VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV V BUDOVÁCH S TÉMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU
BUILDING SERVICES OF NEAR ZERO ENERGY BUILDINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — **Bc. Tomáš Fikejsl**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **doc. Ing. JIŘÍ HIRŠ, CSc.**
SUPERVISOR

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3608T001 Pozemní stavby
PRACOVIŠTĚ	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Tomáš Fikejsl
NÁZEV	Technická zařízení budov v budovách s téměř nulovou spotřebou.
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ fakulta stavební DĚKANÁT - 1 -

doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu	Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Technické podklady k zadané budově
2. Aktuální legislativa ČR a EU
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Práce bude zpracována v souladu s platnými předpisy (zákony a vyhláškami, normami) pro energetické hodnocení budov a systémy TZB.
- obsah a uspořádání práce dle směrnice FAST:
a) titulní list,
b) zadání VŠKP,
c) licenční smlouva podepsaná autorem VŠKP,
d) abstrakt v českém a anglickém jazyce, klíčová slova v českém a anglickém jazyce,
e) bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690,
f) prohlášení autora o původnosti práce, podpis autora,
g) poděkování (nepovinné),
h) obsah,
i) úvod,
j) vlastní text práce
A. Analýza tématu, cíle a metody řešení
Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady
Cíl práce, zvolené metody řešení
Aktuální technická řešení v praxi
Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)
Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)
Řešení využívající výpočetní techniku a modelování
B. Aplikace tématu na zadané budově
Zhodnocení stávajícího stavu stavby a jejích systémů, zhodnocení stavu vnitřního prostředí, analýza vybraných opatření vedoucích k energetickým úsporám a zajištění kvality vnitřního prostředí budovy, analýza užití energie z vybraných obnovitelných zdrojů, zhodnocení energetické, ekonomické a ekologické.
Hodnocení variant řešení se zaměřením na dosažení tzv. budovy s téměř nulovou spotřebou energie a možnosti uplatnění energie v regionu.
C1. Modelování a simulace
Modelové dílčí řešení s využitím softwaru postihující zadanou problematiku
k) závěr,
l) seznam použitých zdrojů,
m) seznam použitých zkratek a symbolů,
n) seznam příloh,
o) přílohy – výkresy
Vše bude svázáno pevnou vazbou. Volné dokumenty (metadata, posudky, výsledky obhajoby) budou vloženy do kapsy na předních deskách, výkresy budou poskládány a uloženy jako příloha v kapse na zadní straně desek.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou tzv. budov s téměř nulovou spotřebou energie. Teoretická část je rozdělena do několika kapitol. Popisuje požadavky platných právních předpisů ČR a EU a zaměřuje se na uplatnění obnovitelných zdrojů energie v těchto budovách. Třetí a poslední část slouží jako podklad pro část experimentu.

Výpočtová část aplikuje teoretické znalosti na konkrétním příkladu. Předmětem se stala novostavba bytového domu, do kterého jsou navržena technická zařízení zajišťující požadované vnitřní prostředí. Návrh se týká systému vytápění, větrání, chlazení, přípravy teplé vody a osvětlení. Na konci jsou přiloženy grafické části průkazů energetické náročnosti budov (PENB) a je vyhodnoceno ekonomické a ekologické hledisko.

Experiment se zabývá měřením vnitřního mikroklimatu budovy administrativního typu v Brně s ohledem na požadavky platných právních předpisů ČR.

KLÍČOVÁ SLOVA

budova s téměř nulovou spotřebou energie, obnovitelné zdroje energie, bytový dům, potřeba energie, centrální vzduchotechnická jednotka, VRF systém, tepelné čerpadlo, solární systém, PENB, vnitřní mikroklima, koncentrace CO_2, teplota vzduchu, vlhkost vzduchu

ABSTRACT

The thesis deals with the issue will be nearly zero energy. The theoretical part is divided into several chapters. Describes the requirements of applicable legislation of the Czech Republic and the EU and the application of renewable energy in these buildings. The third and last part serves as a basis for part of the experiment.

Calculation section applies theoretical knowledge into practice. The subject has become a new residential building in which they are designed to ensure the technical equipment required internal environment. The proposal concerns the heating, ventilation, cooling, domestic hot water and lighting. At the end are attached graphic of energy performance certificates (PENB) and evaluated the economic and ecological point of view.

The experiment deals with the measurement of the internal microclimate administrative building type in Brno, with regard to the requirements of current legislation of the Czech Republic.

KEYWORDS

nearly zero-energy buildings, energy consumption, renewable energy sources, apartment building, energy demand, air conditioning unit, VRF system, heat pump, solar system, energy performance certificate, indoor climate, concetration CO_2, air temperature, humidity

BIBILOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Tomáš Fikejsl *Technická zařízení budov v budovách s téměř nulovou spotřebou.* Brno, 2017. 135 s., 113 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI PRÁCE VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2017

Tomáš Fikejsl

Bc. Tomáš Fikejsl
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu doc. Ing. Jiřímu Hiršovi, CSc., vedoucímu mé diplomové práce za odborné vedení a poskytnutí užitečných rad, kterými přispěl k vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petru Blasinskimu, PhD. za věcné připomínky a Ing. Vlastimilovi Riegerovi za ochotu spolupracovat při měření.

Obsah

Úvod **11**

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení.. ..... **12**

A. 1 Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady **13**

A. 1. 1 Budovy s téměř nulovou spotřebou a OZE v předpisech EU 14

A. 1. 2 Definování budov s téměř nulovou spotřebou v české legislativě 16

A. 1. 2. 1 Zákon č. 318/2012 Sb., ve znění pozdějších předpisů 16

A. 1. 2. 2 Vyhláška č. 78/2013 Sb., ve znění pozdějších předpisů 17

A. 1. 2. 3 Pojmy vyhlášky č. 78/2013 Sb. související se stanovením nZEB 19

A. 1. 2. 4 Další závazné právní předpisy ČR a nZEB budovy 20

A. 1. 2. 5 Normy a TNI dotýkající se návrhu nZEB 20

A. 2 Energetické standardy budov **21**

A. 2. 1 Nízkoenergetický standard 22

A. 2. 2 Pasivní standard 22

A. 2. 3 Dům s velmi nízkou energetickou náročností 22

A. 2. 4 Dům blízký energeticky nulovému a energeticky nulový 22

A. 2. 5 Energeticky pozitivní budovy 23

A. 2. 6 Energeticky nezávislé budovy 23

A. 2. 7 Energeticky soběstačné budovy 23

A. 2. 8 Porovnání v grafu 23

A. 3 Využití obnovitelných zdrojů energie v nZEB budovách **24**

A. 3. 1 Výhody a nevýhody OZE 24

A. 3. 2 Technické systémy využívající obnovitelnou energii v budovách 25

A. 3. 2. 1 Kotle na biomasu 25

A. 3. 2. 2 Solární termické systémy 26

A. 3. 2. 3 Fotovoltaické systémy 27

A. 3. 2. 4 Tepelná čerpadla 28

A. 4 Mikroklima energeticky úsporných budov **29**

A. 4. 1 Obecné požadavky pocitu pohody člověka 29

A. 4. 2 Veličiny měřených místností 30

A. 4. 3 Faktory vnitřního prostředí 32

B. Aplikace tématu na zadané budově.. ..... **34**

B. 1 Analýza posuzovaného objektu **35**

B. 1. 1 Základní informace a popis lokality 35

B. 1. 2 Charakteristika budovy 36
B. 1. 2. 1 Konstrukční systém budovy 37
B. 1. 2. 2 Skladby a tepelně technické vlastnosti obalových konstrukcí 38
B. 2 Stanovení nZEB z pohledu stavební obálky dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. 41
B. 2. 1 Výpočtový model standardizovaného užívání 41
B. 2. 2 Algoritmus výpočtu zatřídění obálky budovy do příslušné třídy 45
B. 2. 3 Výpočet a zatřídění jednotlivých zón do klasifikačních tříd 48
B. 2. 4 Výsledky v softwaru ENERGIE 2016.3 50
B. 2. 5 Rozdělení tepelných toků objektu v grafech 51
B. 3 Specifikace energetických toků budovy 52
B. 3. 1 Algoritmus potřeby energie na vytápění a chlazení dle ČSN EN ISO 13790:2009 52
B. 3. 1. 1 Okrajové podmínky výpočtu 57
B. 3. 1. 2 Výpočet potřeby tepla a chladu dle algoritmu ČSN EN ISO 13790:2009 58
B. 3. 1. 3 Grafy a vyhodnocení 59
B. 3. 2 Potřeba energie na přípravu teplé vody dle ČSN 06 0320:2006 60
B. 4 Návrh technických systémů budovy 63
B. 4. 1 Návrh koncepce větrání 63
B. 4. 1. 1 Tlakové poměry a rozdělení na funkční celky 64
B. 4. 1. 2 Okrajové podmínky výpočtu 70
B. 4. 1. 3 Distribučních elementy 70
B. 4. 1. 4 Schéma distribuce vzduchu pro vybraný byt 71
B. 4. 1. 5 Funkční schéma vzduchotechnických jednotek 72
B. 4. 1. 6 Návrh komponentů VZT jednotek a psychrometrie 72
B. 4. 1. 7 H-X diagramy 75
B. 4. 1. 8 Letní dochlazení místností 76
B. 4. 1. 9 Útlumový režim 79
B. 4. 1. 10 Další prvky vzduchotechnického systému 80
B. 4. 1. 11 Větrání hromadné garáže 82
B. 4. 1. 12 Větrání zón chodby a komunikace a sklepní boxy 85
B. 4. 2 Návrh osvětlení 86
B. 4. 3 Návrh vytápění s podporou obnovitelných zdrojů energie 88
B. 4. 3. 1 Požadavek na výkon zdroje 88
B. 4. 3. 2 Návrh zdroje tepla a dílčích komponentů soustavy vytápění 89
B. 4. 4 Návrh přípravy teplé vody 94

B. 4. 4. 1 Varianta I 95
B. 4. 4. 2 Varianta II 97
B. 5 Porovnání variant 104
B. 5. 1 Energetické a porovnání 104
B. 5. 1. 1 Průkaz energetické náročnosti budovy varianty I – grafická část 106
B. 5. 1. 2 Průkaz energetické náročnosti budovy varianty II – grafická část 108
B. 5. 2 Ekonomické hledisko 110
B. 5. 3 Vliv na životní prostředí 111
B. 6 Závěr 111
C. Modelování a simulace 112
C. 1 Předmět měření 113
C. 1. 1 Rozbor objektu 113
C. 1. 2 Koncept měření 115
C. 1. 3 Měřící přístroj 116
C. 1. 4 Limity českých právních předpisů 117
C. 1. 5 Měření v místnosti č. 207 – velká zasedací místnosti 118
C. 1. 6 Měření v místnosti č. 205 – konferenční sál 119
C. 1. 7 Měření v místnosti č. 311 – pracovní kancelář 124
D. Závěr práce 126
E. Seznam použitých zdrojů 127
F. Seznam použitých obrázků, tabulek a grafů 131
G. Seznam použitých zkratek a veličin 134
H. Použitý software 135
I. Seznam příloh 135

Úvod

Diplomová práce se zabývá problematikou budov s téměř nulou spotřebou energie. Volba právě na toto téma padla především pro svoji aktuálnost. Častým problémem, kterého se dopouští nejen odborná, ale i laická veřejnost je špatné pochopení těchto budov z hlediska právních předpisů. Tento problém může následně způsobit špatný návrh a v konečném měřítku i nedosažení požadované energetické náročnosti.

Práce je rozdělena do tří hlavních kapitol, které jsou vzájemně provázány. V úvodu první části nazvané analýza tématu, cíle a metody řešení se zabývám požadavky na tyto budovy, které jsou zakotveny v platných právních předpisech České republiky. Dále rozebírá možnosti dosažení vysokých energetických standardů z hlediska stavebně-koncepčního i z pohledu TZB. Poslední část teorie je věnována mikroklimatu vnitřního prostředí budov s nízkou energetickou náročností, jako teoretický podklad pro experimentální část.

Druhá část diplomové práce je zaměřena na návrh TZB systémů do nového bytového domu, který je již ve fázi projektu řešen jako budova s téměř nulovou spotřebou energie. Nachází se v městské části Brno-Maloměřice. Nejprve byl vytvořen výpočtový energetický model pro určení potřeb tepla na vytápění/chlazení dle ČSN EN ISO 13790:2009[33]. Následně jsou vyřešeny s ohledem na správné vnitřní mikroklima a dodržení daných hygienických limitů TZB systémy. Ty se uplatňují nejméně z 20 % z obnovitelných zdrojů energie, jak požaduje vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov. V závěru jsou doloženy grafické části průkazů energetické náročnosti budov (zkráceně PENB) pro zpracované varianty a je posouzena ekonomická stránka věci s vlivem na životní prostředí.

V poslední části je provedeno měření vnitřního mikroklima v objektu Otevřené zahrady v Brně, na ulici Údolní 33. Měření proběhlo celkem ve čtyřech místnostech s odlišným druhem užívání – 2 zasedací místnosti, konferenční sál s nárazovým využitím a jedné pracovní kanceláře, která slouží jako pracovní prostředí pro celkem 12 osob. Z naměřených hodnot jsou vyhodnoceny grafy a výsledky porovnány s limitními hodnotami vybraných parametrů dle platných právních předpisů ČR. V závěru je uvedeno případné doporučení pro odstranění nedostatků.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ
TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV V BUDOVÁCH S TÉMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU
BUILDING SERVICES OF NEAR ZERO ENERGY BUILDINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

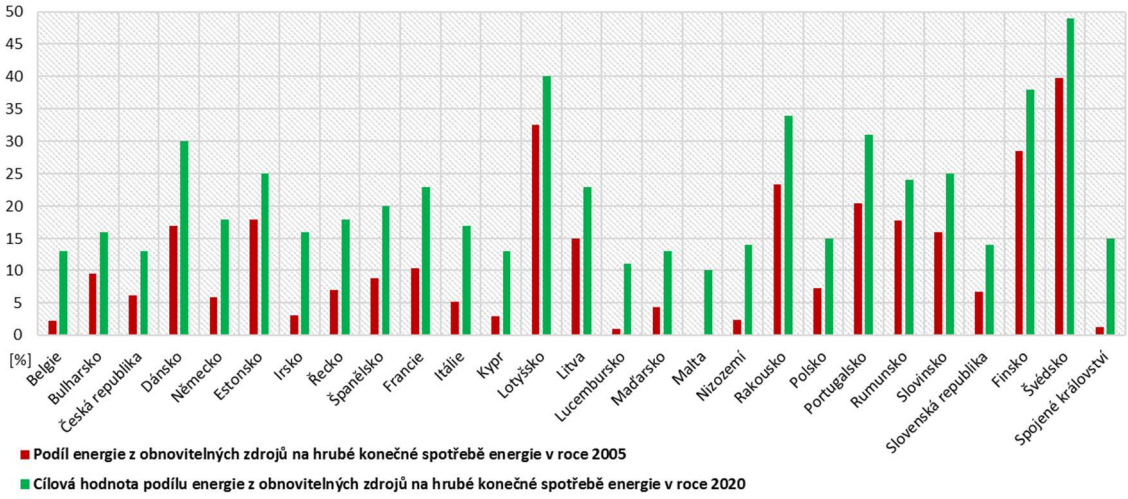
AUTOR PRÁCE — **Bc. Tomáš Fikejsl**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **doc. Ing. JIŘÍ HIRŠ, CSc.**
SUPERVISOR

BRNO 2017

A. 1 Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Základní myšlenka budov s téměř nulovou spotřebou energie vychází z celkové energetické situace ve světě, opírající se o zvyšování využití obnovitelných zdrojů energie (dále jen OZE), které mají v co nejvyšší míře nahradit dosud nejvíce využívané, ty neobnovitelné, především fosilní paliva. Důvodem je fakt, že stále se zvyšující poptávka po energetické síle převyšuje nabídku, kterou tvoří zásoby neobnovitelných zdrojů a nezajistí se tím tzv. trvalá udržitelnost. Svět tedy potřebuje nový energetický zdroj, který zachrání současnou komplikovanou situaci.



Graf 1: Národní cíle podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie v roce 2020

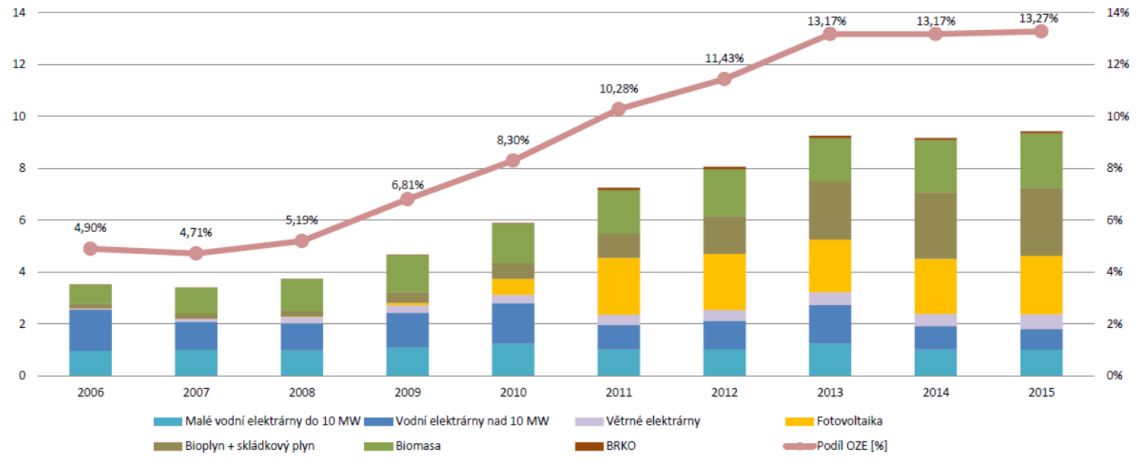
Důsledkem této velké změny je rychlý a dynamický vývoj. Pro každý stát je řešení jiné a není možné na každém místě na planetě uplatnit stejný obnovitelný zdroj. Evropa, resp. Evropská unie reagovala novelou Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov. Tato novela zavádí mimo jiné cíl 20-20-20, kterým se do roku 2020 zavazuje:

- *snížit spotřebu energie o 20 %;*
- *snížit emise skleníkových plynů o 20 %;*
- *zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie o 20 %,* a to v porovnání s rokem 1990.[2]

V dalším bodě uvádí, že podíl budov na celkové spotřebě energie v Evropské unii je 40 % a obnovitelné zdroje energie představují nezbytná opatření, která vedou ke snižování energetické závislosti a emisí skleníkových plynů. Spolu se zvýšením využívání energie z obnovitelných zdrojů umožní také dodržet závazek splnění Kjótského protokolu k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu (UNFCCC) zachovat nárůst globální teploty pod 2 °C i závazku snížit do roku 2020 celkové emise skleníkových plynů.

K datu 1. 1. 2016 se podíl OZE v Evropě dostal přes hranici 16 %, a to zejména díky růstu v Německu, Velké Británii nebo Francii. Všechny nové instalace energetických zdrojů z obnovitelných zdrojů, které v loňském roce v EU přibyly, mají instalovaný výkon odpovídající ekvivalentu deseti Temelínů. Také ze všech instalací energetických zdrojů tvořili obnovitelné 77 %. Nejvíce se v loňském roce postavilo větrných turbín a výkon všech větrných elektráren v EU tak překročil 142 tisíc MW. Druhým nejvýznamnějším obnovitelným zdrojem, který se v roce 2015 uplatnil, jsou sluneční elektrárny, které se tak přiblížili k hranici 100 tisíc MW.[44]

Česká republika, stejně jako dalších 13 států EU již splnila národní cíl podílu OZE na celkové spotřebě energie pro rok 2020, když se dostala nad 13% hranici hrubé spotřeby (Graf č.1). Tento rámec byl však třetí nejnižší v rámci evropské 28. Dalším krokem je nedávno schválená aktualizace, která zvyšuje národní cíl pro rok 2020 na 15,3 %.[44]



Graf 2: Vývoj výroby elektřiny brutto z OZE a její podíl na tuzemské brutto spotřebě [TWh] [51]

A. 1. 1 Budovy s téměř nulovou spotřebou a OZE v předpisech EU

Na evropské úrovni se tyto označují jako nearly zero-energy buildings, zkr. nZEB. Pojem a požadavky zavádí již zmíněná Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov. Dle Článku 2, odstavce 2, je:

„budova s téměř nulovou spotřebou energie“ budova, jejíž energetická náročnost určená podle přílohy I je velmi nízká. Téměř nulová či nízká spotřeba požadované energie by měla být ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů, včetně energie z obnovitelných zdrojů vyráběné v místě či v jeho okolí.“[2]

V další citaci této směrnice popisuji zmíněnou přílohu I, která uvádí Společný obecný rámec pro výpočet energetické náročnosti budov s těmito podmínkami.

- *Energetická náročnost budovy se určuje na základě vypočteného či skutečného množství energie spotřebované za rok za účelem splnění různých potřeb spojených s jejím typickým užíváním a odráží potřebu energie na vytápění a chlazení (tj. energie potřebná k zamezení přehřívání) k udržení předpokládaných teplotních podmínek budovy a potřebu teplé vody v domácnostech.*
- *Energetická náročnost budovy musí být vyjádřena transparentním způsobem a zahrnuje ukazatel energetické náročnosti a číselný ukazatel spotřeby primární energie, a to na základě primárních energetických faktorů ve vztahu k danému energetickému nosiči, jež mohou být založeny na vnitrostátních či regionálních vážených průměrech nebo na konkrétní hodnotě v místě produkce.*[2]

Směrnice také vytyčuje hlediska, podle kterých má být metoda energetické náročnosti stanovena, příznivý vliv těchto hledisek a vhodné rozdělení budov do daných kategorií. Budovám s téměř nulovou spotřebou se věnuje předně Článek 9, který zadává členským státům povinnost, aby:

a) *do 31. prosince 2020 všechny nové budovy byly budovami s téměř nulovou spotřebou energie;*
b) *po dni 31. prosince 2018 nové budovy užívané a vlastněné orgány veřejné moci byly budovami s téměř nulovou spotřebou energie.*[2]

V konečném důsledku všem těmto státům zadává vytvořit vnitrostátní plány, které zajistí zvýšení počtu nZEB budov s rozlišenými cíli v závislosti na kategorii budovy. Tyto plány mají zahrnovat:

a) *podrobné praktické uplatňování vymezení budov s téměř nulovou spotřebou a odrážet jejich celostátní, regionální nebo místní podmínky a zahrnující číselný ukazatel spotřeby primární energie vyjádřený v kWh/m*^{2} *za rok. Primární energetické faktory energie mohou vycházet z celostátních nebo regionálních ročních průměrných hodnot a mohou zohledňovat příslušné evropské normy;*
b) *průběžné cíle pro zlepšení ENB nových budov do roku 2015;*
c) *informace o politikách a finančních nebo dalších opatřeních přijatých na propagaci budov s téměř nulovou spotřebou energie, včetně údajů o vnitrostátních požadavcích a opatřeních týkajících se využívání energie z obnovitelných zdrojů v nových a stávajících budovách.*[2]

Tato směrnice se promítá do české legislativy zákonem č. 318/2012 Sb., o hospodaření s energií ve znění pozdějších předpisů, kterým se budu zabývat v kapitole A. 1. 2. 1.

Další evropský právní předpis, se kterým tentokrát souvisí podpora obnovitelných zdrojů se nazývá Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů. Ta považuje za obnovitelný zdroj takový, který využívá:

- *energii větrnou;*
- *energii solární;*
- *energii aerotermální – kterou se rozumí energie uložená v podobě tepla v okolní vzduchu;*
- *energii geotermální – kterou se rozumí energie uložená v podobě tepla pod zemským povrchem;*
- *energii hydrotermální a energie z oceánů – kterou se rozumí energie uložená v podobě tepla v povrchových vodách;*
- *energii vodní;*
- *energii z biomasy – kterou se rozumí biologicky rozložitelná část produktů, odpadů a zbytků biologického původu ze zemědělství (včetně živočišných a rostlinných látek;*
- *energii ze skládkového plynu;*
- *energii z kalového plynu z čistíren odpadních vod;*
- *energii z bioplynů.*[1]

V této směrnici se mimo jiné v Článku 3, odstavce 1 říká, že:

každý členský stát zajistí, aby se v roce 2020 podíl energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie rovnal alespoň jeho celkovému národnímu cíli pro podíl energie z obnovitelných zdrojů v uvedeném roce. Tyto závazné národní cíle jsou v souladu s cílem nejméně 20 % podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie.[1]

Tato směrnice se promítá do české legislativy zákonem č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie. Další evropské směrnice, které souvisí se snižováním energetické náročnosti budov, nZEB budovách a obnovitelnými zdroji energie jsou např. tyto:

- Evropská směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti;
- Evropská směrnice 2006/32/ES o energetické účinnosti u konečného uživatele;
- Evropská směrnice 2009/125/ES o stanovení rámce pro určení požadavků na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie (přepracování);
- Evropská směrnice 2004/8/ES o podpoře kombinované výroby tepla a elektřiny.

Tento výčet pouze z části formuluje rámec, který se projevuje buď ve znění těchto nebo dalších předpisů do legislativ členských států EU. Cílem této diplomové práce je zaměření se na pouze nZEB budovy a jejich TZB systémy. Další kapitola popisuje zákony a vyhlášky, které stanovují požadavky a zásady navrhování na národní úrovni České republiky.

A. 1. 2 Definování budov s téměř nulovou spotřebou v české legislativě

A. 1. 2. 1 Zákon č. 318/2012 Sb., ve znění pozdějších předpisů

Tento tzv. energetický zákon byl v minulosti již několikrát novelizován. Především v těchto zněních:

- Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření s energií;
- Zákon č. 318/2012 Sb., o hospodaření s energií;
- Zákon č. 103/2015 Sb., o hospodaření s energií.

V tomto zákoně v novele z roku 2012 je uveden český ekvivalent pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie, kde ji v §2, odstavci 1, pod písmenem w) definuje:

„budova s téměř nulovou spotřebou energie je budova s velmi nízkou energetickou náročností, jejíž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů.“[4]

Důležitým bodem, kterým se zadává plnění požadavků nZEB budov v daném časovém horizontu uvádí §7, odstavec 1, písmeno b):

kladným závazným stanoviskem dotčeného orgánu podle §13 splnění požadavků na energetickou náročnost budovy s téměř nulovou spotřebou energie, a to v případě budovy, jejímž vlastníkem a uživatelem bude orgán veřejné moci nebo subjekt zřízený orgánem veřejné moci a jejíž celková energeticky vztažná plocha bude:

1. *vetší než 1 500 m^2, a to od 1. ledna 2016;*
2. *vetší než 350 m^2, a to od 1. ledna 2017;*
3. *menší než 350 m^2, a to od 1. ledna 2018.*[4]

a písmeno c)

kladným závazným stanoviskem dotčeného orgánu podle §13 splnění požadavků na energetickou náročnost budovy s téměř nulovou spotřebou energie, a to v případě budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou:

1. *větší než 1 500 m^2od 1. ledna 2018;*
2. *větší než 350 m^2 od 1. ledna 2019;*
3. *menší než 350 m^2 od 1. ledna 2020.*[4]

Tento výčet zákonných požadavků je definován příliš obecně a je potřeba přesněji popsat význam a účel těchto budov. Je také nutné si uvědomit, že pojem „s téměř nulovou spotřebou“ není synonymem pro spotřeby blízké nule. Jde spíše o pomyslný cílový stav, který by byl v ideální podobě. Ve skutečnosti se tím myslí budovy s nízkými provozními náklady na energie, které se stanovují na nákladově optimální úrovni dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov, ve znění pozdějších předpisů.

A. 1. 2. 2 Vyhláška č. 78/2013 Sb., ve znění pozdějších předpisů

Stejně jako energetický zákon i tato důležitá vyhláška prošla již několika změnami, především v tyto novely:

- Vyhláška č. 148/2007 Sb., o energetické náročnosti budov;
- Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov;
- Vyhláška č. 230/2015 Sb., o energetické náročnosti budov.

Stanovuje požadavky na energetickou náročnost budov podle ukazatelů již zmíněné optimální nákladové úrovně, kterými v §3, odstavce 1 jsou:

a) celková primární energie za rok;

$$PE = PE_H + PE_C + PE_F + PE_{RH} + PE_W + PE_L + PE_{el}\ [kWh/(m^2 \cdot rok)]^{38}$$

b) neobnovitelná primární energie za rok;

$$NPE = NPE_H + NPE_C + NPE_F + NPE_{RH} + NPE_W + NPE_L + NPE_{el}\ [kWh/(m^2 \cdot rok)]^{38}$$

c) celková dodaná energie za rok;

$$EP = Q_{fuel} = EP_H + EP_C + EP_F + EP_{RH} + EP_W + EP_L\ [kWh/(m^2 \cdot rok)]^{38}$$

d) dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení za rok;

e) průměrný součinitel prostupu tepla;

$$U_{em} = H_T/A\ [W/(m^2 \cdot K)]$$

f) součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici a

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}\ [W/(m^2 \cdot K)]$$

g) účinnost technických systémů.[4]

Zmínka o budovách s téměř nulovou spotřebou přichází v §6, ve kterém se stanovují na nákladově optimální úrovni požadavky na ENB. Odstavec je citací normy:

Požadavky na energetickou náročnost nové budovy s téměř nulovou spotřebou energie, stanovené výpočtem na nákladově optimální úrovni, jsou splněny, pokud hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy uvedené v §3 odstavce 1, písmene b), c) a e) nejsou vyšší než referenční hodnoty ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu.[9]

Vyhláška je ve své podstatě psanou kuchařkou pro stanovení energetické náročnosti budovy s konečným vyhodnocením průkazu energetické náročnosti budovy, tzv. PENBu. Mimo jiné až tato vyhláška přes nadřazené zákony a směrnice EU zadává podmínky, podle kterých se budovy s téměř nulovou spotřebou mají navrhovat. Především ve dvou bodech:

- snížení redukčního činitele požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla pro referenční budovu:

  $f_R = 1{,}0$ pro dokončené budovy a jejich změny;
  $f_R = 0{,}8$ pro nové budovy;
  $f_R = 0{,}7$ pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

- snížení hodnoty neobnovitelné primární energie stanovené pro referenční budovu:

  $\Delta e_{p,R} = 25\ \%$ pro rodinné domy;
  $\Delta e_{p,R} = 20\ \%$ pro bytové domy;
  $\Delta e_{p,R} = 10\ \%$ pro ostatní budovy.

Oba tyto parametry uvádějí tyto tabulky:

Parametr	Označení	Jednotky	Referenční hodnota		
			Dokončená budova a její změna	Nová budova	Budova s téměř nulovou spotřebou energie
Redukční činitel požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla	f_R	-	1,0	0,8	0,7

Tabulka 1: Redukční činitel požadované základní hodnoty U_{em} [9]

Parametr	Označení	Jednotky	Druh budovy nebo zóny	Referenční hodnota		
				Dokončená budova a její změna po 1.1. 2015	Nová budova po 1. 1. 2015	Budova s téměř nulovou spotřebou energie
Snížení hodnoty neobnovitelné primární energie stanovené pro referenční budovu	$\Delta e_{p,R}$	%	Rodinný dům	3	10	25
		%	Bytový dům	3	10	20
		%	Ostatní budovy	3	8	10

Tabulka 2: Snížení neobnovitelné primární energie pro referenční budovu [9]

Jak si lze povšimnout výše, souhrn těchto požadavků na nZEB budovy v právních předpisech ČR jsou snadno pochopitelné, a ne příliš komplikované. Dávají tak energetickým specialistům volnou ruku v konkrétním návrhu řešení, jakým způsobem či zdrojem bude budova dotována energiemi pro pokrytí jednotlivých potřeb. Pro lepší porozumění se v kapitole A. 2 dále zabývám dalšími současnými energetickými standardy, kterých je možné dosáhnout. Nicméně po detailnějším zkoumání je nutné dodat, že většina z nich je pouze neoficiálním a nezávazným termínem a jsou odvozeny z daných podmínek užívání.

Energetické hodnocení budov však svým rozsahem přesahuje zadání této DP a proto jsem se rozhodl uvést v dalších částech pouze nezbytné informace k pochopení celé problematiky. Ty se budou týkat uvedených pojmů ENB ve vyhlášce a také souhrnu platných právních předpisů ČR.

A. 1. 2. 3 Pojmy vyhlášky č. 78/2013 Sb. související se stanovením nZEB

Celková primární energie

Považujeme takovou energii, která nepřišla žádným druhem přeměny a je volně dostupná v přírodě. Opakem je energie druhotná.

Faktor primární energie

Koeficient, kterým se násobí složky dodané energie pro energonositele k získání odpovídajícího množství celkové primární energie.

Neobnovitelná primární energie

Jeden z ukazatelů disponující na PENBu, který zohledňuje vliv budovy na životní prostředí např. ve formě vypouštění emisí do ovzduší vznikající vlivem spalování daného paliva. Stejně jako celkovou primární energii, ke zjištění NPE musíme přenásobit složky dodané energie po jednotlivých energonositelích daným faktorem neobnovitelné primární energie.

Celková dodaná energie

Energie, která je dodávána do budovy přes systémovou hranici. Je to energie potřebná k zajištění typického užívání budovy. Na průkazu energetické náročnosti budovy figuruje na přední straně jako rozhodující ukazatel.

Energonositel

Představuje „nositele“ energie, který v zásadě pohání daný systém svým potenciálem. Mezi typické energonositele řadíme elektrickou energii, zemní plyn, kusové dřevo, SZTE aj.

Referenční budova

Definice je uvedena v již řešené vyhlášce č. 78/2013 Sb. a zní:

- Budova téhož druhu,
- stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí,
- stejné orientace ke světovým stranám,
- stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami,
- stejného vnitřního uspořádání,
- se stejným užíváním a stejnými klimatickými údaji,

avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejich konstrukcí a technických systémů.[9] Uvedená vyhláška také stanovuje referenční hodnoty, podle kterých se poté hodnocená budova zatřídí do dané klasifikace.

Průkaz energetické náročnosti budovy

V současné době nejrozšířenějším nástrojem pro stanovení energetické náročnosti budovy. Dělí se na grafickou část a protokol. Může být zpracován pouze en. specialistou z pověření MPO ČR.

Energetický specialista

Fyzická osoba, která je držitelem oprávnění uděleného MPO ke zpracování příslušného en. dokumentu. Je zapsána v seznamu energetických specialistů. Povinně, co každé 3 roky absolvuje přezkoušení a na základě výsledku se rozhodne o ponechání či odebrání oprávnění.

A. 1. 2. 4 Další závazné právní předpisy ČR a nZEB budovy

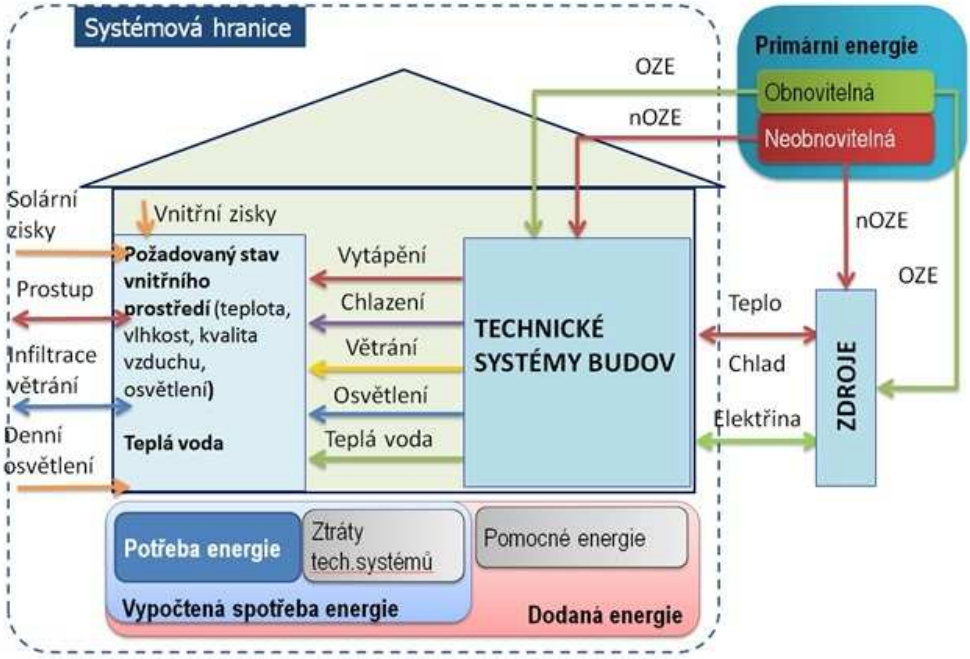
Energetické hodnocení budov zasahuje do mnoha odvětví a vyžaduje znalosti zejména z oborů vytápění, vzduchotechniky, zdravotechniky, elektroinstalace, stavební fyziky, ale také z ekonomie, ekologie a také z jistého právního povědomí. [39] Celý výčet dokumentů a vzájemného propojení by byl minimálně na samostatnou diplomovou práci:

- Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
- Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb
- Vyhláška č. 234/2015 Sb. o energetických specialistech
- Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby
- Vyhláška č. 309/2016 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku
- Vyhláška č. 310/2013 Sb. o podporovaných zdrojích energie

A. 1. 2. 5 Normy a TNI dotýkající se návrhu nZEB

- ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie
- ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky
- ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin
- ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody
- ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů
- ČSN EN 15217 Energetická náročnost budov – Metody pro vyjádření energetické náročnosti a pro energetickou certifikaci budov
- ČSN EN ISO 13 370 Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody
- ČSN EN ISO 13 789 Tepelné chování budov – Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním – Výpočtová metoda
- ČSN EN ISO 13 790 Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení
- ČSN EN ISO 13 792 Tepelné chování budov – Výpočet vnitřních teplot v místnosti v letním období bez strojního chlazení – Zjednodušené metody
- ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – výpočtová metoda
- TNI 730302 Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený Výpočtový postup
- TNI 73 0327 Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení
- TNI 73 0329 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – rodinné domy
- TNI 73 0330 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – bytové domy
- TNI 73 0331 Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet
- TNI 73 0331 Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup

Obrázek 1: Princip hodnocení energetické náročnosti budov [52]



Obrázek 2: Princip výpočtu energetické náročnosti budov [52]

A. 2 Energetické standardy budov

Z důvodu absence dokumentu, který by popisoval současný pohled na energetické standardy budov a porovnal jejich dílčí energetickou náročnost, je komplikované uvádět jakákoliv vzájemná měřítka z důvodu odlišného hodnocení každého z nich. Nejčastěji jsou odlišná samotná technická kritéria. V dalším případě mohou být tyto kritéria shodná, nicméně rozeznávají odlišné okrajové podmínky či jiné metody výpočtu. Uvedený výčet se snaží alespoň obrazně stanovit pomyslnou stupnici.

Z vyhlášky č. 78/2013 Sb.[9] vychází pojem nákladově optimální úroveň, což je předpoklad pro stanovení požadavků na energetickou náročnost budov tak, aby vedla k co nejnižším nákladům na investice, údržbu a provoz během jeho odhadovaného životního cyklu. Tyto podmínky musí být dodrženy dle této vyhlášky pro novostavby, větší změny dokončených budov, jiné než větší změny dokončených budov a budov s téměř nulovou spotřebou energie. Z tohoto vychází následující rozdělení:

A. 2. 1 Nízkoenergetický standard

Vychází a také je definovaný v normě ČSN 73 0540-2:2011[19]. Je charakterizován limitem měrné potřeby tepla na vytápění, který nesmí překročit $E_A \leq 50$ kWh/(m^2·rok). Požaduje také maximální hodnotu součinitele prostupu tepla v doporučené hodnotě $U_{em} \leq 0{,}75 \cdot U_{em,N}$ W/(m^2·K). Z hlediska neprůvzdušnosti obálky doporučuje $n_{50} = 1{,}5$ 1/h. Dále dle vyhlášky č. 6/2003 Sb.[8], musí být zajištěna teplota v letních měsících v maximální hodnotě 27 °C bez strojního chlazení. Tím je zpravidla dosaženo optimalizovaným stavebním řešením obálky. U těchto budov není požadavkem primární energie. Stejně jako u dalších uvedených standardů se nejedná o budovy legislativně závazné. Jde pouze o volbu investora či projektanta.

A. 2. 2 Pasivní standard

Budovy toho typu jsou charakterizovány minimalizovanou potřebou energie na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí a také minimalizovanou spotřebou energie primárně získanou z neobnovitelných zdrojů energie. Samozřejmostí je kvalitně optimalizované řešení stavební obálky a dalších opatření, například navržení stínících prvků v letním období pro zbytečné přehřívání objektu. Požadavky definuje již zmíněná norma ČSN 730540-2:2011[19]. Průměrný součinitel prostupu tepla by měl být menší než hodnota $U_{em} \leq 0{,}25$ W/(m^2·K) a v doporučené hodnotě $U_{em} \leq 0{,}20$ W/(m^2·K). Nejpřísnějším požadavkem je měrná potřeba tepla na vytápění $E_A \leq 20$ kWh/(m^2·rok) resp. $E_A \leq 15$ kWh/(m^2·rok). Dále je nutné zajistit neprůvzdušnost obálky v maximu $n_{50} = 0{,}6$ 1/h. U těchto budov se do hodnocení měrné potřeby primární energie započítávají systémy vytápění, přípravu teplé vody a pomocná energie. V případě využití strojního chlazení je nutné jej zahrnout do bilance. Stejně jako nízkoenergetický standart, není zakotven v české legislativě a o výběru lze rozhodnout na vlastní uvážením. Název a metoda výpočtu pochází z německého PHPP (passivhaus-projektierungspaket), kde je již dlouhodobě vyvíjena a je založena na kvazistacionární metodě – metoda delších časových úseků, zpravidla 1 měsíc dle ČSN EN ISO 13 790[33].[45]

Nicméně evropské, resp. české dokumenty nabízejí tzv. energeticky pasivní standart. Vychází z tabulkových hodnot a snahou je přiblížit se k reálnému provoznímu stavu. Právě tento typ budov je závazkem dotačních titulů Zelená úsporám.[45]

A. 2. 3 Dům s velmi nízkou energetickou náročností

Tento pojem je stejně jako energeticky pasivní standard nabízenou možností pro splnění podmínek Zelené úsporám. Také musí splnit přísný požadavek měrné potřeby tepla na vytápění $E_A \leq 20$ kWh/(m^2·rok) resp. $E_A \leq 15$ kWh/(m^2·rok). Odlišností je metoda výpočtu, která je stanovena dle vyhlášky č. 78/2013 Sb.[9], jde tedy o samostatný titul vytvořený pro potřebu dotačního programu. [45]

A. 2. 4 Dům blízký energeticky nulovému a energeticky nulový

K těmto typům se také vyjadřuje ČSN 73 0540-2:2011[19]. Hodnotí ji na obecné rovině tak, že vychází z bilance energetických potřeb a energetické produkce v budově. Předpokládá se také připojení na energetické sítě. Tyto budovy jsou vyjádřeny v hodnotách primární energie. Hodnoty měrné potřeby tepla na vytápění odpovídají pasivnímu standardu, tzn. $E_A \leq 20$ kWh/(m^2·rok) resp. $E_A \leq 15$ kWh/(m^2·rok), nicméně s odlišným požadavkem na bilanci spotřeby

a produkci energie v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů, který se dělí do dvou základních úrovní:

- Úroveň A – hodnocení zahrnuje energii na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, pomocnou energii na provoz energetických systémů budovy, elektrickou energii na osvětlení a elektrické spotřebiče.
- Úroveň B – totožné s úrovní A, nicméně se nezahrnuje elektrická energie na elektrické spotřebiče.[19]

Uvažuje se také strojní chlazení, které je v případě využití zahrnuté v bilanci spotřeb. V požadovaných hodnotách se uvažuje bilanční poměr ve spotřebě/produkci energie:

Závaznost kritéria		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m² K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění E_A [kWh/(m² a)]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů PE_A [kWh/(m² a)]	
				Úroveň A	Úroveň B
Obytné budovy	Nulový	Rodinné domy ≤ 0,25	Rodinné domy ≤ 20	0	0
	Blízký nulovému	Bytové domy ≤ 0,35	Bytové domy ≤ 15	80	30
Neobytné budovy [2)]	Nulový	≤ 0,35 [1)]	≤ 30	0	0
	Blízký nulovému			120	90

[1)] Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$ podle 5.3.2.

[2)] Neobytné budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou 18 °C až 22 °C včetně. Pro jiné budovy není stanoveno.

Tabulka 3: Požadavky na energeticky nulové budovy [19]

A. 2. 5 Energeticky pozitivní budovy

Podkladem posouzení pro tyto budovy je metoda energeticky nulových budov s předpokladem úrovně B pro měrnou roční bilanci spotřeby a produkce. Hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů se předpokládají 0 a produkce by měla převyšovat spotřebu alespoň o 10 %.[19]

A. 2. 6 Energeticky nezávislé budovy

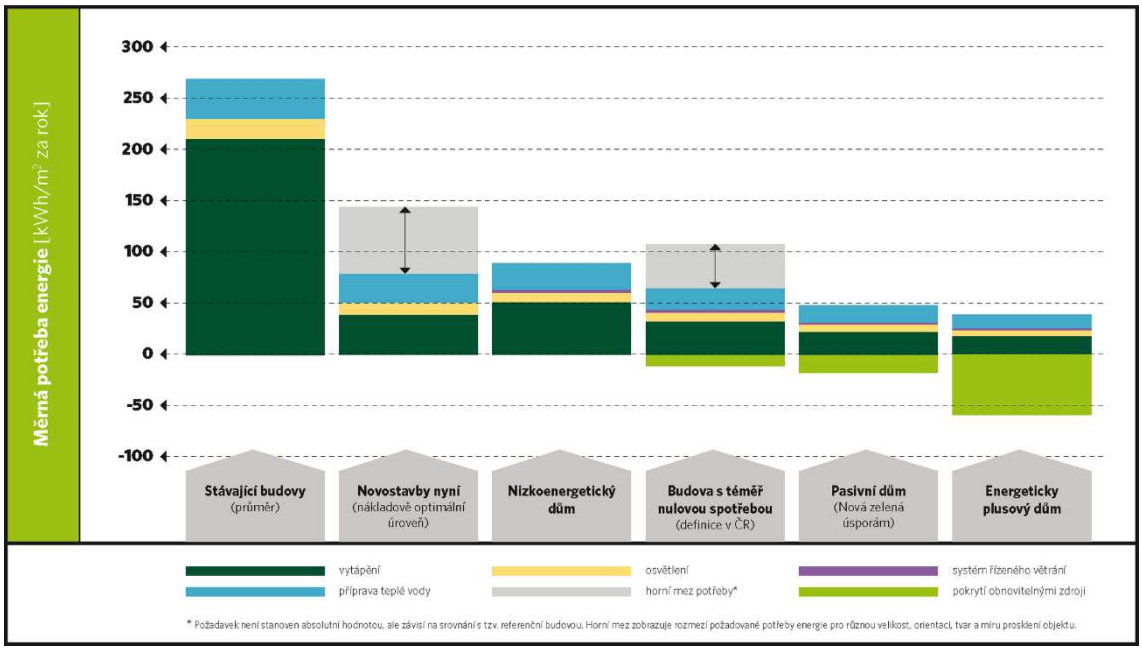
Můžeme říci, že v současné době se jedná spíše o teoreticky idealizovaný stav, ve kterém budova nepotřebuje napojit na veřejné energetické sítě. Tento standard vychází z podmínky nahrazení potřeb budovy produkcí energie z obnovitelných zdrojů alespoň v části roku. Obnovitelné zdroje mají však nevýhodu ve stabilitě dodávky energie (solární soustava dodává energii přes den, větrné elektrárny pouze pokud vane vítr) a tudíž se předpokládá akumulace této energie a její zpětné využití. Budova musí plnit pasivní standard. [19]

A. 2. 7 Energeticky soběstačné budovy

Musí plnit totožné požadavky jako energeticky nezávislé budovy s rozdílem pokrytí dodávky energie z obnovitelných zdrojů v delších časových intervalech.

A. 2. 8 Porovnání v grafu

Jak je z výše uvedeného rozdělení patrné, je velice komplikované se jednoznačně vyznat ve všech kritériích najednou. Situaci lépe popisuje přiložený graf, vytvořený aliancí významných oborových asociací – *Šance pro budovy*.



Obrázek 3: Porovnání celkové potřeby energie pro jednotlivé energetické standardy budov [53]

A. 3 Využití obnovitelných zdrojů energie v nZEB budovách

Současná situace a příčiny aplikování OZE do budov jsou již popsány v předešlých kapitolách. Instalování těchto zdrojů je z důvodů velkých pořizovacích nákladů předmětem většiny dotačních titulů, zejména pak Zelená úsporám, Kotlíkových dotací, Operačního programu životního prostředí (OPŽP) či podnikatelského sektoru (OPPIK). Tyto finanční podpory jsou k dispozici jak na úrovni České republiky, tak Evropské unie.

A. 3. 1 Výhody a nevýhody OZE

Definice obnovitelných zdrojů energie je uvedena v zákoně č. 17/1992 Sb.[3] o životním prostředí a zní: „Obnovitelné zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.“

Tato definice říká, že jejich výhoda je oproti neobnovitelným zdrojům energie zejména v jejich obnově, což představuje z hlediska bytí člověka krátký časový horizont. Tento horizont může být předpokládán v řádech minut, hodin, dní, týdnů či měsíců. Další neodmyslitelnou pozitivní výhodou je jejich vztah k životnímu prostředí. Například nemají žádný vliv na zmenšování ozónové vrstvy ani nevypouštějí do ovzduší při provozu koncentrace škodlivin.[46]

Oproti neobnovitelným zdrojům však hrozí některými nevýhodami, které nelze opomenout. Jedná se zejména o jejich dostupnost, kdy lze v lokálním měřítku spotřebovat pouze takové množství energie, které do něj vstupuje. Výkony se odvíjejí od místa odběru. Nevýhodou je také poměrné množství výkonů. Například velikosti osluněných ploch či počty větrných elektráren vyprodukují stejné množství energie, jako např. několika gramů uranu. Pořízení tohoto zdroje energie také není pro uživatele mnohdy levnou záležitostí.[46]

Z výše uvedených bodů vyplývá, že nejsme v současné době schopni z obnovitelných zdrojů vyrobit tolik energie, aby pokryla celosvětovou potřebu. Tato skutečnost se nebude s největší pravděpodobností lepšit ani v budoucnosti, kdy se předpokládá další růst populace.

A. 3. 2 Technické systémy využívající obnovitelnou energii v budovách

V našich klimatických podmínkách jsou možnosti využití obnovitelných zdrojů omezené. Například větrné a vodní elektrárny nejsou v lokálních měřítcích ve stavebnictví tolik používané. Někdy se těmto systémům říká alternativní zdroje energie, tento název vychází z myšlenky netradičních a moderních zdrojů, nicméně plní stejnou funkci. Následující rozdělení a základní popis některých z nich představí ty u nás nejčastější.

A. 3. 2. 1 Kotle na biomasu

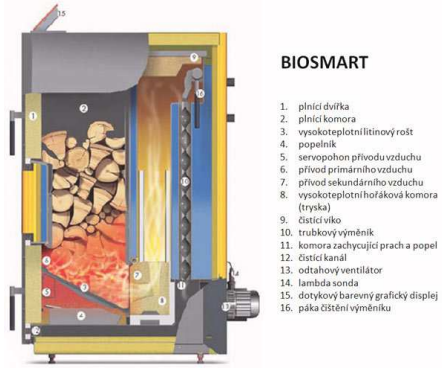
Energie z biomasy byla velmi oblíbená zejména v minulosti ve formě kusového dřeva. V dnešní době přichází zpět do módy, nicméně v podobě dřevních briket a pelet. Avšak kusové dřevo stále zůstává v celkovém měřítku také velmi využívaným zdrojem tepla. Je to hmota organického původu z rostlin a živočichů. Zpracovává je spíše rostlinná forma, nicméně také živočišná biomasa představuje podíl především ve větších bioplynových stanicích, kde se zpracovává v podobě odpadu. Abychom mohli říci, že jde o obnovitelný zdroj, je třeba ho stále obnovovat a pěstovat nové lesy a plodiny. V budovách používáme na spalování biomasy především kotle a otevřené krby.

Obrázek 4: Dřevní brikety - vlevo nahoře [55], dřevní pelety - vlevo dole [56]

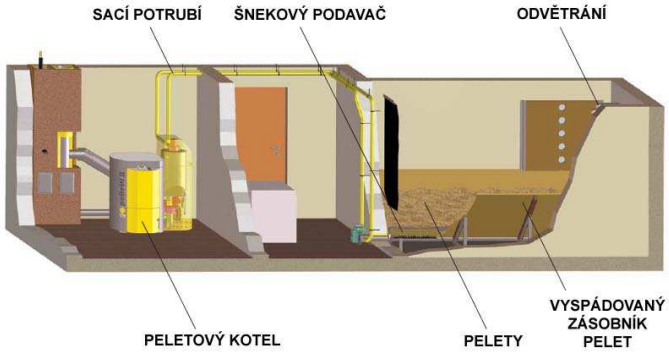
dřevo	kWh/prm	kWh/kg*
javor	1900	4,1
bříza	1900	4,3
dub	2100	4,2
olše	1500	4,1
jasan	2100	4,2
smrk	1600	4,4
borovice	1700	4,4
modřín	1700	4,4
topol	1400	4,2
buk	2100	4,2
habr	2200	4,2
jedle	1500	4,4

Tabulka 4: Výhřevnost dřevin [54]

Topit biomasou představuje výhodu ve vysoké účinnosti spalování, u pelet dosahuje až 95 %. Příznivá je také cena paliva a případné dotace ze strany státu. Moderní kotle a krby již produkují velmi malé množství emisí. Naopak k nevýhodám patří velké skladovací prostory a nutný prostor pro manipulaci mezi topivem a popelem.[47]



Obrázek 5: Kotel na kusové dřevo a štěpku [57]

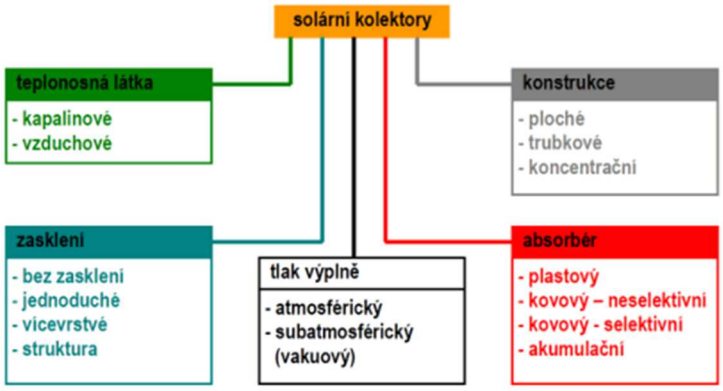


Obrázek 6: Peletová kotelna s pneumatických podavačem [58]

A. 3. 2. 2 Solární termické systémy

Solární kolektory jsou zařízení určená k pohlcení slunečního záření. Toto záření je poté přeměněno na energii tepelnou, která je předávána teplonosné látce protékajícím kolektorem. Celý proces nazýváme fototermální přeměna. Základním prvkem kolektoru je absorpční plocha, která se pohlcováním slunečního záření ohřívá. Rozeznáváme několik druhů kolektorů, z nichž každý má specifické vlastnosti.

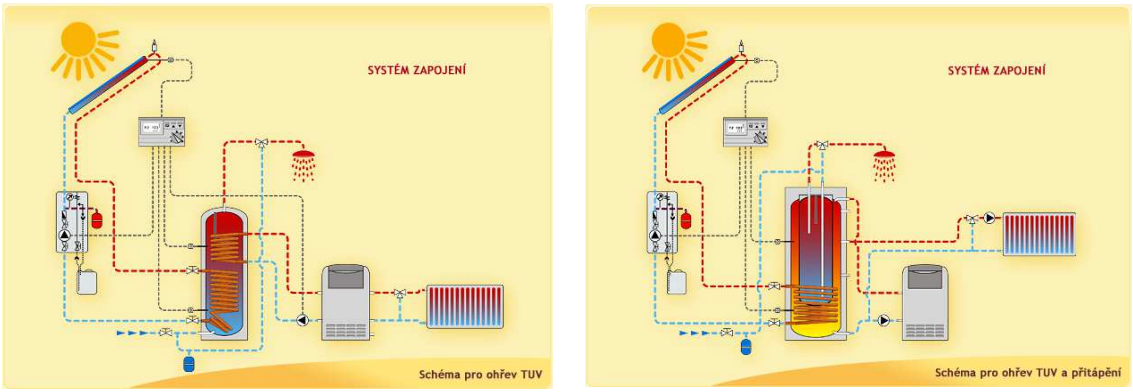
Celková sluneční energie dopadající například na plochu střechy rodinného domu, by dokázala pokrýt jeho celkové spotřeby. Intenzita slunečního záření je proměnlivá v průběhu celého roku a odhaduje se, že dopadající energie na metr čtvereční za rok odpovídá přibližně 950 – 1 340 kW/(m^2 · rok). Vy však takové množství energii v současné době nedokážeme solárními kolektory zachytit. Jejich účinnosti se pohybují zhruba kolem 30–40 % dle typu. Dále je problematické akumulovat energii dodanou solárním systémem do okamžiku, kdy by měla být spotřebována (vytápění a příprava teplé vody). Znamenalo by to především instalace obrovských tepelných baterií.



Graf 3: Rozdělení solárních kolektorů [59]

Solární systémy dělíme na pasivní, kde není potřeba žádných zařízení na pohon elektrické energie (příkladem jsou solární stěny, skleníky, …) a systémy aktivní, kde je využita elektřina k pohonu oběhového čerpadla a dalších prvků.

Obrázek 5: Řez solárním kolektorem [60]



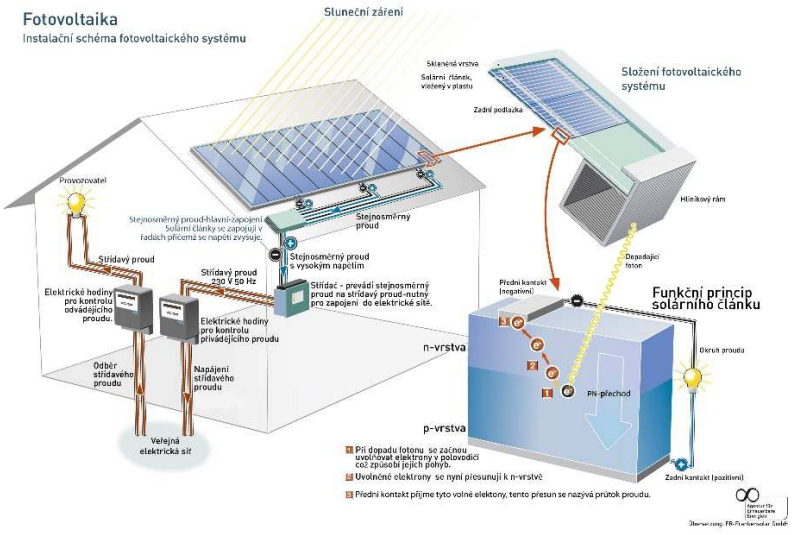
Obrázek 6: Možnosti zapojení solárních soustav [60]

A. 3. 2. 3 Fotovoltaické systémy

Princip vychází z tzv. fotoelektrické přeměny, kdy se mění sluneční záření na energii elektrickou. Využívají se polovodičové fotodiody spojené do větších celků – fotovoltaických článků. Tento systém nepotřebuje pro provoz žádné palivo a může fungovat dlouhou dobu bez obsluhy. Nabízí obrovskou výkonovou variabilitu, od nejmenších článků v řádech wattů po obrovské megawattové elektrárny. Nejčastěji se vyskytují na střechách a fasádách budov. Jejich nevýhoda je především v dosahování velmi nízkých účinností – v běžných hodnotách kolem 15 – 20 %.

Rozeznáváme základní dva typy panelů. Krystalické a tenkovrstvé, z nichž každý typ má odlišnou technologii. Krystalické panely dělíme na monokrystalické (c-Si), multikrystalické (m-Si) a ribbon. Tenkovrstvé se rozdělují dle použitého materiálu na a-Si (amorfní křemík), µc-Si (mikrokrystalický křemík), tendem/micromorph, CdTe, CIS a CiGS.[40] Důležitým parametrem je způsob napojení na síť, kde rozeznáváme:

- ON GRID – připojení je realizováno s dodávkou elektrické energie do sítě;
- OFF GRID – tzv. ostrovní systém, kdy je výroba elektrické energie uplatněna pouze pro vlastní spotřebu bez připojení k síti;
- HYBRIDNÍ – pracují v ostrovním režimu, ale při nedostatku akumulované energie umožní napájení ze sítě.



Obrázek 7: Schéma zapojení fotovoltaického systému [61]

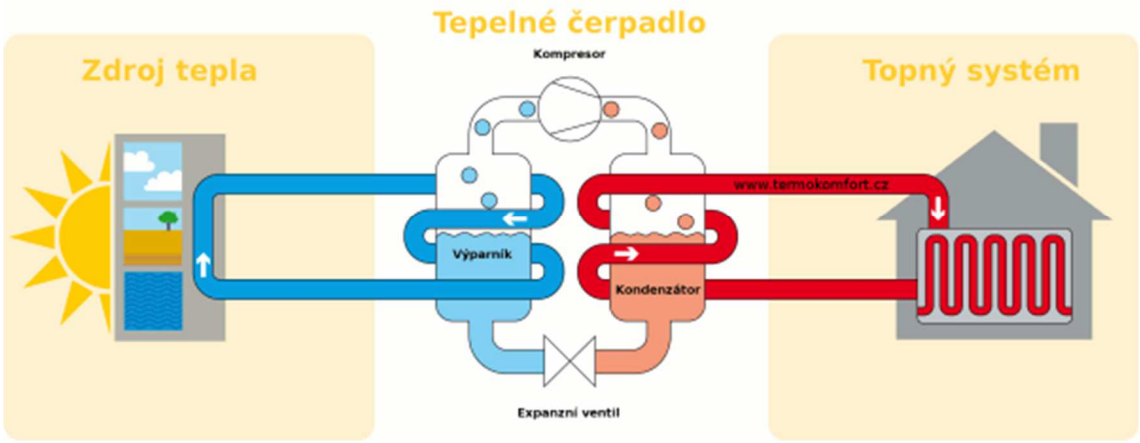
A. 3. 2. 4 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla řadíme mezi alternativní zdroje energie. V principu odnímají teplo z okolního prostředí (vody, vzduchu nebo země) a převádějí ho na vyšší teplotní hladinu. Toto teplo je následně využito pro vytápění nebo přípravu teplé vody. Dle typu prostředí rozeznáváme tepelná čerpadla:

- odebírající energii ze vzduchu – vzduch/vzduch, vzduch/voda;
- odebírající energii ze země – země/voda (na ploše), země/voda (v hloubce);
- odebírající energii z vody – voda/voda (na ploše), voda/voda (v hloubce).

Také je dělíme dle principu celkem do 3 skupin. Níže popsaný odpovídá tepelnému čerpadlu kompresorovému, dále rozeznáváme tepelné čerpadlo absorpční a tepelné čerpadlo adsorpční. Absorpční tepelná čerpadla jsou ve velké míře shodná s kompresorovými, ale s rozdílem právě v úseku kompresoru. Tam se nachází turbokompresor, který představuje další okruh s odlišným chladivem. Jeho výhoda je v podstatně menší spotřebě elektrické energie. Je ovšem vhodné pouze pro větší výkony. Princip adsorpčního tepelného čerpadla spočívá v pohlcování a ukládání plynu nebo páry do pevné látky. Při tomto pohlcování vznikají vysoké teploty využitelné tepelným čerpadlem.[40]

Skládají se ze dvou částí, venkovní a vnitřní. Venkovní jednotka je umístěna v daném prostředí a odjímá od něho tzv. nízkopotenciální teplo. Toto teplo je následně přeměněno v jednotce vnitřní na látku o vyšší teplotní hladině. Tuto přeměnu zajišťuje tzv. Carnotův cyklus. Pro pohon tepelných čerpadel je dále potřeba využít elektrickou energii pro pohon kompresoru. Celková energie odebírající tepelným čerpadlem představuje asi z 1/ 3 energii elektrickou právě pro pohon kompresoru a zbylé 2/3 jsou odebírány z okolního prostředí. Z bilance vyplývá, že tzv. dává 3krát více než bere. Topný faktor poté nabývá hodnot kolem COP = 3.



Obrázek 8: Princip tepelného čerpadla [62]

Celý okruh obsahuje čtyři základní části – výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Teplo odebrané z okolního prostředí se ve výparníku předá pracovní látce při nízké teplotě. Zahřátím pracovní látky (chladiva) dojde k jeho odpaření a tyto páry jsou kompresorem stlačeny o vysokém tlaku. V tomto stavu přichází do kondenzátoru, kde předá toto teplo např. topné vodě za vyšší teploty, než bylo ve výparníku odebráno. V poslední části, expanzním ventilu se sníží tlak chladiva na původní hodnotu ve výparníku.[48]

A. 4 Mikroklima energeticky úsporných budov

Poslední kapitola teoretické části obsahuje požadavky pro dosažení kvalitního vnitřního prostředí u budov s nízkou energetickou náročností. Zároveň slouží jako teoretický podklad pro experiment, který se zabývá měřením vnitřního prostředí budovy realizované v pasivním standartu.

Protože v dnešní době v budovách trávíme většinu svého času, kvalita vzduchu uvnitř těchto budov je rozhodující pro naši pohodu. Může ovlivnit náš zdravotní stav i psychiku. Hlavně z těchto důvodů je nezbytné se touto obsáhlou kapitolou zabývat.

Podmínkami a parametry vnitřního prostředí se zaobírá celá řada českých i evropských závazných dokumentů. Pro potřeby této DP se vztahuje zejména vyhláška č. 6/2003 Sb.[8] a nařízení vlády č. 93/2012 Sb.[5] Tabulky, kterých se pracovní prostředí týká, jsou uvedeny v experimentální části. Tam se také stanovuje, že pracovní prostředí odpovídá třídě I.

Limitující podmínky pro tato prostředí jsou – teplota, relativní vlhkost, rychlost proudění vzduchu, dále chemické látky a prašnost, osvětlení prostorů a větrání.

A. 4. 1 Obecné požadavky pocitu pohody člověka

Mimo požadované závazné předpisy je důležitým faktorem také subjektivní pocit osoby v daném prostředí. Promítá se do spokojenosti dané činnosti při přítomnosti např. dalších osob. Pohoda se u člověka projeví při:

- klidu a dostatečném světlu;
- přiměřené kvalitě vzduchu pro dýchání;
- tepelně neutrálním stavu bez mokrého pocení.[41]

Výčet nepsaných obecných požadavků, které se projevují do předpisů se mohou shrnout do těchto bodů.

- Vytápět místnosti do teploty 24 °C, u velkoplošného vytápění (stěnového a podlahového) provozovat vytápění na nižší teploty vzduchu.
- Příjemné povrchové teploty podlah jsou vnímány mezi 19 – 26 °C.
- Zajištění odpovídající výměny vzduchu a odvod škodlivin.
- Maximální dosažené rychlosti vzduchu v pobytových místnostech by neměly překračovat 0,25 m/s.
- Zajistit maximální teplotní rozdíl mezi podlahou a výškou 1,1 m nad podlahou o 3 K.
- U velkých prosklených ploch minimalizovat vliv chladného sálání výplní, např. podlahovými konvektory a zamezení tak asymetrického sálavého teplotního rozdílu mezi ochlazovanými výplněmi a vnitřních stěn v max. rozdílu 10 K.
- V letním období zamezení většího teplotního rozdílu mezi venkovním a vnitřním prostředím o více než 8 K.
- Minimalizovat rizika vzniku plísní.[41]

Pro budovy s nízkou energetickou náročností je typická nižší spotřeba energie pro zajištění správného vnitřního prostředí, což je cílem celého konceptu. Zajištění některých podmínek však s sebou nese i jistá rizika, především tato:

- Při zateplení objektu a výměně výplní se minimalizuje intenzita větrání obvodovým pláštěm a infiltrací okny, z toho plyne nebezpečí při nedostatečném větrání vyšší výskyt škodlivin, v některých případech se může jednat o radonové zatížení. Hraniční hodnota výskytu radonu ve vnitřním prostředí je u nových budov 100 Bq/m^3 a u stávajících 200 Bq/m^3. Při tomto nebezpečí je nutné zajistit nutnou výměnu vzduchu větráním a také izolováním spodní stavby.
- Při nedostatečném větrání se projevují další negativní faktory. Zejména vyšší vlhkost v důsledku dýchání osobami a následném vzniku plísní v koutech kuchyní a koupelen.
- Při malých potřebách tepla na vytápění u nízkoenergetických staveb s klasickými teplovodními soustavami je obtížná jejich regulace tak, aby soustava byla schopna rychle reagovat na změny. Důsledkem jsou přetopené místnosti.
- Při nedostatečném stínění jsou možná rizika přehřívání místností v letním i zimním období.
- U podtlakových větracích systémů jsou z důvodu průvanu uživateli ucpávány přívodní distribuční elementy, čímž se poté vyřadí systém z funkce.
- Při špatném rozmístění těchto elementů je riziko nedostatečného provětrání koutů.
- Při nedostatečném odizolování zdrojů hluku (ventilátory VZT systémů, pohony výtahů) vzniká riziko hlukového a vibračního zatížení. [41]

A. 4. 2 Veličiny měřených místností

Experiment probíhal v administrativní budově, kde důležité faktory kvalitního prostředí jsou především výsledná teplota, pak také vlhkost vzduchu, koncentrace škodliviny CO_2 a rychlost vzduchu v pobytové zóně.

Výsledná teplota vzduchu

Teplota vzduchu je ovlivněna mnoha faktory. Především vnějšími klimatickými podmínkami a také vnitřními a vnějšími zdroji tepla. Jde o vůbec nejčastěji posuzovanou veličinu uvnitř budov. Pro dosažení potřebných teplot jsou z hlediska obálky budovy navrženy zateplovací systémy pro zimní období a stínící prvky pro období letní. Technické zařízení zajišťující požadované teploty v daných prostředích jsou vytápění, větrání, chlazení, popř. osvětlení.

Stav člověka vychází z bilance tepelné pohody. Cílem je dosažení rovnováhy při tzv. suchém ochlazování těla. Při tomto stavu odebírá okolí lidskému tělu tolik tepla, kolik právě produkuje, a to vedením, prouděním, sáláním, dýcháním a vypařováním potu při suché pokožce. Pokud vzniká tzv. mokré ochlazování těla v důsledku vysokých teplot v okolí, kdy se nestačí odvést přebytečné teplém prostředí je vyhodnoceno jako nekomfortní. V tomto důsledku je snížena produktivita práce a výkonu. Tepelná bilance člověka je dána vztahem:[41]

$$M - W = C_{res} - E_{res} + K + C + R + E + S$$

Ta vyplývá z jednoduché slovní rovnice:

$$PRODUKCE = VÝDEJ + AKUMULACE$$

kde M představuje energetický výdej ve W/m^2;

W mechanická práce ve W/m^2;

C_{res} výměna citelného tepla dýcháním ve W/m^2;

E_{res} výměna vázaného tepla dýcháním ve W/m^2;

K výměna citelného tepla vedením ve W/m^2;

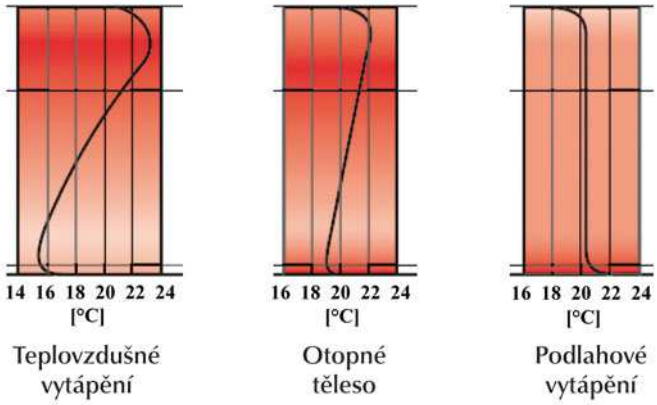
C výměna citelného tepla prouděním ve W/m^2;

R výměna citelného tepla sáláním ve W/m^2;

E výměna vázaného tepla odpařováním ve W/m^2;

S akumulace tepla v těle ve W/m^2.

Jelikož člověk vnímá teplotu výslednou a není schopen rozlišit jejich dílčí podíly lze buďto teplotu vzduchu či teplotu okolních ploch měnit tak, aby výsledný pocit byl stejný. Pro sálavé plochy lze teplotu vzduchu snížit až o 2 – 3 K bez změny pocitu člověka. Rozložení teplot po výšce místnosti je v důsledku různých teplot a hustot vzduchu nerovnoměrné. Lepší teplotní profil nabízí vytápění podlahové, kdy jsou minimální rozdíly teplot u podlah a stropů. Vytápění konvenčními tělesy v důsledku proudění vzduchu nabízí vyšší rozdíl teplot. Tepelná pohoda je podmíněna maximálním rozdílem teplot mezi kotníky a hlavou u stojícího člověka 2 °C a 1,5 °C u sedícího.[41]



Obrázek 9: Vertikální rozložení teplot po výšce místnosti při různém systému vytápění [63]

Vlhkost vzduchu

Vlhkostní podmínky uvnitř staveb jsou také podmíněny venkovní prostředím, které se v průběhu roku výrazně mění. Relativní vlhkost vzduchu má v budovách poměrně velké požadavkové rozmezí 30 – 65 %. Hodnoty byly stanoveny v důsledku nebezpečí jak pro osoby, tak pro budovy samotné. Nízké relativní vlhkosti (20 – 25 %) mohou vyvolat pocit suchých očí nebo sliznic a naopak vysoké hodnoty (65 – 80 %) způsobují vlhkost stavebních konstrukcí a následný vznik plísní na povrchů stěn. Z těchto důvodů jsou také stanoveny maximální povrchové teploty konstrukcí, kde je případná kondenzace útočištěm mikroorganismů.

Rychlost vzduchu v pobytové zóně

Optimální rychlosti vzduchu v pobytových zónách stanovuje již uvedená vyhláška č. 6/2003 Sb.[8] a to s rozdílnými limity v letním a zimním období. Podmínky jsou uvedeny v tabulce v tabulce č. 38. V interiérech se rychlost proudění může pohybovat rychlostmi 0,1 – 0,4 m/s a při rychlostech do rychlostí 0,3 m/s je vzduch klasifikován klidným. [41]

Koncentrace $C0_2$

Oxid uhličitý vzniká dokonalým spalováním uhlíku, dále při dýchání, kvašení, tlení a hoření. Jedná se o bezbarvý plyn bez zápachu, který je rozpustný ve vodě a je cca 1,5krát těžší než vzduch. Hlavním zdrojem oxidu uhličitého ve vnitřním prostředí je člověk sám, který vyprodukuje přibližně 1 kg/den.[49] Jednotka, kterou se vyjadřuje je ppm (parts per milion). Ve vnitřním prostředí je dle vyhlášky č. 268/2009 Sb.[12] přípustná koncentrace oxidu uhličitého 1500 ppm.

Pro zjištění skutečných hodnot se používají měřící přístroje se sondami. Do vzduchotechnického potrubí se umisťují čidla, který jsou napojena na MaR a v případě překročení limitu je nutné jej bezpečně vyvětrat. Nejlevnějším opatřením proti hromadění škodlivin ve vnitřním prostředí je časté otevírání oken. To však vede k nežádoucím tepelným ztrátám, resp. tepelným ziskům.

A. 4. 3 Faktory vnitřního prostředí

Látky, které představují různá nebezpečí jsou nazývány agencie. Specifikují se buď hmotnostní nebo energetickou povahou. Do prostředí vnikají z vnitřních a vnějších zdrojů. Následující rozdělení popisuje nejvýznamnější typy zajišťující tepelnou pohodu.

Toxické mikroklima

Toxické zatížení vniká do vnitřního prostředí z vnitřních a vnějších zdrojů znečištění. Mezi nejvíce rozšířené řadíme kysličníky síry SO_2 a SO_3 jako produkty fosilních spalin, dále kysličníky dusíku a uhlíku (NO_X, CO) z dieselových a benzinových motorů při nedokonalém spalování a také z tepláren. Méně významné, ale nebezpečné složky jsou dále ozón, některé uhlovodíky a smog.

Zdrojem vnitřních toxických látek je sám člověk a jeho činnost, dále stavební materiály, barvy, laky a lepidla. Vliv mají také plynové spotřebiče, nábytek a podlahové krytiny, které jsou zdrojem formaldehydu.

Mikrobiální mikroklima

Z názvu vyplývá, že se jedná o mikroorganismy. Zejména bakterie, plísně a alergeny roztočů. Limitem pro splnění podmínek je hodnota 500 KTJ/m^3 – kolonie tvořících jednotek. Vznikají v důsledku vysokých vlhkostí vzduchu uvnitř budov, buď dýcháním člověka či jiných vlhkostních zdrojů (vaření, květiny, …). Vlhkost do objektů vniká také vlivem nedostatečného těsnění střech či absence hydroizolace proti spodní vodě, kdy se voda do budov tzv. vzlíná.[41]

Aerosolové mikroklima

Aerosoly se dělí na pevné a kapalné. Typickým představitelem pevného aerosolu je prach, buď živočišného či rostlinného původu. Ten se dále dělí na interní, toxický a alergizující a výrazně zatěžuje životní prostředí, protože je generován v průmyslových, spalovacích a dalších technických procesech. Kapalný aerosol představuje vodní mlhu, což je důsledek snížení teploty vzduchu pod rosný bod.[41]

Odérové mikroklima

Odéry představují různé pachy a vůně v ovzduší. Dělí se na organické a anorganické. Ve vnitřních prostředích tvoří podstatnou část sám člověk vlivem kouření, vaření a různého čištění. Odéry jako takové nejsou pro lidské zdraví nebezpečné, nicméně působí negativně na pokles výkonnosti a ztrátu soustředění, případně pocit nevolnosti.[41] Zajímavým faktem je, že nejvíce hodnocenou odérovou látkou jako měřítko kvality je bezzápachový oxid uhličitý $C0_2$.

Ionizační mikroklima

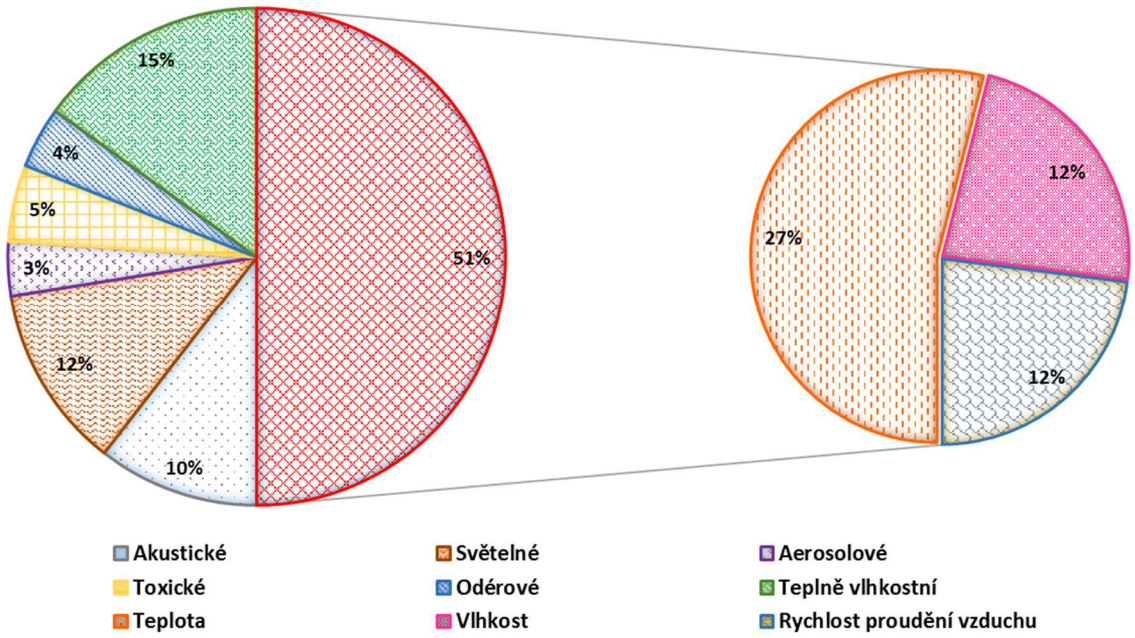
Tato specifická složka mikroklima představuje ionizační záření, produkovaného přírodními radionuklidy či umělými zdroji. Limitní hodnota těchto nuklidů je 100 Bq/m^3. Zdrojem toho záření je geologické podloží odkud působí zejména na sklepní prostory. Dalšími zdroji jsou cigaretový kouř či stavební prvky. Toto radonové zatížení lze snížit větráním.[41]

Akustické mikroklima

Principem akustické složky je rozkmitání molekul vzduchu a kapaliny zdrojem zvuku. Vznikají tak různé akustické vlny různých vlnových délek. Vliv na člověka se rozeznává ve třech druzích. Účinek na sluchový orgán, dále na vegetativní nervový systém a na psychiku člověka. Zdroje nežádoucího zvuku – hluku představují zejména technické přístroje, jako ventilátory, čerpadla, kotle, výtahy, atp. Hluk do vnitřních prostor může vnikat i z vnějšího prostředí zejména z dopravy. Pro obytné budovy jsou limity uvedeny v kapitole B. 4. 1. 10.

Světelné mikroklima

Společně s akustickou složkou tvoří téměř polovinu vlivu, jak je uvedeno v grafu níže. Jedná se o světlo, které zásadně ovlivňuje podmínky zrakového vnímání a přispívá také k celkové psychické pohodě. Vnitřní prostředí může být osvětleno buď přirozeně nebo uměle. Požadavky na osvětlení uvnitř pobytových budov se zabývá kapitola B. 4. 2, kde jsou upřesněny podmínky hladiny osvětlenosti a její rovnoměrnost. Pokud dochází ke zrakové nepohodě, vlivem špatného osvětlení, důsledky mohou vést k narušení zrakových funkcí a únavě očí.



Graf 4: Procentuální podíl složek mikroklimatu

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ
TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV V BUDOVÁCH S TÉMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU
BUILDING SERVICES OF NEAR ZERO ENERGY BUILDINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — **Bc. Tomáš Fikejsl**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **doc. Ing. JIŘÍ HIRŠ, CSc.**
SUPERVISOR

BRNO 2017

B. 1 Analýza posuzovaného objektu

B. 1. 1 Základní informace a popis lokality

Řešeným objektem je samostatně stojící bytový dům, který je součástí již zmíněného nového bytového komplexu Maloměřické nábřeží. Plánovaná výstavba se nachází téměř na okraji Brna mezi městskými částmi Maloměřice a Obřany na levém břehu řeky Svitavy. Hlavními orientačními body v okolí jsou frekventovaná ulice Obřanská, po které projíždí tramvajová linka č. 4 a ulice Olší. Nejbližší rodinné domy jsou vzdáleny asi 50 m. Celkovou situaci lépe zobrazuje přiložená vizualizace, poskytnutá firmou STAVOS Engineering, s.r.o.

Obrázek 10: Vizualizace bytového komplexu Maloměřické nábřeží, část 1 [64]

Obrázek 11: Vizualizace bytového komplexu Maloměřické nábřeží, část 2 [64]

Klimatické údaje lokality:

- Zeměpisné souřadnice: 49°13´31.97´´ severní šířky
  16°38´30.40´´ východní délky
- Nadmořská výška: 208 m. n. m.
- Venkovní výpočtová teplota pro zimní období: -12 °C ve větrné oblasti
- Průměrná venkovní teplota v otopném období: +4,0 °C
- Průměrný počet dní v otopném období: 232 dní
- Katastrální území: Maloměřice [612499]

Obrázek 12: Mapa Brna s vyznačeným místem plánované výstavby [65]

B. 1. 2 Charakteristika budovy

Vybraný objekt je lépe čitelný z horního plánu, v kterém se nachází v přední části zobrazených budov, rozeznatelný zejména svojí bílo-oranžovou fasádou. Nese označení D1 a je součástí tzv. III. etapy výstavby. Jeho obdelníkový tvar má hlavní rozměry 66,5 m x 18 m s celkovou výškou objektu 16 m. Výšky jednotlivých pater jsou v konstrukčním rozměru 3,1 m a světlý rozměr podlaží je 2,8 m.

Dům je ve velké míře členitý a má kaskádovitě ustupující horní podlaží směrem od západu a jihu. Disponuje celkem 4 nadzemními a 1 podzemním podlažím, ty jsou vertikálně propojena třemi samostatnými komunikačními celky. Výškový rozdíl vyrovnávají dvouramenná schodiště a výtahové šachty. Do budovy se vchází přes vstupní prostory z východní a západní strany. Na východě se nachází také dveře do kolárny a garážová vrata, která ústí rampou do prostoru 1.PP a ze západu se do budovy vchází přes společnou terasu rozdělenou po jednotlivých bytech na menší celky.

Podzemní podlaží je pouze částečně zapuštěné pod terénem. Nachází se zde garáž s celkem 38 stáními z nichž jsou 2 určena pro tělesně postižené, dalších 17 státní je rozmístěno kolem objektu. V suterénu jsou dále umístěny sklepní boxy, v celkovém počtu 38 a prostory technického zázemí s úklidovými místnostmi.

V nadzemních podlažích (1.NP – 4.NP) jsou bytové prostory s celkem 38 byty pro uvažovaných 92 osob. V 1.NP jsou dále prostory koláren pro každý vchod zvlášť. Převážná část bytů vlastní terasu řešenou velikostně dle typu a umístění bytu. Uvedená tabulka lépe popisuje situaci v domě:

Rozdělení bytů podle počtu na NP					
	1 + kk	**2 + kk**	**3 + kk**	**4 + kk**	**Σ [ks]**
1.NP	2	8		1	**11**
2.NP		8	3	1	**12**
3.NP		3	6		**9**
4.NP			6		**6**
Σ [ks]	**2**	**19**	**15**	**2**	**38**
Rozdělení bytů podle počtu na VCHOD					
Vchod č. 1		5	5	2	**12**
Vchod č. 2	1	7	5		**13**
Vchod č. 3	1	7	5		**13**
Σ [ks]	**2**	**19**	**15**	**2**	**38**
Rozdělení bytů podle velikosti					
	S [m2]				
	1 + kk	**2 + kk**	**3 + kk**	**4 + kk**	**ΣS [m^2]**
1.NP	79,7	494,73		115,18	**689,61**
2.NP		481,81	216,87	123,94	**822,62**
3.NP		163,81	508,1		**671,91**
4.NP			564,63		**564,63**
Σ [ks]	**79,70**	**1140,35**	**1289,60**	**239,12**	**2748,77**
Podíl bytu na celkové ploše [%]	**2,90**	**41,49**	**46,92**	**8,70**	**100,00**

Tabulka 5: Tabulka rozdělení bytů po patrech, vchodů, velikostí a typu

B. 1. 2. 1 Konstrukční systém budovy

Svislé obvodové nosné konstrukce jsou navrženy z keramických tvárnic POROTHERM 25 P+D doplněny o vrstvu tepelné izolace polystyrenu EPS 70F. Pohledová vrstva je navržena ve dvou alternativách, fasádní omítka a kompozitní deska na bázi dřeva. V úrovni 1.PP je nosná stěna ze železobetonu s tepelně izolační vrstvou grafitovým EPS 70F a vrstvou hydroizolační. Vnitřní nosné dělící konstrukce také tvoří keramické tvárnice POROTHERM, a to v provedení 25 P+D a 11,5 P+D se sádrovou omítkou.

Vodorovné konstrukce jsou ze železobetonových prefabrikovaných panelů. V úrovni podlahy 1.NP je hlavní izolační vrstva v kročejovém provedení. Jako nášlapné jsou využity různé materiály dle typu místnosti, převážně PVC, koberec a keramická dlažba. Konstrukce podlahy garáže a sklepních boxů je z betonu C25/30 s vloženou kari sítí.

Střešní nosnou konstrukci tvoří železobetonová deska C25/30 s tepelnou izolací se spádovými klíny EPS 150S s horní vrstvou z PVC-P fólie s výztužnou vložkou. Na terasách jsou jako nášlapná vrstva položena dřevěná prkna na rektifikačních podložkách se spády od fasád objektu.

Výplně otvorů tvoří především plastová okna a balkonové dveře s izolačními trojskly. Vchodové dveře mají hliníkové rámy také s izolačními trojskly. Do koláren vedou plné hliníkové dveře s výplňovým izolačním materiálem a garážová vrata jsou z části kovová a z části bez výplně z důvodu lepšího provětrávání garáže.

B. 1. 2. 2 Skladby a tepelně technické vlastnosti obalových konstrukcí

Tepelně technické vlastnosti byly stanoveny dle platných předpisů a norem ČR. Obalové stavební konstrukce byly navrženy v souladu ČSN 73 0540-2:2011[19]. Hraničními hodnotami pro posouzení byly dle příslušné tabulky doporučené požadavky součinitele prostupu tepla *U [W·m^{-2}·K^{-1}]*, který je v souladu s ČSN EN ISO 6946:2008[34]. Vyhodnocení jednotlivých konstrukcí je uvedeno v následujících tabulkách.

Algoritmus součinitele prostupu tepla

Tepelný odpor stejnorodých vrstev:

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

Celkový tepelný odpor konstrukce při prostupu tepla:

$$R_T = R_{si} + \sum R + R_{se} \quad [(m^2 \cdot K)/W]$$

Součinitel prostupu tepla a posouzení s normou ČSN 73 0540-2:2011:

$$U = \frac{1}{R_T} \leq U_N \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

Obvodové konstrukce

Označení konstrukce:	OS1	**Název konstrukce:**				Obvodová stěna + fasádní silikátová omítka			
		Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:				Stěna vnější těžká			
Vrstva	**Materiál**	**d**	**λ**	**R**	**Rsi**	**Rse**	**$U_{N,20}$**	**$U_{rec,20}$**	**U**
		[m]	**[W/(m·K)]**	**[(m²·K)/W]**	**[(m²·K)/W]**	**[(m²·K)/W]**	**[W/(m²·K)]**	**[W/(m²·K)]**	**[W/(m²·K)]**
1	Omítka sádrová	0,020	0,600	0,033	0,13	0,04	0,3	0,25	0,212
2	Porotherm 25 P+D P10	0,250	0,430	0,581					
3	Lepící a stěrková hmota	0,005	0,800	0,006					
4	Tepelná izolace EPS 70F	0,160	0,041	3,902					
5	Stěrková hmota	0,006	0,800	0,008					
6	Fasádní silikátová omítka	0,004	0,800	0,005					
	Celková tloušťka konstrukce:	**0,445**	**R_T**	**4,706**	**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**				**VYHOVUJE**

Označení konstrukce:	OS2	**Název konstrukce:**				Obvodová stěna + kompozitní obklad			
		Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:				Stěna vnější těžká			
Vrstva	**Materiál**	**d**	**λ**	**R**	**Rsi**	**Rse**	**$U_{N,20}$**	**$U_{rec,20}$**	**U**
		[m]	**[W/(m·K)]**	**[(m²·K)/W]**	**[(m²·K)/W]**	**[(m²·K)/W]**	**[W/(m²·K)]**	**[W/(m²·K)]**	**[W/(m²·K)]**
1	Omítka sádrová	0,020	0,600	0,033	0,13	0,04	0,3	0,25	0,231
2	Porotherm 25 P+D P10	0,250	0,430	0,581					
3	Lepící a stěrková hmota	0,005	0,800	0,006					
4	TI - Grafitový EPS 70 F	0,120	0,034	3,529					
5	Pojistná hydroizolace - PP fólie	0,001	0,220	0,005					
6	Nosný ocelový profil + vzduch	0,030	-	-					
7	Fasádní obklad - kompozitní deska	0,019	-	-					
	Celková tloušťka konstrukce:	**0,445**	**R_T**	**4,325**	**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**				**VYHOVUJE**

Označení konstrukce:	OS3	**Název konstrukce:**				Obvodová stěna - soklová část			
		Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:				Stěna vnější těžká			
Vrstva	**Materiál**	**d**	**λ**	**R**	**Rsi**	**Rse**	**$U_{N,20}$**	**$U_{rec,20}$**	**U**
		[m]	**[W/(m·K)]**	**[(m²·K)/W]**	**[(m²·K)/W]**	**[(m²·K)/W]**	**[W/(m²·K)]**	**[W/(m²·K)]**	**[W/(m²·K)]**
1	Omítka sádrová	0,020	0,600	0,033	0,13	0,04	0,3	0,25	0,231
2	Porotherm 25 P+D P10	0,250	0,430	0,581					
3	Lepící a stěrková hmota	0,005	0,800	0,006					
4	TI - Grafitový EPS 70 F	0,120	0,034	3,529					
5	Stěrková hmota	0,006	0,800	0,008					
6	Fasádní silikátová omítka	0,004	0,800	0,005					
	Celková tloušťka konstrukce:	**0,405**	**R_T**	**4,333**	**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**				**VYHOVUJE**

Označení konstrukce:	OS4	Název konstrukce:				Stěna ke garáži			
		Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:				Stěna vnitřní z vytápěného do nevytápěného prostoru			
Vrstva	Materiál	d	λ	R	Rsi	Rse	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	U
		[m]	[W/(m·K)]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]
1	Omítka sádrová	0,020	0,600	0,033	0,13	0,13	0,6	0,4	0,352
2	Porotherm 25 P+D P10	0,250	0,430	0,581					
3	Lepící a stěrková hmota	0,005	0,800	0,006					
4	Tepelná izolace EPS 70F	0,080	0,041	1,951					
5	Stěrková hmota	0,006	0,800	0,008					
6	Fasádní silikátová omítka	0,004	0,800	0,005					
	Celková tloušťka konstrukce:	**0,365**	R_T	**2,845**	**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**				**VYHOVUJE**

Označení konstrukce:	OS5	Název konstrukce:				Stěna ke sklepním boxům			
		Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:				Stěna vnitřní z vytápěného do nevytápěného prostoru			
Vrstva	Materiál	d	λ	R	Rsi	Rse	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	U
		[m]	[W/(m·K)]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]
1	Omítka sádrová	0,020	0,600	0,033	0,13	0,13	0,6	0,4	0,352
2	Porotherm 25 P+D P10	0,250	0,430	0,581					
3	Lepící a stěrková hmota	0,005	0,800	0,006					
4	Tepelná izolace EPS 70F	0,080	0,041	1,951					
5	Stěrková hmota	0,006	0,800	0,008					
6	Fasádní silikátová omítka	0,004	0,800	0,005					
	Celková tloušťka konstrukce:	**0,365**	R_T	**2,845**	**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**				**VYHOVUJE**

Označení konstrukce:	OS6	Název konstrukce:				Stěna 1.PP k zemině			
		Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:				Stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině			
Vrstva	Materiál	d	λ	R	Rsi	Rse	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	U
		[m]	[W/(m·K)]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]
1	Omítka sádrová	0,020	0,600	0,033	0,13	0	0,45	0,3	0,198
2	Železobetonová stěna	0,250	1,580	0,158					
3	Lepící a stěrková hmota	0,005	0,800	0,006					
4	TI - Grafitový EPS 70 F	0,160	0,034	4,706					
5	Hydroizolace	0,005	0,210	0,024					
6	Nopová fólie	-	-	-					
7	Původní zemina	-	-	-					
	Celková tloušťka konstrukce:	**0,440**	R_T	**5,058**	**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**				**VYHOVUJE**

Tabulka 6: Tabulky součinitelů prostupů tepla obvodových konstrukci

Podlahové konstrukce

Označení konstrukce:	PDL1	Název konstrukce:				Podlaha k exteriéru			
		Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:				Podlaha nad exteriérem			
Vrstva	Materiál	d	λ	R	Rsi	Rse	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	U
		[m]	[W/(m·K)]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]
1	Nášlapná vrstva	0,010	1,010	0,010	0,17	0,04	0,24	0,16	0,139
2	Cementový potěr	0,050	1,380	0,036					
3	PE fólie	0,000	0,350	0,000					
4	Kročejová izolace - EPS T4	0,040	0,044	0,909					
5	Železobetonová deska C25/30	0,200	1,580	0,127					
6	Lepící a stěrková hmota	0,005	0,800	0,006					
7	TI - Grafitový EPS 70F	0,200	0,034	5,882					
8	Stěrková hmota	0,006	0,800	0,008					
9	Fasádní silikátová omítka	0,004	0,800	0,005					
	Celková tloušťka konstrukce:	**0,515**	R_T	**7,193**	**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**				**VYHOVUJE**

Označení konstrukce:	PDL2	Název konstrukce:				Podlaha nad garáží			
		Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:				Podlaha vytápěného nad nevytápěným prostorem			
Vrstva	Materiál	d	λ	R	Rsi	Rse	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	U
		[m]	[W/(m·K)]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]
1	Nášlapná vrstva	0,010	1,010	0,010	0,17	0,1	0,6	0,4	0,343
2	Cementový potěr	0,050	1,380	0,036					
3	PE fólie	0,000	0,350	0,000					
4	Kročejová izolace - EPS T4	0,040	0,041	0,976					
5	Kročejová izolace - EPS T4	0,060	0,041	1,463					
6	Železobetonová deska C25/30	0,200	1,580	0,127					
7	Omítka sádrová	0,020	0,600	0,033					
	Celková tloušťka konstrukce:	**0,380**	R_T	**2,915**	**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**				**VYHOVUJE**

Označení konstrukce:	PDL3	Název konstrukce:				Podlaha nad sklepními boxy			
		Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:				Podlaha vytápěného nad nevytápěným prostorem			
Vrstva	Materiál	d	λ	R	Rsi	Rse	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	U
		[m]	[W/(m·K)]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]
1	Nášlapná vrstva	0,010	1,010	0,010	0,17	0,1	0,6	0,4	0,343
2	Cementový potěr	0,050	1,380	0,036					
3	PE fólie	0,000	0,350	0,000					
4	Kročejová izolace - EPS T4	0,040	0,041	0,976					
5	Kročejová izolace - EPS T4	0,060	0,041	1,463					
6	Železobetonová deska C25/30	0,200	1,580	0,127					
7	Omítka sádrová	0,020	0,600	0,033					
	Celková tloušťka konstrukce:	**0,380**	R_T	**2,915**	**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**				**VYHOVUJE**

Označení konstrukce:	PDL4	Název konstrukce:				Podlaha chodby 1.PP			
		Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:				Podlaha vytápěného na zemině			
Vrstva	Materiál	d	λ	R	Rsi	Rse	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	U
		[m]	[W/(m·K)]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]
1	Ochranný nátěr	-	-	-	0,17	0	1,2	0,8	0,312
2	Cementový vsyp	0,003	1,380	0,002					
3	Drátkobeton C25/30 s kari sítí	0,100	1,580	0,063					
4	TI - Polyform EPS 200 NEO	0,100	0,034	2,941					
5	Hydroizolace	0,005	0,210	0,024					
6	Želzobetonová deska	-	-	-					
7	Podkladní vrstva	-	-	-					
	Celková tloušťka konstrukce:	**0,208**	R_T	**3,200**	**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**				**VYHOVUJE**

Tabulka 7: Tabulky součinitelů prostupů tepla podlahových konstrukci

Stropní a střešní konstrukce

Označení konstrukce:	STR1	Název konstrukce:				Střecha nad obytnými prostory			
		Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:				Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°			
Vrstva	Materiál	d	λ	R	Rsi	Rse	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	U
		[m]	[W/(m·K)]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]
1	Omítka sádrová	0,020	0,600	0,033	0,1	0,04	0,24	0,16	0,147
2	Železobetonová deska C25/30	0,180	1,580	0,114					
3	Asfaltový nátěr	0,000	0,210	0,000					
4	SBS modifikonavý asf. pás	0,004	0,210	0,019					
5	Tepelná izolace - EPS 150S	0,200	0,037	5,405					
6	Tepelná izolace - EPS 150S	0,040	0,037	1,081					
7	Separační vrstva	0,001	0,220	0,005					
8	PVC-P fólie s výzkužnou vložkou	0,002	0,160	0,013					
	Celková tloušťka konstrukce:	**0,447**	R_T	**6,810**	**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**				**VYHOVUJE**

Označení konstrukce:	STR2	Název konstrukce:				Střecha nad obytnými prostory s terasami			
		Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:				Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°			
Vrstva	Materiál	d	λ	R	Rsi	Rse	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	U
		[m]	[W/(m·K)]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]
1	Omítka sádrová	0,020	0,600	0,033	0,1	0,04	0,24	0,16	0,147
2	Železobetonová deska C25/30	0,180	1,580	0,114					
3	Asfaltový nátěr	0,000	0,210	0,000					
4	SBS modifikonavý asf. pás	0,004	0,210	0,019					
5	Tepelná izolace - EPS 150S	0,200	0,037	5,405					
6	Tepelná izolace - EPS 150S	0,040	0,037	1,081					
7	Separační vrstva	0,001	0,220	0,005					
8	PVC-P fólie s výzkužnou vložkou	0,002	0,160	0,013					
9	Dřevěná prkna na ret. podložkách	0,050	-	-					
	Celková tloušťka konstrukce:	**0,497**	R_T	**6,810**	**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**				**VYHOVUJE**

Označení konstrukce:	STR3	Název konstrukce:				Střecha nad vstupy			
		Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:				Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°			
Vrstva	Materiál	d	λ	R	Rsi	Rse	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	U
		[m]	[W/(m·K)]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[(m²·K)/W]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]
1	Omítka sádrová	0,020	0,600	0,033	0,1	0,04	0,24	0,16	0,147
2	Železobetonová deska C25/30	0,180	1,580	0,114					
3	Asfaltový nátěr	0,000	0,210	0,000					
4	SBS modifikonavý asf. pás	0,004	0,210	0,019					
5	Tepelná izolace - EPS 150S	0,200	0,037	5,405					
6	Tepelná izolace - EPS 150S	0,040	0,037	1,081					
7	Separační vrstva	0,001	0,220	0,005					
8	PVC-P fólie s výzkužnou vložkou	0,002	0,160	0,013					
	Celková tloušťka konstrukce:	**0,447**	**R_T**	**6,810**	**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**				**VYHOVUJE**

Tabulka 8: Tabulky součinitelů prostupů tepla stropních a střešních konstrukci

Výplně otvorů

Číslo výplně	Název výplně	Materiál rámu	Plocha podle orientace S [m²]				$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	U_W
			sever	jih	východ	západ	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]
1	Okna a balkonové dveře	plast	21,95	58,7	145,67	236,47	1,5	1,2	0,9
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:		Okna z vytápěného prsotoru do exteriéru				**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**			**VYHOVUJE**
2	Okna do chodeb	plast			85,26		4	3,2	0,9
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:		Okna z vytápěného prsotoru do exteriéru				**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**			**VYHOVUJE**
3	Vchodové dveře	hliník			44,07		4,53	3,2	0,9
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:		Dveře z vytápěného prsotoru do exteriéru				**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**			**VYHOVUJE**
4	Dveře do skladu	hliník			2,86		4,53	3,2	1,5
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:		Dveře z vytápěného prsotoru do exteriéru				**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**			**VYHOVUJE**
5	Vrata do garáže	dřevo			13,55		9,33	6,13	1,5
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2:		Okna a dveře z vytápěného do temp. prostoru				**Vyhodnocení dle ČSN 73 0540-2:2011:**			**VYHOVUJE**

Tabulka 9: Tabulka součinitelů prostupů tepla výplní otvorů

B. 2 Stanovení nZEB z pohledu stavební obálky dle vyhlášky č. 78/2013 Sb.

Pro účely vyhodnocení téměř nulové budovy dle dané metodiky vyhlášky č. 78/2013 Sb.[9], je nutné budovu rozdělit do několika provozních zón dle standardizovaného profilu užívání, který bude dále vztažen ke konkrétním klimatickým údajům. Typické hodnoty pro výpočet energetické náročnosti budovy uvádí dokumenty TNI 73 0330:2010[36] a TNI 73 0331:2013[37]. Pro každou provozní zónu se volí odlišné okrajové podmínky vnitřního mikroklima. Vyhodnocení tepelných toků, průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} *[W/(m2·K)]* a zatřídění do příslušné kategorie energetické náročnosti bude proveden ručním výpočtem v tabulkovém procesoru Microsoft Excel a jeho správnost dále ověřena vyhodnocením v softwaru Energie 2016.3.

B. 2. 1 Výpočtový model standardizovaného užívání

Rozdělení objektu do funkčních zón

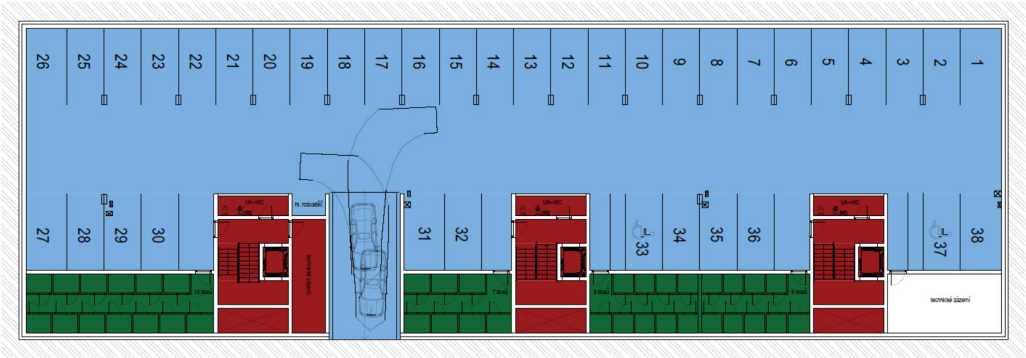
Podkladem pro rozdělení slouží norma ČSN EN ISO 13790:2009[33], ve které jsou uvedeny všeobecné podmínky pro zónování v následující citaci samotné normy. Zónujeme tehdy, když:

a) požadované teploty pro vytápění se u jednotlivých prostor neliší o více než 4 K;
b) všechny prostory nejsou strojně chlazené nebo všechny jsou strojně chlazené a u jednotlivých prostor se požadované teploty pro chlazení neliší o více než 4 K;
c) prostory jsou obsluhovány jedním systémem vytápění (pokud existuje) a jedním systémem chlazení (pokud existuje), v souladu s příslušnými normami na systémy vytápění a chlazení uvedenými v příloze A;

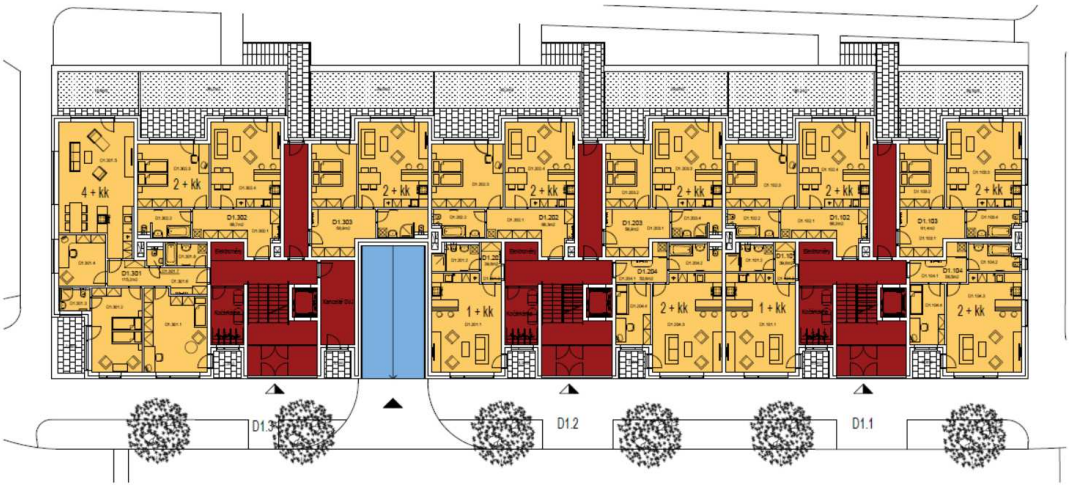
d) pokud existuje systém nebo systémy větrání, v souladu s příslušnými normami na systémy větrání uvedenými v příloze A, nejméně 80 % podlahové plochy prostor je obsluhováno jedním systémem větrání (ostatní prostory jsou potom považovány jako obsluhované hlavním systémem větrání);

e) intenzita větrání v prostorech, vyjádřená v metrech krychlových na metry čtvereční podlahové plochy za sekundu, v souladu s příslušnými normami na větrací toky vzduchu uvedenými v příloze A, se neliší více než čtyřikrát v rámci 80 % podlahové plochy, nebo dveře mezi prostory jsou pravděpodobně často otevřené.[33]

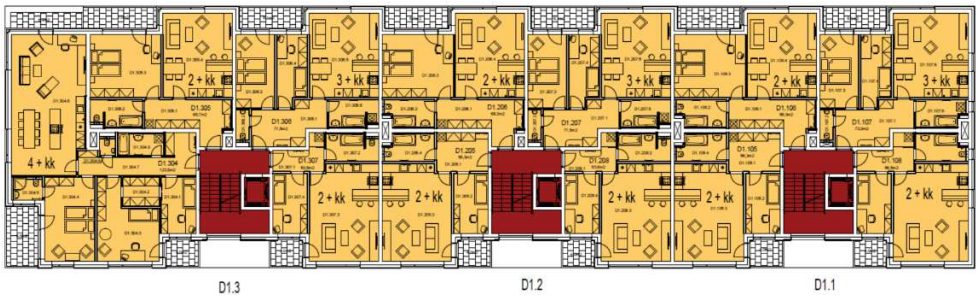
1.PP



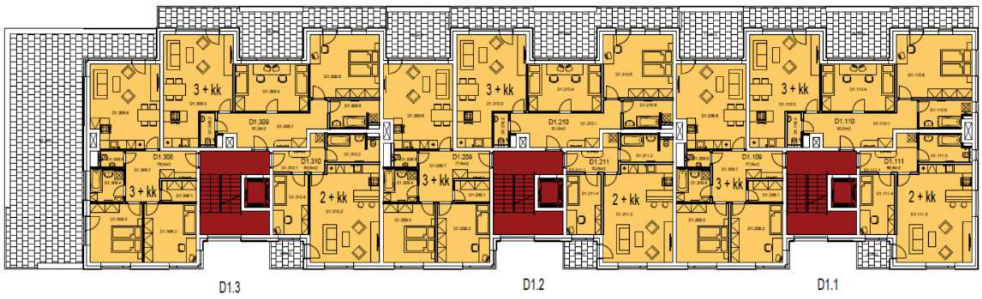
1.NP



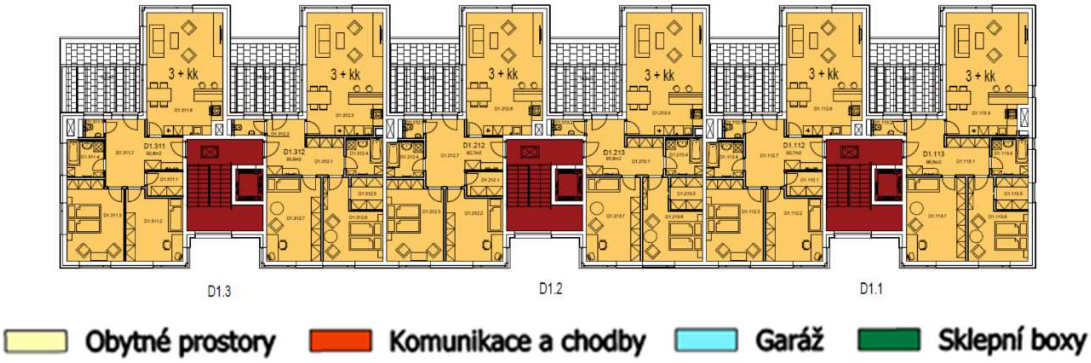
2.NP



3.NP



4.NP



Obrázek 13: Rozdělení objektu do funkčních zón

Největší zóna se nazývá obytné prostory a jsou na ni kladeny nejvyšší nároky na vnitřní mikroklima. Vzhledem k vysoké těsnosti obálky, nutnému větrání zóny z důvodu pobytu osob, vysoké vlhkostí a odérové zátěže je navrženo centrální nucené větrání s deskovým rekuperátorem zpětného získávání tepla. Větrání zajišťují celkem 3 vzduchotechnické jednotky umístěny na střeše objektu. V teplých měsících na pokrytí tepelných zisků je navrženo chlazení. Ztrátu prostupem pokrývá systém vytápění. Zdroj tepla je navržen s ohledem na požadavek splnění 20 % z obnovitelných zdrojů energie.

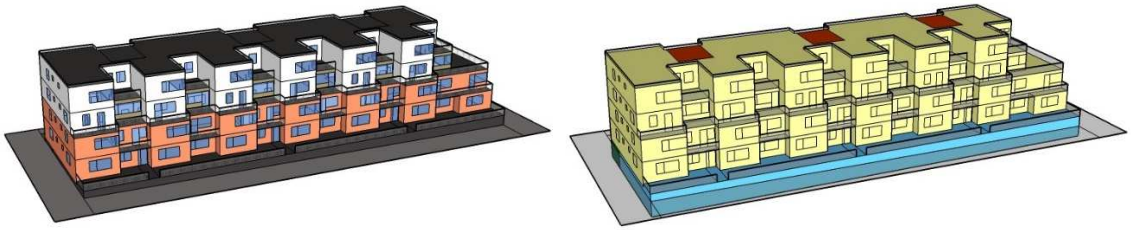
Zóna komunikace a chodby je také vytápěna na pokrytí tepelné ztráty prostupem. Nucený systém větrání zde není z důvodu nízkých nároků využit a výměna vzduchu je zajištěna šachtovým větráním přes celou výšku budovy.

V zóně garáž je navrženo podtlakové provozní větrání na požadavky normy ČSN 73 6058:2011[24]. Z hlediska hodnocení je zóna uvažována jako nevytápěný prostor. Poslední zóna jsou sklepní boxy, ve kterých stejně jako v garáži nejsou navrženy žádné systémy zajišťující vnitřní mikroklima, bude zde pouze zajištěna nutná výměna vzduchu.

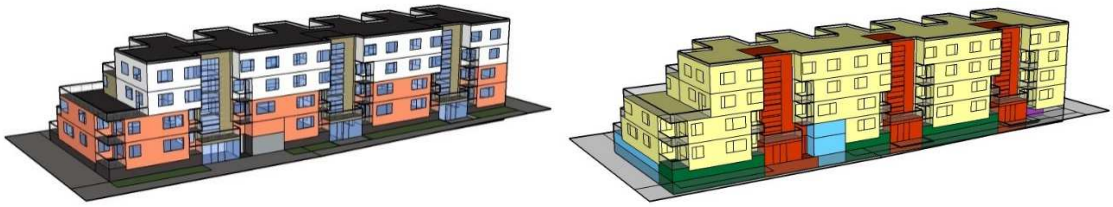
Systémová hranice budovy

Systémová hranice je uvažována v souladu s ČSN EN ISO 13789:2009[32] a ČSN 73 0540-2: 2011[19]. Vymezují ji vnější rozměry vytápěného (chlazeného) prostoru, které ohraničují vnější povrchy konstrukcí nazývající se hraniční (ochlazované) plochy. Rozeznávají se konstrukce do venkovního prostředí, sousedních vytápěných zón, přilehlé zeminy nebo do nevytápěných prostorů.

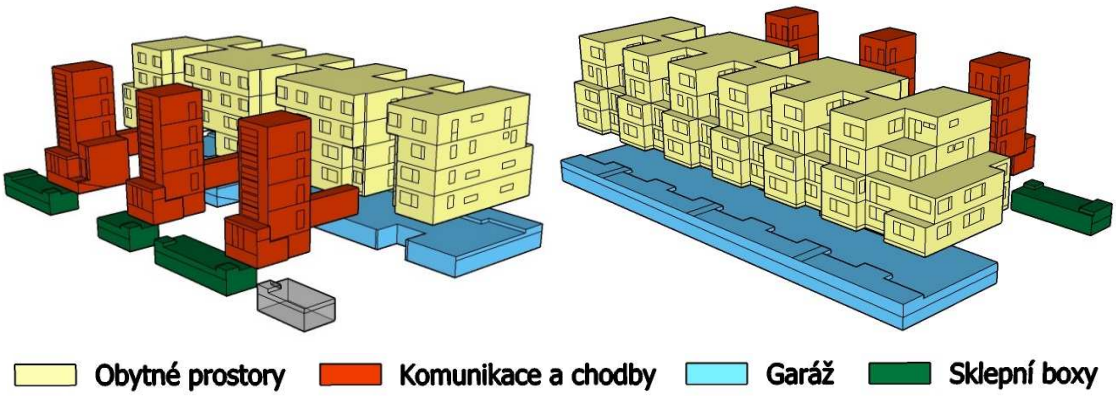
Vnější hranice obvodových stěn a střech v případě dvouplášťových konstrukcí byla uvažována na vnější hranu tepelně izolační vrstvy. U jednoplášťových konstrukcí je hranice vymezena poslední souvislou vrstvou. U podlahových konstrukcí se hranice vede pod podlahou na terénu a poslední započítanou vrstvou je hydroizolace. Pro konstrukce na hranici dvou vytápěných zón se rozdělení uvažuje v ose konstrukce a na hranici vytápěného a nevytápěného prostoru je hranice určena vnější konstrukcí vytápěné zóny. Dle zaslaných podkladů byl vytvořen výpočtový model v softwaru SketchUP pro přesnější odečet ploch obalových konstrukcí a stanovení objemových veličin.



Obrázek 14: 3D model s vymezenými zónami – severozápadní perspektiva



Obrázek 15: 3D model s vymezenými zónami – jihovýchodní perspektiva [?]



Obrázek 16: 3D model s vymezenými zónami

Geometrické údaje

Číslo zóny	Název zóny	Energeticky vztažná plocha	Podlahová plocha z vnitřních rozměrů	Objem zóny z vnějších rozměrů	Objem zóny s vnitřních rozměrů	Objem vzduchu v zóně z celkového objemu	Celková ochlazovaná plocha	Faktor tvaru objemu
		A_c	A_v	V_c	V_v	V_c/V_v	A	A_c/V_c
		[m^2]	[m^2]	[m^3]	[m^3]	[%]	[m^2]	[m^2/m^3]
1	Obytné prostory	3 424,15	3 066,82	11 061,42	7 695,90	69,57	4468,11	0,40
2	Chodby a komunikace	579,5	493,19	1 747,41	1 397,34	79,97	770,40	0,44
3	Garáž	1 068,48	-	3 130,70	-	-	1674,14	0,53
4	Sklepní boxy	192,76	-	529,41	-	-	365,58	0,69
Vytápěná část budovy		**4003,65**	**3560,01**	**12808,83**	**9093,24**	**71,17**	**5238,51**	**0,41**

Tabulka 10: Geometrické údaje zón

Provozní údaje zón

Číslo zóny	Název zóny	Převažující návrhová vnitřní teplota zóny	Provozní doba užívání	Vnitřní teplota pro režim chlazení	Provozní doba chlazení zóny	Počet provozních dní	Obsazenost	Intenzita výměny vzduchu
		Θ_{im}	$t_{use,h}$	$\Theta_{C,i,m}$	$t_{C,h}$	$t_{use,d}$	-	n
		[°C]	h/den	[°C]	h/den	den/rok	m^2/os	1/h
1	Obytné prostory	20	24	24	24	365	31	1,37
2	Chodby a komunikace	10	24	-	-	365	-	0,3
3	Garáž	-	-	-	-	-	-	0,5
4	Sklepní boxy	-	-	-	-	-	-	0,5

Tabulka 11: Provozní údaje zón

B. 2. 2 Algoritmus výpočtu zatřídění obálky budovy do příslušné třídy

Metoda vyhlášky č. 78/2013 Sb.[9] rozeznává budovu hodnocenou a referenční a na základě porovnání dílčích průměrných součinitelů prostupu tepla zatřiďuje budovu do klasifikační třídy. Hraniční limity tříd jsou uvedeny v následující tabulce:

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy		Slovní vyjádření klasifikační třídy
	Energie	U_{em}	
A	0, 5 x E_R	0, 65 x E_R	Mimořádně úsporná
B	0, 75 x E_R	0, 8 x E_R	Velmi úsporná
C	E_R		Úsporná
D	1,5 x E_R		Méně úsporná
E	2 x E_R		Nehospodárná
F	2,5 x E_R		Velmi nehospodárná
G			Mimořádně nehospodárná

Tabulka 12: Tabulka klasifikačních tříd [9]

kde E_R představují ukazatele energetické náročnosti budovy. Průměrný součinitel prostupu tepla pro hodnocenou budovu se stanoví dle normy ČSN 73 0540-4:2005[21], na kterou odkazuje vyhláška, jako:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

kde H_T je měrná ztráta prostupem tepla zóny či budovy, ve W/K

A je celková plocha konstrukcí ohraničujících vytápěný objem budovy nebo zóny m^2.

Pro měrnou ztrátu prostupem tepla platí následující vztah, na který odkazuje norma do těchto právních předpisů ČSN EN 12831:2005[25], ČSN EN ISO 13789:2009[32] a ČSN EN ISO 13370:2009[31] pro konstrukce přilehlých k zemině či k vytápěnému a nevytápěnému prostoru:

$$H_T = \sum (A_j \cdot U_j \cdot b_j) + A \cdot \Delta U_{tbm} \quad [W/K]$$

nebo dle vztahu:

$$H_T = \sum (A_j \cdot U_j \cdot b_j) + \sum (\psi_j \cdot l_j \cdot b_j) + \sum (\lambda_j \cdot b_j) \quad [W/K]$$

kde A_j je plocha j-té ochlazované konstrukce v m^2;

$A = \Sigma A_j$ plocha všech ochlazovaných konstrukcí v m^2;

U_j součinitel prostupu tepla j-té konstrukce, včetně vlivu tepelných mostů ve $W/(m^2 \cdot K)$;

b_j činitel teplotní redukce j-té konstrukce;

ΔU_{tbm} průměrný vliv tepelných vazeb ve $W/(m^2 \cdot K)$;

ψ_j lineární činitel prostupu tepla j-té lineární tepelné vazby ve $W/(m^2 \cdot K)$;

l_j délka j-té lineární tepelné vazby v m;

λ_j bodový činitel prostupu tepla j-té bodové tepelné vazby ve $W/(m^2 \cdot K)$.

Bezrozměrný činitel teplotní redukce se stanovuje pro celkem 6 různých případů v závislosti na teplotách a typu prostředí na vnější straně konstrukce. Hodnotu lze stanovit několika postupy. Lze ji vyčíst jako návrhovou hodnotu uvedenou v normě ČSN 73 0540-3:2005[20] nebo vypočítat uvedenými vztahy pro jednotlivé případy v příslušných normách. Pro základní situaci mezi vnitřním a venkovním prostředím platí:

$$b_j = \frac{\Theta_{i.j} - \Theta_e}{\Theta_{ie}}$$

kde $\Theta_{i,j}$ vnitřní návrhová teplota odlišná od převažující návrhové vnitřní teploty ve °C;

Θ_e teplota venkovního prostředí ve °C;

Θ_{ie} pro kterou platí rozdíl teplot vnitřního a venkovního prostředí $\Theta_{ie} = \Theta_{im} - \Theta_e$ ve °C.

Výpočet vlivu tepelných vazeb mezi ochlazovanými konstrukcemi na systémové hranici budovy se stanoví jako součet průměrného vlivu všech lineárních a bodových tepelných vazeb uvedených v ČSN 73 0540-4:2005[21] nebo expertním odhadem a pro tyto případy platí:

- budovy s důsledně optimalizovanými tepelnými vazbami $\Delta U_{tb} = 0{,}02\ W/(m^2 \cdot K)$
- budovy s mírnými tepelnými vazbami $\Delta U_{tb} = 0{,}05\ W/(m^2 \cdot K)$
- budovy s běžnými tepelnými vazbami $\Delta U_{tb} = 0{,}10\ W/(m^2 \cdot K)$
- budovy s výraznými tepelnými mosty $\Delta U_{tb} = 0{,}20\ W/(m^2 \cdot K)$

Pro referenční budovu se vztahuje metoda vyhlášky č. 78/2013 Sb.[9], příloha 1. Pro referenční průměrný součinitel prostupu tepla jednozónového modelu platí:

a) $U_{em,R} = U_{em,N,20,R}$ $[W/(m^2 \cdot K)]$, pro budovy s $\Theta_{im}[°C]$ od 18 °C do 22 °C včetně, kromě budov s téměř nulovou spotřebou energie, u kterých vztah platí pro $\Theta_{im}[°C]$ od 18 °C, včetně;

b) $U_{em,R} = U_{em,N,20,R} \cdot 16 \,/\, (\Theta_{im} - 4)$ $[W/(m^2 \cdot K)]$, pro ostatní hodnoty $\Theta_{im}[°C]$.

kde $U_{em,N,20,R}$ je požadovaná základní hodnota průměrného součinitele prostupu tepla ve W/(m²·K);

Θ_{im} převažující vnitřní návrhová teplota ve °C.

Požadovaná základní hodnota pro průměrný součinitel prostupu tepla se stanoví podle vztahu:

$$U_{em,N,20,R} = f_R \cdot \left[\sum (U_{N,20,j} \cdot A_j \cdot b_j) / \sum A_j + \Delta U_{em,R}\right] \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

kde f_R je redukční činitel základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla;

$U_{N,20,j}$ normová požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla j-té teplosměnné konstrukce pro převažující návrhovou vnitřní teplotu 20 °C; ve W/(m²·K);

A_j plocha j-té teplosměnné konstrukce v m²;

b_j teplotní redukční činitel;

$U_{em,R}$ přirážka na vliv tepelných vazeb ve W/(m²·K);

Pro nové budovy jsou požadavky dále zpřesněny těmito podmínkami:

a) pro obytné budovy

$U_{em,N,20,R,max} = 0{,}5\ W/(m^2 \cdot K)$

b) pro ostatní budovy

$U_{em,N,20,R,max} = 1{,}05\ W/(m^2 \cdot K)$, je-li $A/V \leq 0{,}2$ m²/m³;

$U_{em,N,20,R,max} = 0{,}45\ W/(m^2 \cdot K)$, je-li $A/V > 1{,}0$ m²/m³;

$U_{em,N,20,R,max} = 0{,}30 + 0{,}15 \,/\, (\mathrm{A/V})$, pro ostatní hodnoty *A/V*.

kde A je teplosměnná plocha obálky v m²;

V je objem zóny budovy v m³.

Pro vícezónový model se průměrný součinitel prostupu tepla určí jako:

$$U_{em,R} = \sum (U_{em,R,j} \cdot V_j) \,/\, \sum V_j \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

kde $U_{em,R,j}$ je referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla j-té zóny budovy ve W/(m²·K);

V_j objem j-té zóny budovy v m³.

B. 2. 3 Výpočet a zatřídění jednotlivých zón do klasifikačních tříd

Zóna č. 1 – Obytné prostory

Hodnocená budova						Referenční budova		
Označení konstrukce	**Název konstrukce**	**A_j**	**U_j**	**b_j**	**$H_{T,i}$**	**Typ konstrukce dle ČSN 73 0540-2**	**$U_{n,rq,20}$**	**$H_{T,i}$**
		[m^2]	**[W/(m^2·K)]**	**[-]**	**[W/K]**		**[W/(m^2·K)]**	**[W/K]**
Fasádní konstrukce								
OS1	Obvodová stěna + fasádní silikátová omítka	1812,50	0,213	1	386,1	Stěna vnější těžká	0,3	543,8
OS2	Obvodová stěna + kompozitní oblad	86,40	0,231	1	20,0	Stěna vnější těžká	0,3	25,9
OS4	Stěna ke garáži	89,40	0,352	0,794	25,0	Stěna vnitřní z vyt. do nevyt. prostoru	0,6	38,6
OS5	Stěna ke sklepním boxům	11,84	0,352	0,746	3,1	Stěna vnitřní z vyt. do nevyt. prostoru	0,6	5,7
63								
P1	Podlaha k exteriéru	21,10	0,139	1	2,9	Podlaha nad exteriérem	0,24	5,1
P2	Podlaha nad garáží	804,80	0,343	0,794	219,2	Podlaha vyt. nad nevyt. prostorem	0,6	347,7
P3	Podlaha nad sklepními boxy	165,74	0,343	0,746	42,4	Podlaha vyt. nad nevyt. prostorem	0,6	62,6
Stropní a střešní konstrukce								
S1	Střecha nad obytnými prostory	699,86	0,147	1	102,8	Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°	0,24	168,0
S2	Střecha nad obytnými prostory s terasami	313,77	0,147	1	46,2	Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°	0,24	75,3
Výplně otvorů (okna, dveře)								
V1	Okna a balkonové dveře	462,81	0,9	1	416,5	Okna z vytápěného prostoru do exteréru	1,5	694,2
Celková plocha ochlazované části			**A**	**4468,22**	**m^2**	∑ (UN,20,j · Aj · bj)	2056,2	W/K
Měrná ztráta prostupem tepla bez vlivu tepelných vazeb			$H_{T,kce}$	1264,1	W/K	Referenční přirážka na vliv tepelných vazeb ΔUem,R	0,02	W/(m2·K)
Vliv tepelných vazeb			ΔU_{tb}	0,02	W/(m^2·K)			
Měrná ztráta prostupem tepla tepelnými vazbami			$H_{T,\Delta Utb}$	89,4	W/(m^2·K)	Součinitel typu budovy e1	1	-
Celková měrná ztráta prostupem tepla			**H_T**	**1353,5**	**W/K**	**Základní referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla zóny $U_{em,R}$**	**0,46**	**W/(m^2·K)**
Průměrný součinitel prostupu tepla			**U_{em}**	**0,30**	**W/(m^2·K)**	Redukční činitel f_R	0,7	-
Referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla zóny pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie			**$U_{em,R}$**	**0,32**	**W/(m^2·K)**	**Klasifikační třída obálky budovy pro danou zónu**		**C**

Tabulka 13: Tabulka stanovení průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} pro zónu 1

Zóna č. 2 – Komunikace a chodby

Hodnocená budova						Referenční budova		
Označení konstrukce	Název konstrukce	A_j	U_j	b_j	$H_{T,i}$	Typ konstrukce dle ČSN 73 0540-2	$U_{n,rq,20}$	$H_{T,i}$
		[m^2]	[W/(m^2·K)]	[-]	[W/K]		[W/(m^2·K)]	[W/K]
Fasádní konstrukce								
OS1	Obvodová stěna + fasádní silikátová omítka	17,80	0,213	1	3,8	Stěna vnější těžká	0,3	5,3
OS2	Obvodová stěna + kompozitní oblad	88,50	0,231	1	20,5	Stěna vnější těžká	0,3	26,6
OS3	Obvodová stěna - soklová část	6,90	0,231	1	1,6	Stěna vnější těžká	0,3	2,1
OS4	Stěna ke garáži	128,60	0,352	0,712	32,2	Stěna vnitřní z vyt. do nevyt. prostoru	0,6	47,1
OS5	Stěna ke sklepním prostorům	68,60	0,352	0,645	15,6	Stěna vnitřní z vyt. do nevyt. prostoru	0,6	20,2
OS6	Stěna 1.PP ke zemině	30,20	0,190	0,49	2,8	Stěna vyt. prostoru přilehlá k zemině	0,45	10,3
Podlahové konstrukce								
P2	Podlaha nad garáží	1,20	0,343	0,712	0,3	Podlaha vyt. nad nevyt. prostorem	0,6	0,4
P4	Podlaha chodby 1.PP na zemině	153,10	0,312	0,49	23,4	Podlaha vyt. prostoru na zemině	0,45	25,5
Stropní a střešní konstrukce								
S1	Střecha nad obytnými prostory	94,10	0,147	1	13,8	Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°	0,24	22,6
S2	Střecha nad obytnými prostory s terasami	3,50	0,147	1	0,5	Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°	0,24	0,8
S3	Střecha nad vstupy	32,20	0,145	1	4,7	Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°	0,24	7,7
Výplně otvorů (okna, dveře)								
V2	Okna do chodeb	85,26	0,9	1	76,7	Okna z vytápěného prostoru do exteriéru	1,5	127,9
V3	Vchodové dveře	44,07	0,9	1	39,663	Dveře z vytápěného prostoru do exteriéru	1,7	74,9
V4	Dveře do skladu	2,86	1,5	1	4,29	Dveře z vytápěného prostoru do exteriéru	1,7	4,9
Celková plocha ochlazované části			**A**	**756,89**	m^2	$\sum (UN,20,j \cdot Aj \cdot bj)$	391,4	W/K
Měrná ztráta prostupem tepla bez vlivu tepelných vazeb			$H_{T,kce}$	239,8	W/K	Referenční přirážka na vliv tepelných vazeb	0,02	W/(m2·K)
Vliv tepelných vazeb			ΔU_{tb}	0,02	W/(m^2·K)	$\Delta Uem,R$		
Měrná ztráta prostupem tepla tepelnými vazbami			$H_{T,\Delta Utb}$	15,1	W/(m^2·K)	Součinitel typu budovy e1	2,67	-
Celková měrná ztráta prostupem tepla			H_T	**255,0**	**W/K**	**Základní referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla zóny $U_{em,R}$**	**1,38**	**W/(m^2·K)**
Průměrný součinitel prostupu tepla			U_{em}	**0,34**	**W/(m^2·K)**	Redukční činitel f_R	0,7	-
Referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla zóny pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie			$U_{em,R}$	**0,97**	**W/(m^2·K)**	**Klasifikační třída obálky budovy pro danou zónu**		**A**

Tabulka 14: Tabulka stanovení průměrných součinitelů prostupu tepla pro zónu 2

Celá budova

ZÓNA				CELÁ BUDOVA		Klasifikační třída dle vyhlášky č.78/2013 Sb.
Označení zóny	Název zóny	Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou zóny	Požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla obálkou zóny	Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou celé budovy	Požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla celé budovy pro nZEB (referenční pro novou budovu)	
		$U_{em,j}$	$U_{em,R,j}$	U_{em}	$U_{em,R}$	
		[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]	[W/(m²·K)]	
Z1	Obytné prostory	0,303	0,322	**0,31**	**0,41**	**B**
Z2	Komunikace a chodby	0,337	0,967			

Tabulka 15: Tabulka stanovení klasifikační třídy celé budovy

Z výsledku vyplývá, že obálka budovy vychází do třídy B – Velmi úsporná. Tento výsledek je způsoben zvolenou nízkou teplotou v zóně komunikace a chodby, která byla určena na 10 °C s ohledem na vyhlášku č. 194/2007 Sb.[11] Jako další možná alternativa byla uvažována teplota v zóně komunikace a chodby 15 °C, v tom případě byl požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em,R}$ vyčíslen na 0,35 W/(m²·K) a klasifikační třída zůstala stejná, B – Velmi úsporná, výsledek se tedy nezměnil. Rozdíl by se však projevil v potřebě tepla na vytápění zóny, a to na vyšší hodnotu z důvodu vyššího rozdílů teplot mezi venkovním a vnitřním prostředím.

B. 2. 4 Výsledky v softwaru ENERGIE 2016.3

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ POSOUZENÍ PODLE KRITÉRIÍ VYHLÁŠKY MPO ČR č. 78/2013 Sb.

Požadavek:

Referenční průměrný součinitel prostupu tepla: $U_{em,R}$ = 0,41 W/m²K

Pro zatřídění do klasifikační třídy se použije: $U_{em,R,klass}$ = 0,47 W/m²K

Výsledky výpočtu:

Průměrný součinitel prostupu tepla: U_{em} = 0,31 W/m²K

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

U,em < U,em,R ... POŽADAVEK JE SPLNĚN

Klasifikační třída: **B (velmi úsporná)**

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ POSOUZENÍ PODLE ČSN 730540-2 (2011)

Požadavek:

Maximální průměrný součinitel prostupu tepla: $U_{em,N}$ = 0,47 W/m²K

Výsledky výpočtu:

Průměrný součinitel prostupu tepla: U_{em} = 0,31 W/m²K

U,em < U,em,N ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Klasifikační třída: B

Slovní popis: úsporná

Klasifikační ukazatel CI: 0,7

Pozn.: Energetický štítek obálky budovy je uveden v příloze č. 3

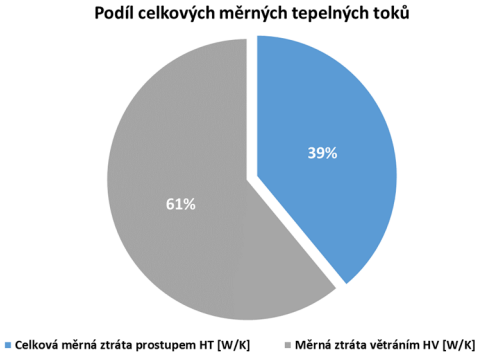
B. 2. 5 Rozdělení tepelných toků objektu v grafech

Následující tabulka uvádí součet tepelných toků prostupem a větráním pro jednotlivé typy konstrukcí dle prostředí a vytvořené grafy, znázorňující procentní podíl.

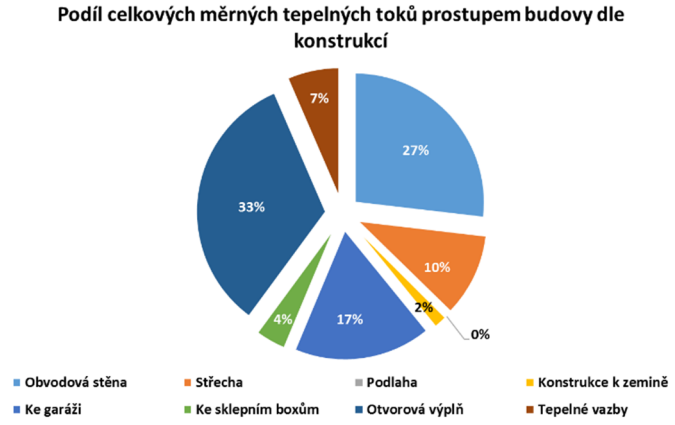
Název zóny	Měrná ztráta prostupem $H_{T,i}$ [W/K]								Celková měrná ztráta prostupem H_T [W/K]	Měrná ztráta větráním H_V [W/K]	Celkové měrné tepelné toky $H_T + H_V$ [W/K]
	Obvodová stěna	Střecha	Podlaha	Konstrukce k zemině	Ke garáži	Ke sklepním boxům	Otvorová výplň	Tepelné vazby			
Obytné prostory	406,02	149,01	2,93	-	244,19	45,51	416,53	89,36	1353,55	2469,82	3905,41
Komunikace a chodby	25,81	19,02	-	26,44	32,51	15,57	120,69	15,14	255,17	46,11	374,81
Celkové	**431,83**	**168,02**	**2,93**	**26,44**	**276,70**	**61,07**	**537,22**	**104,50**	**1608,72**	**2515,93**	**4280,22**

Tabulka 16: Tabulka rozdělení měrných toků prostupem a větráním zón a celé budovy

Graf 4: Graf měrných tepelných toků budovy prostupem a větráním



Graf 5: Graf měrných tepelných toků budovy



Graf 6: Graf měrných tepelných toků budovy prostupem dle konstrukcí

B. 3 Specifikace energetických toků budovy

Výpočet potřeby tepla na vytápění a chlazení byl odvozen dle metody normy ČSN EN ISO 13790:2009[33]. Následující postup je v některých kapitolách citací normy, podle které je následně zpracován výpočet pro jednotlivé zóny v programu Microsoft Excel. Správnost výsledků byla ověřena softwarem ENERGIE 2016.3.

B. 3. 1 Algoritmus potřeby energie na vytápění a chlazení dle ČSN EN ISO 13790:2009

Potřeba tepla na vytápění a chlazení vychází z bilanční rovnice budovy, mezi tepelné ztráty řadíme ztráty prostupem a větráním a naopak, tepelné zisky budovy rozdělujeme na vnitřní a vnější tzv. solární. Časový krok výpočtu je zvolen jeden měsíc. Pro budovu složenou z více zón je celková hodnota ztrát a zisků stanovená jako součet přes jednotlivé zóny. Potřeba energie na vytápění a analogově na chlazení zóny se vypočte jako:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad [MJ]$$

kde $Q_{H,ht}$ celkové množství přeneseného tepla v režimu vytápění v MJ;

$Q_{H,gn}$ celkové tepelné zisky v režimu vytápění v MJ;

$\eta_{H,gn}$ bezrozměrný faktor využitelnosti tepelných zisků.

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} \quad [MJ]$$

kde $Q_{H,ht}$ celkové množství přeneseného tepla v režimu v chlazení v MJ;

$Q_{H,gn}$ celkové tepelné zisky v režimu chlazení v MJ;

$\eta_{H,ls}$ bezrozměrný faktor využitelnosti tepelných ztrát.

Celkové množství přeneseného tepla pro daný krok výpočtu dle dané normy stanovujeme jako:

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad [MJ]$$

kde Q_{tr} je celkové množství přeneseného tepla prostupem v MJ;

Q_{ve} je celkové množství přeneseného tepla větráním v MJ.

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [MJ]$$

kde Q_{int} součet vnitřních tepelných zisků v MJ;

Q_{sol} součet solárních tepelných zisků v MJ.

V měsíčním nebo sezónním kroku se celkové množství prostupem pro vytápění a analogicky pro chlazení stanoví dle:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot \left(\Theta_{int,set,H} - \Theta_e\right) \cdot t \quad [MJ]$$

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot \left(\Theta_{int,set,C} - \Theta_e\right) \cdot t \quad [MJ]$$

kde $H_{tr,adj}$ celkový měrný tepelný tok prostupem tepla přepočtený pro teplotní rozdíl mezi vnitřním a venkovním prostředím ve W/K;

$\Theta_{int,set,H}$ požadovaná teplota v zóně budovy při režimu vytápění ve °C;

$\Theta_{int,set,C}$ požadovaná teplota v zóně budovy při režimu chlazení ve °C;

Θ_e teplota venkovního prostředí ve °C;

t délka kroku výpočtu v Ms.

Samotné měrné toky prostupem mají již rozdílné algoritmy, které zasahují nad rámec normy ČSN EN ISO 13790:2009[5]. V souladu s ČSN EN ISO 13 789:2009[6] se stanoví hodnota celkového měrného toku prostupem:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A \quad [W/K]$$

kde H_D měrný tepelný tok prostupem tepla do venkovního prostředí ve W/K;

H_g měrný tepelný tok prostupem tepla zeminou ve W/K;

H_U měrný tepelný tok prostupem tepla přes neklimatizované prostory W/K;

H_A měrný tepelný tok prostupem tepla do přiléhající budovy W/K.

Ve stejném časovém kroku se celkové množství přeneseného tepla větráním pro každou zónu vyjádří dle rovnice:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot \left(\Theta_{int,set,H} - \Theta_e\right) \cdot t \quad [MJ]$$

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot \left(\Theta_{int,set,C} - \Theta_e\right) \cdot t \quad [MJ]$$

kde $H_{tr,adj}$ celkový měrný tepelný tok větráním přepočtený pro teplotní rozdíl mezi vnitřním a venkovním prostředím ve W/K;

$\Theta_{int,set,H}$ požadovaná teplota v zóně budovy při režimu vytápění ve °C;

$\Theta_{int,set,C}$ požadovaná teplota v zóně budovy při režimu chlazení ve °C;

Θ_e teplota venkovního prostředí ve °C;

t délka kroku výpočtu v Ms.

Pro hodnotu $H_{ve,adj}$ se dle této normy platí:

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot (\sum b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn}) \; [W/K]$$

kde $\rho_a \cdot c_a$ je objemová tepelná kapacita vzduchu v J/(m^3·K);

$q_{ve,k,mn}$ časový průměr k-tého objemového toku vzduchu v m^3/s;

$b_{ve,k}$ teplotní korekční činitel pro k-tý objemový tok vzduchu.

Časový průměr k-tého prvku objemového toku vzduchu se stanoví dle rce:

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} \cdot q_{ve,k} \quad [m^3/s]$$

kde $q_{ve,k}$ k-tý objemový tok vzduchu v m^3/s;

$f_{ve,t,k}$ časový podíl provozu k-tého prvku objemového toku vzduchu jako část z počtu hodin za den.

V mém případě bude v rámci větrání budovy využita jednotka zpětného získávání tepla. Vliv použití jednotky zpětného získávání tepla zahrnutý ve výpočtu potřeby energie na vytápění a chlazení stanoveným korekčním činitelem. Tento činitel se rovná:

$$b_{ve,k} = (1 - f_{ve,frac,k} \cdot \eta_{hru}) \quad [-]$$

kde η_{hru} je účinnost jednotky ZZT získaná z příslušné normy pro větrací systémy;

$f_{ve,frac,k}$ část z uvažovaného k-tého toku vzduchu, který prochází zařízením se ZZT.

Pokud norma místo účinnosti udává teplotu přiváděného vzduchu $\Theta_{sup,k}$, je účinnost stanovena následujícím převodem:

$$\eta_{hru} = \frac{(\Theta_{sup,k} - \Theta_e)}{(\Theta_{int,set} - \Theta_e)} \quad [-]$$

kde $\Theta_{sup,k}$ teplota přiváděného vzduchu ze ZZT ve °C;

$\Theta_{int,set}$ požadovaná teplota zóny budovy pro vytápění nebo chlazení ve °C;

Θ_e teplota venkovního prostředí ve °C.

Uvedený výpočetní postup probíhá na velmi obecné rovině, kterou je pro konkrétní podmínky nutné dále postupově specifikovat. Pro mechanické větrání se zpětným získáváním tepla platí pro výpočet hodnoty objemového toku:

$$V_m = V_o \cdot (1 - \eta_{ZZT}) + V_P \quad [m^3/h]$$

kde V_O objemový tok vzduchu stanovený z výměny vzduchu v místnostech nebo dle minimálních hygienických požadavků v m^3/h;

η_{ZZT} je účinnost systému zpětného získávání tepla;

V_P přídavný tok vzduchu netěsnostmi obálky budovy v m^3/h.

A pro přídavný tok vzduchu netěsnostmi obálky budovy platí vztah:

$$V_P = V_A \cdot n_{50} \cdot e \quad [m^3/h]$$

kde V_A objem vzduchu ve vytápěné zóně v m^3;

n_{50} násobnost výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa (míra netěsnosti obálky);

e součinitel větrné expozice.

Tepelný tok solárními zisky stavebními prvky se určí ze vztahu:

$$\Phi_{sol,K} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,K} \quad [W]$$

kde $F_{sh,ob,k}$ je korekční činitel stínění na externí překážky pro solární účinnou sběrnou plochu prvku k;

$A_{sol,k}$ účinná sběrná plocha prvku k s danou orientací a úhlem sklonu v uvažované zóně nebo prostoru v m^2;

$I_{sol,k}$ sluneční ozáření, průměrná energie slunečního záření za časový krok výpočtu na metr čtvereční sběrné plochy povrchu prvku k s danou orientací a úhlem sklonu ve W/m^2;

$F_{r,k}$ faktor osálání mezi daným stavebním prvkem a oblohou;

$\phi_{r,k}$ přídavný tepelný tok v důsledku sálání mezi oblohou a prvkem k ve W.

Dále je specifikována účinná sběrná plocha proskleného a také neprůhledných prvků obálky těmito vztahy:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p} \quad [m^2]$$

kde $F_{sh,gl}$ je korekční činitel stínění pro pohyblivá stínící zařízení ;

g_{gl} celková propustnost sluneční energie průhlednými částmi prvku;

F_F podíl pohledové plochy rámu k celkové pohledové ploše zaskleného prvku;

$A_{w,p}$ celková pohledová plocha zaskleného prvku v m^2.

$$A_{sol} = \alpha_{S,c} \cdot R_{se} \cdot U_C \cdot A_C \quad [m^2]$$

kde $\alpha_{S,c}$ bezrozměrná pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků;

R_{se} tepelný odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu neprůhledné části stanovený dle ISO 6946 v $(m^2 \cdot K)/W$;

U_C součinitel prostupu tepla neprůhledné části stanovený v souladu s ISO 6946 ve $W/(m^2 \cdot K)$;

A_C pohledová plocha neprůhledné části v m^2.

Přídavný tepelný tok v důsledku sálání vůči obloze pro určitou část obálky budovy je vyjádřen:

$$\phi_r = R_{se} \cdot U_C \cdot A_C \cdot h_r \cdot \Delta\Theta_{er} \quad [m^2]$$

kde h_r je součinitel přestupu tepla sáláním na vnější straně ve $W/(m^2 \cdot K)$;

$\Delta\Theta_{er}$ průměrný rozdíl venkovní teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy ve °C.

Z uvedených vztahů zbývá jedna nevyčíslená hodnota, a to součinitel přestupu tepla sáláním:

$$h_r = 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (\Theta_{ss} + 273)^3 \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

kde ε je emisivita vnějšího povrchu;

σ Stefan-Boltzmannova konstanta;

Θ_{ss} aritmetický průměr z teploty povrchu a teploty oblohy ve °C.

Pro vnitřní zisky dle této normy platí, že ve vnitřních prostorech se mají uvažovat tyto tepelné toky:

- od obyvatel - $\phi_{int,Oc}$ [W];
- od přístrojů - $\phi_{int,A}$ [W];
- od osvětlení - $\phi_{int,L}$ [W];
- z rozvodů teplé a studené vody a kanalizačního systému - $\phi_{int,WA}$ [W];
- ze systémů vytápění, chlazení a větrání - $\phi_{int,HVAC}$ [W];
- z procesů a zboží - $\phi_{int,Proc}$ [W].

Nicméně podrobnější stanovení zisků od osob, přístrojů a osvětlení již norma nenabízí, proto pro účely výpočtu byly typické hodnoty vyčteny z normy TNI 73 0330. Následující vztah slouží pro stanovení vnitřních zisků od osob a spotřebičů.

$$Q_{int,oc,A} = q_{oc} \cdot A_p \cdot \frac{f_{oc} \cdot 24}{1000} + q_{ap} \cdot A_p \cdot \frac{f_{ap} \cdot 24}{1000} \quad [kWh/den]$$

kde q_{oc}, q_{ap} jsou měrné tepelné zisky od osob analogicky od vnitřních spotřebičů ve W/m^2

A_p podlahová plocha z stanovená z vnitřních rozměrů v m^2;

$f_{oc,ap}$ časový podíl přítomnosti osob a doby provozu spotřebičů.

Tabulka B.4 – Obytné budovy – Parametry pro vnitřní tepelné zisky

Typ zóny	Měrné tepelné zisky od osob	Časový podíl přítomnosti osob	Měrné tepelné zisky z vybavení	Časový podíl doby provozu
	q_{oc}	f_{oc}	q_{ap}	f_{ap}
	W/m²	–	W/m²	–
Rodinný dům – obytné prostory	1,5	0,7	3	0,2
Rodinný dům – prostory bez pobytu osob	0	0	0	0,2
Bytový dům – obytné prostory	2	0,7	3	0,2
Bytový dům – společné prostory, komunikace a prostory bez pobytu osob	0	0	0	0,2
Bytový dům – ostatní prostory	0	0	1	0

Tabulka B.5 – Obytné budovy – Parametry pro osvětlení zóny

Typ zóny	Doba využití denního světla za rok	Doba využití bez denního světla za rok
	t_D	t_N
	h	h
Rodinný dům – obytné prostory	1 600	1 200
Rodinný dům – prostory bez pobytu osob	400	500
Bytový dům – obytné prostory	1 600	1 200
Bytový dům – společné prostory, komunikace a prostory bez pobytu osob	1 200	800
Bytový dům – ostatní prostory	400	500

Tabulka 17: Tabulky parametrů pro vnitřní tepelné zisky a osvětlení dle TNI 73 0330 [36]

Po stanovení tepelných ztrát a zisků budov se stanoví faktor využitelnosti tepelných zisků. Pro režim vytápění platí:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad [-]$$

kde γ_H je bezrozměrný bilanční poměr pro režim vytápění, pro který mohou nastat tyto případy:

$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}$ když:

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

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

kde $Q_{H,ht}$ celkové množství přeneseného tepla v režimu vytápění v MJ;

$Q_{H,gn}$ celkové tepelné zisky v režimu vytápění v MJ;

a_H bezrozměrný číselný parametr, definovaný jako:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,O}}$$

kde $a_{H,0}$ bezrozměrný referenční číselný parametr;

τ časová konstanta zóny budovy v h;

$\tau_{H,0}$ referenční časová konstanta v h.

Analogicky se určí i pro režim chlazení, pro který platí vztah:

$$\eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}} \quad [-]$$

kde γ_C je bezrozměrný bilanční poměr pro režim chlazení, pro který mohou nastat tyto případy:

$\gamma_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}}$ když:

$\gamma_C = 1$ $\eta_{H,gn} = \frac{a_C}{a_C+1}$

$\gamma_H < 0$ $\eta_{H,gn} = 1$

kde $Q_{C,ht}$ celkové tepelné zisky v režimu chlazení v MJ;

$Q_{C,gn}$ celkové tepelné zisky v režimu chlazení v MJ;

a_C bezrozměrný číselný parametr, definovaný jako:

$$a_C = a_{C,0} + \frac{\tau}{\tau_{C,O}}$$

kde $a_{C,0}$ bezrozměrný referenční číselný parametr;

τ časová konstanta zóny budovy v h;

$\tau_{C,0}$ referenční časová konstanta v h.

Celý výpočet je nutné doplnit o hodnotu časové konstanty budovy, která charakterizuje tepelnou setrvačnost klimatizovaného prostoru pro oba režimy:

$$\tau = \frac{C_m/3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}} \quad [h]$$

kde C_m vnitřní tepelná kapacita budovy v joulech na kelvin stanovená dle vztahu:

$$C_m = \sum \kappa_j \cdot A_j \quad [J/K]$$

kde κ_j vnitřní tepelná kapacita j-tého prvku v J/(m^2·K);

A_j plocha j-tého prvku v m^2.

$H_{tr,adj}$ reprezentativní hodnota celkového měrného tepelného toku prostupem přepočtená na rozdíl teplot mezi interiérem a venkovním prostředím ve W/K;

$H_{ve,adj}$ reprezentativní hodnota celkového měrného tepelného toku větráním přepočtená na rozdíl teplot mezi interiérem a venkovním prostředím ve W/K.

B. 3. 1. 1 Okrajové podmínky výpočtu

Název měsíce	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Pořadí měsíce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Počet dní v měsíci	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Počet hodin v měsíci	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
Průměrná teplota t_e v měsíci	**-2,5**	**-0,3**	**3,8**	**9**	**13,9**	**17**	**18,5**	**18,1**	**14,3**	**9,1**	**3,5**	**-0,6**
Celková energie globálního slunečního záření [kWh/(m^2·měsíc)]												
Sever	15,000	23,889	35,000	43,889	58,889	61,944	63,056	51,944	36,944	25,000	13,889	11,944
Severovýchod	15,000	23,889	35,000	43,889	56,111	58,056	58,889	51,111	36,944	25,000	13,889	11,944
Východ	20,000	33,056	51,944	66,944	86,944	86,944	93,889	81,111	56,944	40,000	18,889	15,000
Jihovýchod	31,111	48,056	68,056	78,056	93,889	88,889	98,056	91,944	71,944	61,111	30,000	25,000
Jih	38,056	56,944	78,056	81,944	91,111	85,000	93,056	93,056	80,000	73,056	36,111	31,111
Jihozápad	31,111	48,056	68,056	78,056	93,889	88,889	98,056	91,944	71,944	61,111	30,000	25,000
Západ	20,000	33,056	51,944	66,944	86,944	86,944	93,889	81,111	56,944	40,000	18,889	15,000
Severozápad	15,000	23,889	35,000	43,889	56,111	58,056	58,889	51,111	36,944	25,000	13,889	11,944
Horizont	25,000	43,889	83,056	116,111	158,056	160,000	171,944	143,889	96,111	65,000	28,889	20,000

Tabulka 18: Tabulka okrajových podmínek pro Brno

B. 3. 1. 2 Výpočet potřeby tepla a chladu dle algoritmu ČSN EN ISO 13790:2009

Zóna č. 1 – Obytné prostory

Název měsíce	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
$H_{tr,adj}$ [W/K]	1353,55											
$H_{ve,adj}$ [W/K]	2469,82											
Q_{tr} [MWh/měsíc]	22,66	18,46	16,31	10,72	6,14	2,92	1,51	1,91	5,55	10,98	16,08	20,75
Q_{ve} [MWh/měsíc]	42,72	34,81	30,76	20,21	11,58	5,51	2,85	3,61	10,47	20,69	30,32	39,11
Q_{ht} [MWh/měsíc]	65,38	53,28	47,07	30,93	17,72	8,44	4,36	5,52	16,03	31,67	46,40	59,86
Q_{sol} [MWh/měsíc]	2,87	4,66	7,17	9,02	11,55	11,50	12,40	10,84	7,79	5,66	2,71	2,19
Q_{int} [MWh/měsíc]	5,66	4,93	5,31	5,01	5,07	4,87	5,03	5,07	5,02	5,30	5,28	5,64
Q_{gn} [MWh/měsíc]	8,52	9,60	12,48	14,02	16,61	16,37	17,43	15,91	12,81	10,96	7,99	7,83
γ_H [-], γ_C [-]	0,13	0,18	0,27	0,45	0,94	1,94	4,00	2,88	0,80	0,35	0,17	0,13
C_m [J/K]	1 161 732											
τ [h]	84,4029											
a_H [-], a_C [-]	6,6269											
$\eta_{H,gn}$ [-]	1,000	1,000	1,000	0,997	0,895	0,512	0,250	0,347	0,945	0,999	1,000	1,000
$\eta_{C,ls}$ [-]	0,130	0,180	0,265	0,452	0,839	0,994	1,000	0,999	0,755	0,346	0,172	0,131
f_H [%]	100,0	100,0	100,0	100,0	75,3	0,0	0,0	0,0	68,5	100,0	100,0	100,0
f_C [%]	0,0	0,0	0,0	0,0	58,8	100,0	100,0	100,0	48,4	0,0	0,0	0,0
$Q_{h,nd}$ [MWh/měsíc]	56,853	43,680	34,589	16,949	3,560	-	-	-	4,433	20,716	38,409	52,028
$Q_{C,nd}$ [MWh/měsíc]	-	-	-	-	1,740	7,983	13,073	10,389	0,710	-	-	-
Celková potřeba energie na vytápění za rok										**[MWh/rok]**		**271,217**
Celková potřeba energie na chlazení za rok										**[MWh/rok]**		**33,895**

Tabulka 19: Tabulka potřeby energie pro vytápění a chlazení pro zónu obytné prostory

Zóna č. 2 – Komunikace a chodby

Název měsíce	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
$H_{tr,adj}$ [W/K]	255,17											
$H_{ve,adj}$ [W/K]	46,11											
Q_{tr} [MWh/měsíc]	2,37	1,77	1,18	0,18	-	-	-	-	-	0,17	1,19	2,01
Q_{ve} [MWh/měsíc]	1,11	0,51	0,34	0,05	-	-	-	-	-	0,05	0,34	0,58
Q_{ht} [MWh/měsíc]	3,32	2,47	1,66	0,28	-	-	-	-	-	0,26	1,68	2,82
Q_{sol} [MWh/měsíc]	0,74	1,23	1,93	2,49	-	-	-	-	-	1,49	0,70	0,56
Q_{int} [MWh/měsíc]	0,04	0,03	0,03	0,02	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0,04
Q_{gn} [MWh/měsíc]	0,78	1,26	1,96	2,51	-	-	-	-	-	1,51	0,73	0,60
γ_H [-]	0,24	0,51	1,18	9,12	-	-	-	-	-	5,87	0,44	0,21
C_m [J/K]	196 794											
τ [h]	181,4407											
a_H [-]	13,0960											
$\eta_{H,gn}$ [-]	1,000	1,000	0,830	0,110	-	-	-	-	-	0,170	1,000	1,000
f_H [%]	100,0	100,0	42,4	-	-	-	-	-	-	-	62,8	100,0
$Q_{h,nd}$ [MWh/měsíc]	2,536	1,215	0,094	-	-	-	-	-	-	-	0,947	2,221
Celková potřeba energie na vytápění za rok										**[MWh/rok]**		**7,012**

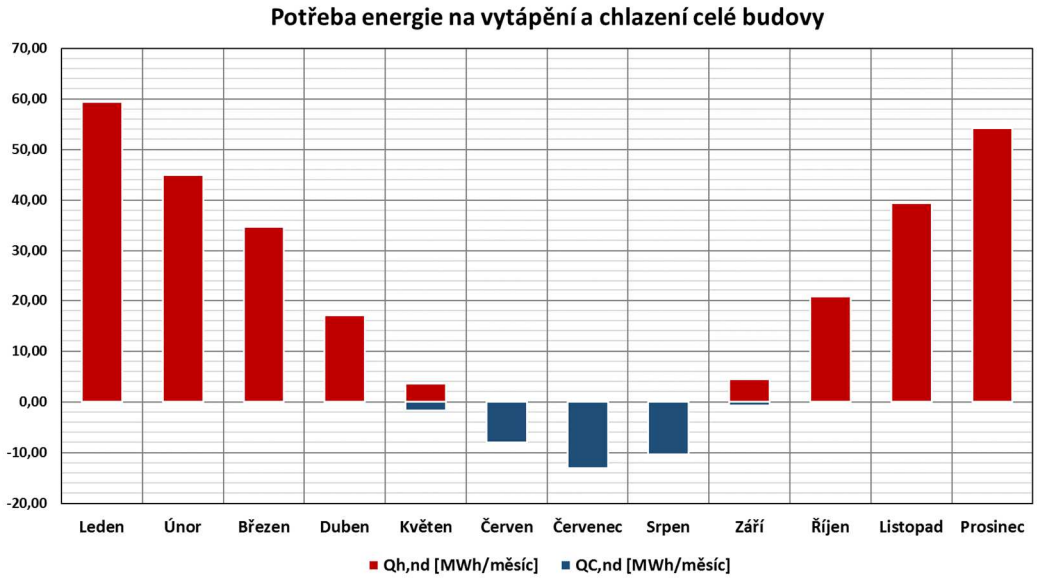
Tabulka 20: Tabulka potřeby energie pro vytápění pro zónu komunikace a chodby

Celá budova

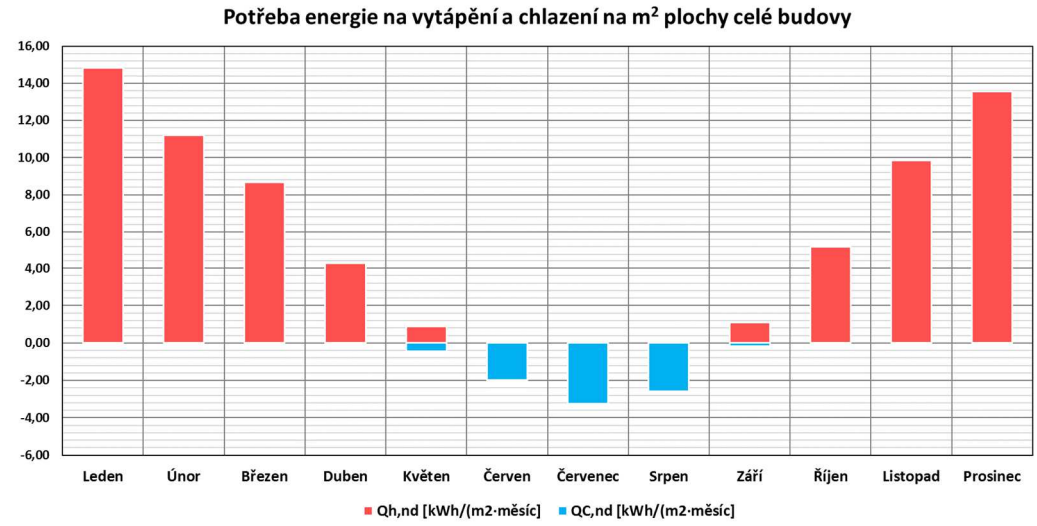
Název měsíce	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
$H_{tr,adj}$ [W/K]	1608,72											
$H_{ve,adj}$ [W/K]	2515,93											
Q_{tr} [MWh/měsíc]	25,03	20,23	17,49	10,90	6,14	2,92	1,51	1,91	5,55	11,15	17,27	22,76
Q_{ve} [MWh/měsíc]	43,83	35,32	31,10	20,26	11,58	5,51	2,85	3,61	10,47	20,74	30,66	39,69
Q_{ht} [MWh/měsíc]	68,69	55,75	48,73	31,21	17,72	8,44	4,36	5,52	16,03	31,93	48,08	62,67
Q_{sol} [MWh/měsíc]	3,61	5,89	9,10	11,50	11,55	11,50	12,40	10,84	7,79	7,14	3,41	2,74
Q_{int} [MWh/měsíc]	5,69	4,96	5,34	5,03	5,07	4,87	5,03	5,07	5,02	5,33	5,31	5,68
Q_{gn} [MWh/měsíc]	9,31	10,85	14,44	16,53	20,23	19,95	21,28	19,31	15,39	12,47	8,72	8,42
γ_H [-]	0,14	0,19	0,30	0,53	1,14	2,36	4,88	3,50	0,96	0,39	0,18	0,13
C_m [J/K]	1 358 526											
τ [h]	91,4910											
a_H [-]	7,0994											
$\eta_{H,gn}$ [-]	1,000	0,999	0,972	0,854	0,713	0,430	0,208	0,292	0,776	0,896	1,000	1,000
f_H [%]	100,0	100,0	71,2	50,0	38,6	0,0	0,0	0,0	34,8	50,0	81,4	100,0
$Q_{h,nd}$ [MWh/měsíc]	59,388	44,906	34,691	17,088	3,560	-	-	-	4,433	20,752	39,356	54,249
$Q_{C,nd}$ [MWh/měsíc]	-	-	-	-	1,73968	7,983261	13,07301	10,38895	0,710314	-	-	-
Celková potřeba energie na vytápění za rok										**[MWh/rok]**		**278,424**
Celková potřeba energie na chlazení za rok										**[MWh/rok]**		**33,895**

Tabulka 21: Tabulka potřeby energie pro vytápění a chlazení pro celou budovu

B. 3. 1. 3 Grafy a vyhodnocení



Graf 7: Graf potřeby energie na vytápění a chlazení celé budovy



Graf 8: Graf potřeby energie na vytápění a chlazení na m^2 plochy celé budovy

Celková roční potřeba energie je dána součtem měsíčních hodnot, pro režim vytápění je suma rovna $Q_{h,nd}$ = 278,424 MWh/rok a pro režim chlazení $Q_{C,nd}$ = 33,895 MWh/rok, těmto hodnotám odpovídá $Q_{h,nd}$ = 1002,326 GJ, resp. $Q_{C,nd}$ = 122,022 GJ. Pokud se dané hodnoty vydělí energeticky vztažnou plochou vytápěných prostor $A_{C,h}$ = 4003,65 m^2 a chlazených prostor $A_{C,C}$ = 3424,2 m^2, pak je měrná potřeba tepla na vytápění vychází na $Q_{h,nd}$ = 69,542 kWh/(m^2·rok) a na chlazení $Q_{C,nd}$ = 9,899 kWh/(m^2·rok).

Podle studie s názvem energetické standardy budov, kterou vydala aliance šance pro budovy se orientační hodnota požadavku potřeby energie na vytápění téměř nulové budovy pohybuje v rozmezí $Q_{h,nd}$ = 30-70 kWh/(m^2·rok), tudíž hodnocená budova teoreticky hraničně splňuje.

B. 3. 2 Potřeba energie na přípravu teplé vody dle ČSN 06 0320:2006

Koncepce návrhu

V bytovém domě bude uvažována koncepce při ústředním (centrálním) ohřevu teplé vody. Přípojné místo pro vodovodní přípojku a umístění hlavního domovního vodoměru stanovuje projektová dokumentace. Taktéž vertikální stoupací potrubí mají dané umístění v instalačních šachtách. Horizontální potrubí bude vedeno pod stropní konstrukcí v garáži a bude opatřeno tepelnou izolací. Rozvody teplé vody větších délek budou opatřeny cirkulačním potrubím, které bude vedeno společně s rozvody studené vody. Návrh bude proveden z hlediska spotřebních jednotek.

Vstupní hodnoty

Výpočtem bude stanovena velikost akumulačního zásobníku TV a výkon ohřívače. Výpočet bude proveden dle normy ČSN 06 0320:2006[15]. Dílčí potřeby pro stavby pro bydlení norma rozděluje na – potřebu teplé vody pro mytí osob – V_O, mytí nádobí – V_j a úklid – V_u. Avšak umožňuje tyto potřeby nahradit jednou hodnotou V_{2P} = 0,082 m^3 / (osoba · den). Tato hodnota je dle dlouhodobých zkušeností nadhodnocena a z hlediska nízké energetické náročnosti není její užití ideální, proto bude použita hodnota z normy ČSN EN 15316-3-1:2010[27] jako specifická potřeba teplé vody $V_{W,f,day}$ = 40 l / (osoba · den). Profil odběrové křivky teplé vody je po částech dne rozložen:

- od 0 do 5 hodin = 0 % z celkového množství TV;
- od 5 do 17 hodin = 25 % z celkového množství TV;
- od 17 do 20 hodin = 45 % z celkového množství TV;
- od 20 do 24 hodiny = 30 % z celkového množství TV.

Okrajové podmínky

Počet spotřebních jednotek (osob)	**n_j**	92	
Spotřeba teplé vody na jednu s. j.	**V_{2P}**	0,04	m^3/per
Teplo spotřebované na jednu s. j.	**Q_{2P}**	2,09	kWh/per
Délka jedné periody	**per**	24	hodin
Ztrátové teplo	**z**	0,4	
Měrná tepelná kapacita vody	**c**	1,163	kWh/(m^3·K)
Teplolní spád vody	**Θ_1**	55	°C
	Θ_2	10	°C
	$\Delta\Theta$	45	°C

Tabulka 22: Tabulka okrajových podmínek potřeby teplé vody

Výpočet potřeby teplé vody

Celkové teoretické teplo odebrané z ohřívače za jednu periodu:

$$Q_{2t} = n_j \cdot Q_{2p} = 92 \cdot 2{,}09 = 192{,}6\ kWh/per$$

Teplo ztracené při ohřevu a distribuci teplé vody za jednu periodu:

$$Q_{2z} = Q_{2t} \cdot z = 192{,}6 \cdot 0{,}4 = 77{,}0\ kWh/per$$

Celkové teplo odebírané za jednu periodu:

$$Q_{2t} = Q_{2t} + Q_{2z} = 192{,}6 + 77 = 269{,}6\ kWh/per$$

Rozdělení odběru TV během jedné periody:

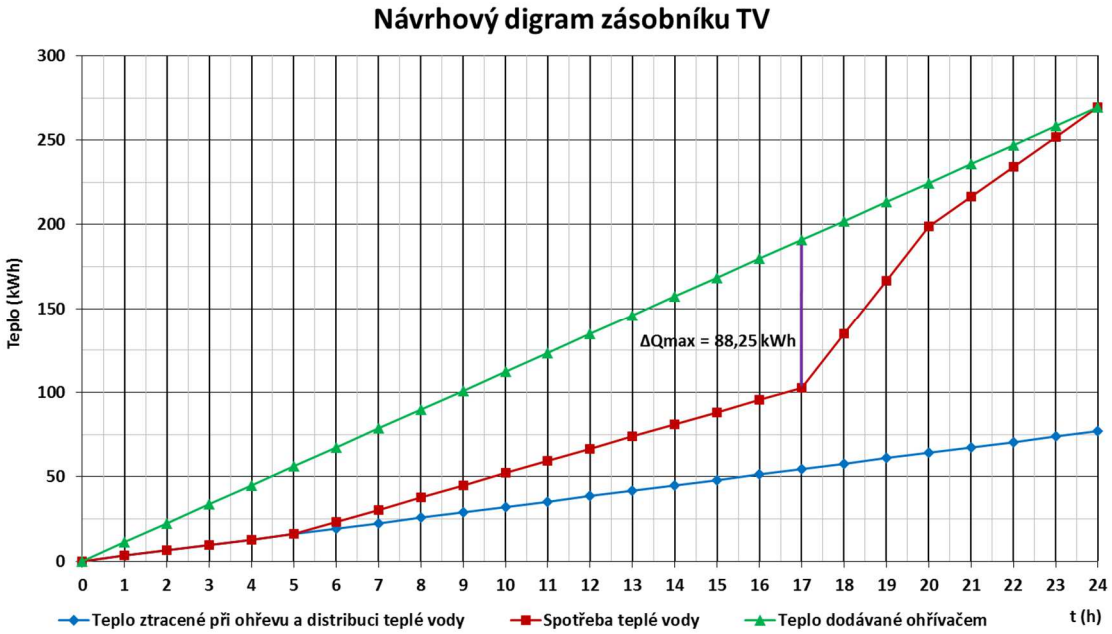
hodiny	%	Q_{2t}
0-5	0%	0,00
5-17	25%	48,14
17-20	45%	86,65
20-24	30%	57,77

Tabulka 23: Tabulka rozdělení odběru TV během jedné periody

Doba	Teplo ztracené při ohřevu a distribuci teplé vody	Potřeba tepla na ohřev teplé vody	Spotřeba teplé vody	Teplo dodávané ohřívačem	ΔQ_{max}
τ	Q_{2z}	Q_{2t}	Q_{2p}	Q_{1p}	
[h]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	3,21	0,00	3,21	11,23	8,02
2	6,42	0,00	6,42	22,46	16,05
3	9,63	0,00	9,63	33,70	24,07
4	12,84	0,00	12,84	44,93	32,09
5	16,05	0,00	16,05	56,16	40,12
6	19,26	4,01	23,27	67,39	44,13
7	22,46	8,02	30,49	78,63	48,14
8	25,67	12,03	37,71	89,86	52,15
9	28,88	16,05	44,93	101,09	56,16
10	32,09	20,06	52,15	112,32	60,17
11	35,30	24,07	59,37	123,56	64,19
12	38,51	28,08	66,59	134,79	68,20
13	41,72	32,09	73,81	146,02	72,21
14	44,93	36,10	81,03	157,25	76,22
15	48,14	40,12	88,25	168,49	80,23
16	51,35	44,13	95,48	179,72	84,24
17	54,56	48,14	102,70	190,95	**88,25**
18	57,77	77,02	134,79	202,18	67,39
19	60,98	105,91	166,88	213,42	46,53
20	64,19	134,79	198,97	224,65	25,67
21	67,39	149,23	216,63	235,88	19,26
22	70,60	163,67	234,28	247,11	12,84
23	73,81	178,11	251,93	258,35	6,42
24	77,02	192,56	269,58	269,58	0,00

Tabulka 24: Tabulka rozdělení odběru TV během jedné periody

Pro zásobníkový ohřev musí být křivka dodávky vždy nad křivkou odběru, v opačném případě by nastal nedostatek tepla pro ohřev vody na požadovanou teplotu. Dále křivky dodávky a odběru tepla s rostoucím časem neklesají. Poté sklon těchto tečen k časovým osám představují velikost tepelného výkonu, tzn. že při nulovém výkonu je průběh křivky vodorovný a při nejvyšší strmosti křivky je výkon maximální. Při řešení problému touto metodou vyplývá, že čím kratší je doba dodávky tepla ze zdroje do zásobníku, tím je nutné navrhnout větší zásobník a také vyšší tepelný výkon zdroje než při rovnoměrné dlouhodobé dodávce tepla během periody.[??]



Graf 9: Graf stanovení velikosti zásobníku TV a maximálního rozdílu mezi Q_{1p} a Q_{2p}

Stanovení objemu zásobníku

Velikost zásobníku:

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{c \cdot (\Theta_2 - \Theta_1)} = \frac{88{,}25}{1{,}163 \cdot (55 - 10)} = 1{,}686\ m^3 = 1\ 686\ l$$

Stanovení tepelného výkonu pro ohřev vody

Jmenovitý tepelný výkon:

$$\phi_{1n} = \left(\frac{Q_1}{t}\right)_{max} = \left(\frac{269{,}58}{24}\right) = 11{,}23\ kW$$

Dele výpočtů normy bylo stanoveno, že minimální velikost zásobníku by se měla rovnat alespoň 1 686 l a tepelný výkon zdroje vychází na 11,23 kW. Návrh soustavy pro přípravu teplé vody je uveden v kapitole B. 4. 3.

B. 4 Návrh technických systémů budovy

B. 4. 1 Návrh koncepce větrání

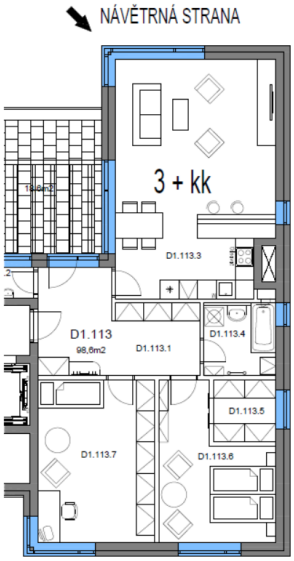
Návrh větrání je uvažován především v souladu s normou ČSN EN 15665-Z1:2011 (12 7021)[28]. Z hlediska nízké energetické náročnosti se nabízí zvolit několik typů systémů větrání. V mém případě jsem zvolil systém nucený rovnotlaký s centrální venkovní jednotkou, plnící funkci teplovzdušného větrání pro pokrytí tepelné ztráty větráním, především z těchto důvodů:

- nucený rovnotlaký systém představuje vyšší kvalitu větrání než u nuceného podtlakového větrání, hybridního větrání či větrání infiltrací obálkou budovy;
- vzduch je v centrální jednotce distribuován přes filtr třídy M5, který venkovní znečištěný vzduch upraví na požadovaný standard;
- odpadá nutnost zajištění přívodních větracích otvorů integrovaných do fasády objektu a zamezení tak vniku hluku z rušné ulice Obřanská a eliminace tepelných ztrát větráním;
- systém zajišťuje přívod čerstvého vzduchu a současný odvod vzduchu znehodnoceného;
- v jednotce je instalováno ZZT (zpětné získávání tepla) z odváděného vzduchu, čímž se snižuje spotřeba tepla na ohřev venkovního vzduchu;
- příslušné ventilátory mají možnost regulaci výkonu v závislosti na aktuálních požadavcích vnitřního mikroklima – vlhkost vzduchu, koncentrace CO_2.

Systém však má i některé nevýhody, na které bude třeba brát ohled při návrhu:

- vyšší pořizovací náklady;
- vyšší spotřeba energie na pohon ventilátorů (tento bod je brán s ohledem na vyšší kvalitu přiváděného vzduchu);
- vyšší prostorové nároky pro vedení vzduchovodů uvnitř budovy.

Výpočtem bude dále ověřena a vyhodnocena výměna vzduchu v referenčním bytě, který určí nutnost instalace nuceného větrání metodou větrání infiltrací okny:



Obrázek 17: Půdorys referenčního bytu

Okrajové podmínky výpočtu:

Θ_e = -12 °C; ρ = 1,352 kg/m^3; L = 30 m

v = 10 m/s; A = 0,6; i = 0,5·10^{-5} m^3/(m·s·Pa^{0,67})

Rozdíl tlaku vzduchu vyvolaný rozdílem teplot a působením větru:

$$p = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0{,}6 \cdot 1{,}325 \cdot 10^2 = 39{,}8\ Pa$$

Průtok vzduchu okenními a dveřními spárami:

$$V = i \cdot L \cdot p^{0{,}67} = 0{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 30 \cdot 39{,}8^{0{,}67} = 0{,}00177\ m^3/s = 6{,}373\ m^3/h$$

Objem místnosti:

$$O = 106{,}313\ m^3 => n = 0{,}06/h => NEVYHOVUJE$$

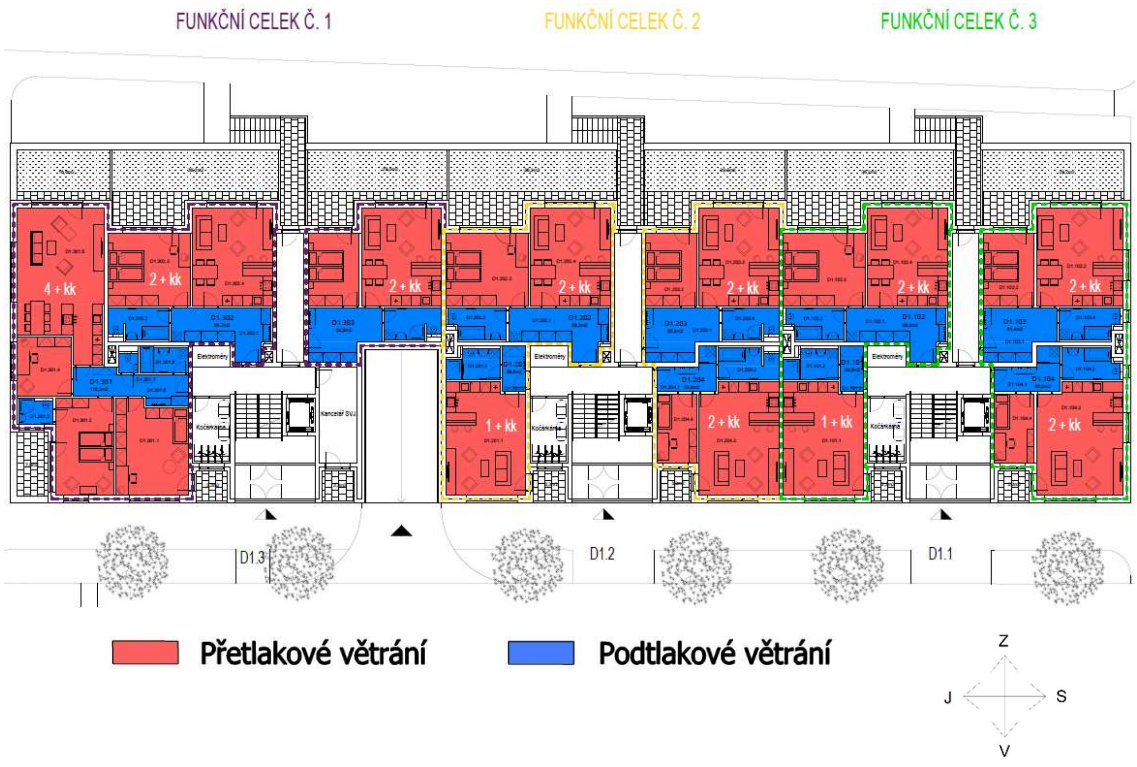
Koncepčně je objekt rozdělen na 3 funkční celky podle počtu hlavních vchodů. Každý vchod má na střeše bytového domu umístěnou centrální jednotku (venkovní provedení), která zjišťuje úpravu a dopravu vzduchu pouze do zóny č. 1 – Obytné prostory.

Rovnotlaký způsob větrání je navržen v rámci každého bytu, kde jednotlivé pokoje mají charakter buď přetlakového či podtlakového větrání. Přetlakově se větrají pobytové místnosti, obývací pokoje a přívod čerstvého vzduchu je dopravován také do kuchyňských koutů, případně do chodeb. Podtlakově jsou větrány hygienické místnosti – koupelny, toalety nebo také šatny a chodby. Kvůli nadměrné produkci vodních zisků a dalších látek produkujících se při vaření je nutný odvod vzduchu také z kuchyní. Vyrovnání tlakových poměrů je zajištěno netěsnostmi rámů dveří, popřípadě navrženými stěnovými převáděcími otvory nad dveřmi s rychlostmi vzduchu v čistém průřezu w < 0,5 m/s.

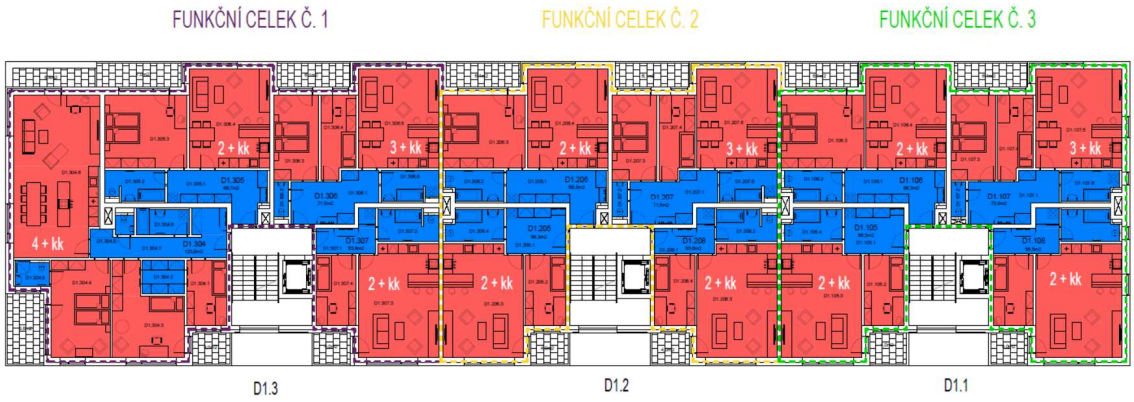
Množství přiváděného a odváděného vzduchu bylo navrženo s ohledem na již zmíněnou normu ČSN EN 15665-Z1:2011 (12 7021)[28] a také vyhlášky č. 6/2003 Sb.[8] a č. 268/2009 Sb.[12], ve znění pozdějších předpisů. Podkladem byla využita tabulka v normě NA.1 – Požadavky na větrání obytných budov. Dávka vzduchu obytných v místnostech byla navržena na počet osob v doporučené hodnotě 25 $m^3/(h \cdot os)$ a v hygienických místnostech a kuchyních na doporučené hodnoty průtoku odsávaného vzduchu. Od navržených digestoří bude odsávaný vzduch větrán nárazově. V nočních hodinách bude VZT řízen na útlumový režim 50 %. Celková intenzita větrání byla nakonec porovnána s doporučenou intenzitou větrání pro obytné prostory 0,5 1/h. Celkové průtoky vzduchu a výslednou intenzitu větrání uvádí následující tabulky.

B. 4. 1. 1 Tlakové poměry a rozdělení na funkční celky

1.NP

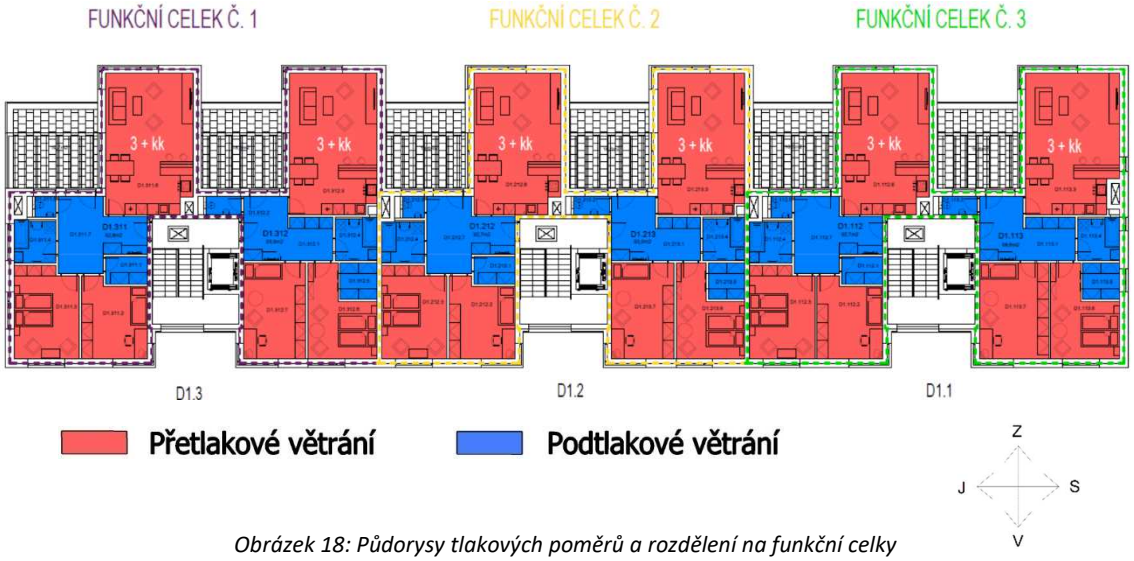


2.NP



3.NP

4.NP



Obrázek 18: Půdorysy tlakových poměrů a rozdělení na funkční celky

VCHOD D1.1

1.NP																		
BYT					MÍSTNOST					TEPLOTY A RELATIVNÍ VLHKOSTI				PRŮTOKY VZDUCHU				
Číslo bytu	Podlaží	Typ bytu	Uvažovaný počet osob	Plocha bytu	Označení místnosti	Název místnosti	Plocha místnosti	Světlá výška	Objem místnosti	Vnitřní návrhová teplota v zimním období	Vnitřní návrhová relativní vlhkost v zimním období	Vnitřní návrhová teplota v letním období	Vnitřní návrhová relativní vlhkost v letním období	Výměna vzduchu dle ČSN EN 15665/Z1:2011	Navrhovaný průtok vzduchu - přívod	Navrhovaný průtok vzduchu - odvod	Návrhová výměna vzduchu	
				A_{bytu}			A_m	h_m	V_m	$\Theta_{int,i,z}$	$\varphi_{int,i,z}$	$\Theta_{int,i,l}$	$\varphi_{int,i,l}$	n_{min}	$V_{přívod}$	V_{odvod}	n	
				[m^2]			[m^2]	[m]	[m^3]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[h^{-1}]	[m^3/h]	[m^3/h]	[h^{-1}]	
D1.101	1.NP	1+kk	1	39,8	D1.101.1	Obývací pokoj s kk	30,77	2,8	86,16	20	40	24	50	0,5	100	50	1,16	
					D1.101.2	Koupelna	5,36	2,8	15,01	24	40	24	50	-	75	100	6,66	
					D1.101.3	Chodba	3,71	2,8	10,39	20	40	24	50	0,5	-	25	2,41	
					Celková plocha - kontrola		**39,8**	**Σ**	**111,55**					**Σ**	**175**	**175**	**1,57**	
D1.102	1.NP	2+kk	2	68,3	D1.102.1	Chodba	13,75	2,8	38,50	20	40	24	50	0,5	-	25	0,65	
					D1.102.2	Koupelna	6,06	2,8	16,97	24	40	24	50	-	50	100	5,89	
					D1.102.3	Ložnice	20,96	2,8	58,69	20	40	24	50	0,5	50	-	0,85	
					D1.102.4	Obývací pokoj s kk	27,55	2,8	77,14	20	40	24	50	0,5	150	125	1,94	
					Celková plocha - kontrola		**68,3**	**Σ**	**191,30**					**Σ**	**250**	**250**	**1,31**	
D1.103	1.NP	2+kk	2	61,4	D1.103.1	Chodba	12,3	2,8	34,44	20	40	24	50	0,5	-	25	0,73	
					D1.103.2	Ložnice	13	2,8	36,40	20	40	24	50	0,5	50	-	1,37	
					D1.103.3	Obývací pokoj s kk	29,73	2,8	83,24	20	40	24	50	0,5	125	100	1,50	
					D1.103.4	Koupelna	6,39	2,8	17,89	24	40	24	50	-	50	100	5,59	
					Celková plocha - kontrola		**61,4**	**Σ**	**171,98**					**Σ**	**225**	**225**	**1,31**	
D1.104	1.NP	2+kk	2	56,5	D1.104.1	Chodba	7,47	2,8	20,92	20	40	24	50	0,5	-	25	1,20	
					D1.104.2	Koupelna	6,06	2,8	16,97	24	40	24	50	-	50	100	5,89	
					D1.104.3	Obývací pokoj s kk	33,27	2,8	93,16	20	40	24	50	0,5	150	100	1,61	
					D1.104.4	Pokoj	9,74	2,8	27,27	20	40	24	50	0,5	25	-	0,92	
					Celková plocha - kontrola		**56,5**	**Σ**	**158,31**					**Σ**	**225**	**225**	**1,42**	

2.NP																		
D1.105	2.NP	2+kk	2	56,3	D1.105.1	Chodba	9,52	2,8	26,66	20	40	24	50	0,5	-	25	0,94	
					D1.105.2	Pokoj	9,74	2,8	27,27	20	40	24	50	0,5	25	-	0,92	
					D1.105.3	Obývací pokoj s kk	31,02	2,8	86,86	20	40	24	50	0,5	150	100	1,73	
					D1.105.4	Koupelna	6,06	2,8	16,97	24	40	24	50	-	50	100	5,89	
					Celková plocha - kontrola		**56,3**	**Σ**	**157,75**					**Σ**	**225**	**225**	**1,43**	
D1.106	2.NP	2+kk	2	68,3	D1.106.1	Chodba	13,75	2,8	38,50	20	40	24	50	0,5	-	25	0,65	
					D1.106.2	Koupelna	6,06	2,8	16,97	24	40	24	50	-	50	100	5,89	
					D1.106.3	Ložnice	20,96	2,8	58,69	20	40	24	50	0,5	50	-	0,85	
					D1.106.4	Obývací pokoj s kk	27,55	2,8	77,14	20	40	24	50	0,5	150	125	1,94	
					Celková plocha - kontrola		**68,3**	**Σ**	**191,30**					**Σ**	**250**	**250**	**1,31**	
D1.107	2.NP	3+kk	3	73,9	D1.107.1	Chodba	13,23	2,8	37,04	20	40	24	50	0,5	-	25	0,67	
					D1.107.2	WC	1,87	2,8	5,24	20	40	24	50	-	-	50	9,55	
					D1.107.3	Ložnice	13,25	2,8	37,10	20	40	24	50	0,5	50	-	1,35	
					D1.107.4	Pokoj	9,8	2,8	27,44	20	40	24	50	0,5	25	-	0,91	
					D1.107.5	Obývací pokoj s kk	29,73	2,8	83,24	20	40	24	50	0,5	175	125	2,10	
					D1.107.6	Koupelna	6,06	2,8	16,97	24	40	24	50	-	50	100	5,89	
					Celková plocha - kontrola		**73,9**	**Σ**	**207,03**					**Σ**	**300**	**300**	**1,45**	
D1.108	2.NP	2+kk	2	56,5	D1.108.1	Chodba	7,47	2,8	20,92	20	40	24	50	0,5	-	25	1,20	
					D1.108.2	Koupelna	6,06	2,8	16,97	24	40	24	50	-	50	100	5,89	
					D1.108.3	Obývací pokoj s kk	33,27	2,8	93,16	20	40	24	50	0,5	150	100	1,61	
					D1.108.4	Pokoj	9,74	2,8	27,27	20	40	24	50	0,5	25	-	0,92	
					Celková plocha - kontrola		**56,5**	**Σ**	**158,31**					**Σ**	**225**	**225**	**1,42**	

3.NP																		
D1.109	3.NP	3+kk	3	77,5	D1.109.1	Šatna	3,44	2,8	9,63	15	40	24	50	-	-	25	2,60	
					D1.109.2	Dětský pokoj	14,3	2,8	40,04	20	40	24	50	0,5	25	-	0,62	
					D1.109.3	Ložnice	14,2	2,8	39,76	20	40	24	50	0,5	50	-	1,26	
					D1.109.4	Koupelna	5,02	2,8	14,06	24	40	24	50	-	-	100	7,11	
					D1.109.5	WC	1,76	2,8	4,93	20	40	24	50	-	-	50	10,15	
					D1.109.6	Obývací pokoj s kk	25,99	2,8	72,77	20	40	24	50	0,5	200	125	2,75	
					D1.109.7	Chodba	12,82	2,8	35,90	20	40	24	50	0,5	50	25	0,70	
					Celková plocha - kontrola		**77,5**	**Σ**	**217,08**					**Σ**	**325**	**325**	**1,50**	
D1.110	3.NP	3+kk	3	93	D1.110.1	Chodba	16	2,8	44,80	20	40	24	50	0,5	-	25	0,56	
					D1.110.2	WC	2,17	2,8	6,08	20	40	24	50	-	-	50	8,23	
					D1.110.3	Obývací pokoj s kk	30,58	2,8	85,62	20	40	24	50	0,5	200	175	2,34	
					D1.110.4	Dětský pokoj	16	2,8	44,80	20	40	24	50	0,5	50	-	1,12	
					D1.110.5	Ložnice	22,04	2,8	61,71	20	40	24	50	0,5	50	-	0,81	
					D1.110.6	Koupelna	6,21	2,8	17,39	24	40	24	50	-	50	100	5,75	
					Celková plocha - kontrola		**93,0**	**Σ**	**260,40**					**Σ**	**350**	**350**	**1,34**	
D1.111	3.NP	2+kk	2	56,5	D1.111.1	Chodba	7,47	2,8	20,92	20	40	24	50	0,5	-	25	1,20	
					D1.111.2	Koupelna	6,06	2,8	16,97	24	40	24	50	-	50	100	5,89	
					D1.111.3	Obývací pokoj s kk	33,27	2,8	93,16	20	40	24	50	0,5	150	100	1,61	
					D1.111.4	Pokoj	9,74	2,8	27,27	20	40	24	50	0,5	25	-	0,92	
					Celková plocha - kontrola		**56,5**	**Σ**	**158,31**					**Σ**	**225**	**225**	**1,42**	

4.NP																			
D1.112	4.NP	3+kk	3	92,7	D1.112.1	Šatna	3,37	2,8	9,44	15	40	24	50	-	-	25	2,65
					D1.112.2	Dětský pokoj	14,78	2,8	41,38	20	40	24	50	0,5	25	-	0,60
					D1.112.3	Ložnice	17,36	2,8	48,61	20	40	24	50	0,5	50	-	1,03
					D1.112.4	Koupelna	5,06	2,8	14,17	24	40	24	50	-	-	100	7,06
					D1.112.5	WC	1,35	2,8	3,78	20	40	24	50	-	-	50	13,23
					D1.112.6	Obývací pokoj s kk	35,69	2,8	99,93	20	40	24	50	0,5	200	125	2,00
					D1.112.7	Chodba	15,09	2,8	42,25	20	40	24	50	0,5	50	25	0,59
					Celková plocha - kontrola		**92,7**	**Σ**	**259,56**					**Σ**	**325**	**325**	**1,25**
D1.113	4.NP	3+kk	3	98,6	D1.213.1	Chodba	14,82	2,8	41,50	20	40	24	50	0,5	50	25	0,60
					D1.213.2	WC	1,88	2,8	5,26	20	40	24	50	-	-	50	9,50
					D1.213.3	Obývací pokoj s kk	37,97	2,8	106,32	20	40	24	50	0,5	200	125	1,88
					D1.213.4	Koupelna	5,25	2,8	14,70	24	40	24	50	-	-	100	6,80
					D1.213.5	Šatna	4	2,8	11,20	15	40	24	50	-	-	25	2,23
					D1.213.6	Ložnice	15,08	2,8	42,22	20	40	24	50	0,5	50	-	1,18
					D1.213.7	Dětský pokoj	19,59	2,8	54,85	20	40	24	50	0,5	25	-	0,55
					Celková plocha - kontrola		**98,6**	**Σ**	**276,05**					**Σ**	**325**	**325**	**1,18**
					Celkový objem všech místností				**2518,9**			**Celkové průtoky vzduchu**			**3425**	**3425**	**1,36**

Tabulka 25: Tabulky tlakových poměrů pro první funkční celek č.1

Průtok přívodního a odvodního vzduchu pro celý vchod D1.1 vychází 3 425 m^3/h s intenzitou větrání 1,36 /h. Pro tyto hodnoty bude dimenzována vzduchotechnická jednotka č.1.

VCHO D1.2

1.NP																			
BYT					MÍSTNOST					TEPLOTY A RELATIVNÍ VLHKOSTI				PRŮTOKY VZDUCHU					
Číslo bytu	Podlaží	Typ bytu	Uvažovaný počet osob	Plocha bytu	Označení místnosti	Název místnosti	Plocha místnosti	Světlá výška	Objem místnosti	Vnitřní návrhová teplota v zimním období	Vnitřní návrhová relativní vlhkost v zimním období	Vnitřní návrhová teplota v letním období	Vnitřní návrhová relativní vlhkost v letním období	Výměna vzduchu dle ČSN EN 15665/Z1:2011	Navrhovaný průtok vzduchu - přívod	Navrhovaný průtok vzduchu - odvod	Návrhová výměna vzduchu		
				A_{bytu}			A_m	h_m	V_m	$\Theta_{int,i,z}$	$\varphi_{int,i,z}$	$\Theta_{int,i,l}$	$\varphi_{int,i,l}$	n_{min}	$V_{přívod}$	V_{odvod}	n		
				[m^2]			[m^2]	[m]	[m^3]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[h^{-1}]	[m^3/h]	[m^3/h]	[h^{-1}]		
D1.201	1.NP	1+kk	1	39,8	D1.201.1	Obývací pokoj s kk	30,77	2,8	86,16	20	40	24	50	0,5	100	50	1,16		
					D1.201.2	Koupelna	5,36	2,8	15,01	24	40	24	50	-	75	100	6,66		
					D1.201.3	Chodba	3,71	2,8	10,39	20	40	24	50	0,5	-	25	2,41		
					Celková plocha - kontrola		**39,8**	**Σ**	**111,55**					**Σ**	**175**	**175**	**1,57**		
D1.202	1.NP	2+kk	2	68,3	D1.202.1	Chodba	13,75	2,8	38,50	20	40	24	50	0,5	-	25	0,65		
					D1.202.2	Koupelna	6,06	2,8	16,97	24	40	24	50	-	50	100	5,89		
					D1.202.3	Ložnice	20,96	2,8	58,69	20	40	24	50	0,5	50	-	0,85		
					D1.202.4	Obývací pokoj s kk	27,55	2,8	77,14	20	40	24	50	0,5	150	125	1,94		
					Celková plocha - kontrola		**68,3**	**Σ**	**191,30**					**Σ**	**250**	**250**	**1,31**		
D1.203	1.NP	2+kk	2	58,9	D1.203.1	Chodba	12,3	2,8	34,44	20	40	24	50	0,5	-	25	0,73		
					D1.203.2	Ložnice	13	2,8	36,40	20	40	24	50	0,5	50	-	1,37		
					D1.203.3	Obývací pokoj s kk	27,55	2,8	77,14	20	40	24	50	0,5	125	100	1,62		
					D1.203.4	Koupelna	6,04	2,8	16,91	24	40	24	50	-	50	100	5,91		
					Celková plocha - kontrola		**58,9**	**Σ**	**164,89**					**Σ**	**225**	**225**	**1,36**		
D1.204	1.NP	2+kk	2	53,6	D1.204.1	Chodba	6,45	2,8	18,06	20	40	24	50	0,5	-	25	1,38		
					D1.204.2	Koupelna	6,41	2,8	17,95	24	40	24	50	-	50	100	5,57		
					D1.204.3	Obývací pokoj s kk	31,02	2,8	86,86	20	40	24	50	0,5	150	100	1,73		
					D1.204.4	Pokoj	9,74	2,8	27,27	20	40	24	50	0,5	25	-	0,92		
					Celková plocha - kontrola		**53,6**	**Σ**	**150,14**					**Σ**	**225**	**225**	**1,50**		

2.NP																	
D1.205	2.NP	2+kk	2	56,3	D1.205.1	Chodba	9,52	2,8	26,66	20	40	24	50	0,5	-	25	0,94
					D1.205.2	Pokoj	9,74	2,8	27,27	20	40	24	50	0,5	25	-	0,92
					D1.205.3	Obývací pokoj s kk	31,02	2,8	86,86	20	40	24	50	0,5	150	100	1,73
					D1.205.4	Koupelna	6,06	2,8	16,97	24	40	24	50	-	50	100	5,89
					Celková plocha - kontrola		**56,3**	**Σ**	**157,75**					**Σ**	**225**	**225**	**1,43**
D1.206	2.NP	2+kk	2	68,3	D1.206.1	Chodba	13,75	2,8	38,50	20	40	24	50	0,5	-	25	0,65
					D1.206.2	Koupelna	6,06	2,8	16,97	24	40	24	50	-	50	100	5,89
					D1.206.3	Ložnice	20,96	2,8	58,69	20	40	24	50	0,5	50	-	0,85
					D1.206.4	Obývací pokoj s kk	27,55	2,8	77,14	20	40	24	50	0,5	150	125	1,94
					Celková plocha - kontrola		**68,3**	**Σ**	**191,30**					**Σ**	**250**	**250**	**1,31**
D1.207	2.NP	3+kk	3	71,5	D1.207.1	Chodba	12,88	2,8	36,06	20	40	24	50	0,5	-	25	0,69
					D1.207.2	WC	1,87	2,8	5,24	20	40	24	50	-	-	50	9,55
					D1.207.3	Ložnice	13,25	2,8	37,10	20	40	24	50	0,5	50	-	1,35
					D1.207.4	Pokoj	9,8	2,8	27,44	20	40	24	50	0,5	25	-	0,91
					D1.207.5	Obývací pokoj s kk	27,55	2,8	77,14	20	40	24	50	0,5	175	125	2,27
					D1.207.6	Koupelna	6,12	2,8	17,14	24	40	24	50	-	50	100	5,84
					Celková plocha - kontrola		**71,5**	**Σ**	**200,12**					**Σ**	**300**	**300**	**1,50**
D1.208	2.NP	2+kk	2	53,6	D1.208.1	Chodba	6,45	2,8	18,06	20	40	24	50	0,5	-	25	1,38
					D1.208.2	Koupelna	6,43	2,8	18,00	24	40	24	50	-	50	100	5,55
					D1.208.3	Obývací pokoj s kk	31,02	2,8	86,86	20	40	24	50	0,5	150	100	1,73
					D1.208.4	Pokoj	9,74	2,8	27,27	20	40	24	50	0,5	25	-	0,92
					Celková plocha - kontrola		**53,6**	**Σ**	**150,19**					**Σ**	**225**	**225**	**1,50**

3.NP																		
					D1.209.1	Šatna	3,44	2,8	9,63	15	40	24	50	-	-	25	2,60
					D1.209.2	Dětský pokoj I	14,3	2,8	40,04	20	40	24	50	0,5	25	-	0,62
					D1.209.3	Ložnice	14,2	2,8	39,76	20	40	24	50	0,5	50	-	1,26
D1.209	3.NP	3+kk	3	77,5	D1.209.4	Koupelna	5,02	2,8	14,06	24	40	24	50	-	-	100	7,11
					D1.209.5	WC	1,76	2,8	4,93	20	40	24	50	-	-	50	10,15
					D1.209.6	Obývací pokoj s kk	25,99	2,8	72,77	20	40	24	50	0,5	200	125	2,75
					D1.209.7	Chodba	12,82	2,8	35,90	20	40	24	50	0,5	50	25	0,70
					Celková plocha - kontrola		**77,5**	**Σ**	**217,08**					**Σ**	**325**	**325**	**1,50**
					D1.210.1	Chodba	15,66	2,8	43,85	20	40	24	50	0,5	-	25	0,57
					D1.210.2	WC	2,17	2,8	6,08	20	40	24	50	-	-	50	8,23
					D1.210.3	Obývací pokoj s kk	30,58	2,8	85,62	20	40	24	50	0,5	200	175	2,34
D1.210	3.NP	3+kk	3	91	D1.210.4	Dětský pokoj	16	2,8	44,80	20	40	24	50	0,5	50	-	1,12
					D1.210.5	Ložnice	20,42	2,8	57,18	20	40	24	50	0,5	50	-	0,87
					D1.210.6	Koupelna	6,12	2,8	17,14	24	40	24	50	-	50	100	5,84
					Celková plocha - kontrola		**91,0**	**Σ**	**254,66**					**Σ**	**350**	**350**	**1,37**
					D1.211.1	Chodba	6,45	2,8	18,06	20	40	24	50	0,5	-	25	1,38
					D1.211.2	Koupelna	6,43	2,8	18,00	24	40	24	50	-	50	100	5,55
D1.211	3.NP	2+kk	2	53,6	D1.211.3	Obývací pokoj s kk	31,02	2,8	86,86	20	40	24	50	0,5	150	100	1,73
					D1.211.4	Pokoj	9,74	2,8	27,27	20	40	24	50	0,5	25	-	0,92
					Celková plocha - kontrola		**53,6**	**Σ**	**150,19**					**Σ**	**225**	**225**	**1,50**

4.NP																	
					D1.212.1	Šatna	3,37	2,8	9,44	15	40	24	50	-	-	25	2,65
					D1.212.2	Dětský pokoj	14,78	2,8	41,38	20	40	24	50	0,5	25	-	0,60
					D1.212.3	Ložnice	17,36	2,8	48,61	20	40	24	50	0,5	50	-	1,03
D1.212	4.NP	3+kk	3	92,7	D1.212.4	Koupelna	5,06	2,8	14,17	24	40	24	50	-	-	100	7,06
					D1.212.5	WC	1,35	2,8	3,78	20	40	24	50	-	-	50	13,23
					D1.212.6	Obývací pokoj s kk	35,69	2,8	99,93	20	40	24	50	0,5	200	125	2,00
					D1.212.7	Chodba	15,09	2,8	42,25	20	40	24	50	0,5	50	25	0,59
					Celková plocha - kontrola		**92,7**	**Σ**	**259,56**					**Σ**	**325**	**325**	**1,25**
					D1.213.1	Chodba	13,94	2,8	39,03	20	40	24	50	0,5	50	25	0,64
					D1.213.2	WC	1,88	2,8	5,26	20	40	24	50	-	-	50	9,50
					D1.213.3	Obývací pokoj s kk	36,09	2,8	101,05	20	40	24	50	0,5	200	125	1,98
D1.213	4.NP	3+kk	3	93,9	D1.213.4	Koupelna	5,25	2,8	14,70	24	40	24	50	-	-	100	6,80
					D1.213.5	Šatna	4	2,8	11,20	15	40	24	50	-	-	25	2,23
					D1.213.6	Ložnice	15,08	2,8	42,22	20	40	24	50	0,5	50	-	1,18
					D1.213.7	Dětský pokoj	17,63	2,8	49,36	20	40	24	50	0,5	25	-	0,51
					Celková plocha - kontrola		**93,9**	**Σ**	**262,84**					**Σ**	**325**	**325**	**1,24**
					Celkový objem všech místností				**2461,6**			**Celkové průtoky vzduchu**			**3425**	**3425**	**1,39**

Tabulka 26: Tabulky tlakových poměrů pro první funkční celek č.2

Průtok přívodního a odvodního vzduchu pro vchod D1.2 vychází shodně, a to 3 425 m^3/h, nicméně s odlišnou intenzitou větrání 1,39 /h. Pro tyto hodnoty bude dimenzována identická vzduchotechnická jednotka jako v předešlém případě.

VCHOD D1.3

1.NP																	
BYT					**MÍSTNOST**					**TEPLOTY A RELATIVNÍ VLHKOSTI**				**PRŮTOKY VZDUCHU**			
Číslo bytu	**Podlaží**	**Typ bytu**	**Uvažovaný počet osob**	**Plocha bytu**	**Označení místnosti**	**Název místnosti**	**Plocha místnosti**	**Světlá výška**	**Objem místnosti**	**Vnitřní návrhová teplota v zimním období**	**Vnitřní návrhová relativní vlhkost v zimním období**	**Vnitřní návrhová teplota v letním období**	**Vnitřní návrhová relativní vlhkost v letním období**	**Výměna vzduchu dle ČSN EN 15665/Z1:2011**	**Navrhovaný průtok vzduchu - přívod**	**Navrhovaný průtok vzduchu - odvod**	**Návrhová výměna vzduchu**
				A_{bytu}			A_m	h_m	V_m	$\Theta_{int,i,z}$	$\varphi_{int,i,z}$	$\Theta_{int,i,l}$	$\varphi_{int,i,l}$	n_{min}	$V_{přívod}$	V_{odvod}	n
				[m^2]			[m^2]	[m]	[m^3]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[h^{-1}]	[m^3/h]	[m^3/h]	[h^{-1}]
					D1.301.1	Dětský pokoj I	23	2,8	64,40	20	40	24	50	0,5	50	-	0,78
					D1.301.2	Ložnice	19,98	2,8	55,94	20	40	24	50	0,5	75	-	1,34
					D1.301.3	Koupelna k ložnici	2,97	2,8	8,32	24	40	24	50	-	50	100	12,03
					D1.301.4	Dětský pokoj II	11,19	2,8	31,33	20	40	24	50	0,5	25	-	0,80
D1.301	1.NP	4+kk	4	115,2	D1.301.5	Obývací pokoj s kk	41,32	2,8	115,70	20	40	24	50	0,5	200	175	1,73
					D1.301.6	Chodba	11,05	2,8	30,94	20	40	24	50	0,5	-	25	0,81
					D1.301.7	WC	1,27	2,8	3,56	20	40	24	50	0,5	-	50	14,06
					D1.301.8	Koupelna	4,39	2,8	12,29	24	40	24	50	-	50	100	8,14
					Celková plocha - kontrola		**115,2**	**Σ**	**322,48**					**Σ**	**450**	**450**	**1,40**
					D1.302.1	Chodba	13,75	2,8	38,50	20	40	24	50	0,5	-	25	0,65
					D1.302.2	Koupelna	6,43	2,8	18,00	24	40	24	50	-	50	100	5,55
D1.302	1.NP	2+kk	2	68,7	D1.302.3	Ložnice	20,96	2,8	58,69	20	40	24	50	0,5	50	-	0,85
					D1.302.4	Obývací pokoj s kk	27,55	2,8	77,14	20	40	24	50	0,5	150	125	1,94
					Celková plocha - kontrola		**68,7**	**Σ**	**192,33**					**Σ**	**250**	**250**	**1,30**
					D1.303.1	Chodba	12,3	2,8	34,44	20	40	24	50	0,5	-	25	0,73
					D1.303.2	Ložnice	13	2,8	36,40	20	40	24	50	0,5	50	-	1,37
D1.303	1.NP	2+kk	2	58,9	D1.303.3	Obývací pokoj s kk	27,55	2,8	77,14	20	40	;	50	0,5	125	100	1,62
					D1.303.4	Koupelna	6,04	2,8	16,91	24	40	24	50	-	50	100	5,91
					Celková plocha - kontrola		**58,9**	**Σ**	**164,89**					**Σ**	**225**	**225**	**1,36**

2.NP																	
D1.304	2.NP	4+kk	4	123,9	D1.304.1	Dětský pokoj I	9,14	2,8	25,59	20	40	24	50	0,5	25	-	0,98
					D1.304.2	Šatna	5	2,8	14,00	15	40	24	50	-	-	25	1,79
					D1.304.3	Dětský pokoj II	19	2,8	53,20	20	40	24	50	0,5	50	-	0,94
					D1.304.4	Ložnice	19,98	2,8	55,94	20	40	24	50	0,5	75	-	1,34
					D1.304.5	Koupelna k ložnici	2,97	2,8	8,32	24	40	24	50	-	50	100	12,03
					D1.304.6	Obývací pokoj s kk	47,69	2,8	133,53	20	40	24	50	0,5	200	150	1,50
					D1.304.7	Chodba	14,08	2,8	39,42	20	40	24	50	0,5	-	25	0,63
					D1.304.8	WC	1,27	2,8	3,56	20	40	24	50	-	-	50	14,06
					D1.304.9	Koupelna	4,81	2,8	13,47	24	40	24	50	-	50	100	7,43
					Celková plocha - kontrola		**123,9**	**Σ**	**347,03**					**Σ**	**450**	**450**	**1,30**
D1.305	2.NP	2+kk	2	68,7	D1.305.1	Chodba	13,75	2,8	38,50	20	40	24	50	0,5	-	25	0,65
					D1.305.2	Koupelna	6,43	2,8	18,00	24	40	24	50	-	50	100	5,55
					D1.305.3	Ložnice	20,96	2,8	58,69	20	40	24	50	0,5	50	-	0,85
					D1.305.4	Obývací pokoj s kk	27,55	2,8	77,14	20	40	24	50	0,5	150	125	1,94
					Celková plocha - kontrola		**68,7**	**Σ**	**192,33**					**Σ**	**250**	**250**	**1,30**
D1.306	2.NP	3+kk	3	71,5	D1.306.1	Chodba	12,88	2,8	36,06	20	40	24	50	0,5	-	25	0,69
					D1.306.2	WC	1,87	2,8	5,24	20	40	24	50	-	-	50	9,55
					D1.306.3	Ložnice	13,25	2,8	37,10	20	40	24	50	0,5	50	-	1,35
					D1.306.4	Dětský pokoj	9,8	2,8	27,44	20	40	24	50	0,5	25	-	0,91
					D1.306.5	Obývací pokoj s kk	27,55	2,8	77,14	20	40	24	50	0,5	175	125	2,27
					D1.306.6	Koupelna	6,12	2,8	17,14	24	40	24	50	-	50	100	5,84
					Celková plocha - kontrola		**71,5**	**Σ**	**200,12**					**Σ**	**300**	**300**	**1,50**
D1.307	2.NP	2+kk	2	53,6	D1.307.1	Chodba	6,45	2,8	18,06	20	40	24	50	0,5	-	25	1,38
					D1.307.2	Koupelna	6,43	2,8	18,00	24	40	24	50	-	50	100	5,55
					D1.307.3	Obývací pokoj s kk	31,02	2,8	86,86	20	40	24	50	0,5	150	100	1,73
					D1.307.4	Dětský pokoj	9,74	2,8	27,27	20	40	24	50	0,5	25	-	0,92
					Celková plocha - kontrola		**53,6**	**Σ**	**150,19**					**Σ**	**225**	**225**	**1,50**

3.NP																	
D1.308	3.NP	3+kk	3	78	D1.308.1	Šatna	3,44	2,8	9,63	15	40	24	50	-	-	25	2,60
					D1.308.2	Dětský pokoj I	14,3	2,8	40,04	20	40	24	50	0,5	25	-	0,62
					D1.308.3	Ložnice	14,2	2,8	39,76	20	40	24	50	0,5	50	-	1,26
					D1.308.4	Koupelna	5,02	2,8	14,06	24	40	24	50	-	-	100	7,11
					D1.308.5	WC	1,76	2,8	4,93	20	40	24	50	-	-	50	10,15
					D1.308.6	Obývací pokoj s kk	26,47	2,8	74,12	20	40	24	50	0,5	200	125	2,70
					D1.308.7	Chodba	12,82	2,8	35,90	20	40	24	50	0,5	50	25	0,70
					Celková plocha - kontrola		**78,0**	**Σ**	**218,43**					**Σ**	**325**	**325**	**1,49**
D1.309	3.NP	3+kk	3	91	D1.309.1	Chodba	15,66	2,8	43,85	20	40	24	50	0,5	-	25	0,57
					D1.309.2	WC	2,17	2,8	6,08	20	40	24	50	-	-	50	8,23
					D1.309.3	Obývací pokoj s kk	30,58	2,8	85,62	20	40	24	50	0,5	200	175	2,34
					D1.309.4	Dětský pokoj I	16	2,8	44,80	20	40	24	50	0,5	50	-	1,12
					D1.309.5	Ložnice	20,42	2,8	57,18	20	40	24	50	0,5	50	-	0,87
					D1.309.6	Koupelna	6,12	2,8	17,14	24	40	24	50	-	50	100	5,84
					Celková plocha - kontrola		**91,0**	**Σ**	**254,66**					**Σ**	**350**	**350**	**1,37**
D1.310	3.NP	2+kk	2	53,6	D1.310.1	Chodba	6,45	2,8	18,06	20	40	24	50	0,5	-	25	1,38
					D1.310.2	Koupelna	6,43	2,8	18,00	24	40	24	50	-	50	100	5,55
					D1.310.3	Obývací pokoj s kk	31,02	2,8	86,86	20	40	24	50	0,5	150	100	1,73
					D1.310.4	Dětský pokoj	9,74	2,8	27,27	20	40	24	50	0,5	25	-	0,92
					Celková plocha - kontrola		**53,6**	**Σ**	**150,19**					**Σ**	**225**	**225**	**1,50**

4.NP																	
D1.311	4.NP	3+kk	3	92,8	D1.311.1	Šatna	3,37	2,8	9,44	15	40	24	50	-	-	25	2,65
					D1.311.2	Dětský pokoj I	14,78	2,8	41,38	20	40	24	50	0,5	25	-	0,60
					D1.311.3	Ložnice	17,36	2,8	48,61	20	40	24	50	0,5	50	-	1,03
					D1.311.4	Koupelna	5,26	2,8	14,73	24	40	24	50	-	-	100	6,79
					D1.311.5	WC	1,29	2,8	3,61	20	40	24	50	-	-	50	13,84
					D1.311.6	Obývací pokoj s kk	35,69	2,8	99,93	20	40	24	50	0,5	200	125	2,00
					D1.311.7	Chodba	15,09	2,8	42,25	20	40	24	50	0,5	50	25	0,59
					Celková plocha - kontrola		**92,8**	**Σ**	**259,95**					**Σ**	**325**	**325**	**1,25**
D1.312	4.NP	3+kk	3	93,9	D1.312.1	Chodba	13,94	2,8	39,03	20	40	24	50	0,5	50	25	0,64
					D1.312.2	WC	1,88	2,8	5,26	20	40	24	50	-	-	50	9,50
					D1.312.3	Obývací pokoj s kk	36,09	2,8	101,05	20	40	24	50	0,5	200	125	1,98
					D1.312.4	Koupelna	5,25	2,8	14,70	24	40	24	50	-	-	100	6,80
					D1.312.5	Šatna	4	2,8	11,20	15	40	24	50	-	-	25	2,23
					D1.312.6	Ložnice	15,08	2,8	42,22	20	40	24	50	0,5	50	-	1,18
					D1.312.7	Dětský pokoj I	17,63	2,8	49,36	20	40	24	50	0,5	25	-	0,51
					Celková plocha - kontrola		**93,9**	**Σ**	**262,84**					**Σ**	**325**	**325**	**1,24**
					Celkový objem všech místností				**2715,4**			**Celkové průtoky vzduchu**			**3700**	**3700**	**1,36**

Tabulka 27: Tabulky tlakových poměrů pro první funkční celek č.3

Průtok přívodního a odvodního vzduchu pro poslední vchod D1.3 se od ostatních liší, a to z důvodu větších bytů a vychází 3 700 m^3/h s intenzitou větrání 1,36 /h. Pro tyto hodnoty bude dimenzována vzduchotechnická jednotka č.3. Hodnoty průtoků vzduchu pro celou budovu vychází 10 550 m^3/h, resp. 2,93 m^3/s. Výměna vzduchu v celé zóně č. 1 – Obytné prostory je stanovena na 1,37 /h a prostor tak vyhovuje požadavku normy ČSN EN 15665-Z1:2011[28].

B. 4. 1. 2 Okrajové podmínky výpočtu

Klimatické údaje pro Brno dle ČSN 12 7010/Z1:2016[17]

		Teplé období roku	Chladné období roku
Percentil	**[%]**	98	1
Teplota vzduchu	**$t_{e,L}$, $t_{e,Z}$ [°C]**	31,7	-14,8
Entalpie vduchu	**$h_{e,L}$ [kJ/(kg·K)]**	63,4	-
Relativní vlhkost	**$\varphi_{e,L}$, $\varphi_{e,Z}$ [%]**	40,85	90
Měrná vlhkost vzduchu	**$x_{e,L}$, $x_{e,Z}$ [g/kg]**	12,26	0,95
Měrná hmostnost vzduchu	**$\rho_{e,L}$, $\rho_{e,Z}$ [kg/m^3]**	1,107	1,33
Teplota rosného bodu	**$t_{e,r,L}$, $t_{e,r,Z}$ [°C]**	16,77	-15,94
Průměrný tlak vzduchu	**p_e [kPa]**	98,8	
Vztažná nadmořská výška	**[m. n. m.]**	241	

Tabulka 28: Tabulka okrajových klimatických podmínek pro Brno

Parametry vnitřního prostředí dle vyhlášky č. 6/2003 Sb.[8], ve znění pozdějších předpisů

		Teplé období roku	Chladné období roku
Výsledná teplota	**$t_{i,L}$, $t_{i,Z}$ [°C]**	24,0 ± 2,0	22 ± 2,0
Rychlost proudění vzduchu	**w [m/s]**	0,16 - 0,25	0,13 - 0,2
Relativní vlhkost	**$\varphi_{i,L}$, $\varphi_{i,Z}$ [%]**	max. 65	min. 30
Návrhová výsledná teplota	**$t_{i,L}$, $t_{i,Z}$ [°C]**	25	21
Návrhová rel. vlhkost	**$\varphi_{i,L}$, $\varphi_{i,Z}$ [%]**	60	40
Entalpie vduchu	**$h_{i,L}$, $h_{i,Z}$ [kJ/(kg·K)]**	56,33	37,28
Měrná vlhkost vzduchu	**$x_{i,L}$, $x_{i,Z}$ [g/kg]**	12,21	6,329
Měrná hmostnost vzduchu	**$\rho_{i,L}$, $\rho_{i,Z}$ [kg/m^3]**	1,132	1,166
Teplota rosného bodu	**$t_{i,r,L}$, $t_{i,r,Z}$ [°C]**	16,69	6,9

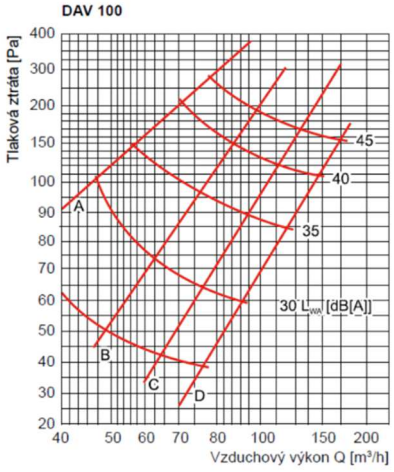
Tabulka 29: Tabulka parametrů vnitřního prostředí

B. 4. 1. 3 Distribučních elementy

Na straně interiéru

Z důvodů malých průtoků vzduchu budou pro přívod i odvod vzduchu jsou navrženy talířové ventily DAV společnosti Multi-VAC, které se zabudují do podhledové konstrukce v horním nebo bočním provedení. Připojení k potrubí bude realizováno přes ohebné Al hadice Sonoflex z důvodu odhlučnění proudícího vzduchu. Velikosti vyústek budou voleny podle příslušných průtoků v rozmezí 80 – 200 mm.

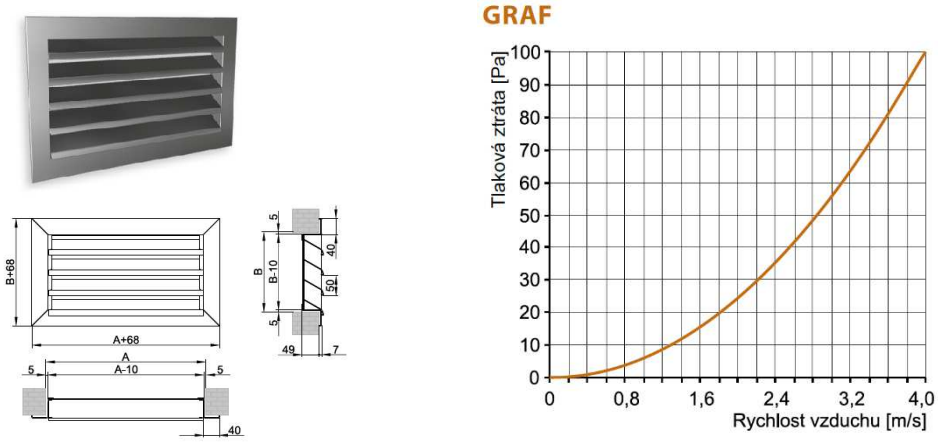
Obrázek 19: Nahoře: Talířový ventil [66], ohebná hadice SONOFLEX [67]



Graf 10: Vpravo: Charakteristika talířového ventilu DAV 100 [66]

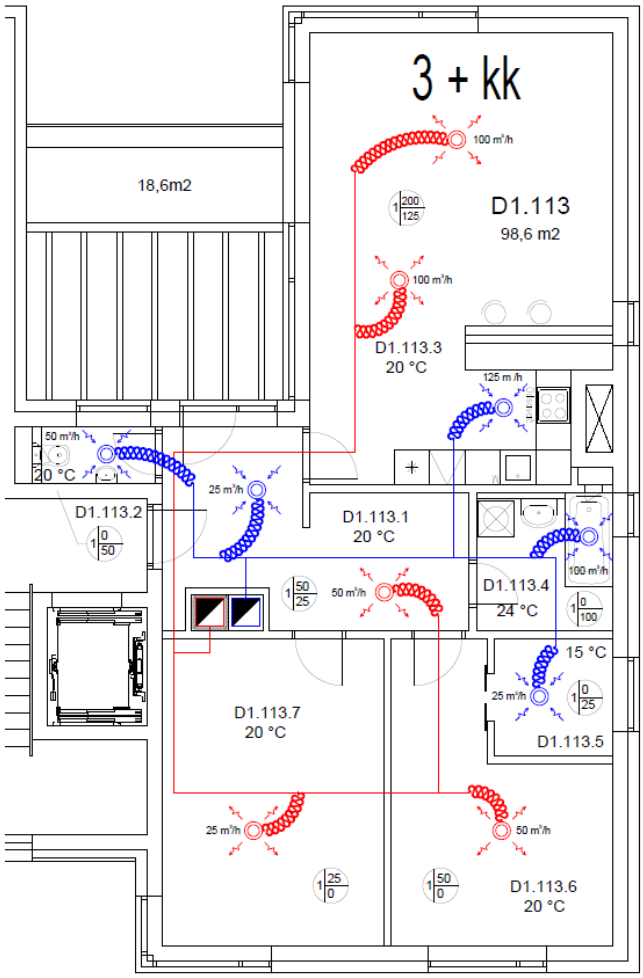
Na straně exteriéru

Pro zakrytí venkovních otvorů a zakončení vzduchotechnického potrubí se použije čtyřhranná protidešťová žaluzie PDZ-Z také od společnosti Multi-VAC. Ta bude sloužit také proti vniku hmyzu, drobných živočichů, opadavého listí, deště či sněhu. Preferovaná světová strana pro umístění vyústek je sever.



Obrázek 20: Geometrie a graf stanovení tlakové ztráty protidešťové žaluzie PDZ-Z [68]

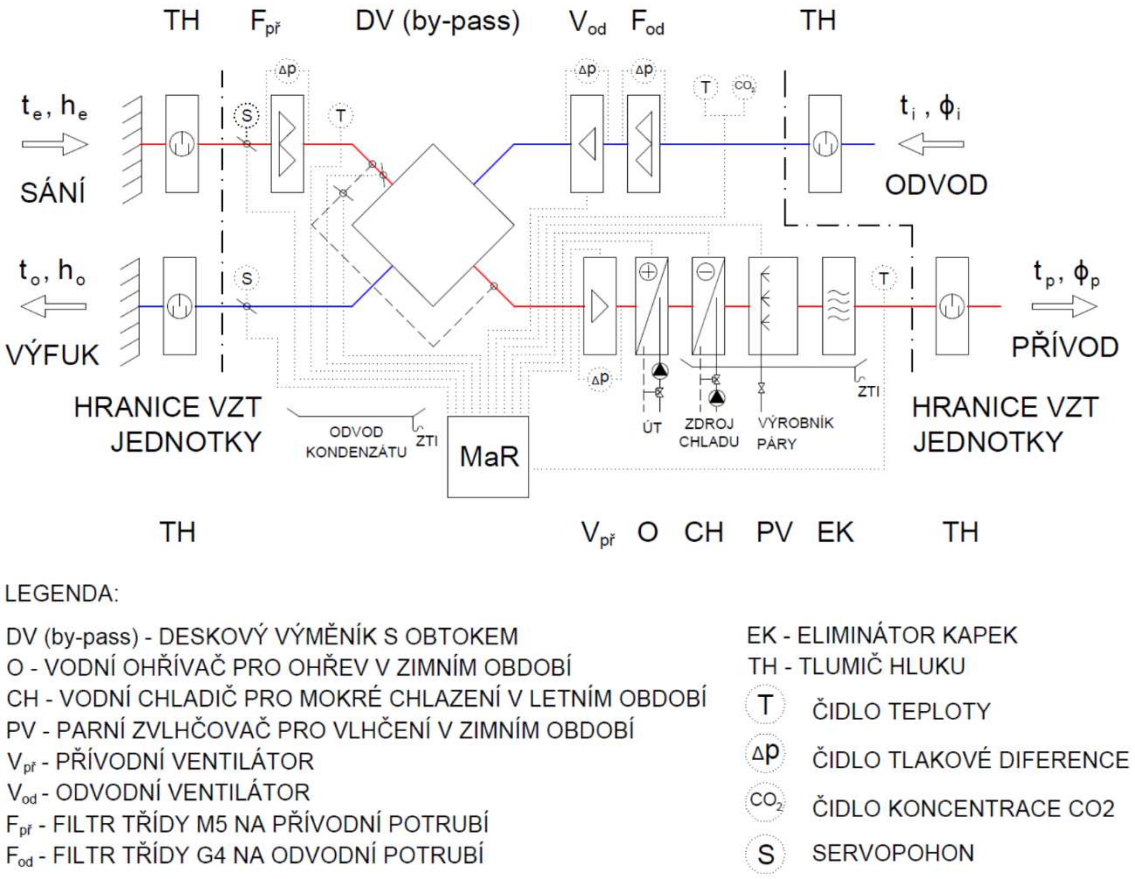
B. 4. 1. 4 Schéma distribuce vzduchu pro vybraný byt



Obrázek 21: Distribuční schéma referenčního bytu

B. 4. 1. 5 Funkční schéma vzduchotechnických jednotek

Větrací jednotka musí být vybavena pro přívod vzduchu filtrací a ohřevem, resp. předehřívačem vzduchu a s ohledem na spotřebu energie je doporučeno zařízení pro ZZT.



LEGENDA:

DV (by-pass) - DESKOVÝ VÝMĚNÍK S OBTOKEM
O - VODNÍ OHŘÍVAČ PRO OHŘEV V ZIMNÍM OBDOBÍ
CH - VODNÍ CHLADIČ PRO MOKRÉ CHLAZENÍ V LETNÍM OBDOBÍ
PV - PARNÍ ZVLHČOVAČ PRO VLHČENÍ V ZIMNÍM OBDOBÍ
$V_{př}$ - PŘÍVODNÍ VENTILÁTOR
V_{od} - ODVODNÍ VENTILÁTOR
$F_{př}$ - FILTR TŘÍDY M5 NA PŘÍVODNÍ POTRUBÍ
F_{od} - FILTR TŘÍDY G4 NA ODVODNÍ POTRUBÍ

EK - ELIMINÁTOR KAPEK
TH - TLUMIČ HLUKU
T ČIDLO TEPLOTY
Δp ČIDLO TLAKOVÉ DIFERENCE
CO_2 ČIDLO KONCENTRACE CO2
S SERVOPOHON

Obrázek 22: Schéma vzduchotechnických jednotek

B. 4. 1. 6 Návrh komponentů VZT jednotek a psychrometrie

B. 4. 1. 6. 1 Výměník zpětného získávání tepla – deskový rekuperátor

Ve vzduchotechnických jednotkách bude uvažován deskový rekuperátor s celkovou sezónní účinnosti 40 %. Tato nízká hodnota se předpokládá hned z několika důvodů. Především vyplývá ze zkušeností a reálně naměřených hodnot. Faktem je, že účinnost není neměnná hodnota a pouze jedno číslo, jak udává výrobce. Obvykle se mění:

- s množstvím protékajícího vzduchu, tzn. snížením otáček od ventilátorů;
- se vznikající kondenzací a vlhkostí ve výměníku, která je naopak příznivá pro účinnost;
- se změnou venkovní teploty, kdy nasávaný vzduch má teplotu vyšší, než je návrhová pro zimní období a ve výměníku nedochází k tolik efektivnímu přenosu tepla.

Výhodou deskových rekuperátorů je absence pohyblivých dílů a pohonů pro chod výměníku, také je bezpečně oddělen přívodní a odvodní vzduch a do klimatizovaného prostoru tedy zpět nevnikají nežádoucí agencie.

Zimní období

Teplota za výměníkem:

$$t_{ZZT,z} = t_{e,z} + \eta_{ZZT} \cdot (t_i - t_e) = -14{,}8 + 0{,}4 \cdot (21 - (-14{,}8) = -0{,}88\ °C$$

Letní období

Teplota za výměníkem:

$$t_{ZZT,l} = t_{e,l} + \eta_{ZZT} \cdot (t_i - t_e) = 31{,}7 + 0{,}4 \cdot (25 - 31{,}7) = 28{,}62\ °C$$

B. 4. 1. 6. 2 Vodní ohřívač

Ohřev vzduchu bude realizován před trubkový měděný výměník uvnitř ohřívače vzduchu. Z důvodu nástřešní venkovní jednotky bude v potrubí protékat směs glykol (20 %) + voda, která bude uvnitř objektu teplotně upravena přes deskový výměník s topnou vodou. Dodávku směsi do ohřívače bude zajišťovat oběhové čerpadlo.

Výkon ohřívače pro vzduchotechnickou jednotku č. 1 a č. 2

Výkon ohřívače:

$$Q_{VZT_1,2} = V_{VZT_1,2} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_{ZZT}) = \frac{3425}{3600} \cdot 1{,}3\ \cdot 1010 \cdot (20 - (-0{,}88)) = 26{,}08\ \mathrm{kW}$$

Výkon ohřívače pro vzduchotechnickou jednotku č. 3

Výkon ohřívače:

$$Q_{VZT_3} = V_{VZT_3} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_{ZZT}) = \frac{3700}{3600} \cdot 1{,}3\ \cdot 1010 \cdot (20 - (-0{,}88)) = 30{,}63\ \mathrm{kW}$$

B. 4. 1. 6. 3 Vlhčení parním zvlhčovačem

Parní zvlhčovač pro vzduchotechnickou jednotku č. 1 a č. 2

Produkce vodní páry jedním člověkem dýcháním, vařením, umýváním byla odhadnuta na 100 g/h. Vodní zisky se stanoví dle vztahu:

$$M_w = g \cdot n = 100 \cdot 30 = 3000\ g/h$$

kde: n je počet osob v uvažovaném prostoru

$$\Delta x = \frac{M_w}{V_{VZT_1,2} \cdot \rho} = \frac{3000}{3425 \cdot 1{,}174} = 0{,}75\ g/h$$

$$x_p = x_i - \Delta x = 6{,}329 - 0{,}75 = 5{,}58\ g/h$$

Výkon zvlhčovače:

$$M_{w,VZT_{1,2}} = V_{VZT_{1,2}} \cdot \rho \cdot (x_p - x_1) = \frac{3425}{3600} \cdot 1{,}174\ \cdot (5{,}58 - 0{,}95) = 5{,}1\ \mathrm{g/s} = \ 18{,}62\ kg/h$$

Parní zvlhčovač pro vzduchotechnickou jednotku č. 3

Produkce vodní páry jedním člověkem dýcháním, vařením, umýváním byla odhadnuta na 100 g/h. Vodní zisky se stanoví dle vztahu:

$$M_w = g \cdot n = 100 \cdot 32 = 3200\ g/h$$

kde: n je počet osob v uvažovaném prostoru

$$\Delta x = \frac{M_w}{V_{VZT_3} \cdot \rho} = \frac{3200}{3700 \cdot 1{,}174} = 0{,}74\ g/h$$

$$x_p = x_i - \Delta x = 6{,}329 - 0{,}74 = 5{,}59\ g/h$$

Výkon zvlhčovače:

$$M_{w,VZT_3} = V_{VZT_3} \cdot \rho \cdot (x_p - x_1) = \frac{3700}{3600} \cdot 1{,}174 \cdot (5{,}59 - 0{,}95) = 5{,}59\ \mathrm{g}/s = 20{,}16\ kg/h$$

B. 4. 1. 6. 4 Vodní chladič mokrého chlazení

Bude pracovat s teplotním spádem 6/12 °C. Bude napojen na zdroj chladu, multi-splitovou jednotku, umístěnou v exteriéru.

Výkon chladiče pro vzduchotechnickou jednotku č. 1 a č. 2

Entalpie vzduchu pro teplotu za ZZT výměníkem:

$$t_{ZZT} = 28{,}62\ °C \Rightarrow h_{ZZT} = 61{,}05\ kJ/kg$$

Vodní zisky a stanovení měrné vlhkosti vnitřního vzduchu:

$$\Delta x = \frac{M_w}{V_{VZT_1,2} \cdot \rho} = \frac{3000}{3425 \cdot 1{,}174} = 0{,}75\ g/h$$

$$x_p = x_i - \Delta x = 12{,}21 - 0{,}75 = 11{,}46\ g/h \ \Rightarrow \ h_p = 54{,}44\ kJ/kg$$

Výkon chladiče:

$$Q_{VZT_1,2} = V_{VZT_1,2} \cdot \rho \cdot (h_{ZZT} - h_p) = \frac{3425}{3600} \cdot 1{,}122 \cdot (61{,}05 - 54{,}44) = 7{,}06\ \mathrm{kW}$$

Výkon chladiče pro vzduchotechnickou jednotku č. 3

Vodní zisky a stanovení měrné vlhkosti vnitřního vzduchu:

$$\Delta x = \frac{M_w}{V_{VZT_1,2} \cdot \rho} = \frac{3000}{3425 \cdot 1{,}174} = 0{,}75\ g/h$$

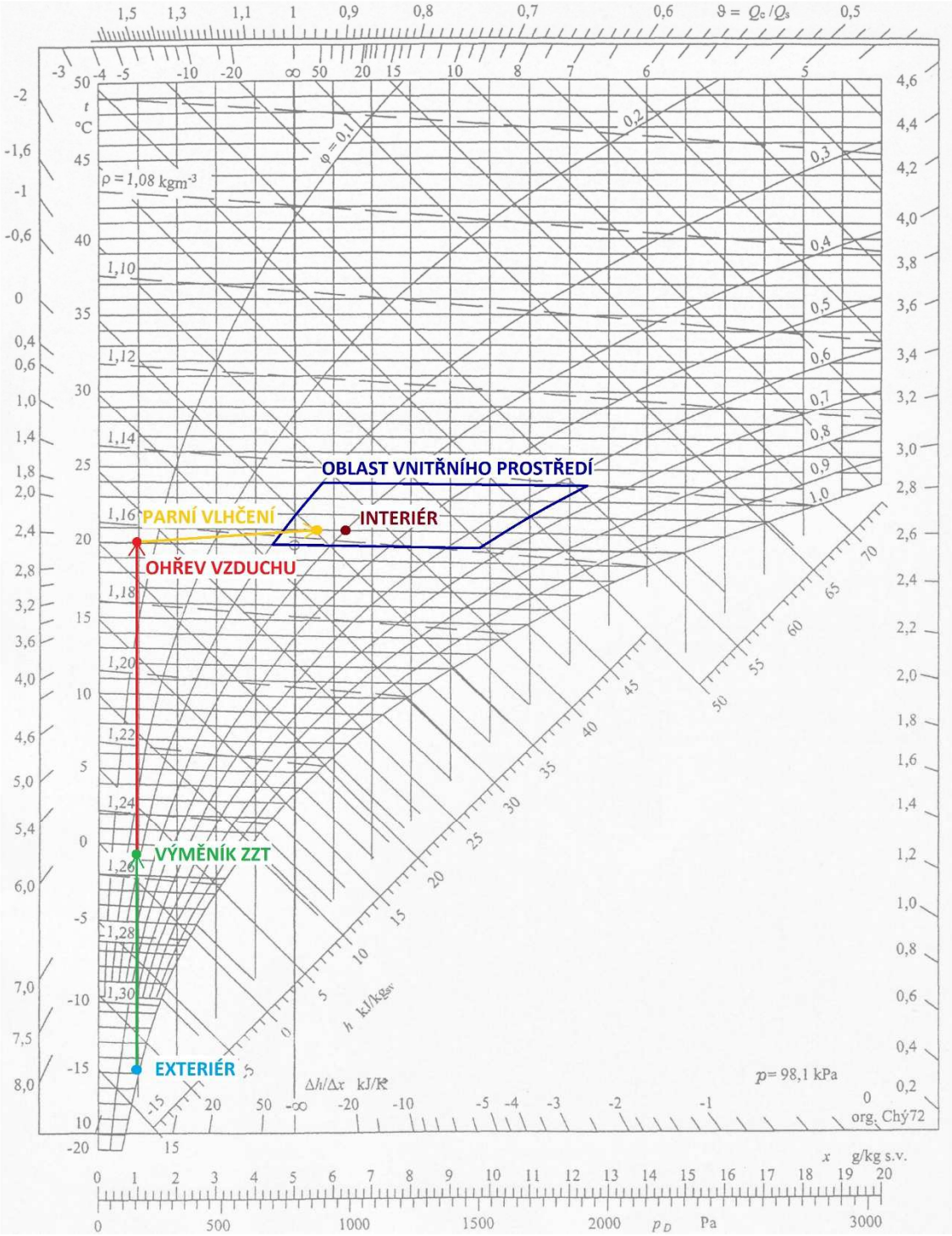
$$x_p = x_i - \Delta x = 12{,}21 - 0{,}75 = 11{,}46\ g/h \ \Rightarrow \ h_p = 54{,}44\ kJ/kg$$

Výkon chladiče:

$$Q_{VZT_3} = V_{VZT_3} \cdot \rho \cdot (h_{ZZT} - h_p) = \frac{3700}{3600} \cdot 1{,}122 \cdot (61{,}05 - 54{,}44) = 7{,}63\ \mathrm{kW}$$

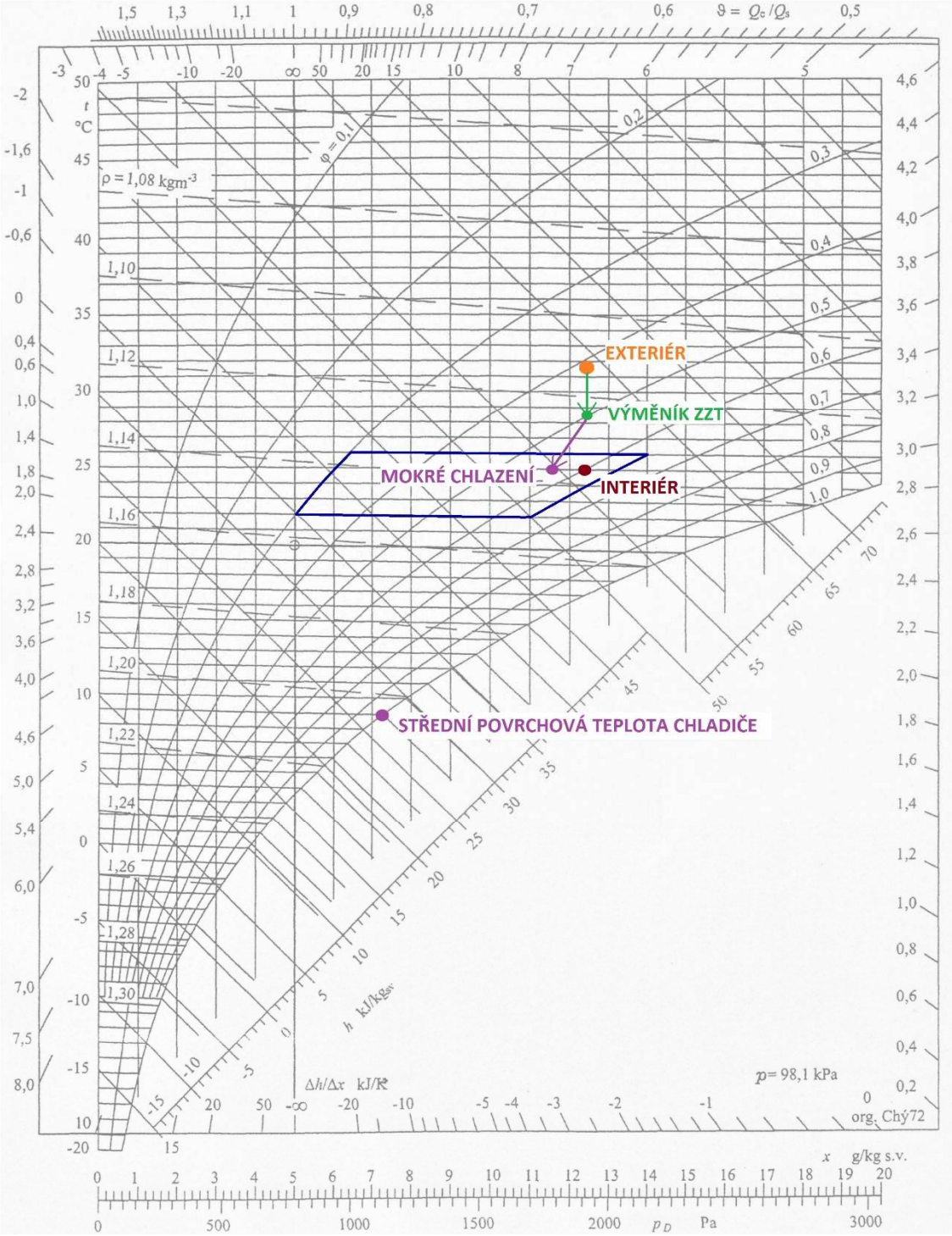
B. 4. 1. 7 H-X diagramy

Zimní provoz



Graf 11: H-X diagram vzduchotechnické jednotky pro zimní provoz

Letní provoz



Graf 12: H-X diagram vzduchotechnické jednotky pro letní provoz

B. 4. 1. 8 Letní dochlazení místností

Z uvedeného H-X diagramu a výpočtů je zřejmé, že centrální vzduchotechnické jednotky budou upravovat přiváděný vzduch na požadovanou teplotu 25 °C bez pokrytí vnitřních a vnějších tepelných zisků v letních měsících. Ty budou v dle potřeby v jednotlivých místnostech individuálně pokryty lokálními chladivovými klimatizačními jednotkami. Jedná se o VRF systém,

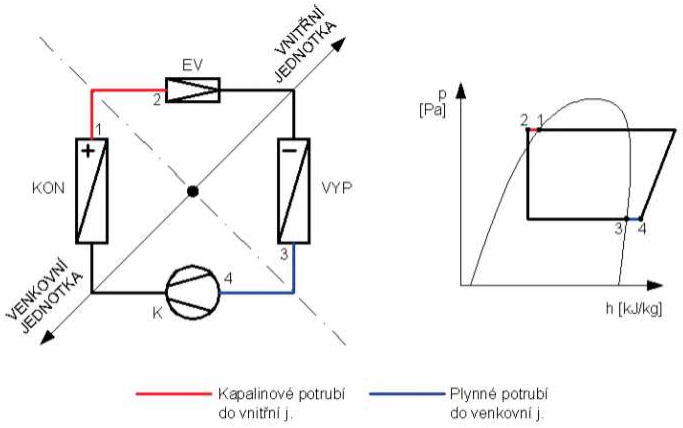
který se vyznačuje zejména možností napojení více vnitřních jednotek na jeden vnější vzduchem chlazený kondenzátor. Tento typ dochlazení byl vybrán především z těchto důvodů:

- upravují vzduch přímo v obsluhovaných místnostech pomocí variabilního průtoku;
- VRF systém umožňuje napojit až 40 vnitřních jednotek;
- umožňují letní dochlazování, resp. zimní vytápění s plynulou regulací;
- nezajišťují větrání, pracují pouze s oběhovým vzduchem.

Pro účely této DP bude systém dimenzován na možnost letního dochlazení bez využití zimního vytápění.

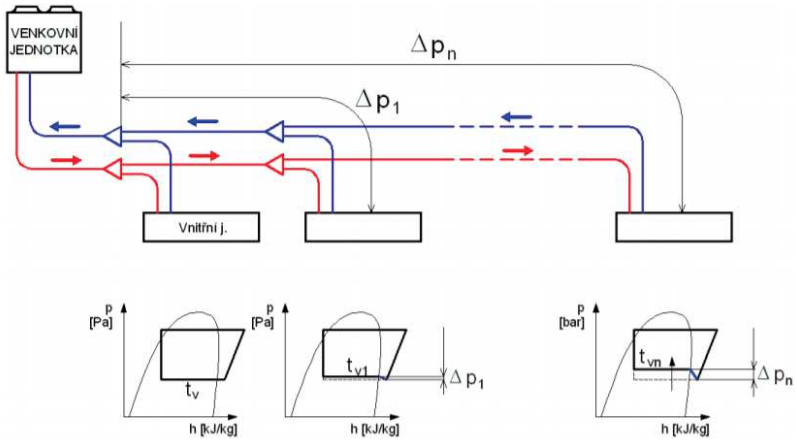
Vnější jednotka bude umístěna na ocelové konstrukce a betonových dlaždicích na střeše budovy. K této jednotce bude připojeno celkem 38 jednotek, do každého bytu do místnosti s největšími tepelnými zisky, resp. s nejvíce prosklenými plochami nad vstupní dveře. Vedení chladivového potrubí bude izolované, měděné s protékajícím chladivem třídy R410 A. Rozvod mezi vnitřními a vnější jednotkou bude dvoutrubkový s rozdělovači k jednotlivým jednotkám. Uvnitř objektu bude potrubí vedeno instalačními šachtami a v jednotlivých patrech po bytech vedeny v podhledových konstrukcích. Lamely vnitřních jednotek budou nastaveny tak, aby byla zajištěna rovnoměrná distribuce chladného vzduchu v místnostech. Vzniklý kondenzát bude veden od jednotek ve spádu v plastovém potrubí PVC HT a budou ukončeny hadicí v sifonech umyvadel. Ovládání vnitřních jednotek bude dle požadavků tepelné pohody sloužit nástěnný infraovladač s LCD displejem umístěného asi 1,5 m nad zemí.

Oproti splitovému, resp. multi-splitovému systému je u VRF systémů expanzní ventil umístěn ve vnitřních jednotkách a potrubí do kondenzátoru vede tak kapalinu o vysokém tlaku. Výhodou je, že pokles tlaku v přívodním potrubí nemá významný vliv na funkci a výkon systému. Naopak nevýhodou je hlučnost expanzních ventilů při určitých provozních stavech.



Graf 13: Charakteristika VRF systému [42]

Výrazné omezení je vzdálenost od první odbočky k poslední vnitřní jednotce, která je pro většinu výrobců 40 m. Důvodem je rozdílný tlak chladícího média v jednotlivých výparnících a důsledkem poté je zvýšení výparné teploty ve vzdálených jednotkách. Na následujícím obrázku je zobrazen nárůst teploty výparníku na druhé jednotce t_{v1} a na poslední jednotce t_{vn} a také nárůst tlakových druhé Δp_1 a poslední jednotky Δp_n vůči první jednotce.[42] Pro potřeby této DP je nejvzdálenější jednotka umístěna ve vzdálenosti 37 m a systém z hlediska vzdálenosti vyhovuje.



Graf 14: Rozdíl v tlakových poměrech na vnitřních jednotkách VRF systému [42]

B. 4. 1. 8. 1 Stanovení chladícího výkonu

Stanovení celkové roční potřeby chladu bylo již v předešlé kapitole stanoveno metodou normy ČSN EN ISO 13 790:2009[33] a vychází na 33,895 MWh/rok. Nejvyšší tepelný zisk má z vybraných měsíců červenec s měsíčním tepelným ziskem od vnitřních a vnějších zdrojů 13,073 MWh/měsíc. Bylo orientačně uvažováno s rovnoměrným pokrytím slunečních tepelných zisků bez výrazných výkyvů a tato hodnota podělena počtem 31 dní v tomto měsíci a uvažovaným průměrným hodinovým průběhem od 9:00 do 18:00, tedy 9 hodinovou zátěží. Pro vnitřní zisky byla uvažována současnost 0,8.

Chladící výkon na pokrytí slunečních zisků

$$Q_{sol,chl} = 12{,}4\,\mathrm{MWh/měsíc} = 12\,400/31/9 = 44{,}4\,kW$$

Chladící výkon na pokrytí vnitřních zisků

$$Q_{in,chl} = 5{,}07\,\mathrm{MWh/měsíc} = (5\,070/31/24)\cdot 0{,}8 = 5{,}45\,kW$$

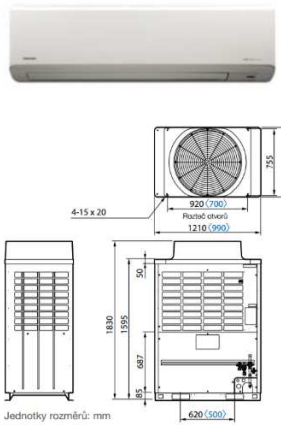
Potřebný chladící výkon do chladičů vzt jednotek

$$Q_{vzt,chl} = 5{,}44 + 5{,}04 + 5{,}04 = 15{,}5\,kW$$

Celkový chladící výkon

$$Q_{chl} = 44{,}4 + 5{,}45 + 15{,}5 = 65{,}4\,kW$$

Požadovaný chladící výkon bude pokrývat venkovní jednotka TOSHIBA s označením AP2214FT8-E složená ze dvou menších jednotek MMY-MAP1004FT8-E s chladícím výkonem 31,5 kW a jednotky MMY-MAP1204FT8-E s výkonem 37,5 kW. Celkový chladící výkon jednotky tedy je součtem dvou menších, 69 kW s deklarovaným chladícím faktorem EER 3,93. Tato jednotka také nabízí vytápění s deklarovaným topným faktorem COP 4,17. Celkový chladící příkon venkovní jednotky se tak pohybuje na hranici 15,7 kW, resp. 16,55. Pro vnitřní jednotky budou v závislosti na velikosti chladících pokojů a velikosti tepelných zisků využity jednotky TOSHIBA Suzumi Plus a to buď ve velikosti chladících výkonů jednotek 2,5 kW, 3,5 kW či 4,5 kW. Sezónní chladící faktor vnitřních jednotek SEER se pohybuje na hodnotách 6,1 - 6,7. Hladina ak. tlaku jednotek se pohybuje do 40 dB a splňují požadavky.



Vnitřní jednotka			RAS-B10N3KV2-E1	RAS-B13N3KV2-E1	RAS-B16N3KV2-E1
Chladící výkon (cooling)	kW	●	2.50	3.50	4.50
Range of performance (cooling)	kW	●	1,10-3,10	1,10-4,05	0,80-5,00
Topný výkon (heating)	kW	●	3.20	4.20	5.50
Range of performance (heating)	kW	●	0,9-4,8	1,0-5,3	0,9-6,9
Energy label (cooling)		●	A++	A++	A++
Energy label (heating)		●	A+	A+	A
Účinnost (SEER) (cooling)		●	6.70	6.50	6.10
Účinnost (SCOP) (cooling)		●	4.30	4.00	3.90
Power supply	V		230	230	230
Annual power consumption (cooling)	kWh	●	131	189	258
Rozměry	H/B/T		275/790/217	275/790/217	275/790/225
Sound pressure level (cooling)	db(A)	●	26/33/38	26/33/29	30/40/45
Height difference (outdoor unit higher/lower)	m		10	10	10
Outdoor temperature (cooling)	°C	●	-10/+46	-10/+46	-10/+46
Outdoor temperature (heating)	°C	●	-15/+24	-15/+24	-15/+24

	Název sestavy	Výkon HP	Chladící výkon (kW)	Topný výkon (kW)	EER / COP
	MMY-MAP0804FT8-E	8	22,4	25	4,33 / 4,40
	MMY-MAP1004FT8-E	10	28	31,5	3,85 / 4,20
	MMY-MAP1204FT8-E	12	33,5	37,5	4,00 / 4,14
	MMY-MAP1404FT8-E	14	40	45	3,54 / 3,54
	MMY-AP1614FT8-E	16 HP: 8 + 8	45	50	4,32/ 4,40
	MMY-AP1814FT8-E	18 HP: 10 + 8	50,4	56,5	4,05 / 4,29
	MMY-AP2014FT8-E	20 HP: 10 + 10	56	63	3,85 / 4,20
	MMY-AP2214FT8-E	22 HP: 12 + 10	61,5	69	3,93 / 4,17
	MMY-AP2414FT8-E	24 HP: 14 + 10	68	76,5	3,66 / 3,79
	MMY-AP2614FT8-E	26 HP: 14 + 12	73	81,5	3,75 / 3,82
	MMY-AP2814FT8-E	28 HP: 14 + 14	78,5	88	3,57 / 3,58
	MMY-AP3014FT8-E	30 HP: 10 +10 +10	85	95	3,82/ 4,19
	MMY-AP3214FT8-E	32 HP: 12 + 10 +10	90	100	3,89 / 4,19
	MMY-AP3414FT8-E	34 HP: 14 + 10 +10	96	108	3,71 / 3,90
	MMY-AP3614FT8-E	36 HP: 14 + 12 +10	101	113	3,77 / 3,92
	MMY-AP3814FT8-E	38 HP: 14 +14 +10	106,5	119,5	3,64 / 3,72
	MMY-AP4014FT8-E	40 HP: 14 + 14 +12	112	127	3,68 / 3,71
	MMY-AP4214FT8-E	42 HP: 14 + 14 +14	118	132	3,56 / 3,58

Obrázek 23: Geometrie a charakteristika jednotek VRF systému [69]

B. 4. 1. 9 Útlumový režim

V době nepřítomnosti osob bude zajištěna požadovaná minimální intenzita větrání I_{min} = 0,3 /h z požadavku trvalého zajištění větrání v obytných prostorech dle ČSN EN 15665-Z1:2011[28].

Útlumový režim pro vzduchotechnickou jednotku č. 1

$$V_{VZT_1} = \sum I_{min} \cdot O_i = 0{,}3 \cdot 2518{,}9 = 755{,}67\ m^3/h$$

Útlumový režim pro vzduchotechnickou jednotku č. 2

$$V_{VZT_2} = \sum I_{min} \cdot O_i = 0{,}3 \cdot 2461{,}6 = 738{,}48\ m^3/h$$

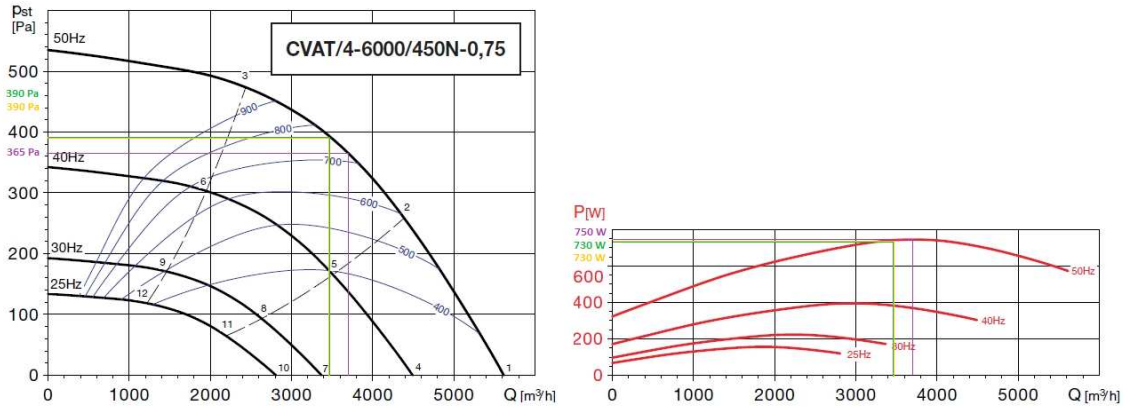
Útlumový režim pro vzduchotechnickou jednotku č. 3

$$V_{VZT_3} = \sum I_{min} \cdot O_i = 0{,}3 \cdot 2715{,}4 = 814{,}62\ m^3/h$$

B. 4. 1. 10 Další prvky vzduchotechnického systému

Ventilátory

Ventilátory jsou zařízení zajišťující dopravu vzduchu do větraného prostoru. Musí překonat tlakový rozdíl pro pokrytí tlakových ztrát VZT jednotky, potrubí i distribuce. Do jednotek budou navrženy zvukově izolované radiální potrubní ventilátory typu CVAT/4-6000/450N-0,75 od společnosti ELEKTRODESIGN Ventilátory s.r.o.



Obrázek 24: Charakteristika a geometrie ventilátorů vzt jednotek [70]

Filtry

Jak již bylo zmíněno, požadavek na filtraci je zakotven v českém právním kodexu, především ve vyhlášce č. 268/2009 Sb.[12], o technických požadavcích na stavby, nařízením vlády č. 361/2007 Sb.[7], kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci ve znění pozdějších předpisů a také v normě ČSN EN 15665-Z1:2011[28]. Umístění filtrů na výfuk odpadního vzduchu zadává také zákon o ovzduší.

Na přívodní potrubí do vzduchotechnické jednotky bude navržen kapsový filtr třídy M5, KS PAK 45 vyrobený ze skelných vláken od společnosti KD Klima-Service s tlakovou ztrátou při daných objemových průtocích vzduchu přibližně 45 Pa. Technická data filtru jsou stanovena dle ČSN EN 779[29].

Na odvodní potrubí ve vzduchotechnické jednotce bude navržen kapsový filtr třídy G4, KS PAK 35 vyrobený ze syntetických vláken od stejné společnosti. Tlaková ztráta pro tento filtr je pro dané objemové průtoky přibližně 30 Pa. Technická data filtru jsou také stanovena dle ČSN EN 779[29].

Potrubí a izolace

Vzduchotechnické potrubí bude navrženo do čtyřhranného obdélníkového charakteru v maximálním poměru stran 4:1 z plechu. Maximální výška vzduchovodů v podhledech by neměla přesáhnout 200 mm z důvodu nízkého prostoru mezi podhledy a železobetonovými stropy. Potrubí musí plnit požadované třídy těsnosti. Na konci vzduchotechnických větví by se měla rychlost vzduchu pohybovat do 2 m/s. V pobytové zóně rychlost poté na hranici 0,2 m/s. K vyústkám bude napojeno protihlukové ohebné potrubí SONOFLEX vypočtených rozměrů a průměrů.

Tepelná izolace plní u vzduchotechnického potrubí funkci tepelnou, protipožární a hlukovou. Materiál pro vnější potrubí bude z minerálních desek a pro potrubí uvnitř objektu z pěnového polyuretanu s tepelnou vodivostí λ_{max} = 0,05 W/(m · K). Tloušťky izolací budou stanoveny výpočtem.

Hluk

Požadavky na hluk, resp. limitní ekvivalentní hladinu akustického tlaku A, stanovuje nařízení vlády č. 272/2011 Sb.[6] o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Nejčastějšími zdroji hluku ve vzduchotechnice jsou ventilátory, u kterých také hrozí nebezpečí vzniku vibrací. Pro chráněný venkovní prostor je součet ekvivalentních hladin akustického tlaku přes všechny slyšitelné frekvence označován jako $L_{Aeq,T}$. Pro obytné místnosti platí tyto požadavky:

Způsob využití	Denní doba	Požadovaná hodnota $L_{Aeq,T}$ [dB]
Venkovní chráněný prostor stavby - obytné místnosti	od 6:00 - 22:00	50
Venkovní chráněný prostor stavby - obytné místnosti	od 22:00 - 6:00	40

Tabulka 30: Tabulka požadovaných hodnot LAeq,T pro chráněné venkovní prostor stavby

Uvnitř objektu se požadavek $L_{A,max}$ = 40 dB. Korekce pro obytnou místnost v denní době je 0 dB a v noční době 10 dB. Za a před vzduchotechnickými jednotkami budou naistalovány tlumiče hluku dle projektu. Tyto tlumiče budou plnit funkci zamezení vniku hluku do potrubí z jednotek a z exteriéru. V bytech budou k distribučním elementům napojeny ohebné hadice SONOFLEX, které díky svým vlastnostem slouží také jako hlukově útlumové prvky.

Požární klapky

Na hranicích požárních úseků budou umístěny požární klapky příslušných požárních odolností a těsností. Jejich ovládání budou zajišťovat servopohony připojené na systémy MaR a EPS.

Regulační klapky

Pro rozdělení tlakových poměrů ve vzduchovodech a nastavení objemových průtoků u koncových elementů budou sloužit regulační klapky. Budou umístěny mezi ohebné hadice SONOFLEX a potrubí. Jejich ovládání budou zajišťovat servopohony připojené také na systém MaR.

Zpětné klapky

Zpětné klapky plní funkci nechtěného zpětného tahu vzduchu z ventilace. Budou umístěny na připojovací potrubí do bytů před každé odsávané místo do kuchyní, koupelen a wc.

MaR

Vzduchotechnické jednotky a prvky vzt budou řízeny systémem MaR. Snímané veličiny budou teploty a koncentrace oxidu uhličitého. V místnostech s vyšší návrhovou teplotou, než je teplota přívodního vzduchu (koupelny), bude dohřev zajištěn otopným systémem nebo elektrickými trubkovými registry. MaR bude zajišťovat zejména tyto regulace:

- přepínání stupňů u ventilátorů pro plný či útlumový režim a regulování systému;
- regulace teploty vzduchu přiváděného do interiéru, řízení výkonů ohřívačů, chladičů a zvlhčovačů;
- ovládání klapek se servopohony a také požárních klapek;
- ovládání otevírání a zavírání obtoku.

B. 4. 1. 11 Větrání hromadné garáže

Návrh větrání hromadné garáže byl proveden dle normy ČSN 73 6058:2011[24]. Výpočet se bude vztahovat na větrání provozní, které je předmětem této normy. Stanovení větrání požárního a havarijního je nad rámec této DP a také jiné specializace (PBŘ). Úkolem provozního větrání je zajištění kvalitního ovzduší pro pobyt osob podle hygienický kritérií. Garáž samotná bude uvažována pro skupinu vozidel 1 (1a – osobní vozidla, 1b – lehká užitková vozidla). Niveleta podlahy garáže je ve výšce 1,25 m pod úrovní přilehlého terénu a splňuje tak podmínky pro hodnocení nadzemní garáže. Z hlediska provozu bude uvažována garáž samoobslužná a neveřejná, pouze pro účely obyvatel domu. Dle požadavků bude garáž zařazena do třídy prostorů stání a komunikací v samoobslužných garážích s pohybem vozidel vlastní silou. Budou dodrženy podmínky bezbariérového užívání.

Z hlediska konceptu bude uvažována varianta nuceného podtlakového větrání s přirozeným přívodem vzduchu větracími otvory umístěnými ve fasádě. Odvod vzduchu bude realizován nad střechu objektu. Průtok vzduchu bude vypočítán v závislosti na emise škodlivin a jejich přípustných koncentrací, z nichž rozhodující je škodlivina oxid uhelnatý (CO), produkovaný při chodu motorů vozidel. Větrání zajistí odvod všech škodlivin, tzn. také vznikajících oxidů dusíku, karcinogenních nebo pevných látek.

B. 4. 1. 11. 1 Stanovení průtoku vzduchu

Základním požadavkem v tomto typu samoobslužných garáží je intenzita větrání 0,5 /h. Pokud je výpočtem doložena nižší hodnota, uvažuje se s hodnotou 0,5 /h. Maximální přípustná koncentrace oxidu uhelnatého (CO) je dle ČSN 73 6058[13], pro 30ti minutový pobyt osob v garáži C_p = 50 ppm.

Typ města	velkoměsto		
Typ garáže	samoobslužná		
Rampa	přímá (16 %)		
Druh garáže dle tab. A.1, Příloha A	obytné budovy ΣP < 50		
Počet úseků (podlaží) v garáži	**[ks]**		1
Vnitřní objem garáže	**O**	**[m^3]**	2364,6
Počet parkovacích stání v úseku	**P = ΣP**	**[ks]**	38
Rychlost jízdy vozidel	**w**	**[km/h]**	10
		[m/s]	2,78
Délka trasy jenoho vozidla po rovině	**s_{rov}**	**[m]**	29,74
Délka trasy jenoho vozidla při stoupání nebo klesání	**s_{st}, s_{kl}**	**[m]**	9,88
Frekvence výměny vozidel dle tab. A.1	**f**	**[1/h]**	0,3
Parkovací doba jednoho vozidla	**τ_p**	**[h]**	3,3
Emise CO při jízdě po rovině dle tab. A.2	**$V_{CO,j,rov.voz.}$**	**[m^3/s·voz.)]**	$5 \cdot 10^{-5}$
Emise CO při stoupání dle tab. A.2	**$V_{CO,j,st.voz.}$**	**[m^3/s·voz.)]**	$13 \cdot 10^{-5}$
Emise CO při volnoběhu dle tab. A.2	**$V_{CO,v.voz.}$**	**[m^3/s·voz.)]**	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$
Doba volnoběhu jednoho vozidla při vjezdu do garáže	**$t_{v,do\ garáže}$**	**[s]**	20
Doba volnoběhu jednoho vozidla při výjezdu z garáže	**$t_{v,z\ garáže}$**	**[s]**	20
Doba volnoběhu jednoho vozidla při vjezdu na stání	**$t_{v,na\ stání}$**	**[s]**	10
Doba volnoběhu jednoho vozidla při výjezdu ze stání	**$t_{v,ze\ stání}$**	**[s]**	20
Nejvyšší přípustná výpočtová koncentrace CO v garáži	**C_p**	**[ppm]**	50
Výpočtová koncentrace CO ve venkovním vzduchu	**C_e**	**[ppm]**	10

Tabulka 31: Tabulka vstupních hodnot stanovení průtoku vzduchu pro větrání garáží

Doba jízdy jednoho vozidla po rovině:

$$t_{j,rov} = \frac{s}{w} = \frac{29{,}74}{2{,}78} = 10{,}7\ s/h$$

Doba jízdy jednoho vozidla při stoupání a klesání:

$$t_{j,st,kl} = \frac{s}{w} = \frac{9{,}88}{2{,}78} = 3{,}6\ s/h$$

Počet vozidel vjíždějících do úseku v intervalu 1 hodina:

$$p = P \cdot f = 38 \cdot 0{,}3 = 11{,}4\ 1/h$$

Doba chodu motorů za jízdy všech vozidel parkujících v úseku během intervalu 1 hodina:

Po rovině: $t_{jc,rov} = p \cdot t_{j,rov} = 11{,}4 \cdot 10{,}7 = 122\ s/h$

Při stoupání: $t_{jc,st} = p \cdot t_{j,st} = 11{,}4 \cdot 3{,}6 = 41\ s/h$

Po klesání: $t_{jc,kl} = p \cdot t_{j,kl} = 11{,}4 \cdot 3{,}6 = 41\ s/h$

Doba volnoběhu všech vozidel v úseku během intervalu 1 hodina:

$$t_{vc} = p \cdot (t_{v,do\ gar.} + t_{v,z\ gar.} + t_{v,na\ st.} + t_{v,ze\ st.}) = 11{,}4 \cdot (20 + 20 + 10 + 20) = 798\ s$$

Vznik emisí oxidu uhelnatého všech vozidel v úseku garáže v intervalu 1 hodina:

Po rovině: $V_{CO,j,rov} = V_{CO,j,rov.voz.} \cdot t_{jc,rov} = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 122 = 0{,}0061\ m^3/h$

Při stoupání: $V_{CO,j,st} = V_{CO,j,st.voz.} \cdot t_{jc,st} = 13 \cdot 10^{-5} \cdot 41 = 0{,}0053\ m^3/h$

Po klesání: $V_{CO,j,kl} = V_{CO,j,kl.voz.} \cdot t_{jc,kl} = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 41 = 0{,}0021\ m^3/h$

Při volnoběhu: $V_{CO,v} = V_{CO,v,voz.} \cdot t_{vc} = 2{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 798 = 0{,}0176\ m^3/h$

Celková $V_{CO} = V_{CO,j,rov} + V_{CO,j,st} + V_{CO,j,kl} + V_{CO,v} = 0{,}0311\ m^3/h$

Určení průtoku vzduchu pro větrání

Celkový průtok vzduchu pro samoobslužné garáže vychází z následujícího vztahu:

$$V = \frac{V_{CO}}{(C_P - C_e) \cdot 10^{-6}} = \frac{0{,}0311}{(50 - 10) \cdot 10^{-6}} = 777{,}5\ m^3/h$$

Výpočtová intenzita větrání:

$$I = \frac{V}{O} = \frac{777{,}5}{2364{,}6} = 0{,}33\ 1/h\ <\ I = 0{,}5\ 1/h$$

Návrhový průtok vzduchu pro větrání garáže:

$$V = I \cdot O = 2364{,}6 \cdot 0{,}5 = 1182{,}3\ m^3/h$$

Měrný průtok vzduchu na 1 stání v garáži:

$$V_{st} = \frac{V}{\Sigma P} = \frac{1182{,}3}{38} = 31{,}1\ m^3/(h \cdot stání)$$

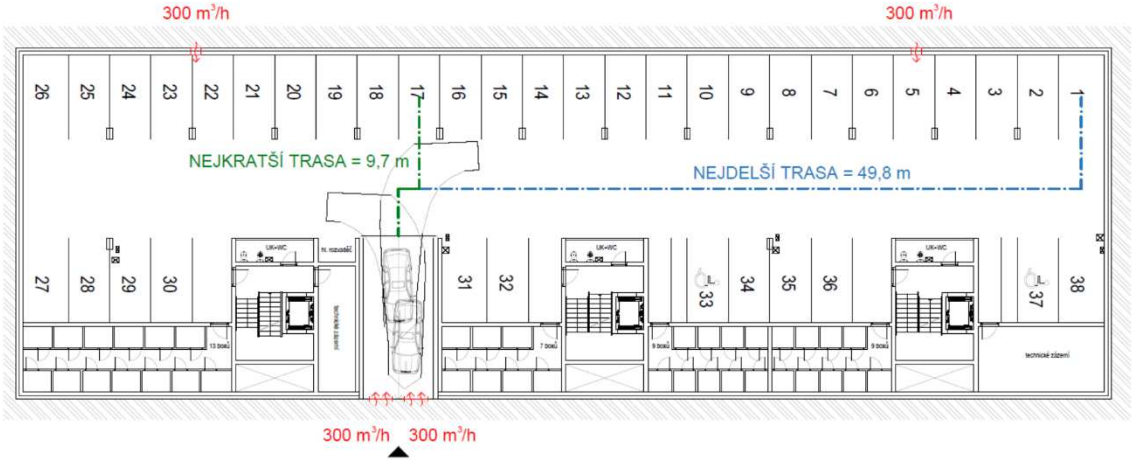
Vzhledem k nízké vypočtené hodnotě intenzity větrání 0,33 1/h musí být uvažováno s podmínkou 0,5 1/h a množství vzduchu nuceně odváděného z garáže tak vychází po zaokrouhlení na 1200 m^3/h.

B. 4. 1. 11. 2 Otvory pro přívod větracího vzduchu z exteriéru

Vzduch se bude přivádět přirozeně větracími otvory prostupující fasádou a garážovými vraty. Otvory budou umístěny s horní hranou nejníže 0,3 m pod stropem. Garážová vrata a větrací otvory jsou vzájemně umístěny na protilehlých stěnách a uplatní se zde lepší provětrání garáže než v případě jedné přiváděcí strany. Velikost otvorů je stanovena dle následujícího algoritmu:

Celkový průtok vzduchu:	$V = 1200\,m^3/h = 0{,}333\ m^3/s$
Návrhová rychlost vzduchu:	$v = 1\,m/s$
Plocha větrací části garážových vrat:	$S = 0{,}166\,m^2$
Plocha všech větracích otvorů:	$S = 0{,}167\,m^2$
Počet větracích otvorů:	$n = 2\,ks$
Plocha jednoho větracího otvoru:	$S = 0{,}0835\,m^2 => ROZMĚRY\ 450x200\,mm$

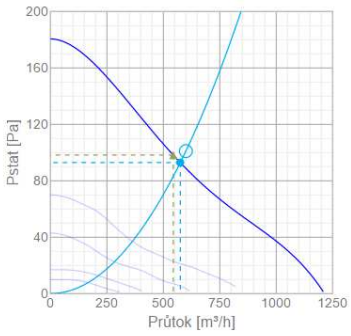
B. 4. 11. 2. 1 Schéma návrhu přívodních otvorů

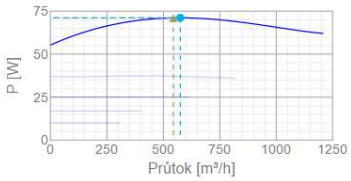


Obrázek 25: Schéma návrhu přívodních otvorů v garáži

B. 4. 1. 11. 3 Návrh odtahových ventilátorů

Odpadní vzduch a koncentrace škodlivin budou šachtami odvedeny nad střechu objektu. Dopravu vzduchu budou zajišťovat dva izolované ventilátory umístěné na střeše. Pro návrh byly vybrány ventilátory DVSI 310ES od společnosti systemair s. r. o. s maximálními průtoky vzduchu 1210 m³/h a hladinou akustického tlaku 28 dB. Ventilátory splňují požadavky na hluk, resp. ekvivalentní hladinu akustického tlaku a nemusí být opatřeny tlumiči hluku, proti možným vibracím budou ventilátory pružně osazeny. Před ventilátory budou umístěny prachové filtry pro zachycení karcinogenních a pevných částic.





Nominální data		
Napětí	230	V
Frekvence	50	Hz
Fáze	1	~
Příkon (P1)	70,9	W
Proud	0,301	A
Max. průtok vzduchu	1210	m³/h
Otáčky ventilátoru	999	ot/min
Kondenzátor	1,5	µF
Hmotnost	16,1	kg
Teplotní údaje		
Maximální teplota média	40	°C
Max. teplota média při regulaci otáček	40	°C
Hlukové údaje		
Hladina akustického tlaku ve 4 m (volný prostor)	28	dB(A)
Hladina akustického tlaku ve 10 m (volný prostor)	20	dB(A)
Krytí / Klasifikace		
Třída izolace	B	
Třída krytí, motor	IP44	IP
Energetická třída		
Splňuje požadavky ErP:	2016	

	Požadovaný bod		Pracovní bod						
	Průtok [m³/h]	Ps [Pa]	Průtok [m³/h]	Ps [Pa]	P [W]	n [ot/min]	I [A]	SFP [kW/m³/s]	U [V]
Max. účinnost			▲544	▲98,2	▲71,1	995	0,301	0,47	230
Uživatel	○ 600	○ 101	●575	●92,9	●71,1	994	0,3	0,445	230

Obrázek 26: Charakteristika odtahových ventilátorů v garáži [71]

MaR

Systém provozního větrání bude řízen dle koncentrace CO, zajišťující profese MaR. Podle aktuální koncentrace se budou spouštět ventilátory. V základním režimu budou ventilátory vypnuty a provětrání bude zajištěno přiváděcími otvory a garážovými vraty spojenými s exteriérem. Při poloviční koncentraci CO, 25 ppm se spustí ventilátory s průtokem vzduchu 600 m^3/h a při limitní koncentraci a případném překročení 50 ppm se objemové výkony odsávacích ventilátorů zvýší na maximální výkony. Systém MaR bude soustředěn do jednoho místa, odkud bude ovládán a řízen.

B. 4. 1. 12 Větrání zón chodby a komunikace a sklepní boxy

Zóny chodby a komunikace a sklepní boxy budou větrány přirozeně s uplatněním infiltrace vzduchu netěsnostmi okny a dveří, dále otevíratelnými okny či opakovaným otevíráním a zavíráním vstupních dveří. Sklepní prostory budou dále propojeny s garáží provětrávacími otvory umístěnými nad dveřmi pro efektivnější provětrávání a pro přívod vzduchu budou sloužit fasádní otvory.

B. 4. 2 Návrh osvětlení

Osvětlení z hlediska energetické náročnosti budovy výrazným podílem přispívá k vnitřním ziskům a vytváří teplo. Zároveň také světelné zdroje spotřebovávají elektrickou energii, kterou je potřeba započítat do energetické náročnosti a v konečném důsledku při volbě nevhodných osvětlovacích prvků může tvořit nemalý podíl z celkové bilance.

Požadavky na denní osvětlení budov se zabývá norma ČSN 730580-1:2007+Z1:2011[22] a na obytné prostory se vztahuje část 2 dané normy ČSN 730580-2:2007[23]. Právě uvedená norma zadává požadavek pro boční přirozené osvětlení ve dvou kontrolních bodech v polovině hloubky místnosti, vzdálených 1 m od vnitřních povrchů bočních stěn ve výšce 850 mm minimální hodnotu činitele denní osvětlenosti D_m [%] 0,7 % nejdále ve 3 m od okna a průměrná hodnota z obou těchto bodů musí být nejméně 0,9 %. Kontrolní body se vybírají ze sítě, která je vytvořena na půdoryse posuzované místnosti. Do hloubky místnosti 5 m se prostor posuzuje, nad tuto hodnotu je již nutné místnost uměle osvětlovat. Dále by měly prosklené výplně otvorů sloužit jako zdroje přirozeného osvětlení a plnit tak pravidlo velikosti plochy alespoň z 1/10 plochy posuzované místnosti. Dle příslušné normy se dále zadávají geometrické údaje navrhovaných oken, kde spodní hrana má být nejvýše 0,9 m nad podlahou a horní hrana okna nejníže 2,2 m nad podlahou obytné místnosti. Šířka okna má být rovna nejméně jedné polovině šířky okenní stěny. Při více oknech ve více stěnách stačí, je-li tato podmínka splněna u jedné stěny a při více oknech v jedné okenní stěně se požadavek týká součtu jejich šířek. Šikmá okna se v obvodových konstrukcích považují za boční osvětlovací otvory. Posouzení je ověřováno pomocí počítačových softwarů.

Umělé osvětlení je z pohledu závazných platných předpisů pro obytné prostory zadáno pouze v doporučených hodnotách, a proto není přímo závazné. Požadavky zavádí již neplatná, nicméně stále používaná norma ČSN 36 0452[18], která zadává tyto požadavky:

Požadavek umělého osvětlení v lx	**Místo, příp. činnost**
50 až 100	Celkové nebo odstupňované osvětlení obytné místnosti s místním osvětlením
200 až 500	Celkové nebo odstupňované osvětlení pracovních prostorů bez místního osvětlení
200	Společné jídlo
300	Studium, psaní, kreslení, kuchyňské práce aj.
500	Jemné ruční práce
75	Komunikace v bytě
100	Obytné kuchyně, koupelny, WC

Tabulka 32: Požadavky na umělé osvětlení dle ČSN 36 0452[18]

Hodnotícím kritériem dostatečného prosvětlení místností je hladina osvětlenosti, která je definována jako světelný tok 1 lm dopadající na plochu 1 m^2 a vypočítá se dle vztahu:

$$E = \frac{I}{r^2} \quad [lx]$$

kde I je svítivost zdroje, což je schopnost umělého světla vytvářet na trojrozměrných předmětech stíny v cd;

r je vzdálenost od světelného zdroje v cm.

Navrhované osvětlovací prvky

V jednotlivých bytech budou instalovány světelné zdroje v kombinacích dle individuálního přístupu uživatelů, převážně však LED diody (Light Emitting Diode). Tento světelný zdroj převádí elektrický proud na světlo. Jejich výhodou je dosahování vysokého světleného výkonu a také neobsahují žádné toxické látky jako rtuť. Dnešní trh nabízí zabarvení LED diod do běla a nově také do žluta. Účinnost osvětlení dosahuje ke 40 %. Další zdroje, které budou využity jsou wolframové žárovky a halogenové zářivky. Ty nenabízejí tak vysoké účinnosti, nicméně jejich světelné spektrum zasahuje jak do teplých, tak studených barev a jsou tak přijatelnější pro lidské oko.

Rozdělení spotřeb elektřiny a typické hodnoty pro výpočet budou uvažovány v souladu s TNI 73 0331:2013[37].

Obrázek 27: LED dioda [72]

Obrázek 28: Wolframová žárovka [73]

Obrázek 29: Halogenová žárovka [74]

Obrázek 30: Kompaktní zářivka [75]

B. 4. 3 Návrh vytápění s podporou obnovitelných zdrojů energie

Pro dosažení požadavků téměř nulové budovy není z hlediska konečné nízké spotřeby energie s podporou obnovitelných zdrojů možné vybírat z tradičních zdrojů tepla na fosilní paliva. Myšleny tím jsou zejména nejvíce rozšířené kotle na uhlí a na plyn. Vhodné uvažované zdroje, které využívají obnovitelnou energii se nazývají zdroje alternativní. V budovách nejvíce využívaná tepelná čerpadla v typech vzduch/voda, země/voda a voda/voda, využívající energii okolí, geotermální a vodní energii. Dále jsou obecně rozšířené solární soustavy, které pohání energie sluneční, kotle na biomasu, fotovoltaické panely měnící energii sluneční na elektrickou či soustavy s kombinovanou výrobou elektrické energie a tepla (KVET). Mimo tyto zdroje je podmíněná nízká spotřeba energie dalšími systémy jako zpětné získávání energie ze vzduchu či odpadních vod či využití zemních výměníku.

Jak je uvedeno v zadání, cílem je navrhnout varianty řešení, které pokryjí danou potřebu energie zejména z obnovitelných zdrojů energie. V obou případech bude navrženo tepelné čerpadlo země/voda se zemními vrty, ve druhé variantě bude navíc navržený solární systém jako podpora pro částečné pokrytí potřeby teplé vody. Tento typ tepelného čerpadla je v dané lokalitě nejvíce vhodný, pro variantu voda/voda bylo geologickým průzkumem prokázána nedostatečná vydatnost podzemní vody a možnost vzduch/voda je z důvodu kolísání výkonu v závislosti na vnější teplotě či možné vyšší hlučnosti systému také spíše nevhodná. Solární systém bude s výhodou umístěn na střeše objektu s daným sklonem a orientací ke světlové straně. Výpočtem v následujících kapitolách bude ověřena jejich použitelnost, budou specifikovány konkrétní výrobky a porovnány z hlediska ekonomické návratnosti. Ke každé variantě bude zpracovaný průkaz energetické náročnosti budovy (PENB).

B. 4. 3. 1 Požadavek na výkon zdroje

Tepelná čerpadla jsou z ekonomických důvodů navržena na přibližně 70 % tepelných ztrát objektu. Tato možnost je vhodná převážně u objektů, jejichž maximální tepelné ztráty jsou dosahovány přibližně pro 10 dní v roce.[50]

Varianta I

Tepelná ztráta prostupem pro návrh tepelného čerpadla:

$$Q_{VYT} = \left(1353{,}55 \cdot (20 - (-12)) + 255{,}17 \cdot \left(10 - (-12)\right)\right) \cdot 0{,}7 \ = 34{,}25\ kW$$

Potřebný výkon na pokrytí TV (pro variantu I TČ pokryje cca 89 % potřeby, viz. dále):

$$Q_{TV} = 11{,}23 \cdot 0{,}89 = 10\ kW$$

Potřebný výkon pro VZT ohřívače:

$$Q_{TV} = 2\ \cdot 26{,}08 + 30{,}63 = 82{,}79\ kW$$

Celkový potřebný výkon zdroje pro vytápění a TV a VZT:

$$Q_{TOT} = 34{,}25 + 10 + 82{,}79 = 127{,}04\ kW$$

Varianta II

Tepelná ztráta prostupem pro návrh tepelného čerpadla:

$$Q_{VYT} = \left(1353{,}55 \cdot (20 - (-12)) + 255{,}17 \cdot \left(10 - (-12)\right)\right) \cdot 0{,}7 \ = 34{,}25\ kW$$

Potřebný výkon na pokrytí TV (pro variantu II TČ pokryje v extrému pro zimní měsíc cca 81 % potřeby, viz. dále):

$$Q_{TV} = 11{,}23 \cdot 0{,}81 = 9{,}1\ kW$$

Potřebný výkon pro VZT ohřívače:

$$Q_{TV} = 2\ \cdot 26{,}08 + 30{,}63 = 82{,}79\ kW$$

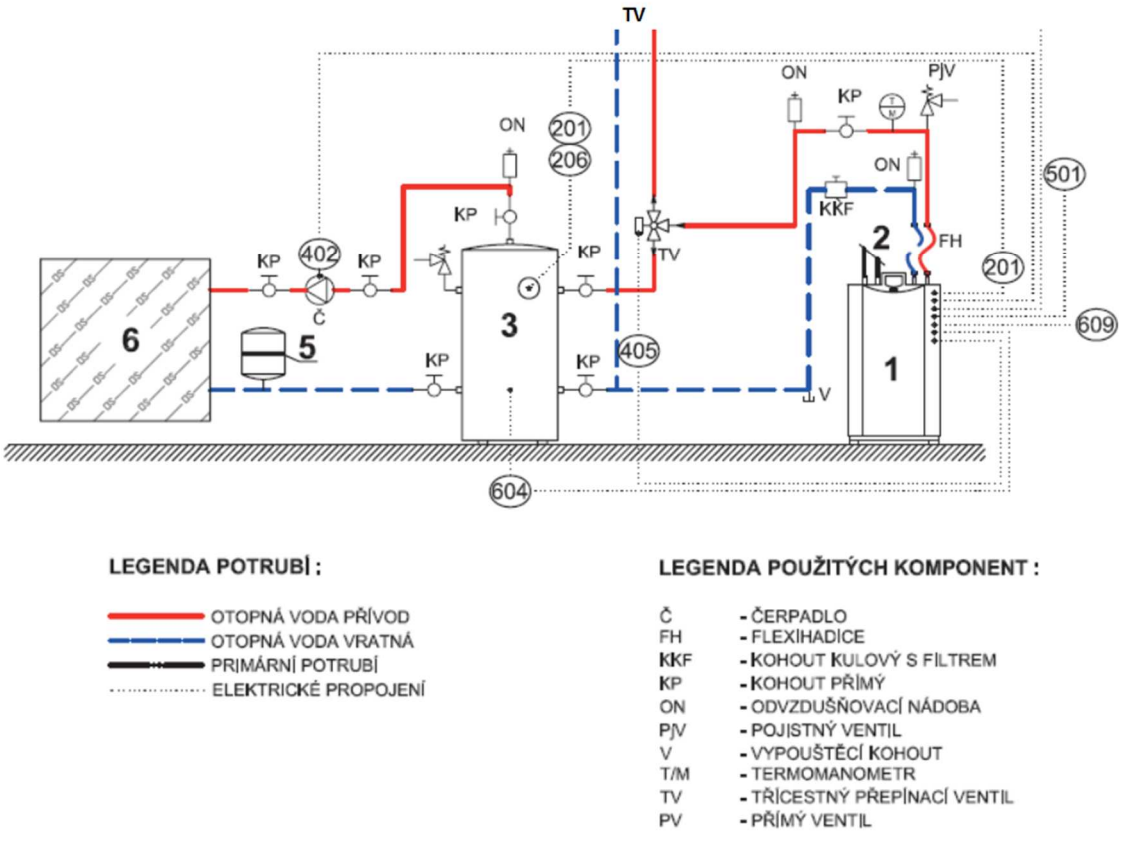
Celkový potřebný výkon zdroje pro vytápění a TV a VZT:

$$Q_{TOT} = 34{,}25 + 9{,}1 + 82{,}79 = 126{,}14\ kW$$

Jak si lze všimnout z výpočtu, největší část potřeby tepla představují ohřívače vzduchotechnických jednotek. Důvodem jsou volené nízké hodnoty venkovního vzduchu v zimním období dle příslušné normy ČSN 12 7010/Z1:2016[17] odpovídající skutečným klimatickým údajům a ponížená hodnota účinnosti ZZT deskového rekuperačního výměníku.

B. 4. 3. 2 Návrh zdroje tepla a dílčích komponentů soustavy vytápění

Schéma zapojení vytápění a ohřev teplé vody varianty I:



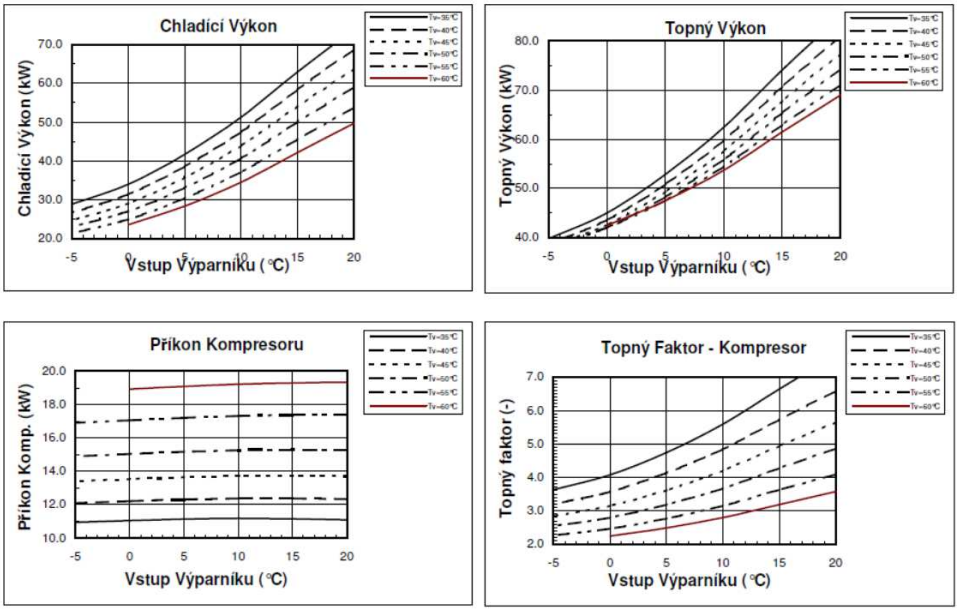
Obrázek 31: Schéma zapojení tepelného čerpadla v systému vytápění [76]

Pro akumulaci tepla, které se načerpá ze zemních vrtů bude sloužit centrální zásobník na topnou vodu s možností elektrického dohřevu jako bivalentní zdroj, ten se bude spouštět při poklesu teploty exteriéru pod teplotu bivalence. Distribuce tepla bude probíhat přes soustavu s konvekčními deskovými tělesy či trubkovými registry v koupelnách. Tepelné čerpadlo bude řízeno dle přepínacího trojcestného ventilu, který umožní změnit cirkulaci vody vystupující z tepelného čerpadla z dotování tepla zásobníku na topnou vodu na zajištění požadované teploty teplé vody. Přednostně bude nastavena jako priorita dosažení teploty na otopné vodě a když regulace zjistí pokles teploty v zásobníku teplé vody, přepne se do režimu její přípravy. Průtoky vody mezi tepelným čerpadlem a dotovanými zásobníky je dán výpočtem a hydraulickými parametry systému.

Jmenovitý výkon tepelného čerpadla je stanoven při parametrech daných normou ČSN EN 14 511-1:2005[26]. Na pokrytí 128,3 kW budou navrženy celkem 3 ks tepelných čerpadel země/voda AquaMater AQ120.2Z, každé s výkonem při venkovní uvažované teplotě -10 °C, 43 kW. Kotelna bude umístěna v objektu v 1.PP. Tepelné čerpadlo dle podkladů výrobce pracuje s teplotou vody až 55 °C s topným faktorem SCOP 3,22 a příkonem 15,2 kW, teplotní spád provozu čerpadla bude uvažován 55/40 °C. Protože teplotní spát topné vody bude navržen 50/35 °C, pokrývá tepelné čerpadlo 100 % výkonu pro ohřev.

země-voda	nízko teplotní provoz 35°C				středně teplotní provoz 55°C			
AquaMaster	výkon*	SCOP	ηs %	třída	výkon*	SCOP	ηs %	třída
AQ22Z	8 kW	4,5	172	A++	7 kW	3,17	117	A+
AQ26Z	10 kW	4,34	166	A++	9 kW	3,11	116	A+
AQ30Z	11 kW	4,29	164	A++	11 kW	3,16	118	A+
AQ37Z	14 kW	4,46	170	A++	13 kW	3,16	118	A+
AQ45Z	17 kW	4,61	176	A++(+)	16 kW	3,19	120	A+
AQ50Z	18 kW	4,42	169	A++	18 kW	3,37	127	A++
AQ60Z	23 kW	4,27	163	A++	22 kW	3,14	118	A+
AQ75Z	28 kW	4,25	162	A++	26 kW	3,11	116	A+
AQ90Z	33 kW	4,42	169	A++	30 kW	3,10	116	A+
AQ120.2Z	47 kW	4,51	172	A++	43 kW	3,22	121	A+
AQ150.2Z	57 kW	4,38	167	A++	52 kW	3,19	119	A+
AQ180.2Z	64 kW	4,50	172	A++	61 kW	3,35	126	A++

Obrázek 32: Charakteristické údaje tepelného čerpadla [77]



Obrázek 33: Technické údaje tepelného čerpadla [77]

Geologický průzkum stanovil, že podloží je štěrko-písčité, ve větších hloubkách masív pevných písčitých jílů. Pro svislé kolektory odpovídá tabulková hodnota měrnému výkonu jímání q_z = 55-65 W/m. Tyto svislé geotermální vrty budou hloubeny do hloubky 120 m s půdorysnou minimální vzdáleností min. 5 m. Průměrná uvažovaná teplota zeminy se od 2 m pohybuje kolem 10 °C a teplota směsi bude dimenzována na 0 °C, označení soustavy tedy dle ČSN EN 14 511-1:2005[26] nese země/voda - S0/W55. Materiál pro rozvod kolektoru bude využit polyethylen HD-PE v celkem 6 smyčkách pro každé tepelné čerpadlo. Návrh smyček je zapotřebí volit ve stejných délkách, aby každá z nich měla stejnou tlakovou ztrátu.

Návrh hloubky vrtů pro jedno tepelné čerpadlo:

$$h_{T\check{C}} = \frac{Q_{T\check{C}}}{q_z} = \frac{43\,000}{60} = 716{,}67\ m$$

Návrh počtu vrtů pro jedno tepelné čerpadlo:

$$n_{T\check{C}} = \frac{h_{T\check{C}}}{h_{vrtu}} = \frac{716{,}67}{120} = 5{,}97\ ks \quad => \quad NAVRHUJI\ 6\ ks\ /\ tepelné\ čerpadlo$$

Před vstupem rozvodů primárního okruhu do objektu bude umístěn rozdělovač a sběrač (R+S) z hlediska sdružení jednotlivých větví se spádem od R+S. Ty budou obsahovat vyvažovací a odvzdušňovací ventily. Rozvody primárního okruhu budou izolovány kaučukovou izolací příslušných tlouštěk dle výpočtů proti kondenzaci vody na rozvodech a namrzání. Při prostupu rozvodů obvodovými stěnami je nutné vložit je do nenasákavé izolace a chráničeb. Jako nemrznoucí kapalina bude využita směs propylenglykol-voda v poměru 30-70 %.

Akumulační zásobník

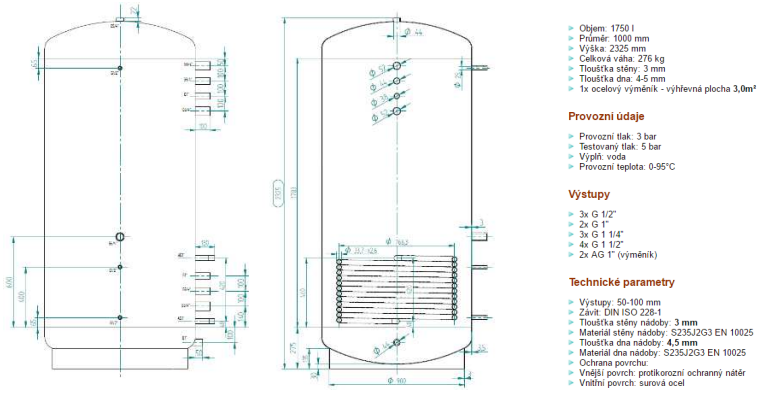
Návrh objemu akumulačního zásobníku byl proveden dle podkladů ČVUT v Praze, vstupní hodnoty byly voleny dle obvyklých mezí pro minimální dobu chodu 10 minut a ohřev zásobníku o 5 K. Navrhuji 2x akumulační izolovaný zásobník LSX 1750 d1000 2V s objemem 1750 l.

Velikost akumulačního zásobníku topné vody:

$$\frac{V}{Q_{T\check{C}}} = \frac{1000 \cdot \Delta\tau}{\rho \cdot c \cdot \Delta t} => V = Q_{T\check{C}} \cdot \frac{1000 \cdot \Delta\tau}{\rho \cdot c \cdot \Delta t} = 128{,}3 \cdot \frac{1000 \cdot 600}{1010 \cdot 4186 \cdot 5} = 3{,}612\ m^3$$

Orientační návrh:

$$V = 15\ až\ 30\ \ l/kW = 128{,}3 \cdot 25 = 3{,}208\ m^3$$

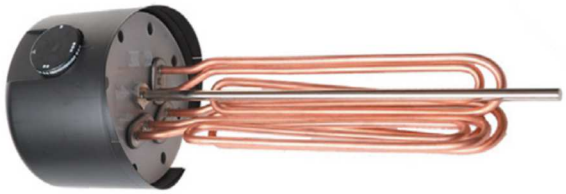


Obrázek 34: Charakteristika akumulačního zásobníku [78]

Tepelné čerpadlo bude pracovat v paralelně bivalentním provozu, v případě nižší teploty než je teplota bivalence, kterou není možné z dostupných podkladů určit a byla stanovena dle zkušeností pro klimatické pásmo ČR -5 °C, se připne elektrická topná příruba Dražice RSW 18-15 s výkonem 15 kW.

R, SE		REU 18-2,5	RDU 18-2,5	RDU 18-3	RDU 18-3,8	RDU 18-5	RDU 18-6	RDW 18-7,5	RDW 18-10	RSW 18-12	RSW 18-15	SE 377	SE 378
Objednací číslo		100641120	100641124	100641125	100541531	100541532	100541530	100541533	100541529	100541527	100541528	100541517	100541511
Výkon	[kW]	2,5	2,5	3	3,8	5	6	7,5	10	12	15	8-11-16	9,5-14-19
Hmotnost	[kg]	3	3,3	3,4	3,5	3,5	3,5	3,7	4	4	4,2	8	11,5
Zástavbová délka	[mm]	450	450	450	450	450	450	450	450	530	630	610	740
Elektrické připojení		1/N/PE ~ 230V/ 50Hz	3/N/PE ~ 400V/ 50Hz, ⅄	3/N/PE ~ 400V/ 50Hz, ⅄	3/N/PE ~ 400V/ 50Hz, ⅄	3/N/PE ~ 400V/ 50Hz, ⅄	3/N/PE ~ 400V/ 50Hz, ⅄	3/N/PE ~ 400V/ 50Hz, ⅄	3/N/PE ~ 400V/ 50Hz, ⅄	3/N/PE ~ 400V/ 50Hz, ⅄	3/N/PE ~ 400V/ 50Hz, ⅄	3/N/PE ~ 400V/ 50Hz, △	3/N/PE ~ 400V/ 50Hz, △
Doporučená hodnota jističe	[A]	16	3×6	3×6	3×10	3×10	3×16	3×16	3×20	3×20	3×25	3×32	3×32
Elektrické krytí		IPX4											

Délky jsou v toleranci ± 10 mm.



Obrázek 35: Charakteristika topné příruby [79]

Otopný systém a rozvody

Systém radiátorového vytápění bude navržen s teplotním spádem 50/35 °C a budou využity směšovací topné okruhy. Z akumulačního zásobníku je teplotně upravená voda vedena do kombinovaného rozdělovače a sběrače, z kterého budou distribuovány otopné větve. Distribuci topné vody po soustavě budou zajišťovat oběhová čerpadla. Systém bude navržen jako dvoutrubkový z izolovaného měděného potrubí. Páteřní rozvod bude veden pod stropem v 1.PP (garáži) Tichelmannovým způsobem rozvodu a na patě každé stoupačky budou umístěny vyvažovací ventily. V bytech bude potrubí vedeno v podlahách. Potrubí bude pájeno tvrdou pájkou nebo lisovanými spoji. V nejvyšších bodech každé větve bude umístěn automatický odvzdušňovací ventil. V nejnižších bodech a dále v kotelně budou umístěny vypouštěcí ventily. Potrubí bude pomocí kluzných a pevných bodů připevněno k železobetonovému stropu. Dilatace potrubí bude dodržena u větších přímých rozvodů kompenzátory tvaru U.

Otopné plochy

Jako otopné plochy budou navržena desková otopná tělesa KORADO RADIK RC VKU s řízeným zatékáním s pravým či levým spodním připojením VENTIL KOMPAKT. V koupelnách budou navrženy trubkové registry KORALUX LENEAR MAX se spodním krajním připojením. Teplotní spád, jak bylo uvedeno v předešlém odstavci bude navržen 50/35 °C. Potrubí bude vedeno v podlahách místností a v místech napojení budou vystupovat a přes kolenovou přípojku připojeny. Výkony těles budou doloženy výpočtem.

Zabezpečovací zařízení

Jednotlivé okruhy systému (primární a sekundární rozvod tepelného čerpadla, okruh mezi akumulačním zásobníkem a R+S) budou jištěny pojistnými ventily a tlakovými expanzními nádobami dle normy ČSN 06 0830[16]. Pojistné ventily slouží proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku. Budou umístěny u zdrojů tepla a akumulačního zásobníku. Odkapy budou svedeny do kanalizace. Expanzní nádoby slouží k vyrovnání změn objemů v topných větvích. Budou napojeny na vratná potrubí do pojistného úseku opatřeny uzavíratelnými kulovými

kohouty zabezpečeny proti nepatřičnému uzavření. Velikosti, dimenze a parametry budou stanoveny výpočtem.

Oběhová čerpadla a další armatury

Nucený oběh vody bude zajištěn oběhovými čerpadly umístěných na přívodních topných větvích za kombinovaným rozdělovačem a sběračem. Oběhová čerpadla budou navržena značky WILO dimenzována na tlakovou ztrátu topných větví. Budou vybaveny elektronickou regulací výkonu v závislosti na provozním režimu. Na jednotlivých větvích budou dále instalovány další nezbytné armatury, jako regulační ventily STAD zajišťující hydronické vyvážení a regulaci průtoků, vyvažovací ventily, které v případě nutnosti upraví dispoziční tlak do potřebných mezích a posunutí pracovních bodů čerpadel do vhodnějších poloh pracovních oblastí, regulační šroubení, zpětné klapky a filtry.

Obrázek 36: Oběhové čerpadlo Wilo [80]

Izolace

Návrhem tepelných izolací se zabývá vyhláška č. 193/2007 Sb.[10] a zadávají povinnost opatřit rozvody izolacemi s tepelnou vodivostí ≤ 0,04 W/(m^2·K). Pro potrubí vedeno volně bude navržena izolace návleková. Pro potrubí vedeno v drážkách a konstrukcích bude využita izolace z pěnového polyetylenu. Dle výpočtů budou navrženy izolace ROCKWOOL FLEXOROCK.

Doplňování a úprava vody

K doplňování a změkčování topné vody bude použita voda z veřejného vodovodu a systém bude napojen přes oddělovací člen, který zamrzí při změnách tlaku ke zpětnému proudění média do rozvodu pitné vody. Důsledkem nedostatku topné vody by mohlo vést k tvorbě vzduchových bublin, narušení správné funkce expanzního zařízení, kavitaci oběhových čerpadel a výpadku soustavy. K napojení nebude navrženo čerpadlo, pouze regulační ventil, který doplní vodu při poklesu tlaku v soustavě. Změkčovač vody bude obsahovat dvě změkčovací patrony. Navržen bude systém od společnosti REFLEX.

Regulace otopného systému

Regulace provozu pro topné okruhy a okruh tepelného čerpadla bude řízena ekvitermně v závislosti na venkovní teplotě. Ekvitermní čidlo bude umístěno na severní fasádě min. 2,5 m nad úrovní terénu a min. 1 m od výplní otvorů. Jednotlivé větve budou regulovány pomocí třícestných ventilů umístěných na jednotlivých otopných větvích na základě řízených teplot.

Ty budou dimenzovány na příslušné průtoky, dispoziční tlaky a autority. Otopná tělesa budou hydraulicky regulována pomocí termostatických ventilů a budou opatřena termostatickou hlavicí. Ke zjištění teploty v interiéru bude umístěné čidlo v referenční místnosti. Návrh regulace upřesní a provede specializovaný odborník.

Zkoušky zařízení

Po instalaci jednotlivých komponentů soustavy je nutné jejich odzkoušení dle ČSN 06 0310[14]. Vše musí být zaznamenané ve stavebním deníku. Před zkouškami bude provedeno propláchnutí soustavy. První se provede zkouška tlaková při nejvyšším dovoleném přetlaku soustavy. Po naplnění a odvzdušnění zkouška probíhá 6 hodin. Následuje zkouška provozní. Tu dělíme na dilatační a topnou. Dilatační zkouška se provádí před zazděním drážek ve stěnách a zaizolováním potrubí. Probíhá při maximální pracovní teplotě a poté se nechá vychladnout na teplotu okolního vzduchu. Celkem se provádí dvakrát. Topná zkouška trvá 72 hodin při které musí být odzkoušeny všechny provozní stavy. Slouží k zjištění funkce a seřízení armatur.

B. 4. 4 Návrh přípravy teplé vody

Příprava teplé vody bude uvažována centrální se zásobníkovým akumulačním ohřevem. Zdrojem tepla bude tepelné čerpadlo typu země/voda s geotermálními zemními vrty s hloubkou 120 m, které bude pracovat v přepínacím režimu, jak bylo popsáno v předešlé kapitole. Pro potřeby uživatelů bude sloužit akumulační nádoba, která bude plnit funkce zásoby tepelné energie. Voda v ohřívači bude ohřívána přes teplosměnnou plochu výměníku. Koncepce bude s výhodou využita z několika důvodů.

- Vyrovnává odběrné špičky, které nastanou především ve večerních hodinách.
- Pro tento způsob ohřevu není nutné navrhovat velké výkony zdroje tepla a samotné teplo se ukládá v průběhu celého dne.
- Jedná se o tzv. komfortní odběr, kdy je možnost zásobovat teplou vodou více armatur najednou a teplota u výtokových armatur nekolísá.

Před ohřevem studené vody vstupující do ohřívače je nutné ji chemicky (antikorozní a antikraslační látky) a fyzikálně (působení magnetického pole na protékající vodu pro ovlivnění krystalizace) ošetřit. Požadavky na teplotu vody u výtokové armatury se pohybuje podle platných právních předpisů v rozmezí teplot 45-60 °C. Hodnota je také odvislá od nežádoucího výskytu bakterie legionelly, pro kterou je vhodné teplotní rozmezí od 25-50 °C. Z důvodu velkých půdorysných délek, nevyhovující podmínce dle ČSN EN 806-2[30] dodávky teplé vody k odběrnému místu do 30 s a většímu průtoku než 3 l/s od místa odběru k výtokové armatuře bude navrženo cirkulační potrubí. Cirkulační potrubí se navrhuje v závislosti poklesu teplot, kdy od ohřívače k přípojnému místu cirkulace a přívodního potrubí nesmí teplota poklesnout o více než 3 K a od výstupu z ohřívače ke vstupu cirkulačního potrubí zpět do ohřvače by neměla podklesnou o více než 5 K.[30] Regulaci teploty v místech odběru budou zajišťovat pákové směšovací baterie.

Materiálem rozvodů teplé vody bude PVC a tvarovky budou spojovány svařováním za studena. Dimenze potrubí, spády, délky budou stanoveny dle výpočtu. Typické parametry ztrát zásobníku a potrubí jsou stanoveny dle TNI 73 0331:2013[37].

B. 4. 4. 1 Varianta I

Tato varianta uvažuje podporu vytápění a ohřev teplé vody pouze jedním energetickým zdrojem, a tím je tepelné čerpadlo země/voda. Pro přípravu teplé vody bude sloužit samostatný zásobník vybavený elektrickou vložkou pro případný dotop. Těleso v zásobníku teplé vody bude pracovat nezávisle na režimu tepelného čerpadla. Průtoky vody mezi tepelným čerpadlem a dotovanými zásobníky je dán výpočtem a hydraulickými parametry systému.

Stanovení výkonových poměrů soustavy

Následující porovnání stanovuje podílem výkony jednotlivých zdrojů tepla z celkové potřebného výkonu 11,23 kW:

- Tepelné čerpadlo – ohřev z 10 na 50 °C => 89 % z požadavku:

$$Q_{TV,TČ} = 11{,}23 \cdot 0{,}89 = 10 \text{ kW}$$

- Elektrický dotop – z 50 na 55 °C => 11 % z požadavku:

$$Q_{TV,EL} = 11{,}23 \cdot 0{,}11 = 1{,}23 \text{ kW}$$

Teplosměnná plocha výměníku pro tepelné čerpadlo

Podle navrženého teplotního spádu tepelného čerpadla 55/40 °C bude výpočtem stanovena velikost teplosměnné plochy spirálového výměníku umístěného uvnitř akumulační nádrže. Předpokladem výpočtu je ohřev teplé vody tepelným čerpadlem z 10 na 50 °C.

$$\Delta t = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{ln\frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} = \frac{(55 - 50) - (40 - 10)}{ln\frac{(55 - 50)}{(40 - 10)}} = 13{,}95\ °C$$

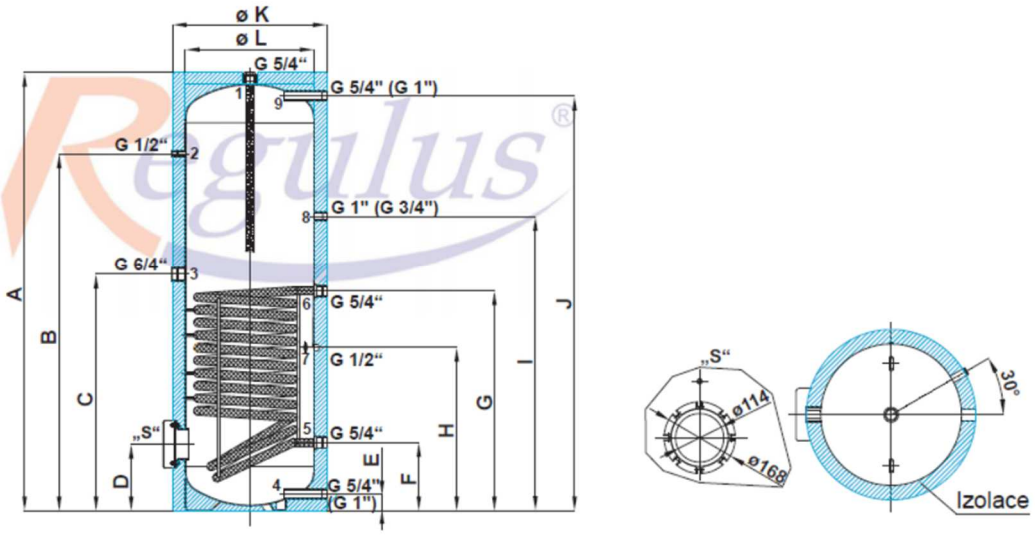
$$A = \frac{Q_{TV,TČ} \cdot 10^3}{U \cdot \Delta t} = \frac{10 \cdot 10^3}{420 \cdot 13{,}95} = 1{,}24\ m^2$$

B. 4. 4. 1. 1 Návrh zásobníku teplé vody

Dle stanovených hodnot je požadavek na velikost zásobníku teplé vody 1 686 l a teplosměnná plocha výměníku pro ohřev musí být minimálně 1,24 m^2. Navrhuji zásobníkový ohřívač vody Regulus RBC 2000 s jedním smaltovým spirálovým výměníkem pro připojení tepelného čerpadla s instalovaným el. topným tělesem a 3 magneziovými anodami. Teplota v zásobníku vody bude udržována na hodnotách 55-60 °C z důvodu ochrany proti tvorbě bakterie legionelly. Tepelná izolace bude z tvrzené polyuretanové pěny s PVC fólií a zipem.

Typ - model		RBC200	RBC300	RBC400	RBC500	RBC750	RBC1000	RBC1500	RBC2000	RBC2500	RBC3000
Kód zásobníku	a	3252	3253	6479	6480	4037	4038	7834	8476	12420	8477
Objem zásobníku [l]	b	200	300	400	500	750	1000	1500	2000	2500	3000
Objem top. hada [l]	c	8,5	9,5	11	14	19	20	26	28,5	30,0	31,5
Plocha top. hada [m²]	d	1,5	1,7	1,9	2,5	3,4	3,5	4,2	4,5	4,8	5,2
Prázdná hmotnost (transportní) [kg]	e	82	109	131	163	240	262	282	359	393	446
Příprava TV Δt=35 °C (80/60 - 10/45) [l/hod] ([kW])	f	1280 (51,9)	1450 (58,8)	1620 (65,8)	2000 (84,7)	2780 (112,7)	2860 (116)	3360 (136,2)	4182 (146)	4242 (149)	4328 (152)
Rozměry [mm]	A	1265	1710	1655	1785	1870	2120	2285	2550	2680	2980
	B	997	1431	1385	1400	1430	1680	1825	2090	2130	2430
	C	797	986	980	1150	1050	1050	1255	1310	1400	1400
	D	257	257	268	335	400	400	520	550	640	640
	E	67	67	79	175	220	220	315	340	430	430
	F	263	263	314	320	385	385	470	460	550	550
	G	758	848	874	1075	970	970	1180	1160	1250	1300
	H	593	653	689	825	775	870	943	927	1075	1075
	I	915	1140	1204	1315	1350	1545	1460	1650	1740	2040
	J	1164	1609	1541	1595	1590	1840	1935	2210	2250	2550
	ø K	610	610	710	760	950	950	1200	1300	1400	1400
	ø L	500	500	600	650	790	790	1000	1100	1200	1200
Klopná výška bez izol.								2281	2548	2648	2979

Obrázek 37: Charakteristika zásobníkového ohřívače varianty I [81]

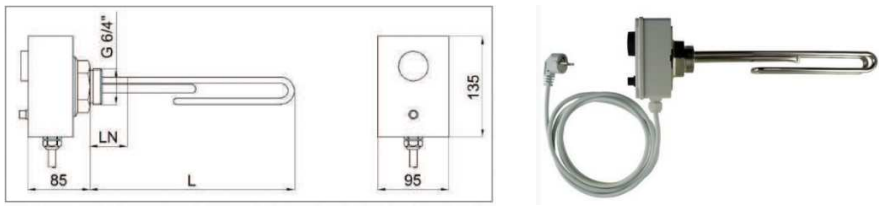


Ozn. vývodu	Příklad I. S plynovým kotlem	Příklad II. Rozšíření plochy sol. výměníku	Příklad III. S tepelným čerpadlem	Příklad IV. S elektrodohřevem
1	magnesiová anoda	magnesiová anoda	magnesiová anoda	magnesiová anoda
2	teploměr	teploměr	teploměr	teploměr
3	zátka	elektrické topné těleso	elektrické topné těleso	elektrické topné těleso
4	přívod studené vody	přívod studené vody	přívod studené vody	přívod studené vody
5	výstup do kotle	výstup do solárního systému	výstup do tepelného čerpadla	výstup do solárního systému
6	vstup z kotle	vstup ze solárního systému	vstup z tepelného čerpadla	vstup ze solárního systému
7	teplotní čidlo, termostat	teplotní čidlo	teplotní čidlo	teplotní čidlo
8	cirkulace	cirkulace	cirkulace	cirkulace
9	výstup teplé vody	výstup teplé vody	výstup teplé vody	výstup teplé vody
příruba	zaslepena	přídavný výměník sol. systému	výměník solárního systému	elektrické topné těleso

Obrázek 38: Možnosti napojení soustav do akumulačního zásobníku varianty I [81]

B. 4. 4. 1. 2 Návrh elektrického topného tělesa

Požadavek na výkon topného tělesa pro zajištění teploty 55 °C je 1,23 kW. Tato teplota je hraniční, nicméně dostačující a voda je tak chráněna proti množení bakterie legionelly. Do rezervy tedy navrhuji elektrické topné těleso ETT-M s výkonem 2 kW, které v případě nutnosti ohřeje teplou vodu na vyšší teploty.



MODEL		ETT-M 1,2	ETT-M 2,0	ETT-M 2,4	ETT-M 3,0
JMENOVITÝ VÝKON	kW	1,2	2,0	2,4	3,0
JMENOVITÝ PROUD	A	5,2	8,7	10,4	13,0
DÉLKA TĚLESA (L)	mm	300	350	420	450
DÉLKA NETOPÍCÍHO KONCE (LN)	mm	180	180	180	180
OBJEDNACÍ KÓD	--	15 166	15 167	15 168	15 169

Obrázek 39: Charakteristika topného tělesa varianty I [82]

Funkční schéma zapojení tepelného čerpadla do systému ohřevu teplé vody je uvedeno v příloze č. XX.

B. 4. 4. 2 Varianta II

V této variantě bude uvažováno s dalším zdrojem energie pro ohřev teplé vody, a to se solární soustavou umístěnou na střeše objektu. Tento zdroj bude navržen jako doplňkový a podpora ke stávajícímu návrhu v první variantě. V této variantě bude také uvažováno s návrhem výměníků zpětného získávání tepla z odpadních vod pro sprchové kouty a vany. Nicméně vlastní posouzení bude odvislé od toho, zda bude výhodnějším způsobem ohřívat teplou vodu pouze tepelným čerpadlem, či s podporou solární soustavy a navržených sprchových výměníků. Jako zdroj energie bude opět sloužit jeden akumulační zásobník, napojený na zásobník solární a pro případný dotop v zimním období, kdy nebudou schopné ostatní zdroje pokrýt potřebu tepla, bude navrženo elektrické topné těleso. V této variantě bude také primárně dotován tepelným čerpadlem zásobník topné vody a v případě nedostatečné teploty v akumulačním zásobníku vody teplé se přepne do režimu dotování tepelnou energií právě zásobník teplé vody. Průtoky vody mezi tepelným čerpadlem, solárním systémem a dotovaným zásobníkem je dán výpočtem a hydraulickými parametry systému.

B. 4. 4. 2. 1 Zpětné získávání tepla z odpadní vody (ZZTOV)

Pro zpětné získávání tepla z odpadních vod ze sprchových koutů a van budou navrženy lokální protiproudé výměníky NELA od společnosti SAKAL. Výměníky budou nainstalovány nejlépe přímo pod sprchové a vanové konstrukce. Teplosměnnou plochu tvoří desky z leštěného nerezového plechu. Uvnitř výměníku dochází k výměně tepla mezi přiváděnou studenou vodou o teplotě zpravidla 10 °C a již využitou odpadní vodou ze sprch. Předehřátá voda z výměníku se následně přivede do směšovací baterie, kde se mísí s ohřátou vodou z akumulačního zásobníku o teplotě cca 55 °C. Před výměník nutné osadit sifón a napojení do výměníku probíhá přes dimenzi DN40, odvod je sveden do kanalizace. Při návrhu budou zohledněny výsledky experimentu Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Technické informace

- skříň výměníku: vakuový výtažek z plastu ABS
- těleso výměníku z nerezového plechu ASIS 316
- rozměry skříně: 552 x 144 x 87 mm
- váha: 1800 g
- připojení odpadní strany: DN 40
- připojení vody: G 3/4“, (1/2“)
- maximální pracovní teplota: 90 °C
- maximální pracovní tlak: 16 bar

Obrázek 40: Charakteristika výměníku ZZTOV [83]

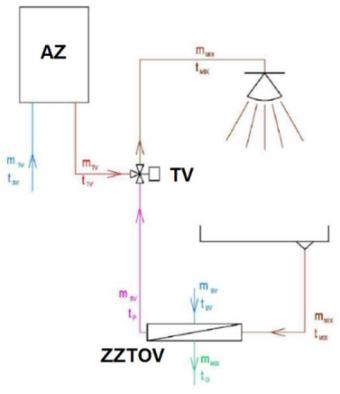
Výsledky z měření experimentu

délka sprchovacího cyklu	**4 min**	**10 min**	**4 min**	**10 min**
teplota teplé vody t_{TV} [°C]	45.0	45.6	55.0	55.7
účinnost výměníku η [-]	**0.456**	**0.477**	**0.345**	**0.364**
teplota mísené vody t_{MV} [°C]	37.7	37.9	36.7	36.6
vychlazení vody ve sprše Δt [K]	6.6	5.3	5.3	5.2
poměrná úspora z měření $\Theta_{ZZT,měř}$	**0.103**	**0.129**	**0.129**	**0.150**

Tabulka 33: Výsledky z měření dle ČVUT fakulty stavební v Praze [43]

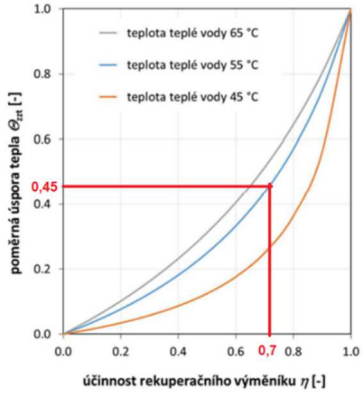
Dle výrobce je deklarovaná úspora energie 45 %, což odpovídá dle níže uvedeného grafu účinnosti η = 0,7. Pro účely výpočtu však bude uvažováno s hodnotou η = 0,35, z důvodu dynamického průtoku a různých teplot vody protékající výměníkem. Uvedená hodnota je přibližným výsledkem experimentu provedeného na fakultě stavební ČVUT v Praze. Poměrná úspora tepla se pro hodnotu účinnosti pohybuje kolem 13-15 %.

Schéma zapojení



Obrázek 41: Schéma výměníku ZZTOV [43]

Experimentem měřena poměrná úspora



Graf 15: Graf úspory tepla ZZTOV [43]

B. 4. 4. 2. 2 Návrh solární soustavy

Stanovení výkonových poměrů soustavy

Na rozdíl od předešlé varianty se solární soustava na navrhuje na pokrytí celkové potřeby tepla během roku. Soustava se řadí mezi velké soustavy s větší plochou absorbéru než 20 m^2 a podíl pokrytí potřeby bude navržen na 45-50 %. Měsíční potřeby energie vychází z potřeb denních 269,58 kWh/den dle kapitoly B. 3. 2. Ve výpočtu bylo uvažováno s úsporou tepla vlivem výměníku tepla odpadních vod ze sprch a van s hodnotou 15 % dle kapitoly B. 4. 4. 1.

Název měsíce		Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Pořadí měsíce		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Počet dní v měsíci		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$Q_{TV,den}$	[kWh/den]	269,58	269,58	269,58	269,58	269,58	269,58	269,58	269,58	269,58	269,58	269,58	269,58
$Q_{TV,měsíc}$	[kWh/měsíc]	8356,98	7548,24	8356,98	8087,40	8356,98	8087,40	8356,98	8356,98	8087,40	8356,98	8087,40	8356,98
Θ_{ZZT}	[kWh/měsíc]	1253,55	1132,24	1253,55	1213,11	1253,55	1213,11	1253,55	1253,55	1213,11	1253,55	1213,11	1253,55
$Q_{TV,měsíc} - \Theta_{ZZT}$	[kWh/měsíc]	7103,43	6416,00	7103,43	6874,29	7103,43	6874,29	7103,43	7103,43	6874,29	7103,43	6874,29	7103,43
$Q_{TV,rok}$	[kWh/rok]	**83637,20**											

Tabulka 34: Tabulka potřeby teplé vody

Návrh solárního termického systému, resp. využitelné tepelné zisky solární soustavy budou vypočteny dle algoritmu zjednodušenou metodou v souladu s TNI 73 0302:2014[35]. Potřeba tepla na přípravu teplé vody bude přenesena z předešlých výpočtů se zadáním pro každý měsíc potřeby tepla zvlášť.

Navrhuji ploché deskové solární kolektory Buderus Logasol SKN 4.0 CKN2.0-s ve svislém provedení s celoplošným hliníkovým absorbérem a vanou kolektoru z plastu vyztužené skelnými vlákny. Rozměry kolektoru jsou 1 181 x 2 023 x 87 mm. Kolektory budou orientovány na jih se skloněnou plochou a úhlem β = 45° od vodorovné roviny. Technické vlastnosti pro návrh kolektorového pole jsou:

- plocha apertury kolektoru - A_k = 2,25 m^2;
- optická účinnost kolektroru při nulové ztrátě - η_0 = 0,77;
- účinnost kolektoru - η_{sol} = 60 %;
- koeficient prvního řádu - a_1 = 3,216 W/($m^2 \cdot$K);
- koeficient druhého řádu - a_2 = 0,015 W/($m^2 \cdot K^2$);
- modifikátor dopadu – IAM = 0,92.

Obrázek 42: Charakteristika solárního kolektoru [84]

Algoritmus výpočtu využitelných tepelných zisků solární soustavy dle TNI 73 0302:2014

Teoretický měsíční využitelný tepelný zisk ze solárních kolektorů:

$$Q_{k,u} = 0{,}9 \cdot \eta_k \cdot n \cdot H_{T,den} \cdot A_k \cdot (1 - p) \qquad [kWh/měsíc]$$

kde η_k střední denní (měsíční) účinnost solárního kolektoru;

n počet dnů v měsíci

$H_{T,den}$ skutečná denní dávka slunečního ozáření v kWh/(m^2·den);

A_k plocha apertury solárních kolektorů v m^2;

p hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát.

Téměř všechny veličiny daného vztahu jsou tabulkové nebo dohledatelné v technické dokumentaci kolektoru. Zbývá stanovit tzv. střední denní účinnost solárního kolektoru:

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \left(\frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} \right) - a_2 \cdot \frac{\left(t_{k,m} - t_{e,s}\right)^2}{G_{T,m}} \qquad [-]$$

kde $G_{T,m}$ střední denní sluneční ozáření uvažované plochy solárních kolektorů ve W/m^2;

$t_{k,m}$ střední denní teplota teplosměnné kapaliny v solárních kolektorech ve °C;

$t_{e,s}$ střední venkovní teplota v době slunečního svitu °C.

Plocha apertury solárních kolektorů se určí dle vztahu:

$$A_k = \frac{(1 + p) \cdot Q_{TV,den}}{q_K} \qquad [kWh/měsíc]$$

kde $Q_{TV,den}$ celková potřeba tepla na ohřev teplé vody za den kWh/den;

q_K denní měrný tepelný zisk kWh/(m^2·den).

$$q_k = \eta_k \cdot H_{T,den} \quad [kWh/(m^2 \cdot den)]$$

Pro vyjádření pokrytí slouží tzn. využitelné zisky solární soustavy, které se vyjádří jako průnik celkové potřeby tepla a teoreticky využitelné tepelné zisky solárních kolektorů:

$$Q_{ss,u} = min\left(Q_{k,u}; Q_{p,c}\right) \qquad [kWh/měsíc]$$

kde $Q_{k,u}$ teoretické tepelné zisky solárních kolektorů v kWh/měsíc;

$Q_{p,c}$ celkové potřeby tepla v jednotlivých měsících v kWh/měsíc;

Celkové roční využitelné zisky se se stanoví jako součet měsíčních hodnot. Tato hodnota je podělena celkovou plochou apertury a používá se jako ukazatel pro posouzení úspory energie, emisí či provozních nákladů:

$$q_{ss,u} = \frac{\sum_I^{XII} Q_{ss,u}}{A_k} \qquad [kWh/(m^2 \cdot rok)]$$

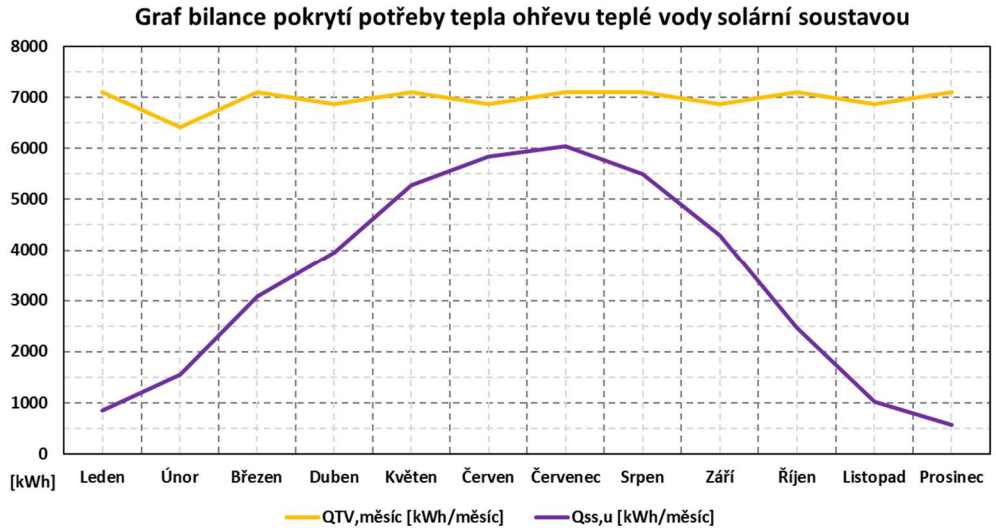
Solární podíl, resp. procentní pokrytí potřeby tepla v dané aplikaci využitelnými zisky v daném období se stanoví dle:

$$f = 100 \cdot \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}} \quad [\%]$$

Vyjádření využitelných tepelných zisků solární soustavy

Název měsíce		Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Pořadí měsíce		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Počet dní v měsíci		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$Q_{TV,den}$	[kWh/den]	229,14	229,14	229,14	229,14	229,14	229,14	229,14	229,14	229,14	229,14	229,14	229,14
$Q_{TV,měsíc}$	[kWh/měsíc]	7103,43	6416,00	7103,43	6874,29	7103,43	6874,29	7103,43	7103,43	6874,29	7103,43	6874,29	7103,43
$Q_{TV,rok}$	[kWh/rok]	**83 637,20**											
$t_{k,m}$	[°C]	40											
$t_{e,s}$	[°C]	2,2	3,4	6,5	12,1	16,6	20,6	22,5	22,6	19,4	13,8	7,3	3,5
$G_{T,m}$	[W/m^2]	418	489	535	527	521	517	512	515	516	488	427	387
η_k	[-]	0,43	0,49	0,54	0,58	0,61	0,64	0,65	0,65	0,63	0,58	0,49	0,42
p	[-]	0,05											
$H_{T,den}$	[kWh/(m^2·den)]	1,10	1,97	3,20	3,96	4,84	5,29	5,19	4,71	3,95	2,40	1,21	0,77
q_k	[kWh/(m^2·den)]	0,47	0,96	1,72	2,29	2,95	3,38	3,38	3,07	2,49	1,38	0,59	0,32
$A_{k,měsíc}$	[m2]	511,2	250,2	140,0	105,2	81,5	71,2	71,2	78,3	96,8	174,0	409,0	752,9
A_k	[m2]	67,5											
n	[ks]	30											
$Q_{k,u}$	[kWh/měsíc]	842,11	1554,15	3075,28	3960,07	5280,31	5847,11	6045,76	5498,57	4303,56	2474,26	1018,47	571,76
$Q_{k,u,rok}$	[kWh/rok]	**40 471,40**											
$Q_{ss,u}$	[kWh/měsíc]	842,11	1554,15	3075,28	3960,07	5280,31	5847,11	6045,76	5498,57	4303,56	2474,26	1018,47	571,76
$q_{ss,u}$	[kWh/(m^2·rok)]	599,58											
$f_{měsíc}$	[%/měsíc]	11,85	24,22	43,29	57,61	74,33	85,06	85,11	77,41	62,60	34,83	14,82	8,05
f_{rok}	[%/rok]	**48**											

Tabulka 35: Tabulka potřeby teplé vody

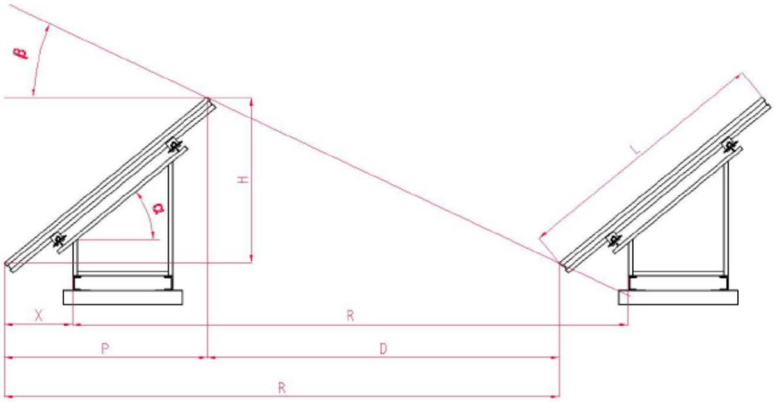


Graf 16: Graf bilance pokrytí potřeby tepla solární soustavou

Výpočtem bylo stanoveno 48% pokrytí potřeby tepla na ohřev teplé solární soustavou. Z celkové hodnoty potřeby, tj. $Q_{TV,rok}$ = 83 637 kWh bude pokryto $Q_{ss,u}$ = 40 471 kWh. Měrné využitelné roční zisky vychází $q_{ss,u}$ = 599,6 kWh/(m^2·rok). Na střešní konstrukci dle výpočtu bude navrženo 30 ks solárních kolektorů o celkové ploše apertury 67,5 m^2.

Kolektorové pole

Jedno kolektorové pole bude tvořit 6 ks v celkem 5-ti řadách v Tichelmannovém zapojení. Podpěrné konstrukce budou umístěny příčně, resp. kolmo na hlavní osu bytového domu směrem na jih se sklonem solárních kolektorů 45°. Rozteče řad budou stanoveny výpočtem.



Obrázek 43: Obrázek stanovení rozteče podpěrných konstrukcí solárních kolektorů [85]

$$R = P + D = cos\alpha \cdot L + \frac{sin\alpha \cdot L}{tg\beta} = cos45 \cdot 2\,023 + \frac{sin45 \cdot 2023}{tg45} = 2861\ mm$$

Obrázek 44: Schéma solárních kolektorů umístěných na střeše objektu

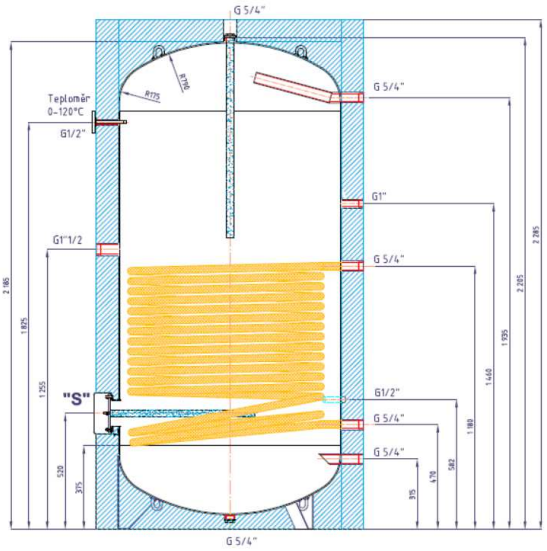
Sestava v kotelně

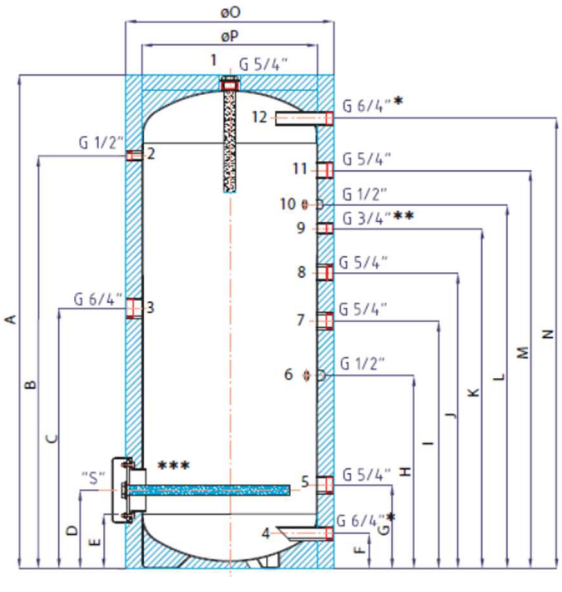
V kotelně bude primární okruh solární soustavy napojen přes deskový výměník. Akumulační okruh bude obsahovat solární zásobník teplé vody navrženého dle směrného čísla 40 l/m^2 . Celkový objem je stanoven pro 3 000 l, z toho 1 500 l solární zásobník a 1 500 l zásobník teplé vody s napojením druhého zdroje (tepelné čerpadlo). Pro potřebný dohřev jako rezervní zdroj tepla bude navrženo elektrické topné těleso.

B. 4. 4. 2. 3 Návrh solárního a akumulačního zásobníku

Solární zásobník bude sloužit pouze k uchování energie a plnit funkci tzv. předehřevu teplé vody. Tepelná energie ze solárních kolektorů bude do nádrže uchovávána přes navržený deskový výměník a ohřátá voda bude dopravována následně do akumulační nádrže. Navrhuji smaltovaný zásobník Regulus R0BC 1500 bez vnitřního výměníku s možností napojení výměníku externího. Objem zásobníku je 1494 l. Uvnitř bude instalována magneziová anoda jako ochrana proti vzniku koroze a zanášení rozvodného potrubí. Maximální provozní teplota v zásobníku je 95 °C. Zásobník bude izolován PU pěnou.

Akumulační zásobník teplé vody bude sloužit jako potřebný dohřev. Uvnitř bude osazen výměník z tepelného čerpadla jako doplňkový zdroj tepelné energie a jako rezervní zdroj pro ohřev teplé vody na vyšší hodnoty (55 – 60 °C) proti vzniku bakterie legionelly bude navrženo elektrické topné těleso. Do zásobníku bude přiváděna voda z předehřívacího zásobníku a odtud poté do rozvodů teplé vody k armaturám. Navrhuji zásobníkový smaltovaný ohřívač Regulus RBC 1500. Zásobník bude izolován tvrzenou polyuretanovou pěknou s PVC fólií a zipem. Teplosměnná plocha ve výměníku vyhovuje stanovenému požadavku 1,24 m^2.





Typ - model		RBC400	RBC500	RBC750	RBC1000	RBC1500	RBC2000	RBC2500	RBC3000
Kód zásobníku	a	6479	6480	4037	4038	7834	8476	12420	8477
Objem zásobníku [l]	b	400	500	750	1000	1500	2000	2500	3000
Objem top. hada [l]	c	11	14	19	20	26	28,5	30,0	31,5
Plocha top. hada [m²]	d	1,9	2,5	3,4	3,5	4,2	4,5	4,8	5,2
Prázdná hmotnost (transportní) [kg]	e	131	163	240	262	282	359	393	446
Příprava TV Δt=35 °C (80/60 - 10/45) [l/hod] ([kW])	f	1620 (65,8)	2000 (84,7)	2780 (112,7)	2860 (116)	3360 (136,2)	4182 (146)	4242 (149)	4328 (152)
Rozměry [mm]	A	1655	1785	1870	2120	2285	2550	2680	2980
	B	1385	1400	1430	1680	1825	2090	2130	2430
	C	980	1150	1050	1050	1255	1310	1400	1400
	D	268	335	400	400	520	550	640	640
	E	79	175	220	220	315	340	430	430
	F	314	320	385	385	470	460	550	550
	G	874	1075	970	970	1180	1160	1250	1300
	H	689	825	775	870	943	927	1075	1075
	I	1204	1315	1350	1545	1460	1650	1740	2040
	J	1541	1595	1590	1840	1935	2210	2250	2550
	ø K	710	760	950	950	1200	1300	1400	1400
	ø L	600	650	790	790	1000	1100	1200	1200
Klopná výška bez izol.						2281	2548	2648	2979

	R0BC 200	R0BC 300	R0BC 400	R0BC 500	R0BC 750	R0BC 1000	R0BC 1500	R0BC 2000	R0BC 2500	R0BC 3000
kód	10586	10571	10587	8795	10364	10365	10366	8884	10501	8901
a [l]	212	297	420	513	763	885	1494	2013	2508	2841
b [kg]	52	59	80	120	192	213	230	280	325	360
A [mm]	1265	1710	1690	1780	1870	2120	2285	2550	2680	2980
B [mm]	929	1384	1411	1480	1460	1680	1825	2090	2130	2430
C [mm]	629	914	891	949	890	890	1255	1310	1400	1400
D [mm]	257	257	268	335	400	400	520	550	640	640
E [mm]	170	170	180	235	280	280	375	400	490	490
F [mm]	110	110	120	175	220	220	315	340	430	430
G [mm]	264	264	286	305	385	385	470	460	550	550
H [mm]	474	654	660	685	685	685	945	985	1075	1075
I [mm]	579	849	846	865	835	835	1180	1160	1250	1300
J [mm]	679	979	1011	985	990	990	1330	1450	1540	1790
K [mm]	884	1141	1163	1235	1235	1235	1460	1650	1740	2040
L [mm]	914	1214	1245	1285	1340	1340	1600	1825	1905	2205
M [mm]	994	1294	1361	1335	1440	1440	1735	2000	2040	2340
N [mm]	1120	1565	1540	1595	1590	1840	1935	2210	2250	2550
øO [mm]	600	610	710	760	950	950	1200	1300	1400	1400
øP [mm]	500	500	600	650	790	790	1000	1100	1200	1200
kód anody	4025 9173* 13112***	4025 9174* 13112***	448 9174* 13112***	448 9174* 13112***	464 9175* 13112***	3698 9175* 13112***	464 13112*** 14429* 448**	3698 13112*** 14429* 464**	3698 13112*** 14429* 464**	3698 13112*** 14429* 464**
klopná výška [mm]	1405	1820	1830	1940	2100	2330	2590	2870	3030	3300

Obrázek 45: Charakteristika akumulačního zásobníku [86] *Obrázek 46: Charakteristika solárního zásobníku [87]*

Potrubí a izolace

Rozvod potrubí solárního okruhu bude šachtou sveden ze střechy do kotelny v 1.PP a bude opatřen vysokoteplotní izolací schopné odolat až 150 °C doplněnou na střeše hliníkovým oplechováním. Budou navrženy návlekové izolace z minerální vlny s U = 0,18 W/(m^2·K). Materiálem bude měď a trubky budou spojeny pájením natvrdo. Díky teplotní roztažnosti nemrznoucí směsi uvnitř potrubí je nutné na dlouhé přímé potrubí (10-15 m) umístit dilatační prvky (smyčky, ohyby či kompenzátory).

Čerpadlová skupina a zabezpečovací zařízení

Navržená čerpadlová skupina bude obsahovat solární čerpadlo, kulový ventil se zpětnou klapkou, solární pojistný ventil, teploměr, manometr, průtokoměr vypouštěcí a plnící ventily. Čerpadlo bude řízeno elektronicky s proměnným průtokem na základě snímaných teplot. Tlaková expanzní nádoba bude napojena přes odpojení nádoby, automatický těsnící uzávěr a manuální uzavření expanzním potrubím. Membrána uvnitř expanzní nádoby musí být odolná proti glykolu. Zabezpečovací zařízení musí odolat stagnačním teplotám. V nejvyšších bodech budou umístěny odvzdušňovací ventily. V nejnižších bodech naopak vypouštěcí ventily. Další prvky pro solární okruh jsou kalorimetrické měřidlo, zpětné klapky, filtr a napojení doplňovacího potrubí. To bude vedeno z ukapové nádrže od pojistného ventilu. Pro zpětné doplnění bude sloužit ruční pumpa.

Provozní kapalina

Jako teplonosná kapalina bude použita nemrznoucí ekologická směs na bázi monopropylenglykolu a vody. Chrání topné systémy před korozí a je určena pro využití až do -30°C.

Měření a regulace

MaR bude sloužit centrální řídící jednotka s teplotními čidly v horních částech kolektorů, příp. čidly intenzity záření. Jejím cílem je optimálně řídit nabíjení a vybíjení solárních zásobníků, uvádět do provozu a vypínat oběhové čerpadlo či regulovat průtok.

Před uvedením do provozu budou provedeny zkoušky proplachem a tlaková zkouška. 2x ročně je nutné provádět kontroly kolektorů, potrubních rozvodů, elektroinstalace, stav tepelných izolací, kontrola AOV, vyčištění filtru, kontrola tlaku v kolektorovém okruhu a kontrola sběrné nádoby u úkapu pojistného ventilu. Ve stanovené lhůtě je nutné provést výměnu nemrznoucí kapaliny.

B. 5 Porovnání variant

Úspora, resp. změna energetických poměrů se projeví v dodané energii pro ohřev vody a pomocné energii. Tuto změnu způsobují navržené výměníky ZZTOV a solární systém. Následující posouzení zhodnotí, zda bude výhodnější k primárnímu energetickému zdroji tepelnému čerpadlu jako podporu vyžít právě solární systém v kombinaci s výměníky tepla či nikoliv. Výsledky byly stanoveny dle softwaru Energie 2016.3 a nyní budou interpretovány a vyhodnoceny.

B. 5. 1 Energetické a porovnání

Úspora energie se dle tabulky na následující stránce projevila jak v celkové dodané, tak v neobnovitelné primární energii, základních ukazatelích energetické náročnosti budov. Tyto hodnoty jsou stanoveny pro celkovou energeticky vztažnou plochu a jejím podělením jsou vyjádřeny hodnoty zobrazené na PENB. Grafické části PENBů jsou přiloženy pro vlastní porovnání.

Varianta I

Rozdělení dodané energie podle energonositelů, primární energie a emise CO2

Energo-nositel	Faktory transformace			Vytápění ------- MWh/a ------			t/a	Teplá voda ------- MWh/a ------			t/a
	f,pN	f,pC	f,CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	107,2	321,6	343,1	125,4	47,9	143,8	153,4	56,1
Slunce a jiná energie prostř	0,0	1,0	0,0000	238,0	---	238,0	---	38,4	---	38,4	---
SOUČET				345,2	321,6	581,1	125,4	86,4	143,8	191,9	56,1

Energo-nositel	Faktory transformace			Osvětlení ------- MWh/a ------			t/a	Pom.energie ------- MWh/a ------			t/a
	f,pN	f,pC	f,CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	14,6	43,8	46,7	17,1	5,2	15,5	16,5	6,0
Slunce a jiná energie prostř	0,0	1,0	0,0000	---	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET				14,6	43,8	46,7	17,1	5,2	15,5	16,5	6,0

Energo-nositel	Faktory transformace			Nuc.větrání ------- MWh/a ------			t/a	Chlazení ------- MWh/a ------			t/a
	f,pN	f,pC	f,CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	40,5	121,6	129,8	47,4	12,6	37,8	40,4	14,8
Slunce a jiná energie prostř	0,0	1,0	0,0000	---	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET				40,5	121,6	129,8	47,4	12,6	37,8	40,4	14,8

Energo-nositel	Faktory transformace			Úprava RH ------- MWh/a ------			t/a	Export elektřiny -------	MWh/a	-------
	f,pN	f,pC	f,CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2	Q,el	Q,pN	Q,pC
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	---	---	---	---			
Slunce a jiná energie prostř	0,0	1,0	0,0000	---	---	---	---			
SOUČET				---	---	---	---			

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

Součty pro jednotlivé energonositele:	Q,f [MWh/a]	Q,pN [MWh/a]	Q,pC [MWh/a]	CO2 [t/a]
elektřina ze sítě	228,056	684,169	729,780	266,826
Slunce a jiná energie prostředí	276,456	---	276,456	---
SOUČET	504,512	684,169	1006,235	266,826

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

Tabulka 36: Výsledky dodané energie pro variantu I

Varianta II

Rozdělení dodané energie podle energonositelů, primární energie a emise CO2

Energo-nositel	Faktory transformace			Vytápění ------- MWh/a ------			t/a	Teplá voda ------- MWh/a ------			t/a
	f,pN	f,pC	f,CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	107,2	321,6	343,1	125,4	15,9	47,8	50,9	18,6
Slunce a jiná energie prostř	0,0	1,0	0,0000	238,0	---	238,0	---	59,9	---	59,9	---
SOUČET				345,2	321,6	581,1	125,4	75,9	47,8	110,9	18,6

Energo-nositel	Faktory transformace			Osvětlení ------- MWh/a ------			t/a	Pom.energie ------- MWh/a ------			t/a
	f,pN	f,pC	f,CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	14,6	43,8	46,7	17,1	5,9	17,7	18,9	6,9
Slunce a jiná energie prostř	0,0	1,0	0,0000	---	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET				14,6	43,8	46,7	17,1	5,9	17,7	18,9	6,9

Energo-nositel	Faktory transformace			Nuc.větrání ------- MWh/a ------			t/a	Chlazení ------- MWh/a ------			t/a
	f,pN	f,pC	f,CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	40,5	121,6	129,8	47,4	12,6	37,8	40,4	14,8
Slunce a jiná energie prostř	0,0	1,0	0,0000	---	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET				40,5	121,6	129,8	47,4	12,6	37,8	40,4	14,8

Energo-nositel	Faktory transformace			Úprava RH ------- MWh/a ------			t/a	Export elektřiny -------	MWh/a	-------
	f,pN	f,pC	f,CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2	Q,el	Q,pN	Q,pC
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	---	---	---	---			
Slunce a jiná energie prostř	0,0	1,0	0,0000	---	---	---	---			
SOUČET				---	---	---	---			

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

Součty pro jednotlivé energonositele:	Q,f [MWh/a]	Q,pN [MWh/a]	Q,pC [MWh/a]	CO2 [t/a]
elektřina ze sítě	196,791	590,374	629,732	230,246
Slunce a jiná energie prostředí	297,950	---	297,950	---
SOUČET	494,741	590,374	927,682	230,246

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

Tabulka 37: Výsledky dodané energie pro variantu II

B. 5. 1. 1 Průkaz energetické náročnosti budovy varianty I – grafická část

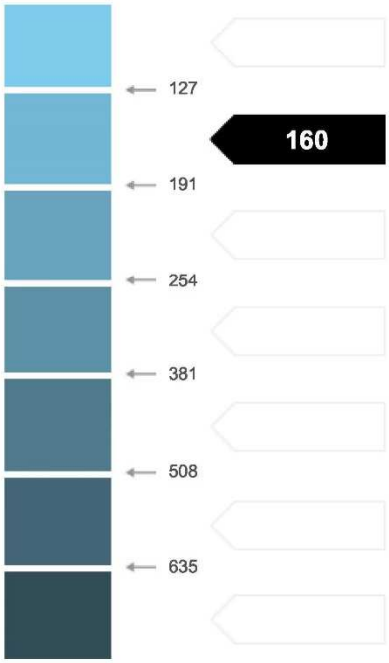
PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

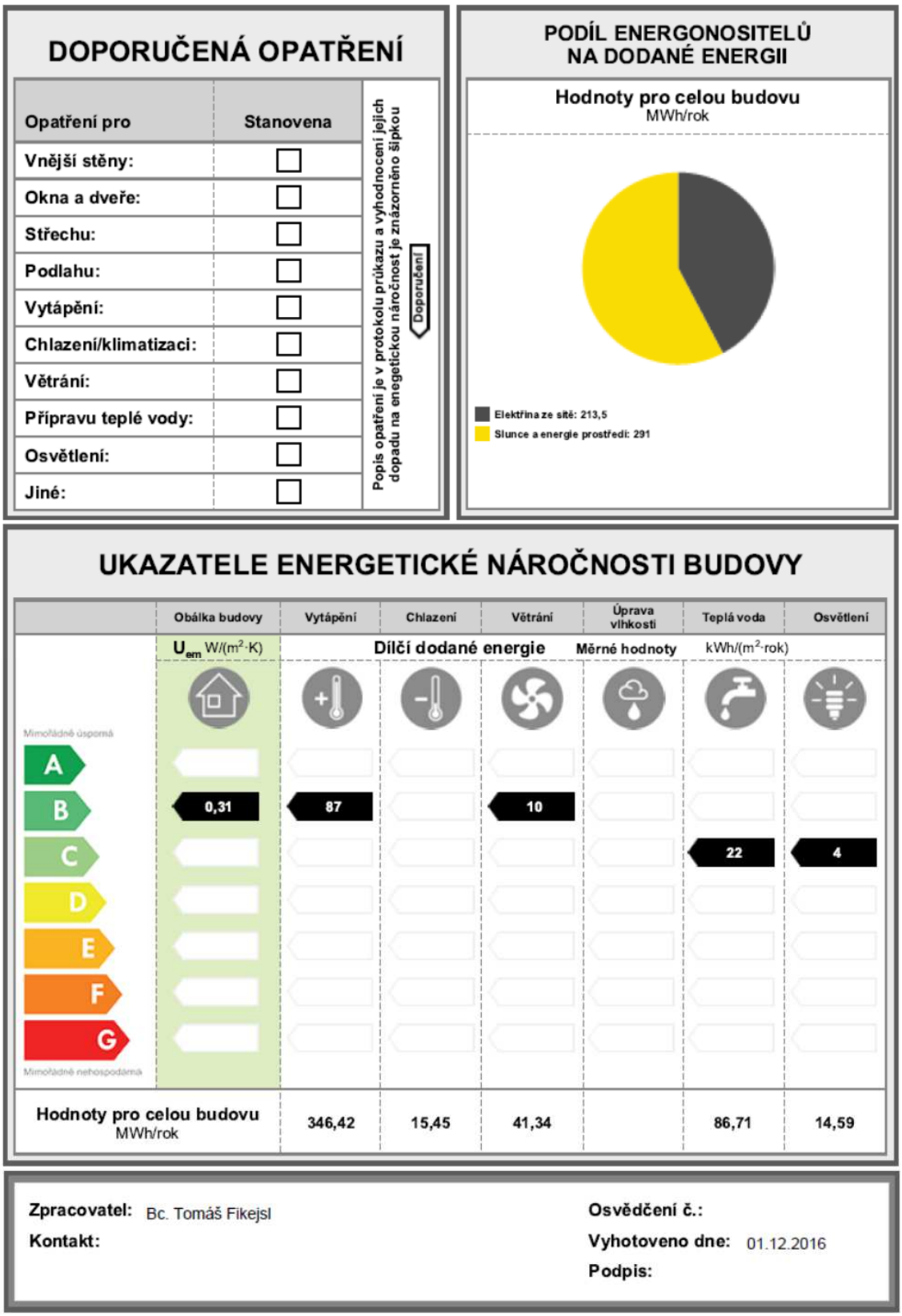
Ulice, číslo:	Obřanská, Olší
PSČ, místo:	Brno - Maloměřice
Typ budovy:	Bytový dům
Plocha obálky budovy:	**5225,1 m²**
Objemový faktor tvaru A/V:	**0,41 m²/m³**
Energeticky vztažná plocha:	**4003,7 m²**

ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

Celková dodaná energie (Energie na vstupu do budovy)	**Neobnovitelná primární energie** (Vliv provozu budovy na životní prostředí)
Měrné hodnoty kWh/(m²·rok)	



Hodnoty pro celou budovu MWh/rok	**504,512**	**640,475**



Obrázek 47: PENB varianty I – grafická část

Z výsledků varianty I je zřejmé, že požadavek na nZEB budovy je splněn a plní z více než 20 % dodávky energie z obnovitelných zdrojů energie. Varianta je doporučena k realizaci.

B. 5. 1. 2 Průkaz energetické náročnosti budovy varianty II – grafická část

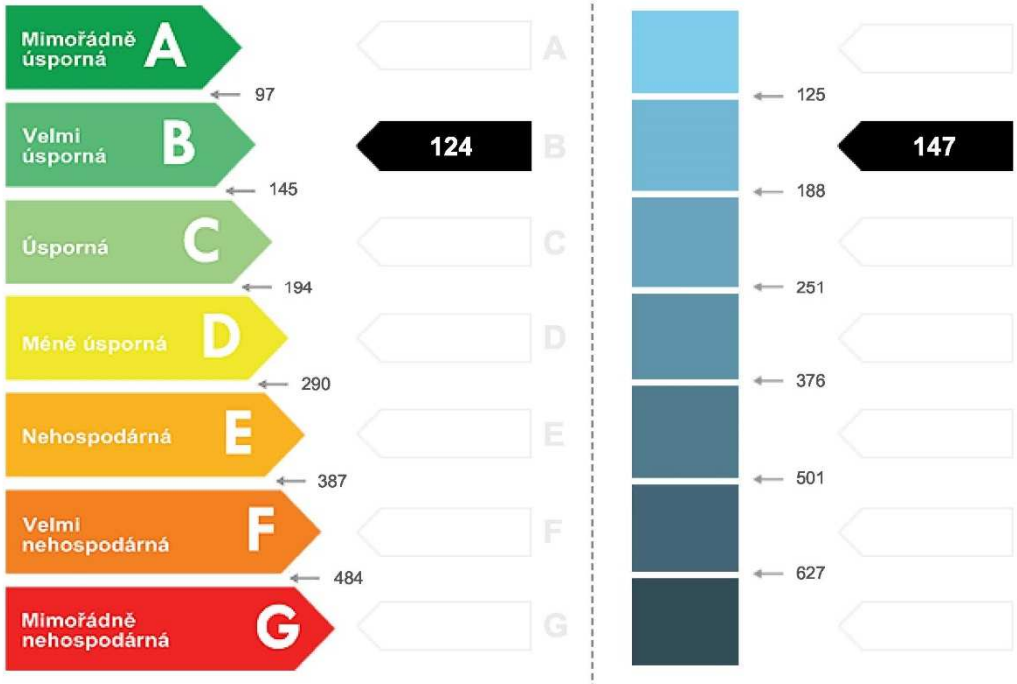
PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

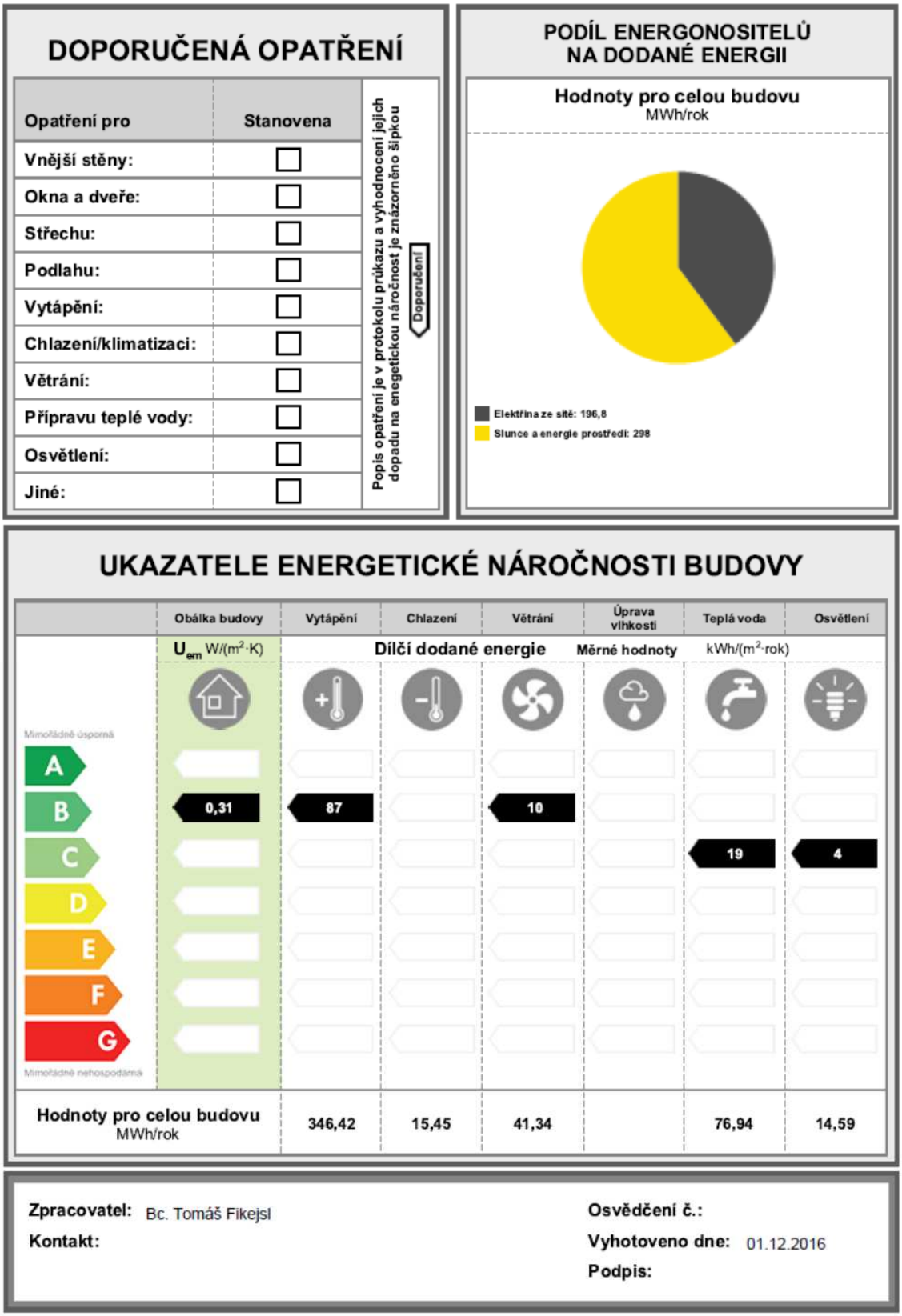
Ulice, číslo:	Obřanská, Olší
PSČ, místo:	Brno - Maloměřice
Typ budovy:	Bytový dům
Plocha obálky budovy:	**5225,1 m²**
Objemový faktor tvaru A/V:	**0,41 m²/m³**
Energeticky vztažná plocha:	**4003,7 m²**

ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

Celková dodaná energie (Energie na vstupu do budovy)	**Neobnovitelná primární energie** (Vliv provozu budovy na životní prostředí)
Měrné hodnoty kWh/(m²·rok)	



Hodnoty pro celou budovu MWh/rok	**494,741**	**590,374**



Obrázek 48: PENB varianty II – grafická část

Požadavek energetické úspory je dodržen, protože s použitím solární soustavy a výměníků ZZTOV klesá úspora elektrické energie přibližně o 16,7 MWh/rok. Varianta je doporučena k realizaci.

B. 5. 2 Ekonomické hledisko

Ekonomické vyhodnocení bude stanoveno dle metody vyhlášky č. 480/2012 Sb.[13], ve znění pozdějších předpisů. Metoda hodnotí celkem 4 ekonomické ukazatele. Následující vztahy určují algoritmus výpočtu:

Prostá doba návratnosti (doba splacení investice)

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad [roky]$$

kde IN investiční výdaje projektu v Kč

CF roční přínosy projektu (cash flow) v Kč/rok

Reálná doba návratnosti (doba splacení investice při uvažování diskontní sazby T_{sd})

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} CF_t(1+r)^{-t} - IN = 0 \quad [roky]$$

kde CF_t roční přínosy projektu (změna peněžních toků po realizaci projektu)

r diskont

$(1 + r)^{-t}$ odúročitel

Čistá současná hodnota

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_ž} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - IN \quad [tis.Kč/rok]$$

kde $T_ž$ doba životnosti (hodnocení projektu)

Vnitřní výnosové procento

$$\sum_{t=1}^{T_ž} CF_t \cdot (1+IRR)^{-t} - IN = 0 \quad [\%]$$

Vstupní investice výměníků ZZTOV a solární soustavy

Název produktu	Cena za měrnou jednotku	Počet	Cena celkem
	[Kč]	[ks]	[Kč]
Výměníky ZZTOV			
NELA Sprchový výměník + montáž	8 000 Kč	38	304 000 Kč
Solární systém			
Solární kolektor Buderus Logasol SKN 4.0	16 000 Kč	30	480 000 Kč
Hydraulické připojení, montážní sada pro 1 řadu, Buderus	7 500 Kč	10	75 000 Kč
Solární stanice a regulace KS0110/2 s modulem MS100	15 200 Kč	1	15 200 Kč
Solární zásobník Regulus R0BC 1500	71 900 Kč	1	71 900 Kč
Výměník Buderus SWT6	17 043 Kč	1	17 043 Kč
Potrubí, izolace, provozní kapalina, MaR + montáž	400 000 Kč	1	400 000 Kč
CELKOVÉ INVESTIČNÍ NÁKLADY			**1 363 143 Kč**

Tabulka 38: Investiční náklady varianty II

Vyhodnocení

Úspora energie	16,7	MWh/rok
Cena za 1 kWh elektrické energie	4,83	Kč/kWh
Úspora	80 661	Kč/rok
Doba životnosti projektu	20	roků
Růst ceny energií	3	%
Diskonstní míra	2	%
Prostá doba návratnosti	**14**	**roků**
Reální doba návratnosti	**17**	**roků**
Roční ekvivalentní finančí toky	**22 921**	**Kč**
NPV - čistá současná hodnota	**374 788**	**Kč**
IRR - vnitřní výnosové procento	**4**	**%**

Tabulka 39: Ekonomické vyhodnocení varianty II

Hodnocené časové období je stanovenou vyhláškou č. 480/2012 Sb.[13] na 20 let, bylo uvažováno s meziročním růstem ceny energií o 3 % a diskontní sazbou 2 %. Z výsledku vyplývá, že variantu lze z ekonomického hlediska realizovat, protože splňuje podmínky výpočtu.

B. 5. 3 Vliv na životní prostředí

Dle výsledků ze softwaru Energie 2016.3 klesá z původní varianty I hodnota měrné emise CO_2 62 kg/(m^2·rok) na navrhovaných 58 kg/(m^2·rok). Hodnota není závratná, nicméně klesá v důsledku snížení spotřeby elektrické energie v objektu. Procentuálně je úspora vyčíslena na 8 %. Budova splňuje požadavek vlivu životního prostředí a z ekologického hlediska ji doporučuji realizovat.

B. 6 Závěr

Obě hodnocené varianty řešení splňují základní požadavky na téměř nulové budovy a zadání je plněno. K realizaci jsou vhodná obě řešení a lze je doporučit. V druhé variantě je navíc využito dalšího energetického zdroje, který s sebou nese i některé nevýhody, zejména vyšší počáteční investice či vyšší nároky na prostor v technické místnosti. Z hlediska ekonomické návratnosti a životnosti, dopadu na vliv životního prostředí je vše v bezpečných limitech a kladných číslech.

Výpočtová část této diplomové práce řešila návrh technických zařízení budov do novostavby bytového domu v Brně-Maloměřicích s ohledem na požadavky téměř nulové budovy, které byly splněny. Návrh je spíše zaměřen na kvalitu vnitřního prostředí a snaží se kombinovat různé technická zařízení a najít vhodné řešení provozu. Ekonomické hledisko nebylo prioritou a také nebylo z hlediska všech technických zařízení budov hodnoceno.

K výpočtům jsem využil počítačový software, především Microsoft Excel, ve kterém byla řešena většina výpočtů. í a výsledný průkaz energetické náročnosti byl vypracován v softwaru Energie 2016.3, který zároveň sloužil jako zpětná kontrola výpočtů. Výpočtový 3D model byl vypracován v softwaru SketchUp.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

C. MODELOVÁNÍ A SIMULACE
TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV V BUDOVÁCH S TÉMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU
BUILDING SERVICES OF NEAR ZERO ENERGY BUILDINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — **Bc. Tomáš Fikejsl**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **doc. Ing. JIŘÍ HIRŠ, CSc.**
SUPERVISOR

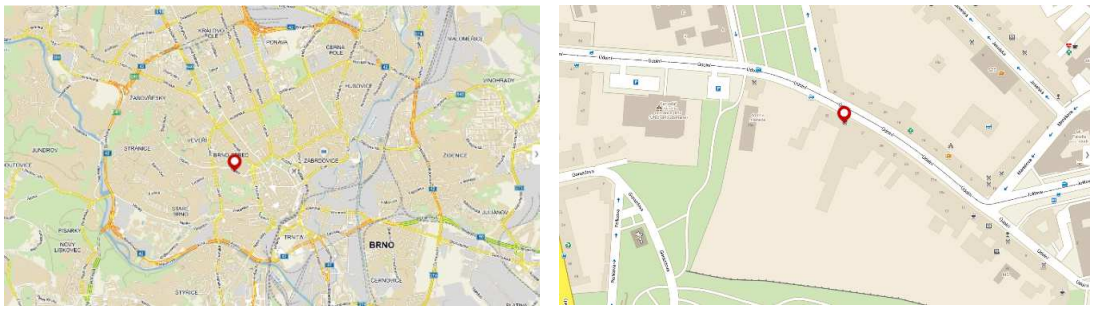
BRNO 2017

C. 1 Předmět měření

Experimentem této diplomové práce bylo s ohledem na budovy s nízkou energetickou náročností posouzení vnitřního mikroklima v jedné z těchto budov. Pro tyto účely byla vybrána budova administrativního typu s názvem Otevřená zahrada sídlící na adrese Údolní 33, Brno-město. Tato významná stavba byla dokončena a otevřena v roce 2012 a důkazem její výjimečnosti je mnoho ocenění. Jako zmínku za všechny zmiňuji úspěch z roku 2013, kdy se stala Stavbou roku za energeticky úspornou stavbu a byla jí udělena cena ministra životního prostředí.

C. 1. 1 Rozbor objektu

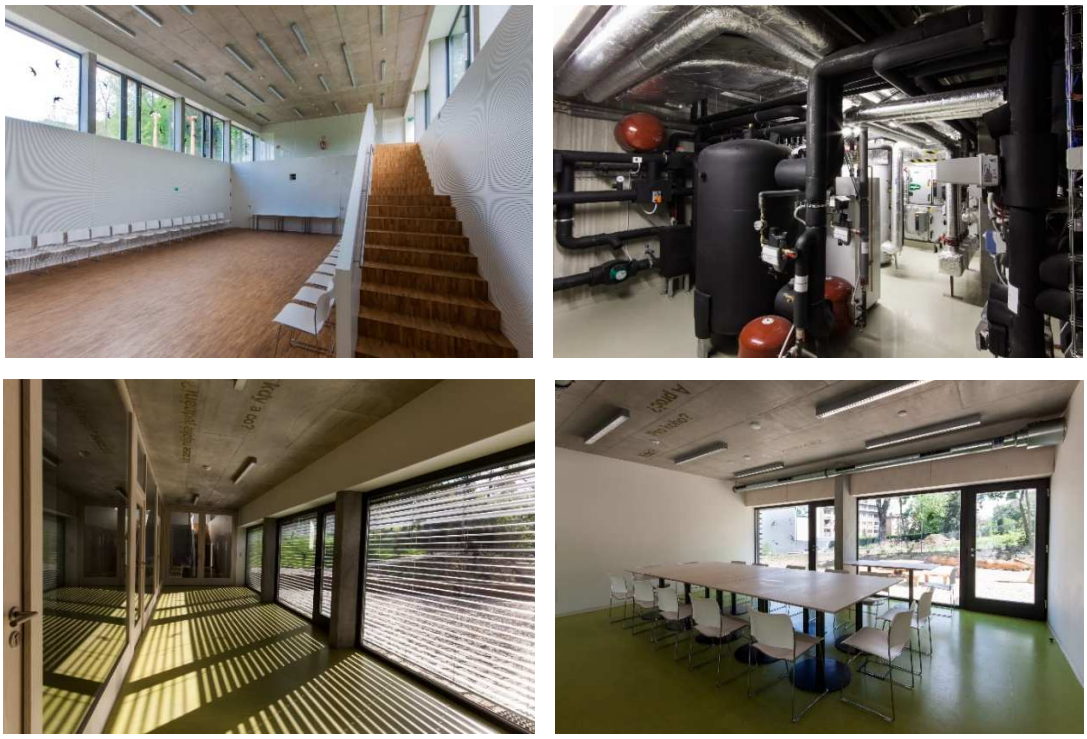
Celý komplex se skládá ze vzdělávací zahrady řešené ve smyslu čtyř základních živlů přírody a dvojice budov realizovaných v pasivním standardu, z nichž jedna budova byla zrekonstruována a ta druhá je novostavbou. Právě druhá zmíněná budova je zajímavá svým úsporným provozem a v té také bude probíhat měření.



Obrázek 49: Poloha komplexu Otevřená zahrada [88]

Obrázek 50: Jihovýchodní a jihozápadní pohled [88]

Do komplexu je možné se dostat pouze průjezdem, který vede od hlavní ulice. Řešená budova má 3 nadzemní podlaží, kde 1.NP je z části pod úrovní terénu. Zde se nachází technická místnost a sociální zázemí pro toto podlaží. Ve strojovně jsou osazena 4 tepelná čerpadla, vzduchotechnická jednotka s regeneračním výměníkem, rozdělovače a sběrače, oběhová čerpadla a další technická zařízení. Ve všech třech podlažích jsou kanceláře, které propojují komunikační prostory, horizontálně chodby s vertikálními schodišti a výtahy. V 2.NP se nachází velký sál schopný pojmout až 70 osob. Pro úplnost jsou na každém podlaží také kuchyňky a sociální zařízení.



Obrázek 51: Vlevo nahoře - konferenční sál, vpravo nahoře – strojovna, vlevo dole – chodba v 2.NP, vpravo dole – velká zasedací místnosti [88]

Objekt je řešen jako bezbariérový, výška podlahy v přízemí je položena tak, aby byl možný průchod jak stávajícím objektem, tak novostavbou. Svislé nosné prvky jsou převážně ŽB monolitické sloupy, případně stěny obalené tepelnou izolací. Střešní a stropní konstrukce jsou také ŽB monolitické desky s navíc integrovaným systémem aktivovaného betonového jádra (BKT). Tepelná izolace byla použita ve všech typech konstrukcí k dokonalému energeticky úspornému řešení. Preferovaným materiál jsou dřevěná vlákna a v nutných případech EPS resp. XPS. Střešní plášť je nad celým objektem navržen jako zelená pochozí střecha. Vnitřní zdivo je navrženo z pálených cihel omítnuté hliněnými omítkami.

Jako zdroj tepla a chladu je použito tepelné čerpadlo typu země/voda. Nízkopotencionální teplo zajišťuje celkem 8 zemních hloubkových vrtů, které jsou rozmístěny v přilehlé zahradě. Vyrobená topná a chladící energie je pomocí integrovaných čerpadel ukládána do akumulačních zásobníků tepla a chladu o celkovém objemu 750 l. V objektu je celkem použito 3 typů otopných ploch. BKT, podlahové teplovodní kabely a trubková elektrická tělesa v sociálním zázemí 1.NP.

Větrání a úpravu vzduchu zajišťuje centrální VZT jednotka, umístěna v technické místnosti. Zařízení je navrženo jako rovnotlaké se vzduchovým výkonem jednotky 4500 m^3/h. Jednotka obsahuje dvojitou filtraci, rotační regenerátor ZZT, vodní výměník pro ohřev/chlazení a ventilátorovou komoru. Přívod vzduchu do strojovny je veden z betonového kanálu. Pro větrání sociálního zázemí ve 3.NP je navržena decentrální podstropní jednotka se vzduchovým výkonem 420 m3/h. Uvnitř jednotky je umístěn filtr, deskový výměník ZZT a ventilátorová jednotka. Distribuční elementy VTZ větví jsou voleny tak, aby vznikl optimální průběh rychlostí v místnostech.

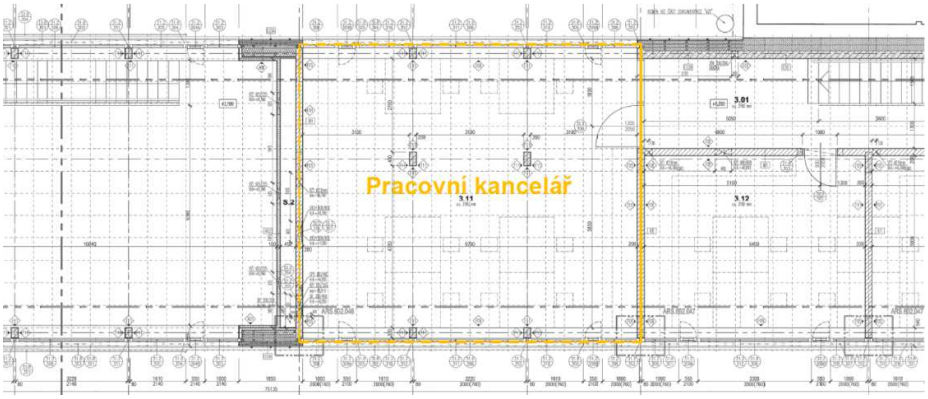
C. 1. 2 Koncept měření

Důvodem posouzení vnitřního mikroklimatu právě této budovy je absence CO_2 čidel ve VZT systému. Ten je řízen dle individuální situace softwarem ovládaným správcem budovy. V tomto softwaru je možné ovládat průtoky vzduchu (řízením otáček ventilátorů) a procentuálním pootevřením regulačních klapek uvnitř vzduchotechnického potrubí. Vzduchotechnickou jednotku je možné také regulovat v jednotlivých místnostech dle potřeby uživatelů. K tomu slouží ovládací prvky umístěné na stěnách asi 1 m nad podlahou. Ty nabízejí celkem 3 provozní režimy – útlum, standard a komfort odpovídající daným nastaveným výkonům. Úkolem měření bylo tedy vyhodnotit, zda navržený nucený systém větrání pracuje v souladu s hygienickými limity právních předpisů ČR.

Pro měření vnitřního prostředí byly vybrány celkem 2 zasedací místnosti, 1 pracovní kancelář a velký konferenční sál. Všechny tyto prostory jsou větrány nuceně z jedné větve VZT s kombinací větrání přirozeného. Slouží jako pronajímatelné plochy pro semináře, školení, workshopy či odborné přednášky. Průběh vzniku škodlivin vlivem člověka či jiných zdrojů je tedy v průběhu dní velmi nepravidelný. Měřené místnosti mají maximální kapacity obsazenosti:

- Velká zasedací místnost ve 2.NP: 14 osob
- Malá zasedací místnost ve 2.NP: 8 osob
- Kancelář ve 3.NP: 12 osob
- Shromažďovací sál: 70 osob

Obrázek 52: 2.NP budovy Otevřené zahrady



Obrázek 53: 3.NP budovy Otevřené zahrady

C. 1. 3 Měřící přístroj

Jako měřící přístroj byl použit datalogger S 3532 od firmy Comet určený pro výukové účely VUT FAST. Zařízení obsahuje čidlo teploty, vlhkosti a vyvedenou sondu měřící koncentraci CO_2.

Obrázek 54: Měřící zařízení Datalogger Comet S3532 [89]

C. 1. 2. 1. 1 Technické parametry

Rozměry: 93 × 64 × 35 mm

Hmotnost: 115 g

Paměť: 15 296 hodnot

Celková kapacita: 32 000 hodnot teploty (v necyklickém záznamu)

Interval záznamu: nastavitelný od 10s do 24hod

Teplota:

- Typ čidla: odporový snímač Pt1000/3850 ppm
- Rozsah měření: -30 až +70 °C
- Rozlišení: 0,1 °C
- Přesnost: ±0,4 °C
- Doba odezvy: <2 min (teplotní skok 20 °C)

Relativní vlhkost (údaj je teplotně kompenzován v celém teplotním rozsahu):

- Rozsah měření: 0 až 100 %RV
- Rozlišení: 0,1 %RV
- Přesnost: ±2,5 %RV v rozsahu 5 až 95 %RV při 23 °C

Rosný bod (veličina vypočtená z teploty a vlhkosti):

- Rozsah: -60 až +70 °C
- Rozlišení: 0,1 °C
- Přesnost: ±1,5 °C při okolní teplotě T<25 °C a RV>30 %

Koncentrace CO_2:

- Rozsah: 0 ppm až 5 000 ppm

C. 1. 4 Limity českých právních předpisů

Parametry vnitřního mikroklima pro období léta zimy v zasedacích a velkých místnostech pro shromažďování osob zadává vyhláška 6/2003 Sb.[8] v tabulce č. 1:

Mikroklimatické podmínky			Teplé období	Chladné obodbí
Výsledná teplota kulového teploměru	t_g	[°]	24,0±2,0	22,0±2,0
Rychlost proudění vzduchu v pobyt. místnostech	v_a	[m/s]	0,16 -0,25	0,13-0,2
Relativní vlhkost vzduchu v pobyt. místnostech	ϕ_i	[%]	max. 65	min. 30

Tabulka 40: Parametry vnitřního prostředí [8]

Problematikou podmínek ochrany při zdraví a práci vnitřního klima pracovních prostorů se zabývá nařízení vlády č. 93/2012 Sb.[5] Uvedená kancelář slouží jako pracovní prostor přibližně pro 12 osob. Pracovníci zde vykonávají především administrativní práci na PC a z toho vyplývá minimální celotělová pohybová aktivita. Proto je práce zatříděna dle dané normy tabulky č. 1 do třídy I s celkovým průměrným energetickým výdajem M ≤ 80 W/m^2. Tabulka č. 39 zadává při uvažování klimatizovaného pracoviště udržovat teplotu na:

Třída práce	M [W.m-2]	Kategorie	Klimatizované pracoviště				v_a [m.s^{-1}]	Rh [%]
			nastavení vytápění		nastavení chlazení			
			tepelný odpor oděvu 1,0 clo		tepelný odpor oděvu 0,5 clo			
			t_{omin} (t_{gmin}) [°C]		t_{omin} (t_{gmin}) [°C]			
I	≤ 80	A	22	±1,0	24,5	±1,0	0,05 až 0,2	30 až 70
		B		±1,5		+1,5 -1,0		
		C		+2,5 -2,0		+2,5 -2,0		
IIa	81-105	A	20	±1,0	23	±1,0		
		B		±1,5		+1,5 1,0		

Tabulka 41: Třídy práce dle celkového energetického výdaje [5]

Toto nařízení zadává také přípustné horizontální rozdíly mezi stereoteplotou t_{st} (směrová radiační teplota měřena kulovým stereoteploměrem či dvoukulovým radiometrem charakterizující radiační účinek okolních ploch ve sledovaném prostorovém úhlu) a výslednou teplotou kulového teploměru na úrovni hlavy a také přípustný horizontální rozdíl mezi teplotou kulového teploměru t_g na úrovni hlavy a na úrovni kotníků.

Uvádí také požadavky přípustné expoziční limity (PEL) a nejvyšší přípustné koncentrace (NPK-P) pro chemické látky obsažené ve vzduchu. Pro měřenou místnost je nejvíce nebezpečná koncentrace oxidu uhličitého CO_2, která odpovídá těmto podmínkám:

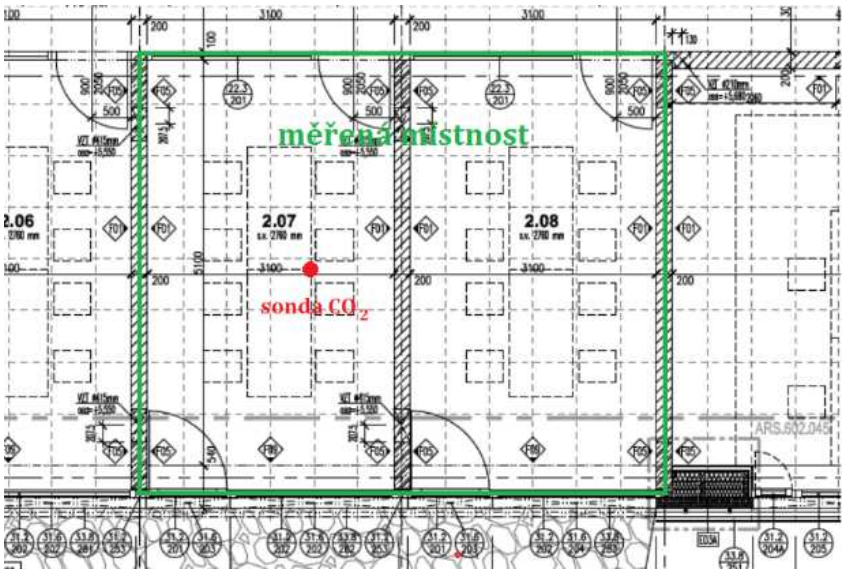
látka	číslo CAS	PEL	NPK-P	poznámky	faktor přepočtu na ppm
		mg.m^{-3}			
Oxid uhličitý	124-38-9	9000	45000		0,556

Tabulka 42: Přípustný expoziční limit a nejvyšší přípustná koncentrace pro oxid uhličitý [5]

Přípustnou hodnotu koncentrace CO_2 zadává vyhláška č. 268/2009 Sb.[12] s požadavkem 1 500 ppm.

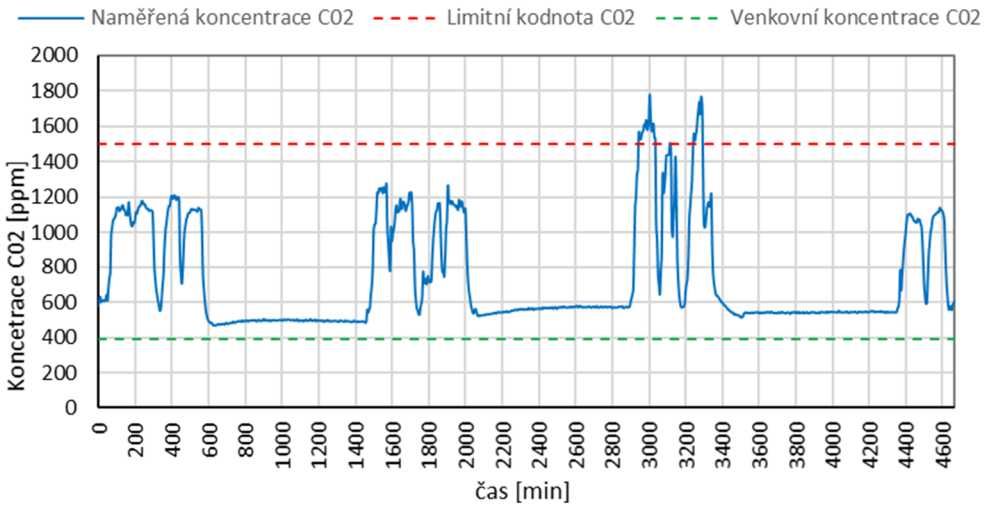
C. 1. 5 Měření v místnosti č. 207 – velká zasedací místnosti

V této místnosti probíhalo několik měření nezávisle na časových a provozních podmínkách. První měření probíhalo v časovém horizontu 4 dnů v době dění semináře. Čas začátku měření byl 17. 5. 2016 v 7:35 a konec 20. 5. 2016 v 13:20. Časový krok uložení záznamu byl nastaven na 5 minut. Čidlo se nacházelo na stole asi 1 m nad podlahou mezi osobami vydechující škodliviny, a tudíž se nedá říci, že by měření bylo zkresleno umístěním čidla na nevhodném místě, například v koutě či u otevřených oken. Poloha čidla je znázorněna ve schématu. V místnosti se nacházelo přibližně 16 osob, což odpovídá maximální kapacitě místnosti. Otočení regulačních klapek je na maximálním průtoku a výkon vzduchotechnické jednotky pro tuto místnost také pracuje s maximálním výkonem. Velká zasedací místnost představuje spojené místnosti v Obrázku 55.

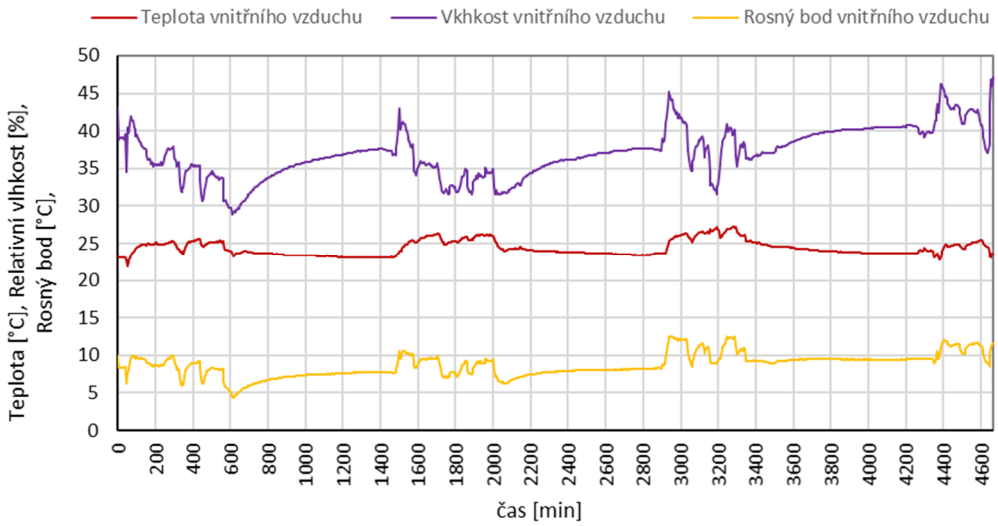


Obrázek 55: Schéma umístění dataloggeru v místnosti v době 17. -20. 5. 2016

Následující grafy znázorňují průběhy naměřených hodnot v čase. Venkovní koncentrace byla měřena přibližně 15 minut 20. 5. 2016, ve 14 hodin. Hodnota se kolísala na 390 ppm.



Graf 17: Naměřené koncentrace CO_2 v době měření 17. – 20. 5. 2016



Graf 18: Parametry vnitřního prostředí v době měření 17. - 20. 5. 2016

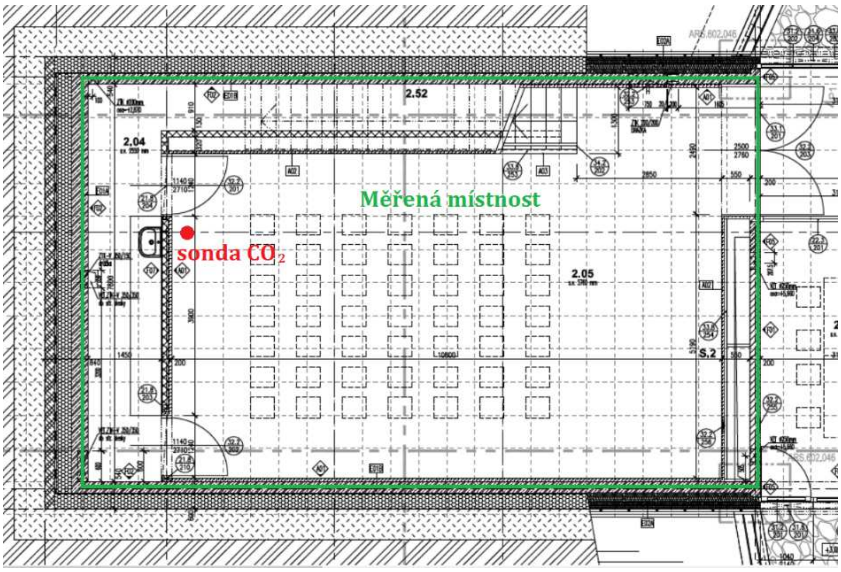
Z grafu č. 1 je patrné, že hodnoty koncentrace přesáhly limity 150 ppm třetí den semináře, a to v ranních hodinách a poté opět po obědové pauze přibližně o 300 ppm. To může být způsobeno zvýšením počtu osob v okolí měření a také vypnutou vzduchotechnikou. Ta byla vždy spuštěna manuálně regulací na stěně. V ostatní dny se koncentrace pohybovala okolo vyhovující hodnoty 1200 ppm. Prudké poklesy koncentrací můžou být spolu se spuštěním vzduchotechniky způsobeny nárazovým otevřením oken, čímž by se pokles škodlivin urychlil. Během noci opětovně docházelo k úplnému vyvětrání škodlivin a naměřené hodnoty se ustálily na úroveň venkovní koncentrace.

Také v grafu č. 2 jsou zaznamenány značné výkyvy v době pobytu osob, teplota vzduchu oscilovala mezi 23-27 °C a relativní vlhkost se pohybovala v mezích 30-50 %, tyto hodnoty jsou také z hlediska platných hygienických předpisů vyhovující. Z grafu je zřejmé, že při prudkém snížení teploty je tento průběh vykreslen konvexní funkcí, a naopak vlhkost má při této změně konkávní charakter vykreslení.

C. 1. 6 Měření v místnosti č. 205 – konferenční sál

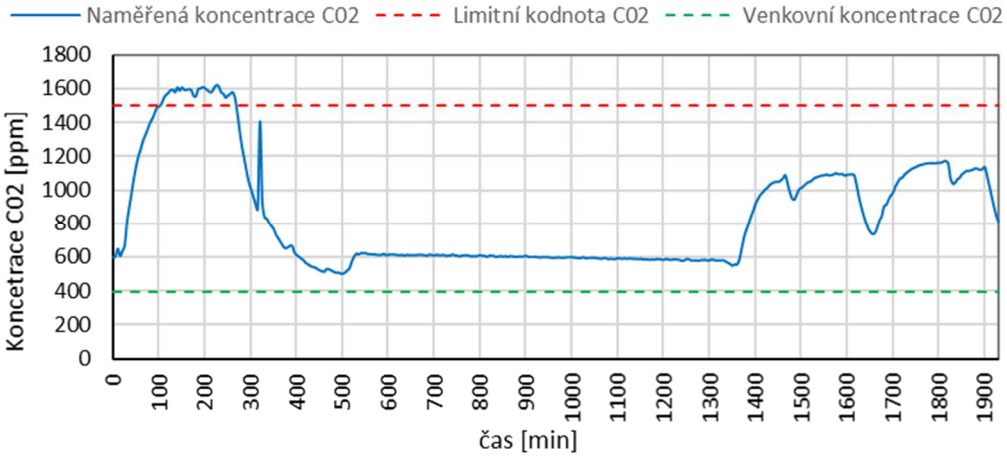
Ve velkém sále bylo provedeno několik měření, a to v době pobytu osob s různými profily jejich činností. Časový krok přístroje zůstal stejný pro obě dvě měření, tedy 5 minut. První měření proběhlo od čtvrtka 12. 5. 2016 do pátka 13. 5. 2016. První den se zde konal workshop pro 50 osob, v časovém horizontu od 10:00 – 14:00 a druhý den se zde pohybovalo přibližně 20-25 osob. V obou dnech byly regulační klapky nastaveny na 30 % otevření.

Obrázek 56: Umísnění a upozornění měřícího zařízení CO2 v době



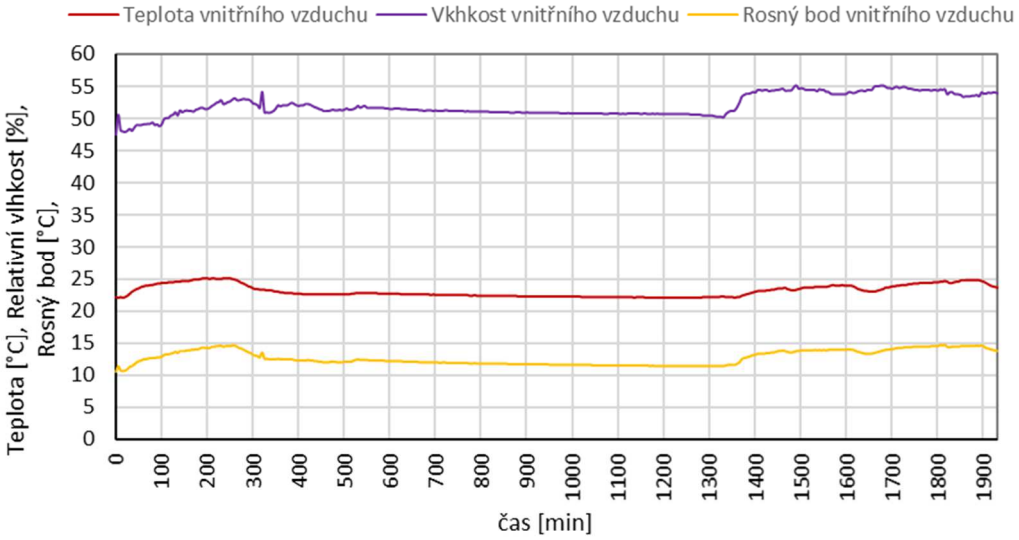
Obrázek 57: Schéma umístění dataloggeru v místnosti konferenčního sálu

Jak si můžeme všimnout, měřící zařízení je umístěno vedle dveří, které byli v době měření zavřené. Hodnota koncentrace ve venkovním ovzduší byla uvažována stejně jako v prvním případě 390 ppm. V grafech lze zřetelně rozeznat dobu obědové pauzy a přestávky na občerstvení. Při nočním útlumu se opět místnost provětrala a naměřené hodnoty klesly na hodnoty vnějšího vzduchu.



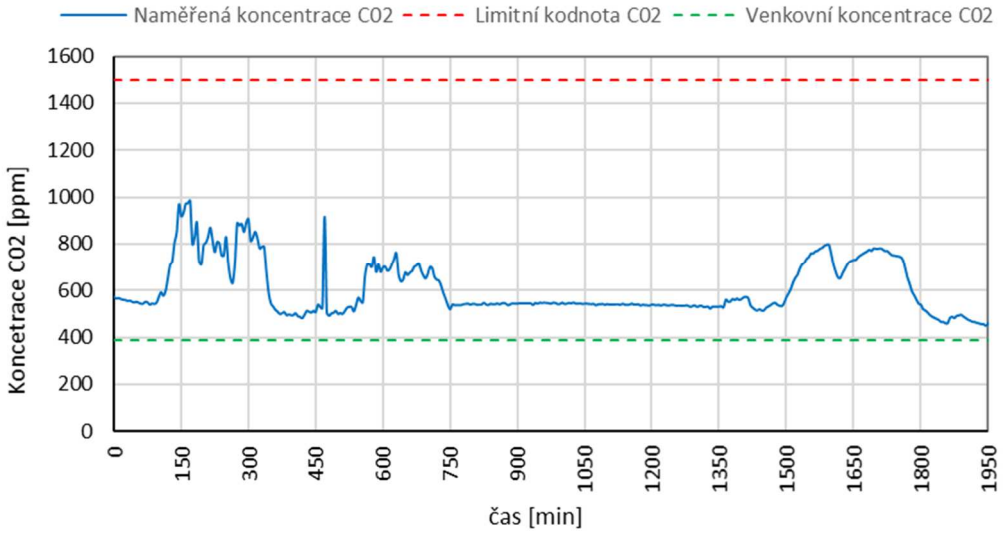
Graf 19: Naměřené koncentrace CO2 v době měření 12. – 13. 5. 2016

Koncentrace CO_2 při tomto měření vzrostla nad limitní hodnoty první den v době, kdy se v místnosti zdržovalo přibližně 50 osob. Překročení limitu je způsobeno pouze pro účely měření sníženou hodnotou otevření regulačních klapek na 30 % a limit byl přesáhnut asi o 100 ppm. V grafu č. 4 si můžeme všimnout výkyvu teploty přibližně z 23 na 25 °C. Relativní vlhkost se také pohybovala v normových hodnotách 50-55 %.



Graf 20: Parametry vnitřního prostředí v době měření 12. - 13. 5. 2016

Druhé měření se uskutečnilo od úterý 31. 5. 2016 do středy 1. 6. 2016. Dne 31. 5. se v sále konala zkouška orchestru mladých pro přibližně 15 osob od 8:00 do 18:00. V této době je průběh koncentrace nevyrovnaný se zřetelnými přestávkami v grafu, během kterých byla koncentrace nárazově vyvětrána na venkovní hodnoty. Tato nevyrovnanost je způsobena hraním uživatelů na hudební žesťové nástroje a zvýšenou intenzitou dýchání. Náhlý vzestup a snížení koncentrace v době kolem 450 minuty je způsoben úmyslným zásahem osob např. nárazovým fouknutím do sondy CO_2. Druhý den se naopak v sále konal workshop pro asi 20 osob se značným rovnoměrnějším průběhem vzniku a odvodu koncentrace $C0_2$. Workshop se konal v čase 9:00 – 13:00.

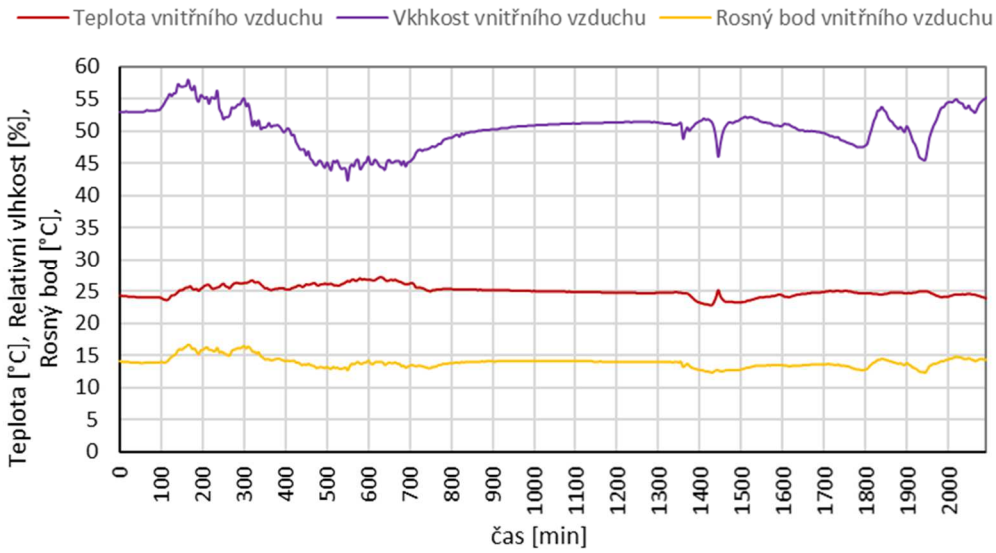


Graf 21: Naměřené koncentrace CO_2 v době měření 31. 5 – 1. 6. 2016

Z grafů je patrné, že koncentrace produkovaného CO_2 se pohybuje daleko pod hranicemi limitů, v maximální míře 1000 ppm. V tomto případě, opět z důvodu měření, byly klapky otevřeny na 100 % a vzduchotechnická jednotka nastavena na plný výkon. Velké výkyvy koncentrací jsou

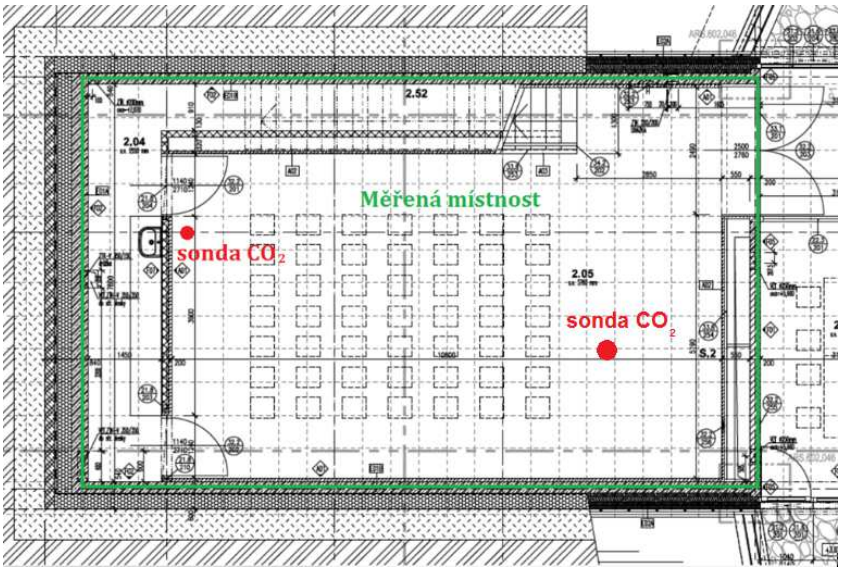
způsobeny obědovými přestávkami. V době nočního útlumu se škodliviny vyvětraly a koncentrace opět poklesla k hodnotám vnějšího vzduchu.

V druhém grafu byla zaznamenána nejvyšší změna poklesu ve vnitřní relativní vlhkosti. Ta v jednom místě klesala z hodnot rovných skoro 60 % na hodnoty 43%. Nicméně teplota dosahovala maximálních hodnot 26 °C a výsledkem tohoto měření je, že všechny průběhy vnitřních parametrů jsou vyhovující.



Graf 22: Parametry vnitřního prostředí v době měření 31. 5 - 1. 6. 2016

Ve velkém konferenčním dále byla možnost změřit parametry vnitřního prostředí během probíhající přednášky dvěma přístroji najednou. Tento pokus měl za cíl porovnat soustředění koncentrace CO_2 před a za dýchajcími osobami. Schéma umístění přístrojů je uvedeno v následujících půdoryse:

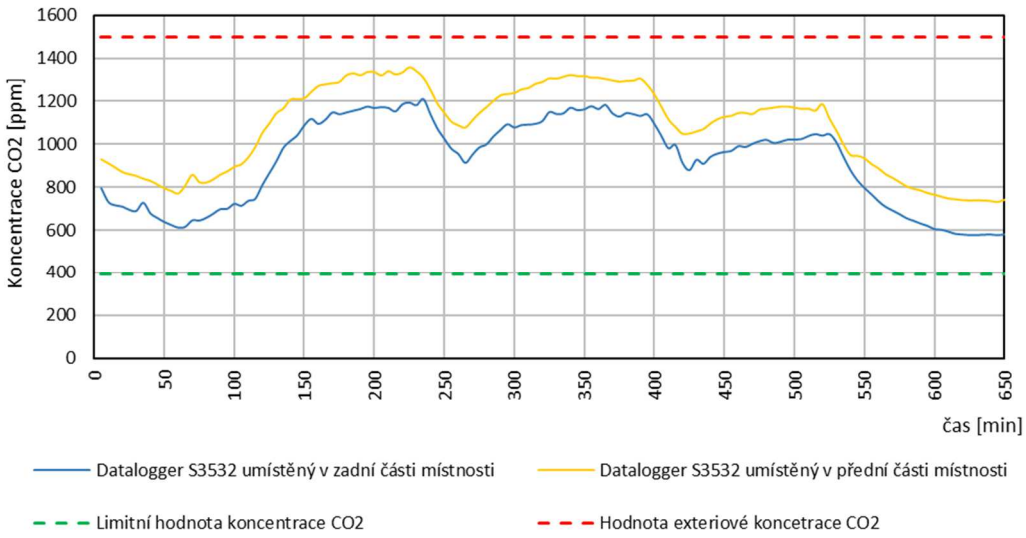


Obrázek 58: Schéma umístění dataloggeru v místnosti konferenčního sálu během měření 26. 9. 2016

Obrázek 59: Umístění přístrojů v konferenčním sále 26. 9. 2016

Samotné měření proběhlo 29.6. 2016 v časovém intervalu 13:00 – 16:00 hodin. V místnosti bylo celkem 40 osob. Z hlediska obsazenosti by sál využit přibližně z 60 %. Regulační klapky byly nastaveny na 80 % otevření. Časový průběh programu je zapsán zde:

- 13:00 – 15:05 PRVNÍ ČÁST WORKSHOPU
- 15:05 – 15:25 PŘESTÁVKA I
- 15:25 – 16:45 DRUHÁ ČÁST WORKSHOPU
- 16:45 – 17:00 PŘESTÁVKA II
- 17:00 – 18:00 KONEC WORKSHOPU
- 19:00 VYPNUTÍ VZDUCHOTEHCNIKY



Graf 23: Naměřené koncentrace CO_2 obou přístrojů v době měření 29. 6. 2016

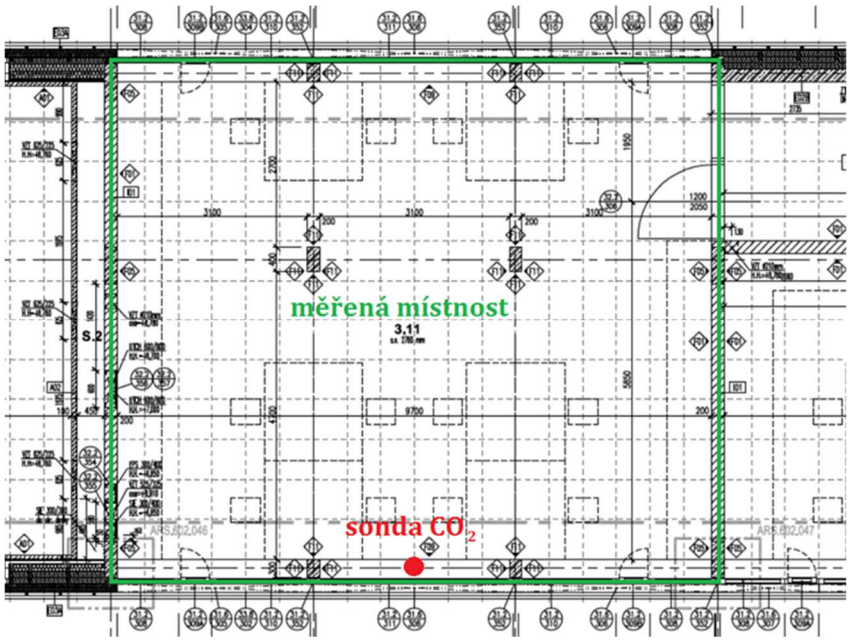
Z grafu výše je patrné, že vzduchotechnická jednotka a průtok vzduchu bezpečně vyvětral vzniklé koncentrace CO_2 a dalších škodlivin v přípustných mezích. Maximální hodnoty byly dosahovány asi 200 minut od začátku akce v hodnotě 1350 ppm. Měření také dokazuje, že zařízení umístěné před osobami v čele naměřilo o cca 200 ppm koncentrace CO_2 více než zařízení za osobami. Výsledek nijak neovlivňuje celkové hodnocení experimentu, jde spíše o informativní údaj. Hodnoty ostatních parametrů byly se pohybovaly v obvyklých mezích.

C. 1. 7 Měření v místnosti č. 311 – pracovní kancelář

Poslední měřenou místností byla již zmiňovaná kancelář ve 3. NP a je také dotována vzduchem ze vzduchotechnické větve spolu s již uvedenými a hodnocenými prostory. Jako jediná slouží jako pracovní prostor a vztahují s k ní příslušné požadavky uvedené v úvodu této kapitoly. Měření proběhlo v časovém intervalu 2. 6. 2016 – 9. 6. 2016. Interval zápisu byl stejně jako u ostatních pokusů nastaven na 5 minut. Během měření se v místnosti soustavně pohybovalo 8-10 osob. Zajímavostí tohoto měření bylo, že si pracovníci pravidelně stěžují na vysoké teploty uvnitř místnosti. Následující tabulka lépe vystihuje obsazení během čtyř dnů, v kterých byly evidovány průběhy:

Datum:	2.6.2016								
Hodina:	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
Počet osob:	1	6	8	4	8	9	9	7	5
Datum:	3.6.2016								
Hodina:	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
Počet osob:	2	6	9	5	4	10	9	9	7
Datum:	6.6.2016								
Hodina:	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
Počet osob:	2	7	9	9	3	9	10	10	9
Datum:	8.6.2016								
Hodina:	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
Počet osob:	3	7	5	10	5	7	9	7	7

Tabulka 43: Obsazení místnosti č. 311 během měření 2. 6. – 9. 6. 2016

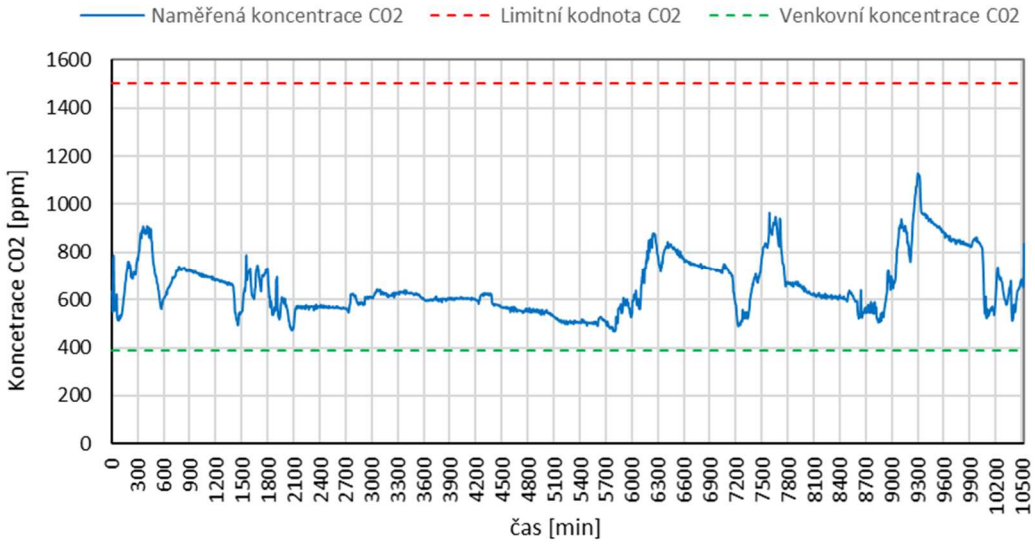


Obrázek 60: Schéma umístění dataloggeru v místnosti konferenčního sálu během měření 2. 6. - 9. 6. 2016

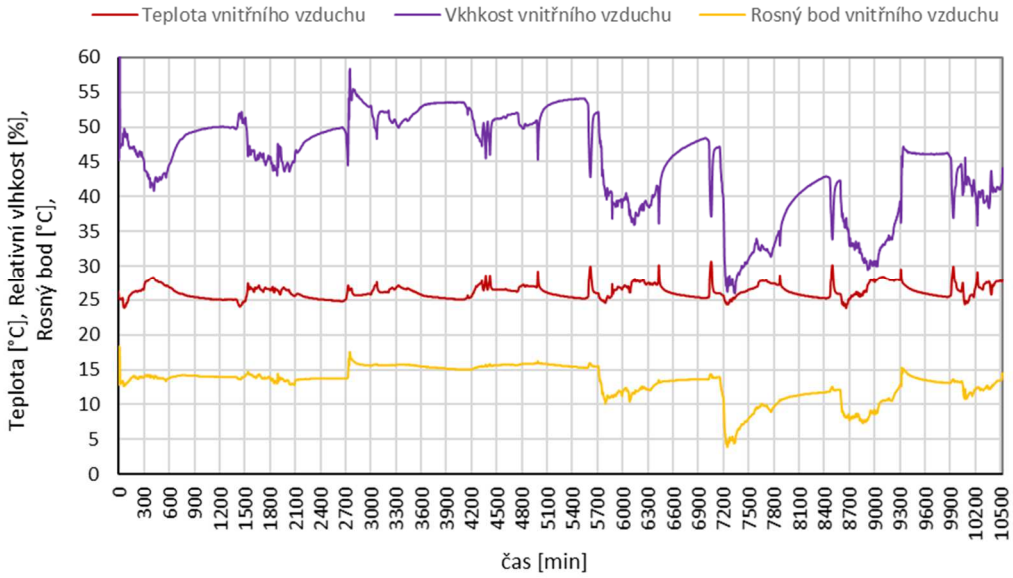
Jak je zřejmé ze schématu, měřící zařízení bylo umístěno u okenní stěny z důvodu většího soustředění osob než uprostřed místnosti. Přístroj byl umístěn ve výšce 1,2 m nad podlahou na okenním parapetu. Po dobu celého měření byla nezávisle na čase otevírána okna a dveře, což se projevilo nízkými hodnotami koncentrace CO_2 v dané místnosti během měření.

Z níže uvedeného grafu je patrné, že koncetrace škodliviny CO_2 se pohybovaly hluboko pod hranicí limitu, a to v intervalu 450 – 1000 ppm. Tento fakt může být způsoben několika aspekty. Zejména správnou funkcí vzduchotechnické jednotky a také častým otevíráním oken. Protože měření probíhalo v teplém období roku začátkem června, otevřenými okny do místnosti proudil mnohem teplejší vzduch, než je limitní hodnota vnitřní výsledné teploty 24 ± 1,5 °C a

místnost se tak přehřívala. Vysoké teploty jsou také zapříčiněny vysokými solárními tepelnými zisky okny, která jsou umístěná na východní stranu. Graf zobrazuje průběh teplot v místnosti, který se blíží v maximálních hodnotách až k hranici 31 °C. Tento fakt je způsoben právě špatným řízením proudícího vzduchu do místnosti. Hodnoty relativních vlhkostí se během měření nepravidelně pohybovaly v intervalu 30 – 55 %. Dle provedeného měření, doporučuji osobám pobývajícím v místnosti méně otevírat okna z východní strany a více zatahovat na této straně žaluzie. Čerstvý vzduch do místnosti bude dopravovat vzduchotechnická jednotka v upravenými vnitřními parametry přívodního vzduchu.



Graf 24: Naměřené koncentrace CO_2 přístroje v době měření 2.6 - 9. 6. 2016



Graf 25: Parametry vnitřního prostředí v době měření 2. 6. - 9. 6. 2016

Měření, které probíhalo nárazově během celého roku prokázalo, že tento kvalitně navržený objekt také spolehlivě vytváří vnitřní komfortní mikroklima. Bylo provedeno několik měření a parametry vnitřních veličin odpovídaly jak hygienickým, tak právním předpisům ČR. Jejich dodržení je důležité pro zdraví osob uvnitř budov, ale také pro budovy samotné.

D. Závěr práce

Pro tuto práci bylo specifické, že se celý její obsah dotýkal již několikrát zmiňované, v současné době velice probírané problematiky budov s téměř nulovou spotřebou. Jejím cílem bylo čtenáři detailněji popsat význam těchto budov z hlediska poznatků teoretických, ale také nabídla konkrétní praktické řešení při návrhu technických zařízení do novostavby bytového domu.

Jako zdroj tepla vytápění bylo využito tepelné čerpadlo země/voda. Příprava teplé vody byla navržena ve dvou variantách. Obě varianty plní požadavky nZEB budov a jsou doporučeny k realizaci. Rozhodnout tedy může vstupní investice, která je v druhé variantě vyšší právě o navržený solární systém a výměníky ZZTOV. Výpočtová část se zabývala také nuceným větráním objektu s případným letním dochlazením a návrhem osvětlení. V závěru jsou pro obě varianty řešení vypracovány průkazy energetické náročnosti budovy a zhodnoceno je také ekoické hledisko s vlivem na životní prostředí.

Experiment se zabývá měřením vnitřního mikroklima budovy administrativního typu v Brně s ohledem na požadavky platných právních předpisů ČR. Hlavním cílem bylo ověřit správnou funkci vzduchotechniky při odlišných provozních režimech.

Závěrem celé práce bych chtěl poděkovat mé rodině a přítelkyni za obrovskou podporu při studiu a jejich trpělivost, bez které by tato diplomová práce nemohla vzniknout.

E. Seznam použitých zdrojů

Směrnice, zákony, nařízení vlády, vyhlášky, normy a technické normalizační informace

1. Evropská unie. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnice 2001/77/ES a 2003/30/ES. 2009

2. Evropská unie. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov. 2010

3. Česká republika. ZÁKON č. 17/1992 Sb. ze dne 5. prosince 1991 o životním prostředí. 1992

4. Česká republika. ZÁKON č. 318/2012 Sb. ze dne 19. července 2012, kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření s energií, ve znění pozdějších předpisů. 2012

5. Česká republika. NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 93/2012 Sb. ze dne 29. února 2012, kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb. 2012

6. Česká republika. NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 272/2011 Sb. ze dne 24. srpna 2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. 2011

7. Česká republika. NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 361/2007 Sb. ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. 2007

8. Česká republika. VYHLÁŠKY č. 6/2003 Sb. ze dne 16. prosince 2002, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. 2002

9. Česká republika. VYHLÁŠKA č. 78/2013 Sb. ze dne 22. března 2013 o energetické náročnosti budov. 2013

10. Česká republika. VYHLÁŠKA č. 193/2007 Sb. ze dne 17. července 2007, kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu. 2007

11. Česká republika. VYHLÁŠKA č. 194/2007 Sb. ze dne 17. července 2007, kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům. 2007

12. Česká republika. VYHLÁŠKA č. 268/2009 Sb. ze dne 12. srpna 2009 o technických požadavcích na stavby. 2009

13. Česká republika. VYHLÁŠKA č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku. 2012

14. Česká republika. ČSN 06 0310 Tepelné soustavy v budovách – Projektování a montáž. 2014

15. Česká republika. ČSN 06 0320 Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody – Navrhování a projektování. 2006

16. Česká republika. ČSN 06 0830 Tepelné soustavy v budovách – Zebezpečovací zařízení. 2014

17. Česká republika. ČSN 12 7010 Vzduchotechnická zařízení – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení – Obecná ustanovení. 2016

18. Česká republika. ČSN 36 0452 Umělé osvětlení obytných budov. 1994

19. Česká republika. ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. 2011

20. Česká republika. ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin. 2005

21. Česká republika. ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody. 2005

22. Česká republika. ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky. 2011

23. Česká republika. ČSN 73 0580-2 Denní osvětlení budov – Část 2: Denní osvětlení obytných budov. 2007
24. Česká republika. ČSN 73 6058 Jednotlivé, řadové a hromadné garáže. 2011
25. Česká republika. ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu. 2005
26. Česká republika. ČSN EN 14511-1 Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Část 1: Termíny a definice. 2005
27. Česká republika. ČSN EN 15316-3-1 Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy – Část 3-1: Soustavy teplé vody, charakteristiky potřeb (požadavky na odběr vody). 2010
28. Česká republika. ČSN EN 15665 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. 2009
29. Česká republika. ČSN EN 779 Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic pro všeobecné větrání – Stanovení filtračních parametrů. 2012
30. Česká republika. ČSN EN 806-2 Vnitřní vodovod pro rozvod vody určené k lidské spotřebě – Část 2: Navrhování. 2005
31. Česká republika. ČSN EN ISO 13370 Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody. 2009
32. Česká republika. ČSN EN ISO 13 789 Tepelné chování budov – Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním – Výpočtová metoda. 2009
33. Česká republika. ČSN EN ISO 13 790 Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení. 2009
34. Česká republika ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda. 2008
35. Česká republika. TNI 73 0302 Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup. 2009
36. Česká republika. TNI 73 0330 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Bytové domy. 2010
37. Česká republika. TNI 73 0331 Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet. 2013

Akademické práce, literární zdroje

38. *Výpočet energetické náročnosti budov* [online]. Praha [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=people&id=52&sub=216.Studijní materiál. FSv ČVUT Praha. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda.
39. HORÁK, Petr, Pavel UHER, Aleš RUBINA, Olga RUBINOVÁ, Jakub VRÁNA, Marian FORMÁNEK, Miloš KALOUSEK a Hana KULÍNKOVÁ. *Energetické hodnocení budov* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2015 [cit. 2017-01-01]. ISBN 978-80-214-5274-9. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/4582_sfvut_brno_energeticke-hodnoceni-budov.pdf.
40. QUASCHING, Volker a Ing. Václav BARTOŠ. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada Publishing, 2010. ISBN 978-80-247-3250-3.
41. POČINKOVÁ, Marcela, Danuše ČUPROVÁ a Olga RUBINOVÁ. *Úsporný dům*. Brno: CPress v Brně ve společnosti Albatros Media, 2012. ISBN 978-80-264-0014-1.
42. DUŠKA, PH.D., Ing. Michal, doc. Ing. Vladimír ZMRHAL, PH.D. a Ing. Jiří KREPINDL. *Regulace chladivových klimatizačních systémů* [online]. , 4 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Publikace/VVI-2013-01_p002.pdf.

43. MATUŠKA, Tomáš a Roman VAVŘIČKA. *Experimentální hodnocení sprchového rekuperačního výměníku* [online]. , 8 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://konference.pasivnidomy.cz/wp-content/uploads/2016/11/3A_Matuska.pdf.

44. *EU v roce 2015 zvýšila podíl obnovitelných zdrojů, v ČR přibylo jen několik projektů Zdroj: http://oze.tzb-info.cz/13817-eu-v-roce-2015-zvysila-podil-obnovitelnych-zdroju-v-cr-pribylo-jen-nekolik-projektu. Http://oze.tzb-info.cz/* [online]. 2016 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://oze.tzb-info.cz/13817-eu-v-roce-2015-zvysila-podil-obnovitelnych-zdroju-v-cr-pribylo-jen-nekolik-projektu.

45. *Budovy s téměř nulovou spotřebou – porovnání energetických standardů Zdroj: http://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15181-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-porovnani-energetickych-standardu* [online]. 2016 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15181-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-porovnani-energetickych-standardu.

46. *5 iluzí o obnovitelných zdrojích (komentář). Http://www.nazeleno.cz/* [online]. 2008 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/5-iluzi-o-obnovitelnych-zdrojich-komentar.aspx

47. *Biomasa: Co je dobré vědět, než ji začneme spalovat. Http://www.nazeleno.cz/* [online]. 2010 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.nazeleno.cz/vytapeni-1/biomasa/biomasa-co-je-dobre-vedet-nez-ji-zacneme-spalovat.aspx

48. Tepelná čerpadla. *Http://vytapeni.tzb-info.cz/* [online]. 2016 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla

49. Kolik CO2 vyprodukuje člověk. *Http://neviditelnypes.lidovky.cz/* [online]. 2007 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://neviditelnypes.lidovky.cz/polemika-kolik-co2-vyprodukuje-clovek-d8h-/p_veda.aspx?c=A070313_221338_p_veda_wag

50. Postup při návrhu tepelných čerpadel. *Http://vytapeni.tzb-info.cz/* [online]. 2015 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12401-postup-pri-navrhu-tepelnych-cerpadel

Obrazové zdroje

51. *Výroční zpráva o provozu ES ČR* [online]. Praha, 2016, s. 35 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2015.pdf/

52. *Http://www.tzb-info.cz/* [online]. 2013 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/9745-nove-pozadavky-na-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-od-1-dubna-2013

53. *Http://www.tzb-info.cz/* [online]. 2013 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15181-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-porovnani-energetickych-standardu

54. *Http://www.topte-drevem.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.topte-drevem.cz/palivove-drevo-1/jaka-je-vyhrevnost-/

55. *Http://www.drevene-brikety-olomouc.cz/* [online]. 2016 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.drevene-brikety-olomouc.cz/

56. *Http://biom.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://biom.cz/cz/obrazek/drevene-pelety-bez-kury

57. *Http://guntamatic.esel.cz* [online]. [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: http://guntamatic.esel.cz/w/4474/kotel-guntamatic-biosmart-na-kusove-drevo-a-stepku-14-22-kw

58. *Http://www.ceska-peleta.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.ceska-peleta.cz/komfortni-teplicko/o-vytapeni-biomasou-od-a-az-do-z/attachment/peletova-kotelna-varianta-2-2/

59. *Http://oze.tzb-info.cz/* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru

60. *Http://www.ceskestavby.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.ceskestavby.cz/clanky/vyuzijte-potencial-solarni-energie-19267.html

61. *Http://www.superto.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.superto.cz/369599-fotovoltaicke-systemy

62. *Http://www.termokomfort.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.termokomfort.cz/princip-tepelneho-cerpadla.html

63. *Http://www.tzbportal.sk* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.tzbportal.sk/kurenie-voda-plyn/moznosti-navrhu-otopnych-soustav-pro-nizkoenergeticke-pasivni-domy.html

64. Podklady STAVOS Engineering s. r. o. – VIZUALIACE BYTOVÉHO KOMPLEXU

65. *Https://mapy.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: https://mapy.cz/zakladni?x=16.6003420&y=49.2085250&z=13

66. *Http://www.multivac.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.multivac.cz/produkty/dav

67. *Http://www.specialnizahradnictvi.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.specialnizahradnictvi.cz/sonoflex/sonoflex-203mm--1m/

68. *Http://www.multivac.cz/* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.multivac.cz/produkty/protidestova-zaluzie-pdz-z

69. *Http://www.toshiba-klimatizace.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.toshiba-klimatizace.cz/eshop/product/mmy-map1004ft8-e/

70. *Http://www.elektrodesign.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/cvat-4-6000-450n-0-75-tichy-radialni-ventilator

71. *Https://www.systemair.com/* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: https://www.systemair.com/cz/Ceska/Products/ventilatory--prislusenstvi/ventilatory-stresni/stresni-ventilatory/dvsi/DVSI-310ES/

72. *Http://www.svet-svitidel.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.svet-svitidel.cz/globo-10706-led-zarovka-g10-led-3w.html

73. *Http://www.kutilovo.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.kutilovo.cz/shop/blumil.php?zarovka%20230V%20klasicka%2060W&titl=%8E%E1rovka%20230V%20klasick%E1%2060W&sh=2&imfile=images/1218.jpg

74. *Http://www.tntrade.cz/* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.tntrade.cz/halogenova-zarovka-eco-classic-p45-e27-42w_d281306.html

75. *Https://www.datart.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: https://www.datart.cz/Zarovka-Osram-Usporna-zarivka-Duluxstar-24W-E27.html

76. *Http://www.tepelna-cerpadla-pzp.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.tepelna-cerpadla-pzp.cz/userfiles/download/[276]_Doporucena_zapojeni_42_CS_lq.pdf

77. *Http://www.mastertherm.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.mastertherm.cz/tepelne-cerpadlo-aquamaster
78. *Http://akumulacni-nadrz.cz/* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://akumulacni-nadrz.cz/lsx-1750-d1000-2v.php
79. *Http://www.dzd.cz/* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.dzd.cz/cs/ohrivace-vody-bojlery/prislusenstvi/vestavna-topna-jednotka#rsw1812
80. *Http://www.tc-solar.cz/* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.tc-solar.cz/obehove-cerpadlo-wilo-rs-15-6-130/
81. *Http://www.regulus.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.regulus.cz/cz/zasobnik-rbc-2000
82. *Http://www.regulus.cz/* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.regulus.cz/cz/elektricka-topna-telesa
83. *Http://sakal-ovt.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://sakal-ovt.cz/produkty/sprchovy-vymenik-nela/
84. *Http://www.buderus.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.buderus.cz/produkty/solarni-technika/solarni-kolektory/logasol-skn-4.html
85. Studijní podklady: Termické solární systémy 2012.ppt
86. *Http://www.regulus.cz* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.regulus.cz/cz/zasobnik-r0bc-1500
87. *Http://www.regulus.cz/* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.regulus.cz/cz/zasobnik-rbc-1500
88. Stavební podklady Komplexu OTEVŘENÁ ZAHRADA
89. *Http://www.cometsystem.cz/* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.cometsystem.cz/produkty/dataloggery/s3121-teplomer-vlhkomer-s-externi-sondou/reg-S3121

F. Seznam použitých obrázků, tabulek a grafů

Obrázek 1: Princip hodnocení energetické náročnosti budov [52] 21
Obrázek 2: Princip výpočtu energetické náročnosti budov [52] 21
Obrázek 3: Porovnání celkové potřeby energie pro jednotlivé energetické standardy [53] 24
Obrázek 4: Dřevní brikety - vlevo nahoře [55], dřevní pelety - vlevo dole [56] 25
Obrázek 5: Řez solárním kolektorem [60] 26
Obrázek 6: Možnosti zapojení solárních soustav [60] 27
Obrázek 7: Schéma zapojení fotovoltaického systému [61] 27
Obrázek 8: Princip tepelného čerpadla [62] 28
Obrázek 9: Vertikální rozložení teplot po výšce místnosti při různém systému vytápění [63] 31
Obrázek 10: Vizualizace bytového komplexu Maloměřické nábřeží, část 1 [64] 35
Obrázek 11: Vizualizace bytového komplexu Maloměřické nábřeží, část 2 [64] 35
Obrázek 12: Mapa Brna s vyznačeným místem plánované výstavby [65] 36
Obrázek 13: Rozdělení objektu do funkčních zón 43
Obrázek 14: 3D model s vymezenými zónami – severozápadní perspektiva 44
Obrázek 15: 3D model s vymezenými zónami – jihovýchodní perspektiva [?] 44
Obrázek 16: 3D model s vymezenými zónami 44
Obrázek 17: Půdorys referenčního bytu 63
Obrázek 18: Půdorysy tlakových poměrů a rozdělení na funkční celky 65
Obrázek 19: Nahoře: Talířový ventil [66], ohebná hadice SONOFLEX [67] 70

Obrázek 20: Geometrie a graf stanovení tlakové ztráty protidešťové žaluzie PDZ-Z [68] 71
Obrázek 21: Distribuční schéma referenčního bytu 71
Obrázek 22: Schéma vzduchotechnických jednotek 72
Obrázek 23: Geometrie a charakteristika jednotek VRF systému [69] 79
Obrázek 24: Charakteristika a geometrie ventilátorů vzt jednotek [70] 80
Obrázek 25: Schéma návrhu přívodních otvorů v garáži 84
Obrázek 26: Charakteristika odtahových ventilátorů v garáži [71] 85
Obrázek 27: LED dioda [72].. 88
Obrázek 28: Wolframová žárovka [73] 87
Obrázek 29: Halogenová žárovka [74]… 88
Obrázek 30: Kompaktní zářivka [75] 87
Obrázek 31: Schéma zapojení tepelného čerpadla v systému vytápění [76] 89
Obrázek 32: Charakteristické údaje tepelného čerpadla [77] 90
Obrázek 33: Technické údaje tepelného čerpadla [77] 90
Obrázek 34: Charakteristika akumulačního zásobníku [78] 91
Obrázek 35: Charakteristika topné příruby [79] 92
Obrázek 36: Oběhové čerpadlo Wilo [80] 93
Obrázek 37: Charakteristika zásobníkového ohřívače varianty I [81] 96
Obrázek 38: Možnosti napojení soustav do akumulačního zásobníku varianty I [81] 96
Obrázek 39: Charakteristika topného tělesa varianty I [82] 97
Obrázek 40: Charakteristika výměníku ZZTOV [83] 98
Obrázek 41: Schéma výměníku ZZTOV [43]. 99
Obrázek 42: Charakteristika solárního kolektoru [84] 99
Obrázek 43: Obrázek stanovení rozteče podpěrných konstrukcí solárních kolektorů [85] 102
Obrázek 44: Schéma solárních kolektorů umístěných na střeše objektu 102
Obrázek 45: Charakteristika akumulačního zásobníku [86]…… 103
Obrázek 46: Charakteristika solárního zásobníku [87] 103
Obrázek 47: PENB varianty I – grafická část 107
Obrázek 48: PENB varianty II – grafická část 109
Obrázek 49: Poloha komplexu Otevřená zahrada [88] 113
Obrázek 50: Jihovýchodní a jihozápadní pohled [88] 113
Obrázek 51: Fotografie z interiéru Otevřené zahrady [88] 114
Obrázek 52: 2.NP budovy Otevřené zahrady 115
Obrázek 53: 3.NP budovy Otevřené zahrady 115
Obrázek 54: Měřící zařízení Datalogger Comet S3532 [89] 116
Obrázek 55: Schéma umístění dataloggeru v místnosti v době 17. -20. 5. 2016 118
Obrázek 56: Umísnění a upozornění měřícího zařízení CO2 v době 119
Obrázek 57: Schéma umístění dataloggeru v místnosti konferenčního sálu 120
Obrázek 58: Schéma umístění dataloggeru v místnosti konferenčního dne 26. 9. 2016. 122
Obrázek 59: Umístění přístrojů v konferenčním sále 26. 9. 2016 123
Obrázek 60: Schéma umístění dataloggeru v místnosti konferenčního dne 2. 6. - 9. 6. 2016. 124

Tabulka 1: Redukční činitel požadované základní hodnoty U_{em} [9] 18
Tabulka 2: Snížení neobnovitelné primární energie pro referenční budovu [9] 18
Tabulka 3: Požadavky na energeticky nulové budovy [19] 23
Tabulka 4: Výhřevnost dřevin [54] 25
Tabulka 3: Tabulka rozdělení bytů po patrech, vchodů, velikostí a typu 37

Tabulka 4: Tabulky součinitelů prostupů tepla obvodových konstrukci 39
Tabulka 5: Tabulky součinitelů prostupů tepla podlahových konstrukci 40
Tabulka 6: Tabulky součinitelů prostupů tepla stropních a střešních konstrukci 41
Tabulka 7: Tabulka součinitelů prostupů tepla výplní otvorů 41
Tabulka 8: Geometrické údaje zón 45
Tabulka 9: Provozní údaje zón 45
Tabulka 10: Tabulka klasifikačních tříd [9] 45
Tabulka 11: Tabulka stanovení průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} pro zónu 1 48
Tabulka 12: Tabulka stanovení průměrných součinitelů prostupu tepla pro zónu 2 49
Tabulka 13: Tabulka stanovení klasifikační třídy celé budovy 50
Tabulka 14: Tabulka rozdělení měrných toků prostupem a větráním zón a celé budovy 51
Tabulka 15: Tabulky parametrů pro vnitřní tepelné zisky a osvětlení dle TNI 73 0330 [36] 56
Tabulka 16: Tabulka okrajových podmínek pro Brno 57
Tabulka 17: Tabulka potřeby energie pro vytápění a chlazení pro zónu obytné prostory 58
Tabulka 18: Tabulka potřeby energie pro vytápění pro zónu komunikace a chodby 58
Tabulka 19: Tabulka potřeby energie pro vytápění a chlazení pro celou budovu 58
Tabulka 20: Tabulka okrajových podmínek potřeby teplé vody 60
Tabulka 21: Tabulka rozdělení odběru TV během jedné periody 61
Tabulka 22: Tabulka rozdělení odběru TV během jedné periody 61
Tabulka 23: Tabulky tlakových poměrů pro první funkční celek č.1 67
Tabulka 24: Tabulky tlakových poměrů pro první funkční celek č.2 68
Tabulka 25: Tabulky tlakových poměrů pro první funkční celek č.3 69
Tabulka 26: Tabulka okrajových klimatických podmínek pro Brno 70
Tabulka 27: Tabulka parametrů vnitřního prostředí 70
Tabulka 28: Tabulka požadovaných hodnot LAeq,T pro chráněné venkovní prostor stavby 81
Tabulka 29: Tabulka vstupních hodnot stanovení průtoku vzduchu pro větrání garáží 82
Tabulka 30: Požadavky na umělé osvětlení dle ČSN 36 0452[18] 86
Tabulka 31: Výsledky z měření dle ČVUT fakulty stavební v Praze [43] 98
Tabulka 32: Tabulka potřeby teplé vody 99
Tabulka 33: Tabulka potřeby teplé vody 101
Tabulka 34: Výsledky dodané energie pro variantu I… 104
Tabulka 35: Výsledky dodané energie pro variantu II 105
Tabulka 36: Investiční náklady varianty II 110
Tabulka 37: Ekonomické vyhodnocení varianty II 111
Tabulka 38: Parametry vnitřního prostředí [8] 117
Tabulka 39: Třídy práce dle celkového energetického výdaje [5] 117
Tabulka 40: Přípustný expoziční limit a nejvyšší přípustná koncentrace pro oxid uhličitý [5] 117
Tabulka 41: Obsazení místnosti č. 311 během měření 2. 6. – 9. 6. 2016 124

Graf 1: Národní cíle podílu energie z OZE na hrubé konečné spotřebě energie v roce 2020 13
Graf 2: Vývoj výroby elektřiny brutto z OZE a její podíl na tuzemské brutto spotřebě [51] 14
Graf 3: Rozdělení solárních kolektorů [59] 26
Graf 4: Graf měrných tepelných toků budovy prostupem a větráním 51
Graf 5: Graf měrných tepelných toků budovy 51
Graf 6: Graf měrných tepelných toků budovy prostupem dle konstrukcí 51
Graf 7: Graf potřeby energie na vytápění a chlazení celé budovy 59
Graf 8: Graf potřeby energie na vytápění a chlazení na m^2 plochy celé budovy 59

Graf 9: Graf stanovení velikosti zásobníku TV a maximálního rozdílu mezi Q_{1p} a Q_{2p} 62
Graf 10: Vpravo: Charakteristika talířového ventilu DAV 100 [66] 70
Graf 11: H-X diagram vzduchotechnické jednotky pro zimní provoz 75
Graf 12: H-X diagram vzduchotechnické jednotky pro letní provoz 76
Graf 13: Charakteristika VRF systému [42] 77
Graf 14: Rozdíl v tlakových poměrech na vnitřních jednotkách VRF systému [42] 78
Graf 15: Graf úspory tepla ZZTOV [43] 98
Graf 16: Graf bilance pokrytí potřeby tepla solární soustavou 101
Graf 17: Naměřené koncentrace CO_2 v době měření 17. – 20. 5. 2016 118
Graf 18: Parametry vnitřního prostředí v době měření 17. - 20. 5. 2016 119
Graf 19: Naměřené koncentrace CO2 v době měření 12. – 13. 5. 2016 120
Graf 20: Parametry vnitřního prostředí v době měření 12. - 13. 5. 2016 121
Graf 21: Naměřené koncentrace CO_2 v době měření 31. 5 – 1. 6. 2016 121
Graf 22: Parametry vnitřního prostředí v době měření 31. 5 - 1. 6. 2016 122
Graf 23: Naměřené koncentrace CO_2 obou přístrojů v době měření 29. 6. 2016 123
Graf 24: Naměřené koncentrace CO_2 přístroje v době měření 2.6 - 9. 6. 2016 125
Graf 25: Parametry vnitřního prostředí v době měření 2. 6. - 9. 6. 2016 125

G. Seznam použitých zkratek a veličin

UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
OSN	Organizace spojených národů
ČVUT	České vysoké učení technické
PBŘ	Požárně bezpečnostní řešení
OPŽP	Operační program Životního prostředí
OPPIK	Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost
LCD	Liquid Crystal Display
PVC-HT	Polyvinylchlorid-High Temperature
HDPE	High density polyethylene
PVC	Polyvinylchlorid
3D	trojdimenzionální
RV	vlhkost
DN	diametre nominal
COP	Coefficient of Performance
EER	Energy Efficiency Rating
lm	lumen
Bq	becquerel
cd	candela
lx	lux
K	kelvin

H. Použitý software

Microsoft Office WORD 2016

Microsoft Office EXCEL 2016

SketchUp 2014

Energie 2016.3

AutoCAD 2017

Program pro dataloggery 4.0.21.0

Malování ve Windows 10

I. Seznam příloh

Příloha č. 1 - Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB), protokol o výpočtu energetické náročnosti budovy dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. a ČSN 73 0540-2 – VARIANTA I

Příloha č. 2 - Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB), protokol o výpočtu energetické náročnosti budovy dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. a ČSN 73 0540-2 – VARIANTA II

Příloha č. 3 - Energetický štítek obálky budovy (EŠOB)

Příloha č. 4 - Dokumentace stavební části objektu

- I. 4. 1 - STUDIE 1. PP
- I. 4. 2 - STUDIE 1. NP
- I. 4. 3 - STUDIE 2. NP
- I. 4. 4 - STUDIE 3. NP
- I. 4. 5 - STUDIE 4. NP
- I. 4. 6 - ŘEZY
- I. 4. 7 - POHLEDY

Příloha č. 5 - Naměřené hodnoty parametrů vnitřního prostředí

- pro místnost č. 207 – velká zasedací místnost
- pro místnost č. 205 – konferenční sál
- pro místnost č. 311 – pracovní kancelář