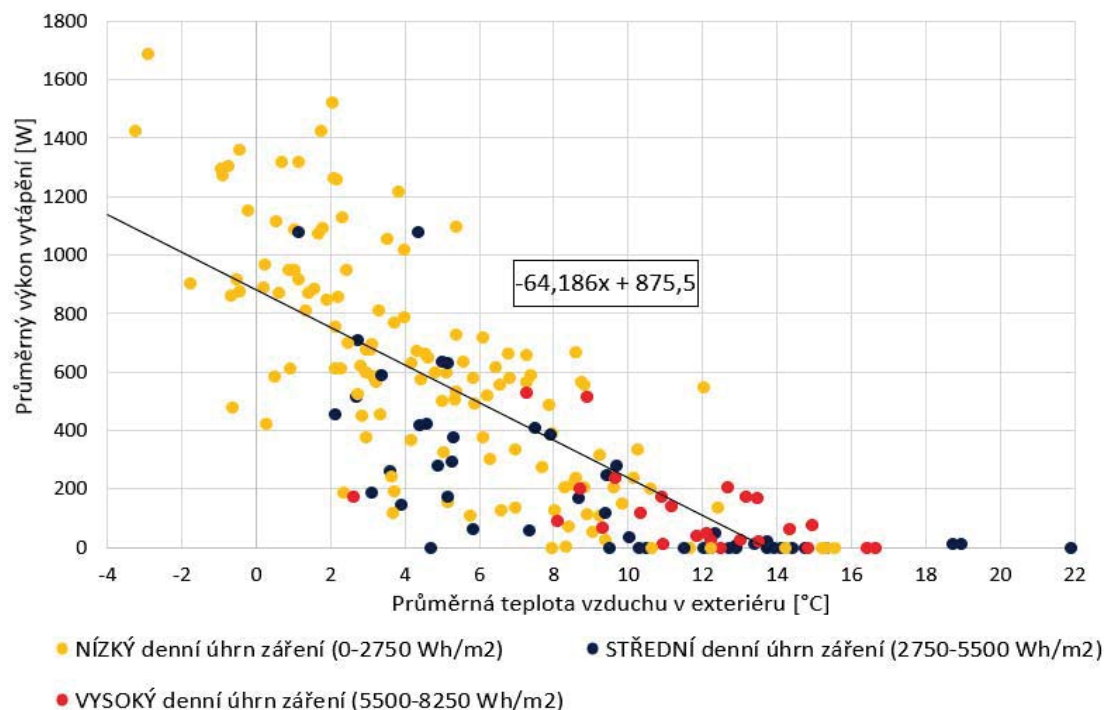


Graf 88 – Metoda jednoduché lineární regrese pomocí denních hodnot (roztřídění průměrných denních hodnot výkonu vytápění podle venkovní teploty)

Vliv solárních zisků na spotřebu tepla na vytápění

Již dříve bylo zmíněno, jaké vstupní parametry mají **vliv na spotřebu tepla na vytápění** a jedním z nich jsou **solární zisky**. Jak velkou roli skutečně hráli, lze ověřit pomocí stejného zobrazení jako v grafu 88 pouze s tím rozdílem, že jednotlivé body ještě barevně oddělíme podle měřených denních úhrnů ozáření na vodorovnou rovinu. Je sice pravda, že pyranometr měřil data o ozáření vyšší, než byla realita, ale jak moc slunce v dané období svítilo, je na nich stále vidět. Pro denní úhrny ozáření byly proto stanoveny 3 intervalové kategorie – nízké úhrny (žluté 0 – 2750 Wh/m²), střední úhrny (modré 2750 - 5500 Wh/m²) a vysoké úhrny (červené 5500 - 8250 Wh/m²). Pokud by solární zisky hrály významnou roli, měly být v grafu 89 jasně viditelné barevné plochy.

Graf 89 nakonec neukázal tak jasně viditelné barevné plochy, jak by se dalo očekávat, ale pravidelnost zde vidět je. V době vysokých úhrnů solárního ozáření (červeně) byla potřeba tepla na vytápění většinou kolem nuly nebo se pohybovala v dolní části grafu. V době středních úhrnů (modře) se spotřeba tepla na vytápění opět pohybovala spíše pod proloženou přímkou a spotřeba byla nižší. Při nízkých úhrnech solárního ozáření (žlutě) se body pohybují spíše v horní nebo střední části grafu, ale jsou značně rozptýleny od proložené přímkou a to na obě strany. Je tedy vidět, že na spotřebu tepla na vytápění má hlavně v době nízkých solárních zisků vliv samotné chování uživatele a vnitřní zisky.



Graf 89 – Vliv solárních zisků na potřebu tepla na vytápění
(roztřídění průměrných denních hodnot výkonu vytápění podle venkovní teploty + barevné oddělení podle úhrnu solárního ozáření)

Výpočet využitelných solárních zisků z výsledků jednoduché lineární regrese

V rovnici (4.5.1.4) byly původně dvě neznámé a to měrný tepelný tok H [W/K], který je vyčíslen výše, a **využitelné tepelné zisky** $\eta \cdot Q_g$ [kWh] zahrnuté v konstantě q . Průměrná hodnota q za otopné období vychází v případě zobrazení týdenních hodnot (graf 87) 885,1 W a v případě denních hodnot (graf 88) 875,5 W. Dle rovnice (4.5.1.6) lze pak dopočítat skutečnou průměrnou hodnotu výkonu využitelných zisků za otopné období.

$$q = H \cdot T_{ai} - \eta \cdot Q_g \quad [W] \quad (4.5.1.5)$$

$$\eta \cdot Q_g = H \cdot T_{ai} - q \quad [W] \quad (4.5.1.6)$$

kde q ... zjištěná hodnota konstanty z proložené přímky z grafu 87, $q = 885,1$ W

H ... vyčíslená reálná hodnota měrného tepelného toku, $H = 64,6$ W/K

T_{ai} ... průměrná teplota v otopném období, $T_{ai} = 23,4$ °C

$\eta \cdot Q_g$... průměrná hodnota výkonu využitelných zisků v otopném období [W]

Po dosazení hodnot do upravené rovnice (4.5.1.6) vychází průměrný výkon reálných využitelných zisků (za hodinu) 627 W. Je ale jasné, že ve skutečnosti jsou využitelné zisky každý měsíc jiné a proto je pro porovnání s předpokládanými hodnotami využitelných zisků lepší dopočítat **celkovou sumu reálných využitelných zisků za otopné období**. Ta je spolu s předpokládanou hodnotou využitelných zisků za otopné období uvedena v tabulce 23, ze které je vidět, že skutečné solární zisky vyšly podle metody lineární regrese **3642 kWh**, tedy zhruba o 480 kWh větší, než bylo původně předpokládáno.

Tabulka 23 – Porovnání předpokládaných a skutečných využitelných zisků za otopné období

SOLÁRNÍ ZISKY – předpokládané x skutečné hodnoty			
suma solárních zisků			otopné období
předpokládané (ve variantách 1-4, tab. 20)	Q_{sol}	[kWh]	3159
skutečné (vypočtené z rovnice 4.5.1.6)	Q_{sol}	[kWh]	3642

4.5.2 Bilanční výpočet

Tento druh výpočtu využívá stejné metodiky jako měsíční výpočet potřeby tepla na vytápění pouze s tím rozdílem, že neznámou zde není potřeba tepla na vytápění, protože ta je získána z měřených dat, ale celkové tepelné ztráty, respektive **celkový měrný tepelný tok H [W/K]**. Pomocí následujícího popisu bude jednoduše nastíněn výpočet měrného tepelného toku pomocí této metody.

Celkové tepelné ztráty Q_l [kWh] lze vyjádřit jako součet měřené potřeby tepla na vytápění Q_{nd} [kWh] a využitelných zisků $\eta \cdot Q_g$ [kWh] podle rovnice (4.5.2.1). V rovnici je naznačeno, že celkové tepelné ztráty a faktor využitelnosti jsou dvě na sobě závislé veličiny a proto je potřeba v excelu využít cyklických vzorců (iterace).

$$Q_{nd} = Q_l - \eta_g \cdot Q_g \quad \Rightarrow \quad Q_l = Q_{nd} + \eta_g \cdot Q_g \quad [\text{kWh}] \quad (4.5.2.1)$$

na sobě závislé veličiny -> iterační výpočet v excelu

kde Q_{nd} ... měřené měsíční potřeby tepla na vytápění vypočteme podle dříve uvedené rovnice (4.3.5.1) s uvažováním tepelné energie je z krbu 75 %

Q_g ... předpokládané měsíční tepelné zisky jsou stejné jako ve výpočtu potřeby tepla na vytápění (viz tabulka 20 v podkapitole 4.2.3)

η_g ... faktor využitelnosti zisků je zde neznámou veličinou - závisí také na měrném tepelném toku prostupem a větráním (viz dříve uvedená rovnice (4.1.14))

Q_l ... měsíční hodnoty celkových tepelných ztrát lze vyjádřit jako součin měrného tepelného toku H [W/K], rozdílu průměrné měsíční venkovní a průměrné vnitřní teploty $(T_{ai} - T_{ae})$ [K] a počtu hodin v měsíci t [h] podle rovnice (4.5.2.2)

$$Q_l = H \cdot (T_{ai} - T_{ae}) \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (4.5.2.2)$$

Pro stanovení měrného tepelného toku prostupem a větráním se nejdříve vypočítají měsíční hodnoty solárních a vnitřních zisků a to opět pomocí stejných předpokládaných hodnot jako u normového výpočtu potřeby tepla na vytápění (viz tabulka 20 v podkapitole 4.2.3). Dále se z měřených dat stanoví měsíční hodnoty spotřeby tepla na vytápění. A nakonec se v excelu pomocí iteračního výpočtu dopočítají podle rovnic (4.5.2.1 a 4.5.2.2) měsíční hodnoty dvou na sobě závislých veličin - **faktor využitelnosti tepelných zisků** a **celkový měrný tepelný tok**.

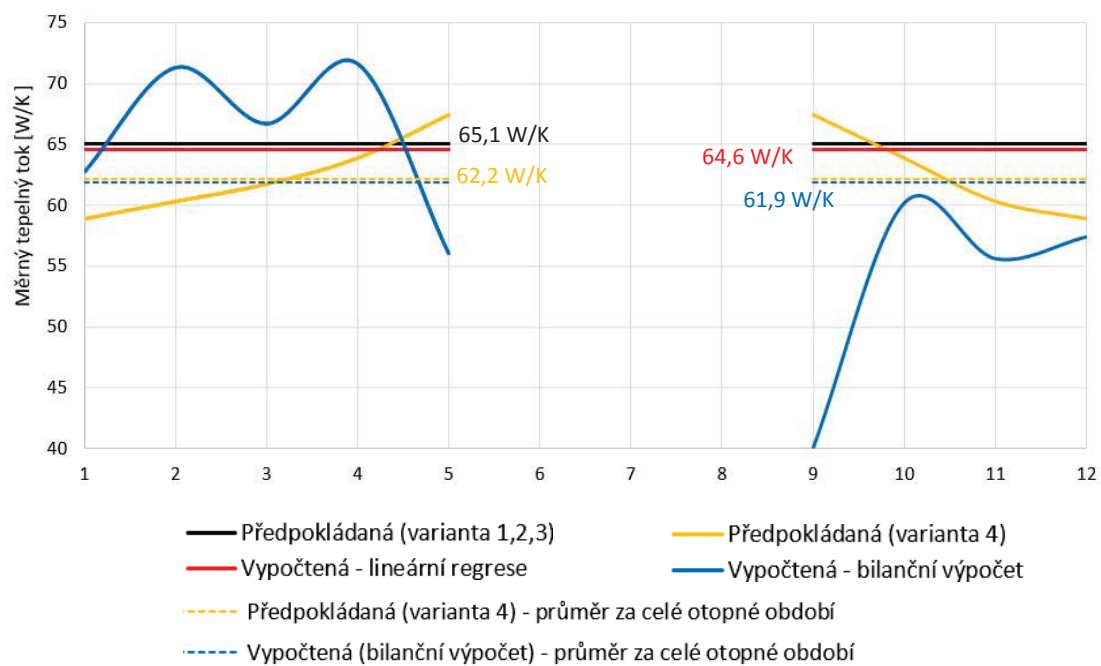
Jak je vidět, do této metody výpočtu vstupuje nejistota v podobě neměřených tepelných zisků. Vypočtené **měsíční hodnoty měrného tepelného toku H** zobrazené v grafu 89 jsou touto nejistotou ovlivněny a lze je považovat za méně přesné než výsledek lineární regrese. Průměrná hodnota za celé otopné období je 61,9 W/K.

4.5.3 Porovnání reálných a předpokládaných hodnot tepelných toků

V kapitole 4.5.1 a 4.5.2 byly vypočteny reálné hodnoty celkového měrného tepelného toku H pomocí dvou výpočtových metod (jednoduchá lineární regrese, bilanční výpočet). Metodu jednoduché **lineární regrese** považuji za přesnější, protože všechny parametry vstupující do výpočtu byly měřené a výsledek nebyl ovlivněn žádnou předpokládanou (nejistou) veličinou. Průměrná hodnota skutečného celkového měrného tepelného toku v otopném období vyšla na základě týdenních měřených hodnot **64,6 W/K** (resp. 64,2 W/K podle denních měřených hodnot), tedy pouze o 0,5 W/K (resp. 0,9 W/K) menší než bylo předpokládáno ve výpočtových variantách (1) - (3), kde se uvažovalo s hodnotou **65,1 W/K**. Lze tedy konstatovat, že metoda jednoduché lineární regrese fungovala a díky podání velmi podobných výsledků, lze považovat tepelně-izolační kvalitu obálky budovy za totožnou s hodnotou uvažovanou v normových výpočtech.

Pomocí druhé metody (**bilanční výpočet**) byly stanoveny měsíční hodnoty skutečného celkového měrného tepelného toku v otopném období. Pro lepší porovnání byla dopočtena průměrná hodnota za celé otopné období, která vyšla **61,9 W/K**. Druhou metodu považuji za méně přesnou, protože do výpočtu vstupují kromě měřených veličin i předpokládané tepelné zisky a vnášejí do výsledku určitou míru nejistoty.

Pro porovnání vypočtených reálných a předpokládaných hodnot měrných tepelných toků je přiložen graf 89. Je zde vidět, že některé měrné tepelné toky jsou konstantní během otopného období a některé proměnné, což je způsobeno vždy příslušnou metodou výpočtu. Z grafu je patrné, že předpokládaná hodnota u variant 1-3 a vypočtená hodnota dle metody 1 dosahuje téměř totožných hodnot a proměnné hodnoty u varianty 4 kolem těchto hodnot oscilují. Nižší hodnoty u varianty 4 jsou způsobeny nastavením menšího množství přiváděného vzduchu v zimě a vyšší hodnoty naopak větším množstvím v období přechodném. Vypočtené hodnoty podle metody 2 jsou od všech hodnot nejdál, což je pravděpodobně způsobeno odhadnutým množstvím tepelných zisků ve výpočtu.



Graf 90 – Srovnání průběhů měrných tepelných toků v otopném období (předpokládaných a reálných)

5 Závěr

5.1 Rekapitulace výsledků

V rámci diplomové práce jsem se věnovala analýze měřených dat z let 2014 a 2015 z rodinného pasivního domu v Koberovech. **Cílem** bylo analyzovat měřené údaje a to zejména teploty, relativní vlhkosti a spotřeby energie, vyhodnotit kvalitu vnitřního prostředí, analyzovat provoz tepelného čerpadla země-voda, porovnat skutečnou spotřebu tepla na vytápění s vypočtenou potřebou, ověřit reálnou kvalitu objektu a hledat závislosti mezi jednotlivými veličinami. V následujícím textu je shrnut průběh a výsledky jednotlivých kapitol.

Kapitola 3 se věnovala popisné statistice měřených údajů a tvoří nejrozsáhlejší kapitolu práce. Pro přehlednost jsou výsledky uvedeny po jednotlivých dílčích kapitolách.

V podkapitole 3.1 jsou popsány **exteriérové podmínky**, konkrétně **teplota, relativní vlhkost vzduchu v exteriéru a sluneční záření**. Zde bylo zjištěno, že otopné období roku 2014 a léto roku 2015 bylo značně teplejší než v roce druhém, což mělo vliv na některé analyzované veličiny. Dále bylo zjištěno, že měřená data ozáření na vodorovnou rovinu neodpovídala realitě, protože byla příliš vysoká. Z analýzy se domnívám, že pyranometr měří špatně a naměřené hodnoty jsou minimálně o 20 % vyšší.

V podkapitole 3.2 jsem se zabývala analýzou **interiérových podmínek**, nejdříve teplotou vzduchu a dále relativní vlhkostí. U obou veličin byla zjištěna spojitost mezi extrémními hodnotami (vysoké teploty, nízké relativní vlhkosti) a zatopením v krbových kamnech, tyto hodnoty bylo pro neovlivnění některých analýz potřeba vyfiltrovat.

V rámci podkapitoly 3.2.1 bylo zjištěno, že **vnitřní teplota vzduchu** i po vyfiltrování dat ovlivněných krbem nebyla vůbec tak stálá, jak se v pasivních domech předpokládá. Poměrně často se pohybovala nad zvolenou horní limitní hranicí 24 °C pro otopné období a 28 °C pro letní období. V otopném období roku 2014 překročilo tuto hranici více než 19 % měření, v období letním pak 18 % měření. Naopak dolní hranice 18 °C (resp. v létě 20 °C) nebyla ani jednou během obou měřených let překročena. Vyšší vnitřní teplota v interiéru je jistě způsobena kombinací několika aspektů. Na vině může být částečně samotný uživatel a to nastavením nadprůměrně vyšší požadované teploty v otopném období, dle měřených dat se totiž průměrná teplota během typicky zimního období pohybovala mezi 22 – 23 °C. Vyšší teploty v interiéru byly způsobeny i solárními zisky, jelikož k překročení limitních hranic docházelo spíše v přechodném a letním období, kdy dosahovala venkovní teplota a sluneční ozáření vyšších hodnot. Teplota vnitřního vzduchu může být zároveň ovlivněna nevhodným umístěním samotného teplotního čidla, které je osazeno pod stropem prvního podlaží.

Analýza **relativní vlhkosti v interiéru** popsána v podkapitole 3.2.2 ukázala, že v řešeném rodinném domě vyvstává problém s nízkými hodnotami relativní vlhkosti vnitřního vzduchu v otopném období. Průměrná denní relativní vlhkost se v této době pohybovala mezi 25 – 35 % a od února do dubna roku 2015 bylo dokonce 80 % měření pod hodnotou 30 %. Důvodem nízkých hodnot relativní vlhkosti v otopném období může být opět několik aspektů, např. vyšší teplota v interiéru, chování uživatele nebo špatné nastavení vzduchotechnické jednotky. V rámci analýzy je ukázána spojitost nízkých relativních vlhkostí a vysokých vnitřních teplot. V diskuzi nad výsledky jsou zároveň uvedena některá možná řešení zvýšení relativní vlhkosti v otopném období (snížení vnitřní teploty vzduchu, použití ZZV) a jejich vliv na hodnoty relativní vlhkosti.

V rámci podkapitoly 3.2 věnované **vyhodnocení kvality vnitřního prostředí** jsou uvedeny dva způsoby hodnocení. První neoficiální způsob hodnocení převzatý ze zdroje [9] roztřídil denní průměrné hodnoty relativních vlhkostí podle vnitřních teplot a ukázal jejich vliv na komfort vnitřního prostředí. Podle této metody bylo zjištěno, že se obyvatelé mohli cítit nekomfortně hlavně v letním období, kdy vnitřní teplota dosahovala až k 30 °C. Druhý způsob, jenž se řídí dle ČSN EN 15251 a počítá na rozdíl od předchozího hodnocení s adaptací člověka na teplejší prostředí, hodnotí vnitřní prostředí pouze z hlediska korelace hodinových průměrných hodnot vnitřní teploty a klouzavé denní venkovní teploty a nezohledňuje relativní vlhkost vzduchu. Dle tohoto hodnocení není úplně jasný závěr, lze ale konstatovat, že v cca 8 % měřených hodin se hodnoty vyskytovaly mimo optimální interval kategorie I a II.

Podkapitola 3.3 se zabývá analýzou **spotřeby tepla na vytápění, spotřeby tepla na ohřev teplé vody a spotřeby elektrické energie**. Jednalo se zde hlavně o ověření reálnosti měřených dat, zobrazení ročních průběhů a zjištění důležitých statistických údajů (počet dnů provozu, roční spotřeba, denní průměrná spotřeba, atd.). V rámci analýzy měřených dat vyvstaly v podkapitole 3.3 dva zásadní problémy. První se týkal **spotřeby tepla na ohřev vody pro potřeby pračky a myčky (K8)**, kdy byla měřená data podezřele vysoká, a nebylo jasné, v jakých jednotkách jsou data měřena. Po určitém zdůvodnění je nepravděpodobnější hypotézou, že kalorimetr měří hodnoty 10x větší než by odpovídalo realitě. Druhý problém nastal u měřených dat **spotřeby elektrické energie pro pohon čerpadla (elo_čerp)**. Zde nebylo předem jasné, o jaké čerpadlo se konkrétně jedná, protože jich v celém systému je osazeno několik. Dle analýzy se domnívám, že se jedná o čerpadlo solárního systému, protože největší spotřeba byla v letních měsících, zatímco u ostatních čerpadel (krb, otopná voda do VZT a topných žebříků, tepelné čerpadlo) by tomu bylo právě naopak. Elektrická energie

ostatních čerpadel nebyla pravděpodobně měřena, a proto byla zahrnuta v dopočtené hodnotě elektrické energie spolu s elektřinou pro osvětlení a drobné elektrické spotřebiče.

V podkapitole 3.4 bylo zjištěno, že topný faktor (COP) **tepelného čerpadla země-voda** měl viditelný sezónní charakter, hodnoty se v otopném období pohybovaly mezi 2,8 – 3 a v období letním stoupaly až k 3,5 (dle výrobce je COP pro teplotní charakteristiku BO/W35 4,4). Bylo také ukázáno, že sezónnost COP souvisela s ročním sinusovým průběhem teplot v zemině, tedy s nízkými teplotami v zimě a vysokými v létě. V rámci kapitoly byl také zobrazen vliv odběru tepla ze země na teploty zeminy ve výměníku, z něhož bylo patrné, že v otopném období docházelo ve výměníku k prochlazování zeminy a naopak v období letním se teplota vlivem přirozené regenerace vracela na původní teplotní režim. Také zde byl ukázán provoz TČ pomocí zobrazení provozních hodin a průběhu teplot solanky na vstupu a výstupu z TČ, ze kterého bylo patrné, kdy TČ topilo a kdy naopak chladilo.

V kapitole 4 byl nejdříve představen **výpočet potřeby tepla na vytápění** a vstupní parametry uvažované ve výpočtech. Následně byly uvedeny výsledky měrných ročních potřeb tepla na vytápění všech 4 variant ($E_A = 17,1/13,2/19,4/19,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$), ze kterých je patrný vliv jednotlivých měřených údajů, a reálné spotřeby tepla na vytápění ($E_A = 17 - 17,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$). Z porovnání měřené spotřeby a vypočtených potřeb tepla na vytápění vyplynulo, že dům ve skutečnosti splňuje požadavek pro pasivní domy a reálná spotřeba se pohybuje v rozmezí vypočtených hodnot.

V kapitole 4.5 byly vypočteny reálné hodnoty celkového měrného tepelného toku H pomocí dvou výpočtových metod za účelem **ověření reálné kvality obálky budovy**. Metodu jednoduché lineární regrese s vypočtenou průměrnou hodnotou měrného tepelného toku v otopném období 64,6 W/K považuji za přesnější, protože do výpočtu nebyla vnesena žádná nejistota v podobě předpokládaných parametrů. Zatímco druhou metodu (bilanční výpočet), pomocí které byly zjištěny měsíční hodnoty měrného tepelného toku v otopném období (jejich průměrná hodnota za celé otopné období vyšla 61,9 W/K), lze považovat za méně přesnou a to kvůli vnesení nejistoty v podobě předpokládaných tepelných zisků. **Nejzajímavějším výsledkem** této kapitoly a zároveň i celé práce je fakt, že metoda jednoduché lineární regrese pro ověření kvality obálky budovy fungovala a podala pomocí denních i týdenních hodnot téměř stejnou hodnotu měrného tepelného toku, jako byl výpočtový předpoklad (65,1 W/K). Z tohoto výsledku tedy vyplývá, že tepelně-izolační kvalita obálky budovy je stejná, jako bylo předpokládáno v projektu a dům funguje jako pasivní.

5.2 Návrh další činnosti

Výše zmíněný výsledek podkapitoly 4.5 nabízí jednu z možností dalšího pokračování této práce. Konkrétně by se mohlo jednat o **zkoumání jiných regresních metod pro ověření reálné tepelně-izolační kvality obálky budovy** jako například:

- vícenásobné regrese - nezávislou proměnou by bylo kromě venkovní teploty i globální solární ozáření na vodorovnou rovinu
- jednoduché regrese - nezávislou proměnou by byl rozdíl teplot v interiéru a exteriéru
- jednoduché regrese - nezávislou proměnou by byla venkovní teplota stejně jako v kapitole 4.5.1 pouze s tím rozdílem, že cílem by nebylo zjistit průměrnou hodnotu měrného tepelného toku H , ale jeho měsíční hodnoty -> využití klouzavé venkovní teploty

Cílem takovéto práce by mohlo být například:

- zjistit nejlepší způsob analýzy pro podání nejdělejších výsledků
- zjistit, které veličiny je nutné měřit, aby bylo možné z měření spolehlivě stanovit reálnou tepelně-izolační kvalitu obálky budovy
- zjistit, zda by se z měření dal stanovit zvlášť měrný tepelný tok prostupem H_v a měrný tepelný tok větráním H_T

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] MORÁVEK, P, TYWONIAK, J. Obytný soubor pasivních domů Koberovy. *Materiály pro stavbu*, 2008, roč. XIV., č. 8
- [2] ATREA s. r. o. [online]. Dostupné z: www.domyatrea.cz/?download=/_/ke-stazeni/spotreba.pdf
- [3] SLAVONA, s.r.o. [online]. Dostupné z: <http://www.slavona.cz/pasivni-domy/pasivni-domy-uvod.html>
- [4] ATREA s. r. o. [online]. Dostupné z: http://www.atrea.sk/img/obytnne/duplex_r5_cz/
<http://www.atrea.cz/cz/tc-zeme-voda>
- [5] MORÁVEK, P, TYWONIAK, J. Pasivní domy v Českém ráji. *Stavebnictví*, 2007, č. 10
- [6] TZB-info [online]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [7] ISOFEN ENERGY s.r.o. [online]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [8] <http://energetika.cvut.cz/files/OZE%20p4.pdf>
- [9] Centrum pasivního domu, z.s. [online]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/>
- [10] ZIKÁN, Z., ATREA s.r.o. Pasivní domy Koberovy s teplovzdušným vytápěním a větráním. *Odborný časopis Společnosti pro techniku prostředí*, 2013, roč. 22, č.4
- [11] Technická norma ČSN EN ISO 13788
- [12] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.
- [13] MORÁVEK, P. Mikroklima pasivních domů. *TZB-info* [online], 2011. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/8144-mikroklima-pasivnich-domu>
- [14] Technická norma ČSN EN 15251
- [15] MALYS L., MUSY, M., INARD, Ch. Direct and indirent impacts of vegetation on building comfort: a comparative study of lawns, green wall and green roofs. *Energies*, January 2016
- [16] Technická normalizační informace TNI 73 0302
- [17] *Ceny energie* [online]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/spotreba-vody-v-domacnosti-tipy-jak-setrit/#/promo-ele>
- [18] Zanussi [online]. Dostupné z: <http://www.zanussi.cz/Products/Mytí-nádobí/Vestavné/Standardní-60-cm---plně-integrované/ZDT26001FA/>
- [19] Zanussi [online]. Dostupné z: <http://www.zanussi.cz/Products/Praní/Pračky/Předem-plněné/ZWF71243W/>
- [20] Technická normalizační informace TNI 73 0331

- [21] *Dodavatel elektřiny* [online]. Dostupné z:
<http://dodavatelektriny.cz/uzitecne-informace/jak-odhadnout-spotrebu-elektriny>
- [22] KOPECKÝ, Pavel. Hygro-thermal performance of earth-to-air heat exchangers: disertační práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2008. Školitel prof. Ing. Jan Tywoniak, CSc.
- [23] Technická norma ČSN EN ISO 13790
- [24] ANTONÍN, Jan. Stavebně-energetické řešení souboru pasivních domů v Koberovech. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2007. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Jan Tywoniak, CSc.
- [25] Technická norma ČSN 75 0540-3

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 - OBYTNÝ SOUBOR 13 PASIVNÍCH DOMŮ V KOBEROVECH, SITUACE [1].....	4
OBRÁZEK 2 - PŮDORYS 1.NP.....	5
OBRÁZEK 3 - PŮDORYS 2.NP.....	5
OBRÁZEK 4 - ŘEZ A.....	5
OBRÁZEK 5 - DŘEVOSKELETOVÁ KONSTRUKCE RD [2].....	6
OBRÁZEK 6 – ANALYZOVANÝ RODINNÝ PASIVNÍ DŮM V KOBEROVECH [3]	6
OBRÁZEK 7 - SCHÉMA TZB	7
OBRÁZEK 8 – REŽIMY VZT JEDNOTKY DUPLEX RB [4].....	8
OBRÁZEK 9 – TŘI REŽIMY TEPELNÉHO ČERPADLA ZEMĚ-VODA [4]	9
OBRÁZEK 10 - ZEMNÍ PLOŠNÝ VÝMĚNÍK VE TVARU SLINEK V HLOUBCE 1,5 M (FOTKA Z REALIZACE)	10
OBRÁZEK 11 - SCHÉMA TZB S OSAZENÝMI MĚŘICÍMI PŘÍSTROJI.....	11
OBRÁZEK 12 - UMÍSTĚNÍ ČIDLA VNITŘNÍ TEPLoty.....	19
OBRÁZEK 13 - UMÍSTĚNÍ ČIDLA RELATIVNÍ VLHKOSTI	27
OBRÁZEK 14 - PŘIRÁŽKA ΔP [KG/M ³] PRO VLHKOSTNÍ TŘÍDY V ZÁVISLOSTI NA PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ VENKOVNÍ TEPLOTĚ.....	35
OBRÁZEK 15 - POMĚRNÉ ZASTOUPENÍ JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK PODÍLEJÍCÍCH SE NA KVALITĚ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ [9]	41
OBRÁZEK 16 - DIAGRAM VLIVU TEPLoty A RELATIVNÍ VLHKOSTI	43
OBRÁZEK 17 - ROZSAHY OPERATIVNÍCH TEPLoty PRO JEDNOTLIVÉ KATEGORIE DLE ČSN EN 15251 [15] ...	46
OBRÁZEK 18 - SCHÉMA TZB S KALORIMETRY – VYZNAČENÍ ÚDAJŮ DŮLEŽITÝCH PRO VYTÁPĚNÍ	48
OBRÁZEK 19 - SCHÉMA TZB – VYZNAČENÍ ÚDAJŮ DŮLEŽITÝCH PRO OHŘEV TV	52
OBRÁZEK 20 - SCHÉMA TZB – VYZNAČENÍ ÚDAJŮ DŮLEŽITÝCH PRO SPOTŘEBU ELEKTRICKÉ ENERGIE	56
OBRÁZEK 21 – SCHÉMA ELEKTRICKÉ ENERGIE A ROZDĚLENÍ DO JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK.....	56
OBRÁZEK 22 – SITUAČNÍ UMÍSTĚNÍ PLOŠNÉHO ZEMNÍHO VÝMĚNÍKU	65
OBRÁZEK 23 – OSAZENÍ TEPLotNÍCH ČIDLA NA PRIMÁRNÍM KRUHU TČ (NA VSTUPU A VÝSTUPU SOLANKY z TČ).....	69
OBRÁZEK 24 - SYSTÉMOVÁ HRANICE OBÁLKY BUDOVY (ŘEZ + PŮDORYS 1.NP)	76
OBRÁZEK 25 - POROVNÁNÍ SKUTEČNÉ A VYPOČTENÉ POTŘEBOU NA VYTÁPĚNÍ	88

Seznam tabulek

TABULKA 1 – ANALYZOVANÉ MĚŘENÉ VELIČINY	11
TABULKA 2 - DEFINICE METEOROLOGICKÝCH TERMÍNŮ.....	14
TABULKA 3 - VLHKOSTNÍ TŘÍDY PODLE ČSN EN ISO 13788	36
TABULKA 4 - PŘÍPUSTNÉ HODNOTY PRO PRACOVNÍ TŘÍDU IIA DLE NAŘÍZENÍ VLÁDY 361/2007 SB. [12] ...	41
TABULKA 5 - DOPORUČENÉ HODNOTY TEPELNĚ-VLHKOSTNÍHO MIKROKLIMATU DLE ZDROJE [12].....	41
TABULKA 6 - KATEGORIE VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ DLE ČSN EN 15251 [14].....	45
TABULKA 7 – STATISTICKÉ ÚDAJE SPOTŘEB TEPELNÉ ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ.....	49
TABULKA 8 - DENNÍ PŘEDPOKLÁDANÁ SPOTŘEBA TV A TEPLA NA OHŘEV TV.....	53
TABULKA 9 - ROČNÍ PŘEDPOKLÁDANÁ SPOTŘEBA VODY A TEPLA PRO PRAČKU A MYČKU – 1. ZPŮSOB	53
TABULKA 10 - ROČNÍ PŘEDPOKLÁDANÁ SPOTŘEBA VODY A TEPLA PRO PRAČKU A MYČKU – 2. ZPŮSOB	53
TABULKA 11 - STATISTICKÉ ÚDAJE SPOTŘEB ENERGIE NA OHŘEV TV	55
TABULKA 12 - STATISTICKÉ ÚDAJE SPOTŘEB EL. ENERGIE POTŘEBNÉ NA CHOD VZT JEDNOTKY	58
TABULKA 13 - STATISTICKÉ ÚDAJE SPOTŘEB EL. ENERGIE POTŘEBNÉ NA CHOD TEPELNÉHO ČERPADLA	60
TABULKA 14 - STATISTICKÉ ÚDAJE SPOTŘEB EL. ENERGIE POTŘEBNÉ NA CHOD ČERPADLA	61
TABULKA 15 - STATISTICKÉ ÚDAJE SPOTŘEB EL. ENERGIE POTŘEBNÉ NA OSVĚTLENÍ A SPOTŘEBIČE	63
TABULKA 16 – VSTUPNÍ ÚDAJE PRO VÝPOČET (PARAMETRY ZÓNY)	76
TABULKA 17 – PLOCHY JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKCÍ A JEJICH SOUČINTEL PROSTUPU TEPLA U	77
TABULKA 18 – VSTUPNÍ PARAMETRY PRO VÝPOČET TEPELNÝCH VNITŘNÍCH ZISKŮ	78
TABULKA 19 - POUŽITÉ KOREKČNÍ ČINITELE STÍNĚNÍ.....	79
TABULKA 20 – MĚSÍČNÍ A ROČNÍ HODNOTY VNITŘNÍCH A SOLÁRNÍCH TEPELNÝCH ZISKŮ.....	80
TABULKA 21 - VSTUPNÍ PARAMETRY PRO VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY VĚTRÁNÍM.....	82
TABULKA 22 – MNOŽSTVÍ PŘIVÁDĚNÉHO ČERSTVÉHO VZDUCHU BĚHEM ROKU (PRO VARIANTU (4))	82
TABULKA 23 – POROVNÁNÍ PŘEDPOKLÁDANÝCH A SKUTEČNÝCH VYUŽITELNÝCH ZISKŮ ZA OTOPNÉ OBDOBÍ	94

Seznam grafů

GRAF 1 - PRŮBĚH TEPLoty VZDUCHU V EXTERIÉRU (ROK 2014)	13
GRAF 2 - PRŮBĚH TEPLoty VZDUCHU V EXTERIÉRU (ROK 2015)	14
GRAF 3 – PRŮBĚH PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ, MAXIMÁLNÍ A MINIMÁLNÍ TEPLoty VZDUCHU V EXTERIÉRU	14
GRAF 4 - POČET ARKTICKÝCH, LEDOVÝCH, MRAZOVÝCH, LETNÍCH A TROPICKÝCH DNÍ ZA ROK	15
GRAF 5 - POČET ARKTICKÝCH, LEDOVÝCH, MRAZOVÝCH, LETNÍCH A TROPICKÝCH DNÍ V MĚSÍCI	15
GRAF 6 - PRŮBĚH TEPLoty VZDUCHU V EXTERIÉRU A SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ (KVĚTEN 2015)	15
GRAF 7 - PRŮBĚH RELATIVNÍ A ABSOLUTNÍ VLHKOSTI V EXTERIÉRU (2014)	16
GRAF 8 - PRŮBĚH RELATIVNÍ VLHKOSTI A HUSTOTY VODNÍ PÁRY V EXTERIÉRU (2015)	16
GRAF 9 - PRŮBĚH PRŮMĚRNÝCH MĚSÍČNÍCH HODNOT RELATIVNÍ A ABSOLUTNÍ VLHKOSTI (2014, 2015) ..	17
GRAF 10 - PRŮBĚH OZÁŘENÍ NA VODOROVNOU ROVINU (ROK 2014)	18
GRAF 11 - PRŮBĚH OZÁŘENÍ NA VODOROVNOU ROVINU (ROK. 2015)	18
GRAF 12 - PRŮBĚH OZÁŘENÍ NA VODOROVNOU ROVINU, HODNOTY SNÍŽENÉ O 20 % (ROK 2015)	18
GRAF 13 - PRŮBĚH TEPLoty VZDUCHU V INTERIÉRU (ROK 2014)	20
GRAF 14 - PRŮBĚH TEPLoty VZDUCHU V INTERIÉRU (ROK 2015)	20
GRAF 15 - VÝSEK PRŮBĚHU TEPLoty PŘI ZATOPENÍ V KRBU - UKÁZKA OVLIVNĚNÝCH MĚŘENÍ	21
GRAF 16 - PRŮBĚH TEPLoty VZDUCHU V INTERIÉRU (BEZ VLIVU KRBU) A V EXTERIÉRU (ROK 2014)	22
GRAF 17 - PRŮBĚH TEPLoty VZDUCHU V INTERIÉRU (BEZ VLIVU KRBU) A V EXTERIÉRU (ROK 2015)	22
GRAF 18 – PRŮBĚH PRŮMĚRNÉ DENNÍ TEPLoty VZDUCHU V INTERIÉRU (BEZ VLIVU KRBU) A V EXTERIÉRU (ROK 2014).....	22
GRAF 19 – PRŮBĚH PRŮMĚRNÉ DENNÍ TEPLoty VZDUCHU V INTERIÉRU (BEZ VLIVU KRBU) A V EXTERIÉRU (ROK 2015).....	22
GRAF 20 - HISTOGRAMY TEPLoty VZDUCHU V INTERIÉRU V OTOPNÉM OBDOBÍ V LETECH 2014 A 2015.....	23
GRAF 21 - HISTOGRAMY TEPLoty VZDUCHU V INTERIÉRU MIMO OTOPNÉ OBDOBÍ V LETECH 2014 A 2015. 23	
GRAF 22 – PRŮBĚH MAXIMÁLNÍ DENNÍ TEPLoty V INTERIÉRU (ROK 2014).....	24
GRAF 23 – PRŮBĚH MAXIMÁLNÍ DENNÍ TEPLoty V INTERIÉRU (ROK 2015).....	24
GRAF 24 – PRŮBĚH MINIMÁLNÍ TEPLoty VZDUCHU V INTERIÉRU V LETECH 2014 A 2015.....	24
GRAF 25 - PRŮBĚH RELATIVNÍ VLHKOSTI VZDUCHU V INTERIÉRU (R. 2014)	28
GRAF 26 - PRŮBĚH RELATIVNÍ VLHKOSTI VZDUCHU V INTERIÉRU (R. 2015)	28
GRAF 27 - PRŮBĚH RELATIVNÍ VLHKOSTI VZDUCHU V INTERIÉRU - BEZ VLIVU KRBU (ROK 2014)	29
GRAF 28 - PRŮBĚH PRŮMĚRNÉ DENNÍ RELATIVNÍ VLHKOSTI VZDUCHU V INTERIÉRU - BEZ VLIVU KRBU (ROK 2014)	30
GRAF 29 - PRŮBĚH RELATIVNÍ VLHKOSTI V INTERIÉRU V ZÁVISLOSTI NA VNITŘNÍ TEPLotĚ (BŘEZEN 2014)..	30

GRAF 30 - PRŮBĚH RELATIVNÍ VLHKOSTI V INTERIÉRU (VÝSEK ZÁŘÍ 2014)	30
GRAF 31 - PRŮBĚH RELATIVNÍ VLHKOSTI VZDUCHU V INTERIÉRU - BEZ VLIVU KRBU (ROK 2015)	31
GRAF 32 - PRŮBĚH PRŮMĚRNÉ DENNÍ RELATIVNÍ VLHKOSTI VZDUCHU V INTERIÉRU - BEZ VLIVU KRBU (ROK 2015)	31
GRAF 33 - PRŮBĚH RELATIVNÍ VLHKOSTI V INTERIÉRU V ZÁVISLOSTI NA VNITŘNÍ TEPLOTĚ (ÚNOR 2015)	31
GRAF 34 - HISTOGRAMY RELATIVNÍCH VLHKOSTÍ VZDUCHU V INTERIÉRU V OTOPNÉM OBDOBÍ (ROKU 2014 A 2015)	32
GRAF 35 - HISTOGRAMY RELATIVNÍCH VLHKOSTÍ VZDUCHU V INTERIÉRU V LETNÍM OBDOBÍ (ROKU 2014 A 2015)	32
GRAF 36 - PRŮBĚH MINIMÁLNÍ DENNÍ RELATIVNÍ VLHKOSTI V INTERIÉRU V ROCE 2014	33
GRAF 37 - PRŮBĚH MINIMÁLNÍ DENNÍ RELATIVNÍ VLHKOSTI V INTERIÉRU V ROCE 2015	33
GRAF 38 - PRŮBĚH MAXIMÁLNÍ DENNÍ RELATIVNÍ VLHKOSTI V INTERIÉRU V ROCE 2014	34
GRAF 39 - PRŮBĚH MAXIMÁLNÍ DENNÍ RELATIVNÍ VLHKOSTI V INTERIÉRU V ROCE 2015.....	34
GRAF 40 - PRŮBĚH HUSTOTY VODNÍ PÁRY V INTERIÉRU A EXTERIÉRU A PŘIRÁŽKY VLIVEM PROVOZU V ROCE 2014	36
GRAF 41 - PRŮBĚH PRŮMĚRNÝCH DENNÍCH HODNOT HUSTOT VODNÍ PÁRY V INTERIÉRU ($P_{VI,PRUM}$) A EXTERIÉRU ($P_{VI,PRUM}$) A VLHKOSTNÍ PŘIRÁŽKY ($G/V_{A,PRUM}$) V ROCE 2014	37
GRAF 42 - PRŮBĚH HUSTOTY VODNÍ PÁRY V INTERIÉRU A EXTERIÉRU A PŘIRÁŽKY VLIVEM PROVOZU V ROCE 2015	37
GRAF 43 - PRŮBĚH PRŮMĚRNÝCH DENNÍCH HODNOT HUSTOT VODNÍ PÁRY V INTERIÉRU ($P_{VI,PRUM}$) A EXTERIÉRU ($P_{VI,PRUM}$) A VLHKOSTNÍ PŘIRÁŽKY ($G/V_{A,PRUM}$) V ROCE 2015	37
GRAF 44 - POROVNÁNÍ RELATIVNÍCH VLHKOSTÍ V INTERIÉRU PŘI SNÍŽENÍ VNITŘNÍ TEPLoty.....	39
GRAF 45 - POROVNÁNÍ RELATIVNÍCH VLHKOSTÍ V INTERIÉRU PŘI SNÍŽENÍ VNITŘNÍ TEPLoty.....	39
GRAF 46 – ZVÝŠENÍ RELATIVNÍ VLHKOSTI V INTERIÉRU V OTOPNÉM OBDOBÍ POMOCÍ ZZV (ROK 2014)	40
GRAF 47 – ZVÝŠENÍ RELATIVNÍ VLHKOSTI V INTERIÉRU V OTOPNÉM OBDOBÍ POMOCÍ ZZV (ROK 2014)	40
GRAF 48 – ZOBRAZENÍ DENNÍCH PRŮMĚRNÝCH HODNOT RELATIVNÍCH VLHKOSTÍ A TEPLot V OTOPNÉM OBDOBÍ.....	44
GRAF 49 – ZOBRAZENÍ DENNÍCH PRŮMĚRNÝCH HODNOT RELATIVNÍCH VLHKOSTÍ A TEPLot V LETNÍM OBDOBÍ	44
GRAF 50 – VYHODNOCENÍ DLE ČSN EN 15251 (ROK 2014)	47
GRAF 51 – VYHODNOCENÍ DLE ČSN EN 15251 (ROK 2015)	47
GRAF 52 – VYHODNOCENÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ DLE ČSN EN 15251	47
GRAF 53 - PODÍL JEDNOTLIVÝCH TEPELNÝCH ZDROJŮ NA SPOTŘEBĚ ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ (ROK 2015)	50

GRAF 54 - PRŮBĚH DENNÍCH SPOTŘEB TEPLA NA VYTÁPĚNÍ (VZT A OTOPNÉ ŽEBŘÍKY) BĚHEM LET 2014 A 2015	51
GRAF 55 - PRŮBĚH DENNÍCH SPOTŘEB TEPLA NA VYTÁPĚNÍ (KRB) BĚHEM LET 2014 A 2015	51
GRAF 56 - ROČNÍ PODÍLY NA SPOTŘEBĚ ENERGIE NA OHŘEV TV (ROK 2014 - VLEVO, ROK 2015 VPRAVO). 55	
GRAF 57 - MĚSÍČNÍ PODÍL SPOTŘEB ENERGIE NA OHŘEV TEPLÉ VODY (ROK 2014 - VLEVO, ROK 2015 VPRAVO)	55
GRAF 58 - PODÍL JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK NA ROČNÍ SPOTŘEBĚ CELKOVÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE (ROK 2014 A 2015)	57
GRAF 59 - PODÍL JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK NA MĚSÍČNÍ SPOTŘEBĚ CELKOVÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE (ROK 2014 A 2015)	57
GRAF 60 - PRŮBĚH DENNÍCH SPOTŘEB EL. ENERGIE POTŘEBNÉ NA CHOD VZT JEDNOTKY (ROK 2014 A 2015)	58
GRAF 61 - PRŮBĚH DENNÍCH HODNOT SPOTŘEB ELEKTRICKÉ ENERGIE VZT JEDNOTKY A SPOTŘEBY CHLADU PRO VZT JEDNOTKU A DENNÍCH PRŮMĚRNÝCH TEPLOT V EXTERIÉRU (KVĚTEN-ZÁŘÍ 2015)	59
GRAF 62 – MĚSÍČNÍ SPOTŘEBA EL. ENERGIE NA CHOD VZT JEDNOTKY (ROK 2014 A 2015)	59
GRAF 63 - PRŮBĚH DENNÍCH SPOTŘEB EL. ENERGIE POTŘEBNÉ PRO CHOD TEPELNÉHO ČERPADLA (ROK 2014 A 2015).....	60
GRAF 64 – MĚSÍČNÍ SPOTŘEBA EL. ENERGIE NA CHOD TEPELNÉHO ČERPADLA (ROK 2014 A 2015)	61
GRAF 65 - PRŮBĚH DENNÍCH SPOTŘEB EL. ENERGIE POTŘEBNÉ PRO CHOD ČERPADLA (ROK 2014 A 2015) 62	
GRAF 66 – MĚSÍČNÍ SPOTŘEBA EL. ENERGIE NA CHOD ČERPADLA (ROK 2014 A 2015).....	62
GRAF 67 - ODHAD POMĚRŮ JEDNOTLIVÝCH SPOTŘEB ELEKTRICKÉ ENERGIE (OSVĚTLENÍ, DROBNÉ EL. SPOTŘEBIČE, ČERPADLA)	63
GRAF 68 - PRŮBĚH DENNÍCH SPOTŘEB EL. ENERGIE POTŘEBNÉ NA OSVĚTLENÍ A SPOTŘEBIČE (R. 2014 A 2015)	64
GRAF 69 – MĚSÍČNÍ SPOTŘEBA EL. ENERGIE NA OSVĚTLENÍ A SPOTŘEBIČE (R. 2014 A 2015)	64
GRAF 70 - PRŮBĚH DENNÍCH HODNOT TOPNÉHO FAKTORU TČ.....	66
GRAF 71 - PRŮBĚHY MĚŘENÝCH TEPLOT ZEMINY MIMO VÝMĚNÍK V HLOUBCE 7, 27, 55 A 80 CM + DOPOČTENÝ IDEALIZOVANÝ PRŮBĚH TEPLoty ZEMINY MIMO VÝMĚNÍK V HLOUBCE 150 CM.....	68
GRAF 72 - PRŮBĚHY DENNÍCH PRŮMĚRNÝCH TEPLOT ZEMINY V ÚROVNI ZEMNÍHO KOLEKTORU	69
GRAF 73 - MĚŘENÉ TEPLoty SOLANKY NA PRIMÁRNÍM OKRUHU TČ.....	70
GRAF 74 – PROVOZNÍ HODINY TČ.....	70
GRAF 75 – DÁVKA OZÁŘENÍ (HODNOTY Z PROGRAMU ENERGIE PRO LOKALITU HRADEC KRÁLOVÉ).....	79
GRAF 76 – MĚSÍČNÍ PODÍL JEDNOTLIVÝCH TEPELNÝCH ZISKŮ	80
GRAF 77 - ROČNÍ PODÍL JEDNOTLIVÝCH TEPELNÝCH ZISKŮ	80

GRAF 78 - PRŮBĚH PRŮMĚRNÝCH MĚSÍČNÍCH TEPLŮ V INTERIÉRU (MĚŘENÁ R. 2014 A 2015 X VÝPOČTOVÁ).....	81
GRAF 79 - POROVNÁNÍ PRŮMĚRNÝCH MĚSÍČNÍCH TEPLŮ V EXTERIÉRU – MĚŘENÝCH X PŘEDPOKLÁDANÝCH Z [25].....	81
GRAF 80 - PRŮBĚH TEPELNÝ ZISKŮ A ZTRÁT A POTŘEBY TEPLA NA VYTÁPĚNÍ BĚHEM ROKU (VARIANTA (1)).	83
GRAF 81 - PODÍL TEPELNÝCH ZTRÁT PROSTUPEM A VĚTRÁNÍM (PLATÍ PRO VARIANTU (1), (2) I (3)).....	84
GRAF 82 - PRŮBĚH TEPELNÝ ZISKŮ A ZTRÁT A POTŘEBY TEPLA NA VYTÁPĚNÍ BĚHEM ROKU (VARIANTA (2)).	84
GRAF 83 - PRŮBĚH TEPELNÝ ZISKŮ A ZTRÁT A POTŘEBY TEPLA NA VYTÁPĚNÍ BĚHEM ROKU (VARIANTA (3)).	85
GRAF 84 - PRŮBĚH TEPELNÝ ZISKŮ A ZTRÁT A POTŘEBY TEPLA NA VYTÁPĚNÍ BĚHEM ROKU (VARIANTA (3)).	86
GRAF 85 - PODÍL TEPELNÝCH ZTRÁT PROSTUPEM A VĚTRÁNÍM (VARIANTA 4).....	86
GRAF 86 – ROČNÍ PODÍL VZT, OTOPNÝCH ŽEBŘÍKŮ A KRBU NA VYTÁPĚNÍ A MĚRNÁ ROČNÍ POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ PŘI UVAŽOVÁNÍ RŮZNÉHO VLIVU KRBU (60, 75 A 90 %).....	87
GRAF 87 – METODA JEDNODUCHÉ LINEÁRNÍ REGRESE POMOCÍ TÝDENNÍCH HODNOT.....	92
GRAF 88 – METODA JEDNODUCHÉ LINEÁRNÍ REGRESE POMOCÍ DENNÍCH HODNOT.....	92
GRAF 89 – VLIV SOLÁRNÍCH ZISKŮ NA POTŘEBU TEPLA NA VYTÁPĚNÍ.....	93
GRAF 90 – SROVNÁNÍ PRŮBĚHŮ MĚRNÝCH TEPELNÝCH TOKŮ V OTOPNÉM OBDOBÍ (PŘEDPOKLÁDANÝCH A REÁLNÝCH)	97