VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

VĚTRÁNÍ BUDOV S TÉMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU ENERGIE

VENTILATION OF NEAR ZERO ENERGY BUILDINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Pavel Fojtík
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

Student	Bc. Pavel Fojtík
Název	Větrání budov s téměř nulovou spotřebou energie
Vedoucí práce	doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Datum zadání	31. 3. 2016
Datum odevzdání	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

doc. Ing. Jiří Hirš, CSc. Vedoucí ústavu	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA 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

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 větracích 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.
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 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 systémy větrání v domech s téměř nulovou spotřebou energie. Práce je zaměřena především na kvalitu vnitřního prostředí a skládá se ze tří částí. První je teoretická část, kde jsou uvedeny právní předpisy a vyhlášky stanovující požadavky na nulové stavby, dále jsou zde popsány faktory ovlivňující kvalitu vzduchu v interiéru a přestaveny navrhované systémy. Ve druhé části se zabývám produkcí a transportem částic ve vnitřním prostředí budov a to přímo nZEB budově. Závěrečná část je zaměřena na návrh komunitního centra Skála, nové budovy která by měla splňovat nZEB standart, pro městskou část Nový Lískovec.

ABSTRACT

Diploma thesis is focus on ventilation systems in Zero energy building and indoor air quality. Whole thesis has three part. First is about theory, where you can find law regulations and standards connected wit nZEB, factors influence IAQ and introduced ventilations systems. Second part is focus on particles transport in buildings like a nZEB and in heat recovery units. Last part of the thesis shows own design of the nZEB for Nový Lískovec.

KLÍČOVÁ SLOVA

Budova s téměř nulovou spotřebou energie, kvalita vnitřního prostředí, zpětné získávání tepla, rotační výměník tepla, nucené větrání.

KEYWORDS

Near zero energy buildings, indoor air quality, heat recovery units, rotary heat exchanger, ventilation systems

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Pavel Fojtík *Větrání budov s téměř nulovou spotřebou energie.* Brno, 2017. 73 s.,. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 13. 1. 2017

Bc. Pavel Fojtík
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Hiršovi, CSc za poskytnutí cenných rad a zkušeností během posledního roku.

Rád bych chtěl také poděkovat zástupcům zahraničních institucí jmenovitě profesorovi Gyungyu Cao z NTNU a Maria Justo Alonso ze společnosti SINTEF za pomoc a vedení výzkumu přenosu částic. Dále pak Natashe Nord z NTNU a profesorovi Thomasu Berkerovi ze ZEB, za umožnění měření v jejich budovách a možnosti využití dat k práci.

V poslední řadě bych chtěl poděkovat paní starostce Ing. Janě Drápalové za možnost podílet se na projektu Skála v Novém Lískovci.

OBSAH

A. ANALÝZA TÉMATU , CÍLE A METODY ŘEŠENÍ 11

1 ANALÝZA TÉMATU 12

1.1 SMĚRNICE 2010/31/EU – EPBD II 12

1.2 HODNOCENÍ NZEB V ČESKÉ REPUBLICE 13

1.3 VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ BUDOV – IAQ 15

1.4 KVALITA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ A JEJÍ HODNOCENÍ 15

1.5 IAQ VE SVĚTĚ VÝZKUM 19

1.6 VĚTRÁNÍ 20

1.6.1 Druhy Větrání 20

1.7 ZPĚTNÉ ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA VE VĚTRÁNÍ 23

1.8 KLIMATIZACE A CHLAZENÍ PRO NZEB 24

1.9 VÝZKUM VĚTRÁNÍ MONICAR 26

1.10 ZERO VILAGE BERGEN 27

B. VÝZKUM V OBLASTI IAQ 28

2 VÝZKUM V OBLASTI IAQ 29

2.1 PŘEDSTAVENÍ EXPERIMENTU 31

2.2 EXPERIMENT Č.1 _ MNOŽSTVÍ ČÁSTIC LIVING LAB 32

2.3 EXPERIMENT Č.2 _ MNOŽSTVÍ ČÁSTIC NATASA'S HAUSE 36

2.4 EXPERIMENT Č.3 _ PŘENOS ČÁSTIC NA ROTAČNÍM VÝMĚNÍKU 41

C. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ 48

3 APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ 49

3.1 KOMUNITNÍ CENTRUM SKÁLA 49

4 ZÁVĚR 68

5 POUŽITÉ ZDROJE 69

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ 71

7 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ 72

ÚVOD

Bodovy s téměř nulovou spotřebou energie v současnosti představují další krok po pasivním standartu bydlení. Zastánci pasivních staveb se s tímto trendem jen těžko smiřují, čehož jsem mohl být svědkem na nedávné konferenci pasivního domu. Česká legislativa však s nulovými domy počítá a to jako standartní stavby od roku 2020.

Od nulových domů se v budoucnu očekává zvláště výrazné snížení energie spojené s provozem a schopnost produkce vlastní energie z fotovoltaických a solárních panelů. Dále využívání obnovitelných zdrojů energie a to možno co v největší míře. Pomalu jako samozřejmost se bere kvalitní vnitřní prostředí, které mají na starost prvky jako je nucené větrání a právě tímto systém se budu v následujících stránkách zabývat.

ZEB _ Zero Energy Building (budova která není napojena na veřejnou energetickou síť, její spotřeba je kryta vlatní energetickou produkcí, plně založenou na dostupných obnovitelných zdrojích)

nZEB _ Net Zero Energy Building (budova která je napojena na veřejnou energetickou síť, její spotřeba je v roční bilanci vyrovnána vlastní energetickou produkcí avšak v době potřeby čerpá anergii ze sítě a naopak)

nnZEB _ Nearly Net Zero Energy Building (Jedná se o nulovou budovu, jejíž roční bilance primární energie PE, která se hodnotí na základě energie odebrané a dodané z/do veřejné sítě, se blíží nule)

A. Analýza tématu , cíle a metody řešení

1 Analýza tématu

1.1 Směrnice 2010/31/EU – EPBD II

Dle analýzy mezinárodní agentury pro energii IEA, která uvádí spotřeby energií v letech 1972-2008, je zřejmé že podíl budov a služeb na spotřebě byl až 40% vyrobené energie. Díky tomu přišla z Bruselu vize ve formě Směrnice o energetické náročnosti budov 2010/31/EU – EPBD II, která je revizí směrnice 91/2002/ES **[1]**.

Směrnice udává cíle do roku 2020 v podobě úspor energie v Evropě. Zároveň ruší předešlou směrnici 91/2002/ES v plném rozsahu a v některých částech zpřísňuje požadavky na energetickou náročnost budov. Hlavním motem je cíl 20-20-20 **[2]**.

do roku 2020:

- zvýšení energetické účinnosti o 20%
- zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie v celkové spotřebě v EU na 20 %
- snížit emise skleníkových plynů o 20 % oproti úrovni z roku 1990

V roce 2014 publikovala Rada Evropy v oblasti energetické náročnosti do roku 2030 **[3]** s tím že, nastavený cil 20-20-20 bude pokračovat a tím by se měl podíl skleníkových plynů snížit o dalších 20 %, spotřeba energie o 7 % a podíl obnovitelných zdrojů energie by měl narůst o dalších 7 % **[2]**.

Jednotlivé členské státy měli tuto směrnici **[1]** implementovat do svých zákonů a vyhlášek. Zároveň aby byla dodržena určitá rovnováha mezi prvotními investicemi a ušetřenými náklady během užívání stavby.

Nové budovy, jejichž vlastníkem a uživatelem bude orgán veřejné moci nebo subjekt zřízený orgánem veřejné moci, musí splňovat požadavky nZEB následovně:

- > 1500 m^2_ od 1.ledna 2016
- > 350 m^2_ od 1.ledna 2017
- < 350 m^2_ od 1.ledna 2018

Ostatní nové budovy poté musí dosáhnout požadavků v režimu nZEB takto:

- > 1500 m^2_ od 1.ledna 2018
- > 350 m^2_ od 1.ledna 2019
- < 350 m^2_ od 1.ledna 2020

Směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov (EPBD II - Energy Performance Building Directive) byla začleněna do zákonů ČR prostřednictvím zákona 318/2012 (novely zákona 406/2000) o hospodaření energií a do novely vyhlášky 148/2007 o energetické náročnosti budov **[4]**.

1.2 Hodnocení nZEB v České Republice

Budovou s téměř nulovou spotřebou energie se rozumí budova s velmi nízkou energetickou náročností, jejíž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů dle zákona 318/2012 **[4]**. Detailně to však řeší vyhláška **[3]**, která v rozmezí let 2012-2020 postupně zpřísňuje požadovanou hodnotu ukazatelů energetické náročnosti tzv. neobnovitelné primární energie a průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy **[2]**. Budovy musí toho požadavku dosáhnout jednak pomocí kvalitní obálky budovy a také za pomoci zvýšením podílu využiti obnovitelných zdrojů energie.

Energetická Náročnost Budov

Vyhláška obsahuje novou metodiku hodnocení spotřeby energie v domech tzv. Energetickou náročnost domů. Tím se rozumí vypočtené potřeby energie na provoz budovy. Bere se v úvahu potřeba energie na vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu TV a osvětlení.

Výsledná vypočtená hodnota energetické náročnosti budovy popisuje tepelně_technickou stránku budovy v závislosti na externích podmínkách a na účinnosti jednotlivých systémů **[2]**. Hodnocení energetické náročnosti budov je založeno na porovnání hodnocené budovy s budovou referenční, která je definována prováděcí vyhláškou **[3]**.

Referenční budova je budova stejné velikosti, tvaru, užívání. Má stejný způsob vytápění atd. jako budova hodnocená, ale má definované vlastnosti – úroveň tepelné izolace konstrukcí, vlastnosti oken, účinnosti zdrojů energie atd. Při následném porovnání musí být hodnocená budova alespoň tak energeticky úsporná jako budova referenční nebo úspornější. Pokud bude stejně úsporná, bude hodnocená budova zařazena do kategorie C, pokud bude energeticky úspornější než referenční budova, bude zařazena do kategorie B nebo dokonce do kategorie A (mimořádně úsporná budova) **[3]**.

Ukazatele energetické náročnosti, které se u budov hodnotí

- celková primární energie za rok
- neobnovitelná primární energie za rok
- celková dodaná energie do budovy za rok
- dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu přípravu teplé vody a osvětlení za rok
- průměrný součinitel prostupu tepla
- součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici
- účinnost technických systémů

Nová budova a budova s téměř nulovou spotřebou energie

Požadavky na energetickou náročnost nové budovy a budova s téměř nulovou spotřebou energie jsou splněny, pokud hodnoty následujících ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy, a to neobnovitelná primární energie za rok, celková dodaná energie do budovy za rok a průměrný součinitel prostupu tepla nejsou vyšší než referenční hodnoty ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu **[3]**.

Změna dokončené budovy

Požadavky na energetickou náročnost při větší změně dokončené budovy a při jiné, než větší změně dokončené budovy jsou splněny, pokud:

a) hodnoty následujících ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy a to neobnovitelná primární

energie za rok a průměrný součinitel prostupu tepla nejsou vyšší, než referenční hodnoty těchto ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu **[3]**.

b) hodnoty následujících ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy a to celková dodaná energie do budovy za rok a průměrný součinitel prostupu tepla nejsou vyšší než referenční hodnoty těchto ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu **[3]**.

Hodnocená budova musí splnit výše uvedené požadavky a zároveň klasifikační třídy EN pro celkovou dodanou energii a neobnovitelnou primární energii. Současně je také klasifikační třída stanovena pouze pro dílčí dodanou energii příslušných technických systémů – vytápění, přípravu TV, chlazení, úpravu vlhkosti, osvětlení **[2]**.. Zatřídění ukazatelů EN se provede podle tab. 1, kdy se ukazatele celkové dodané, dílčí a primární energie zařazují odlišně do klasifikačních tříd EN od průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budov **[12]**.

Tabulka 1.1 Klasifikační třídy hodnocené budovy

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy		Slovní vyjádření klasifikační třídy
	Energie a), b), c), d)	U_{em} e)	
A	0,5 × E_R	0,65 × E_R	mimořádně úsporná
B	0,75 × E_R	0,8 × E_R	velmi úsporná
C	E_R		úsporná
D	1,5 × E_R		méně úsporná
E	2 × E_R		nehospodárná
F	2,5 × E_R		velmi nehospodárná
G			mimořádně nehospodárná

Důležitým ukazatelem při hodnocení se jeví celková primární energie, tzv. neobnovitelná primární energie. Primární energie je energie, která neprošla žádným procesem přeměn. Celková primární energie je součtem obnovitelné a neobnovitelné primární energie. Neobnovitelná primární energie je ukazatelem EN, který je hodnocen a požaduje se jeho splnění. Je to energie pocházející z neobnovitelných zdrojů energie. Za neobnovitelný zdroj se obvykle považuje takový zdroj energie, jehož vyčerpání je očekáváno v horizontu maximálně stovek let, ale jeho případné obnovení by trvalo mnohonásobně déle. Typickými příklady neobnovitelných zdrojů energie, především fosilních paliv, jsou uhlí, ropa, zemní plyn a rašelina. Dále do této skupiny patří jaderná energie, protože přirozené přírodní zásoby štěpných materiálů jsou také vyčerpatelné **[2,12]**.

Celková primární energie a neobnovitelná primární energie se stanoví jako součet součinů dodané energie, v rozdělení po jednotlivých energonositelích a příslušných faktorů primární energie uvedených v příloze č. 3 vyhlášky č. 78/2013 Sb., **[3,12]**.

Tabulka 1.2 Energonositele, faktory primární energie a faktory neobnovitelné primární energie

Energonositel	Faktor celkové primární energie [–]	Faktor neobnovitelné primární energie [–]
Zemní plyn	1,1	1,1
Černé a hnědé uhlí	1,1	1,1
Elektřina	3,2	3,0
Dřevěné peletky	1,2	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	1,1	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	1,0	0

1.3 Vnitřní prostředí budov – IAQ

Nulový dům by měl poskytovat vysoký teplotní komfort, kdy o vnitřní prostředí pečuje řízené větrání s rekuperací tepla. Mnohdy se však na tento systém nahlíží jen z hlediska energetických úspor a z toho vycházejících návratností systému **[5]**. Je však pravdou, že faktory jako jsou zápach, vysoká koncentrace CO_2, prach, suchý vzduch, nebo špatná teplota výrazně ovlivňují kvalitu života. Člověk výraznou část svého života totiž stráví právě v interiérech a proto má vhodné prostředí budov vliv na naše zdraví a pohodu **[6]**.

Výskyt alergií a jiných obtíží má co dočinění právě s kvalitou vnitřního prostředí. Díky filtrům a dostatečné výměně vzduchu v místnosti je riziko obtíží horních cest dýchacích značně sníženo. Přirozené větrání je díky velmi těsné obálce budovy téměř vyloučeno. Podobný problém se vyskytuje u zateplení plášťů škol, školek a jiných podobně využívaných budov, kdy za snížením potřeb na vytápění zateplením také přímo úměrně snižujeme kvalitu prostředí a koncentrace v něm obsažené. Při neměrné proměně až 10 l/den vodních par do interiéru (průměrná rodina), dochází na ochlazovaných místech ke kondenzaci a výskytu plísní, či jiných škodlivin **[6,7]**.

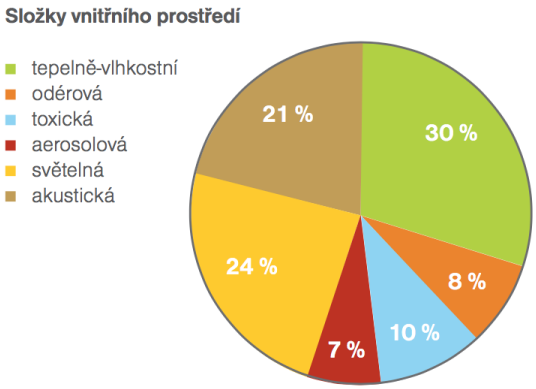
Jednotlivé požadavky, doporučené a povolené hodnoty vnitřního prostředí uvádí Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.

1.4 Kvalita vnitřního prostředí a její hodnocení

Na obr 1.1 jsou ukázány hlavní složky, které ovlivňují onu IAQ. Je patrné, že zásadní vliv tvoří tepelně vlhkostní parametry místnosti.

Teplota a vlhkost

Jedná se o hlavní parametr ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí z hlediska zdraví a spokojenosti, ale i z hlediska použitých technologií a materiálů budovy samotné. Způsob vnímání tepla je velmi proměnný díky samotné biologii člověka a jeho schopnosti reagovat na okolní vlivy značně individuální. Složky, jako rychlosti proudění vzduchu, samotná lidské tělo a jeho schopnost produkovat teplo do okolí, teplota povrchů místností atd. ovlivňují spokojenost osob. Člověk na základě svých biologických pochodů neustále produkuje teplo, které odevzdává do svého okolí. Tento stav, kdy prostředí odebírá tělu tolik tepla, kolik právě produkuje, označujeme jako tepelná rovnováha **[6,7]**.



Obrázek 1.1 Jednotlivé složky vnitřního prostředí a jejich vliv na IAQ

Příliš vlhký vzduch

Dosažení požadovaných hodnot pro pobytové místnosti z hlediska teploty a její následné regulace není až takový problém. Mnohem větší starost je dosažení vyhovující relativní vlhkosti 40-60%. V extrémech, kdy místnost není větrána, nebo nedostatečně může vlhkost vystoupat až k 80% **[7]**. Podle Mollierova diagramu je úměra mezi teplotou a vlhkostí jasná, čím nižší teplota tím větší vlhkost vzduchu, proto je

nutné jí brát v úvahu. Zvýšena vlhkost (tj. nad 70%) přímo působí na infekce horních cest dýchacích a poté na vzniku plísní, jež mohou mít za následek bolest hlavy či alergické reakce. V oněch plísních dochází k množení roztočů. Děti často reagují bolestmi v krku a celkově trpí potížemi s dýcháním. Dospělí pak trpí častěji zvracením, dušností, bolestí v zádech a rýmou. Počet těchto obtíží je přímo úměrný dle Dr. Platta, 1989 z Epidemiologilac Unit of Medical Research at Royal Edinburgh Hospital, U.K **[9]**.

Onemocnění a symptomy způsobené příliš vlhkým vzduchem

- Atopie
- Alergie (astma, rhinitis)
- Zvýšené riziko infekcí
- Toxická pneumonitis
- Alergická alveolitis

- Podráždění sliznice očí, nosu, dýchacích cest
- Pocity svědění a pálení kůže
- Bolesti kloubů, hlavy a celková únava
- Neurologické – bolest a ztráta citlivosti

Příliš suchý vzduch

Druhý extrém, příliš suchý vzduch tj. pod hodnotou 30%, způsobuje nepříjemné vysychání sliznic a tím se oslabuje obranný mechanismus člověka proti vnikání mikroorganismů a aerosolů včetně alergenů do lidského organismu. Bakterie a viry tak nacházejí optimální podmínky pro svůj rozvoj. Nízká relativní vlhkost se projevuje i na pokožce a očích **[8]**. Tento stav nastává obvykle při nízkých venkovních teplotách. Příkladem může být ohráti externího vzduchu z -10°C na 20°C, tím klesá jeho vlhkost až pod 15%. Tato skutečnost nastává při nadměrné výměně vzduchu. Dříve se stanovovala v hodnotách 0,5 až 0,8h^{-1}, aby se zabránilo kondenzaci. U nulových domů díky vysokým povrchovým teplotám nastává problém s kondenzací až u hodnot nad 65-70% vlhkosti v interiéru. Tím pádem stačí menší množství čerstvého vzduchu tj. 20 až 30 m3/h na osobu **[6,9]**.

Dosud jsme se bavili pouze o závislosti teploty a vlhkosti, potažmo větrání a vlhkosti. Avšak produkce člověka a jeho aktivit v interiéru výrazně ovlivňuje relativní vlhkost.

Zdroje vlhkosti v budovách

- Metabolismus člověka **50-250**g/hod/os (dle druhu činnosti)
- Koupelna **700-2500** g/hod
- Kuchyně **600-1500** g/hod
- Sušení prádla **200-500** g/hod/5kg
- Pokojové rostliny **500-100** g/den (20ks)

Mikroby

Mikroby, či mikroorganismy tzv. bioaerosoly, jako bakterie viry plísně, antigeny, endoxiny a mitoxiny, o průměru od 0,1µm do 100 µm se nacházejí v ovzduší. Hlavním nositelem jsou kapalné aerosoly a pevné aerosoly, tedy prach. Tyto částice jsou více méně pohlcovány filtry vzduchotechniky, které je však nezbytné pravidelně čistit, či měnit (alespoň 2x ročně a ve městech až 4xročně) **[6,8]**

Obrázek 1.2Ukázka baterie, roztoče a plísně

Asi nejúčinnější způsob jak snížit mikrobiální koncentraci v budovách je kvalitní systém větrání s dostatečným přívodem čerstvého vzduchu.

ZÁPACHY A VŮNĚ

Tzv. odéry, což jsou plyny a zápachy, které se vyskytují v ovzduší, ovlivňují kvalitu vnitřního prostředí v budovách. Můžeme je rozdělit do dvou kategorií. První jsou produkovány člověkem a jeho aktivitou, to znamená kouření, příprava jídla, tělesné pachy (aceton, isopren), kosmetika, odpadky a čistící prostředky **[6]**.

Druhou jsou pak odéry z materiálů, které se během svého životního cyklu stále uvolňují, jako jsou formaldehydy, organická rozpouštědla, styrény a jiné. Většina z nich má při větších koncentracích neblahé účinky na organismus, proto je důležité dbát na kvalitní materiály a správnou hladinu větrání.

Z venkovního prostředí vstupuje do interiéru také určitá část odérů. S přirozeným větráním dokonce 50% až 80%. Jsou to vesměs látky a produkty ze spalovacích motorů (oxid dusíku a síry, CO, sírany a jejich sloučeniny), z průmyslových závodů a spaliny z lokálních zdrojů.

Pro uvedení pozitivních odérů, které bezesporu ovlivňují taktéž kvalitu vnitřního prostředí bych uvedl kvetoucí rostliny, seno, tající sníh a posekanou trávu **[8,9]**.

Do této kategorie bych zahrnul i $C0_2$ koncentrace, což je věrohodný indikátor pro hodnocení kvality vzduchu a účinnosti systému v dané budově, či místnosti. Nadměrné hodnoty se projevují ospalostí, únavou a nesoustředěností. Vysoké hladiny oxidu uhličitého jsou problém zejména u škol, přednáškových sálů a místností s vysokou koncentrací osob **[10]**.

Účinky koncentrace $C0_2$ na lidský organismus (koncentrace v ppm)

- 350 cca je úroveň venkovního vzduchu
- do 1000 je doporučená hodnota ve vnitřních prostorech
- 1200-1500 je je doporučená maximální úroveň ve vnitřních prostorech
- 1000-2000 nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
- 2000-5000 možné bolesti hlavy
- 5000 je maximální bezpečná konc. bez zdravotních rizik
- > 5000 nevolnost a zvýšený tep
- > 15000 dýchací potíže
- > 40000 možná ztráta vědomí

Toxické plyny

Oxidy síry, oxidy dusíku, oxid uhelnatý, ozón, smog a formaldehyd je jen ukázka plynů, které nás mohou ohrožovat. V interiéru je to však oxid uhelnatý CO, kdy vzniká při nedokonalém spalování fosilních paliv

a špatným odtahem vzduchu. Při dlouhodobém vystavení této látce může dojít až k otravě s poruchami paměti a psychiky. Formaldehyd způsobuje ve větších koncentracích dráždění očí a sliznic.

Radonová zátěž má při krátkodobém působení léčivé účinky, bohužel při dlouhodobém působení je plynem nebezpečným. Radioaktivní polonium je původcem rakovinotvorných onemocnění. Radon samovolně uniká z podloží do prostoru. Většinou pak u domů nastává jev, kdy se radon hromadí pod základovou deskou ve větších koncentracích. Potom mu už stačí menší prasklina v betonu k průniku do budovy, nezbytně nutná je tudíž dobře provedená hydroizolace. Dále pak nucené větrání, které je schopno pracovat v přetlakovém systému **[6,9]**.

Akustika a pohoda vnitřního prostředí

Akustickou pohodu ovlivňují zejména vnější zdroje hluku, kdy se jejím účinkům bráníme kvalitní obálkou budovy. Tyto vlastnosti nazýváme kročejovou nebo vzduchovou neprůzvučností, dle typu šíření. Hluk se nejlépe tlumí za pomoci masivní, hmotné konstrukce nebo dobře zvolenou vícevrstvou konstrukcí u dřevostaveb. Velkou zásluhu má především nucené větrání, které zásobuje interiér vzduchem, bez nutnosti otevírat okna. Bohužel sama větrací jednotka a např. TČ může být značným zdrojem hluku. Jejich správné umístění v budově je základem dobrého návrhu. Maximální hodnoty v obytných místnostech respektive v technických místnostech jsou < 25dB a < 35dB **[8]**.

Světlo a jeho vliv

Světlo je významný parametr přímo působící na pohodu člověka. Kvalitní osvětlení interiéru budovy ovlivňuje pohodu člověka, zrakové vnímání, regeneraci organismu a jeho výkonost. Naopak nedostatečné osvětlení způsobuje únavu organismu, bolest hlavy či očí.

Mohlo by se zdát, že velké prosklené plochy mohou být snadným řešením problému, avšak touto cestou dochází v letních podmínkách k velmi častému přehřívání interiéru. Doporučená velikost prosklení bez stínění by neměla přesahovat 1/6, maximálně pak ¼ obytné plochy místnosti. Vyrovná se tak chování místnosti jak v zimním období tak i v letním období **[6,9]**.

Požadavky jsou stanoveny odkazem na normy: ČSN 73 0580 Denní osvětlení budov, ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení a ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení **[13]**.

Platné předpisy

K dispozici máme jednotlivá nařízení vlády a vyhlášky, nahrazující původní „hygienické předpisy“. Můžeme je hledat podle typu zařízení, ke kterým se vztahují – pracovní prostředí, školy, bazény, atd.. popřípadě podle jednotlivých škodlivin jako hluk, vibrace, prach, atd. V oblastech, které nejsou těmito předpisy pokryté, pomohou požadavky norem, které mohou být právně zezávazněny odkazem na normové hodnoty v příslušném nařízení vlády nebo vyhlášce, jinak jsou pouze doporučením vycházejícím z dosažené úrovně poznání řešené problematiky **[13]**.

Tabulka 1.3 Platné předpisy pro jednotlivé typy prostředí

Typ prostředí	Předpis	Existují limity pro:
pracovní	NV č. 361/2007 Sb., ve znění NV č. 93/2012 Sb.	MKL, chemické látky a prašnost, osvětlení, větrání
stravovací	vyhláška č. 137/2004 Sb. ve znění č. 602/2006 Sb.	žádné limity neexistují
školské	vyhláška č. 343/2009 Sb.	MKL, osvětlení, větrání
pobytové	vyhláška č. 6/2003 Sb.	MKL, chemické látky a prašnost, výskyt mikroorganismů, výskyt roztočů
bazény, sauny	vyhláška č. 238/2011 Sb.	MKL, osvětlení, větrání, mikrobiální kontaminaci vody
vnitřní prostředí staveb	vyhláška č. 20/2012 Sb.	větrání, koncentrace CO_2
Pozn.: NV = nařízení vlády MKL = mikroklima (teploty, relativní vlhkost, rychlost proudění vzduchu)		

Obecně hygienické požadavky na jednotlivé faktory ovlivňující prostředí vychází z různých zákonů, jako jsou tyto:

- Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) v platném znění.
- Zákon č. 20/1966 Sb., o zdraví lidu, ve znění pozdějších předpisů – především zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, ve znění pozdějších předpisů.
- Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce v platném znění.
- Zákon č. 309/2006 Sb., o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci

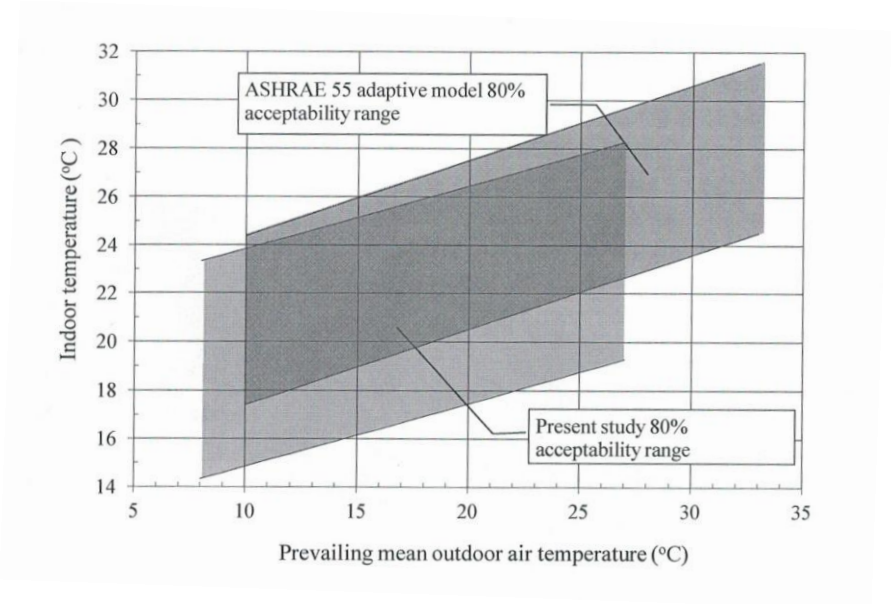
Podrobněji jsou „hygienické požadavky“ rozpracovány v prováděcích předpisech k těmto zákonům **[13]**.

1.5 IAQ ve světě výzkum

IAQ je v západním světě velké téma. Pohodlí člověka a zdravotní stránka věci se zohledňuje čím dál víc a tím narůstá i počet výzkumů vnitřního prostředí budov. Během zahraničních studií jsem byl přímo konfrontován s výzkumem Thermal Comfort in Residental Building, který byl uveden na Winsdórské konferenci ve Velké Británii (2016). Za prací stojí University of Sydney, jmenovitě Jungsoo Kim, Richard de Dear a Tom Parkison.

Studie zkoumala téměř dva roky 42 domácností, kde účastnící za pomoci mobilní aplikace pravidelně odpovídali na otázky ohledně pohody vnitřního prostředí. Jednalo se o jednoduchý dotazník, kde člověk volil aktuální tepelnou pohodu v místnosti a například i to jak je oblečený v daném čase. Zároveň software shromažďoval data z nuceného větrání a klimatizace v budovách a externích klimatických podmínkách.

Současné mezinárodní standarty ASHREA 55 a ISO 7730 doporučují určité vnitřní klima a právě s těmito vyhláškami byla studie srovnávána. Například průměrná teplota se pohybovala v domácnostech o 2K níže než doporučuje ASHREA 55. Zároveň výzkum dokázal, že lidé byli velice adaptabilní ve svých domovech, dokonce více než se předpokládalo.



Obrázek 1.3Výsledné hodnoty z výzkumu IAQ v porovnání s přepisy ASHRAE 55

Výsledky studie mohou pomoci při optimalizaci a nastavení větracích systémů, tak aby dosahovaly co nejvyšší kvality a zároveň ekonomické efektivnosti. Práce a naměřené hodnoty pochází z Austrálie a tudíž nejsou zcela aplikovatelné v našich podmínkách, avšak rozdíl tepelné pohody člověka a doporučených předpisů může být rozdílný i u nás.

1.6 Větrání

Pomocí větrání jsme schopni zajistit potřebnou kvalitu vnitřního prostředí, která má velký vliv na zdraví a pohodu člověka, jak již bylo řečeno v předchozí kapitole. Větráním se upravuje čistota vnitřního ovzduší a také i tepelný stav prostředí. Jelikož při současném trendu stavění je obálka budov téměř vzduchově nepropustná, musíme potřebné množství vzduchu přivádět do budovy nuceně. V důsledku toho, nelze počítat s infiltrací oken a netěsnostmi v obvodovém plášti pro trvalé větrání budovy **[14].**

Proudění vzduchu ve větraném prostoru lze obecně rozdělit na dva druhy přirozené a nucené. Přirozené je způsobeno vlivem rozdílných teplot a tím i hustot vzduchu, nucené potom účinností ventilátorů.

1.6.1 Druhy Větrání

Ve stavební praxi se objevuje několik typů větrání. Od přirozeného větrání, přes hybridní systémy, až po zcela nucené systémy větrání. Pro řešení domů s téměř nulovou spotřebou energie se však výhradně používají dva typy **[14]**.

Prvním je hybridní sytém větrání. Většinou je mu uzpůsoben i tvar stavby. Jedná se o komplikovanější systém a zejména s ohledem na regulaci, kdy se často spoléhá na chování uživatelů stavby. Druhým je systém, kde je větrání zcela nucené. Má jeden chladící a jeden ventilační systém. Velikou výhodou je jeho jednoduchost v kombinací s účinnými komponenty **[15].**

V praxi se jsem se setkal se zastánci jak hybridního, tak nuceného větrání. Např. Prof. Dr. Jarek Kurnitski v článku z roku 2013 porovnával oba systémy, kdy jednoznačně vyzdvihoval systém nuceného větrání pro jeho jednoduchost. S tím nezbývá než souhlasit, avšak tyto systémy pro budovy typu nZEB jsou podle mě vhodné jen pro větší stavby typu kancelářských prostor či škol. U rodinných objektů jsem se naopak setkával s hybridním větráním.

Hybridní větrání

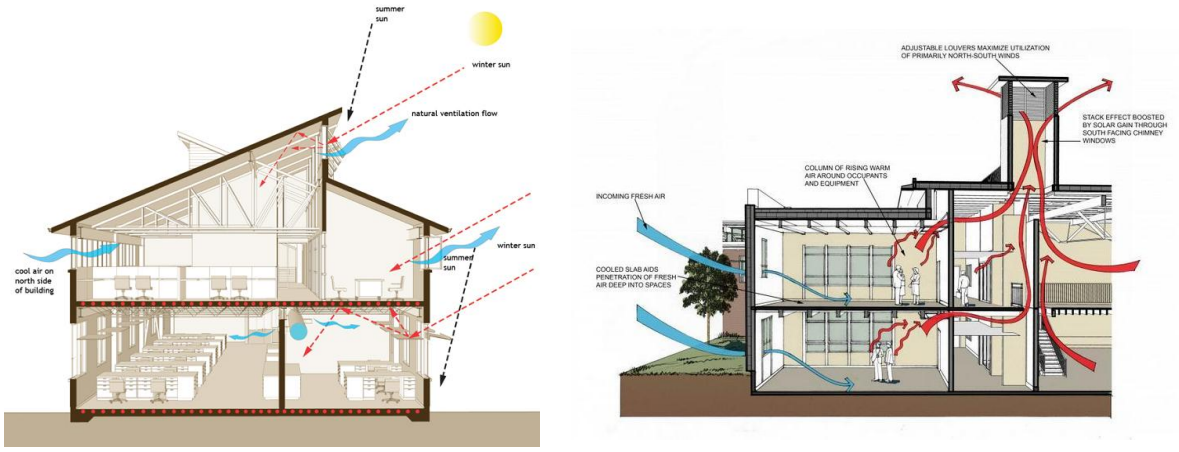
Je to větrání, které kombinuje přirozené a nucené větrání s cílem udržet kvalitu vnitřního vzduchu a zároveň minimalizovat spotřebu energie. Důležitou součástí je řídící systém, který dle hladin CO_2 či jiných atributů nastavuje provozní režim budovy.

HV pracuje se dvěma provozními režimy. První využívá k dopravě vzduchu pouze přírodní síly, vítr a vztlak, druhý pak využívá hnací síly ventilátoru. Kombinací obou systémů lze snížit náklady a stejně tak zvýšit kvalitu prostředí. Principem je regulace, která se snaží udržovat stálý průtok vzduchu. Jak již bylo uvedeno, systém se reguluje za pomoci senzorů. Systém je náročnější na provozní nastavení a chování

uživatelů stavby. Senzory pracují na principu kontroly CO2, nebo na detekci osob v prostoru, či kombinací obou systémů. Cílem je snížení nákladů na provoz systému **[17]**.

Hlavní výhodou se stává energetická část, pocit přirozeného větrání v budově, možnost individuálního nastavení systému a tím zvýšení úrovně komfortu **[18]**. Tyto pozitiva, však mohou být brána jako negativa, záleží však na budoucím uživateli stavby do jaké míry si chce vnitřní prostředí řídit sám.

V současnosti neexistují předpisy, které by zabraňovaly instalaci hybridního větrání. Co však chybí, je ochota navrhovat tento systém díky své složitosti. Důležitým krokem by v tomto směru mohla být implementace požadavků výše zmíněné směrnice EPBD **[19].**



Obrázek 1.4Ukázka hybridního větrání budovy

Nucené rovnotlaké větrání

Zajišťuje přívod čerstvého vzduchu a zároveň odvod vzduchu znehodnoceného. Součástí systému je prvek na zpětné získávání tepla, čímž se snižuje spotřeba energie. Provoz řídí dvojice ventilátorů s možností nastavení otáček dle zvoleného režimu (koncentrace CO_2, vlhkost, obsazenost budovy apod.). Přívodní elementy se zpravidla umísťují do obývacích místností, ložnic a pokojů. Odvodní pak do koupelen, WC a šaten. Přívodní potrubí je vybaveno dohřevem, protože samotné ZZT zpravidla nestačí splnit nároky na přívodní teplotu vzduchu **[14]**.

Výhodou systému je jeho jednoduchost a schopnost zajistit kvalitní vnitřní prostředí. Dále pak jeho možnost nastavení. Nevýhodou je pak cena a prostorové nároky na potrubí, samotnou jednotku a přívodní elementy.

Požadavky na větrání budov dle ČSN EN 15665/Z1

Přívod vzduchu do místnosti je definován intenzitou větrání, která reprezentuje poměr objemového průtoku přiváděného čerstvého, venkovního vzduchu k objemu vnitřního větraného prostoru. Tato norma ČSN EN 15665/Z1 zajišťuje trvalý přívod venkovního vzduchu s minimální intenzitou větrání 0,3 h^{-1} v obytných prostorech. Pro dosažení vyšší kvality vnitřního vzduchu se však doporučují intenzity větrání 0,5 – 0,7 h^{-1}. V době kdy obytné prostory nejsou využívány lze provoz snížit na hodnotu 0,1 h^{-1} **[20]**.

Tabulka 1.4 Požadavky na větrání obytných budov podle národní přílohy Z1 k ČSN EN 15665

Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání [h^{-1}]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [$m^3/(h \cdot os)$]	Kuchyně [m^3/h]	Koupelny [m^3/h]	WC [m^3/h]
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

Tabulka 1.5 Požadavky na větrání dle zahraničních předpisů

Ventilation regulations and standards in the countries

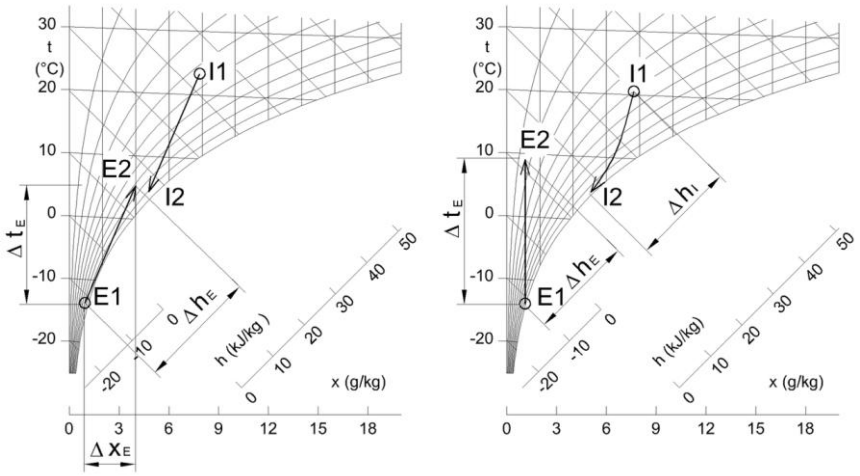
Country/ State	Standard/Norm	Ventilation air whole dwelling ventilation rates	Type of ventilation	Exhauts air flow rates			Supply air flow rates	
				Kitchen	Bathroom	Toilet	Bedroom	Living room
USA	ASHRAE Standard 62-1-2013	Minimum ventilation rates in breathing zone: 2.5 l/s person or 0.3 l/s m^2. Occupancy[a]	Continuous ventilation Intermitent ventilation	Min flow rate [b]:25 l/s Min flow rate [b]:50 l/s	Min flow rate [c]:12.5 l/s Min flow rate [c]:25 l/s	Min flow rate [c]:12.5 l/s Min flow rate [c]:25 l/s	– –	– –
	ASHRAE standard 62-2-2013	The total required ventilation rate (Qtot) shall be as specified in a table depending on the floor area or, alternatively, calculated using the equation: Qtot=0.15 AFLOOR+3.5 (NBR+1) Qtot total required ventilation rate (l/s) Afloor dwelling floor area (m^2) Nbr number of bedrooms (not to be less than 1) Exceptions[d]	Continuous local ventilation Demand-controlled local ventilation	5 ACH 50 l/s[e]	10 l/s 25 l/s	10 l/s 25 l/s	– –	– –
EUROPE	UNE EN 15252	During occupancy continuous flow rate should be at least the biggest of the following values: 1) 0.42 l/s m^2 2) 7 l/s person at living and bedroom 3) 1 l/m^2 for living and bedroom floor areas During not occupancy ventilation rate could be reduced between 0.05 l/sm^2 and 0.1 l/sm^2	Continuous or demand-controlled ventilation. Ventilation rates could be reduced depending on the occupancy.	Min flow rate: 20 l/s	Min flow rate: 15 l/s	Min flow rate: 10 l/s	–	–
SPAIN	DB HS3	Continuous ventilation 24 h per day	Continuous ventilation	Min flow rate: 2 l/s m^2 + 50 l/s for appliance hood	Min flow rate: 15 l/s	Min flow rate: 15 l/s	5 l/s per person	3 l/s per person
GERMANY	DIN1946-6	Mechanical ventilation is required if the necessary air volume flow for moisture-proofing exceeds the air volume flow caused by infiltration. Demand controlled ventilation specify 4 levels for fan air flow: Pos 1: Protection against humidity. From 4.16 l/s (15 m^3/h) for 30 m^2 to 23.6 l/s for 210 m^2 (85 m^3/h) depending on floor area. Pos 2: Reduced ventilation. From 11.11 l/s (40 m^3/h) for 30 m^2 to 41.66 l/s for 210 m^2 (150 m^3/h) depending on floor area. Pos 3: Nominal ventilation. From 15.27 l/s (55 m^3/h) for 30 m^2 to 59.72 l/s for 210 m^2 (215 m^3/h) depending on floor area. Pos 4: Intensive ventilation. From 19.44 l/s (70 m^3/h) for 30 m^2 to 79.16 l/s for 210 m^2 (285 m^3/h) depending on floor area.	Natural or fan assisted ventilation	Nominal ventilation in case of mechanical ventilation: 12.5 l/s (45 m^3/h)	Nominal ventilation in case of mechanical ventilation: 12.5 l/s (45 m^3/h)	Nominal ventilation in case of mechanical ventilation: 7 l/s (25 m^3/h)	–	–
	DIN18018	Applies for ventilation of bathrooms and toilets without windows Air flow requirements only related to exhaust air rooms, not to the entire house	CONTINUOUS VENTILATION (minimum high rate) INSTANTANEOUS VENTILATION (minimum rate)	11.11 l/s (40 m^3/h) during a Min of 12 h 16.66 l/s (60 m^3/h)	5.55 l/s (20 m^3/h) during a Min of 12 h 8.33l/s (30 m^3/h)	5.55 l/s (20 m^3/h) during a Min of 12 h 8.33l/s (30 m^3/h)	– –	– –
UK	Approved Doc. F Ventilation 2010	From 13 l/s (for 1 bedroom dwelling) to 29 l/s (for a 5 bedroom dwelling). Whole ventilation flow rate always higher than 0.3 l/s m^2. Occupancy[f] If dwelling permeability is 5 m^3/(h m) a 50 Pa, takes 0.15 ACH as infiltration rate which will be reduced from the total ventilation rate.	CONTINUOUS EXTRACT VENTILATION (minimum flow rate)[g] INTERMITTENT EXTRACT VENTILATION (minimum flow rate)	13 l/s 30 l/s+appliance hood flow rate or 60 l/s	8 l/s[h] 15 l/s[h]	6 l/s[i] 6 l/s[i]	– –	– –
FRANCE	Arrêté du 24 Mars 1982 Modifié par arrêté du 28 octobre 1983	Whole dwelling ventilation during winter: continuous ventilation has to be assured. With regulation control device, the total minimum flow assured for whole dwelling from 9.72 l/s (35 m^3/h) for 1 room dwelling to 37.5 l/s (135 m^3/h) for 7 room dwelling [j] With mechanical ventilation and control device, the total minimum flow assured for whole dwelling from 2.77 l/s (10 m^3/h) for 1 room dwelling to 9.72 l/s (35 m^3/h) for 7 room dwelling.	CONTINUOUS EXTRACT VENTILATION (minimum flow rate) DEMAND CONTROLLED VENTILATION BY REGULATION DEVICES (total minimum flow rate)	From 20.8 l/s (75 m^3/h) for 1 room dwelling to 37.5 l/s (135 m^3/h) for a 5 or more room dwelling Regulation device: From 5.55 l/s (20 m^3/h) for 1 room dwelling to 12.5 l/s (45 m^3/h) for a 7 room dwelling	From 4.16 l/s (15 m^3/h) for 1 room dwelling to 8.33 l/s (30 m^3/h) for a 5 or more room dwelling –	4.16 l/s (15 m^3/h) –	–	–
PASSIV-HAUSS	Standard Passivhaus	From 8.33 l/s to 8.88 l/s (30–32 m^3/h) per person Controlled ventilation depending on the occupancy	–	–	–	–	–	–

[a] Default occupancy for dwelling units shall be two persons for studio and one-bedroom units, with one additional person for each additional bedroom.
[b] For continuous system, the lower rate may be used. Otherwise use the higher rate.
[c] Rate is for a toilet room intended to be occupied by one person at a time. For continuous system operation during normal hours of use lower rate may be used. Otherwise use the higher rate.
[d] Whole-building mechanical systems are not required if window operation is a locally permissible method of providing ventilation and provided that at least one of the following conditions is met: the building has no mechanical cooling and is in zone 1 or 2 of the climate zone or the building is thermally conditioned for human occupancy for less than 876 h per year.
[e] Vented range hood (including appliance-range hood combinations) required if exhaust fan flow rate is less than 5 kitchen ACH.
[f] This is based on two occupants in the main bedroom and a single occupant in all other rooms. This should be used as default value. If a greater level of occupancy is expected add 4 l/s per occupant.
[g] Total extract rate should be al least the whole dwelling ventilation rate.
[h] Bath room and utility room.
[i] For sanitary accommodation.
[j] For France, no differences between bedrooms and living rooms apply.

1.7 Zpětné získávání tepla ve větrání

Zpětné získávání tepla slouží k využití energie z odváděného vzduchu z budovy. Toto teplo se následně předává do venkovního vzduchu, to znamená přiváděného vzduchu do budovy. Většina systémů pracuje s přenosem pouze tepla citelného, ale některé systémy zařízení umožňují i přenos tepla vázaného, tj. přenos vlhkosti. Entalpické výměníky přenášejí jak citelné tak vázané teplo **[16]**. Zpětné získávání tepla lze pak rozdělit na tyto systémy:

- Rekuperační – zde se teplo předává z odváděného vzduchu na přiváděný, přes stěnu výměníku (deskové a trubkové výměníky)
- Regenerační – zde se teplo z odváděného vzduchu předá do akumulační hmoty a z ní se pak teplo uvolňuje do přiváděného vzduchu (rotační a přepínací výměníky)
- S tekutinou – zde se teplo z odváděného vzduchu předává pomocí tekutiny do vzduchu přiváděného (tepelné trubice a tepelná čerpadla)



Obrázek 1.5 úpravy vzduchu při ZZT s přenosem vlhkosti vlevo a bez přenosu vlhkosti vpravo.

Deskové rekuperační výměníky

Jedná se o výměníky pro menší průtoky vzduchu, které jsou využívány hlavně v domácnostech a menších provozech. Teplo se zde předává přes tepelně vodivé profilované desky (nerez, ocel, hliník, plast). Jejich účinnost závisí především na velikosti teplosměnné plochy. S tou však stoupá jeho cena a objemové nároky na umístění. Dosahují účinnosti 50 – 80%. **[16, 21]**

Tyto výměníky se často používají v našich podmínkách. Bohužel, v zimním období hrozí riziko námrazy, kdy vlhkost při nižších teplotách kondenzuje na výměníku a může dojít k zamrznutí, která zhoršuje účinnost výměníku a může jej i poškodit či zničit. Jako protimrazová ochrana se využívá krátkodobé uzavření přívodního vzduchu, kdy teplým vzduchem z místnosti dochází k rozmrazení. Druhým prvkem ochrany je cirkulační režim.

Rotační regenerační výměníky

Rotační výměník jsou popsány viz. Kapitola Experiment 3.

Tepelné trubice

Jedná se o systém zpětného získávání tepla, kde teplonosnou látkou je chladivo v uzavřené trubici. Trubice je ve spodní části odváděného vzduchu zahřívána natolik, až se chladivo odpaří a samovolně přenese do horní části trubice. Zde kondenzuje a předává teplo přiváděnému vzduchu. Povrch trubic je zvýrazněn žebry, aby se zvýšila teplosměnná plocha. Její výhodou je minimální riziko přenosu škodlivin z odváděného vzduchu na přiváděný **[16]**.

Mezi další výměníky pro ZZT patří přepínací výměníky, systém s kapalinovým okruhem a trubkové rekuperační výměníky.

Tabulka 1.6 Porovnávající jednotlivé výměníky ZZT při teplotě -15 °C

Type of exchanger	Freezing problems	Odour transference	Moving parts	Latent effectiveness	Sensible effectiveness	Use in toxicenvironments
Flat plate heat exchanger cross flow	Yes	No	No	No	60–80%	Yes
Flat plate heat exchanger counter- flow	Yes	No	No	No	70–90%	Yes if good sealing
Flat plate membrane quasi counter flow	No	No	No	46–76%	80–85%	Yes
Heat wheels	Moderate problems	Yes	Yes	No	50–80%	No
Energy wheels	No	Yes	Yes	50–85%	50–85%	No
Dessicant drying wheels	No	Yes	yes but low rotational speed	70–90%	95%	No
Run around heat exchangers	Yes	No	No	No	65–70%	Yes
Run around membrane energy exchangers	No	No	No	50–65%	60–80%	Yes

1.8 Klimatizace a chlazení pro nZEB

Stavební řešení a opatření

Stavební a architektonické řešení budov je zásadní pro pozdější návrh systému chlazení. Například u obytných budov lze díky dobrému návrhu snížit potřebu chlazení na minimum. Opačný problém je pak u kancelářských budov, kdy hlavní tepelnou zátěží není sluneční osvětlení, ale elektronické zařízení a aktivita lidí. U takového typu budov musíme sáhnout ke strojnímu chlazení, případně vlhčení **[22]**.

Samotný objekt by se měl navrhovat s ohledem na okolní prostředí a využívat jeho potenciál naplno. Například stromy, zeleň a vodní plochy mohou ulehčit od tepelných zisků v letním období. Samozřejmostí jsou předokenní systémy rolet či přesahy střech. Tyto prvky by však měly být navrhovány s rozmyslem aby až příliš nebránily slunečnímu záření do místnosti.

Tepelná zátěž_výpočet

Pro výpočet tepelné zátěže je nejednoduší využit jeden ze softwarů, který pracuje s aktuálními klimatickými daty a umožňuje výpočet v různých časových intervalech.

Sytémy klimatizace pro nZEB

Pro nZEB je základem snížit potřeby chlazení na minimum, avšak jak bylo řečenu u administrativních budov je nezbytnou součástí **[22]**. Používají se jednotky s řízenou úpravou venkovního vzduchu, a to za pomoci ostré vody s regulací průtoku. K odvlhčování vzduchu by mělo docházet při extrémních letních podmínkách tak aby byla zaručena potřebná kvalita přiváděného vzduchu. U systémů s více zónami se používají sálavé chladící systémy, které jsou výhodné díky samoregulační schopnosti **[23]**.

Zdroje chladu se hodnotí za pomoci chladícího faktoru EER, což je poměr mezi chladícím výkonem zařízení a jeho příkonem. Zároveň však u nZEB je zapotřebí věnovat pozornost využití a spotřebě primární energie. Z toho plyne, že elektrická chladící zařízení disponují začnou neýhodou a je vhodné jej navrhovat s akumulací **[24]**.

Kompresorové chlazení

Jedná se o nejčastěji používaný zdroj chladu. Při parním oběhu výparník odnímá chlazené látce teplo a převádí ho na vyšší teplotní hladinu. Toto teplo je následně odebráno v kondenzátoru. Platí zde zde také pravidlo, že chladící faktor roste s přibližováním výparné a kondenzační teploty. Z tohoto důvodu je lepší využívat systému vysokoteplotního chlazení, jako jsou sálavé chladící systémy **[25]**. Dosahované chladící faktory kompresorových zařízení jsou výrazně závislé na způsobu provozu a druhu zařízení. Pohybují se tak v hodnotách od 2,5 do 5,0.

Soropční chlazení

Toto chladící zařízení využívá také parní oběh, avšak namísto kompresoru pro zvýšení tlaku se zde pracuje se soropcí a desorpcí chladiva v pracovní látce. Pohonnou energií je tepelná energie o potřebné teplotě, která následně vypudí chladivo ze sorbentu v desorbéru. Odapní teplo je odváděno v kondenzátoru, v němž kondenzuje chladivo, a z absorbéru, v němž dochází k sorpci chladiva a uvolnění soropčního tepla **[25].**

Inženýr Miloš Lain ve své Disertační práci ukazuje možnosti tzv. nízkoenergického chlazení budov. Jedná se o noční větrání, zemní výměníky, využívání spodní vody a vodních toků. Tyto prvky jsou svou energetickou nenáročností vhodné do nZEB, avšak za splnění určitých podmínek. Jejih návrh je značně komplikovaný a je zapotřebí počítačové simulace a spolupráce profesí od počátečních konepcí až po uvedení do provozu **[26].**

Noční větrání

Hlavní požadavkem je akumulační schopnost budovy respektive její obálky. Ta absorbuje teplo během denní zátěže, která se následně uvolní díky nočnímu větrání. Podmínky v ČR jsou pro tento typ větrání vhodné, když se noční teploty pohybují pod hranicí patnácti stupňů **[26].**

Noční větrání může být přirozené nebo nucené. Přirozené větráním sice nespotřebovává elektrickou energi, avšak její účinnosti by musel být uzpůsoben tvar budovy, orientace a rozmístění oken. Proto je vhodné jej kombinovat s větráním nuceným. Intenzita větrání u nuceného by pak něměla přesáhnout hodnotu 8 h^{-1}, zde se více energie spotřebovává než ušetří **[25].**

Noční větrání dokáže odvést 20 až 30 W/m^2 při dostatečné akumulační hmotě budovy. Což znamená snížení teploty v místnosti o 2 až 3 K. Proto je tento způsob vhodný pro dosažení požadované tepelné pohody během dne. Není pak vhodné pro budovy s vysokými tepelnými zisky (administrativní budovy) a pro místnosti s vysokými nároky na vnitřní klima **[26].**

Adiabatické chlazení

Principem je přeměna citelného tepla chlazeného vzduchu na teplo vázané při odpařování vody. Voda je rozprašována do vzduchu, zatímco jeho teplota klesá a vlhkost roste. Tento způsob chlazení se dělí na přímé adiabatické chlazení a nepřímé adiabatické chlazení. Potenciál adiabatického chlazení je dán rozdílem teploty vzduchu a teplotou mokrého teploměru. Je vhodné především pro budovy s nízkou tepelnou zátěží.

Adiabatické chlazení je možné kombinovat s ostatními nízkoenergetickými způsoby chlazení. Její nevýhou je práce s vodou tudíž zde hrozí riziko přenosu bakterií **[26].**

Zemní výměník

Je to vlastně potrubní síť uložená v dostatečné hloubce pod terénem. Teplonosnou látkou může být vzduch nebo voda. Výkon takového typu chlazení záleží na průměru potrubí, jeho délce a rozteči. Nevyhodou je jeho údržba v případě použití vzduchu jako přenosové látky **[26].**

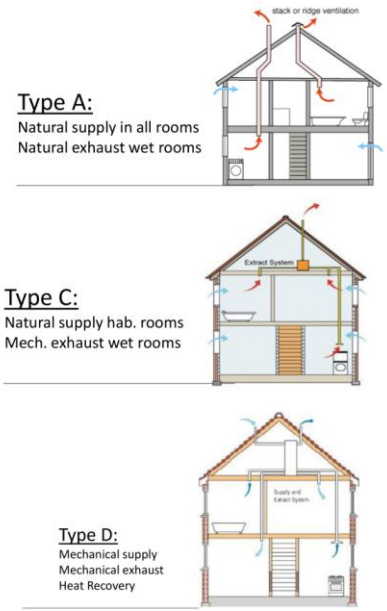
1.9 Výzkum větrání Monicar

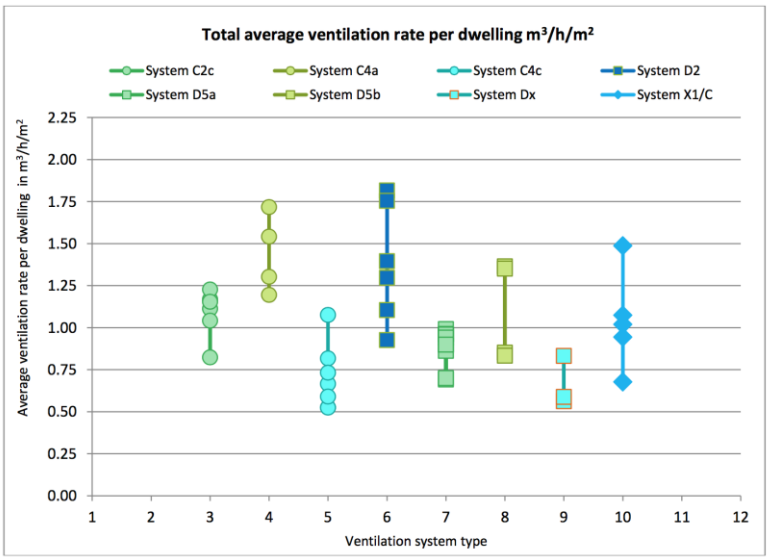
Jedná se o Holandský výzkum a je jeden z prvních detailně zabývajících se větracími systémy, podmínkami vnitřního prostředí a také energetickou stránkou věci. Výzkum trval celý rok, kdy se data shromažďovala v intervalu pěti minut a to v 62 různých místnostech. Sbíraly se hodnoty o průtoku vzduchu, energetické spotřebě jednotek a hodnot CO_2. Cílem projektu je podrobný popis a porovnání různých systému, získání hlubších návazností **[26]**.

Monicar zkoumal různé druhy ventilace.

Tabulka 1.7 Seznam zkoumaných typů systémů dle Monicar

System type		Part of dwelling served	Ventilation provisions			Controls	
			Extraction	Supply	Heat recovery	Extraction	Supply
Type A	A	Whole dwelling	Natural extraction from wet rooms	Natural supply grilles in habitable rooms	No	None	Manually controlled
Type C	C.1	Whole dwelling	Mechanical extraction from wet rooms	Natural supply grilles in habitable rooms	No	3-position switch	Manually controlled
	C.2c	Whole dwelling	Mechanical extraction from wet rooms	Pressure-regulated natural supply in habitable rooms	No	3-position switch	Manually controlled
	C.4a	Whole dwelling	Mechanical extraction from wet rooms	Pressure-regulated natural supply in habitable rooms	No	CO_2 sensor. living room	Manually controlled
	C.4c	Whole dwelling	Mechanical extraction from all rooms	Pressure-regulated natural supply in habitable rooms	No	CO_2 & RH control in all rooms	Manually controlled
Type D	D.2	Whole dwelling	Mechanical extraction from wet rooms	Mechanical supply to habitable rooms	Yes	3-position switch	
	D.5a	Whole dwelling	Mechanical extraction from wet rooms	Mechanical supply to habitable rooms	Yes	3-position switch combined with CO_2 control (2-zone sensing)	
	D.5b	Whole dwelling	Mechanical extraction from all rooms	Mechanical supply to habitable rooms	Yes	CO_2 and RH controlled regulation of ventilation flows	
	D.x	Whole dwelling	Mechanical extraction from all rooms	Mechanical supply to connecting spaces	Yes	CO_2 and RH controlled regulation of ventilation flows	
Hybrid	X1/C	Living area: D	Mechanical extraction from living rooms	Mechanical supply to habitable rooms	Yes	CO2 and RH controlled regulation of ventilation flows	
		Sleeping areas: C.2c	Mechanical extraction from wet rooms	Pressure-regulated natural supply in bedrooms	No	3-position switch	Manually controlled
	X1/A	Living area: D	Mech. extraction in habitable rooms	Mechanical supply to habitable rooms	Yes	CO_2 and RH controlled regulation of ventilation flows	
		Sleeping areas: A	Natural extraction from wet rooms	Pressure-regulated natural supply in bedrooms	No	None	Manually controlled





Graf 1.1Rozdílné provozní stavy dle MOnicar

Jelikož současný trh je plný různých systému, výzkumy jako Monicar nabízí přehled a současně obrovské množství dat ohledně provozu jednotlivých systémů. Dále pak popisuje chování samotných uživatelů budovy. V budoucnu se systémy větrání budou čím dál tím více automatizovat a přizpůsobovat člověku a jeho potřebám během dne. Toho však nepůjde docílit bez dostatečného množství naměřených hodnot a dat.

1.10 Zero Vilage Bergen

Zero Vilage Bergen je první ambiciózní projekt výstavby soběstačného nulové města na světě. Mělo by se nacházet nedaleko od Norského města Bergen, kde je plánováno vystavět až 700 bytových jednotek, obchody, školku plus další objekty občanské vybavenosti. Celá oblast by měla dosáhnout úrovně ZEB-0 level.

Projekt vzniká pod záštitou organizace ZEB, která sjednocuje výzkum v oblasti nulových staveb a spolupracuje s pracovišti jako SINTEF, Univerzita NTNU v Trondheimu, architektonická kancelář Snøhetta a další špičky ve stavebním či elektro průmyslu.

S plánováním Zero Vilage Bergen se začalo již v roce 2009 a to například s výběrem vhodné lokality, geologickými průzkumy, architektonickým řešením a vhodným napojením okolní infrastruktury Bergenu.

Hlavními zdroji energie budou solární panely, tepelná čerpadla typu země_voda, a kotle na bioplyn. Konstrukce budov a celá realizace je tlačena k minimální $C0_2$ stopě, tudíž jako hlavním stavebním prvkem bude využito neošetřené dřevo.

S realizí projektu by se mělo počátkem roku 2018. V současné době probíhají stále studie proveditelnosti, modelování a detailní zpracování projektu.

Obrázek 1.6 Vizualizace Zero vilage Bergen Snøhetta

B. Výzkum v oblasti IAQ

2 VÝZKUM V OBLASTI IAQ

Living Labaroratory je názorným příkladen Norské rezidenční výstavby pro rodinné a studentské bydlení v blízké budoucnosti. Realizována na pudě NTNU – Norwegien University Science and Technology ve spolupráci s výzkumnou organizací SINTEF a ZEB. Budova je navržena tak, aby dosahovala nulového standrtu s velkým důrazem na architekturu, výběr materiálů a provozních systémů.

Living LAb

Objekt má objem 500 m^3, kdy vytápěná podlahová plocha je 100 m^2. Obálku budovy tvoří dřevěný rám s dvojitou vrstvou tepelné izolace Rockwoll a vnějším dřevěným oblkadem. Okna zaujímají 20% povrchu.

- U-value External walls 0.11 [W/m^2K]
- U-value Roof constr. 0.10 [W/m^2K]
- U-value Floor constr. 0.10 [W/m^2K]
- U-value Windows south facade 0.65 [W/m^2K]
- U-value Windows north facade 0.97 [W/m^2K]
- U-value Windows east-west facade 0.80 [W/m^2K]
- Normalized cold bridges 0.03 [W/m^2K]

Obrázek 2.1 Living Laborotory, NTNU Trondheim

Living Lab je navržena, tak aby spotřeba energie byla samozřejmě co nejmenší. Pro pokrytí energetických nároků slouží fotovoltaické panely na střešní části, které vyprodukují za rok provozu více energie, než je objekt schopen spotřebovat. Jednotlivé toky energií se všemi spotřebiči jsou znázorněny na Obr.32

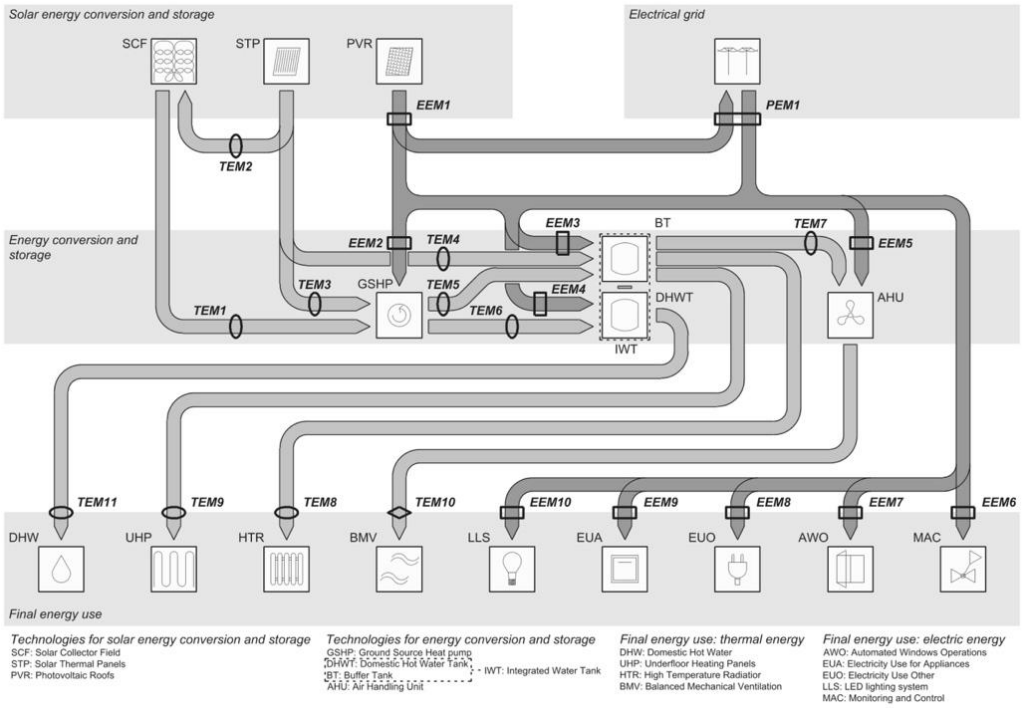
Navrhování obnovitelných zdrojů energie a to s využitím lokálních zdrojů směřuje k využívání multi-energetických systémů v budovách, namísto spoléhání se pouze na jeden zdroj. Multi-energetický systém známý jako hybridní, či integrovaný, kombinuje několik zdrojů a jeho potenciál dále přerozděluje díky nadřízenému systému regulace.

Technologie pro vytápění a větrání

Jako hlavní zdroj tepla je zde navrženo tepelné čerpadlo typu země_voda s horizontálním výměníkem (o délce 150m). Slouží pro předehřev DHW, k pokrytí nároků na vytápění a na předehřev přívodního vzduchu do budovy. . Tepelné čerpadlo má Scroll kompresor s fixními otáčkami a chladivo R134a. Kdy COP je 3.7 a výkon dosahuje hodnot 3.2 kW. V případě výstupní teploty 55°C, klesá COP na hodnotu 3.0 a výkon TČ je potom 2.6 kW. Režim nastavení TČ je velice jednoduchý. Kompresor Sroll je nastaven na výstupní teplotu 35°C pro vytápění a 55°C pro DHW. Požadavky na teplotu vyhodnocuje hlavní kontrolní jednotka budovy, více viz. Kapitola regulace.

Tepelné čerpadlo je napojeno na zásobník TV s oddělenými nádobami pro podlahové vytápění (160l) a DHW (240l). Nižší zásobník pro podlahovku je vybaven dvěma výměníky , jeden je napojen na termální solární panel a druhý na okruh DHW pro předehřev užitkové vody. Zásobník vody je vybaven topnou spirálou o výkonu 3kW(každý)

Větrání je řešeno jako rovnotlaký systém nuceného větrání s nominálním průtokem vzduchu 120 m^3/h, s možností zvýšení výkony až na 360m^3/h, kdy záleží na obsazenosti objektu. Přívodní elementy jsou umístěny v kuchyni, obývacím pokoji a dvou ložnicích. Odvodní zase v koupelně a WC. Odvod z kuchyně je řešen přímým odsáváním nad zdrojem škodlivin. Čerstvý vzduch je distribuován pomocí větrací jednotky s rotačním výměníkem. Který by měl dosahovat účinnosti až 85%, při průtoku vzduchu 250m^3/h, dle tabulek výrobce. Jednotka je vybavena elektrickým ohřevem o o výkonu 1,2 kW, jako dohřev pak je využita větev napojena na zásobník vody s výkonem až 2kW. Jednotka umí kontrolovat pouze teplotu, vlhkost už bohužel ne.



Obrázek 2.2 Jednotlivé toky energií a návaznosti systému HVAC v Living Laboratory

Větrací jednotka je řízena, hlavním kontrolním systémem, která dohlíží na celou budovu. Tento prvek je schopen využívat i hybridního větrání, kdy tvar budovy a automaticky řízený provoz oken umožňuje přirozené větrání s částečnou regulací.

V budově jsou instalovány dva hlavní zdroje tepla, podlahové vytápění a radiátory se vstupním médiem o teplotě 55°C, které umí spolupracovat s předehřátým vzduchem a kombinovat různé provozní stavy dle potřeb. Jako například podlahové vytápění v koupelně a přiváděný teplý vzduch.

2.1 Představení experimentu

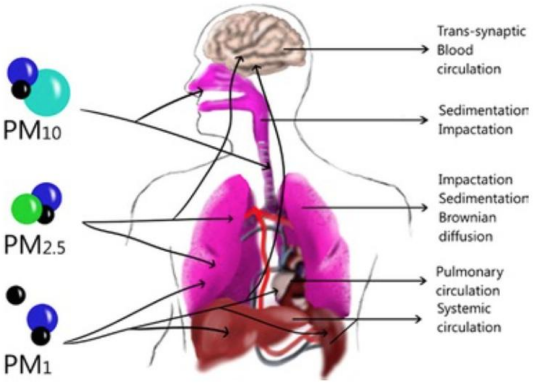
Samotná budova Living lab je nejspíše nejměřenějším objektem v celém Norsku, za dobu jeho užívání zde bylo provedeno nespočet testů. Společně s Profesorem Gyungyu Cao z NTNU a s Maria Justo Alonso ze společnosti SINTEF, jsme však navázali na výzkum z loňské zimy, kdy bylo měřeno množství částic v budově. Během tří dnů dva přístroje sbíraly informace o množství částic ve vdzuchotechnickém potrubí. Jak v přívodní tak v odvodní části.

Výsledky dokázaly, že pohyb a fyzická aktivita osob v místnosti mají výrazný vliv na množství částic ve vzduchu.

Vlastní experiment mohu rozdělit do tří částí. Každá část experimentu probíhala necelý týden. První dvě části se zabývají měřením množství částic ve vzduchu, které produkuje uživatel stavby a budova samotná. První byl měřen na domě, který splňuje ZEB standart druhý pak na pasivním domě. Třetí experiment se pak zabývá přenosem částic na rotačním výměníku ve větrací jednotce. Tyhle pokusy jsem provedl během své letní stáže na Norské univerzitě NTNU.

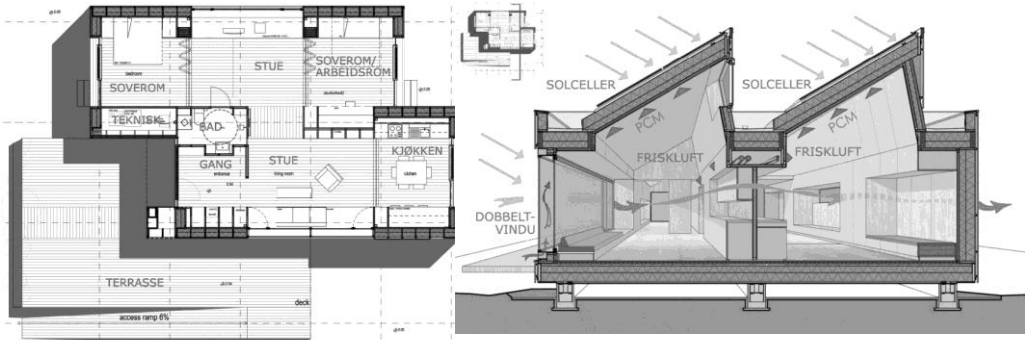
Částice ve vzduchu

V současnosti EU a WHO (Světová zdravotnické organizace) monitorují koncentrace částic $PM_{2.5}$ a PM_{10} v návaznosti na jejich negativní vlivy pro lidský organismus, zejména kardiovaskulární a respirační onemocnění. Vliv znečištěného vzduchu zvláště ve světových metropolích je v současné době již dobře zdokumentován. Na následky nadměrných koncentrací škodlivin umírá každoročně až několik miliónů obyvatel.mLidské plíce se víceméně nemají jak bránit při vdechnutí částic velikosti $PM_{1.}$ Ty po vdechnutí pronikají hluboko do plic kde podstatná část je schopna pokračovat přes plicní alveoly di krevního oběhu. Zde už lehce pronikají k různým orgánům. V nejhorším případě dochází až ke smrtelným nemocím jako je rakovina. Částice jako PM_{10} a $PM_{2.5}$ mají taktéž schopnost se usazovat v lidském těle. PM (particulate matter) je kombinací fyzických a chemických charakteristik, které se mění v závislosti na okolí a lokalitě. Jejich zdroj je přírodní, nebo způsoben lidskou činností.



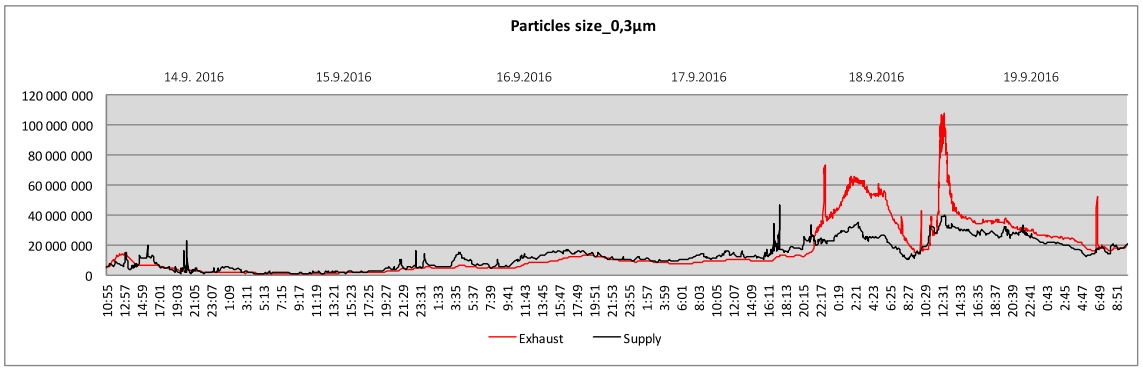
Obrázek 2.3 Jednotlivé částice působící na lidský organismus dle WHO

2.2 Experiment č.1 _ Množství částic Living Lab



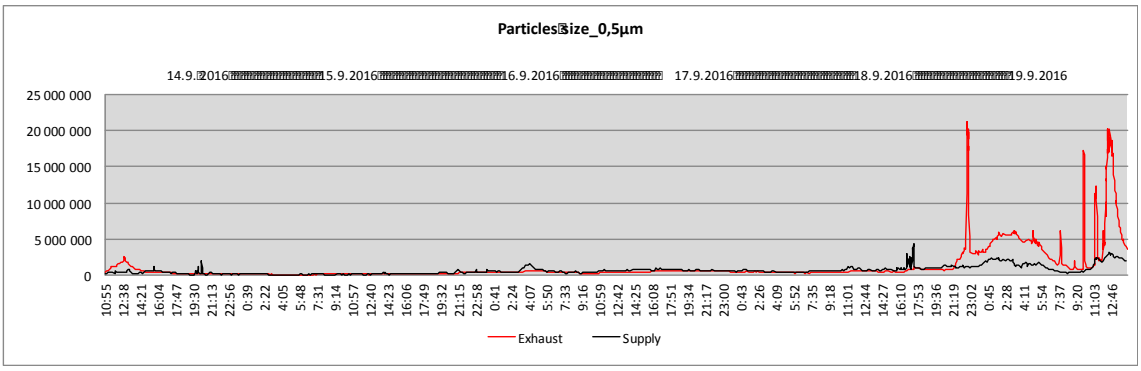
Obrázek 2.4 Půdorys a řez Living Lab

Experiment spočíval v měření částic na dvou různých místech a to za větrací jednotkou, na přívodní větvi čerstvého vzduchu a na větvi s odváděným vzduchem, těsně před větrací jednotkou. Tudíž rozdíl těchto dvou hodnot nám dává množství škodlivin vyprodukovaných uvnitř budovy. Měření probíhalo po dobu šesti dnů a to v minutovém intervalu, za pomoci Particle caunter AeroTrack TSI (9306-U2). Zároveň byla měřena hladina CO_2 v bodově.

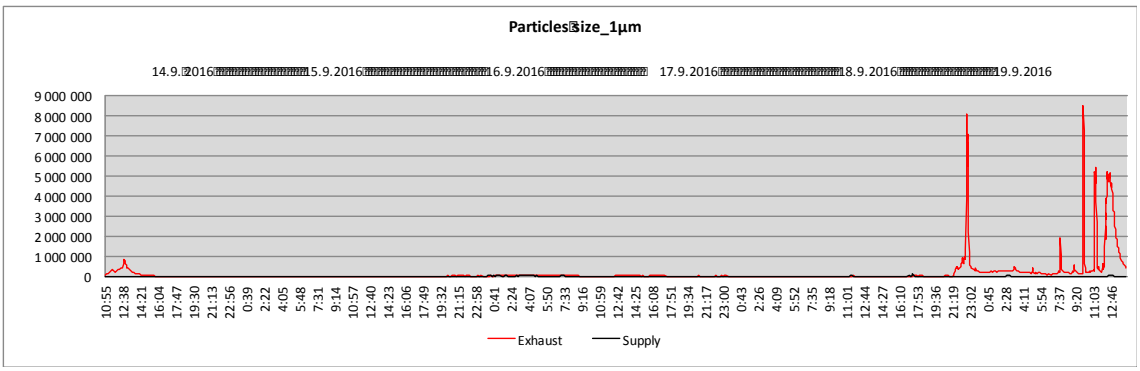


Graf 2.1 Zachycené částice s velikostí 0,3µm

Černá křivka ukazuje množství částic (v tomto případě do velikosti 0,3µm) přiváděných do prostoru, a červená křivka zas množství částic z prostoru odváděných. Nutno podotknout, že během prvních dnů nebyla Living Lab obývána, což je zjevné z grafu. Naopak během posledních tří dnů měření díky aktivitě uvnitř budovy hodnoty razantně stouply. Drobné výkyvy kvality na straně přiváděného vzduchu jsou ovlivněné okolím budovy, která se nachází v bezprostřední blízkosti rušné komunikace, což se projevuje jen u nejmenších částic. S rostoucí velikostí částic pak hodnoty naměřené na přívodní větvi razantně klesají díky filtru v jednotce.

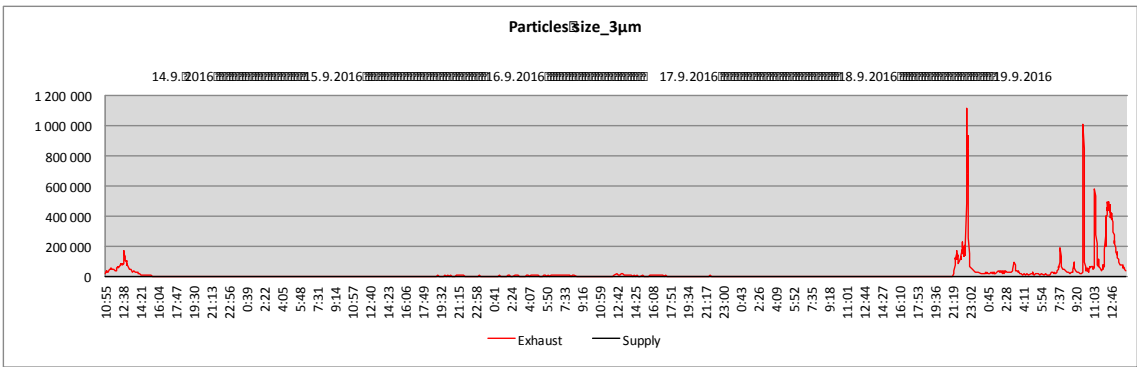


Graf 2.2 Zachycené částice s velikostí 0,5µm

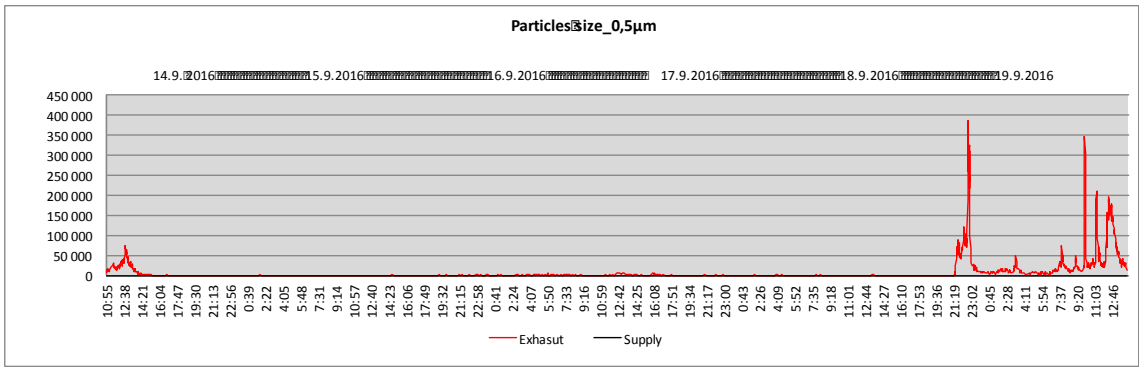


Graf 2.3 Zachycené částice s velikostí 1µm

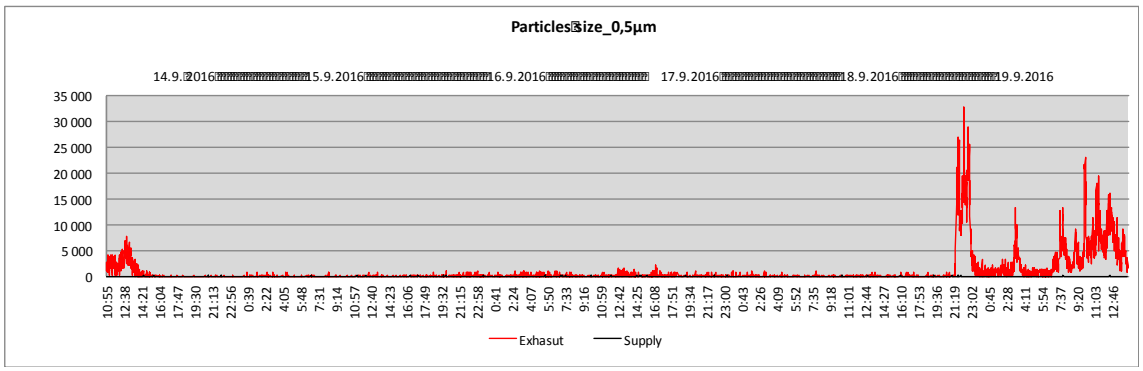
Objemový průtok vzduchu během měření v systému byl 144 m3/h, to odpovídá druhému rychlostnímu stupni jednotky Flexi Uni3. Z grafu je patrné že přítomnost jen jedné osoby zásadně ovlivňuje množství částic v budově.



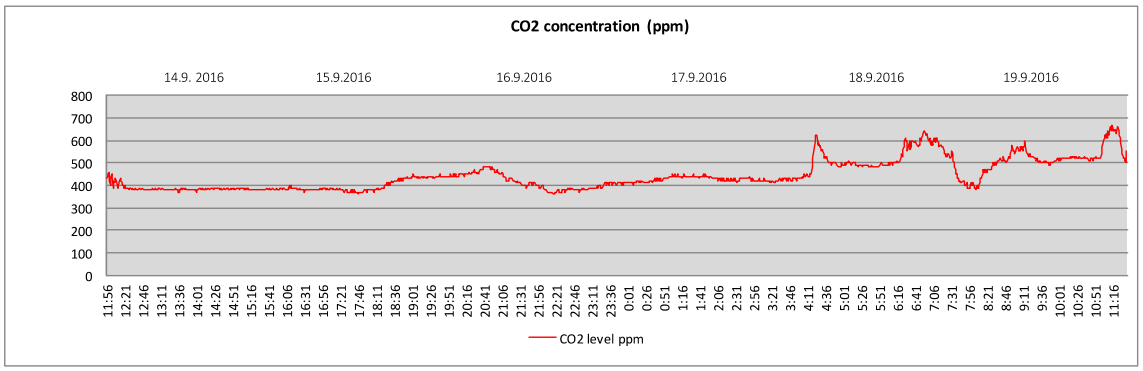
Graf 2.4 Zachycené částice s velikostí 3µm



Graf 2.5 Zachycené částice s velikostí 5µm



Graf 2.6 Zachycené částice s velikostí 10 µm



Graf 2.7 Koncentrace CO2 v budově

Závěr

Z naměřených hodnot je patrné, že člověk a jeho aktivity výrazně ovlivňují množství částic přítomných ve vzduchu interiéru. Je však zřejmé, že určité množství částic pochází z exteriéru, který je v tomto případě ovlivněn rušnou komunikací. V průběhu měření nebylo otevřeno okno a celý objekt fungoval pouze v režimu nuceného větrání. Infiltrace v tomto případě také nehraje roli, jelikož se jedná o objekt s nadstandartní obálkou budovy.

Fyzická aktivita, a další činnosti spojené s užíváním stavby, jako je vaření či svíčky způsobojí nárůst množství částic. Například jenom samotný pohyb osob dává do pohybu prach a další malé částice, které volně leží na podlaze či nábytku. O jejich zdravotních rizicích bylo pojednáno v dřívější kapitole.

Větrací jednotka byla osazena filtry třídy F7 s průměrným stupněm zanesení, ty by měly být schopny zachytit částice PM_1 a to s účinností 50 – 75%. Filtry v tomto případě mají zásadní vliv na kvalitu vnitřního prostředí.

Koncetrace CO_2 během šestidenního cyklu zůstává v povolených hodnotách. Je pouze ovlivněnou víkendovou aktivitou v budově a výsledné hodnoty nejsou příliš rozdílné, důkaz správného návrhu větracího systému.

Objemový průtok vzduchu byl 144 m^3/h, což při užívání objektu dvěma osobama dává hodnotu čerstvého vzduchu přes 70 $m^3/(h \cdot os)$ na jednoho. Doporučená hodnota je v ČR 25 $m^3/(h \cdot os)$ a v Norsku 26 $m^3/(h \cdot os)$. Tenhle velký průtok má jednoznačně pozitivní efekt a snižuje koncentrace částic ve vzduchu.

- PM_1 – částice s velikostí < 1 μm
  (prach, splodiny, bakterie a viry)
- $PM_{2.5}$ – částice s velikostí < 2.5 μm
  (organické částice jako pyl a bakterie)
- PM_{10} – částice s velikostí < 10 μm
  (jemný prach, organické částice)
- Hrubé – částice s velikostí > 10 μm
  (vyditelný prach, vlasy, části oděvů a další organické částice)

2.3 Experiment č.2 _ Množství částic Natasa's hause

Obrázek 2.5 Natasa's hause, Trondheim

Shodný pokus s experimentem Č.1, tedy kontrola kvality ovzduší byl proveden na nové řadové zástavbě Gamle Leirvensen ve městě Tronheim. Celý komplex vypracovalo architektonické studio Solem_arkitektur a to v roce 2013.

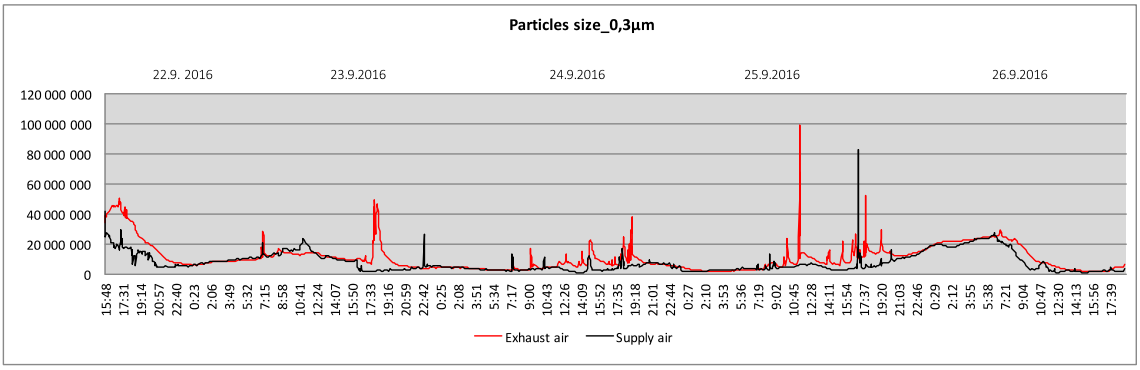
- U-value External walls 0.18 [W/m^{2}K]
- U-value Roof constr. 0.13 [W/m^{2}K]
- U-value Floor constr. 0.1 [W/m^{2}K]
- U-value Windows 0.8 [W/m^{2}K]
- Normalized cold bridges 0.05 [W/m^{2}K]

Stavbu trvale užívá tříčlenná rodina. Jedná se dvoupodlažní objekt s podlahovou plochou 200m^2 v pasivním standartu bydlení.

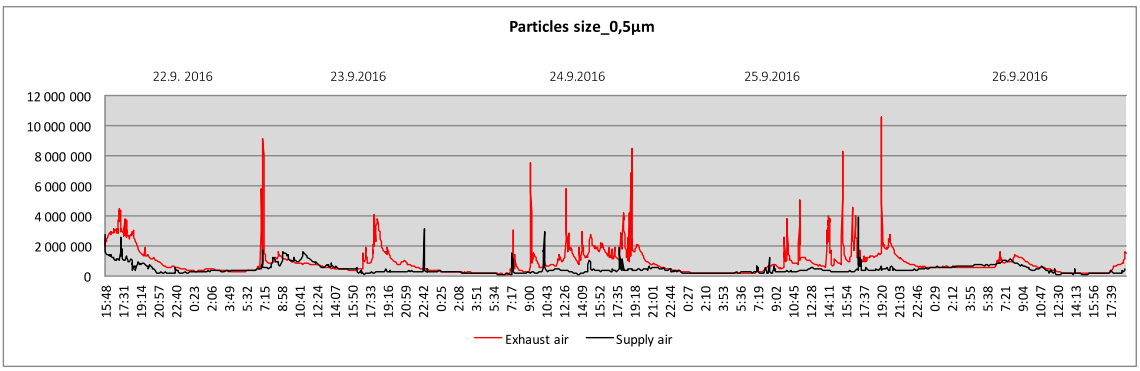
Obrázek 2.6 Natasa's hause půdorys a situace, trondheim

Budova je větrána rovnotlakým systémem, pomocí jednotky Heru 180 Heat Recovery Unit, kdy přívodní elementy jsou umístěny v pobytových místnostech a odvodní na WC a koupelně. Větrání je dimenzováno na maximální průtok vzduchu 270m^3/h. Rozvody tvoří Spiro potrubí o průměru 125mm a Flexi potrubí.

V budově byly osazeny dva Particle countery AeroTrack TSI a to na přívodní a odvodní větvi větrání, viz experiment č.1. Dále byla instalována dvě čidla kontroly CO_2 a teploty, první v obyváku (2.NP) a druhé v ložnici (1.NP). Přístroje měřili v časovém kroku 1 minuty, po dobu pěti dnů. Z toho 22.9., 23.9., 26.9. se jednalo o pracovní dny a 24.9. a 25.9. víkendové. Po dobu pokusu, zde pobývala tříčlenná rodina Nord.



Graf 2.8 Zachycené částice s velikostí 0,3µm

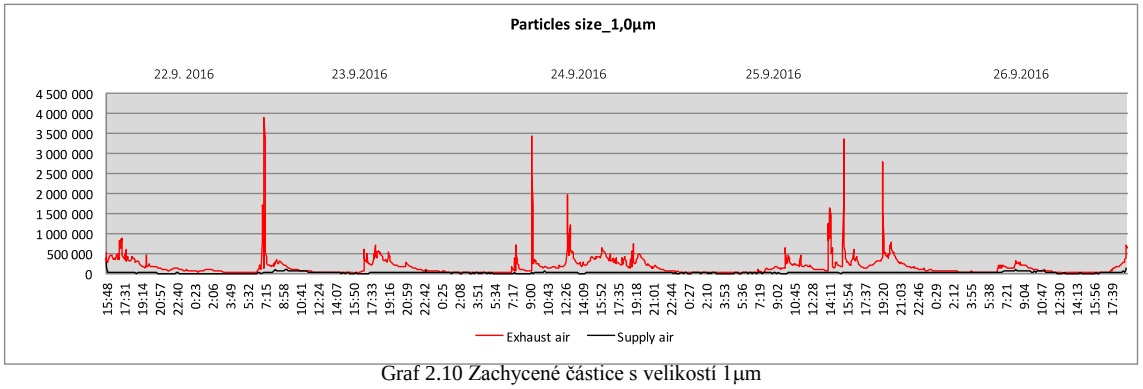


Graf 2.9 Zachycené částice s velikostí 0,5µm

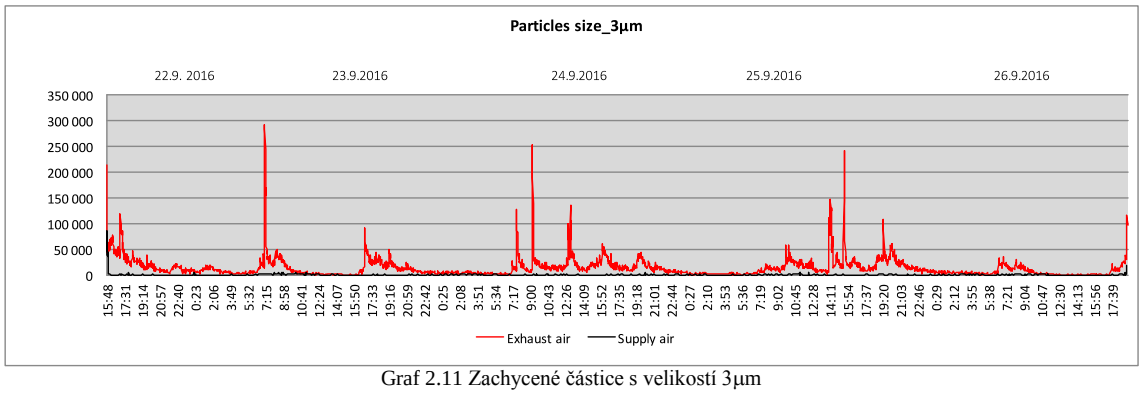
Aktivita členů rodiny byla zaznamenána v krátkém dotazníku:

- 24.9.2016 _ 9^{00}_ chystání snídaně
- 24.9.2016 _10^{00}_ úklid, vysávání, větrání balkonovými dveřmi do 12^{00}
- 24.9.2016 _12^{30}_ vaření obědu
- 24.9.2016 _14^{00}_ společně trávený čas v obývacím pokoji 17^{00}
- 24.9.2016 _19^{00}_ večeře

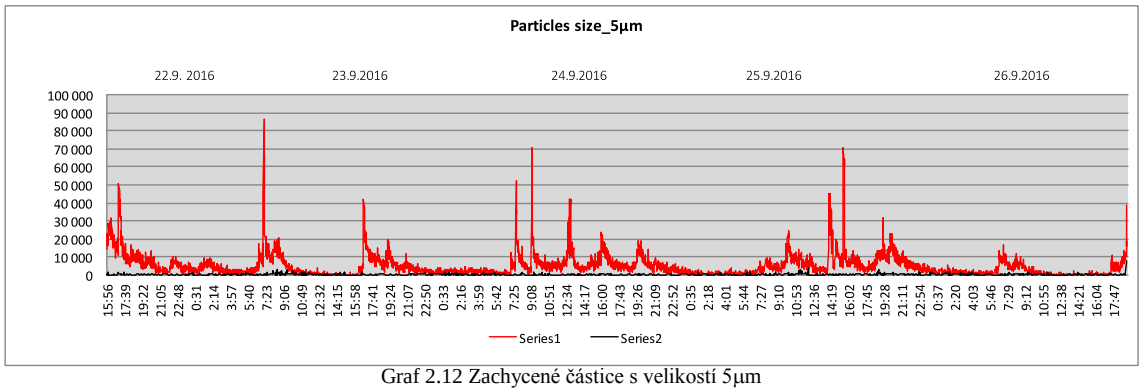
Jednotlivé pracovní děje, zejména vaření znamenají špičky u množství částic během celého týdne. Aktivita během neděle je velmi podobná a projevuje se u všech grafů, kdy klesá jen počet částic. Přívodní vzduch je měřen až za vzduchovým filtrem, pro lepší porovnání vnitřního prostředí, ale i tak se projevují drobné odchylky během pětidenní periody. Na výkyvech se projevuje dopravní situace v okolí a zejména aktivita sousedů v těsné blízkosti stavby.



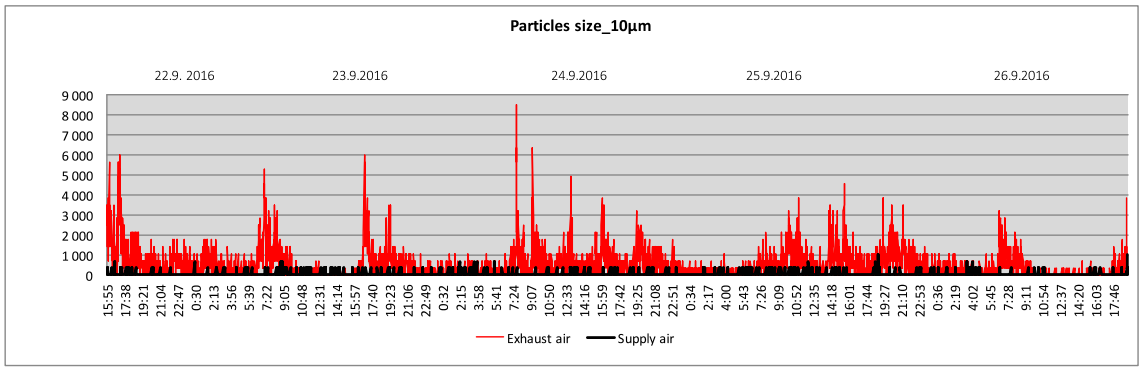
Graf 2.10 Zachycené částice s velikostí 1µm



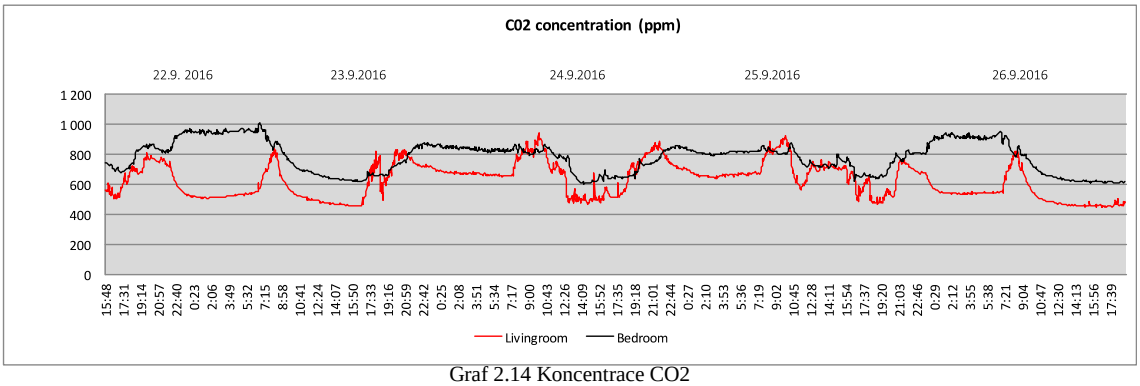
Graf 2.11 Zachycené částice s velikostí 3µm



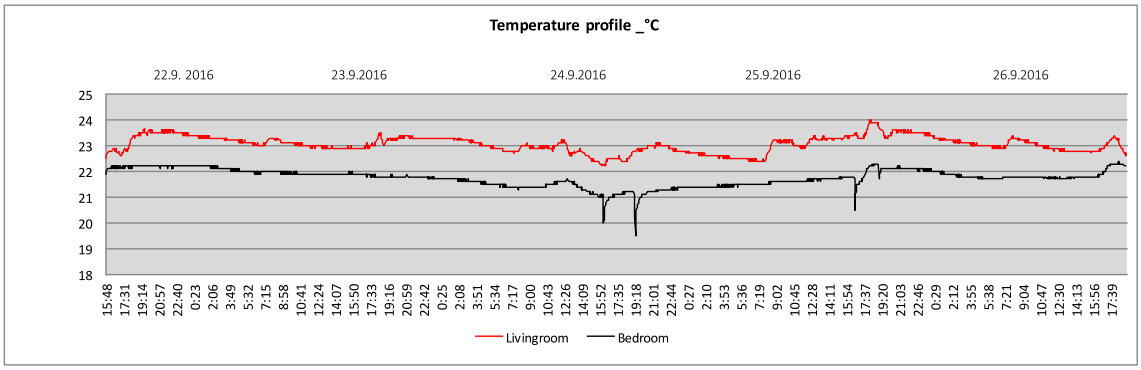
Graf 2.12 Zachycené částice s velikostí 5µm



Graf 2.13 Zachycené částice s velikostí 10µm



Graf 2.14 Koncentrace CO2



Graf 2.15Průběh teplot v budově

Závěr

Systém nuceného rovnotlakého větrání pracoval v průběhu v nastavení 180 m^3/h. Při trvalém pobytu tří osob vychází dávka vzduchu 60 $m^3/(h \cdot os)$. Tato hodnota splňuje doporučené hodnoty jak Norské tak české legislativy. Během pokusu Natasha Nord třikrát otevřela balkónové dveře, což se projevuje na poklesu vnitřní teploty viz graf., Zároveň si stěžovala na nedostatečné větrání ložnice nuceným systémem, což také dokazuje vyšší koncentrace $C0_2$ po dobu celého týdne.

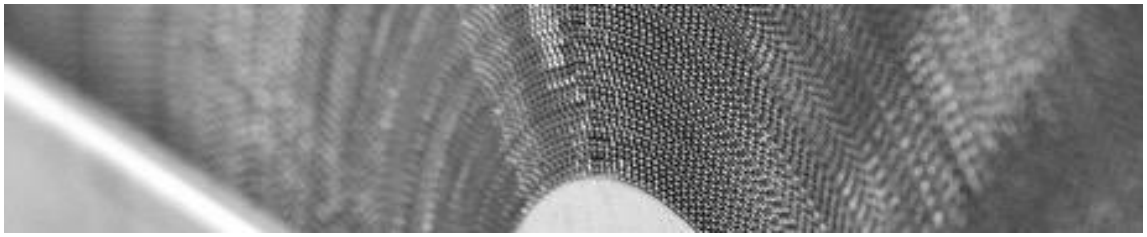
Větrací jednotka byla osazena filtry třídy F7 s průměrným stupněm zanesení. Ty by měly být schopny zachytit částice PM_1 a to s účinností 50 – 75%. Filtry v tomto případě mají zásadní vliv na kvalitu vnitřního prostředí.

Jednotlivé koncentrace škodlivin přesně odrážejí aktivitu osob v budově, která byla doložena jednoduchým dotazníkem. Největší množství škodlivin vznikalo při vaření a společné aktivitě v obývacím pokoji. Kuchyň byla vybavena digestoří, která však nezabránila úniku částic do prostoru a to ve výrazných hodnotách viz graf.

Nabýzí se porovnání jednoduché porovnání obou budov:

	0,3µm	0,5µm	1µm	3µm	5µm	10µm	CO_2
Living Lab	70 000 000	10 000 000	3 000 000	400 000	100 000	10 000	510 ppm
Natasha's hause	50 000 000	5 000 000	1 500 000	100 000	25 000	2 000	715 ppm

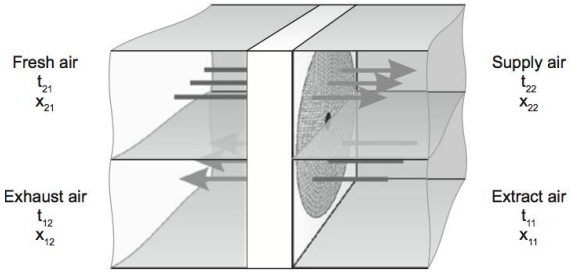
Tabulka uvádí průměrné hodnoty v době nárůstu a podobné zaznamenané činnosti. Počet zachycených částic je v obou budovách dost podobný. Rozdíl je však zapříčiněn ve využívání budovy a tím i množství částic v budově. Living lab je spíše vědeckým pracovištěm s jedním či dvěma stálými obyvateli, přičemž druhý dům obývá rodina s malým dítětem. To znamená že je častěji uklízen. Vliv má určitě množství přiváděného vzduchu, v Living lab byla hodnota 144 m^3/h a v druhém domě pak 180 m^3/h. Koncentrace $C0_2$ a průběh teplot pak odráží spíše obsazenost budovy. Veškeré hodnoty jsou v mezích doporučených hodnot.



2.4 Experiment č.3 _ Přenos částic na rotačním výměníku

V severských zemích jako je Norsko, Švédsko a Finsko se pro rodinné a menší objekty výhradně používají ve větracích jednotkách rotační výměníky. V našich podmínkách potom naopak deskové. Oba produkty mají jistě své výhody, či nevýhody. Zřejmý je rozdíl v účinnostech a také v možnosti přenosu škodlivin do čerstvě přiváděného vzduchu a právě na tento problém jsme se zaměřili ve třetí části experimentu.

Rotační výměníky zpětného získávání tepla jsou určeny pro přenos tepla (nehydroskopické provedení) nebo pro přenos vlhkosti (hygroskopické provedení). K samotnému přenosu vlhkosti, či tepla dochází na rotoru, který jednou částí zasahuje do proudu studeného vzduchu (přiváděného), druhou pak do proudu teplého vzduchu (odváděného). Otáčením rotoru dochází k výměně tepla a vlhkosti. Tento způsob výměny tepla je jeden z nejúčinnějších, kdy dosahuje hodnot až 80% u tepla u vlhkosti potom 70% účinnosti přenosu. Hlavní výhodou je již zmíněná účinnost a sní související snížení nákladů na vytápění, nákladů na ohřívač vzduchu a jeho velikost. Jako výhodu bych uvedl přenos vlhkosti.



Obrázek 2.7 Schéma rotačního výměníku

Temperature efficiency $\eta_t = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}}$

Humidity efficiency $\eta_x = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}}$

Legend: t = Temperature [K; °C]
x = Absolute humidity [g/kg]

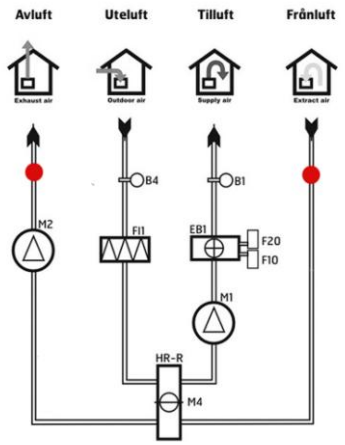
Index: $\ldots_{11}$ Extract air
$\ldots_{21}$ Fresh air
$\ldots_{12}$ Exhaust air
$\ldots_{22}$ Supply air

EXPERIMENT

V již už zmíněné Living Lab. jsme instalovaly dva Particles meters a to přesně před a za rotační výměník viz. schéma. Obě měřící jednotky sbíraly data po dobu šeti dnů za různého nastavení větrací jednotky. Ta má tři různé úrovně.

- **Level 1**_not occupidet mood
- **Level 2**_144 m3/h
- **Level 3**_260 m3/h

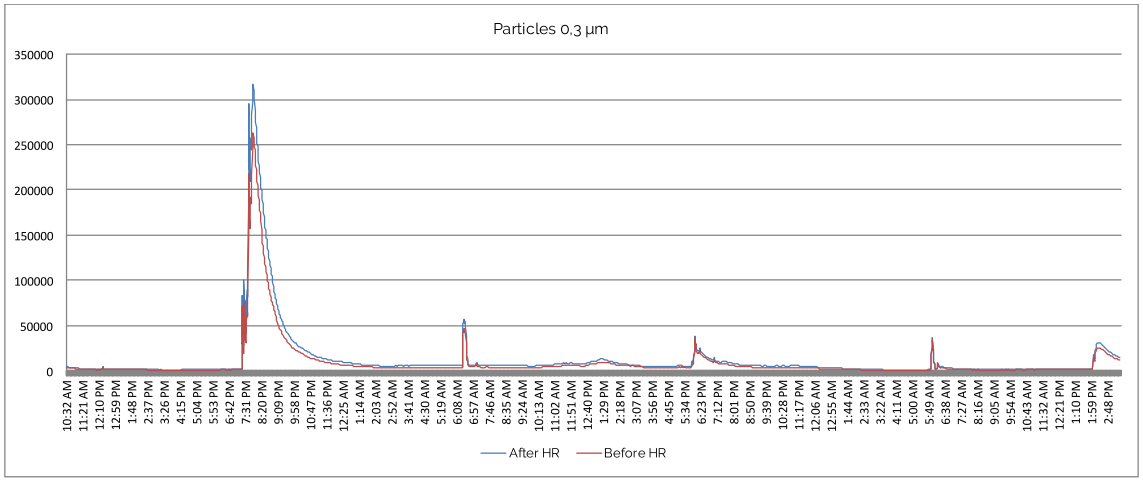
První tři dny probíhal experiment pro nastavení Level 2 a další tři dny pro nastavení Level 3. Pro názorné porovnání budou vždy uváděny obě rychlosti na jeedné stránce a to pro stejné velikosti nasbíraných částic. Po dobu testu nebyl přítomen žádný obyvatel v Living Lab a tak jako zdroje škodlivin posloužili svíčky a parfémy. Červené body ukazují umístění čidel, ve ventilačním systému. Obě čidla se nacházejí na odvodní větvi, z důvodu nutnosti vyjmutí filtru. Přenosové schopnosti jsou však stejné jak za běžného provozu.

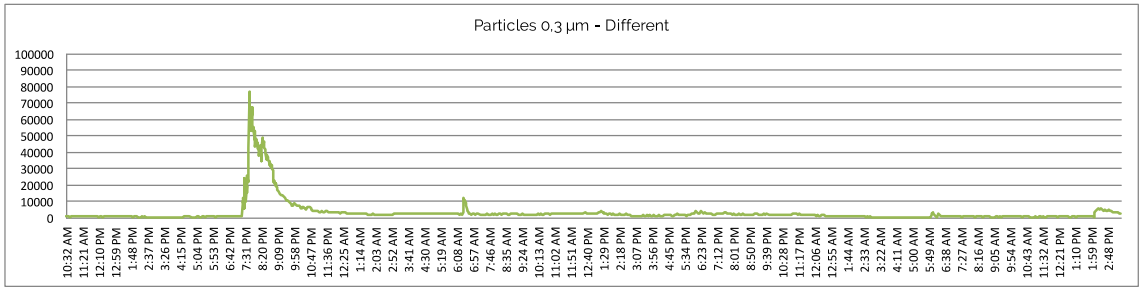


Obrázek 2.8 Schéma zapojení Particle meaters

Speed 2_ 144m3/h

Graf 2.16 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 0,3µm pro Speed2

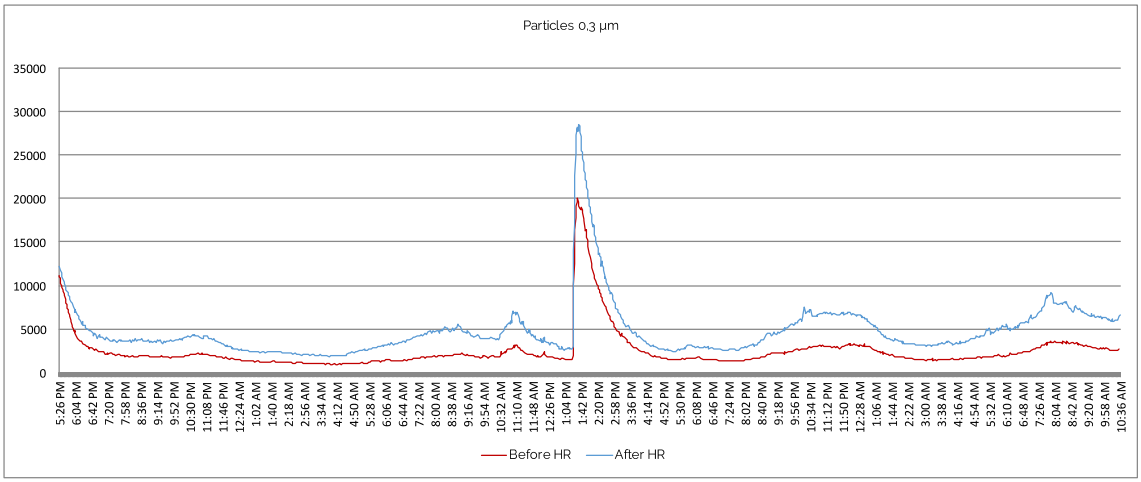


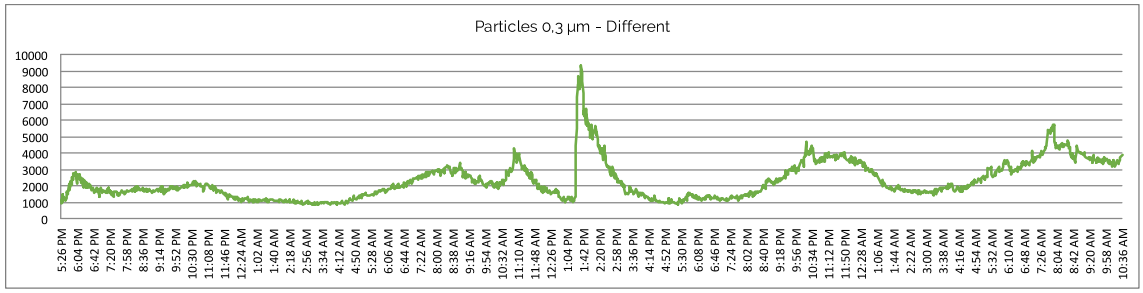


V obou případech pro horní a spodní graf se jedná o stejné částice s velikosti do 0,3µm. Modrá linie znázorňuje hodnoty za rotačním výměníkem a červená před ním, zelená ukazuje rozdíl mezi oběma hodnotama. Při objemovém průtoku vzduchu 144m3/h a velikosti částic do 0,3µm je zřejmé, že dochází k nárůstu částic z druhé větve větracího systému a to až 18% ve špičce. Množství celkově zachycených částic je potom desetkrát větší, než u průtoku 260m3/h. Zde je pak už nárůst nových částic ve špičce až 30% .

Speed3_260 m3/h

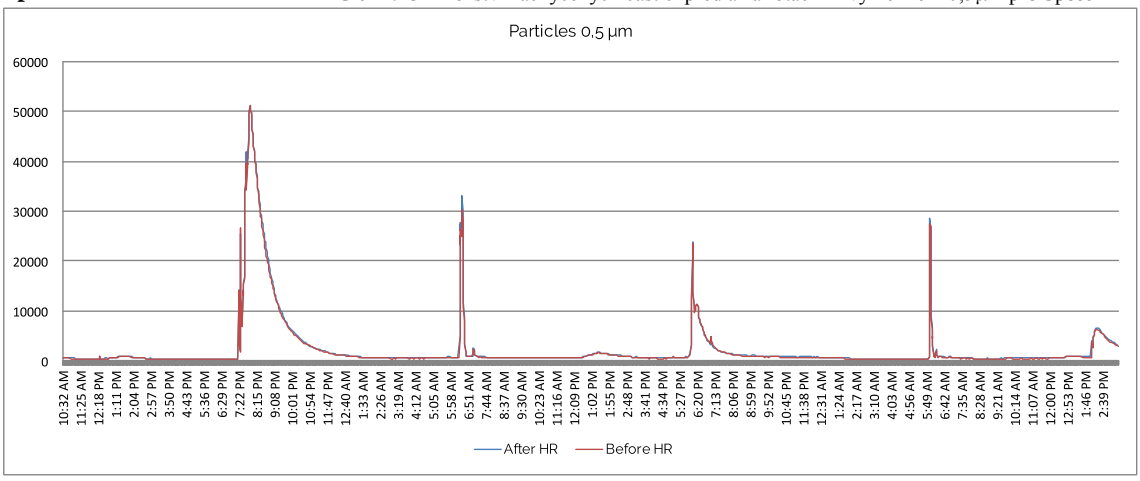
Graf 2.17 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 0,3µm pro Speed3

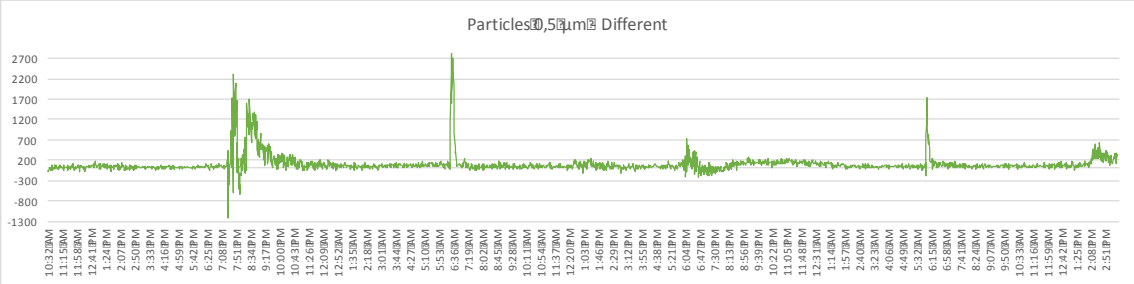




Speed2_144m3/h

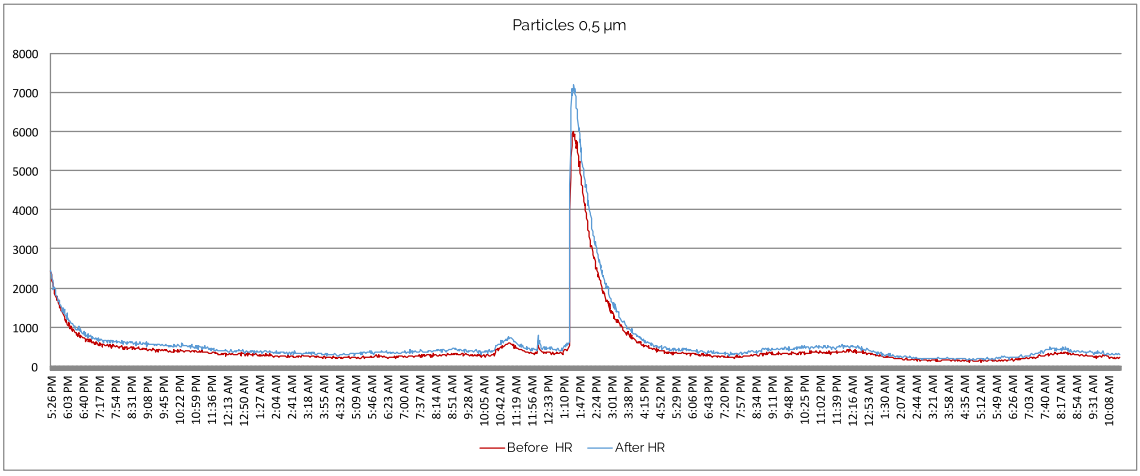
Graf 2.18 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 0,5µm pro Speed2

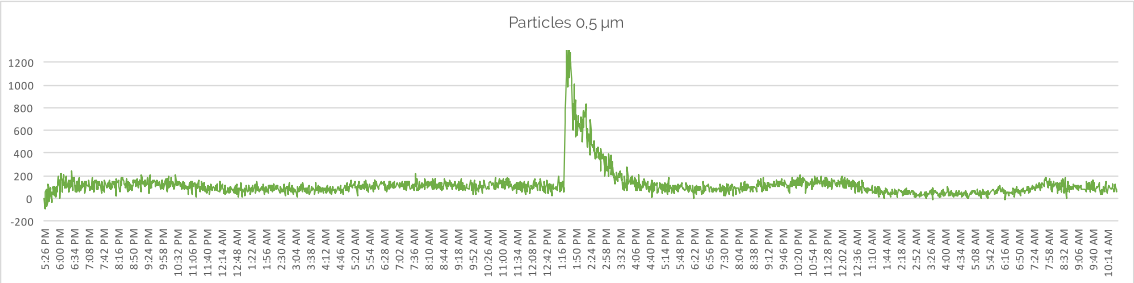




Množství částic velikosti 0,5µm má taktéž narůstající tendenci, díky výměníku. Rozdíly již nejsou tak patrné jako u nejmenších částic. Zároveň se ukazují první záporné hodnoty, tedy uchycení částic na výměníku. Celkové množství zaznamenaných částic je potom u 144 m^3/h sedmkrát větší jak u průtoku 260m3/h. U většího průtoku naopak zase dochází k nárůstu částic a to až 15% ve špičce.

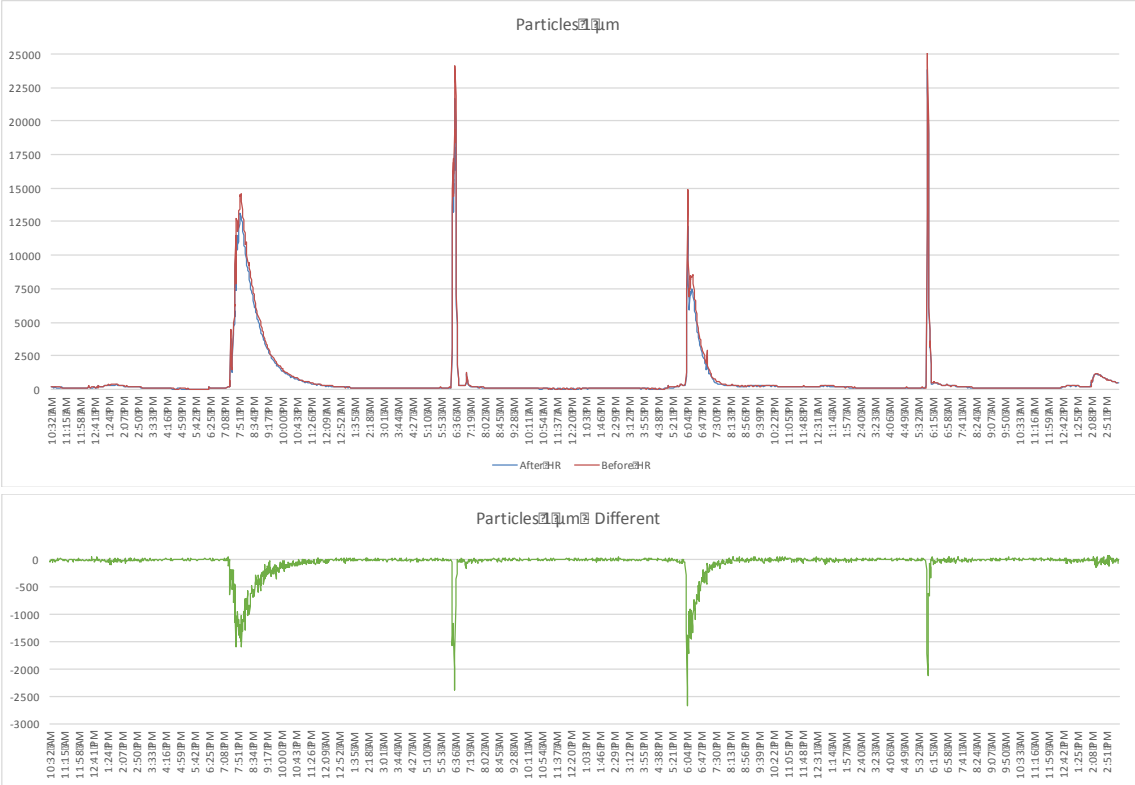
Speed3_260m3/h





Graf 2.19 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 0,5µm pro Speed3

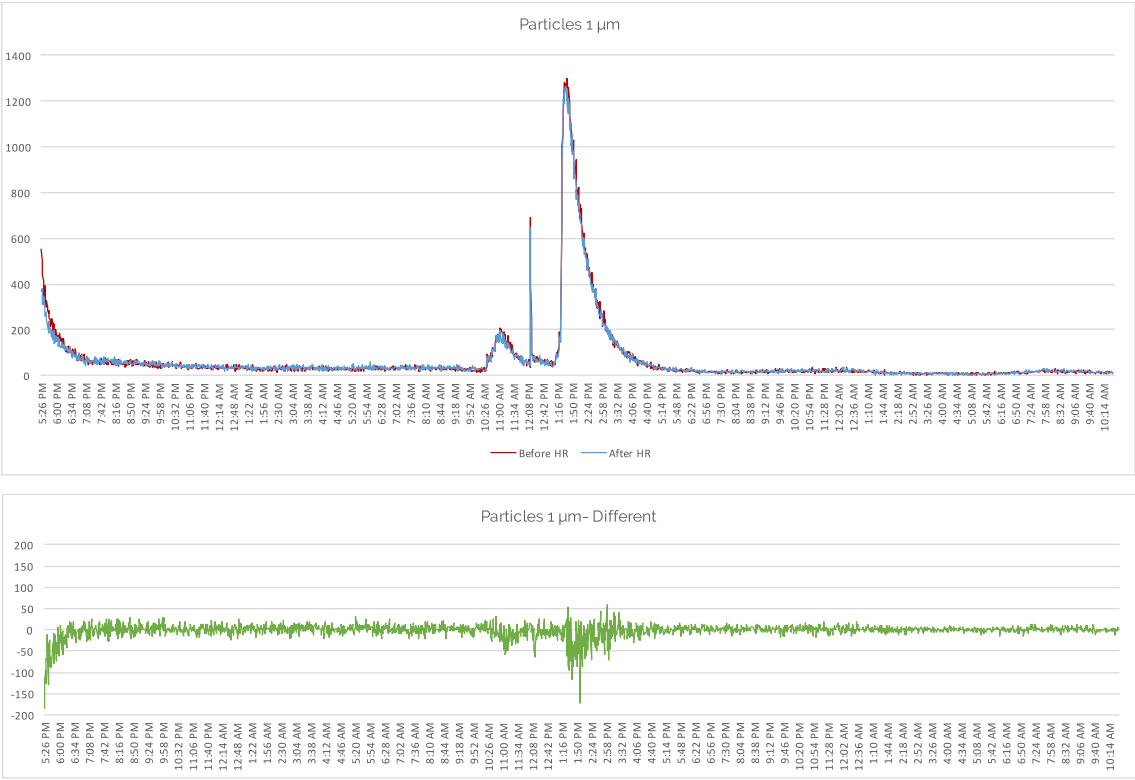
Speed2_144m3/h



Graf 2.20 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 1 µm pro Speed2

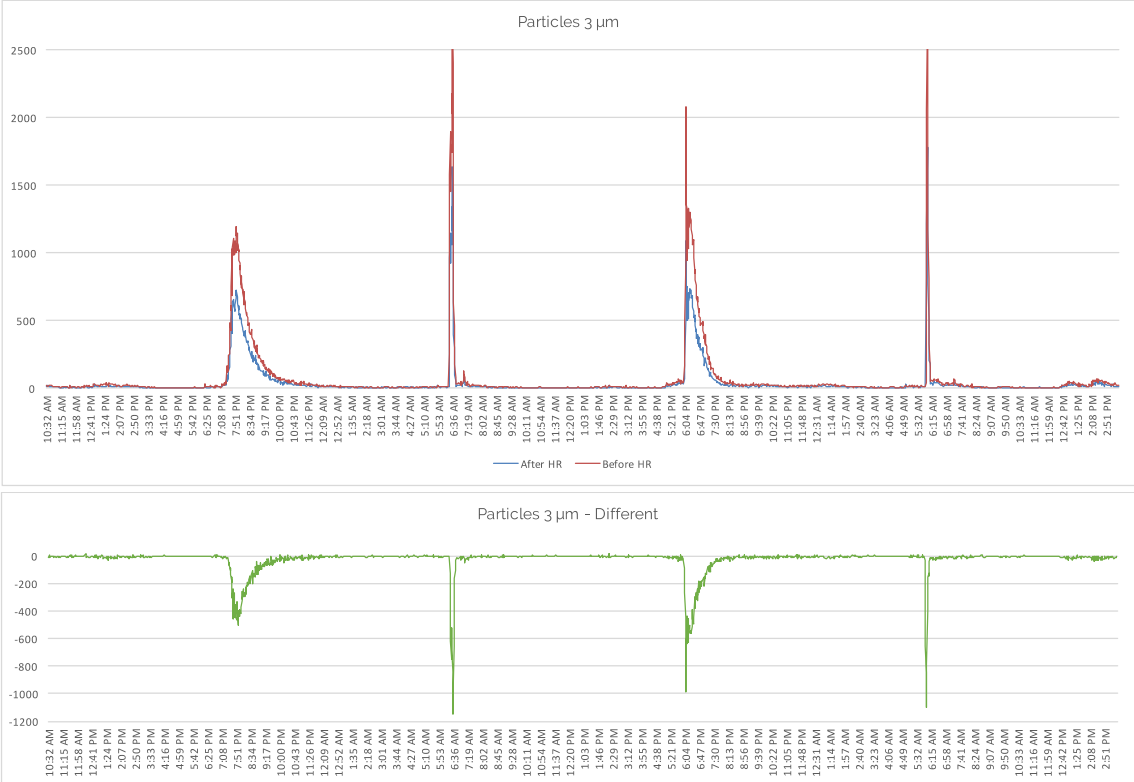
Rozdíl díky výměníku je v záporných hodnotách a to pro oba objemové průtoky vzduchu. Dochází k většímu usazování částic, a to zejména u nižšího průtoku vzduchu. S vyšším průtokem a rychlostí se procento usazených částic na výměníku menší.

Speed3_260m3/h



Graf 2.21 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 1 µm pro Speed3

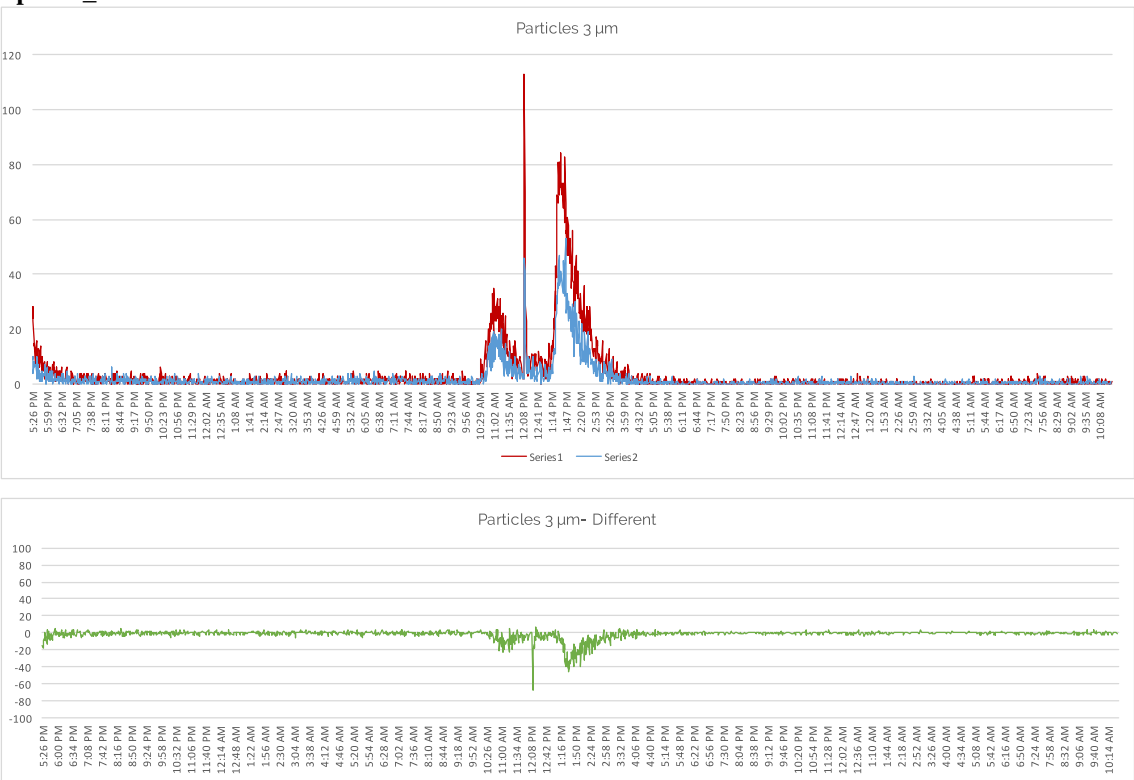
Speed2_144m3/h



Graf 2.22 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 3µm pro Speed2

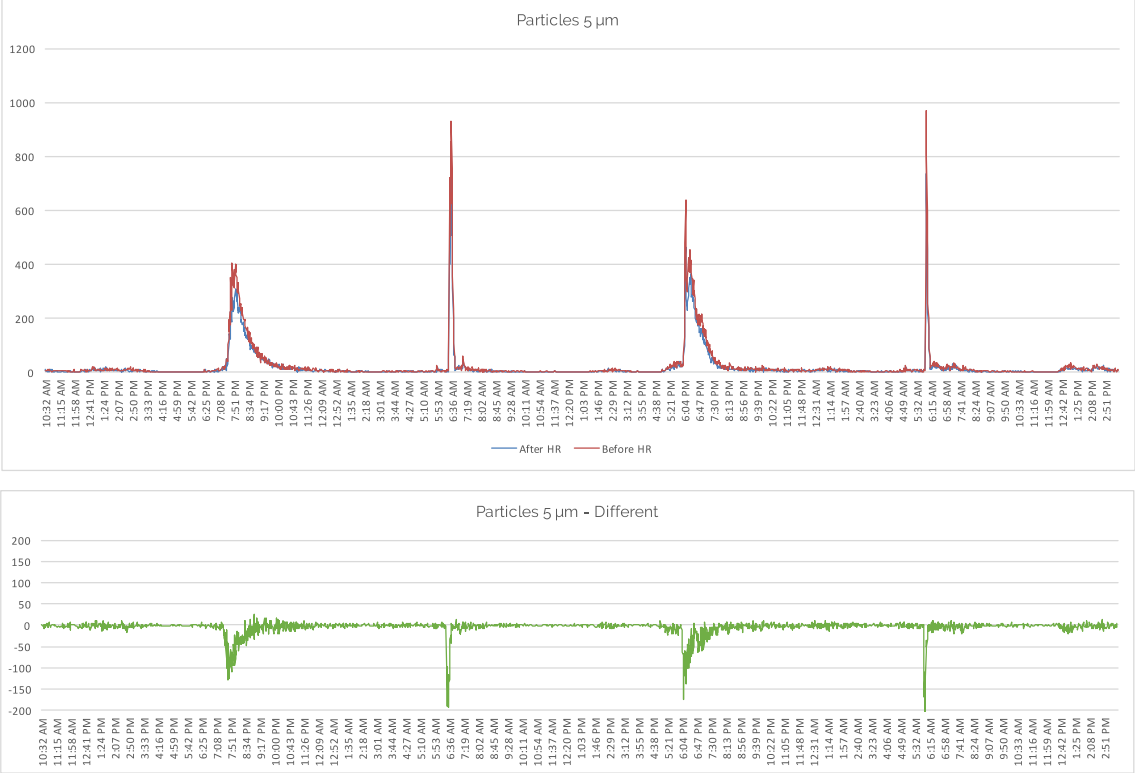
U velikosti částic 3 µm dochází k zachycování na výměníku a to zejména při nižších rychlostech proudění vzduchu. Rozdíl před a za výměníkem je až 1000 ks v daný čas. U rychlosti speed3 je rozdíl daleko menší, kdy množství zaznamenaných částic je o řád menší. U Speed2 dosahovalo množství zaznamenaných částic hodnot ke 2500 ks, u průtoku speed3 pak hodnoty sotva dosáhly 120 ks.

Speed3_260m3/h



Graf 2.23 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 3µm pro Speed3

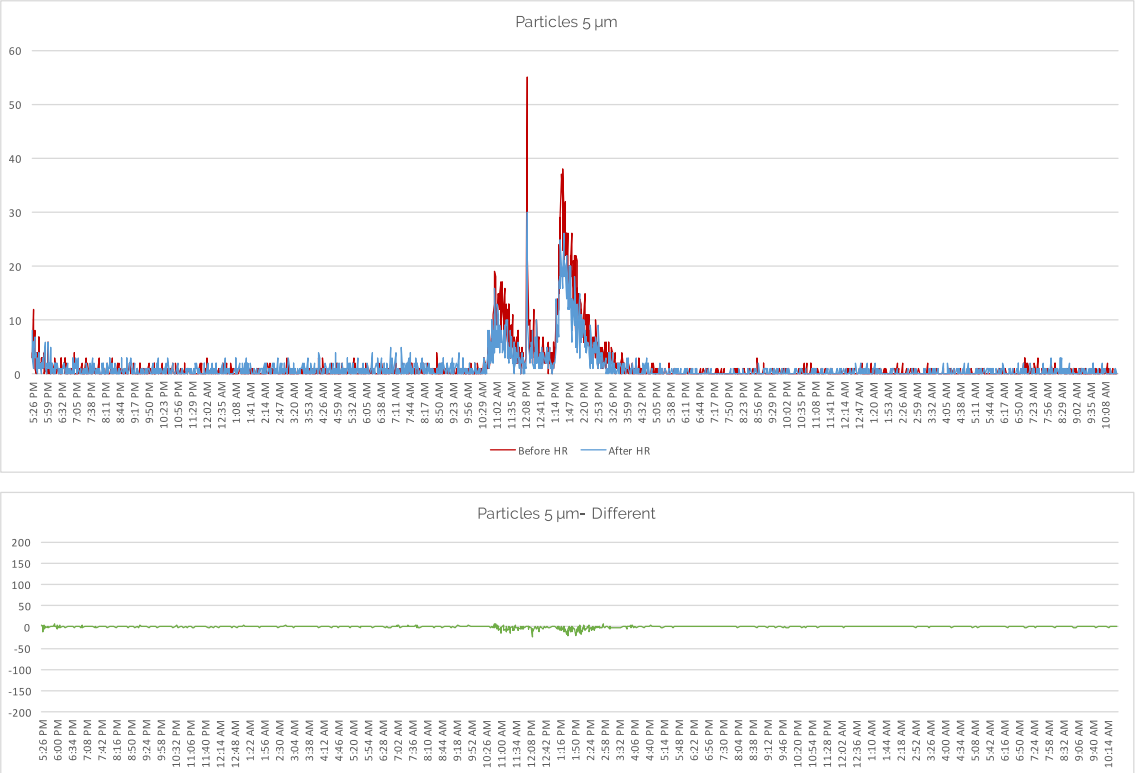
Speed2_144m3/h



Graf 2.24 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 5µm pro Speed2

Zde je vývoj grafu kopíruje trend částic velikosti 3µm. U menšího objemového průtoku dochází k většímu zachycování částic, což je určitě zapříčiněno celkově větším objemem částic ve vzduchu.

Speed3_260m3/h



Graf 2.25 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 5µm pro Speed3

Závěr

Jelikož v době testu nebyly přítomny osoby musely být jako zdroje škodlivin umístěny v budově svíčky a to přesně 5ks a parfém. Výchylky na grafu odpovídají době zapálených svíček.

Jelikož z důvodu instalace přístroje ParticlCaunter pro sběr částic musel být odstraněn filtr třídy F7, před větrací jednotkou, do výpočtu se dostaly i částice s velikostí 1µm až 3µm. Takhle velké částice by za běžných podmínek provozu uvázly na filtru. To se ostatně děje následovně na rotačním výměníku, kdy se postupně usazují a vzniká tak rozdíl hodnot až k 30 %.

Mnohem zajímavějším faktem jsou mikročástice velikosti 0,3µm a 0,5µm. Zde dochází k nárůstu množství částic díky pohybu rotačního výměníku a tím ke smíšení přiváděného čerstvého vzduchu a odvodního znehodnoceného vzduchu. Nárůst hodnot ve špičkách koncentrace byl až 30%. Což je extrémní číslo, částečně způsobené charakterem zdroje škodlivin. Zajímavý je také objem zachycených částic v porovnání se stupněm provozu. Díky větší cirkulaci vzduchu o 116 m^3/h klesá množství škodlivin více než o jeden řád. Rozdílné množství zachycených částic se projevuje u všech měřených velikostí.

Jen pro připomenutí částice 0,3µm a 0,5µm představuje jemný prach, bakterie a viry, s potenciálem usazovat se v plicích dle WHO.

		0,3µm	0,5µm	1µm	3µm	5µm
Speed2_144m³/h	**- množství částic (ks)**	až 300 000	až 40 000	až 20 000	až 2 500	až 800
	- rozdíl díky HR	+18%	+5%	-10%	-20%	
Speed3_260m³/h	**- množství částic (ks)**	až 30 000	až 6 000	až 1 200	až 90	až 50
	- rozdíl díky HR	+30%	+15%	-12,5%	-30%	

V severských zemích se používají rotační výměníky díky své účinnosti a náročným klimatickým podmínkám. V budoucnu by se tento typ HR mohl v podobných instalacích objevit i v našich podmínkách a to zejména díky stanovám ECODESIGNU a potřebných účinnostech výměníků.

Exhaust air transfer ratio:

$$EATR = \frac{a_{22} - a_{21}}{a_{11}} \quad \text{(Exhaust Air Transfer Ratio)}$$

a_{22} ..... Concentration in supply air
a_{21} ..... Concentration in fresh air
a_{11} ..... Concentration in extract air

Outdoor air correction factor:

$$OACF = \frac{q_{m\,21}}{q_{m\,22}} \quad \text{(Outdoor Air Correction Factor)}$$

$q_{m\,21}$ ..... Mass flow of fresh air
$q_{m\,22}$ ..... Mass flow of supply air

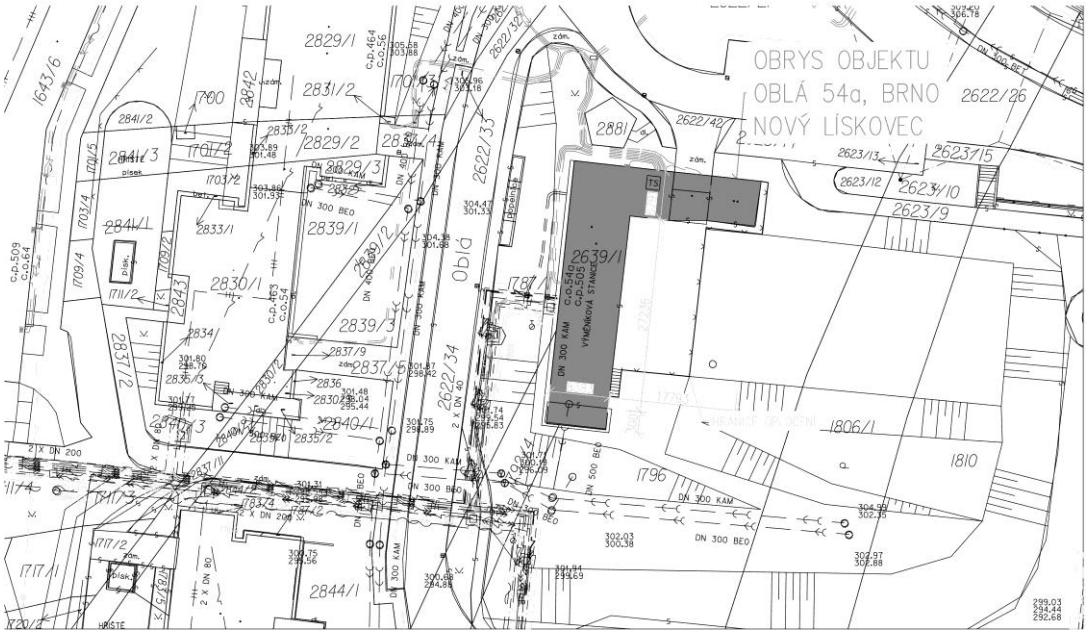
C. Aplikace tématu na zadané budově

3 APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ

Jako praktickou část své diplomové práce zpracovávám studii Komunitního centra Skála pro Brněnskou městkou část Nový Lískovec. Ta odkoupila objekt, který byl dříve využíván, jako výměníková stanice centrálního zásobování tepla CZT, včetně trafostanice. Nyní však svému účelu neslouží a v blízké době by se měl stát pilotním projektem dle nové legislativy a to domem s téměř nulovou spotřebou energie. Za tímto projektem stojí paní starostka Ing. Jana Drápalová , která sestavila pracovní skupinu se členy zastupitelstva, zájmových skupin budoucích uživatelů a ze strany odborníku, pro přípravu celého projektu.

3.1 Komunitní centrum Skála

Centrum Skála je také zařazen do projektu Smart Regions, jako vhodný projekt k ověření inovativních technologií, kdy může sloužit jako vzorové řešení veřejné budovy s ohledem na novou vyhlášku.



Obrázek 3.1 Situace s objektem komunitního centra Skála

V budoucnu by mělo centrum sloužit pro pořádání kulturních a společenských akcí, vzdělávací instituce Smart, místo pro workshopy a přednášky. Sál by umožňoval i využití jako příležitostné divadlo, kino, taneční sál, sportovní sál (například pro aerobic a úpolové sporty) či jiné aktivity. Na střeše centra je zamýšlena pochůzí zelená střecha s možností posezení, pěstováním bylin a chováním včel. Ve spodní části stavby by se měla nacházet malá kavárna s každodenním provozem.

Městská část Nový Lískovec si nechala zhotovit stavebně technický průzkum společností DEa, jak somotné budovy, tak okolí stavby s ohledem na budoucí využití. Průzkum se zabýval kvalitou současné obálky, ŽB nosnou konstrukcí, geologií okolí a vyhotovil kamerové zkoušky kanalizace. Jedním z výsledků je, že objekt nesplňuje stávající tepelně technické požadavky dle ČSN 73 0540

Centurm Skála se také zabývala slečna Nikola Stibůrková ve své architektonické studii. Poukázala v ní zejména na vysoký pontenciál rozvoje celé oblasti v bezprostřední blízkosti centra a na možnosti provedení budovy. V současné době je vedoucím pracovní skupiny zabývající se Komunitním centrem.

Samotný návrh a provedení stavby

V současnosti se projekt nachází ve fázi příprav. Pracovní skupina shromažďuje podměty o budoucím využití, konají se workshopy s obyvateli a připravují se finanční plány pro výstavbu. Zatím není známý projektant a ani přesná architektonická podoba budovy. Proto svoji část projektu budu koncipovat, jako doporučení k budoucímu projektu s uvedením více variant. Celá budova bude vymodelována pomocí softweru DesignBuilderu a bude zde vyhotoveno několik simulací. Dále navržen systém TZB a závěrečná CFD simulace.

Jelikož není znám přesný stavebně technický stav budovy, výsledné hodnoty nelze brát exaktně, jsou pouze ukázkou, jak je možné postupovat a za jakých podmínek dosáhnout budovy v požadovaném standartu nZEB.

Charakteristika současného stavu stavby

Objekt bývalé výměníkové stanice má v půdorysu tvar písmene „L“ a je umístěn ve svažitém skalnatém terénu. Byl vybudován před 25 lety. Tvoří jej jedno celé nadzemní podlaží a jedno podlaží schované ve svažitém terénu. V severní části objektu je v úrovni 1.NP se nachází průjezd, přes který je možná obsluha ze dvora objektu. Zastřešení objektu je provedeno plochou střechou s atikami a se spády k vnitřním dešťovým vpustím.

Nosnou konstrukci objektu tvoří montovaný železobetonový skelet systému S1.2. Železobetonové sloupy průřezu 400x400 mm jsou rozmístěny v roztečích 6,0 m a 7,2 m. Severní křídlo má moduly sloupů 6,0 x 6,0 m, západní křídlo má moduly 7,2 x 6,0 m. Rozteč sloupů 7,2 m je v příčném směru objektu. Stropní konstrukce je tvořena panely Spirol.

Opláštění objektu je provedeno částečně keramickými panely a částečně vyzdívkami. Na západní straně je velká plocha obvodového pláště, v 1.NP vyplněna svislými skleněnými tvarovkami Copilit. Dělící příčky v interiéru jsou vyzděny.

Založení objektu resp. sloupů skeletu je provedeno na železobetonových monolitických patkách s krčky, na které navazují železobetonové sloupy skeletu. Výškové osazení základových patek je přizpůsobeno sklonu terénu.

Objekt je napojen na veškeré sítě infarstruktury (voda, kanalizace, silnoproud, CZT). Střešní izolace je na bázi bitumenových pásů s AL výztužnou vložkou. Dílčí část střechy byla v minulosti opravena. Jako materiál byly použity pásy PVC fólie. Ostatní části objektu byly odizolovány asfaltovými pásy, nátěry. Objekt nikdy nesloužil pro bydlení, a proto nebylo u objektu použito tepelných izolací. Významnější zastoupení lze očekávat výhradně u střešního pláště, kde byl použit spádový (lehčený) beton.

Návrh obálky budovy

Nízkoenergetické (pasivní, nulové) domy by měly být především kvalitní architekturou s automatickou přidanou hodnotou nízké energetické náročnosti a šetrnosti k životnímu prostředí.

Správný návrh domu s nulovou spotřebou energie vychází především z dobře zvoleného stavebně–architektonického řešení budovy. To znamená, že tvar a hmota budovy by měla býti co možno nejjednodušší. Jedná se o parametr A/V, kde A představuje plochu vnějších ochlazovaných konstrukcí obálky budovy, k jejímu vytápěnému objemu tzn. V. Čím je hodnota A/V nižší, tím se předpokládá nižší potřeba energie na vytápění a naopak. Z toho plyne, že nízkoenergetický či nulový dům by měl mít minimum vnějších ploch vzhledem ke svému objemu. Proto konstrukce narušující kompaktní tvar objektu, jako jsou různá zalomení fasády, balkony, zapuštěné lodžie, arkýře, vikýře, věžičky, niky apod. zvětšují ochlazovanou plochu obvodového pláště a tím i tepelné ztráty objektu.

V našem případě se jedná o obdelníkový tvar (bez trafostanice), který je zasazen do skalnatého podloží. Jižní část objektu je mírně vykonzolována nad suterénní blok. Což znamená téměř ideální stav. Orientace vůči světovým stranám je také velmi příznivá, kdy převažující plochy mají východo – západní charakter.

Bohužel současná legislativa nezohledňuje budovu jako celek, s kvalitní obálkou a systémy TZB, ale hlavním kritériem je součinitel prostupu tepla, který je uváděn ve třech úrovních – jako hodnota požadovaná, doporučená a cílová (tab.1). Pokud chceme dosáhnout úroveň nulového domu, je pro rodinné domy většinou vhodné volit hodnoty při spodním okraji intervalu, pro velké kompaktní budovy mohou postačovat hodnoty při okraji horním.

Tabulka 3.1 Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla

Popis konstrukce	**Součinitel prostupu tepla** [W/(m^2·K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30 [1)]	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5 [2)]	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4 [3)]	1,1	0,9
Dveře z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9

[1)] Pro jednovrstvé zdivo se nejpozději do 31.12.2012 připouští hodnota 0,38 W/(m^{2}K).
[2)] Nejpozději do 31.12.2012 se připouští hodnota 1,7 W/(m^{2}K).
[3)] Nejpozději do 31.12.2012 se připouští hodnota 1,5 W/(m^{2}K).

Současně s tím jsou stanoveny i požadavky na průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy jako celku . Kritérium je stanoveno pro každou budovu jednotlivě metodou referenční budovy. Do výpočtu

geometricky a funkčně identické virtuální budovy se zadají odpovídající požadované hodnotě součinitele prostupu tepla, prosklení se však započte nejvýše z 50% plochy obvodových stěn. Případné prosklení navíc se započítá tak, jako by v tom místě byla obvodová stěna. Z toho se stanoví hodnota průměrného součinitele prostupu tepla, která je kritériem pro posuzovanou budovu, pokud není překročena uvedená konstantní limitní hodnota. Doporučený průměrný součinitel prostupu tepla je pak na úrovni ¾ hodnoty požadované. Cílová hodnota průměrného součinitele prostupu tepla je uvažována jako konstanta a pro obytné budovy odpovídá pasivnímu domu podle TNI 73 0329 a TNI 73 0330 . Pro nebytové budovy se zatím nestanovuje, vzhledem k různorodosti takových budov.

Tabulka 3.2 Požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla

Závaznost kritéria →		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m²K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění E_A [kWh/(m²a)]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů PE_A [1)] [kWh/(m²a)]	
				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

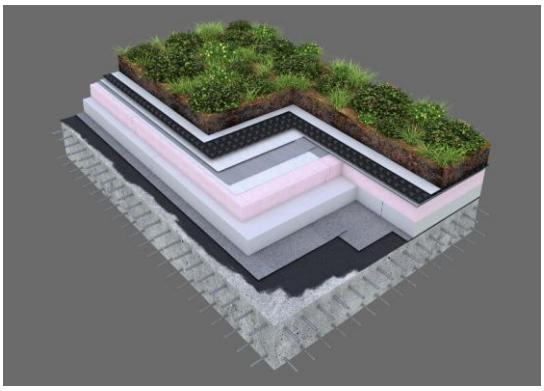
[1)] Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě doporučené $U_{em,rec}$ podle článku 5.3.2 [2].
[2)] Neobytné budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou 18 °C až 22 °C včetně. Pro jiné budovy není stanoveno.

	Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em,N,20}$ [W/(m²·K)]
Nové obytné budovy	Výsledek výpočtu metodou referenční budovy, nejvýše však 0,5
Ostatní budovy	Výsledek výpočtu metodou referenční budovy, nejvýše však hodnota: Pro objemový faktor tvaru: $A/V \leq 0{,}2$ $U_{em,N,20}$ =1,05 $A/V > 1{,}0$ $U_{em,N,20}$ =0,45 Pro ostatní hodnoty A/V $U_{em,N,20} = 0{,}30 + 0{,}15/(A/V)$.

Volba pro obálku komunitního centra byla jednoduchá a to přiblížit se co nejblíže spodní hranici doporučených hodnot součinitele prostupu tepla U. Při zachování předem zamýšlených úprav povrchů. Střecha vegetační pochůzí, fasáda z dřevěného obkladu a dobře zaizolovaná spodní stavba. Stávající konstrukce je železobetonový skelet se dvěma deskami. Díky tomu hrozí riziko tepelných mostů, proto už v předběžném návrhu se přikláním právě ke spodní hranici, díky určité rezervě. Pro správné provedení stavby bude nezbytně nutné vyřešit veškeré detaily napojení stávající konstrukce k nové obálce budovy.

Zelená pochůzí střecha

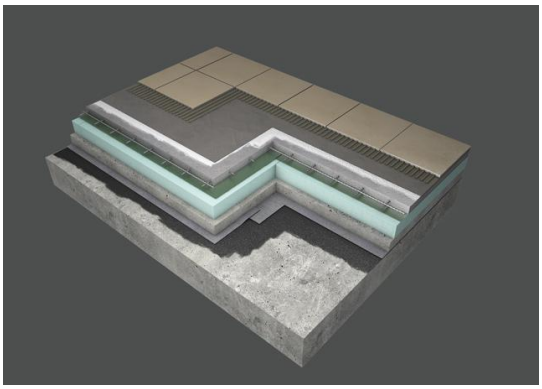
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti	Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. Odporu
	d [m]	d [m]	λ [W/(mK)]	c [J/(kgK)]	ρ [kg/m3]	μ [-]
1	Železobeton	0,2	1,75	1020	2400	32
2	Glastek Al 40 mineral	0,004	0,21	1470	1400	300000
3	EPS 100 S	0,25	0,038	1270	25	50
4	Dekperimetr	0,08	0,034	800	32	52
5	Dekplan 77	0,0015	0,16	960	1400	15000
6	Dekdren T20 Garden	0,001	0,35	1800	980	35000
				Rsi	0,25	[m2K/W]
				Rse	0,04	[m2K/W]
				Rtot	9,217	[m2K/W]
				U	**0,108**	**[W/(m2K)]**
				Urec	0,16	[W/(m2K)]



Obrázek 3.2 ukázka navrhnuté skladby zelené pochůzí střechy

Podlaha na zemině

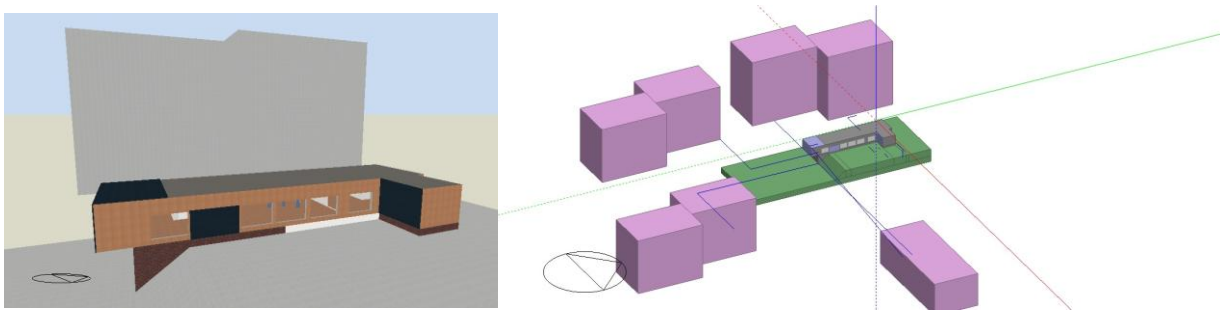
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti	Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. Odporu
	d [m]	d [m]	λ [W/(mK)]	c [J/(kgK)]	ρ [kg/m3]	μ [-]
1	Keramická dlažba	0,025	1,01	840	2000	200
2	Weber tmel 700	0,01	0,88	900	1690	20
3	Beton hutný	0,05	1,23	1020	2100	17
4	DekSepar	0,0015	0,35	1470	1470	100000
5	Dekperimetr	0,35	0,036	1450	32	52
6	Beton hutný	0,05	1,23	1020	2100	17
7	Glastek 40 special	0,004	0,21	1470	1400	30000
8	Železobeton	0,2	1,43	1020	2300	23
				Rsi	0,17	[m2K/W]
				Rse	0	[m2K/W]
				Rtot	8,283	[m2K/W]
				U	**0,118**	**[W/(m2K)]**
				Urec	0,15	[W/(m2K)]



Obrázek 3.3 Ukázka navrhnuté skladby podlahy

Tvorba modelu v softwareu DesignBuilderu

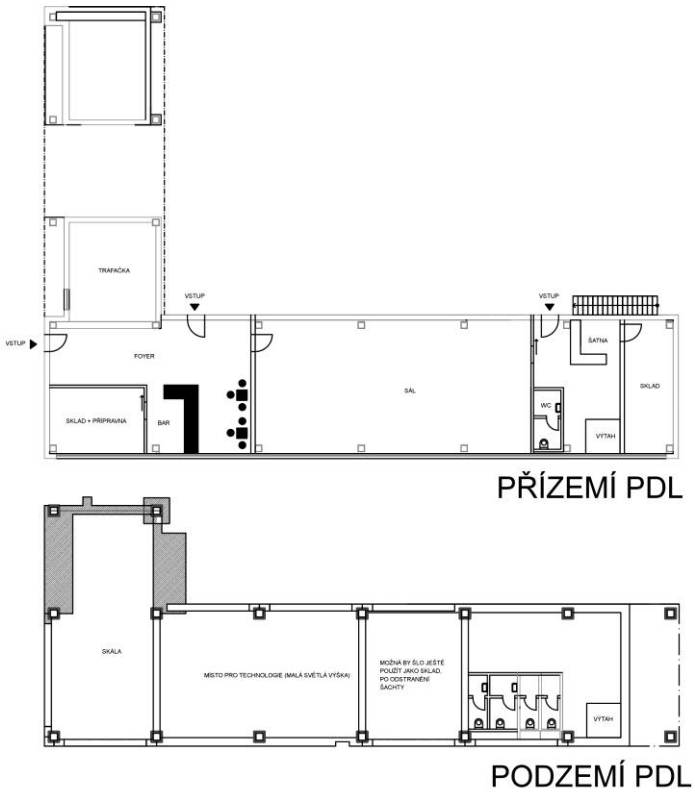
Program Design Builder nadefinovat budovu jako celek a vytvořit tak přesný model i s okolím stavby. V mém případě panelákovou zástavbou městské části Nový Lískovec. Pro každou konstrukci je nutné zadat jednotlivé složení vrstev s ohledem na výpočet tepelných ztrát, dále nadefinovat vlastnosti oken, dveří a dalších stavebních prvků.



Obrázek 3.4 Vizualizace Komunitního centra skála v programu DesignBuilder

Jedním ze základních nastavení je záložka Location, ve které si můžeme stanovit přesná weatherdata s ohledem na polohu, v mém případě Brno_Tuřany. Dále se zde dají nastavit vlastnosti zeminy v okolí stavby, koncentrace škodlivin a CO_2 v okolí a podrobněji nastavit WinterDesignday a SummerDesignday, což jsou představitelé extrémních podmínek v létě a v zimě. Pro můj návrh vycházím z přednastavených dat pro oblast Brno.

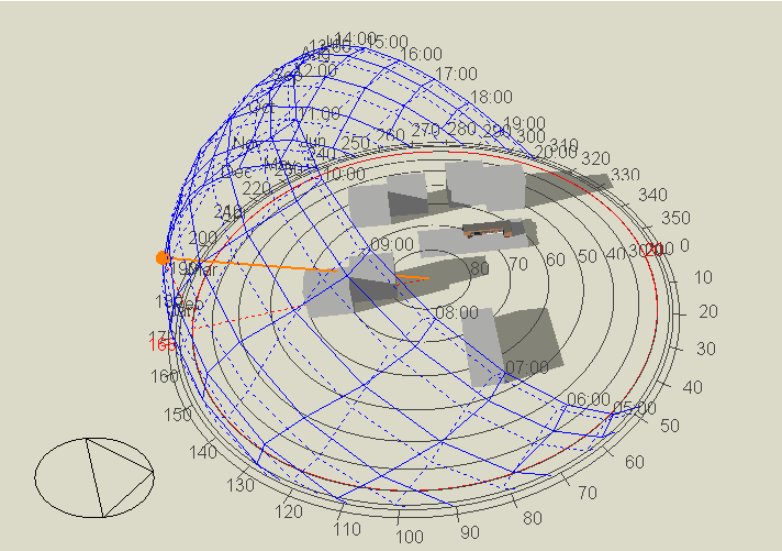
Dispozice interiéru byla řešena společně s Nikolou Stibůrkovou, tedy autorkou návrhu architektonické studie. Její konečná podoba však ještě není úplně známa, ale díky charakteru stavby, by se už neměla příliš měnit.



Obrázek 3.5 Předběžné půdorysy komunitního centra Skála

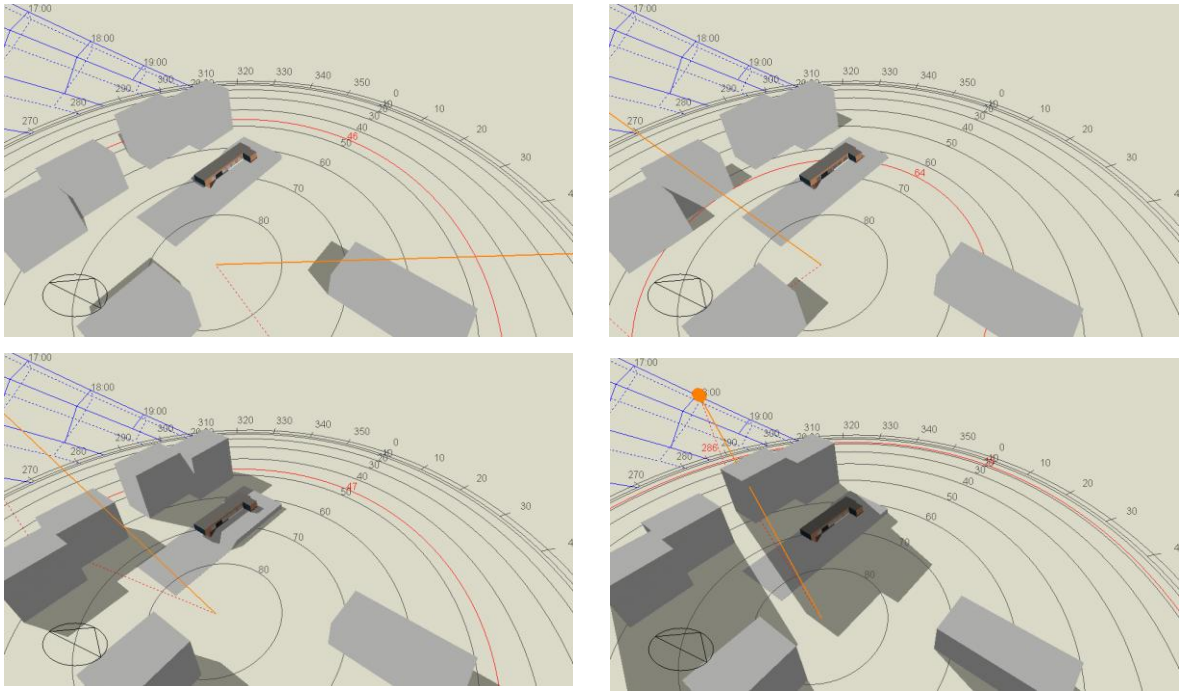
Modelování olsunění

Jelikož se Komunitní centrum Skála se nachází uprostřed sídliště, bylo nezbytně nutné vytvořit model oslunění budovy s ohledem na okolní zástavbu.



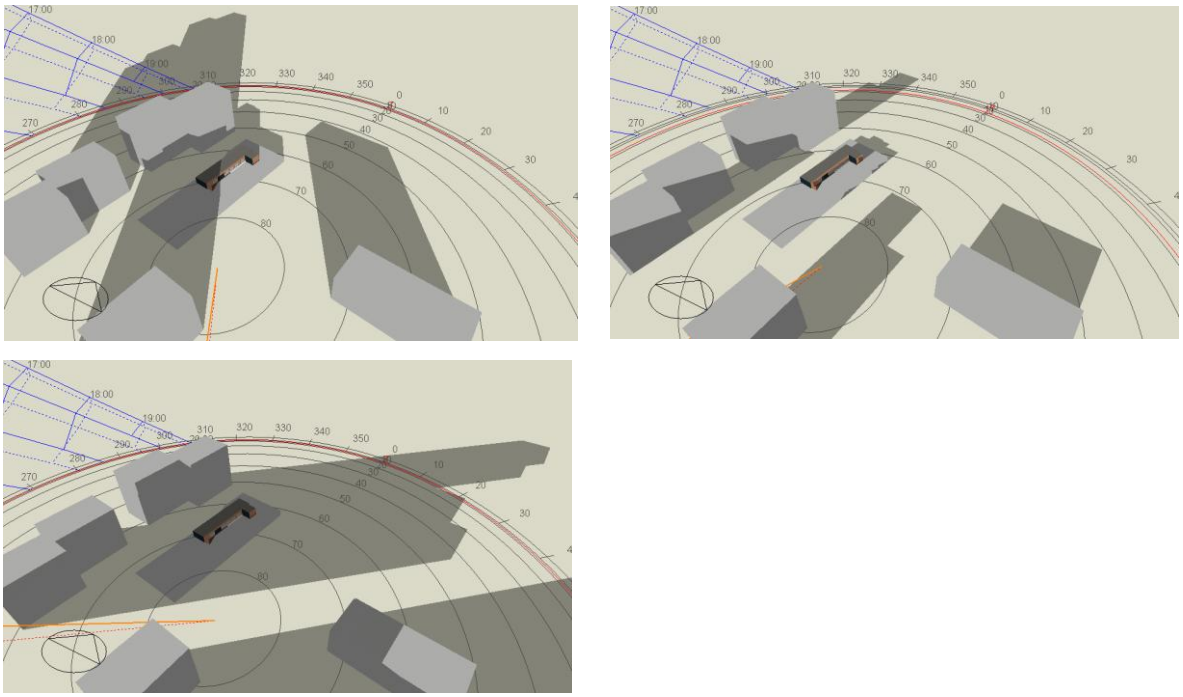
Obrázek 3.6 Model oslunění budovy vytvořen softwarem DB

Software zohleňuje okolní zástavbu a pohyb slunce ve výpočtech tepelných zisků, účinností fotovotalických a solárních panelů. Pro znázornění průběhu oslunění budovy jsem vybral SummerDesignDay (21.6.) a WinterDesignDay (21.12.) v časovém kroku tří hodin.



Obrázek 3.7 Simulace oslunění během 21.6. pro různé časy_levý horní (9hoh)_pravý horní(12hod)_levý dolní(15hod)_pravý d.(18h)

V letním období, kdy se slunce pohybuje vysoko nad obzorem nedochází během dne k téměř žádnému stínění od okolní zástavby. To nastává postupně od 17. hodiny, kdy v čase 18:00 dojde k plnému zastínění budovy, což vzhledem k tepelným ziskům a produkci solární energie není určující parametr.



Obrázek 3.8 Oslunění budovy během 21.12._9hod_12hod_15hod

Zimní období je již razantně rozdílné a okolní zástavba má velký vliv na oslunění stavby. Slunce se v tuhle dobu pohybuje nízko nad obzorem a od 14 hodiny začíná celou stavbu zahalovat stín. V 15:00 je už zcela pohlcena jak je vidět z obr.

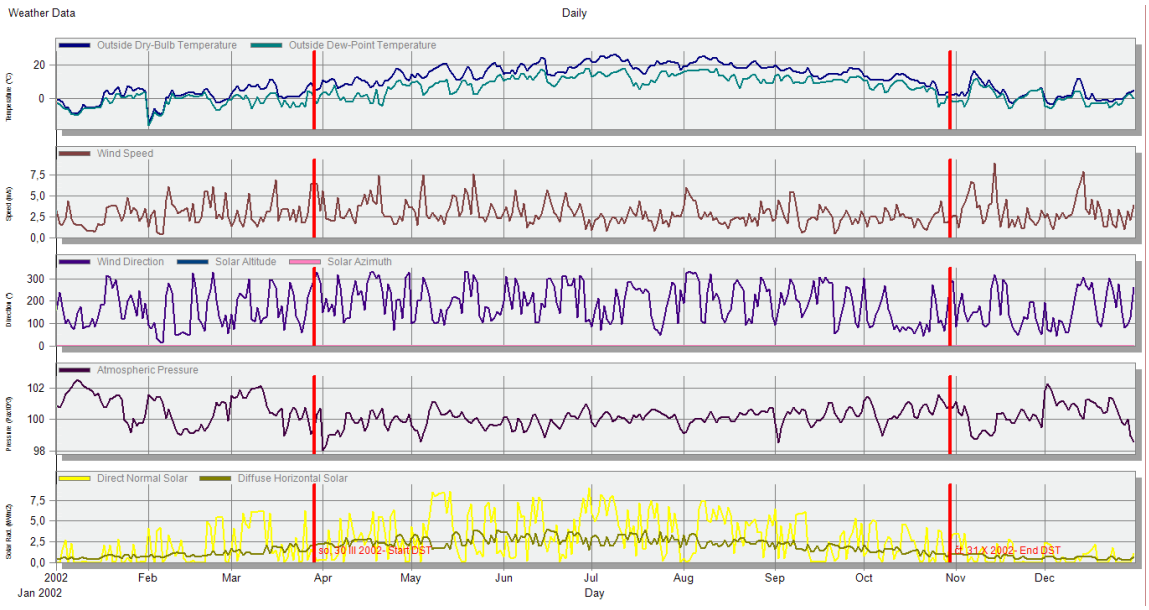
Ve východní části objektu jsou projektována velká francouzská okna, která by měla sloužit i jako vstup do volného prostoru zahrady. Z obr 3.8. je patrné, že prosklená fasáda není v dopoledních hodinách stíněna, tudíž riziko velkých teplených zisků je více než pravděpodobné. Západní část objektu je převážně bez přímého slunečního oslunění a působí zde pouze difuzní světlo.

Jelikož z velké části je zamýšlena pochůzí vegetační střecha s možností posezení, nenaskýta tolik prostoru pro techniku jako je fotovoltaika a solární panely. Náhradním prostorem může být jižní stěna trafostanice, nebo jižní předsazená část objektu. Bude záležet na architektonickém zpracování a rozmístění oken, ale z modelu oslunění se tato plocha jeví jako vhodná. Smart lokace obnovitelných zdrojů má také dopad na vzdělávací stránku samotných návštěvníku komunitního centra.

V mém návrhu se panely objevují jak na střešní konstrukci, tak z části na jižní a východní fasádě budovy. Budou zde použity fotovoltaické panely pro výrobu elektrické energie a také v menším množství solární panely pro pokrytí potřeb teplé vody.

Weahteher data

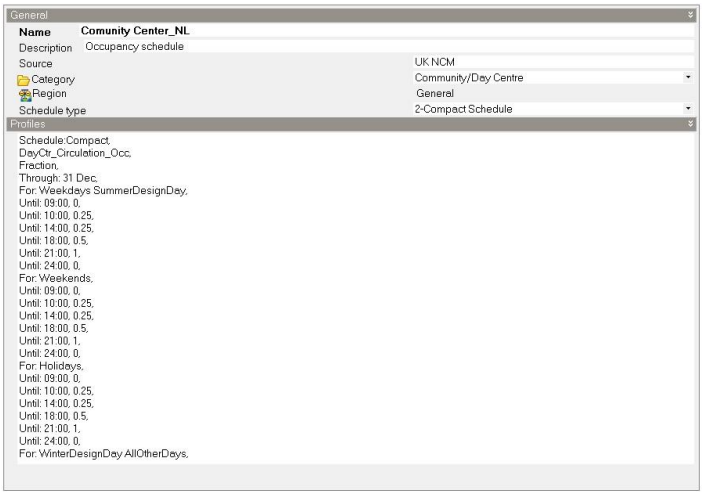
Jeden z prvních výstupů ze softwaru jsou tzv. weather data. Ty ukazují přírodní vlivy působící na budovu během celého roku. Jsou zde údaje o venkovní teplotě tzn. Dry-Bulb Temperature A Dew-Point Temperature., rychlost a směr proudění větru, hladinu atmosférického tlaku a v neposlední řadě přímé a difůzní záření. Veškeré tyto data se promítnou ve spotřebě energie.



Obrázek 3.9 Weather data pro oblast Brno

Activity schedule

Důležitým prvkem v simulacích je návrh Actvivity. Ten určuje obsazenost objektu, nastavení osvětlení, aktivitu lidí, provoz větrání, chlazení a vytápění, otevírání a zavírání předokenních rolet, provoz vzduchotechniky, vytápění, zařízení generující tepelné zisky atd.. Vesměs veškeré pohyby a přepovídatelné aktivity je nutné přednastavit s ohledem na budoucí využití a provoz. Díky aktivity je pak možno si donastavit veškeré detaily co se týče provozu a upravovat jej pro různé systémy individuálně.

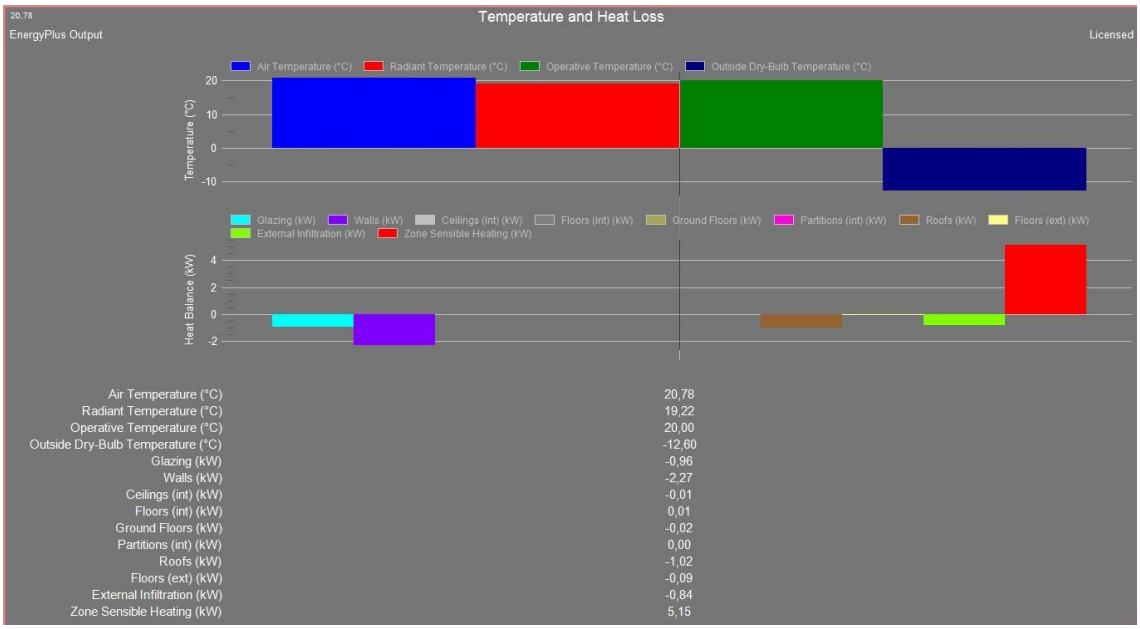


Obrázek 3.10 Occupancy schedule procentrum Skála

Na obr11 je vidět základní Occupancy schedule, pro provoz centra Skála, který byl sestaven na základě diskuzí s paní starostkou a zástupci jednotlivých zájmových skupin, které by měli centrum užívat. Plný stav s počítá tepelnou zátěží až 60 lidí. Podobným způsobem bylo naprogramováno celé centrum, jak po jednotlivých místnostech tak pro různé typy zařízení.

Tepelné chování budovy

Po vypracování modelu budovy, nastavení veškerých aktivit, zadání venkovních podmínek a zohledněním okolí zástavby je možně přistoupit k výpočtu tepelných ztrát a zisků. Ten si software počítá automaticky a umožňuje i grafický vystup během extrémního dne (WinterDesignDay) v hodinovém kroku. Venkovní návrhová teplota byl **-12,6 °C**.

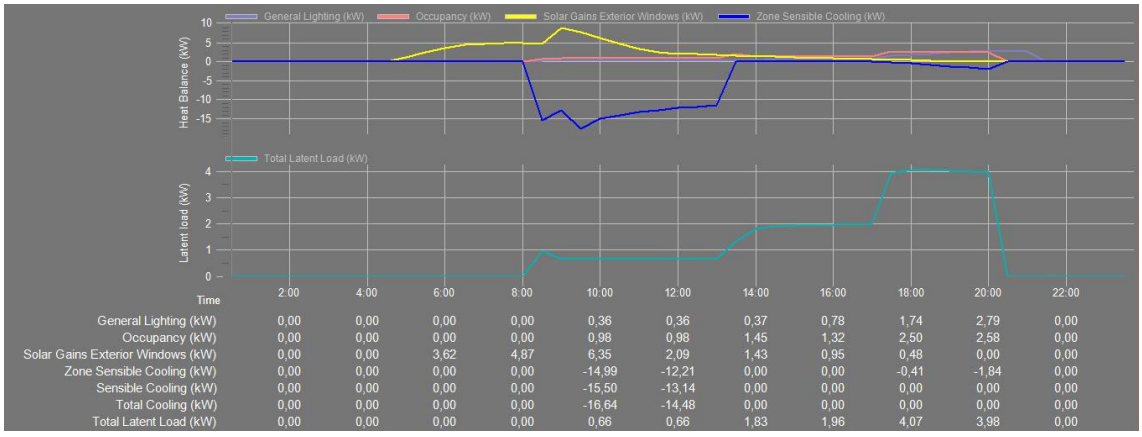


Obrázek 3.11 Tepelné chování budovy v zimním návrhovém dnu

Výstup pak jsou hodnoty po jednotlivých místnostech a celková tepelná ztráta což je **9,8kW**. Takhle nízká hodnota je dána kvalitní obálkou budovy a jejím dobrým tvarem. Uvádět ztráty po jednotlivých místnostech zde nemá smysl, díky budoucímu přepracování. Důležitým ukazatel je tudíž celkové tepelná ztráta.

Tepelné zisky

Mnohem větší problém pro nZEB stavby jsou tepelné zisky z oslunění. V předběžném návrhu se objevuju prosklená východní fasáda komunitního centra. Ta nám v průběhu letních dnů generuje tepelný zisk až k téměř 10 kW, což znamená velkou spotřebu enenergie na chlazení. Proto bude nezbytné jí opatřit stínícími prvky, či zmenšit její plochu.



Obrázek 3.12 Tepelný zisk budovy během letního návrhového dne

Jedno z možných opatření je předokenní systém rolet s přednastavenou dobou provozu. Jelikož provoz centra bude probíhat především v odpoledních hodinách, můžeme si dovolit dopolední zisk výrazně omezit. Přednastavený program vypadá následovně:

- od 05:00 do 10:00_plně zataženo (centrum Skála zavřené)
- od 10:00 do 12:00_zataženo ze 75%
- od 12:00 do 13:00_zataženo z 25%
- od 13:00 plně otevřená stav

Systém rolet by byl výsuvný zespodu, tudíž by zamezil dopadu přímého slunce a následného ohřevu místnosti, zároveň by byl prostor ve vrchní části dostatečně osluněn. Tento pasivní prvek chlazení se dříve využíval v kostelech a v současnosti se na něj zapomínáno.

	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
General Lighting (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,36	0,37	0,78	1,74	2,79	0,00
Occupancy (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,98	1,51	1,39	2,64	2,72	0,00
Solar Gains Exterior Windows (kW)	0,00	0,00	1,25	1,67	1,21	0,38	1,43	0,95	0,48	0,00	0,00
Zone Sensible Cooling (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	-10,38	-9,12	0,00	0,00	-0,17	-1,56	0,00
Sensible Cooling (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	-10,89	-10,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Cooling (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	-12,45	-11,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Latent Load (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,66	1,77	1,89	3,93	3,85	0,00

Obrázek 3.13 tepelný zisk místnosti po nastavení systému předokeních rolet

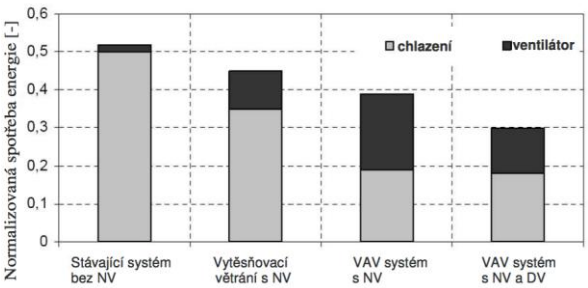
Jen díky roletám jsme snížili tepelný zisk několikanásobně, zároveň provozní část nebude významně omezena. Dalším systémem může být posuvná stěna, která by odklonila přímé ranní paprsky, záleží však především na architektonickém řešení stavby.

Posledním, spíše doplňkovým, opatření je pasivní prvek ochlazení probíhající v nočním čase. Využívám především železobetonového stropu a jeho akumulačních vlastností při nočním provětrání prostoru a jeho ochlazením.

Noční větrání je jedním ze základních metod nízkoenergetického chlazení budov. Tepelné zisky během dnes jsou akumulovány do hmoty budovy a odvedeny větráním v noci. Podmínkou je dostatečná tepelná hmota budovy. Jsou dva typy přirozené a nucené. Tímto způsobem se zabývá například Mr. Olsen a Chen, kdy publikovali rozsáhlou studii ve které zpracovali simulace pro 7 hodinové noční chlazení od 23 do 6 hodin ráno v softwaru Energy plus. Pokus se odehrál ve Velkou Británii, kdy při intenzitě větrání 5 l/h bylo dosaženo snížení spotřeb chladu o 62 %.

Klimatické podmínky v České Republice, které analyzoval profesor Lain ve své disertační práci, vycházejí velmi příznivě.

Dalším systémem pasivního chlazení je sálavé s akumulační hmotou, kdy se dá využít podlahového vytápění. V angličtině se používá název slab cooling, což znamená chlazení stavební deskou. Sálavé chlazení dociluje tepelné pohody



v místnosti sáláním z okolních chladných ploch na člověka. Krom toho odvádí přímo teplo ze stavební konstrukce a díky nižší povrchové teplotě odvádí i teplo konvekcí. Sálavé chlazení je vhodné pro budovy s periodickými tepelnými zisky.

Zdroj Tepla

Hlavním kritériem bylo dosažení nZEB proto volba zdroje tepla je důležitá. Rozhodl jsem se pro horizontální kolektor a tepelné čerpadlo typu země_voda. Jednak díky své účinnosti a také nutnosti upravit prostor před komunitním centrem, které se dá využít jako prostor pro kolektor. Díky stavebnětechnickému průzkumu jsem mohl zvolit typ zeminy přiléhající k budově. Což odpovídá 20 W/m^2. Potřebná plocha proto bude 450m^2.

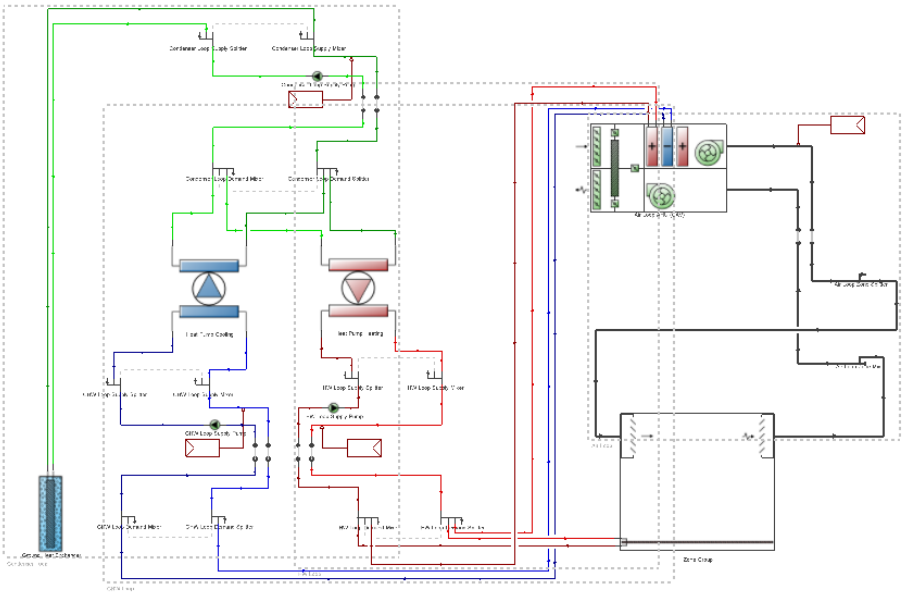
Tabulka 3.3 Extrakční kapacita zeminy pro tepelné č.

Typ podloží	Max. specifická extrakční kapacita při 1800 prov. h/ročně	Max. specifická extrakční kapacita při 2400 prov. h/ročně
Suchá, nesoudržná půda	10 W/m^2 a 5 W/bm	8 W/m^2 a 4 W/bm
Soudržná, vlhká půda	20–30 W/m^2 a 15 W/bm	16–24 W/m^2 a 12 W/bm
Vodou nasycený písek/štěrk	40 W/m^2 a 20 W/bm	32 W/m^2 a 16 W/bm

Tepelné čerpadlo je v mém návrhu napojeno na podlahové vytápění, zásobník teplé vody a jako předehřev pro přívod vzduchu. V letním období může plnit funkci pasivního chlazení jak přiváděného vzduchu, tak částečně podlahovky.

Při proudění nemrznoucí směsi dochází dochází v v zemním kolektoru ke sdílení tepla mezi zeminou a potrubím. Dle druhého termodynamického zákona platí, že energie proudí směrem z teplejšího tělesa na studenější, tento proces však ovlivňuje mnoho parametrů jako viskozita, geometrie potrubí a rychlost proudění. Pro dosažení větší efektivity jsem rozdělil průtok potrubí do více okruhů , kdy jsem tím získal delší úsek potrubí s vyšším teplotním rozdílem a tím i větší účinností.

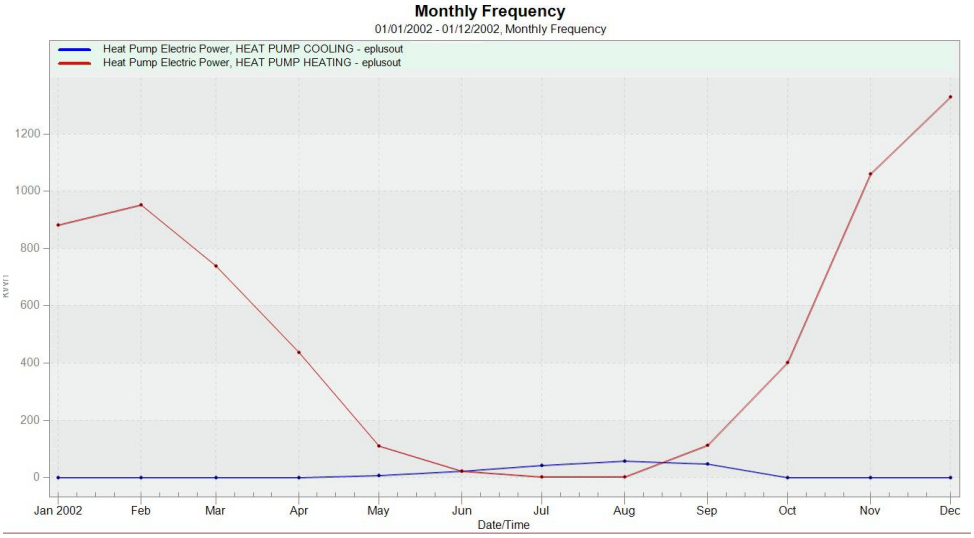
Software Designbuilder a jeho podkapitola detail HVAC, umožňuje přesné zapojení jednotlivých TZB komponentů do funkčního celku. V mém případě jde o tepelné čerpadlo, podlahové vytápění, systém nuceného větrání s možností regulace kvality vzduchu a samotný zemní kolektor.



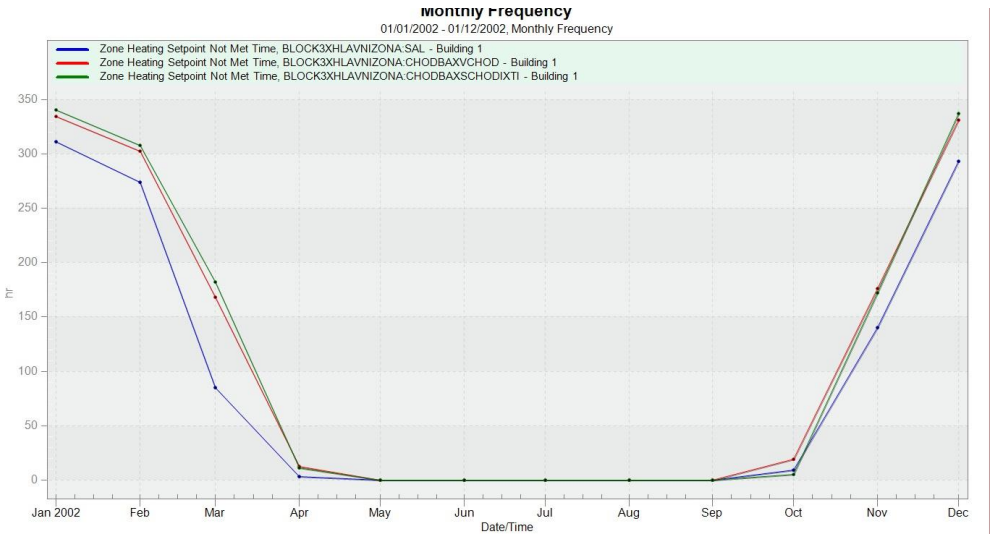
Obrázek 3.14 Schéma zapojení jednotlivých systémů TZB v programu DesignBuilder

Program a jeho knihovny nabízí širokou škálu produktů, které mají již předdefinovány pracovní paramentry. Do svého návrhu jsem je však musel částečně přenastavit dle požadovaných hodnot. Vycházel jsem z konkrétních parametrů od výrobce a to pro tepelné čerpadlo (Steebel Eltron_WPF 10M) a větrací jednotku (AeroMaster FP_Remak).

Proces práce tepelného čerpadla a jeho spotřebu elektrické energie charakterizují křivky z programu DB. Červená linie znázorňuje spotřebu nutnou pro vytápění, chlazení potom udává spodní křivka.



Obrázek 3.15Průběh spotřeby energie pro tepelné čerpadlo_TOPENÍ/CHLAZENÍ



Obrázek 3.16 Průběh vytápění podlahovým vytápěním během roku v hodinách

Vodní hospodářství v budově

Jedním z požadavků bylo využití dešťové vody v budově, ta bude akumulována v zásobnících v podzemním podlaží se sníženou světlou výškou. Plochá střecha o rozměru 270 m^2 ročně dokáže pojmout 36,45 m^3/h což odpovídá zásobníku o objemu 2 m^3. Vypočteno programem firmy Asio.cz.

$$Q = (j \cdot P \cdot f_s \cdot f_f) / 1000$$

Q - množství zachycené srážkové vody (m^3/rok)

j - množství srážek (mm/rok)

P - využitelná plocha střechy (m^2)

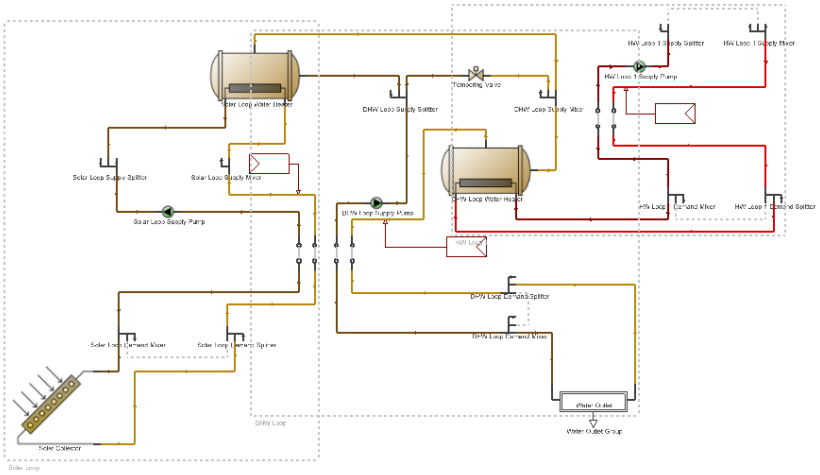
f_s - koeficient odtoku střechy (-)

f_f - koeficient účinnosti filtru mechanických nečistot (-)

Tato voda by měla složit pro splachování a částečně pro zpětnou závlahu zelené střechy.

TUV_teplá užitková voda

Hlavním zdrojem energie pro teplou užitkovou vodu jsou solární kolektory umístěné na budově o ploše 8 m^2. Schéma jeho zapojení za pomoci Designbuildru není zcela jednoduché, nelze zde například nadefinovat jednu společnou akumulační nádrž s více okruhy, ale je potřebné to obejít přes více nádob. Výsledek by však měl být shodný. Komunitní centrum bude disponovat pouze několika umyvadly a jedním dřezem, tudíž potřeba TV je minimální.

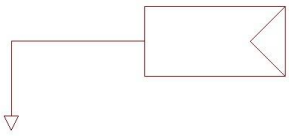


Obrázek 3.17 Schéma zapojení solárního kolektoru do systému TZB

Mimo solární kolektor je definován jako druhý zdroj tepelné čerpadlo a jeho přebytky, to je napojeno v pravé horní částí schématu. Jedno

SetPoint Manager

Kontrolní prvek na všech výstupech ze zařízení, ve kterém je zapotřebí nadefinovat Setpoint variable schedule, což znamená předběžný rozvrh provozu zařízení a požadovanou teplotou média na výstupu zejména u TUV.

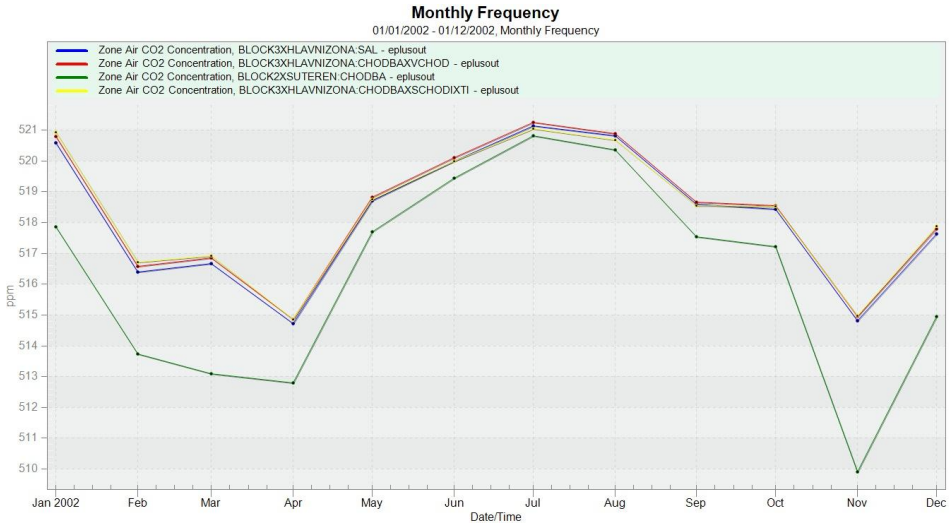


Obrázek 3.18 Setpoint manager

Větrání

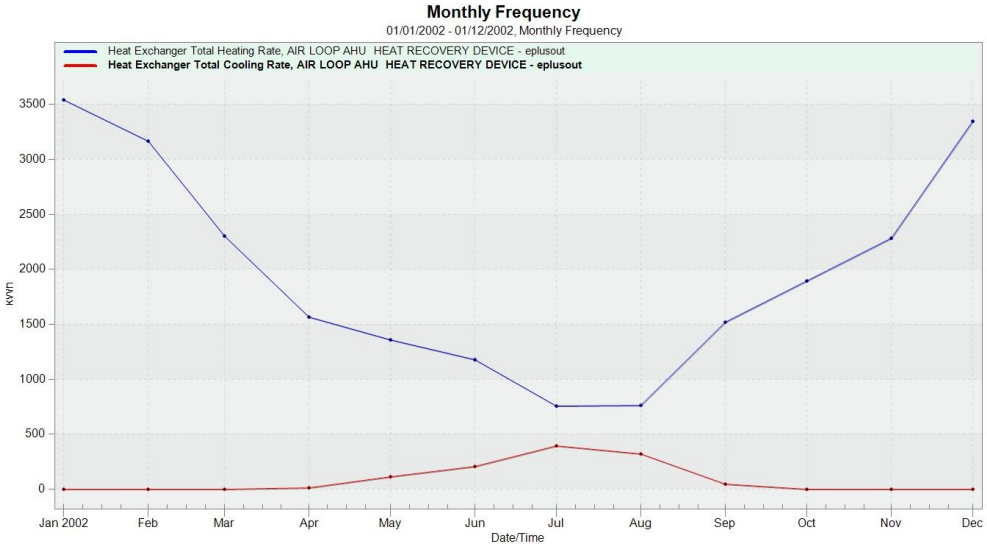
V centru Skála bude využit systém nuceného rovnotlakého větrání s rekuperací tepla. S maximálním průtokem vzduchu 1600 m^3/h. Přívodní distribuční prvky budou umístěny na chodbách, ve společenském sále a ve spodním skladě, který může být využíván v budoucnu jako plnohodnotná místnost. Odvodní prvky budou umístěny v kuchyni, hlavním sále a WC.

Při návrhu objemu větracího vzduchu jsem musel zahrnul požadavky na budoucí využití, to znamená plné obsazení sálu či lehká sportovní činnost v menším počtu lidí. Výsledná hodnota je oněch 1600 m^3/h , což odpovídá doporučené hodnotě přiváděného vzduchu na osobu 25 m^3/(h·os), dle národní přílohy ČSN EN 15665/Z1. Jednotka je vybavenafrekvenčním měničem s regulací otáček ventilátoru a v místnosti sálu jsou uvažována čidla $C0_2$ koncentrace. Tyto požadavky jsem také zahrnul do modelu budovy. Což dokazuje simulace softwarem DesignBuildrem. Hodnoty se pohybují během roku v doporučených mezích to potvrzuje, že navržený objem vzduchu byl správný.



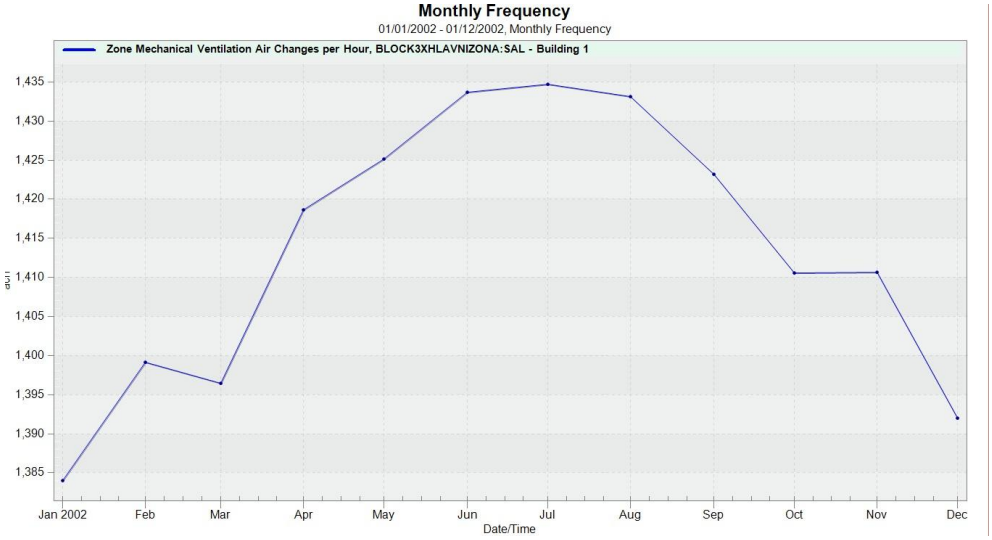
Obrázek 3.19 Koncentrace CO2 v budově

V jednotce je instalován deskový výměník zajišťující přenos tepla z odvodního vzduchu na vzduch přiváděný prostřednictvím velkoplošného hliníkového výměníku. Jeho aktivitu během roku znázorňuje výstup ze softwaru DB. Účinost je dimenzována na 65%. Jednotka je vybavena filtry třídy F7.



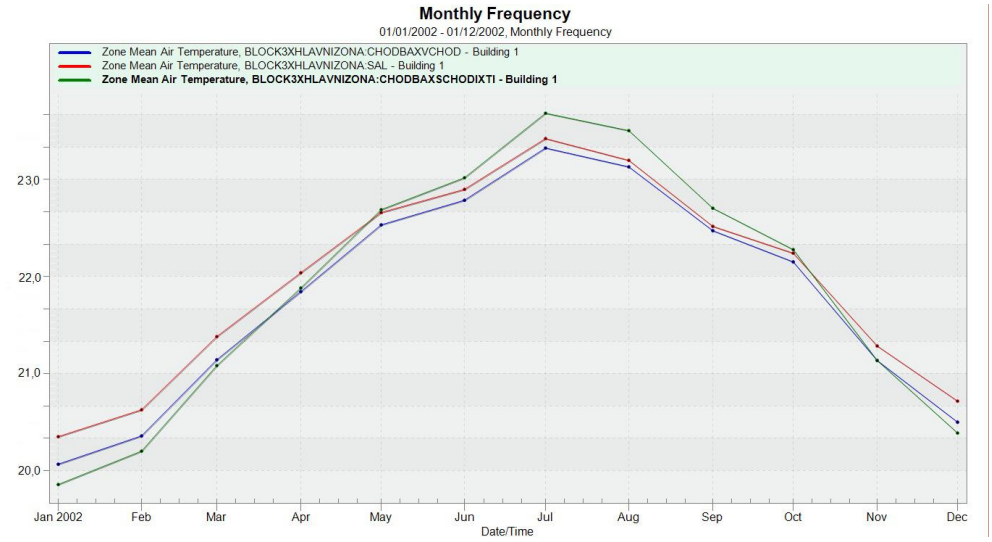
Obrázek 3.20 Práce deskového výměníku a jeho zisky energií během roku

Násobnost výměny vzduchu během pro tělocvičny je doporučena od $4h^{-1}$ do 8^{-1}. Tomuto nastavení také odpovídá time shedule pro večerní hodiny v komunitním centru. Pro běžný provoz a mírně zvýšenou aktivitu osob uvnitř odpovídá průměrná výměna vzdcuhu v místností během roku. Rozdíl zde dělá nastavení pro plnou obsazenost.

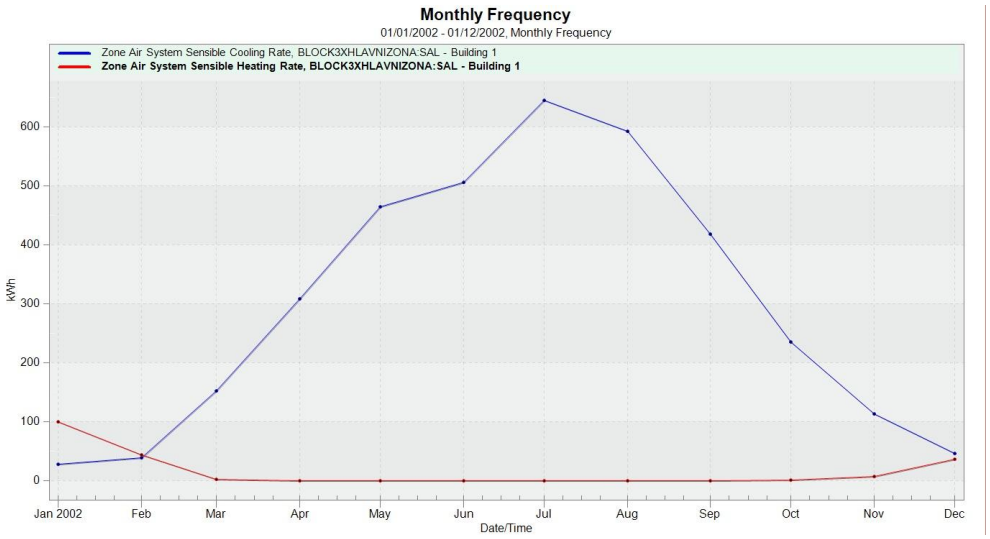


Obrázek 3.21 Průměrná výměna vzduchu v místností během celého roku

Dalším indikátorem správné výměny vzduchu je graf znázorňující průběh teplot během roku v místnosti. Jen pro připomenutí objekt je vytápěn primárně podlahovým topením a chlazen převážně pasivními prvky, jako je noční větrání. Případně disponuje možností chladit podlahovým topením či vzduchem. Díky roletám však potřeba energie na chlazení klesá na minimum.

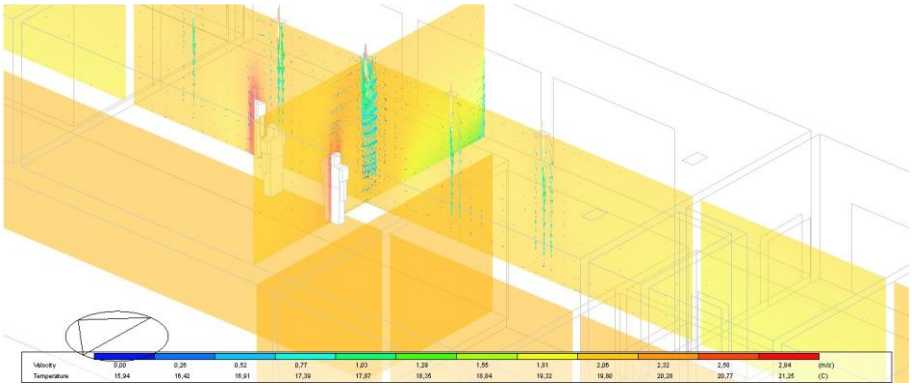


Obrázek 3.22 Průběh teplot ve vybraných místnostech komunitního centra

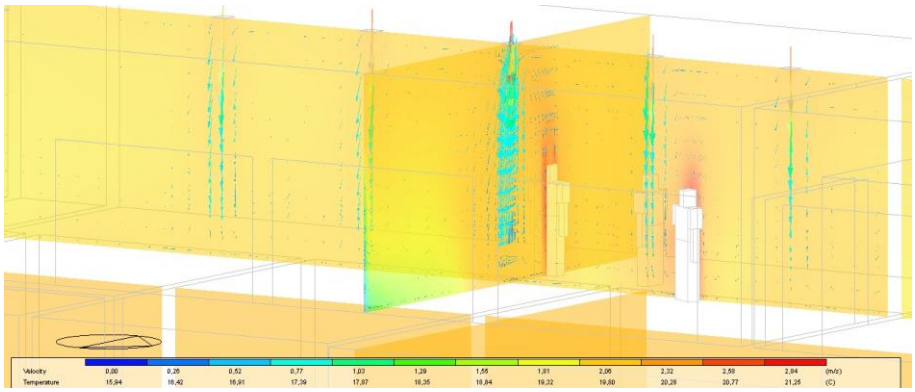


Obrázek 3.23 Chlazení vzduchem pokrývající špičky tepelných zisků.

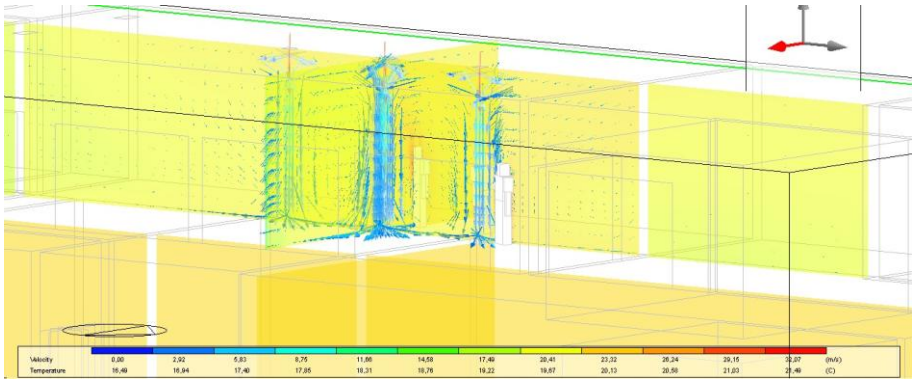
Program DB zvládá CFD simulace. Ukázka je zaměřena na sál objektu, který je dominatním prostorem v celé budově. Jsou zde umístěny vyústky přívodní (5ks) a dvě odvodní. Na obrázku je znázorněn průtok vzduchu 50l/s



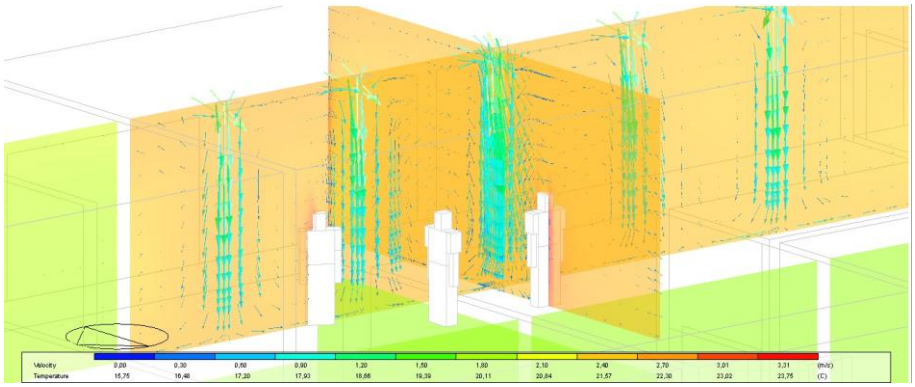
Obrázek 3.24 CFD simulace proudění vzduch, přívod vzduchu o teplotě 20°C



Obrázek 3.25 CFD simulace proudění vzduchu, , přívod vzduchu o teplotě 20°C



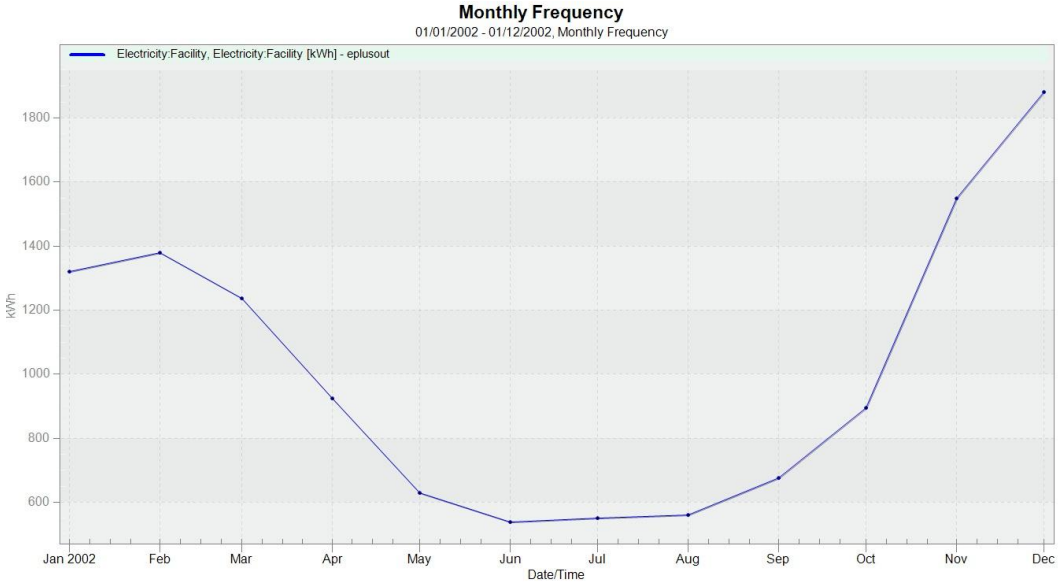
Obrázek 3.26 CFD simulace proudění vzduchu s přívodem vzduchu o teplotě 18°C



Obrázek 3.27 3.28 CFD simulace proudění vzduchu s přívodem vzduchu o teplotě 18°C

Spotřeba elektricé energie

Návrh veškerých systému byl koncipován s ohledem na dosažení co nejmenších spotřeb elektrické energie Jednotlivé systémy byly zadávány s velkou účinností, dle technických parametrů výrobce.



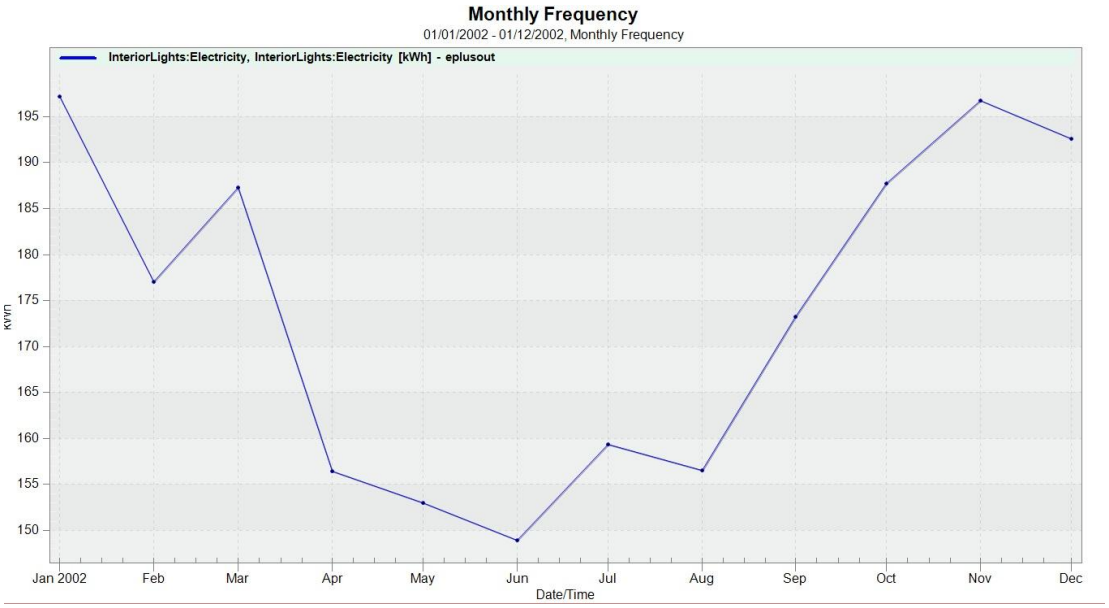
Obrázek 3.29 Spotřeba el. Energie technickým zařízením během roku

Osvětlení

Samozřejmostí budovy typu nZEB jsou led osvětlení s automatickým provozem. LED je zkratka anglického výrazu „light-emitting diode“ – do češtiny volně přeloženo: „dioda emitující světlo“. Jedná se o elektronickou polovodičovou součástku s P-N přechodem, která dokáže vyzařovat světlo (infračervené, viditelné i ultrafialové). Spektrum záření diody je dáno chemickým složením konkrétního polovodiče. Tento postup výroby světla je mimořádně efektivní. LED osvětlení navíc můžeme bez problému opakovaně vypínat a zapínat, aniž by došlo k poškození součástek systému. A plné rozsvícení „ledek“ proběhne velmi rychle - na rozdíl od výbojek. V prostorech jako WC jsou umístěny 7W LED osvětlení v hlavním sále a na chodbách pak 13W. Jejich roční spotřeba v centru Skála je znázorněna v následujícím grafu. V komunitním cnetru byla zvolena hodnota osvětlení 150 lux.

pracoviště	intenzita osvětlení [lux]
skladiště, byty, restaurace, divadla	120
učebny, pokladny, jednoduchá montáž	250
kanceláře, čítárny, výpočetní střediska, výzkum	500
výstavy, obchodní domy, jemná montáž	750
montáž elektroniky, retuš	1000
jemná montáž, elektronika	1500
hodinářství, subminiaturní elektronika	2000

Obrázek 3.30 Intenzity osvětlení



Obrázek 3.31 Spotřeba el. Energie na osvětlení během roku

Výsledné spotřeby energií za rok

Následující tabulky prezentují jednotlivé výsledné spotřeby energie pro centrum Skála. Hlavní energonositelem je elektrická energie díky instalaci tepelného čerpadla (tepelné čerpadlo 90% a alektrodohřev 10%). Bohužel zde není započtena hodnota energie z fotovoltaických panelů, ta při počtu 30 instalovaných kusů o rozměrech 980 mm x 450 mm dosahuje ročního výkonu 3 416 kWh.

Tabulka 3.4 Spotřeba energií za rok

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	12087.95	32.49
Net Site Energy	12087.95	32.49
Total Source Energy	38282.53	102.89
Net Source Energy	38282.53	102.89

Tabulka 3.5 Spotřeby jednotlivých zařízení za rok

	Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Additional Fuel Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]
Lighting	5.61	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	26.88	0.00	0.00	0.00	0.00
Other	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	32.49	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabulka 3.6 Spotřeby jednotlivých zařízení za rok

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]
Heating	5660.47	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	140.93	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	2086.26	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	3598.06	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	602.23	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	12087.95	0.00	0.00	0.00	0.00

V případě řešení komunitního centra a využití varianty s tepelným čerpadlem, jako hlavním zdrojem tepla, využíváme značné množství obnovitelných zdrojů energie. Avšak spotřeba elektrické energie je značná. Proto bych zvážil v budoucnu využití CZT jako hlavního zdroje energie, kdy OZE už nedosahuje takové úrovně jako u tepelného čerpadla, ale v celkové energetické bilanci může vyjít jako vítěz. Bohužel ze strany tepláren Brno mi nebylo poskytnuto dostatek informací pro uvedení tohoto systéme.

Závěrem bych chtěl říci, že obálka budovy výrazně určuje podobu energetického hodnocení a vliv ostatních energetických systému jako tepelné čerpadlo, avšak Britský software DesignBuilder tuhle stránku nijak nezohledňuje.

4 ZÁVĚR

Téma domů s téměř nulovou spotřebou energie jsem zpracovával již ve své bakalářské práci, kde jsem se k této problematice vyjadřoval značně negativně. Musím se však přiznat, že zkušenosti z Norska a pohled s jakým se daná problematika řeší na severu mi pomohla můj názor změnit. V současnosti skutečně vidím v trendu snižování energetických potřeb smysl. Celá koncepce však musí být brána s rozumem a smyslem není za každou cenu využít kombinace všech možných systémů, ale používat jednoduchá řešení a systémy s co možná největší účinností. Vše začíná samotnou stavbou, kde doufám v budoucnu ve větší využití dřevěných konstrukcí a dřevostaveb celkově. Bohužel současná legislativa a monopol firem s keramickými výrobky, to neumožňuje. Potenciál však v našich podmínkách je obrovský. Co se týká samotných systémů TZB pro nZEB, tak jsou pro náš trh a rodinné bydlení stále brány jako určitý nadstandart. V sousedních zemích jako je Rakousko a Německo, kde s výstavbou pasivních a nulových domů mají větší zkušenost, je situace odlišná. Stavby toho typu jsou zde brány jako samozřejmost. To odpovídá i dostupnosti TZB systémů na trhu a jejich cena. Podobný vývoj s klesající cenou se dá předpokládat v budoucnu i v ČR.

Brněnská část Nový Lískovec je v tomto ohledu velmi aktivní a angažuje se v projektech jako je Smart Regions. Komunitní centrum skála by se mohlo stát vzorovým projektem pro městské časti a obce ve smyslu rekonstrukcí a využití obecních budov. Jsem přesvědčen, že podobných projektů bude v blízké době jen přibývat.

5 POUŽITÉ ZDROJE

[1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU z 19. května 2010 o energetické náročnosti budov (přepracování). Úřední věstník Evropské unie 53, Brusel, 18. 6. 2010.

[2] TZBINFO. *Pohled na budovy s téměř nulovou spotřebou energie v kontextu současných legislativních požadavků v ČR* [online]. Poslední revize 2. 1. 2017 [cit. 2017-01-05].
URL: < http://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15179-pohled-na-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie-v-kontextu-soucasnych-legislativnich-pozadavku-v-cr >

[3] Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

[4] Zákon č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

[6] MORÁVEK,P.:*Mikroklima pasivních domů*, Sborník z konference Pasivní domy 2006, Centrum Pasivního Domu, Brno 2006

[7] TZBINFO. *Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka* [online]. Poslední revize 7. 8. 2016 [cit. 2017-01-05].
URL: <http://www.tzb-info.cz/2650-vnitrni-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka >

[8] JOKL, Miloslav. *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0928

[9] JOKL, Miloslav. Teorie vnitřního prostředí budov. 2. přeprac. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1991.

[10] TZBINFO. *Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb* [online]. Poslední revize 25. 2. 2013 [cit. 2017-01-05].
URL: < http://vetrani.tzb-info.cz/vnitrni-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitrni-prostredi-staveb>

[11] NULOVÉDOMY. *Co stanovují zákony* [online]. Poslední revize 5. 8. 2014 [cit. 2017-01-05].
URL: < http://www.nulovedomy.org/co-stanovuji-zakony >

[12] KURNITSKI, J.: *Technical Definition for Nearly Zero Energy Buildings*. REHVA Journal, 2013.

[13] TZBINFO. *Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb* [online]. Poslední revize 25. 2. 2013 [cit. 2017-01-05].
URL: < http://vetrani.tzb-info.cz/vnitrni-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitrni-prostredi-staveb>

[14]] TZBINFO. *Požadavky na větrání a chlazení obytných budov dle ČSNE EN 15666/Z1*[online]. Poslední revize 30. 1. 2012 [cit. 2017-01-05].
URL: < http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>

[15] TZBINFO. *Cílem provozování budov s téměř nulovou spotřebou energie je jednoduchost a srozumitelnost* [online]. Poslední revize 29. 4. 2013 [cit. 2017-01-05].
URL: < http://www.tzb-info.cz/provoz-technologii/9837-cilem-provozovani-budov-s-temer-nulovou-spotrebou-energii-je-jednoduchost-a-srozumitelnost>

[16] Drkal F., Lain M., Schwarzer J. Zmrhal V., Vzduchotechnika ČVUT

[17] Heiselberg, Per. Principles of Hybrid Ventilation. Aalborg Technical University, Aalborg, Denmark, April 2002

[18] Wouters, P. Classification of hybrid ventilation concepts. Belgian Building Research Institute.

[20] TZBINFO. *Systémy větrání obytných budov* [online]. Poslední revize 17. 10. 2013 [cit. 2017-01-05].
URL: < http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/7937-systemy-vetrani-obytnych-budov>

[21] Howell R, Saver HJ, Coad WJ. Principles of heating ventilating and air conditioning. 1998.

[22] TZBINFO. *Větrání a klimatizace budov s téměř nulovou potřebou energie* [online]. Poslední revize 10. 12. 2012 [cit. 2017-01-05].
URL: < http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/9374-vetrani-a-klimatizace-budov-s-temer-nulovou-spotrebou-energie >

[23] ZMRHAL, V. Sálavé chladicí systémy. Monografie. Nakladatelství ČVUT. 2009.

[24] PETRÁK, J. Přehled a třídění zdrojů chladu pro klimatizaci. Výzkumná zpráva projektu MPO Spotřeba energie budov na chlazení v ČR. 2011.

[25] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.

[26] LAIN, M. *Nízkoenergetické chlazení budo*v. Disertační práce. ČVUT v Praze. 2007.

[27]] MONICAR. *Final report of Monicar* [online]. Poslední revize 29. 4. 2013 [cit. 2017-01-05].
URL: < http://www.monicair.nl/en/index.html>

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

Zkratky

IAQ – Indoor air quality
ZEB – Zero energy buildings
DB – Design Builder

Fyzikální veličiny

a – zrychlení [m/s^2]
c – koncentrace [ppm]
h – výška [m]
n – násobnost výměny vzduchu [h^{-1}]
S – plocha [m^2]
t – čas [s], teplota [°C]
v – rychlost [m/s]
V – objemový průtok [m^3/h]

7 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázky

Obrázek 1.1 Jednotlivé složky vnitřního prostředí a jejich vliv na IAQ 15
Obrázek 1.2Ukázka baterie, roztoče a plísně 17
Obrázek 1.3Výsledné hodnoty z výzkumu IAQ v porovnání s přepisy ASHRAE 55 19
Obrázek 1.4Ukázka hybridního větrání budovy..... 21
Obrázek 1.5 úpravy vzduchu při ZZT s přenosem vlhkosti vlevo a bez přenosu vlhkosti vpravo..... 23
Obrázek 1.6 Vizualizace Zero vilage Bergen Snøhetta..... 27
Obrázek 2.1 Living Laborotory, NTNU Trondheim..... 29
Obrázek 2.2 Jednotlivé toky energií a návaznosti systému HVAC v Living Laboratory..... 30
Obrázek 2.3 Jednotlivé částice působící na lidský organismus dle WHO 31
Obrázek 2.4 Půdorys a řez Living Lab..... 32
Obrázek 2.5 Natasa's hause, Trondheim..... 36
Obrázek 2.6 Natasa's hause půdorys a situace, trondheim 36
Obrázek 2.7 Schéma rotačního výměníku..... 41
Obrázek 2.8 Schéma zapojení Particle meaters..... 41
Obrázek 3.1 Situace s objektem komunitního centra Skála 49
Obrázek 3.2 ukázka navrhnuté skladby zelené pochůzí střechy 52
Obrázek 3.3 Ukázka navrhnuté skladby podlahy..... 52
Obrázek 3.4 Vizualizace Komunitního centra skála v programu DesignBuilder..... 53
Obrázek 3.5 Předběžné půdorysy komunitního centra Skála..... 53
Obrázek 3.6 Model oslunění budovy vytvořen softwarem DB..... 54
Obrázek 3.7 Simulace oslunění během 21.6. pro různé časy_levý horní (9hoh)_pravý horní(12hod)_levý dolní(15hod)_pravý d.(18h) 54
Obrázek 3.8 Oslunění budovy během 21.12._9hod_12hod_15hod..... 55
Obrázek 3.9 Weather data pro oblast Brno 56
Obrázek 3.10 Occupancy schedule procentrum Skála 56
Obrázek 3.11 Tepelné chování budovy v zimním návrhovém dnu..... 57
Obrázek 3.12 Tepelný zisk budovy během letního návrhového dne..... 57
Obrázek 3.13 tepelný zisk místnosti po nastavení systému předokeních rolet..... 58
Obrázek 3.14 Schéma zapojení jednotlivých systémů TZB v programu DesignBuilder 59
Obrázek 3.15Průběh spotřeby energie pro tepelné čerpadlo_TOPENÍ/CHLAZENÍ 60
Obrázek 3.16 Průběh vytápění podlahovým vytápěním během roku v hodinách 60
Obrázek 3.17 Schéma zapojení solárního kolektoru do systému TZB..... 61
Obrázek 3.18 Setpoint manager 61
Obrázek 3.20 Práce deskového výměníku a jeho zisky energií během roku..... 62
Obrázek 3.19 Koncentrace CO2 v budově..... 62
Obrázek 3.21 Průměrná výměna vzduchu v místností během celého roku..... 63
Obrázek 3.22 Průběh teplot ve vybraných místnostech komunitního centra 63
Obrázek 3.23 Chlazení vzduchem pokrývající špičky tepelných zisků. 64
Obrázek 3.24 CFD simulace proudění vzduch, přívod vzduchu o teplotě 20°C 64
Obrázek 3.25 CFD simulace proudění vzduchu, , přívod vzduchu o teplotě 20°C 64
Obrázek 3.26 CFD simulace proudění vzduchu s přívodem vzduchu o teplotě 18°C..... 65
Obrázek 3.27 3.28 CFD simulace proudění vzduchu s přívodem vzduchu o teplotě 18°C..... 65
Obrázek 3.29 Spotřeba el. Energie technickým zařízením během roku..... 65
Obrázek 3.30 Intenzity osvětlení..... 66
Obrázek 3.31 Spotřeba el. Energie na osvětlení během roku..... 66

Tabulky

Tabulka 1.1 Klasifikační třídy hodnocené budovy 14
Tabulka 1.2 Energonositele, faktory primární energie a faktory neobnovitelné primární energie 14
Tabulka 1.3 Platné předpisy pro jednotlivé typy prostředí 18
Tabulka 1.4 Požadavky na větrání obytných budov podle národní přílohy Z1 k ČSN EN 15665 21
Tabulka 1.5 Požadavky na větrání dle zahraničních předpisů 22
Tabulka 1.6 Porovnávající jednotlivé výměníky ZZT při teplotě -15 °C 24
Tabulka 1.7 Seznam zkoumaných typů systémů dle Monicar 26
Tabulka 3.1 Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla 51
Tabulka 3.2 Požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla 52
Tabulka 3.3 Extrakční kapacita zeminy pro tepelné č. 59
Tabulka 3.5 Spotřeby jednotlivých zařízení za rok 67
Tabulka 3.4 Spotřeba energií za rok 67
Tabulka 3.6 Spotřeby jednotlivých zařízení za rok 67

Grafy

Graf 1.1Rozdílné provozní stavy dle MOnicar 26
Graf 2.1 Zachycené částice s velikostí 0,3μm 32
Graf 2.2 Zachycené částice s velikostí 0,5μm 33
Graf 2.3 Zachycené částice s velikostí 1μm 33
Graf 2.4 Zachycené částice s velikostí 3μm 33
Graf 2.5 Zachycené částice s velikostí 5μm 34
Graf 2.6 Zachycené částice s velikostí 10 μm 34
Graf 2.7 Koncentrace CO2 v budově 34
Graf 2.8 Zachycené částice s velikostí 0,3μm 37
Graf 2.9 Zachycené částice s velikostí 0,5μm 37
Graf 2.10 Zachycené částice s velikostí 1μm 38
Graf 2.11 Zachycené částice s velikostí 3μm 38
Graf 2.12 Zachycené částice s velikostí 5μm 38
Graf 2.13 Zachycené částice s velikostí 10μm 38
Graf 2.14 Koncentrace CO2 39
Graf 2.15Průběh teplot v budově 39
Graf 2.16 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 0,3μm pro Speed2 42
Graf 2.17 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 0,3μm pro Speed3 42
Graf 2.18 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 0,5μm pro Speed2 43
Graf 2.19 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 0,5μm pro Speed3 43
Graf 2.20 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 1μm pro Speed2 44
Graf 2.21 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 1μm pro Speed3 44
Graf 2.23 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 3μm pro Speed2 45
Graf 2.24 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 3μm pro Speed3 45
Graf 2.25 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 5μm pro Speed2 46
Graf 2.26 Množství zachycených částic před a za rotačním výměnkem 5μm pro Speed3 46