

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**NAVLHČENÍ VZDUCHU V OBYTNÉM
PROSTŘEDÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Štorek** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **508785**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Navlhčení vzduchu v obytném prostředí

Název bakalářské práce anglicky:

Air Humidification in Residential Environment

Pokyny pro vypracování:

Zabývejte se navlhčením vzduchu a produkcí vodní páry v obytném prostředí. Na základě měření teplot a relativních vlhkostí vyhodnoťte navlhčení vzduchu v konkrétním rodinném domě vybaveném nuceným větráním se zpětným získáváním tepla. Vytvořte model navlhčení vzduchu v RD a zabývejte se vlivem zpětného získávání vlhkosti.

Seznam doporučené literatury:

Zmrhal, V., Štávovalá, P. Bilance vlhkosti v obytném prostředí. In: Vytápění, větrání, instalace. 3/2011.
Zmrhal, V., Štávovalá, P. Nové požadavky na větrání obytných budov podle národní přílohy k ČSN EN 15665. Vytápění, větrání, instalace. 4/2011.
Zmrhal, V. Navlhčení vzduchu v obytném prostředí. Vytápění, větrání, instalace. 1/2022.
Zmrhal, V. Větrání obytných budov. Grada publishing, 2014

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

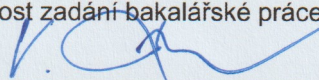
doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D. ústav techniky prostředí FS

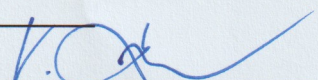
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

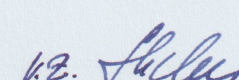
Datum zadání bakalářské práce: **08.04.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **06.06.2024**

Platnost zadání bakalářské práce:


doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

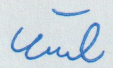

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

8.4.2024
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

SOUHRN

Bakalářská práce pojednává o problematice vlhkostní bilance ve vnitřních prostorech obytných budov. V teoretické části je popsána kvalita vnitřního vzduchu včetně způsobů, jakými je v dnešní době vyměňován vzduch za čerstvý a zbavován nežádoucího obsahu. Praktická část prostřednictvím naměřených dat shrnuje poznatky získané v konkrétním rodinném domě, přičemž závěrem jsou data zanalyzována a předložena doporučení s cílem zajistit optimální vlhkostní podmínky ve vnitřním prostoru.

SUMMARY

The bachelor thesis deals with the issue of humidity balance in the indoor spaces of residential buildings. The theoretical part discusses the quality of indoor air including the methods by which indoor air is currently circulated and freed of unwanted content. The practical part summarizes the findings obtained in a specific family house based on measured data. The data are then analysed, and recommendations are presented with the aim of ensuring optimal humidity conditions in the indoor space.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Navlhčení vzduchu v obytném prostředí“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Vladimíra Zmrhala, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 3. 6. 2024

Ondřej Štorek

OBSAH

Souhrn.....	2
Summary.....	2
Obsah.....	4
Seznam použitého značení.....	7
1. Požadavky na větrání.....	11
1.1. Požadavky národní přílohy ČSN EN 15665/Z1.....	11
1.2. Doporučené systémy větrání dle ČSN EN 15665/Z1.....	12
1.3. Požadavky na koncepci větrání dle ČSN EN 15665/Z1.....	12
1.4. Srovnání požadavků na větrání napříč Evropou.....	13
1.4.1. Belgie.....	13
1.4.2. Finsko.....	13
1.4.3. Francie.....	14
1.4.4. Německo.....	14
1.4.5. Itálie.....	14
1.4.6. Holandsko.....	14
1.4.7. Portugalsko.....	15
1.4.8. Švédsko.....	15
1.4.9. Švýcarsko.....	15
2. Znečišťující látky.....	16
2.1. Oxid uhličitý.....	16
2.2. Oxid uhelnatý.....	18
2.3. Oxidy síry.....	18
2.4. Formaldehyd.....	18
2.5. Prachové částice.....	19
2.6. Odéry.....	20
2.7. Radon.....	21
2.8. Azbest.....	21
2.9. Vodní pára.....	21
2.9.1. Vlhký vzduch.....	22
3. Zdroje vlhkosti.....	28
3.1. Lidé.....	28
3.2. Lidská činnost.....	29
3.2.1. Sprchování.....	29
3.2.2. Vaření.....	30
3.2.3. Mytí nádobí.....	32
3.2.4. Praní prádla a sušení.....	32

3.2.5.	Květiny.....	34
3.3.	Difuze vodní páry skrze stavební konstrukci.....	36
4.	Úprava vlhkosti ve vnitřním prostoru.....	40
4.1.	Decentrální zvlhčování.....	40
4.1.1.	Odvlhčovače vzduchu.....	40
4.1.2.	Hygroskopické látky.....	42
4.2.	Aktivní zvlhčování.....	43
4.3.	Zpětné získávání vlhkosti.....	43
4.3.1.	Rotační regenerační výměník tepla.....	44
4.3.2.	Protiproudé deskové výměníky.....	45
4.4.	Změna objemového průtoku vzduchu výměníkem.....	47
5.	Experimentální měření navlhčení v rodinném domě.....	48
5.1.	Popis budovy.....	48
5.2.	Vnitřní uspořádání budovy.....	50
5.3.	Návyky obyvatelů domu.....	51
5.4.	Vytápění.....	52
5.5.	Větrání.....	52
5.6.	Popis měření.....	56
5.7.	Měřicí přístroje.....	56
5.7.1.	Wöhler CDL 210.....	56
5.7.2.	Omega OM-92.....	60
5.7.3.	Lindab FTMU-125-GALV.....	64
5.8.	Metodika a cíl měření.....	65
5.9.	Vlhkostní zisky v domě.....	66
5.10.	Měřené období.....	67
5.11.	Výsledky měření.....	67
5.11.1.	Klimatické údaje.....	67
5.11.2.	Teplotní a vlhkostní faktor výměníku.....	70
5.11.3.	Bilance vlhkosti v domě.....	73
5.11.4.	Analýza běžného všedního dne – pátek 12. 1. 2024.....	80
5.11.5.	Analýza běžného víkendového dne – sobota 27. 1. 2024.....	83
5.11.6.	Analýza dne při nulovém obsazení – sobota 20. 1. 2024.....	85
5.11.7.	Analýza příjezdu osob do prázdného domu – neděle 21. 1. 2024.....	88
5.11.8.	Analýza dne s nejvyšším počtem Osobo_hodin.....	90
5.11.9.	Analýza dne se zvyšující se měrnou vlhkostí venkovního vzduchu – středa 14. 2. 2024.....	92
5.11.10.	Pobyt jednoho obyvatele v domě – sobota 17. 2. 2024.....	94

5.11.11.	Vyšší relativní vlhkost v ložnici 1.18	96
6.	Závěr	97
7.	Seznam použitých zdrojů	100
8.	Seznam obrázků	105
9.	Seznam tabulek	108
10.	Seznam příloh	110

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

p	tlak	[Pa]
v	měrný objem	[m ³ /kg]
r	měrná plynová konstanta	[J/kg.K]
T	termodynamická teplota	[K]
T_p	termodynamická teplota vlhkého vzduchu	[K]
T_{sv}	termodynamická teplota suchého vzduchu	[K]
T_{vp}	termodynamická teplota vodní páry	[K]
p_p	tlak vlhkého vzduchu	[Pa]
p_i	parciální tlak i-té složky směsi	[Pa]
V_p	objem vlhkého vzduchu	[m ³]
V_{sv}	objem suchého vzduchu	[m ³]
V_{vp}	objem vodní páry	[m ³]
m_p	hmotnost vlhkého vzduchu	[kg]
m_{sv}	hmotnost suchého vzduchu	[kg]
m_{vp}	hmotnost vlhkého vzduchu	[kg]
p_p^*	parciální tlak sytých vodních par	[Pa]

t	teplota	[°C]
ρ_p	hustota vlhkého vzduchu	[kg/m ³]
ρ_{sv}	hustota suchého vzduchu	[kg/m ³]
ρ_{vp}	hustota vodní páry	[kg/m ³]
p_A	atmosférický tlak	[Pa]
φ	relativní vlhkost	[-]
x	měrná vlhkost	[kg/kg s. v.]
δ	součinitel difúzní vodivosti	[g/mPa]
μ	faktor difúzního odporu [-]	[-]
δ_o	součinitel difúzní vodivosti vzduchu	[g/mPa]
$R_{d\delta}$	difúzní odpor vícevrstvé stěny	[m ² h/gPa]
d_i	tloušťka i-té vrstvy stěny	[m]
δ_i	součinitel difúzní vodivosti i-té vrstvy stěny	[g/mPa]
G	celkový difúzní tok	[g/m ² .h]
p_{Di}	parciální tlak vodní páry vnitřního vzduchu	[Pa]
p_{De}	parciální tlak vodní páry venkovního vzduchu	[Pa]

w	adsorpční kapacita vlhkosti	[%]
m_1	hmotnost látky před nasátím vlhkosti	[kg]
m_2	hmotnost látky po nasátí vlhkosti	[kg]
O	objem budovy	[m ³]
A	celková plocha obálky	[m ²]
A/V	objemový faktor tvaru budovy	[m ² /m ³]
A_c	celková energeticky vztažná plocha	[m ²]
\dot{V}_p	objemový průtok přiváděného vzduchu	[m ³ /h]
\dot{V}_o	objemový průtok odváděného vzduchu	[m ³ /h]
η	účinnost zpětného získávání tepla	[-]
t_p	teplota přivodního vzduchu za výměníkem	[°C]
t_o	teplota odváděného vzduchu před výměníkem	[°C]
t_s	teplota přivodního vzduchu před výměníkem	[°C]
\dot{M}_p	hmotnostní tok vodní páry přiváděného vzduchu	[kg/h]
\dot{M}_o	hmotnostní tok vodní páry odváděného vzduchu	[kg/h]
η_v	účinnost zpětného získávání vlhkosti	[-]
x_p	měrná vlhkost přiváděného vzduchu za výměníkem	[kg/kg s. v.]

x_o	měrná vlhkost odváděného vzduchu před výměníkem	[kg/kg s. v.]
x_s	měrná vlhkost přiváděného vzduchu před výměníkem	[kg/kg s. v.]
\dot{M}_{PROD}	hmotnostní tok vodní páry produkovaný uvnitř budovy	[kg/h]
\dot{M}_{PV}	hmotnostní tok vodní páry odváděný přirozeným větráním	[kg/h]
\dot{M}_{DIF}	hmotnostní tok vodní páry odváděný difuzí	[kg/h]
\dot{M}_A	hmotnostní tok vodní páry akumulovaný materiály	[kg/h]
\dot{M}_{NV}	hmotnostní tok vodní páry odváděný nuceným větráním	[kg/min]
M	navlhčení vnitřního prostoru	[kg/den]
p_p	hustota přiváděného vzduchu	[kg/m ³]

1. POŽADAVKY NA VĚTRÁNÍ

S rostoucím tlakem na tepelně izolační vlastnosti stavebních konstrukcí spolu s instalací moderních oken s nízkým součinitelem průvzdušnosti již nelze větrat jako v minulosti pouze infiltrací. Na základě potřeby návrhu větracích prvků bylo nutné stanovit odpovídající normu, která zajistí dodržování těchto hygienických předpisů u nových i rekonstruovaných staveb. Do roku 2009 byla situace na poli norem o větrání značně zmatená, zdrojem informací byly hodnoty z vyhlášky č. 268/2009 Sb., která však stanovovala požadavky na větrání k výplním otvorů. Výplně otvorů však nebyly schopny splňovat zpřísnující se požadavky na akustiku a zároveň na kvalitu prostředí spojenou s průvzdušností. Pro návrh větracího zařízení byla užívána norma ČSN EN 15251 a zároveň pro větrání obytného prostředí Směrnice STP-OS 04/č.1/2005. [1]

V roce 2009 vyšla v platnost norma definující požadavky na větrání obytných budov ČSN EN 15 665, která je spolu s její přílohou v podobě změny Z1 z února 2011 platná dodnes. [1]

1.1. Požadavky národní přílohy ČSN EN 15665/Z1

Norma stanovuje požadavky na větrání obytných budov, které jsou odvětrávány nuceným větráním, přirozeným větráním či hybridními systémy. [1]

Základní požadavky na přívod vzduchu jsou definovány tzv. intenzitou větrání, která vyjadřuje poměr objemového průtoku přiváděného vzduchu k vnitřnímu objemu větraného interiéru. Požadované hodnoty znázorňuje Tabulka 1:

Tabulka 1 Požadavky národní přílohy ČSN EN 15665/Z1

Požadavek	Trvalé větrání		Nárazové větrání		
	Intenzita větrání [h ⁻¹]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [m ³ /h·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

Doporučenou intenzitu trvalého větrání lze možno stanovit dle normy ČSN EN 15251, která udává intenzitu větrání $0,5 - 0,7 \text{ h}^{-1}$, naopak pro obytné prostory v době, kdy je neobývají lidé, lze přistoupit k intenzitě větrání $0,1 \text{ h}^{-1}$. [1]

Při návrhu přívodu venkovního vzduchu se lze řídit nejenom intenzitou větrání, ale i doporučenou dávkou venkovního vzduchu na osobu, jejíž hodnoty uvádí rovněž Tabulka 1. Pokud se v regulaci větrací jednotky využívá měření kvality vzduchu za pomoci čidla koncentrace CO_2 , lze rovněž dle normy přistoupit k řízenému větrání dle doporučených hodnot koncentrace CO_2 . [1]

Pro zajištění oběhu vzduchu je potřeba vzduch z obytných prostor rovněž odvádět. Odváděním vzduchu se prostory zbavují nadbytečné vlhkosti, pachů či škodlivin, které vznikají v domácnosti především v kuchyni, koupelnách a WC. Norma stanovuje hodnoty průtoků nárazového větrání hygienického zázemí a kuchyně. Tyto hodnoty nejsou závislé na počtu osob v domácnosti. [1]

1.2. Doporučené systémy větrání dle ČSN EN 15665/Z1

Větrání infiltrací s novými těsnými okny již nepostačuje, je potřeba instalovat větrací prvky, které zajistí trvalou možnost výměny vzduchu mezi exteriérem a interiérem. Mezi větrací prvky se můžou zařadit větrací štěrby ve výplních stavebních otvorů, přívodní otvory v obvodových stěnách či větrání za pomoci větrací jednotky. Alternativou je kombinace jak nuceného, tak přirozeného větrání otvory při tzv. hybridním větrání. Hybridní větrání využívá pro snížení spotřeby energie pouze přirozené větrání, nicméně při zvýšené koncentraci měřené škodliviny (většinou CO_2) či nízké hodnotě měřeného průtoku se zapíná i nucený odvod vzduchu. [1]

1.3. Požadavky na koncepci větrání dle ČSN EN 15665/Z1

Dle normy by měl být čerstvý vzduch přiváděn do obytných místností (obývací pokoj, ložnice, dětské pokoje, pokoje pro návštěvy) a odváděn z míst, kde se vzduch ve větší míře koncentruje škodlivinami nebo vlhkostí, jako například kuchyně, koupelny, WC. Ostatní místnosti mohou být větrány prostřednictvím větracích prvků z ostatních místností. Pro větrání mezi místnostmi uvnitř budovy by měly být zajištěny takové

prostupy (spáry pod dveřmi, stěnové otvory), aby rychlost proudění v čistém průřezu nepřesáhla 0,5 m/s. [1]

Kuchyně by měly být větrány prostřednictvím odsávacího zákrytu s filtrem, který nebude cirkulační v případě absence nuceného odvodu vzduchu. Potrubí pro odvod vzduchu jak z kuchyně, tak z koupelny a WC, se může spojit. Pokud je však odvodní vzduch vyveden do společného vzduchovodu, je potřeba ke každé odbočce nainstalovat uzavírací klapku pro zamezení šíření kontaminovaného vzduchu ze společného vzduchovodu do jiných prostor. [1]

Systémy větrání mohou být užity jak podtlakové, tak hybridní či nucené rovnotlaké. Omezením pro užití prvních dvou je situace, při které nelze instalovat přírodní otvory v obvodových stěnách z důvodu venkovní hlučnosti či znečištěného prostředí. Druhým omezením jsou prostory se spotřebiči paliv, například pokojovými kamny, kotlem ústředního topení, průtokovými ohřívači. Tyto prostory nesmí být větrány podtlakově. [1]

1.4. Srovnání požadavků na větrání napříč Evropou

1.4.1. Belgie

Dle belgické normy NBN D 50-001 1991 není stanovena intenzita větrání pro celý objekt. Požadavky na množství přiváděného vzduchu jsou definovány pro obývací pokoj a ložnici, kde jsou jednotlivé hodnoty v závislosti na podlahové ploše. Stejně je definován i odvod vzduchu z kuchyně a koupelny společně s WC. [2]

Přívod vzduchu do obývacího pokoje a ložnice by měl být $3,6 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ v místnosti o podlahové ploše menší než 21 m^2 a větší než 42 m^2 . Místnosti o podlahové ploše v intervalu $21\text{--}42 \text{ m}^2$ by měly být odvětrány $75 \text{ m}^3/\text{h}$, tedy stejným průtokem bez ohledu na velikost pokoje v tomto intervalu. [2]

Odvod vzduchu z kuchyně a koupelny by měl být pro místnosti o podlahové ploše menší než 14 m^2 a větší než 21 m^2 , případně otevřené, $3,6 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$. Místnosti o podlahové ploše $14\text{--}21 \text{ m}^2$ by měly být odvětrávány $50 \text{ m}^3/\text{h}$, tedy stejným průtokem bez ohledu na velikost pokoje v tomto intervalu. [2]

1.4.2. Finsko

Ve Finsku je dle normy NBC – D2 stanovena intenzita větrání menší než $0,4 \text{ h}^{-1}$. Obecně platné pravidlo říká, že budova musí být větrána minimálně $1,26 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$. V obytných

prostorách musí být větráno minimálně $14,4 \text{ m}^3/\text{h}$, případně dle podlahové plochy místnosti $2,52 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$. Odvod vzduchu z kuchyně by měl být $72 \text{ m}^3/\text{h}$, pro koupelnu společně s WC $54 \text{ m}^3/\text{h}$. [2]

1.4.3. Francie

Na základě francouzské normy „*Arreté du 24.3.82*“ se objemový průtok vzduchu pro celou budovu stanovuje na základě počtu obytných místností. Maximální doporučený průtok je $210 \text{ m}^3/\text{h}$ pro 5 a více obytných místností. Norma nestanovuje průtok přírodního vzduchu zvláště pro obývací pokoj či ložnici. Pro odvětrávání kuchyně je stanoven konkrétní interval hodnot při nepřerušovaném větrání (20 až $45 \text{ m}^3/\text{h}$), nicméně pro nárazové větrání je průtok ovlivněn počtem obytných místností. [2]

1.4.4. Německo

Norma DIN 1946 stanovuje intenzitu větrání na základě podlahové plochy s přehlédnutím k maximálnímu počtu obyvatel. Pro budovy s podlahovou plochou menší než 50 m^2 a maximálně dvěma obyvateli se stanovuje $60 \text{ m}^3/\text{h}$, pro interval 50 až 80 m^2 a maximálně 4 obyvatele se stanovuje $120 \text{ m}^3/\text{h}$ při nuceném větrání a $90 \text{ m}^3/\text{h}$ při přirozeném větrání. Pro budovy s podlahovou plochou větší než 120 m^2 a maximálně 6 obyvateli je stanoveno $180 \text{ m}^3/\text{h}$ při nuceném větrání a $120 \text{ m}^3/\text{h}$ při mechanickém větrání. Intenzita větrání pro obývací pokoj je stanovena na 1 až $1,5 \text{ h}^{-1}$, pro ložnici definována není. Pro koupelny s WC se bere doporučená hodnota $60 \text{ m}^3/\text{h}$ a pro samotné WC $30 \text{ m}^3/\text{h}$. [2]

1.4.5. Itálie

Na základě ministerského dekretu 05.07.75 je doporučená intenzita větrání pro celou budovu $0,35$ až $0,5 \text{ h}^{-1}$. Objemový průtok pro obývací pokoj je stanoven na $15 \text{ m}^3/\text{h.os.}$, pro ložnici není definován, nicméně pro kuchyň a koupelnu společně s WC je definován prostřednictvím objemového průtoku 1 h^{-1} , respektive 2 h^{-1} . [2]

1.4.6. Holandsko

Objemový průtok vzduchu pro celou budovu je definován na $300 \text{ m}^3/\text{h}$. Hodnoty přírodního vzduchu jsou definovány pro obývací pokoj a ložnici totožně na $3,24 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$. Pro odvodní vzduch jsou hodnoty určeny bez ohledu na podlahovou plochu, tedy

75,6 m³/h pro kuchyň a 50,4 m³/h pro koupelnu s WC. Pro samotné WC je hodnota 25,2 m³/h. [2]

1.4.7. Portugalsko

Portugalská norma pro větrání NP 1037–1 definuje výměnu vzduchu přes intenzitu větrání jednoduše, obytné prostory 1 h⁻¹, kuchyně a koupelny s WC 4 h⁻¹. [2]

1.4.8. Švédsko

„*Swedish Building Regulations BBR94*“ vyžaduje intenzitu větrání pro celou budovu 1,26 m³/h.m², tedy stejně jako ve Finsku. Pro ložnice je doporučeno 14,4 m³/h.os. Co se kuchyní týče, tak se tu vyskytuje pojem „kuchyňka“, tedy kuchyně se všemi nutnými spotřebiči, ale zmenšenými a umístěnými do menší místnosti. Pro tuto kuchyňku je doporučen vyšší objemový průtok 54 m³/h v porovnání s klasickou kuchyní 36 m³/h. [2]

1.4.9. Švýcarsko

Švýcarská norma SIA 180, 1988 dělí prostory na nekuřácké a kuřácké, kdy u nekuřáckých pokojů je doporučeno 12 až 15 m³/h.os. při nepřekročení koncentrace CO₂ 1500 ppm. U kuřáckých prostor je intenzita větrání výrazně vyšší, 30–70 m³/h.os. [2]

Neobývané prostory by měly být také větrány, a to 0,3 h⁻¹. [2]

2. ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY

Za znečišťující látky se označují takové látky, které svou přítomností mají negativní vliv jak na zdraví člověka, tak na životní prostředí. Tyto látky jsou buď do konkrétního prostředí přivedené (například větráním okny), či v tomto prostředí vznikají (například člověk v místnosti). Zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. definuje v paragrafu § 2 znečišťující látku jako „každou látku, která svou přítomností v ovzduší má nebo může mít škodlivé účinky na lidské zdraví nebo životní prostředí anebo obtěžuje zápachem.“ [3]

S rozvojem průmyslu se ve městech silně znečistil vzduch vlivem lokálních zdrojů znečištění. Při návrhu větrání by mělo být dbáno také na optimální polohu nasávacích otvorů venkovního vzduchu. Je důležité zmínit, že při nasávání čistšího vzduchu se zlepšila kvalita vnitřního prostředí více než při nasávání více znečištěného vzduchu, například rozdíl mezi městem a vesnicí. Požadavky na větrání však toto neberou v úvahu a nestanovují různé množství přiváděného vzduchu pro méně či více znečištěná prostředí. [4]

Vznik znečišťujících látek ve vnitřním prostředí má na svědomí pobyt a činnost lidí, činnost přírody nebo výrobní činnost. Samotný člověk přispívá ke znečištění vnitřního vzduchu produkcí tepla, vodní páry, oxidu uhličitého, pachy a dalšími minoritními škodlivinami. Činností přírody se rozkládají organické a anorganické látky za vzniku pachů, plynů, prachu a vodních par. I v případě neobývané místnosti je potřeba klást důraz na její větrání z důvodu uvolňování škodlivých chemických látek ze stavebních materiálů, podlahy staveb či vybavení bytů (radon, formaldehyd, benzol, styren). [5]

Níže budou rozebrány jednotlivé znečišťující látky spolu s jejich maximálními možnými koncentracemi.

2.1. Oxid uhličitý

Jedná se o chemickou sloučeninu uhlíku a kyslíku, která vzniká při metabolických procesech člověka i zvířat. Čerstvý vzduch obsahuje kolem 400 ppm (parts per milion) v závislosti na prostředí, v městském prostředí zatíženém průmyslem a dopravou je jeho

koncentrace vyšší než v přírodním prostředí. Množství vydechovaného CO₂ je závislé na aktuální činnosti člověka. [6]

Na základě měření vydechovaného vzduchu spolu s náustkem spojeným s pneumografem (spirometrem) bylo zjištěno, že průměrný člověk s tepovou frekvencí 70 tepů/min vydechuje vzduch s obsahem 36 482 ppm. Při zvýšeném tepu na 98 tepů/min to bylo již 46 224 ppm, tedy o 27,4 % více. A při tepu odpovídajícímu vysoké aktivitě (134 tepů/min) tomu bylo již 53 624 ppm, tedy o 47 % v porovnání s klidovou aktivitou.[5]

Jediný dokument, který upravoval hodnotu koncentrace CO₂, je vyhláška 20/2012 Sb., v jejímž § 11 je zmíněna koncentrace CO₂ jakožto ukazatel kvality vnitřního vzduchu, jeho koncentrace dle vyhlášky nesmí překročit 1500 ppm. Tento předpis byl však k 1. 1. 2024 stavebním zákonem č. 283/2021 Sb. zrušen bez náhrady. Například v USA nesmí koncentrace CO₂ překročit hranici 1000 ppm. [6] Spousta odborníků na vnitřní prostředí poukazuje na nutnost hlídat koncentraci oxidu uhličitého a požadavky na větrání stanovovat i vůči němu. Měření CO₂ je objektivní a dává jasnou informaci o kvalitě vnitřního vzduchu, kde se nachází člověk. V roce 2016 provedl Státní zdravotní ústav měření hladiny CO₂ na vybraných školách, přičemž zjistil, že v některých školách byla v učebnách překročena i hranice 6000 ppm, což je více než přípustný expoziční limit. [7]

Tabulka 2 shrnuje intervaly koncentrace oxidu uhličitého a jeho vliv na zdraví člověka.

Tabulka 2 Vliv koncentrace oxidu uhličitého na zdraví člověka

cca 350 ppm	Úroveň venkovního prostředí
do 1000 ppm	Doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
1200 až 1500 ppm	Doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
1000 až 2000 ppm	Nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
2000 až 5000 ppm	Nastávají možné bolesti hlavy
5000 ppm	Maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik

V případě měření koncentrace CO₂ se doporučuje instalace senzoru do výšky hlavy dospělého člověka, jelikož je těžší než vzduch, a tudíž se drží při zemi, kde ho ale lidé nevdechují.

2.2. Oxid uhelnatý

Jedná se o bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, tudíž je pro člověka těžko rozpoznatelný. Jeho hlavním zdrojem jsou spotřebiče využívající spalování, například kamna na tuhá paliva, plynové spotřebiče bez odvodu, krby, plynové sporáky v nevětraných kuchyních atd. V přírodním vzduchu se vyskytuje přibližně 50 až 230 µg/m³. Tabulka 3 níže uvádí odpovídající možné doby koncentrace CO: [4]

Tabulka 3 Vztah mezi časovým intervalem expozice a koncentrací CO

Koncentrace CO [mg/m ³]	Časový interval expozice
100	15 minut
80	30 minut
30	60 minut
10	8 hodin

Na základě těchto dat doporučuje WHO koncentraci oxidu uhelnatého maximálně 10 mg/m³ v rámci osmihodinového průměru. [4]

2.3. Oxidy síry

V domácnostech se téměř nevyskytují spotřebiče, ze kterých by unikaly oxidy síry do obývaných prostor. Ke spalování síry dochází v případě spalování například uhlí, které síru obsahuje, za vzniků právě oxidů síry. Tyto oxidy se mohou do domácností dostat z venkovního prostředí, kdy koncentrace síry bývá vyšší v oblastech zatížených dopravou a průmyslem, zvláště u tepelných elektráren spalujících uhlí. [4]

V případě práce na pracovišti, v jehož blízkosti hrozí zvýšená koncentrace oxidů síry, je nutné dodržet limit PEL 1 mg/m³ pro oxid sírový a 5 mg/m³ pro oxid siřičitý. [8]

2.4. Formaldehyd

Jedná se o jeden z karbonylových derivátů uhlovodíků, který byl Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny klasifikován jako karcinogen skupiny 1, tedy prokázaný karcinogen

pro člověka. Vyskytuje se v minimální míře ve venkovním vzduchu, například ve znečištěném městském vzduchu je jeho koncentrace 10 až 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nicméně uvnitř domu s novým nábytkem nebo nátěrem může dosáhnout až 370 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. [9] WHO uvádí, že by nemělo být dosaženo koncentrace vyšší než 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nejvíce se vyskytuje ve vnitřních prostorech, kde bylo použito dřevotřískových desek nebo močovino-formaldehydové izolace. V dnešní době už je koncentrace formaldehydu v dřevěných deskách omezena na 8 mg formaldehydu na 100 g absolutně suché hmoty. [4]

Příznaky jeho vyšší koncentrace jsou podráždění sliznic horních cest dýchacích a spojivek, dráždění ke kašli či slzení a pálení očí.

2.5. Prachové částice

Jedná se o částice organické i anorganické o rozdílných velikostech. Tabulka 4 rozděluje prach podle velikosti na jeho vliv na organismus. [4]

Tabulka 4 Velikosti prachových částic a jejich vliv na lidský organismus

> 100 μm	Sedimentují rychle
10 až 100 μm	Jsou zachycovány v horních cestách dýchacích
< 10 μm	Pronikají do dolních partií dýchacích cest
< 2,5 μm	Dostávají se do plicních alveolů

Dle odborného značení se prachové částice dělí dle své velikosti na

Přírodními zdroji prachových částic jsou požáry nebo sopečná činnost, nicméně významnými znečišťovateli vzduchu jsou činnosti iniciované člověkem, jako doprava, průmysl, spalování uhlí, ropy, dřeva, případně i odpadu. Prachové částice se vytváří také v cementárnách, vápenkách, při těžbě či spalování fosilních paliv v domácích topeništích. Při zpracování dřeva se uvolňuje tzv. dřevní prach, jehož velikost se odvíjí od tvrdosti dřeva a typu jeho opracování. Limity pro uvolňování prachu jsou definovány dle přípustného expozičního limitu pro konkrétní prachové částice. Na znečištění se podílí i sekundární prašnost, která způsobuje uvolňování částic, které již byly usazeny, nicméně jsou rozvířovány a rozptylovány do ovzduší. [10][11]

S prachem je nutno bojovat i v prostorech obytných budov, do nichž se prach dostává z venkovního prostředí při přirozeném větrání a při užití nuceného větrání občasným

otevíráním komunikačních otvorů. Při užití nuceného větrání proudí čerstvý vzduch přes filtr nebo řadu filtrů, které se snaží zbavit proud vzduchu zdraví škodlivých částic. Dříve se stupeň filtrace filtru stanovoval dle normy EN 779 dle tříd G1 až F9, nicméně v současné době je toto dělení nahrazováno normou ČSN EN ISO 16890, která dělí filtry do tříd dle schopnosti filtrovat různé velikosti částic. Dělení filtrů dle nové normy shrnuje Tabulka 5: [12]

Tabulka 5 Dělení velikosti částic dle normy ČSN EN ISO 16890

ISO Coarse	Hrubé nečistoty
ISO ePM₁₀	Částice menší než 10 μm – dostanou se do horních dýchacích cest
ISO ePM_{2,5}	Částice menší než 2,5 μm – dostanou se do dolních dýchacích cest
ISO ePM₁	Částice menší než 1 μm – mohou se dostat do krevního oběhu

S prašností se dá též bojovat úpravou relativní vlhkosti vnitřního vzduchu. Nezávislé měření prašnosti [13] bylo provedeno v parketárně na Vyškovsku, kde se vyskytuje v nadměrné míře dřevní prach. Bylo provedeno měření na rizikovém pracovišti před a po instalaci vysokotlakého zvlhčovacího systému. Před instalací zvlhčovacího systému byly mikroklimatické podmínky $t = 27,4 \text{ °C}$ a $R_h = 48,9 \%$ a po instalaci $t = 26,8$ a $R_h = 54,6 \%$. Prašnost se po instalaci systému zvlhčování snížila na čtvrtinu oproti původním změřeným hodnotám bez tohoto systému.

2.6. Odéry

Jedná se o pachy, vůně, zápachy, které jsou tvořeny složitými organickými plynnými sloučeninami, které v těle člověka analyzuje a vyhodnocuje náš nos obsahující 400 typů čichových receptorů. Jelikož se jednotlivé sloučeniny vyskytují ve velmi malých koncentracích, je těžké je objektivně monitorovat. Proto se hodnocení jejich vlivu často převádí na koncentraci CO₂, kdy stupeň zápachu je přijatelný, když koncentrace CO₂ nepřekročí hladinu 1500 ppm. [4]

Pro analytické hodnocení zápachu jsou vyvíjeny tzv. elektronické nosy, které obsahují desítky senzorů analyzujících chemické sloučeniny na základě jejich interakce a následné změny v jejich elektrických projevech. Algoritmus pro vyhodnocení dat ze senzorů je

vyvíjen na základě analýzy tzv. trénovacích vzorků, jejichž zápach je porovnán s pocitem, jaký z něho mají lidé. [14]

2.7. Radon

Jedná se o bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, který je těžší než vzduch. Do domu se dostává nejčastěji z podloží, stavebních materiálů, vody či netěsnostmi v oknech či prostupech inženýrských sítí. Pokud hodnota radonu v domě přesáhne 400 Bq/m^3 , je nutné zavést protiradonová opatření. V případě překročení 4000 Bq/m^3 je nutné vyloučit dlouhodobý pobyt osob v prostoru. Prevencí je instalace protiradonové fólie na základovou desku domu, zpětně již nelze doinstalovat. [4]

2.8. Azbest

Jedná se o souborné označení vláknitých silikátů, které jsou nehořlavé, elektricky nevodivé a odolné vůči působení kyselin. V minulosti se používaly při výrobě střešních krytin, podstřešních desek, instalačních rour zabudovaných nebo exteriérových nebo protipožárních nástřiků a nátěrů. První upozornění na jejich zákaz přišla v roce 1984, v České republice je jejich používání zakázáno od roku 1997. I v dnešní době je tedy azbest součástí budov, může se uvolňovat například při výměně tepelné izolace, sádry, dřevovláknitých desek, okenního tmelu, opláštění topných trubek nebo podlahového lepidla či plniv. [15]

2.9. Vodní pára

Vodní pára je považována za škodlivinu, byť její určité množství je ve vzduchu nutné a podmínkám na kvalitu vnitřního vzduchu vyhovující. Důvodem pro její zařazení mezi škodliviny je její nadměrná koncentrace, která způsobuje její kondenzaci a vznik plísní, které jsou příčinou vzniku onemocnění dýchacích cest, alergických reakcí nebo se mohou podílet na vzniku některých nádorových onemocnění. [16] Vysoká vlhkost má vliv i na narušení konstrukce budovy, jelikož v oblasti tepelných mostů nebo chladnějších částí vodní pára kondenzuje a narušuje zdivo. Je doporučováno udržovat relativní vlhkost pod hodnotou 70 % pro zabránění těchto nežádoucích vlivů. Běžné tepelně technické

výpočty se provádějí pro 50% relativní vlhkost vzduchu uvnitř budovy, která je považována za limitní pro výskyt mikroorganismů. [17]

2.9.1. Vlhký vzduch

Vzduch je směs plynů o různých podílech. Jedněmi z nich jsou vodík a kyslík, jejichž společnou sloučeninou je voda. Voda je společně se suchým vzduchem základem atmosférického vzduchu, nazveme tuto směs vlhkým vzduchem. Pokud tato směs obsahuje vodu pouze v plynném skupenství, jedná se o směs homogenní. Obsahuje-li vodu i v jiných skupenstvích, nazveme ji směsí heterogenní. [18]

Základní rovnicí stanovující vztah mezi třemi základními stavovými veličinami je stavová rovnice ideálního plynu.

$$pv = rT \quad (1)$$

kde

p	tlak	[Pa]
v	měrný objem	[m ³ /kg]
R	měrná plynová konstanta	[J/kg.K]
T	termodynamická teplota	[K]

Teplota vlhkého vzduchu T_p [K]

Všechny složky vlhkého vzduchu mají stejnou teplotu jako samotný vlhký vzduch.

$$T_p = T_{sv} = T_{vp} \quad (2)$$

kde

T_{sv}	termodynamická teplota suchého vzduchu	[K]
T_{vp}	termodynamická teplota vodní páry	[K]

Tlak vlhkého vzduchu p_p [Pa]

Z Daltonova zákona vyplývá, že tlak vlhkého vzduchu je roven součtu parciálních tlaků suchého vzduchu a vodní páry. [19]

$$p_p = \sum_{i=1} n_i \frac{R \cdot T}{v} = \sum_{i=1} p_i \quad (3)$$

kde

p_i parciální tlak i -té složky směsi [Pa]

Celkový tlak směsi plynů je dán součtem parciálních tlaků složek plyn obsahující. Tento zákon je platný pro nízké a střední tlaky, u vyšších tlaků již byly zjištěny nepřesnosti. [18]

Objem vlhkého vzduchu V_p [m³]

Z Ostwaldova zákona vyplývá, že objem vlhkého vzduchu je roven objemu svých složek, tedy objemu suchého vzduchu a vodní páry. [18]

$$V_p = V_{sv} = V_{vp} \quad (4)$$

kde

V_{sv} objem suchého vzduchu [m³]

V_{vp} objem vodní páry [m³]

Hmotnost vlhkého vzduchu m_p [kg]

Hmotnost vlhkého vzduchu je součtem hmotností suchého vzduchu a hmotnosti vodní páry.[18]

$$m_p = m_{sv} + m_{vp} \quad (5)$$

kde

m_{sv} hmotnost suchého vzduchu [kg]

m_{vp} hmotnost vodní páry [kg]

Tlak syté vodní páry p_{vp} [Pa]

Je to hodnota tlaku, při které je sytá pára v termodynamické rovnováze s kapalinou o stejném tlaku a teplotě. Tato veličina není závislá na objemu sledovaného plynu.

Je-li:

Porovnání tlaků	Vlhký vzduch	Směs
$p_{vp} < p''_{vp}$	nenasycený	homogenní
$p_{vp} = p''_{vp}$	nasycený	homogenní
$p_{vp} > p''_{vp}$	přesycený	heterogenní

Parciální tlak syté vodní páry p_{vp} je závislý pouze na teplotě vodní páry a pro jeho výpočet lze používat vztahy, které jsou omezeny teplotou vzduchu. [20]

$$\ln(p_p'') = A - \frac{B}{C + t} \quad (6)$$

Pro interval teplot -20 až 0 °C jsou používány konstanty:

$$A = 28,926$$

$$B = 6148$$

$$C = 273,15$$

Pro interval teplot 0 až 80 °C jsou používány konstanty:

$$A = 23,58$$

$$B = 4044,2$$

$$C = 235,6$$

Hustota vlhkého vzduchu ρ_p [kg/m³]

Hustota vlhkého vzduchu je dána vztahem:

$$\rho_p = \rho_{sv} + \rho_{vp} \quad (7)$$

kde

ρ_{sv} hustota suchého vzduchu [kg/m³]

ρ_{vp} hustota vodní páry [kg/m³]

Po rozepsání lze vzorec upravit v závislost výše odvozených veličin. [21]

$$\rho_p = \frac{1,316 \cdot 10^{-3}}{T} \cdot (2,65 \cdot p_A + \varphi \cdot p_p'') \quad (8)$$

kde

p_A	atmosférický tlak	[Pa]
φ	relativní vlhkost	[-]

Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu udává množství vodní páry ve vzduchu. Pro její určení je nutné znát dvě stavové veličiny (například teplotu, tlak) a jednu veličinu určující složení směsi. Existuje mnoho veličin, které jsou použitelné pro popis vlhkosti, obecně se rozdělují na ty

popisující stav páry nezávisle na vzduchu a na ty, které poměrově vyjadřují množství páry vůči množství vzduchu. [18]

Absolutní vlhkost

Vyjadřuje hmotnostní podíl vodní páry obsažené v 1 m³ vzduchu. Může se vyjádřit také ve formě tlaku vodních par p_{vp} , kdy její hodnota je fyzikálně omezena tlakem sytých vodních par p_p'' při konkrétní teplotě. [18]

Relativní vlhkost φ [-]

Definuje, jak moc je vlhký vzduch nasycen, respektive jedná se o podíl absolutní vlhkosti vzduchu ku absolutní vlhkosti nasyceného vzduchu o stejné teplotě a tlaku. [18]

$$\varphi = \frac{p_p}{p_p''} \quad (9)$$

Měrná vlhkost x [kg/kg s. v.]

Udává skutečné hmotnostní množství vodní páry ve vzduchu při dané teplotě. [18]

$$x = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_p''}{p_A - \varphi \cdot p_p''} \quad (10)$$

3. ZDROJE VLHKOSTI

3.1. Lidé

Produkce vlhkosti lidmi je zastoupena zaprvé vzduchem, který lidé vydechují. Lidské tělo vdechuje vzduch, jehož teplota a vlhkost odpovídají vzduchu vnitřního prostředí, nicméně v dýchacích cestách se ohřívá na konstantní teplotu a navlhčuje se. [22] Při výdechu je teplota vzduchu mírně nižší než teplota lidského těla (35 °C) a jeho relativní vlhkost je 95 %. [23] Absolutní množství vydechované vodní páry závisí i na objemu vzduchu, který člověk vdechuje a vydechuje. Běžný člověk se při běžné aktivitě nadechne 12 až 20krát za minutu, přičemž každý výdech má objem 500 až 600 ml. [24] Při namáhavé fyzické aktivitě může člověk na jeden výdech vydechovat až 4 l, tedy sedminásobek běžného výdechu. [25] Množství vydechovaného vzduchu závisí nejenom na intenzitě aktivity, ale i na trénovanosti daného jedince a jeho vitální kapacitě plic.

Dalším zdrojem vlhkosti člověka je pocení, což je proces vylučování směsi 99 % vody a 1 % soli potními žlázami sloužící k ochlazení lidského těla. Produkce potu závisí hlavně na teplotě okolního vzduchu a fyzické námaze, kterou člověk vykonává. Pocení však probíhá i v případě stresu, strachu, při návalu emocí nebo může být tento proces řízen i hormonálně. [26] Vliv na něho mají ale i věk jedince, procento tělesného tuku, dehydratace, nadměrný přísun tekutin či charakter pocení. Člověk při běžné aktivitě vyprodukuje za den přibližně 600 ml potu, nicméně při namáhavé a dlouhotrvající sportovní aktivitě to může být až 4 l. [27]

Cílem experimentu [28] bylo zavřít člověka do klimatické komory a měřit množství vyprodukované vlhkosti jakožto jediného potenciálního zdroje. Jednalo se o 1,89 m vysokou osobu, která seděla u stolu. Výsledná vypočítaná produkce vlhkosti byla 20,94 g/h s nelineárním průběhem, který byl nejspíše zaviněn pohltivostí materiálů, konkrétně překližky, ze které byl vyroben stůl a židle. Tento materiál do sebe nasával

vodní páru během první hodiny, proto přírůstek vlhkosti v místnosti byl nižší než během zbytku času.

Nejenom člověk, ale i aktivity, které během dne vykonává, a zařízení, která k jejich činnosti používá, produkují vlhkost. V odstavcích níže budou jednotlivé činnosti popsány spolu s výzkumy, při kterých byly vlhkostní zisky naměřeny.

3.2. Lidská činnost

3.2.1. Sprchování

Vlhkostní zisky od sprchování se nedají specifikovat čistě produkcí za minutu, jelikož i při samotném obohacování vzduchu vodní parou jsou závislé na teplotě v místnosti, teplotě vody, intenzitě proudu a také na typu sprchové hlavice, ze které vystřikuje voda. [29] Míra nasycení vzduchu závisí i na objemu vzduchu v samotné místnosti. Je však nutné podotknout, že po sprchování se může vzduch v místnosti plně nasýtit vodní parou a následně přebytečné kapky vody můžou kondenzovat na površích s nižší teplotou.

Dle již dostupných studií [29] se množství vyprodukované vodní páry pohybuje od 220/ 5 min do 250 g/5 min. Jiná studie [29] zase předpokládá produkci až do 400 g/5 min.

Experiment detailně popsáný v [29] byl zaměřený na množství vyprodukované vlhkosti v závislosti na teplotě vody, intenzitě sprchování a délce sprchování. Interval teplot byl stanoven od 25 °C do 45 °C. Hodnoty průtoku vody byly maximální a střední, kdy druhá zmiňovaná byla přibližně 65 % maximálního možného průtoku.

Tabulka 6 Množství vyprodukované vodní páry při konkrétních parametrech během sprchování

Parametr	Proměnná	Množství [g/min]
Čas	3 min	66 až 101
	5 min	61 až 131
	7 min	107
Teplota vody	25 °C	61 až 81
	35 °C	76 až 101
	45 °C	107 až 131
Průtok	MEDIÁN	81 až 131
	MAX	66 až 121

Tabulka 7 Množství vyprodukované vodní páry v závislosti na sledovaných parametrech během sprchování

	Teplota vody 25 °C		Teplota vody 35 °C		Teplota vody 45 °C	
	Průtok MAX	Průtok MED	Průtok MAX	Průtok MED	Průtok MAX	Průtok MED
7 min	-	-	-	-	-	751 g
5 min	306 g	-	481 g	381 g	656 g	-
3 min	244 g	198 g	303 g	-	-	-

Z výsledků měření je patrné, že se vzrůstající teplotou vody stoupá i produkce vodní páry, a to výrazně, kdy rozdíl 10 °C způsobil zvýšení produkce o přibližně 34 g/min. Zvýšení průtoku zvýší i množství produkované vodní páry, ale ne lineárně. Tento experiment nebral v úvahu vodní páru, která zkonzovala na okně, zrcadle, stěnách, případně byla nasána ručníky a oblečením v místnosti.

Dle [30] se po 3 min sprchování uvolní 200 g vodní páry a při 15 min sprchování 800 g vodní páry. Stejný zdroj říká, že při hodinovém sprchování se uvolní 2,6 kg/h a při hodinové koupeli pouze 0,7 kg/h, z čehož vyplývá značný nárůst nasycení vzduchu v místnosti po sprchování v porovnání s koupáním.

3.2.2. Vaření

Vlhkostní zisky při vaření závisí na mnoha faktorech, které jsou spojeny hlavně s množstvím vařeného jídla, samotným druhem jídla, a i typem vařiče, kterým je jídlo tepelně zpracovááno.

Studie [31] se zaměřila na porovnání vlhkostních zisků na základě typu vařiče, který se při přípravě jídla používal. Měření bylo provedeno na plynovém a indukčním vařič. Výsledné vlhkostní zisky shrnuje Tabulka 8

Tabulka 8 Vlhkostní zisky při vaření

	Jídlo [g/h]	Palivo [g/h]	Celkem [g/h]
Plynový vařič	340	195	535
Indukční vařič	209	0	209

Z výsledků je zřejmé, že při přípravě jídla na plynovém sporáku tvoří vodní pára uvolněná z jídla 64 % a zbytek připadá na vodní páru uvolněnou spalováním plynu. Při vaření na indukčním sporáku se neuvolňuje vodní pára ani jiné škodliviny vlivem spalování plynu. Dle [30] se při spálení 1 m³ plynu uvolní 1,6 kg vodní páry. Hořák o výkonu 3 kW spálí plyn o objemu 0,28 m³/h, což odpovídá uvolnění 0,45 kg/h vodní páry. Data z [29] dávají množství vyprodukované vlhkosti do závislosti na počtu osob, základní měrný vlhkostní zisk je 339 až 488 g/h/osoba při vaření na plynovém sporáku a 150 až 188 g/h/osoba na elektrickém/indukčním sporáku.

Tabulka 9 Vlhkostní zisky při vaření v závislosti na chodu

	Jídlo [g/h]	Palivo [g/h]	Celkem [g/h]	Doba přípravy [min]
Snídaně	461	341	802	35
Oběd	342	295	637	15
Večeře	608	338	946	60

Porovnávat vlhkostní zisky dle denní doby není relevantní, jelikož každý člověk je zvyklý konzumovat různá jídla v různých částech dne, nicméně souhrnně dle [29] vyplývá, že při snídani se uvolní 170 až 270 g/porce, při obědě 250 až 350 g/porce a při večeři 580 až 780 g/porce, nicméně zdroj neuvádí, jak je pokrm ohříván, ani co obsahuje. Smysluplnější je udávat vlhkostní zisky pro konkrétní jídla [30], v tabulce níže jsou udány vlhkostní zisky pro porci 240 g. Hodnoty neberou v potaz vyprodukovanou vodní páru při spalování plynu. Měření proběhlo v Číně, kde mají lidé jiné stravovací návyky a mnohem více jídla konzumují během snídani a večeře, z čehož vyplývají i vysoké vlhkostní zisky při snídani. [32]

Tabulka 10 Vlhkostní zisky pro konkrétní jídla

Pokrm	Vyprodukovaná vlhkost [g]
Rýže pro 4 osoby	55
Kuřecí křídla	37
Vaření v páře	283
Vaření zeleniny a smažení	148
Nudle	25
Vaření polévky	927

3.2.3. Mytí nádobí

Množství vyprodukované hmotnosti vodní páry je závislé na tom, zda je nádobí myto v myčce nebo ručně, kolik nádobí je myto a jaká je teplota vody, kterou se nádobí myje. Vlhkostní zisky z mytí nádobí není v dnešní době potřeba řešit tolik jako v minulých letech, jelikož dnes proces mytí probíhá ve většině domácností v automatických myčkách, které jsou uzavřené vůči okolí. Jediný zisk probíhá po otevření myčky a případném vyndání ještě vlhkého nádobí, z něhož se voda následně odpaří do okolí namísto do myčky. Tento proces však není závislý na hodnotě relativní vlhkosti v místnosti, jelikož se veškeré molekuly vody stejně odpaří do místnosti, relativní vlhkost v místnosti pouze ovlivní, za jak dlouho. V domácnostech, které jsou postihovány nízkou relativní vlhkostí, se však může jednat o kýžený zdroj vlhkosti. Otevření myčky, případně vyndání ještě částečně mokrého nádobí, je jedinou možností, jakou může člověk ovlivňovat bilanci vlhkosti ve vnitřním prostoru. V budovách, ve kterých je relativní vlhkost vysoká, by mělo nádobí co nejvíce osychat uvnitř myčky, naopak v prostorách se suchým vzduchem je doporučováno otevřít myčku po ukončení procesu mytí a nechat proudit vlhkost z myčky do místnosti.

Závěrem studie [30] bylo, že čtyřčlenná domácnost při ručním mytí nádobí vyprodukuje v průměru 0,2 – 0,3 kg vodní páry. Novější studie [30] udává, že při mytí nádobí v myčce jsou do okolí uvolněny 3 g vodní páry/osoba/pokrm s tím, že při následném sušení se uvolní 50 g vodní páry/osoba/pokrm.

3.2.4. Praní prádla a sušení

Vlhkostní zisky při praní prádla a jeho následném sušení jsou závislé na tom, zda daný proces vykonává člověk ručně nebo v automatické pračce, respektive jestli se prádlo suší na sušáku nebo v sušičce. Praní v ruce se již v dnešní době neočekává, proto data ze studií z tohoto procesu nejsou v textu zahrnuta. Sušení v sušičkách ještě není standardem ve všech domácnostech, nicméně v těch, ve kterých probíhá praní v pračce a sušení v sušičce, můžeme považovat vlhkostní zisky za nulové. Dle [30][29] průměrná domácnost o čtyřech lidech vypere 5x v týdnu. Studie z roku 1988 [29] uvádí, že po jednom vyprání se při sušení průměrné dávky 3,6 kg prádla uvolní 2,2 kg až 2,95 kg vodní páry.

Zajímavý vhled do problematiky sušení oblečení přináší experimentální měření založené na vážení oblečení před a po procesu praní. Oblečení bylo následně i převáženo při

schnutí pro nalezení doby, kdy se z vypraného oblečení odpaří všechna voda [33]. V rámci diverzity oblečení bylo měřeno schnutí 5 kusů různého oblečení, a to kalhot (98% bavlna, 2% elastan), bavlněného spodního prádla (95% bavlna, 5% elastan), svetru (100% akryl), trička (100% bavlna) a oblekové košile (100% bavlna). Ždímání probíhalo při 500, 800 a 1200 otáčkách. V místnosti, kde prádlo schlo, byla teplota 22 °C a relativní vlhkost 55 %.

Tabulka 11 Hmotnost oblečení před a po ždímání na 1200 ot.

1200 ot.	Před ždímáním [g]	Po ždímání [g]	Rozdíl [g]	Relativní rozdíl
Džíny	406,7	601,8	195,1	48 %
Tričko	136	218,5	82,5	61 %
Spodní prádlo	71,5	107,3	35,8	50 %
Košile	198,6	286,7	88,1	44 %
Svetr	278,6	336,7	58,1	21 %

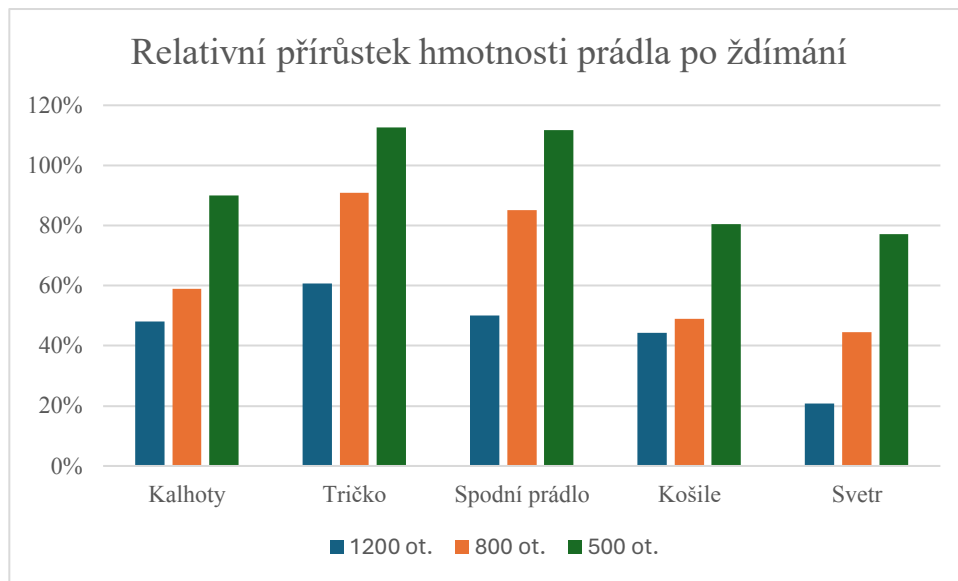
Tabulka 12 Hmotnost oblečení před a po ždímání na 800 ot.

800 ot.	Před ždímáním [g]	Po ždímání [g]	Rozdíl [g]	Relativní rozdíl
Džíny	430,7	684,7	254	59 %
Tričko	194,4	371,2	176,8	91 %
Spodní prádlo	75,6	140	64,4	85 %
Košile	204,5	304,5	100	49 %
Svetr	275,1	397,7	122,6	45 %

Tabulka 13 Hmotnost oblečení před a po ždímání na 500 ot.

500 ot.	Před ždímáním [g]	Po ždímání [g]	Rozdíl [g]	Relativní rozdíl
Džíny	439,6	834,8	395,2	90 %
Tričko	142,3	302,5	160,2	113 %
Spodní prádlo	65	137,7	72,7	112 %
Košile	203,8	367,8	164	80 %
Svetr	277,5	491,4	213,9	77 %

Výsledky z tabulek shrnuje Obrázek 1



Obrázek 1 Relativní přírůstek hmotnosti prádla při ždímání

Ze třech tabulek výše vyplývá, že na čím více otáček je prádlo ždímano, tím méně vody do sebe prádlo naváže. Rozdíly mezi 1200 otáčkami a 500 otáčkami jsou dvojnásobné. Zajímavé je porovnání rozdílu mezi košilí a tričkem, a to i přesto, že jsou oba druhy oblečení vyrobeny ze stejného materiálu, tak jejich relativní rozdíly v hmotnostech po praní se lišily i o 30 % při 500 otáčkách. Naopak relativní rozdíl hmotností při porovnání košile a svetru je při 500 otáčkách minimální, ale při 1200 otáčkách zvýšil svetr ze 100 % akrylu hmotnost o 21 %, nicméně košile o 44 %. Pro minimální vlhkostní zisky v interiéru při sušení se tedy vyplatí prát na co nejvíce otáček, pro maximální navlhčení vnitřních prostor je naopak doporučeno prát na co nejméně otáček.

Tato činnost může výrazněji ovlivnit vlhkost v místnosti pouze v případě, kdy by lidé místo sušičky upřednostňovali ve vysušených prostorách sušení prádla na sušáku, a naopak ve vlhkých prostorách zvážili nákup sušičky pro odvod vlhkosti z prádla mimo vnitřní vzduch.

3.2.5. Květiny

Květiny nemusí plnit pouze estetickou funkci domácnosti, nýbrž se můžou podílet na úpravě vnitřního prostředí a zvyšování podílu kyslíku ve vzduchu, případně i na zvyšování relativní vlhkosti v obytné místnosti. Čím větší květina, tím více vodní páry vypouští. Většina vodní páry je uvolňována samotnou květinou a pouze malá část se

uvolňuje z půdy, respektive z hlíny, ve které je květina zasazena. Intenzita vypařování je závislá na teplotě v místnosti a zároveň na relativní vlhkosti v místnosti, dle [34] stoupá uvolňování vodní páry lineárně s tím, jak klesá relativní vlhkost pod 25 až 35 %. Pokud klesne pod 30 %, zůstane již množství vody uvolňované výparem konstantní.

Dle experimentálních dat uvolní květina 39 až 101 g/den vody [35], což odpovídá 1,6 až 4,2 g/h. Výsledky jiné studie jsou značně odlišné, dle jejich výzkumu [33][36] se uvolní z pokojové květiny 5 až 10 g/h, z rostliny v květináči 7 až 15 g/h a ze středně vzrostlé květiny 10 až 20 g/h.

Z výsledků experimentálního měření [37] plyne 4,1 g/h, což je o více než polovinu méně než 8,3 g/h ze studie [38].

O faktu, že na výsledný výpar má značný vliv teplota vnitřního vzduchu v místnosti, svědčí závěry ze studie [39], kdy v místnosti byla udržována teplota vnitřního vzduchu pouhých 15 °C a výsledný výpar byl pouze 0,84 g/h.

Měření [33] bylo zaměřeno na zjištění vlhkostních zisků z květin v uzavřené klimatické místnosti, která byla v průběhu měření utěsněna vůči okolí. Do místnosti byly umístěny tři květiny na 15 dní a zalily byly pouze na začátku. Z tohoto měření vyplynulo, že během 15 dnů stoupla absolutní vlhkost v místnosti o 70,3 g, respektive 2,64 g/m². Po přepočítání na jednu květinu je to 1,57 g/den nebo 0,065 g/h, což je velice nízké číslo v porovnání s výše zmiňovanými studiemi. Vliv na tento výsledek může mít nedostatečné zalévání květin, respektive fakt, že byly zalily pouze na začátku.

Druhé měření bylo provedeno ve stejné klimatické komoře v počtu 6 květin, které byly zalily dvakrát během 5 dní, pokaždé třemi litry vody. Absolutní vlhkost se během měření zvýšila o 84,2 g, průměrně tedy o 2,8 g/den/květina nebo 0,12 g/h/květina. Z průběžného měření vlhkosti v místnosti vyplývá, že křivku lze proložit polynomem třetího stupně a zároveň po zalití je vidět zvýšení navlhčení za hodinu v řádu několika hodin.

Po porovnání obou experimentů je zřejmé zvýšení navlhčení při pravidelnějším zalévání květin a zároveň míra přesnosti měření, když je do místnosti umístěn větší počet květin po kratší dobu.

Umístění květin produkujících vlhkost je účinné opatření v boji se suchým vzduchem, které zajistí stabilní zdroj vlhkosti při jejich pravidelném zalévání. Naopak ve vnitřních

prostorách, ve kterých je vlhkost velmi vysoká, by měla být přítomnost květin eliminována, alternativou je náhrada umělými květinami pro zajištění podobného estetického dojmu.

3.3. Difuze vodní páry skrze stavební konstrukci

Analogicky k prostupu tepla přes skladbu několika materiálů se chová i vodní pára, která difunduje skrze jednotlivé vrstvy z prostředí s vyšším parciálním tlakem vodní páry do prostředí s nižším parciálním tlakem vodní páry. Obecně u obytných budov je častější vyšší hodnota parciálního tlaku vodní páry uvnitř budovy, pouze během teplých dní je v exteriéru vyšší parciální tlak vodní páry. [40] Každý používaný materiál by měl mít v technickém listě součinitel difúzní vodivosti, případně faktor difúzního odporu, což je relativní poměr mezi prostupem vlhkosti konkrétního materiálu a vzduchu dle (11) [41]

$$\delta = \frac{\delta_o}{\mu} \quad (11)$$

kde

δ	Součinitel difúzní vodivosti	[g/mPa]
μ	Faktor difúzního odporu	[-]
δ_o	Součinitel difúzní vodivosti vzduchu	[g/mPa]

Difúzní odpor vícevrstvé stěny $R_{d\delta}$ [m²h/GPa] se spočítá ze znalosti součinitele difúzní vodivosti a tloušťky daných vrstev:

$$R_{d\delta} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \dots + \frac{d_n}{\delta_n} \quad (12)$$

kde

d_i	tloušťka i-té vrstvy stěny	[m]
δ_i	Součinitel difúzní vodivosti i-té vrstvy stěny	[g/mPa]

Celkový difúzní tok G [g/m².h] se vypočítá:

$$G = \frac{1}{R_{D\delta}} \cdot (p_{Di} - p_{De}) \quad (13)$$

kde

G	Celkový difúzní tok	[g/m ² .h]
p_{Di}	Parciální tlak vodní páry vnitřního vzduchu	[Pa]
p_{De}	Parciální tlak vodní páry venkovního vzduchu	[Pa]

V Tabulka 14 níže jsou uvedeny faktory difúzních odporů běžně používaných stavebních materiálů:

Tabulka 14 Faktory difúzních odporů běžně používaných stavebních materiálů

Materiál	Obchodní název	Faktor difúzního odporu μ [-]
Cihla	HELUZ FAMILY 50 2in1 broušená	9,7
Cihla	HELUZ FAMILY 30 2in1 broušená	9,7
Cihla	HELUZ UNI 30	5/10
Cihla	Cihla Porotherm 50 EKO+ Profi	5/10
Cihla	Porotherm 50 T Profi	5/10
Tvárnice	Ytong Standard 300 PDK	5/10
Cement	Baumit StarContact	50
Omítka	Baumit Ratio Slim	8
Extrudovaný polystyren	Austrotherm TOP P GK	100
Expandovaný polystyren	Baumit EPS-F	20 až 40
Foukaná celulóza	Climatizer Plus	2
Minerální vata	Knauf Unifit 037 EKO, 160 mm	1
Parozábrana	JutaFOL N 110 STANDARD	210 154
Parobrzdá	DB+ 105	10 000

Vyšší hodnota faktoru difúzního odporu znamená, že přes danou vrstvu prochází menší množství vodní páry. Při stavbě budovy je potřeba si rozmyslet, zda by se mělo jednat o difúzně otevřenou či difúzně uzavřenou budovu. Difúzně uzavřená budova je levnější, nicméně je u ní kladen důraz na kvalitu zpracování jednotlivých vrstev, hlavně parozábrany, která brání přístupu vodní páry do konstrukce. Pokud bude rozhodnuto o stavbě difúzně otevřené budovy, tak potom by faktor difúzního odporu jednotlivých vrstev neměl vzrůstat směrem do interiéru. Poté nastává akumulace vodní páry ve stěně a její odpařování skrze omítkové vrstvy. [42]

Difúzním tokem mezi venkovním a vnitřním prostředím se zabývala práce [40], ve které byly numericky vypočítány průběhy vlhkosti pro čtyři konkrétní dřevostavby. Dvě dřevostavby byly difúzně uzavřené a dvě difúzně otevřené. Ve výpočetním programu dle normy ČSN 730540-2 byly nasimulovány vnitřní podmínky pro teplotu 20 °C a relativní vlhkost 55 %, (parciální tlak vodní páry 1 286 Pa), venkovní teplota byla -15 °C a relativní vlhkost 84 % (parciální tlak vodní páry 139 Pa). Difúzně uzavřené stavby nevykazovaly žádnou vypařitelnou vodní páru a zkondenzovanou páru, popisované hodnoty pro difúzně otevřené stavby zobrazuje Tabulka 15:

Tabulka 15 Výsledky numerické studie difuze u rodinných domů

Název stavby	Množství vypařené vodní páry [kg/m ² .rok]	Množství zkondenzované páry [kg/m ² .rok]
DO Rýmařov	15,79	0,0050
DO Diffuwall	16,18	0,0051

Po převedení množství vypařené vodní páry z roku na den odpovídají tyto hodnoty 43,2 g/m².rok, respektive 44,3 g/m².rok. Jelikož je množství vypařené vodní páry lineárně závislé na rozdílu parciálních tlaků vodních par [41], je v následující tabulce přepočítáno

množství vypařené vodní páry za hodinu pro konkrétní parametry venkovního vzduchu pro zeď o šíři 6 m a délce 2,6 m.

Tabulka 16 Simulace difúze vodní páry pro různé parametry venkovního vzduchu

Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Parciální tlak vodní páry [Pa]	Množství vypařené vodní páry stěnou pro DO Rýmařov [g/h]
0	80	490	20
5	80	698	14
10	60	737	13
10	80	983	7
15	70	1194	2
18	60	1239	1
25	50	1585	-7
30	40	1698	-10
35	35	1968	-17

Z Tabulka 16 vyplývá, že difúze vodní páry stěnou v difúzně otevřené budově není zanedbatelná, jelikož se pro jednu zeď pohybuje v řádech desítek gramů za hodinu při velkém rozdílu teplot mezi prostory. U budov větraných nuceně s nízkými vlhkostními zisky v interiéru může být difúze takového množství vodní páry nevýhodou, v létě při venkovní teplotě výrazně vyšší, než je vnitřní teplota, může být navlhčování interiéru též nevýhodou. Nicméně při určité havárii spojené s uvolněním velkého množství vodní páry je výhodné přirozené dýchání budovy stěnami, což bylo ověřováno i v rámci práce. [40]

4. ÚPRAVA VLHKOSTI VE VNITŘNÍM PROSTORU

Vnitřní prostor je pro člověka místo, ve kterém se nechce a ani by se neměl omezovat proto, aby vzduch uvnitř budovy měl optimální vlhkost bez vlivu na zdraví obyvatel. Cílem dnešních technologií by mělo být zajištění takového prostředí, které zajistí ideální koncentraci vodní páry, budova bude uživatelsky přívětivá, ideálně bezúdržbová a její provoz se bude přizpůsobovat aktuálním podmínkám.

4.1. Decentrální zvlhčování

Zdroji vlhkosti, respektive jejich akumulátory, mohou být samotné stavební konstrukce, které mají schopnost pohlcovat a následně vydávat vlhkost, například sádra, dřevo, silikagel atd. [43]

4.1.1. Odvlhčovače vzduchu

Vysokým hodnotám relativní vlhkosti může být předejito pořízením odvlhčovače vzduchu, který funguje na principu cirkulace vzduchu se zachycením vodní páry uvnitř zařízení. Na trhu se vyskytují odvlhčovače založené na dvou principech odvodu vlhkosti. Při výběru je nutno brát v potaz velikost místnosti a průběh relativní vlhkosti v průběhu dne, tedy rozlišovat mezi místnostmi, ve kterých dochází ke krátkodobým výkyvům, například po sprchování, nebo je tu vlhkost vysoká neustále. Obecnou výhodou těchto zařízení je jejich kompaktnost a možnost jejich přenášení mezi místnostmi, což je žádoucí, jelikož z jedné místnosti nelze odvětrat celý byt či dům. [44]

Prvním typem je adsorpční odvlhčovač vzduchu, do něhož je vháněn vzduch, který po zahřátí prochází okolo povrchu s hygroskopickou látkou, na které je vlhkost zachycována. Výhodou tohoto zařízení je v zimě zvýšení teploty proudu vzduchu, a tedy i vzduchu v místnosti. Další předností je nezávislost na vnější teplotě, jelikož adsorpce může probíhat i za teplot blízkých nule. Nevýhodou je nízký maximální průtok. [44]

Druhým typem je kompresorový odvlhčovač, který využívá chladicí látku pro zchlazení proudu vzduchu na nízkou teplotu, při němž vzniká kondenzát odváděný do sběrné nádoby. Vzduch je následně ohřátý na původní teplotu. Tento typ je však vhodný pouze do prostor, v nichž není potřeba odvádět vlhkost při teplotách vzduchu nižších než 20 °C.

Účinnost odvodu vlhkosti totiž u nich s klesající teplotou klesá. Výhodou je jejich velký výkon při pokojové teplotě. [46]

K některým odvlhčovačům je dodáván tzv. hygroskop, tedy zařízení na měření vlhkosti, které následně řídí svůj výkon podle aktuální relativní vlhkosti vzduchu v místnosti.

Na trhu je velké množství odvlhčovačů vhodných pro odvlhčení obytných prostor, které jsou tříděny dle velikosti místností a liší se odvlhčovací výkonem. Nevýhodou většiny technických parametrů jsou parametry vzduchu, pro něž jsou udávány. Většina odvlhčovačů má udávaný výkon odvlhčení pro vzduch o teplotě 30 °C a relativní vlhkosti 80 %, ve kterých vynikne odvlhčovací výkon zařízení, ale jeho výkon pro běžné parametry vzduchu bude nižší. Firma Wood's udává u svého kompresorového odvlhčovače Wood's MDX20P odvlhčovací výkon 20 l/24 h při teplotě vzduchu 30 °C a relativní vlhkosti 80 %, nicméně pro běžnější parametry vzduchu o teplotě 20 °C a relativní vlhkosti 70 % je výkon poloviční, tzv. 10 l/24 h. [45] Jeho příkon je 360 W a doporučený objem odvlhčovaného prostoru 3 až 25 m³.

Firma Remko vyrábějící adsorpční i kompresorové odvlhčovače má k dispozici na svých webových stránkách graf závislosti odvlhčovacího výkonu na teplotě vzduchu pro oba typy zařízení při relativních vlhkostech 60 % a 80 %. Z tohoto grafu byla vytvořena Tabulka 17. [46]

Tabulka 17 Množství odebrané vodní páry v závislosti na parametrech vzduchu v místnosti

Teplota [°C]	Kondenzační odvlhčovač		Adsorpční odvlhčovač	
	60 %	80 %	60 %	80 %
5	2 l/den	3 l/den	6 l/den	7 l/den
10	3 l/den	4,5 l/den	6,5 l/den	8 l/den
15	4 l/den	6,5 l/den	7,5 l/den	8,5 l/den
20	5,5 l/den	8,5 l/den	7,5 l/den	8,5 l/den

Z vyčtených údajů je nejbližší běžnému vzduchu v místnosti ten s teplotou 20 °C a relativní vlhkostí 60 %. Nyní bude odsimulováno, o kolik se sníží relativní vlhkost v místnosti při užití obou typů odvlhčovačů.

Je dána místnost o podlahové ploše 20 m², výšce stropu 2,6 m, tedy celkovému objemu místnosti 52 m³. Teplota vzduchu v této místnosti bude 20 °C a relativní vlhkost 65 %. Absolutní hmotnost vodní páry v místnosti je 396,1 g, což je v porovnání s odvlhčovacím výkonem 5,5 l/den, respektive 7,5 l/den, velice nízká hodnota, kterou je schopen odvlhčovač odstranit ze vzduchu během několika hodin.

4.1.2. Hygroskopické látky

Další možností pro udržení stálé vlhkosti v místnosti je použití bentonitu nebo silikagelu. Hlavním užitím těchto materiálů je udržování stálé vlhkosti pro menší objemy vzduchu, jakými jsou krabice, sáčky, filamenty pro 3D tisk atd. Chemicky se jedná o granulovitou, pórovitou formu oxidu křemičitého (SiO₂), která je vysoce porézní (800 m²/g) a může být regenerována. K regeneraci, a tedy zpětnému odstranění vlhkosti, je nutná teplota kolem 120 °C, která nicméně může vést k narušení obalu, ve kterém je silikagel zabalen. Nejdůležitější pro výpočty je tzv. adsorpční kapacita vlhkosti w [%], která je dána rozdílem hmotností před m_1 [kg] a po m_2 [kg] nasátí vlhkosti: [47]

$$w = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \% \quad (14)$$

V Tabulka 18 níže jsou udány hodnoty adsorpční kapacity vlhkosti pro Silikagel – E o velikosti granulátu 2 až 5 mm od německého výrobce *Long life for art*. [48]

Tabulka 18 Adsorpční kapacity pro Silikagel – E

Teplota [C°]	Relativní vlhkost [%]	Adsorpční kapacita vlhkosti [%]
20	20	12
20	50	21
20	90	32

Sypká hmotnost silikagelů se pohybuje kolem 700 g/l. [48]

4.2. Aktivní zvlhčování

Aktivním zvlhčovačem se má na mysli zařízení, které svou činností navlhčuje proud vzduchu. Pro rodinné domy jsou rozlišovány zvlhčovače vodní a parní. Do přívodního potrubí je namontován parní zvlhčovač, který prostřednictvím čidla monitoruje vlhkost a při snížení vlhkosti pod nastavenou mez se spustí a navlhčuje vzduch. Výhodou tohoto systému je kontrola vlhkosti v budově bez nutnosti snižovat intenzitu větrání. Tento systém je ale nákladný a může být nahrazen pouze přenosným zvlhčovačem vzduchu s napojením na zdroj vody či nádobu, do něhož je voda doplňována. Navlhčovací výkon tohoto zařízení je plně dostačující s ohledem na běžné velikosti obytných prostor. Výkonové parametry byly převzaty od firmy Defensor vyrábějící zařízení PH15 a PH28, jejichž minimální a maximální výkonové parametry jsou uvedeny v Tabulka 19. [49]

Tabulka 19 Zvlhčovací výkon pro navlhčovače PH15 a PH28

Zvlhčovací výkon [l/h]	PH15		PH28	
	MIN	MAX	MIN	MAX
při 25 C° a 20 % r. v.	0,8	1,7	1,7	2,7
při 23 C° a 45 % r. v.	0,6	1,3	0,9	1,6

4.3. Zpětné získávání vlhkosti

Jedná se o proces, kdy se z proudu vzduchu odváděného z vnitřních prostor obytné budovy předávají molekuly vody do venkovního vzduchu přiváděného do obytné budovy. Snižuje se relativní vlhkost vzduchu odváděného a zvyšuje se relativní vlhkost vzduchu přiváděného při konstantní teplotě. Celý proces by se dal popsat i jako přenos latentního tepla mezi proudy vzduchu. [50]

Důvod pro aplikaci tohoto procesu do větrací jednotky a jejího výměníku je hlavně nízká relativní vlhkost ve vnitřních prostorech v extrémním zimním období, kdy se z budovy odvádí velké množství vodní páry, ale do vnitřních prostor je přiváděn vzduch, jehož relativní vlhkost se sníží po ohřátí v rekuperačním výměníku. Může docházet ke snížení

relativní vlhkosti k 20 %, čímž se vytváří suché prostředí zvyšující riziko přenosu virů, bakterií, ale i vysušování sliznic a pocit sucha pro obyvatele budovy. [50]

K samotnému předávání vlhkosti dochází ve výměníku, kdy z odváděného proudu vzduchu se do čerstvého vzduchu přenáší nejenom teplo, ale i vlhkost. Množství předané vlhkosti je závislé na objemovém průtoku vzduchu výměníkem a jeho účinnosti přenosu latentního tepla. Je logické, že výměníky se schopností předávat i latentní teplo budou mít nižší účinnost přenosu citelného tepla než výměníky umožňující pouze přenos citelného tepla. Ke zpětnému získávání vlhkosti mohou být použity následující typy výměníků:

4.3.1. Rotační regenerační výměník tepla

Základem konstrukce je rotor, který se otáčí mezi proudem odváděného a přiváděného vzduchu. Z odváděného proudu vzduchu se teplo akumuluje do výměníku, aby bylo následně předáno do proudu vzduchu přiváděného. Vnitřní teplosměnné plochy jsou vyrobeny z plechu z hliníkové slitiny, tzv. hliníkové plechy o tloušťkách 0,04 až 0,1 mm. [51] Hliník je volen z důvodu dobré tepelné vodivosti. Rotor je poháněn přes řemenici a řemen elektromotorem, kdy účinnost přenosu je závislá na otáčkách zařízení.

Hygroskopické provedení rotoru

Při potřebě přenosu vlhkosti je hliníková fólie opatřena speciální vrstvou, která umožňuje přestup molekulám vody. Pokud se jedná o výměník, u kterého může dojít ke kondenzaci vodní páry, nazývá se entalpickým. Nebo se může jednat o sorpční výměník, u něhož nedochází ke kondenzaci vodní páry a dosahuje vysokých účinností i v letním období. Vrstva na hliníkovém plechu sorpčního výměníku umožňující přenos vlhkosti může být vytvořena z oxidu křemičitého, jehož nevýhoda tkví i v přenosu pachů. Tento nedostatek řeší zeolit, tzv. vrstva na bázi hlinitokřemičitých minerálů, která vytváří kanálky předem daných rozměrů. Důvodem, proč nemůže zeolit absorbovat molekuly pachu, je fakt, že

molekulární velikost molekul pachu je 7 Angström, ale molekulární struktura zeolitu má velikost 4 Angström. [51]

V případě použití rotačního výměníku v agresivním prostředí (např. přímořské oblasti, bazény, chemické provozy) je možné použít epoxidový rotor. [51]

4.3.2. Protiproudé deskové výměníky

Obecně se deskový výměník skládá ze zvlněných lamel, které mají funkci teplosměnné plochy. Tyto lamely jsou omílané proudy vzduchu z obou stran. Vnitřní konstrukce se rozděluje na část křížovou (křížové výměníky jsou tvořeny pouze touto částí), která slouží k nasměrování vzduchu s co nejmenší tlakovou ztrátou do části protiproudé, ve které dochází k nejvýznamnějšímu přenosu tepla. Čím delší je protiproudá část, tím větší má výměník účinnost. Zvlněná teplosměnná plocha se nachází pouze v protiproudé části, jelikož v křížové části má vzduch vysokou rychlost a docházelo by k velké tlakové ztrátě.

Konstrukce lamel

Aby mohla přes lamely proudit vlhkost a žádné jiné nežádoucí molekuly, je u nich potřeba vytvořit membrány, tedy vytvořit lamely tzv. selektivně propustné. Není totiž žádoucí, aby z odváděného vzduchu do přiváděného pronikaly pachy, molekuly CO₂ či jiné škodliviny. Membrány mohou být porézní, což jsou membrány s mikropóry o takové velikosti, aby jimi mohla projít molekula vody. Nevýhodou je propustnost i pro molekuly menší než jsou molekuly vody, tudíž se póry mohou zanášet a výměníku pak klesá účinnost. Dalším druhem jsou iontovýměnné membrány, které obsahují vysoký podíl iontů, například soli, po nichž molekuly vody stoupají skrze membránu. Molekuly vody přirozeně postupují z místa s vyšší vlhkostí do místa s nižší vlhkostí. Prostup škodlivin je omezený, protože škodliviny se nedokážou tak snadno navázat na ionty. Nicméně v permeabilitě výměníků jsou velké rozdíly a právě permeabilita spolu s účinkem přenosu latentního i citelného tepla patří mezi jejich klíčové parametry. [52]

Příkladem materiálu pro výrobu lamel může být materiál s obchodním názvem Metalpic. Jde o sendvičový materiál, jehož nosnou částí je hliníkový tahokov, který drží velmi

tenkou polymerní složku. Čím tenčí je polymerní vrstva, tím účinnější je přenos vlhkosti. Obě dvě části jsou k sobě laminovány. [52]

Srovnání parametrů entalpického výměníku s tepelnými výměníky

Účinnost přenosu citelného tepla musí být dle směrnice EU 1253 vyšší než 73 % při maximální tlakové ztrátě 340 Pa. Tato směrnice zpřísnila předcházející normu EN 13053, která udávala maximální tlakovou ztrátu 480 Pa. [53]

Ke srovnání byly vzaty 4 výměníky od firmy Recutech, která vyvíjí a vyrábí výměníky bez (RFK+17, RFC+27) i se zpětným získáváním vlhkosti (REK+17, REK+27).

Tabulka 20 Porovnání parametrů entalpických a tepelných výměníků [54][55]

Typ	Rychlost vzduchu [m/s]	Průtok vzduchu [m ³ /s]	Tlaková ztráta [Pa]	Teplotní faktor [%]	Vlhkostní faktor [%]
RFK+17	1,7	185	137,3	82,2	66,1
RFC+27	1,7	320	123,2	78,2	64
REK+17	1,7	200	104,6	77,2	-
REK+27	1,7	320	116,5	82,9	-

Z tabulky je zřejmé, že výměníky se zpětným získáváním vlhkosti zvyšují tlakovou ztrátu o 5 až 30 % původní tlakové ztráty tepelného výměníku. Výpočet celkové účinnosti entalpických výměníků je těžké stanovit z důvodu přenosu citelného i latentního tepla. Výrobci výměníků běžně stanovují účinnosti přenosu obou z nich.

Experimentální měření [56] se zabývalo měřením účinnosti a přenosu entalpie u výměníku tepla a entalpického výměníku. Při volbě obou výměníků byl kladen důraz na totožné zástavbové parametry, což je dle autorů důležitější než porovnávat výměníky o stejných přenosových parametrech. Oba výměníky byly měřeny na zkušební stolici v místnosti s konstantní pokojovou teplotou, přičemž potrubí byla napojena na dvě klimatické komory, ve kterých byly regulací teploty a vlhkosti simulovány letní a zimní podmínky. Pro průtok 150 m³/h byla účinnost přenosu citelného tepla tepelného výměníku 83,5 %, přičemž u entalpického výměníku byla účinnost přenosu citelného tepla při stejném průtoku 80 % a účinnost přenosu latentního tepla 35 %. Celkový přenos energie byl graficky publikován pouze pro relativní vlhkost přívodního vzduchu 20 %

u tepelného výměníku, kdežto u entalpického výměníku pro interval relativní vlhkosti 20 až 60 % v kroku po 10 %. Při porovnatelné relativní vlhkosti 20 % přenáší entalpický výměník v celém intervalu větší množství energie, přičemž čím vyšší je teplota, tím více se rozdíl zvyšuje. Nutno podotknout, že jelikož mají výměníky stejné zástavbové parametry a entalpický výměník má větší plochu křížové části, je plocha teplosměnné plochy entalpického výměníku menší než tepelného. Přenos energie klesá s rostoucí venkovní teplotou, s čímž klesá i množství energie, kterou je výměník schopen přenést. Při venkovní teplotě $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou přenášené energie téměř totožné, při teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ je prostřednictvím tepelného výměníku přenášeno 600 W, kdežto entalpickým výměníkem je přenášeno 650 W. Při teplotě $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ je to 100 W, respektive 280 W. Pokud je exteriérová teplota vyšší než teplota odváděného proudu vzduchu, respektive i měrná vlhkost venkovního vzduchu je vyšší než měrná vlhkost odváděného vzduchu, dosahují výměníky záporných hodnot přenosů energií, tzv. vnitřní vzduch je ochlazován a odvlhčován, což je v tomto případě žádoucí pro zachování stálého vnitřního prostředí.

4.4. Změna objemového průtoku vzduchu výměníkem

Při snížení objemového průtoku vzduchu dojde k nižšímu odebírání vlhkosti z místnosti, a tudíž menšímu snižování relativní vlhkosti. Pokud je naopak ve vnitřním prostoru příliš vysoká relativní vlhkost, může být zvýšen průtok a tím i odvod vlhkosti z místnosti. [43]

Jedná se o nejjednodušší metodu, která je aplikovatelná na obytné budovy v případě, že je rodinný dům vybaven nuceným větráním se zpětným získáváním tepla. Časté stížnosti na nízkou relativní vlhkost mohou způsobovat právě vysoké průtoky větracího vzduchu.

5. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ NAVLHČENÍ V RODINNÉM DOMĚ

Moderní rodinné domy stavěné v posledních letech jsou velice dobře izolovány od okolního prostředí. Výměnu venkovního vzduchu v nich zajišťuje systém nuceného větrání, kdy odváděný vzduch z vnitřních prostor prochází výměníkem uvnitř větrací jednotky a předává teplo, případně i vlhkost vzduchu přiváděnému do obytných prostor. Vnitřní prostor je tak stále kontrolovaně větrán dle nastavené intenzity s využitím tepla z odváděného vzduchu. V zimních obdobích je však venkovní chladný vzduch suchý, tudíž je z domu nuceně odváděn navlhčený vzduch a do domu je přiváděn vzduch o nižší vlhkosti. Vzduch o teplotě 21 °C a relativní vlhkosti 40 %, který je považován za optimální vnitřní prostředí, má měrnou vlhkost 6,338 g/kg s.v. Ale vzduch o teplotě 3 °C a relativní vlhkosti 70 %, který je charakteristický pro podzim a zimu, obsahuje 3,362 g/kg s.v., což je téměř o polovinu méně. Každý odvedený kg vzduchu z místnosti by měl být kompenzován vlhkostními zisky v interiéru pro zamezení vysušování vnitřního prostředí. Alternativou je instalace výměníku se zpětným získáváním vlhkosti, který při rozdílu vlhkostí obou proudů vzduchu navlhčuje přiváděný vzduch a tím vyrovnává vlhkostní ztrátu. Cílem tohoto měření bylo zjistit, zda jsou vlhkostní zisky v interiéru dostatečné na to, aby byly zachovány optimální vlhkostní podmínky v budově bez nutnosti instalace výměníku se zpětným získáváním vlhkosti.

5.1. Popis budovy

Měření bylo provedeno v rodinném domě nacházejícím se v Pardubicích v místní části Dražkovice v zástavbě s ostatními bytovými domy. Dům byl dostavěn v roce 2021 v energetické třídě B a byl u něho proveden 3. 11. 2021 Blower door test. Skladbu vnějších stěn charakterizuje Tabulka 21.

Tabulka 21 Skladba stěny rodinného domu

Broušené cihelné bloky	POROTHERM 30 Profi Dryfix (247/300/249)
Zateplovací systém (u omítky)	Expandovaný polystyren tl. 180 mm (160 mm)
Zateplovací systém (u soklu)	Extrudovaný polystyren tl. 140 mm
Vnější omítka	Fasádní silikonová omítka WEBER, zrno 1,5 mm, bílá
Vnitřní omítka	Jádrová stříkaná omítka KNAUF

Na polystyrenu je nanášeno lepidlo s perlínkou a na něm fasáda.

Vnitřní nosné stěny jsou vyžděny z cihel POROTHERM 11,5 Profi Dryfix (497/115/249) o šířce 115 mm a z AKU cihel POROTHERM 11,5 AKU Profi Dryfix. Část příček nenosného zdiva je vyžděna z cihel POROTHERM 24 Profi Dryfix (372/240/249) a část z cihel POROTHERM 17,5 Profi Dryfix. Vnitřní prostor nevytápěné garáže je vyžděn ze zdiva se zateplením HELUZ FAMILY 25 2in1 broušená. Viz výkres v příloze č.1.

Aby byly u domu splněny podmínky pro dotaci na nízkoenergetický dům v rámci programu „Nová zelená úsporám“, je záklop stropu proveden z OSB desek, u kterých jsou spoje přelepovány páskou AIRSTOP FLEX. Pod stropem z OSB desek je jako parozábrana instalována parotěsná fólie JUTAFOL. Na závěsech je použit sádrokarton. Nad stropem je izolace na bázi minerální vaty. Podlahy jsou u příček a obvodových zdí izolovány a přetírány tekutou hydroizolací, AquaStopem. Půda je nezateplená a určena pouze pro skladování věcí.

Geometrické charakteristiky budovy jsou uvedeny v Tabulka 22:

Tabulka 22 Geometrické charakteristiky budovy

Objem budovy O [m ³]	611,7
Celková plocha obálky A [m ²]	618,9
Objemový faktor tvaru budovy A/V [m ² /m ³]	1,012
Celková energeticky vztažná plocha A _e [m ²]	194,2

Dveře uvnitř domu jsou od firmy Sapeli ve třech různých verzích. Každá verze je pokaždé použita v trošku jiné konfiguraci, lišící se například kováním, zámkem, reverzibilitou, posuvem, nicméně materiál je zachován. Skleněné dveře jsou z řady Sapglass ve dvou provedeních, 220/225 (šířka/výška) mezi místnostmi 1.02 a 1.03 a 90/210 mezi místnostmi 1.01 a 1.02. Dalším typem dveří je řada Lotos mezi místnostmi 1.06/1.08, 1.08/1.10, 1.08/1.09, 1.08/1.11. Výplň dveří je vyrobena z dřevotřískových desek (DTD). Povrch je vytvořen z CPL laminátu o tloušťce 0,2 mm. [57] Ostatní dveře v domě jsou řady Elegant, jejichž vnitřní stavba je totožná s řadou Lotos. Faktor difúzního odporu DTD desek je 50 až 100. [58] CPL laminát je tvořen papírovým podkladem, dekorativní

vrstvou a povrchovou fólií, která je většinou vyrobena z pryskyřice, která má hydrofobní účinky. Difuze vodní páry skrze dveře není tedy předpokládána.

Venkovní dveře, HS portály a všechna okna jsou od firmy PKS. Všechna okna mají součinitel prostupu tepla U_g 0,72 až 0,96 W/m²K v závislosti na konkrétním provedení. Okno samotné je vyrobeno z plastového profilu Kömmerling s celoobvodovým kováním SIEGENIA TITAN AF. Skládá se z trojskla, třech těsnění a sedmikomorového systému. [59]

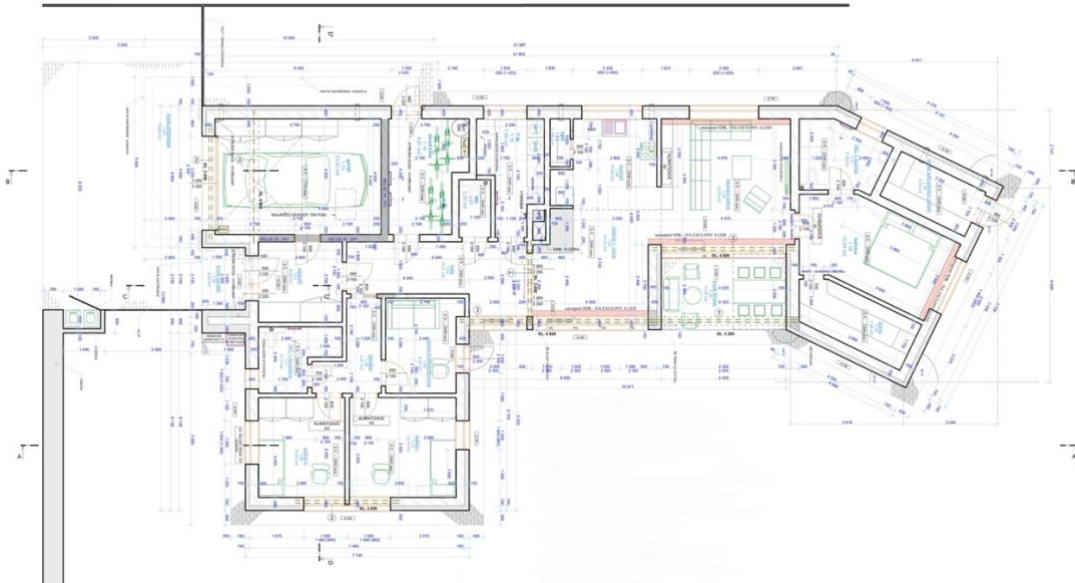
Dveře mezi zádveřím 1.01 a garáží 1.13 jsou protipožární od firmy Mandelli řady WDE 39.

5.2. Vnitřní uspořádání budovy

Budova je koncipována pro pobyt 4 lidí, kdy centrální prostor je tvořen obývacím pokojem (1.05) spolu s jídelnou (1.03) a kuchyní (1.04). V tomto prostoru tráví obyvatelé společný čas včetně relaxace u televize či práce v kuchyni. Z této centrální části na východní stranu je část odpočinková, která je tvořena ložnicí (1.18), šatnou (1.16) a vlastní koupelnou s WC (1.17). Západně od centrální části je chodba (1.02) propojující centrální část spolu s prádelnou (1.15), WC (1.07), kolárnou (1.14) a chodbou (1.01), ze které je možné odejít buď ven vchodovými dveřmi, nebo protipožárními izolačními dveřmi do garáže (1.13), která není vytápěna a nachází se vně zaizolované části domu. Z chodby je možno zároveň vstoupit do poslední části domu, ve které se nachází dva pokoje (1.06 + 1.10), pokoj pro hosty sloužící jako pracovna (1.09), a koupelna s WC

(1.11). Pokoje 1.06 a 1.10 jsou obývány každý jednou osobou, nicméně v průběhu měření byl jeden z pokojů užíván pouze o víkendech.

PŮDORYS PŘÍZEMÍ 1:50



Obrázek 2 Výkres rodinného domu (příloha č.1)

5.3. Návyky obyvatelů domu

Obyvatelé domu jsou standardně zvyklí zavírat všechny interiérové dveře v domě i během přítomnosti v domě. Vzduch mezi místnostmi proudí v těchto případech mezerou pod dveřmi, která má u každých dveří výšku v intervalu 7 až 12,5 mm. Nezvyklým prvkem uvnitř domu jsou prosklené dveře, které oddělují chodbu od zádveří a chodbu od centrálního prostoru. Tyto dveře nejsou těsné a můžou propouštět větší množství vzduchu i v zavřeném stavu. V případě jejich otevření vzniká díky jejich šíři dlouhý otevřený prostor od zádveří až po obývací pokoj s délkou 15 m.

Okna nebyla v průběhu měření pravidelně otevírána, ztráta vnitřního vzduchu probíhala pouze otevíráním vchodových dveří, otevíráním dveří do nevytápěné garáže a občasným otevřením dvou HS portálů v chodbě a obývacím pokoji. Vchodové dveře v kolárně nebyly v průběhu měření téměř využívány.

V domě se během měření pohyboval půl roku starý kocour, který trávil čas v noci v kolárně, v průběhu přítomnosti některého z obyvatel mu byl umožněn přístup do

chodby a zádveří, nicméně jeho vlhkostní zisky můžeme považovat i vzhledem k jeho stáří za zanedbatelné.

5.4. Vytápění

Zdrojem tepla pro rodinný dům je tepelné čerpadlo, jehož venkovní jednotka se nachází na západní straně budovy a jeho vnitřní jednotka v kolárně. Tepelné čerpadlo slouží i k přípravě teplé vody a její akumulaci v 170 l akumulární nádrží. Teplo je distribuováno do domu pomocí systému podlahového vytápění s rozvaděčem umístěným taktéž v kolárně na její jižní straně. Doplnujícími prvky k podlahovému vytápění jsou otopná tělesa umístěná v koupelnách a kolárně, přičemž otopné těleso v kolárně je možno připojit k elektrické síti a zvýšit jeho výkon elektrickou topnou spirálou zabudovanou uvnitř tohoto tělesa.

Používáno je invertorové tepelné čerpadlo vzduch-voda Regulus RTC 6i s tepelným výkonem 5,81 kW při teplotách A2/W35 a jmenovitým elektrickým příkonem 2,28 kW. [60]

Sekundárním zdrojem tepla je křbová vložka BEF Therm 7 CL s jmenovitým tepelným výkonem 7 kW, kterou obyvatelé využívají pouze pro relaxaci a ke skokovému zvýšení teploty v centrální části domu. Teplo není rozváděno vzduchovody dále po domu.

5.5. Větrání

Rodinný dům je vybaven nuceným větráním, které zajišťuje větrací jednotka REGULUS Sentinel Advance SX (SVT 9238) umístěná v kolárně. Jedná se o jednotku o příkonu 190 W, ve které je umístěn protiproudý rekuperační výměník značky Vent-Axia se zpětným získáváním tepla, ne však zpětného získávání vlhkosti. Rozvody vzduchu do ostatních místností jsou v sádrokartonovém podhledu čtyřhranným potrubím o rozměrech 60x200. Do podhledu je sádrokartonové potrubí zaústěno v kolárně, kdy mezi vstup do podhledu a větrací jednotku je na přívodu i odvodu umístěn tlumič hluku. Materiál potrubí na vstupech a výstupech do větrací jednotky se liší, jelikož na sání a výfuku bylo experimentováno s materiálem potrubí z důvodu zvýšené hlučnosti na omítce, kterou byli rušení sousedi otevírající okna na severní straně budovy u prostupů omítkou. Výměna potrubí bez přeměření průtoku by způsobila ztrátu rovnotlakosti větrání, nicméně při výměně

a hledání vhodné délky potrubí byly měřeny průtoky a délka nového potrubí zvolena tak, aby bylo zajištěno rovnotlaké větrání vnitřního prostoru.

Vedení vzduchu je tvořeno čtyřmi druhy vzduchovodů.

Prvním typem je čtyřhranné potrubí z plastu o rozměrech 60x200.



Obrázek 3 Čtyřhranné plastové potrubí [61]

Druhým typem potrubí je kruhové EPP potrubí o průměru 125 mm, kterým je napojena vzduchotechnická jednotka na tlumiče hluku a na vedení vzduchovodů v podhledu budovy. Tepelná vodivost potrubí je $\lambda = 0,039 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ a drsnost stěny 0,077 mm. Materiálem je extrudovaný polypropylen s třídou vzduchotěsnosti C. [62]



Obrázek 4 Kruhové EPP potrubí [63]

Třetím typem potrubí je hliníková hadice Aluflex MI o průměru 127 mm, kterým je přiváděn vzduch z venkovního prostředí do větrací jednotky. Délka tohoto potrubí je 38 cm.



Obrázek 5 Hliníková hadice Aluflex MI [64]

Čtvrtým typem potrubí je kruhová flexibilní PVC hadice, kterou je odváděn vzduch z větrací jednotky do venkovního prostředí. Její průměr je 150 mm a délka 4,86 m.



Obrázek 6 Flexibilní PVC hadice [65]

Do místností je vzduch přiváděn prostřednictvím dvou druhů vyústek. První z nich je plastový talířový ventil o vnitřním průměru 100 mm a druhou je talířový „designový“ ventil vyrobený z lakovaného hliníku, jehož vnitřní průměr je 125 mm.



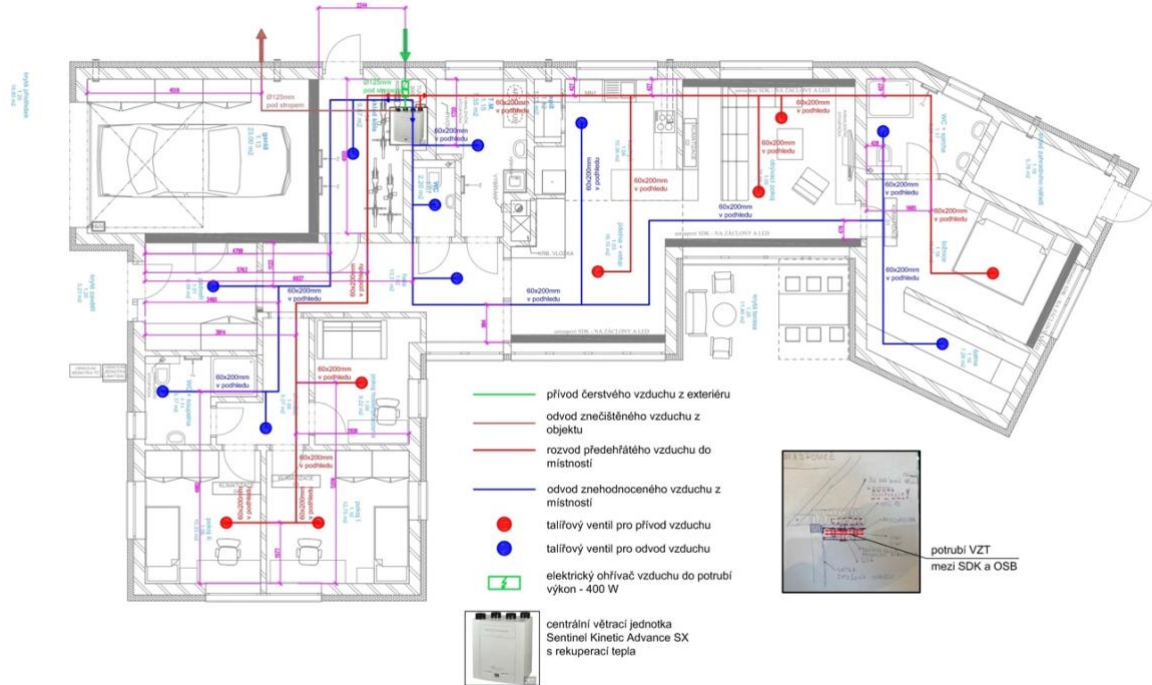
Obrázek 7 Plastový talířový ventil



Obrázek 8 Designový ventil

Návrh větrání je v Tabulka 23, kdy dle projektu je doporučené větrání nastaveno na 66 % hodnot nárazového větrání a minimální větrání je vypočítáno jako 40 % nárazového větrání. Budova je standardně větrána dle nastavení v aplikaci „Regulus IR“ na 40 % maximálního výkonu větrací jednotky s tím, že v místnostech s potenciálem většího znečištění vzduchu, tedy v obou koupelnách, WC a kuchyni se nachází tlačítko, kterým se spustí požadavek na nárazové větrání nastavený na 3 minuty. Během tohoto procesu se odvod zvýší na 277,4 m³/h a přívod na 272,6 m³/h vzduchu (naměřeno pomocí nainstalovaných průtokoměrů). Průměrný průtok vzduchu při 40% maximálním výkonu jednotky, kterým byla budova po čas měření větrána, byl 146,9 m³/h přívodního proudu a 153,4 m³/h. Budova byla větrána mírně podtlakově. Je zřejmé, že průtoky vzduchu při

výkonu jednotky 40 % neodpovídají 40 % maximálního možného průtoku. Dle návrhu je budova větrána průtoky vzduchu přesně mezi minimálním a doporučeným průtokem.



Obrázek 9 Výkres větrací soustavy (příloha č. 2)

Tabulka 23 Návrh větrání

Číslo místnosti	Název	Minimální větrání		Trvalé větrání		Nárazové větrání	
		Prívod	Odvod	Prívod	Odvod	Prívod	Odvod
		V	V	V	V	V	V
		[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]
1.01	Zádveří	-	6	-	10	-	15
1.02	Hala	-	6	-	10	-	15
1.03	Jídelna	30	-	50	-	76	-
1.04	Kuchyň	-	24	-	39	-	60
1.05	Obývací pokoj	24	-	40	-	61	-
1.06	Pokoj II.	15	-	25	-	38	-
1.07	WC	-	18	-	30	-	45
1.08	Chodba	-	9	-	15	-	23
1.09	Pracovna	9	-	15	-	23	-
1.10	Pokoj I.	15	-	25	-	38	-

1.11	WC+ koupelna	-	20	-	33	-	50
1.12	Spíž	-	-	-	-	-	-
1.14	Kolárna	-	6	-	10	-	15
1.15	Prádelna	-	6	-	10	-	15
1.16	Šatna	-	6	-	10	-	15
1.17	WC.+ sprcha	-	20	-	33	-	50
1.18	Ložnice	27,0	-	45	-	68	-
CELKEM		120	120	200	200	304	304

5.6. Popis měření

Cílem měření bylo ověřit kvalitu vnitřního prostředí určenou teplotou, relativní vlhkostí a koncentrací CO₂ a na základě průtoků stanovit produkci vodní páry v rodinném domě. Jelikož parametry vzduchu jsou ovlivněny lidmi a jejich činnostmi, byla snaha umístit měřicí zařízení do míst, kde se lidé vyskytují nejčastěji. Z tohoto důvodu byly vybrány všechny místnosti, ve kterých obyvatelé spí, a zároveň obývací pokoj, který tvoří otevřený prostor spolu s jídelnou a kuchyní a pokud nejsou obyvatelé ve svých místnostech, vyskytují se převážně v tomto otevřeném prostoru, ať už u jídelního stolu, televize či v kuchyni. Vzduchovody v kolárně, kde se nachází větrací jednotka, byly po čas měření upraveny tak, aby do nich mohly být namontovány průtokoměry a měřicí zařízení zaznamenávající teplotu a relativní vlhkost.

5.7. Měřicí přístroje

K měření požadovaných veličin byly použity tři druhy měřicích přístrojů zapůjčené od Ústavu techniky prostředí při fakultě strojní ČVUT v Praze.

5.7.1. Wöhler CDL 210

Přístroj Wöhler CDL 210 slouží k měření hladiny oxidu uhličitého (CO₂), teploty a relativní vlhkosti.

Tabulka 24 Parametry měření oxidu uhličitého

Rozsah	0 až 2 000 ppm (2 001 až 9 999 ppm je mimo rozsah)
Rozlišení	1 ppm
Přesnost	± 50 ppm ± 5 % z výsledku v rozsahu 0 až 2 000 ppm
Senzor	Stabilní NDIR senzor

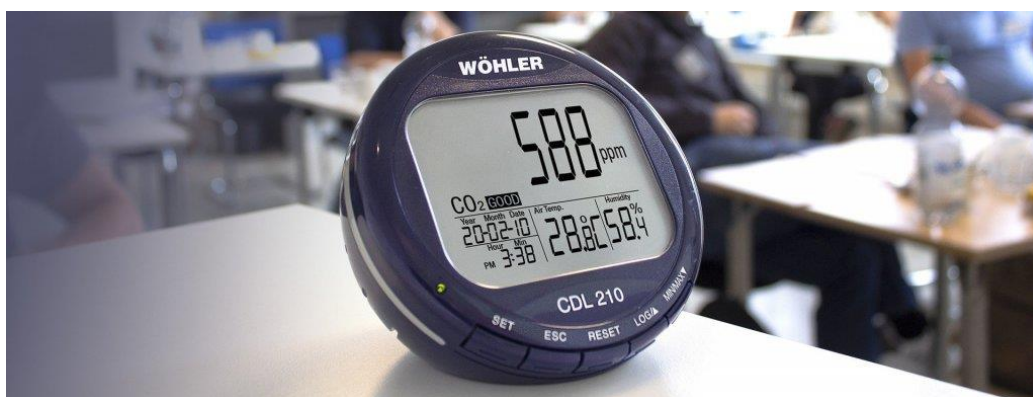
Tabulka 25 Parametry měření teploty

Rozsah	-10 až 60 °C
Rozlišení	0,1 °C (0,1 °F)
Přesnost	± 0,6 °C (± 0,9 °C)

Tabulka 26 Parametry měření relativní vlhkosti

Rozsah	5 až 95 %
Rozlišení	0,1 %
Přesnost	± 3 % (10 až 90 %, 25 °C) 5 % (jiné hodnoty, 25 °C)

Data byla sbírána každých 5 minut na čtyřech různých místech v domě a byla stahována v průměru jednou za dva týdny, nicméně paměť měřicích přístrojů by dokázala uchovat až 19 dní měření. Data byla exportována do csv formátů pomocí programu CDL210-KM4 10-INT.

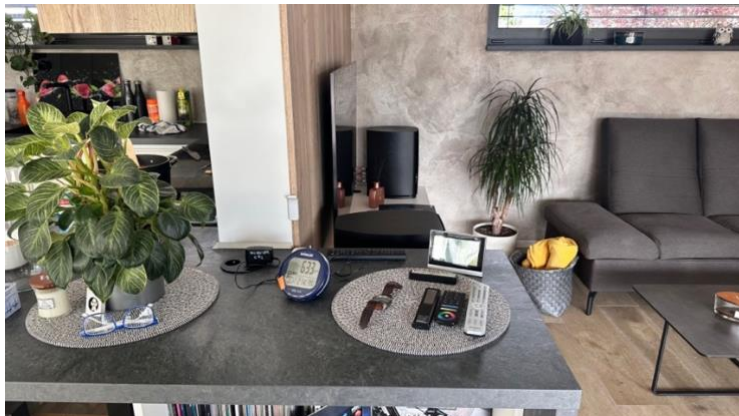


Obrázek 10 Měřicí zařízení Wöhler CDL 210 [68]

Napájení těchto měřáků bylo v průběhu celého měření z elektrické sítě.

První měřicí zařízení bylo umístěno na barové desce ve výšce 93 cm mezi obývacím pokojem (1.05), jídelnou (1.03) a kuchyní (1.04). Toto místo bylo vybráno díky své pozici uprostřed otevřeného centrálního prostoru a zároveň se nenacházelo v blízkosti místa, kde by lidé trávili delší dobu a výsledné veličiny by byly ovlivněny jejich blízkou přítomností. Nejbližším znečišťovatelem vzduchu byla varná deska, která byla ale vždy používána se

zapnutou digestoří a dle naměřených dat nebyla tímto zdrojem ovlivněna. V tomto centrálním prostoru se nachází vyústky jak pro přívod, tak pro odvod vzduchu.



Obrázek 11 Umístění v obývacím pokoji 1.05

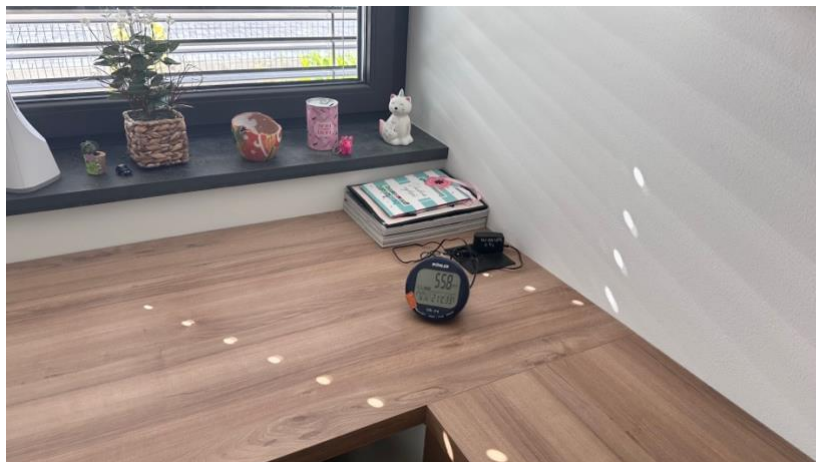
Druhé měřicí zařízení se nacházelo v ložnici 1.18, kterou standardně obývají přes noc dva lidé. Měřicí zařízení se nacházelo na stoličce ve výšce 39 cm v rohu pokoje. Dveře spojující ložnici s centrální částí domů bývají běžně zavírány, nicméně větrání je v této části zajištěno jak dvěma přívodními ventily v ložnici, tak jedním odvodním ventilem v koupelně a v šatně, kde dveře mezi těmito místnostmi bývají otevřené.



Obrázek 12 Umístění v ložnici 1.18

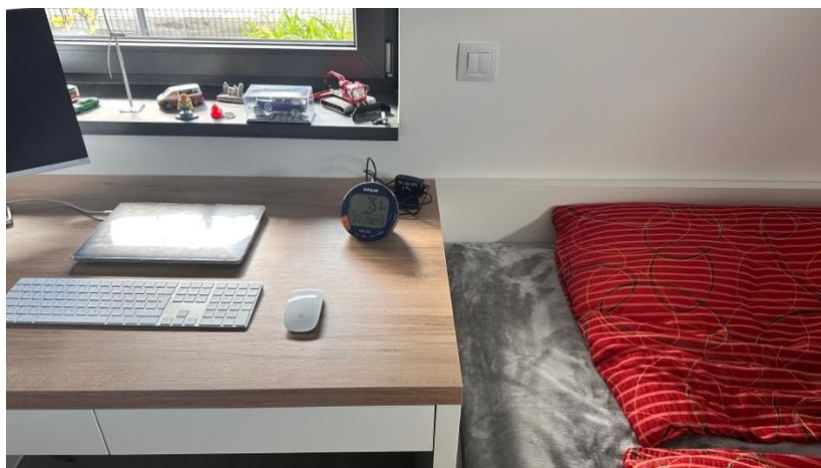
Třetí měřicí zařízení se nacházelo v pokoji 1.10 15leté slečny, která v něm tráví čas jak v noci, tak během volných chvil odpoledne a o víkendu. Do této místnosti je vzduch pouze

přiváděn stropní vyústkou, k odvodu vzduchu slouží stropní vyústka na chodbě, nicméně dveře mezi těmito dvěma místnostmi bývají většinou zavřené.



Obrázek 13 Umístění v pokoji 1.10

Čtvrté měřicí zařízení se nacházelo v pokoji 1.06 na pracovní desce ve výšce 77 cm v pokoji 22letého muže, který je během pracovního týdne neobydlen a je obýván pouze o víkendech. Tento pokoj sousedí s pokojem zmiňovaným v předchozím odstavci a systém větrání je s ním technicky totožný. Nachází se v něm stropní vyústka sloužící k přívodu vzduchu, k odvodu slouží stropní vyústka na chodbě, případně v koupelně. Dveře mezi tímto pokojem a chodbou jsou v době přítomnosti osoby zavírány.



Obrázek 14 Umístění v pokoji 1.06

Porovnání měřicích zařízení Wöhler CDL 210

Zařízení byla verifikována před začátkem měření Ústavem techniky měření FS ČVUT, což bylo zkontrolováno v průběhu měření ponecháním třech zařízení vedle sebe

v konstantních podmínkách obývacího pokoje. Rozdíl hodnot všech veličin byl do 17 ppm.



Obrázek 15 Porovnání měřicích zařízení

5.7.2. Omega OM-92

Pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu přímo v potrubí byla použita čtyři měřicí zařízení Omega OM-92 díky své kompaktnosti a širokému rozsahu. Každý byl napájen vlastní baterií GR 2032, které byly u měřicích zařízení na sání a výfuku jednou v průběhu

měření měněny. Nižší výdrž baterie těchto dvou dataloggerů byla způsobena vystavením se teplotám pod bodem mrazu klidně i několik dní v kuse.

Stahování dat probíhalo přes program Omega OM-90 Series Data Logger Software (1.2.19)

Tabulka 27 Parametry měření teploty

Rozsah	-30 °C až 80 °C (-22 až 176 °F)
Rozlišení	0,01 °C
Přesnost	± 0,3 °C v rozsahu 5 až 60 °C
Kalibrační přesnost	25 °C ± 20 °C ± 0,1 %

Tabulka 28 Parametry při měření relativní vlhkosti

Rozsah	0–100 %
Rozlišení	0,01 %
Přesnost	± 3 % v rozsahu 20 až 80 % ± 5 % pod 20 % a nad 80 %
Kalibrační přesnost	25 % ± 1,8 %



Obrázek 16 Měřicí zařízení Omega OM-92 [69]

Všechna čtyři měřicí zařízení byla umístěna v potrubí větracího zařízení v kolárně domu v blízkosti větrací jednotky. Měřicí zařízení sloužící k měření nasávaného a vyfukovaného proudu vzduchu byla umístěna do vstupního a výstupního otvoru větrací jednotky. Zbývá dvě zařízení byla umístěna do tepelně-izolačního potrubí o průměru 125 mm mezi průtokoměry a tlumiče hluku. Měřicí zařízení byly zajištěna provázkem a

lepící páskou pro případ dlouhodobě vyšších rychlostí proudícího vzduchu. Ztráty mezi vývody z větrací jednotky a měřicími zařízeními byly díky vlastnostem potrubí zanedbatelné.



Obrázek 17 Umístění měřicího zařízení na straně sání



Obrázek 18 Umístění měřicího zařízení na straně odvodu

Verifikace měřicích zařízení OM-92

Před začátkem měření v domě byla zařízení umístěna na tři dny do klimatické komory na Ústavu techniky prostředí FS ČVUT, kde byly ponechány na židli za konstantní teploty

a relativní vlhkosti. Naměřená data byla porovnána s kalibrovaným měřicím zařízením Omega OM-SP2000, který ležel na židli s nimi.

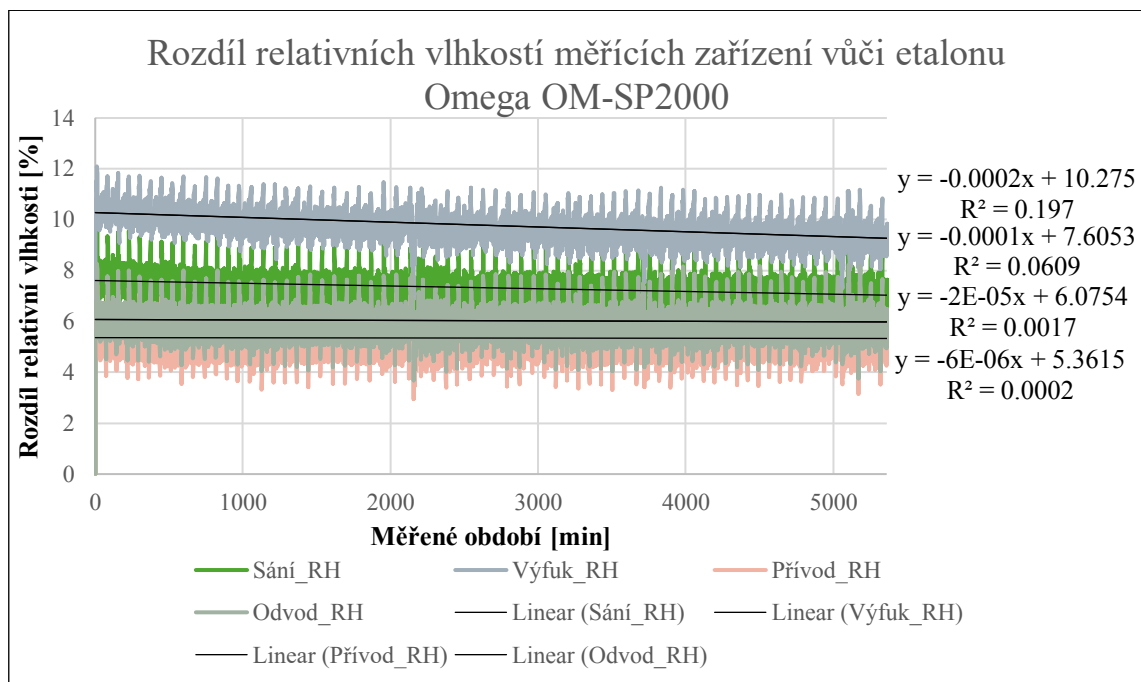


Obrázek 19 Verifikace měřicích zařízení 1



Obrázek 20 Verifikace měřicích zařízení 2

Z naměřených dat bylo zjištěno, že všechna měřicí zařízení měřila totožné teploty, nicméně hodnoty relativní vlhkosti se liší.



Obrázek 21 Rozdíl relativních vlhkostí měřicích zařízení vůči etalonu OMEGA OM-SP2000

Po vyhodnocení kalibrace byly hodnoty relativních vlhkostí zkalibrovány. Primárně byly korekce zvoleny dle absolutního členu v lineární rovnici regrese rozdílu a následně byly upravovány s přesností na desetiny tak, aby průměrná chyba byla co nejnižší.

Tabulka 29 Korekce zjištěné po kalibraci

Původní umístění	Korekce RH [%]	Průměrná chyba
Sání	-7,4	0,03
Výfuk	-9,8	0,05
Přívod	-5,4	0,03
Odvod	-6,1	0,03

5.7.3. Lindab FTMU-125-GALV

Pro měření průtoku vzduchu byly použity dva ultrazvukové průtokoměry Lindab FTMU-125-GALV o vnitřním průměru 125 mm. Průtokoměry nebyly v provozu po celou dobu měření, byly zapínány pouze při zásahu do vzduchovodů, tedy při stahování dat ze zařízení Omega OM-92, při němž musely být vzduchovody rozloženy a znovu složeny. K vyčtení dat sloužil buď integrovaný displej, nebo mobilní aplikace Lindab OneLink, ke které mohl být však v jednu chvíli připojen pouze jeden průtokoměr pro ukládání dat.

Průtokoměry byly umístěny do potrubí mezi větrací jednotku a tlumiče hluku, tedy do části, která přivádí a odvádí vzduch z budovy do větrací jednotky.

Tabulka 30 Parametry měřicího zařízení

Rozsah rychlostí	0,2 až 15 m/s
Teplotní rozsah	-10 až 50 °C
Přesnost měření	± 1,25 l/s



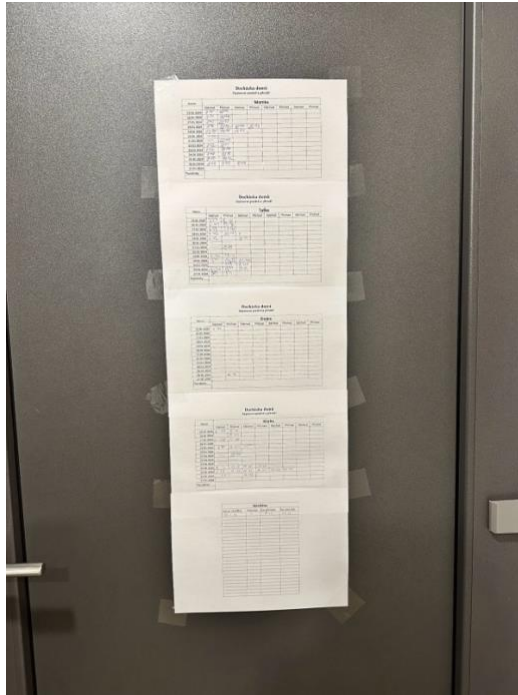
Obrázek 22 Umístění průtokoměrů v EPP potrubí

5.8. Metodika a cíl měření

Cílem měření bylo objektivně zachytit a zanalyzovat v co nejpřesnější míře bilanci vlhkosti v domácnosti, která je vybavena dnes již pro novostavby běžnými technologiemi pro udržování optimálních podmínek vnitřního prostředí. Místa pro měřicí zařízení byla vybrána tak, aby byla co nejbližší zdrojům vlhkosti a dokázala reflektovat změny vlhkosti i na hodinové bázi v závislosti na přítomnosti osob, případně i jejich přítomnosti v konkrétních místnostech.

Přítomnost osob uvnitř byla evidována jejich zapisováním příchoďů a odchodů z domu. Tento zapisovací arch byl přilepen v zádveři na vchodové dveře, což napomohlo co nejnižší chybovosti dat. Každý obyvatel domu měl svoji tabulku, do které bylo potřeba zapsat pro daný den (jeden den = jeden řádek) pouze časy odchodů a příchoďů. Návštěva byla zapisována do tabulky na posledním listě. Při zpětném zpracování dat bylo zjištěno pouze několik málo nepřesných zápisů, což znamená, že byl člověkem zapsán buď

příchod, nebo odchod, ale ne obojí. Tyto nejasnosti byly konzultovány a vyřešeny přímo s konkrétními osobami.



Obrázek 23 Zapisovací arch na vchodových dveřích

5.9. Vlhkostní zisky v domě

Zdroje vodní páry v domě představují jeho obyvatelé, kteří navlhčují prostor svým dýcháním a pocením se. Dům je obýván po celou dobu měření třemi lidmi (52, 49, 15 let) a jedním člověkem (22 let) o víkendu. Dalším zdrojem vlhkosti je šest měsíců starý kocour vyskytující se převážně v kolárně a hale. Součástí domácnosti jsou také květiny umístěné v pokojích sloužících k odpočinku a obývacím pokojí. Mezi lidské činnosti,

při nichž je produkováno nejvíce vodní páry, patří vaření realizované v kuchyni, sprchování ve dvou koupelnách a občasné mytí nádobí mimo automatickou myčku.

Praní prádla a jeho sušení není považováno za vlhkostní zisk, jelikož tento proces probíhá v automatické pračce a sušičce, které dle analýzy v teoretické části nenavlhčují vnitřní prostor. Sušení na sušáku není v domácnosti provozováno.

5.10. Měřené období

Data byla zaznamenávána od 4. 1. 2024 od 0.00:00 do 25. 2. 2024 22.00:00, tedy celkově 52 dní a 22 hodin. Měřicí zařízení Wöhler CDL 210 sbírala data každých 5 minut, Omega OM-92 každou minutu.

5.11. Výsledky měření

5.11.1. Klimatické údaje

O charakteru počasí v měřeném období vypovídají data z měřicího zařízení umístěného v sání vzduchovodu do větrací jednotky.

Tabulka 31 Venkovní klimatické podmínky během měření

	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Den
Maximální teplota	15,8	49,1	16. 2. 2024 15:35
Minimální teplota	-8,0	60,5	10. 1. 2024 3:49
Průměrná teplota	5,5		

Dle dat ČHMÚ z let 2012 až 2021 [66] plyne průměrná teplota v lednu $-0,8\text{ °C}$ a v únoru $0,2\text{ °C}$, naměřená hodnota $5,5\text{ °C}$ je tedy výrazně vyšší. Na sání do domu je umístěn průtokový ohřívač ET-VZT-0,4-125 s příkonem 400 W. Dle technického listu [67] je jeho požadovaný minimální průtok $30\text{ m}^3/\text{h}$ a při průtoku vzduchu $150\text{ m}^3/\text{h}$ je minimální teplota -3 °C , při které dokáže ohřát vzduch na 5 °C . Jelikož byla v lednu naměřena průměrná teplota $5,5\text{ °C}$, můžeme z ní usoudit, že průtokový ohřívač funguje dle nastavení. Vliv na vyšší teplotu může mít i obytná zástavba v místě sání vzduchu, ale i ohřev vzduchu od obálky budovy, případně od výfuku vzduchu z domu, jelikož otvory jsou od sebe vzdáleny pouze 71 cm. Neméně podstatné může být i samotné umístění

měřicího zařízení na vstupu do výměníku, kdy vzduch je ohříván ve vzduchovodu vzduchem v kolárně.

Tabulka 32 Parametry vzduchu během měření

	Dům	Obývací pokoj 1.05	Ložnice 1.18	Pokoj 1.06	Pokoj 1.10
Nejvyšší teplota vnitřního vzduchu [°C]	26,2	26,2	21,9	24,3	22,3
Nejnižší teplota vnitřního vzduchu [°C]	18,2	20,3	18,3	18,2	18,4
Průměrná teplota vnitřního vzduchu [°C]	20,7	22,3	20,0	20,1	20,5
Medián teploty [°C]	20,4	22,2	20,1	20,2	20,6
Nejvyšší RH [%]	51,7	47,5	51,4	51,7	46,8
Nejnižší RH [%]	14,3	14,3	25,3	17,8	17,5
Průměrná RH [%]	31,4	29,4	36,9	29,1	30,3
Medián RH [%]	30,2	29,9	37,2	29,3	30,5
Nejvyšší koncentrace CO ₂ [ppm]	1749	1114	1575	1749	1474
Nejnižší koncentrace CO ₂ [ppm]	386	390	386	386	390
Průměrná koncentrace CO ₂ [ppm]	610	587	674	518	661
Medián koncentrace CO ₂ [ppm]	581	570	592	443	682

Průměrná teplota v domě je v souladu s optimálním vyvážením mezi spotřebou energie a tepelným komfortem jeho obyvatel. V pokojích, kam se obyvatelé uchylují na noc ke spánku, byla průměrná teplota o přibližně 2 °C nižší než v obývacím pokoji, kde obyvatelé tráví volný čas. Maximální teplota vnitřního vzduchu 26,2 °C je způsobena občasným přitápěním sekundárním zdrojem tepla – dřevem v krbové vložce, které není vzduchovody rozváděno po domě. Teplo z něj slouží primárně ke zvýšení teploty v obývacím pokoji včetně jídelny a kuchyně, zároveň je jeho důvod čistě estetický. Druhá největší teplota byla naměřena v pokoji 1.06, což může být způsobeno zisky z oslunění, jelikož na rozdíl od pokoje 1.10 jsou v této místnosti méně používány předokenní žaluzie. Pokoj 1.06 má okna orientována na jih a západ, nicméně pokoj 1.10 na jih a východ. Objem pokoje 1.06 je o 20 % menší, tudíž ho jedna osoba rychleji vydýchá a ohřeje, viz

hodnoty koncentrace CO₂. Ložnice (1.18) má okno orientováno pouze na východ, tudíž v něm od dopoledne nedochází k ziskům z oslunění.

Z extrémů relativní vlhkosti vyplývá, že v obývacím pokoji (1.05) nejsou vlhkostní zisky tak vysoké jako ve zbylých pokojích a zároveň je vzduch z něho odsáván s větší intenzitou, jelikož interval extrémů maximálních hodnot je nejnižší. Relativní vlhkost je detailněji rozebrána v Tabulka 33

Nejnižší koncentrace CO₂ patrně odpovídají koncentraci oxidu uhličitého ve venkovním vzduchu 386 ppm, jelikož není náhodou, že nejnižší hodnota byla naměřena v Pokoji 1.06 i v Ložnici 1.18. Prvně zmiňovaný pokoj není klidně i několik dní v kuse obýván, ložnice 1.18 na druhé straně domu je zase nejenom odvětrávána prostřednictvím talířových ventilů z koupelny a z šatny, kam jsou dveře neustále otevřeny, ale je do ní i přiváděn vzduch. Při měření těchto minimálních hodnot se téměř neprojevil vliv rozdílné výšky umístění senzorů v místnosti, 39 cm v Ložnici 1.18, respektive 93 cm v obývacím pokoji 1.05. Maximální hodnota CO₂ byla naměřena v Pokoji 1.06, což je nejmenší obývaná místnost, do které jsou během noci zároveň zavírány dveře a vzduch se odvádí pouze dírou pod dveřmi, která je vysoká pouhých 8 mm. Naopak z maximální koncentrace CO₂ v obývacím pokoji vyplývá, že celý tento otevřený prostor od obývacího pokoje až po zádveří je kvalitně odvětráván a vzduch tu cirkuluje neznatelnými rychlostmi.

Data o koncentraci CO₂ byla brána sbírána 1252 h až 1259 h v závislosti na konkrétní místnosti. Odlišnost pro konkrétní místnosti je způsobena sbíráním dat z měřicích přístrojů, případně výkyvy měření, které nemohly být do průměru započítány.

Tabulka 33 Intervaly vlhkosti a jejich četnost

Interval vlhkosti [%]	Obývací pokoj 1.05 [%]	Ložnice 1.18 [%]	Pokoj 1.06 [%]	Pokoj 1.10 [%]
10 až 20	5%	0%	7%	3%
20 až 30	47%	11%	47%	45%
30 až 40	47%	61%	41%	48%
40 až 50	1%	28%	4%	3%
50 až 60	0%	0%	0%	0%

Tabulka 33 udává procentuální intervalové rozložení relativní vlhkosti v jednotlivých místnostech. Důležité je poznamenat, že byť maximální hodnota relativní vlhkosti

v domě převyšuje 50 %, tak v součtu tento čas pro žádnou z místností netvořil více než 0,5 h.

Optimální relativní vlhkost vnitřního prostředí by měla být v zimním období 30–60 % [7][38] Do tohoto intervalu se relativní vlhkost dostala v obývacím pokoji 1.05 v 48 % celkového času, v pokojích 1.06 a 1.10 je to podobné, pouze v ložnici 1.18 se hodnoty v tomto intervalu vyskytovaly v 89 % celkového času. Vyšší, byť stále ještě optimální vlhkosti v ložnici, bylo patrně dosahováno tím, že dveře z koupelny 1.17 do ložnice 1.18, ve které se obyvatelé sprchovali v průměru 2x denně, byly neustále otevřené a po sprchování byl zapnut na 3 minuty maximální výkon větrací jednotky, který odvedl 13,87 m³ vzduchu, ale z celého domu. Průtok vzduchu pouze z této místnosti nebyl měřen ani spočítán, ale jelikož objem místnosti je 16,5 m³, tak dost pravděpodobně z ní byla odvětrána přibližně pětina. Zbylý vlhkostní zisk ze sprchování navlhlčoval vzduch v ložnici a šatně, což je v tomto případě výhodou.

Zajímavé je porovnání pokojů 1.06 a 1.10, kdy byť pokoj 1.10 je obydlen výrazně více než pokoj 1.06, tak v něm není průměrná vlhkost o tolik vyšší.

5.11.2. Teplotní a vlhkostní faktor výměníku

Ve větrací jednotce REGULUS Sentinel Advance SX byl umístěn tepelný protiproudý výměník, jehož udávaný faktor přenosu citelného tepla dle normy ČSN EN 308 je při průtoku 150 m³/h, což odpovídá průtoku vzduchu během měření, 88,5 %. Venkovní teplota

při měření tepelného faktoru dle této normy je 5 °C a interiérová 25 °C. Během měření byla průměrná venkovní teplota 5,5 °C, vnitřní průměrná teplota v domě byla 20,7 °C.

Teplotní faktor zpětného získávání tepla ve výměníku byl vypočítán dle vzorce:

$$\eta = \frac{t_p - t_s}{t_o - t_s} \quad (15)$$

kde

t_p teplota přiváděného vzduchu za výměníkem [°C]

t_o	teplota odváděného vzduchu před výměníkem	[°C]
t_s	teplota přiváděného vzduchu před výměníkem	[°C]

Rovnice (15) je platná v případě, že větrací jednotkou proudí vzduch, jehož hmotnostní toky vodní páry přiváděného a odváděného proudu vzduchu se rovnají. [36]

$$\dot{M}_o = \dot{M}_p \quad (16)$$

kde

\dot{M}_o	hmotnostní tok vodní páry přiváděného vzduchu	[kg/h]
\dot{M}_p	hmotnostní tok vodní páry odváděného vzduchu	[kg/h]

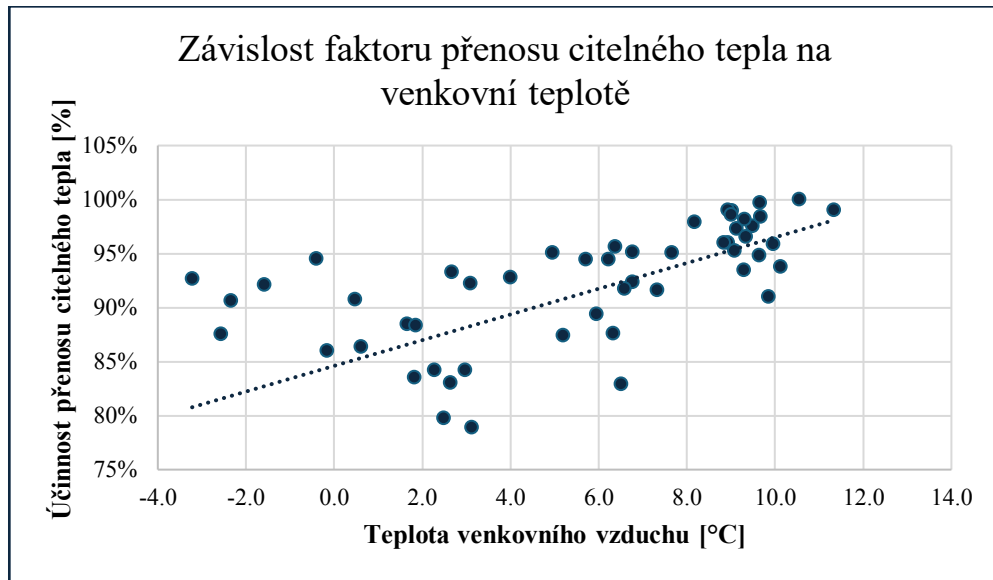
Do výpočtu bylo zahrnuto celkem 75 109minutových dat naměřených v měřeném období, z nichž u 7 266 z nich vyšel tepelný faktor zcela nesmyslně nad 100 %, tato data nebyla do výpočtu zahrnuta. Intervalové rozdělení tepelného faktoru výměníku je následující:

Tabulka 34 Intervaly účinnosti výměníku a jejich četnost

OD	DO	Účinnost [%]
0	0,1	0,0 %
0,1	0,2	0,0 %
0,2	0,3	0,0 %
0,3	0,4	0,0 %
0,4	0,5	0,0 %
0,5	0,6	0,0 %
0,6	0,7	0,0 %
0,7	0,8	6,2 %
0,8	0,9	28,7 %
0,9	1	65,1 %

Celkový naměřený tepelný faktor výměníku byla 91,8 %, což převyšuje o 3,3 % hodnotu udávanou výrobcem.

Z naměřených dat venkovní teploty a tepelného faktoru výměníku byly zpracovány průměrné denní hodnoty, ze kterých byl sestrojen následující graf.



Obrázek 24 Závislost účinnosti přenosu citelného tepla na venkovní teplotě

Účinnost přenosu citelného tepla dle Obrázek 24 stoupá s teplotou venkovního vzduchu.

Nezvyklá je bilance měrné vlhkosti uvnitř tepelného výměníku. Faktor přenosu latentního tepla η_v [-] entalpického výměníku se vypočítá analogicky s výpočtem citelného tepla, ale místo teplot jsou užity měrné vlhkosti proudu vzduchu.

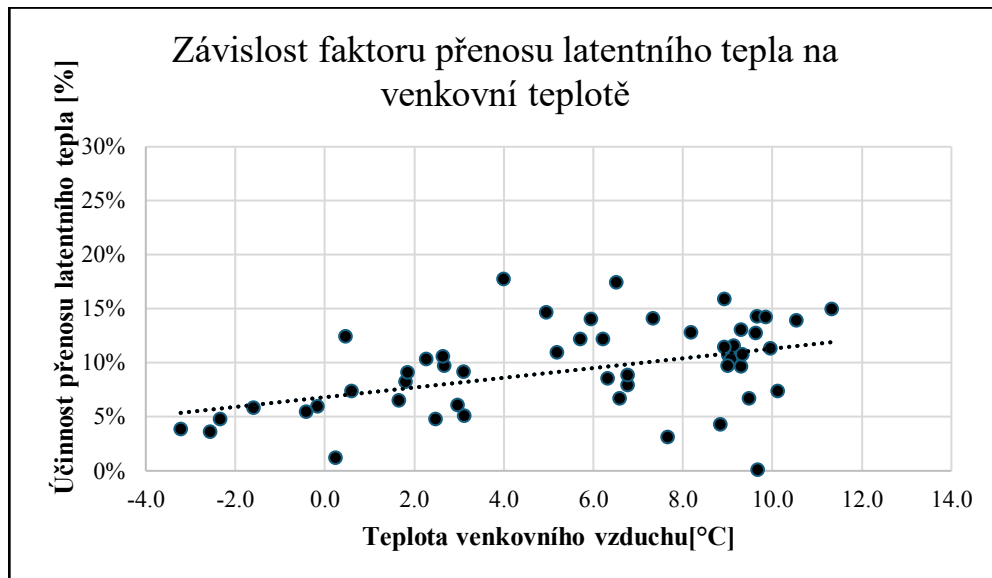
$$\eta_v = \frac{x_p - x_s}{x_o - x_s} \quad (17)$$

kde

x_p	měrná vlhkost přiváděného vzduchu za výměníkem	[kg/kg s. v.]
x_o	měrná vlhkost odváděného vzduchu před výměníkem	[kg/kg s. v.]
x_s	měrná vlhkost přiváděného vzduchu před výměníkem	[kg/kg s. v.]

Data obsahovala nezvykle vysoké hodnoty účinnosti zpětného získávání vlhkosti, které nekorespondovaly s fyzikální podstatou účinnosti. Ta data, která vycházela větší než 0,5, byla změněna na hodnotu 0,05.

Z naměřených dat exteriérové teploty a účinnosti přenosu latentního tepla byly zpracovány průměrné denní hodnoty, ze kterých byl sestrojen následující graf.



Obrázek 25 Závislost účinnosti přenosu latentního tepla na venkovní teplotě

Z grafu vyplývá, že čím vyšší je exteriérová teplota, tím větší je účinnost přenosu latentního tepla, z čehož je možno usuzovat, že výsledná účinnost není nahodilá a je závislá na teplotě stejně jako účinnost přenosu citelného tepla.

5.11.3. Bilance vlhkosti v domě

Bilance vlhkosti byla primárně stanovována na základě dat z měřicích zařízení umístěných v přívodním a odvodním vzduchovodu, tedy za, respektive před výměníkem. Za optimálního stavu, kdy by uvnitř budovy nedocházelo k vlhkostním ziskům a vnitřní prostor by byl neustále nuceně odvětráván, by se měrná vlhkost venkovního vzduchu měla rovnat hodnotě měrné vlhkosti vnitřního vzduchu. Jelikož se jednalo o budovu

obývanou a k produkci vlhkosti tu docházelo lidmi, lidskou činností, květinami, domácím zvířetem atd., byly měrné vlhkosti obou proudů v nerovnováze.

Obecná rovnice bilance vodní páry je stanovena rovnicí: [36]

$$\dot{M}_{PRODUKCE} - \dot{M}_{NV} - \dot{M}_{PV} - \dot{M}_{DIF} \pm \dot{M}_A = 0 \quad (18)$$

kde

$\dot{M}_{PRODUKCE}$	hmotnostní tok vodní páry produkované uvnitř budovy	[kg/h]
\dot{M}_{NV}	hmotnostní tok vodní páry odváděný nuceným větráním	[kg/h]
\dot{M}_{PV}	hmotnostní tok vodní páry odváděný přirozeným větráním	[kg/h]
\dot{M}_{DIF}	hmotnostní tok vodní páry odváděný difuzí	[kg/h]
\dot{M}_A	hmotnostní tok vodní páry uvolňovaný/pohlcovaný stavebními materiály, nábytkem...	[kg/h]

Byl stanoven hmotnostní tok vodní páry, která je odváděna nuceným větráním \dot{M}_{NV} , který se spočítá dle rovnice (19) [36]

$$\dot{M}_{NV} = \frac{\dot{V}_p}{60} \cdot \rho_p \cdot (x_o - x_p) \quad (19)$$

kde

\dot{V}_p	objemový průtok přiváděného vzduchu	[kg/h]
ρ_p	hustota přiváděného vzduchu	[kg/m ³]
x_p	měrná vlhkost přiváděného vzduchu před výměníkem	[kg/kg s. v.]
x_o	měrná vlhkost odváděného vzduchu před výměníkem	[kg/kg s. v.]

Jednotkou hmotnostního toku vodní páry odváděné nuceným větráním je v tomto případě [kg/min], převod na minuty byl vhodný z důvodu minutového kroku měření.

Z těchto hodnot bylo stanoveno navlhčení v jednotlivých dnech M [kg/den]. Tabulka níže obsahuje hodnoty pro konkrétní dny spolu s průměrnou teplotou venkovního vzduchu a parametrem nazývaným $Osobo_dny$, který udává průměrný počet lidí v domě. Jeden $Osobo_den$ znamená, že byl v domě člověk přítomen 24 hodin. Žlutě jsou zvýrazněny víkendové dny

Tabulka 35 Navlhčení větracího vzduchu v jednotlivých dnech

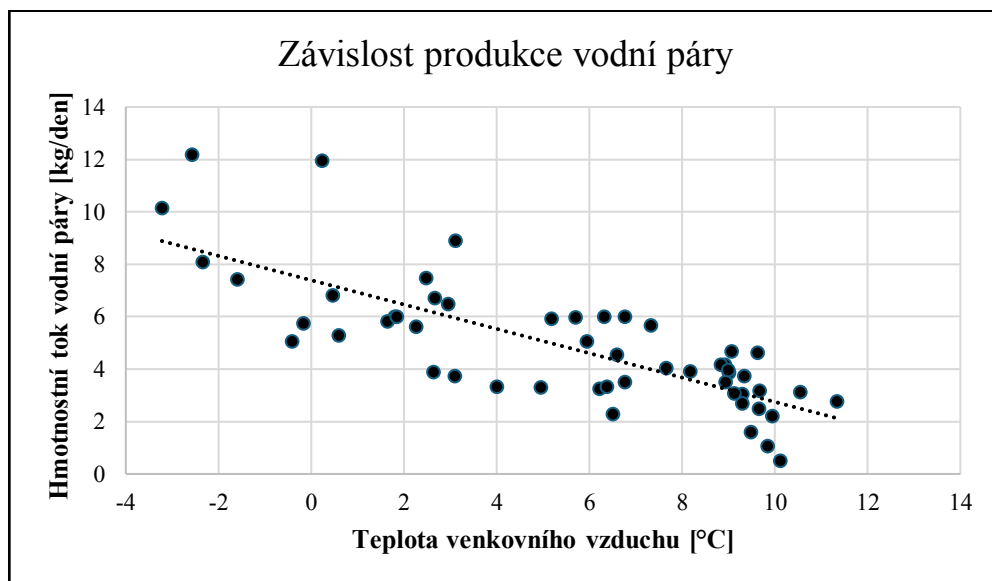
Datum	Navlhčení [kg/den]	Prům. teplota [°C]	Osobo_dny [-]	Datum	Navlhčení [kg/den]	Prům. teplota [°C]	Osobo_dny [-]
04.01.2024	4,1	8,9	1,33	01.02.2024	2,3	6,5	1,08
05.01.2024	5,0	5,9	1,67	02.02.2024	3,3	6,4	2,58
06.01.2024	5,9	5,2	2,25	03.02.2024	3,0	9,3	3,42
07.01.2024	11,9	0,2	3,29	04.02.2024	2,5	9,7	2,17
08.01.2024	12,2	-2,6	1,58	05.02.2024	2,8	11,3	1,08
09.01.2024	10,1	-3,2	1,29	06.02.2024	3,8	9,0	1,00
10.01.2024	8,1	-2,3	1,13	07.02.2024	3,9	8,2	1,58
11.01.2024	7,4	-1,6	1,75	08.02.2024	3,3	5,0	2,00
12.01.2024	5,3	0,6	1,54	09.02.2024	0,5	10,1	1,96
13.01.2024	6,0	1,8	2,29	10.02.2024	3,1	9,7	2,21
14.01.2024	6,5	3,0	3,33	11.02.2024	3,1	10,5	2,96
15.01.2024	8,9	3,1	2,21	12.02.2024	4,7	9,1	2,25
16.01.2024	7,4	2,5	2,21	13.02.2024	6,0	6,8	1,21
17.01.2024	5,8	1,7	1,46	14.02.2024	4,5	6,6	1,50
18.01.2024	3,3	4,0	2,00	15.02.2024	1,0	9,8	1,79
19.01.2024	6,8	0,5	1,29	16.02.2024	4,6	9,6	1,46
20.01.2024	5,7	-0,2	0,00	17.02.2024	2,2	10,0	0,38
21.01.2024	5,0	-0,4	0,38	18.02.2024	4,0	7,7	0,25
22.01.2024	3,7	3,1	2,54	19.02.2024	3,0	9,1	1,29
23.01.2024	3,5	6,8	2,17	20.02.2024	3,5	8,9	1,33
24.01.2024	1,6	9,5	1,92	21.02.2024	3,9	9,0	1,63
25.01.2024	4,1	8,8	1,79	22.02.2024	2,7	9,3	1,71
26.01.2024	3,2	6,2	1,75	23.02.2024	3,7	9,3	1,54
27.01.2024	6,0	5,7	2,58	24.02.2024	5,6	7,3	2,83
28.01.2024	6,7	2,7	2,50	25.02.2024*	6,0	6,3	3,42
29.01.2024	6,0	1,8	1,83				
30.01.2024	5,6	2,3	1,29				
31.01.2024	3,9	2,6	1,29				

*25.2.2024 bylo měřeno 22 hodin, tudíž byly získané hodnoty vynásobeny 12/11

Tabulka 36 Průměrné navlhčení podle dnů v týdnu

Den v týdnu	Prům. navlhčení [kg/den]
Pondělí	5,9
Úterý	5,7
Středa	4,5
Čtvrtek	3,5
Pátek	4,0
Sobota	4,7
Neděle	5,7

Tabulka 36 s hodnotami průměrného navlhčení v závislosti na dnu v týdnu pouze popisuje chod dané domácnosti a nelze z ní vznášet závěry, jelikož se obyvatelé každé domácnosti chovají rozdílně.

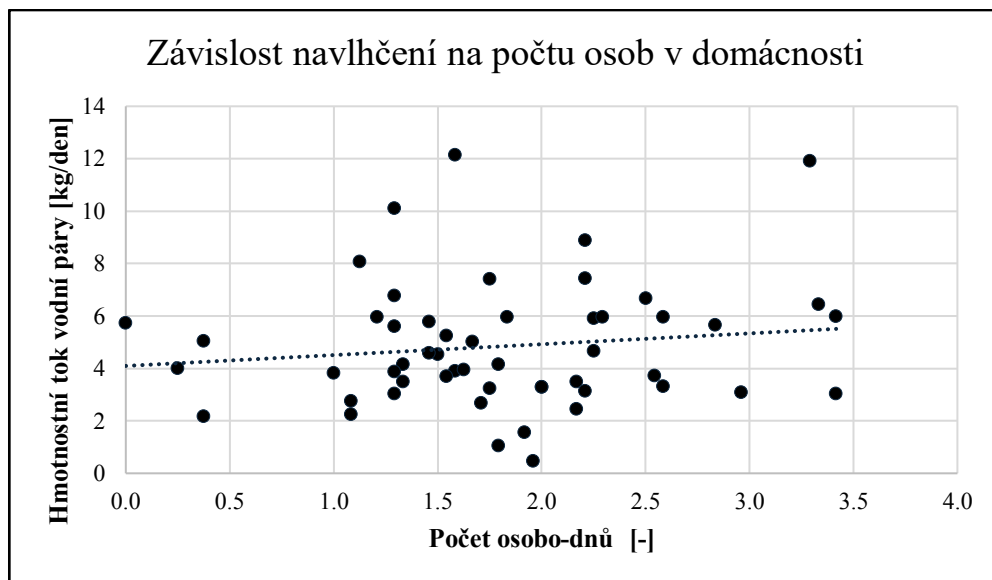


Obrázek 26 Závislost produkce vodní páry

Vybrané období bylo optimální z hlediska počasí, jelikož se v něm průměrná denní teplota venkovního vzduchu vyskytovala v širokém spektru včetně denních průměrů pod bodem mrazu. Po proložení křivkou lineární regrese byla zjištěna závislost mezi teplotou a hmotnostním tokem vodní páry odváděné nuceným větráním \dot{M}_{NV} . Pokud by v domě nebylo instalováno nucené větrání, tato vodní pára by zůstávala ve vnitřním prostoru, případně by byla odváděna přirozeným větráním společně s citelným teplem, s jehož

odvodem by se ochlazoval vnitřní vzduch a budova by byla méně energeticky soběstačná. Z výsledků v grafu je patrné, že čím vyšší je teplota venkovního vzduchu, tím méně vodní páry je odváděno nuceným větráním. Nicméně z rovnice (18) je patrné, že celková bilance vodní páry musí být rovna 0. Pokud je tedy méně vodní páry odváděno nuceným větráním a je předpokládáno, že produkce vodní páry je stále stejná, musí být více vodní páry odváděno přirozeným větráním. Tento předpoklad vyplývá z psychologického chování obyvatel, kdy, pokud je teplota venkovního vzduchu vyšší, tak obyvatelé nechávají déle otevřené dveře, vstupují častěji HS portály na terasu, otevírají okna atd. Předpokládáme, že odvod vodní páry difuzí přes stavební konstrukci klesá společně s klesající teplotou, jelikož platí, že chladnější vlhký vzduch má nižší parciální tlak vodní páry a tudíž je tlakový spád, na němž je přímo závislý hmotnostní tok vodní páry, nižší, viz rovnice (19)

Obrázek 26 nereflektuje počet osob v domácnosti, které mají na produkci vodní páry vliv.



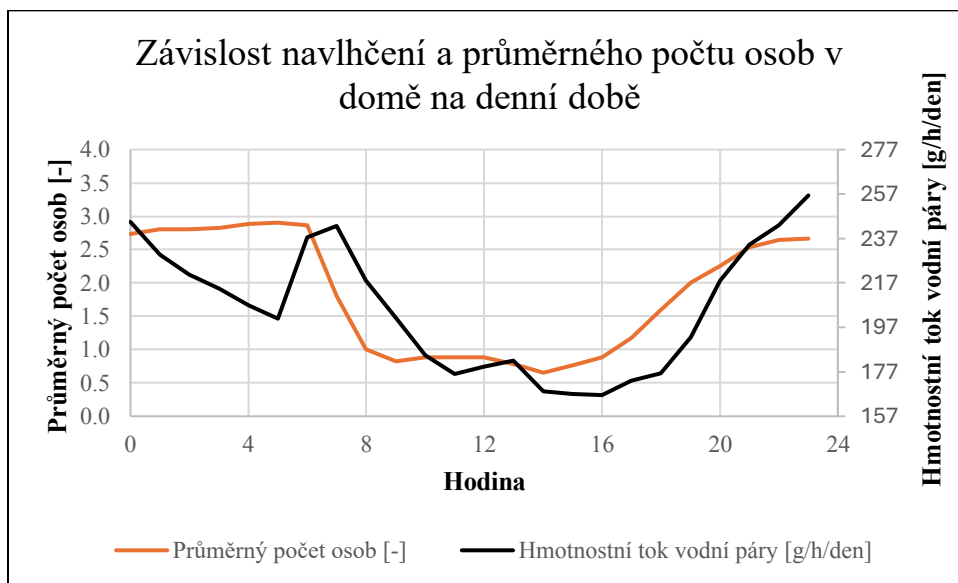
Obrázek 27 Závislost navlhčení na počtu osob v domácnosti

Obrázek 27 znázorňuje závislost mezi navlhčením vnitřních prostor a počtem osob v domácnosti v daný den. Z grafu není zřejmá výrazná závislost mezi počtem lidí v domě a hmotnostním tokem vodní páry odváděný nuceným větráním \dot{M}_{NV} . Z tohoto grafu vyplývá, že samotní lidé nejsou největším zdrojem vlhkosti v domě. Dýcháním a pocením produkují lidé minimální množství vodní páry v porovnání s činnostmi, které v domácnosti vykonávají a při kterých se uvolňuje velké množství vodní páry.

Z Obrázek 27 vyplývá trend, že čím více lidí je uvnitř domu, tím více je vzduch navlhčován, což je očekávané. Nicméně závislost to není výrazná, v době, kdy byly

v domácnosti v průměru téměř 3,5 osoby po celý den, nebylo odváděno více vlhkosti než v době, kdy byly v domácnosti 1,5 osoby.

Je důležité zmínit, že tato data nerespektují snižování a zvyšování relativní vlhkosti v celém domě. Může se tedy stát, že rozdíl v měrné vlhkosti mezi přívodním a odvodním proudem vzduchu bude minimální, tudíž v grafu bude nízká hodnota navlhčení, ale s tím, jak obyvatelé produkují vodní páru, se bude zvyšovat relativní vlhkost v domě. To stejné se mohlo dít ve dnech, kdy byl dům prázdný, nicméně stále byla odváděna vodní pára o hmotnosti 6 kg/den. Na úkor tohoto odvodu se mohla snižovat relativní vlhkost v rámci celého domu.



Obrázek 28 Závislost hmotnostního toku vodní páry na průměrném počtu osob v domě na denní době

Obrázek 28 zobrazuje závislost mezi počtem osob v domě a hmotnostním tokem vodní páry odváděný nuceným větráním \dot{M}_{NV} . Hmotnostní tok vodní páry v danou hodinu byl vypočítán jako suma veškeré odvedené vodní páry v daném časovém intervalu, tzv. konkrétní hodině, podělená počtem dnů. Průměrný počet osob v domácnosti byl vypočítán jako průměr ze všech dní v konkrétní hodině.

Z Obrázek 28 vyplývá jasná závislost mezi oběma proměnnými. Největší odchylka mezi křivkami je v nočních hodinách, přičemž navlhčení začíná stoupat až v 6 hodin ráno se vstáváním obyvatel. Z toho je patrné, že samotný člověk nevyprodukuje sám o sobě takové množství vodní páry, jako se produkuje při jeho činnosti. Obrázek 28 zároveň potvrdil to,

že se v domácnosti nenachází žádný významný zdroj vlhkosti, který by nebyl závislý na činnosti člověka.

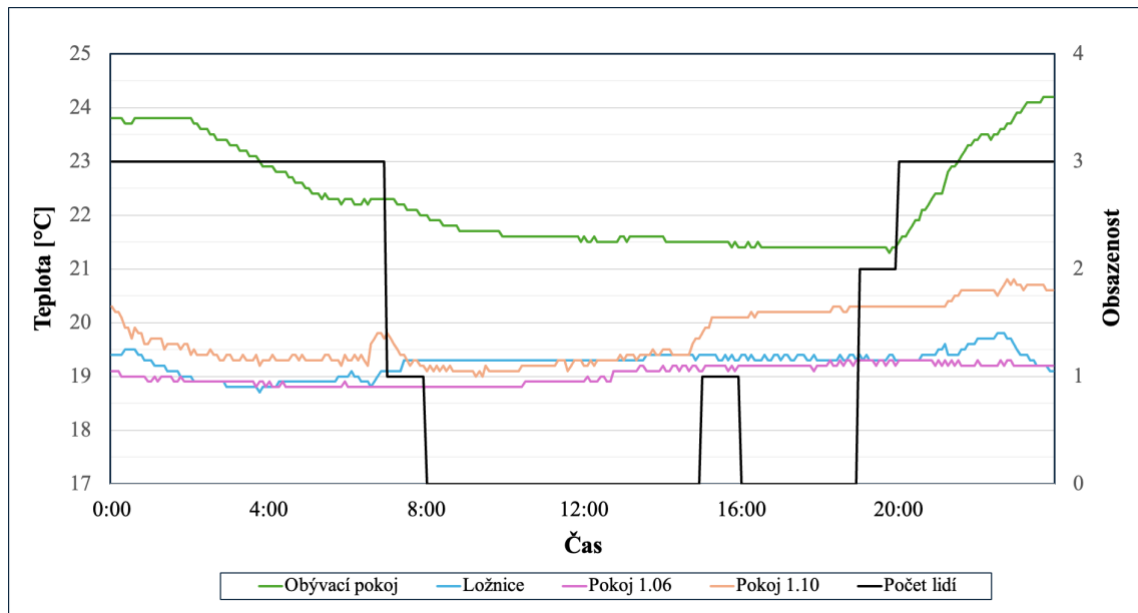
I v době, ve které byl průměrný počet osob v domě 0,7 (14:00 – 15:00), byla z domu odváděna vlhkost, a to konkrétně 168,1 g/h. Jelikož v této době v domácnosti téměř neprobíhaly činnosti spojené s aktivitou člověka a vysokými vlhkostními zisky (sprchování, vaření), jedná se o množství vodní páry, které je z vnitřních prostor odváděno bez přítomnosti člověka, a tudíž je o toto množství vysušován vnitřní prostor.

Následující statě budou věnovány vybraným dnům z intervalu měření. Charakter vnitřního prostředí je vždy popsán třemi grafy, které reprezentují závislost teploty, měrné vlhkosti a koncentrace CO₂ vnitřního vzduchu na denní době ve čtyřech pokojích, přičemž je v grafu zobrazena ještě jedna křivka popisující obsazenost vnitřního prostoru v danou dobu. Ke každému dni byla vytvořena tabulka shrnující průměrnou teplotu venkovního vzduchu nasávaného vzduchotechnikou, průměrnou měrnou vlhkost vzduchu proudícího od výměníku směrem do vnitřního prostředí domu a měrnou vlhkost vzduchu proudícího z výměníku směrem z vnitřního prostředí do výměníku. Teplota venkovního vzduchu byla měřena měřicím zařízením na sání mezi průtokovým ohřívačem a výměníkem, kdy průtokový ohřívač se zapínal dle jeho nastavení při

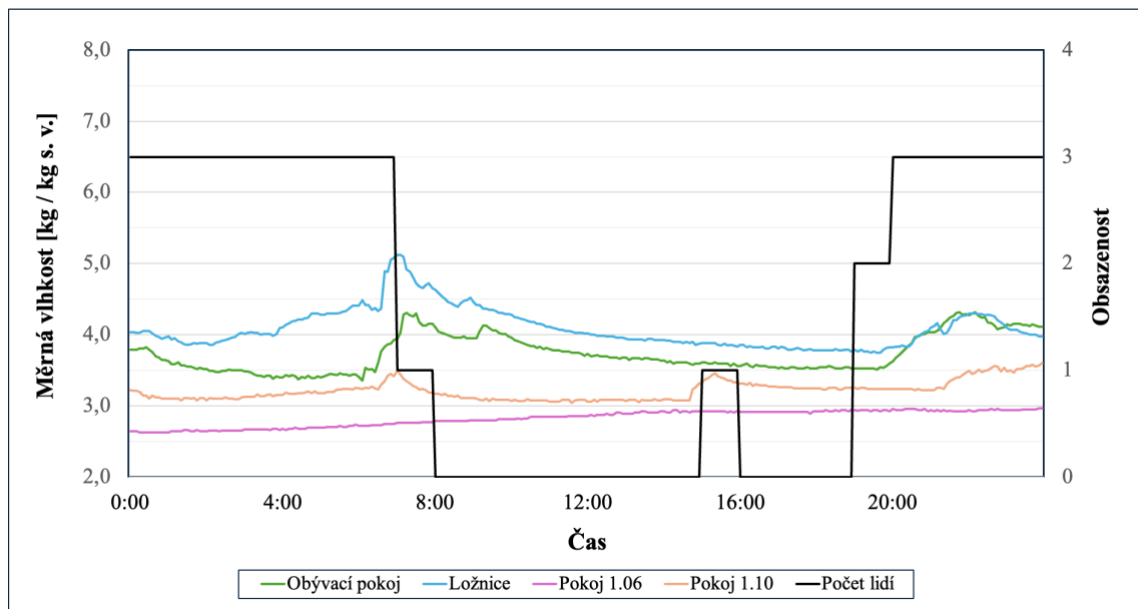
teplotách nižších než 0 °C, tudíž tato teplota nemusí odpovídat reálné teplotě venkovního vzduchu kolem domu.

Osy y všech níže uvedených grafů udávají teploty, měrné vlhkosti a koncentrace CO₂ vnitřního vzduchu.

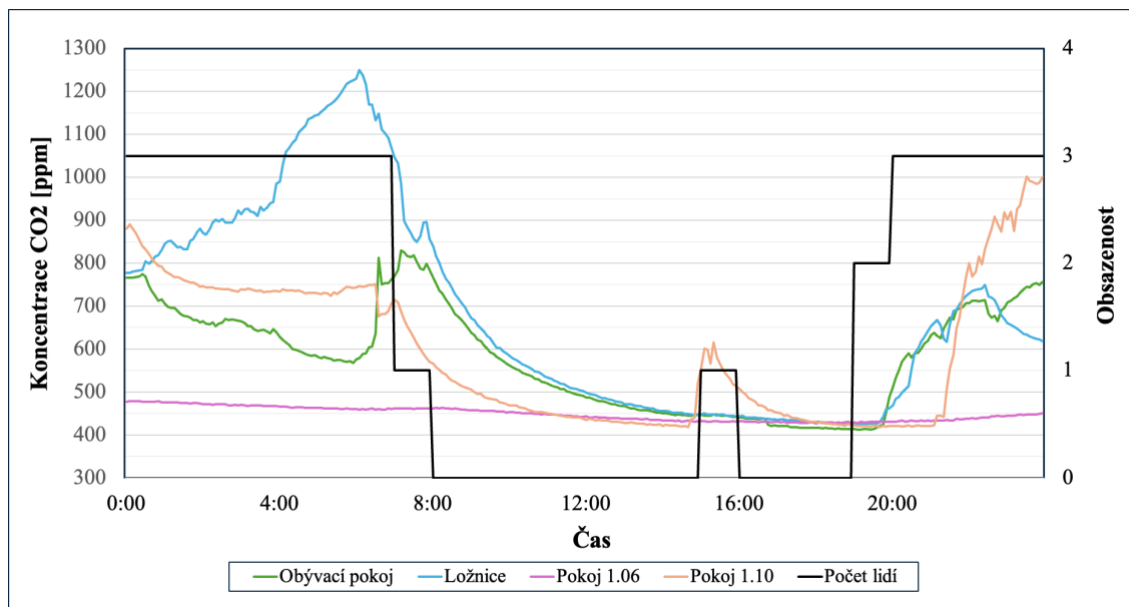
5.11.4. Analýza běžného všedního dne – pátek 12. 1. 2024



Obrázek 29 Vývoj teploty 12. 1. 2024



Obrázek 30 Vývoj měrné vlhkosti 12. 1. 2024

Obrázek 31 Vývoj koncentrace CO₂ 12. 1. 2024

Tabulka 37 Sledované parametry vzduchu 12. 1. 2024

Průměrná venkovní teplota [°C]	0,6
Průměrná měrná vlhkost – přívod [kg/kg s. v.]	4,03
Průměrná měrná vlhkost – odvod [kg/kg s. v.]	5,82

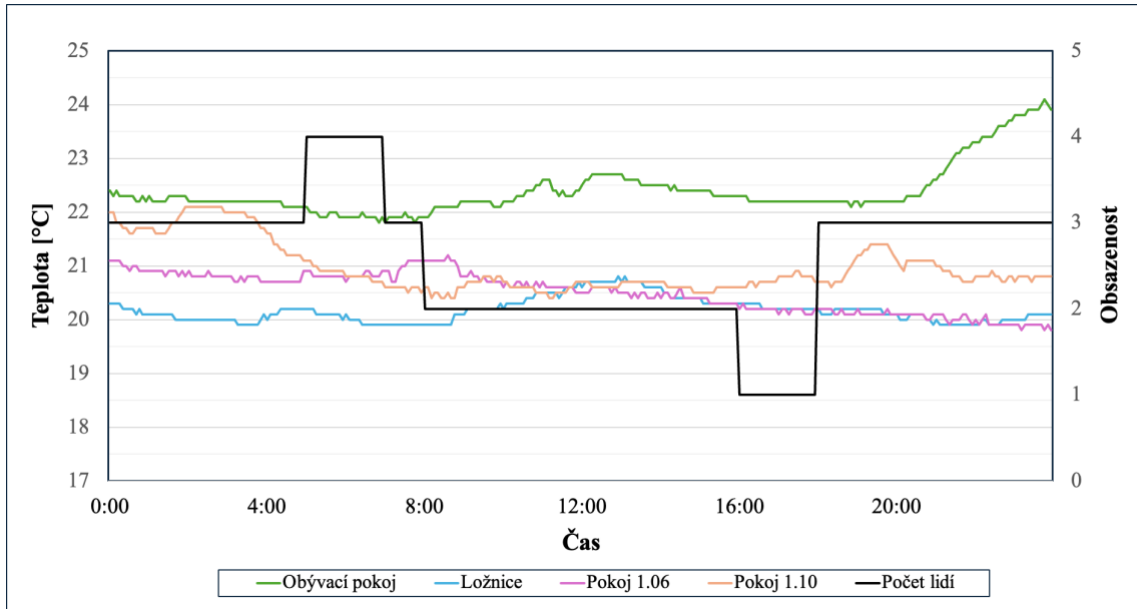
Jako zástupce všedního dne byl vybrán pátek 12. 1. 2024, který demonstruje chování vnitřního prostředí v domácnosti zastoupené dvěma dospělými a jedním dospívajícím, kteří v domě tráví noc, nicméně mezi 6:30 – 7:50 se přesouvají do svých zaměstnání a dům zůstává až do večerních hodin prázdný. Příchod obyvatel domů bývá běžně mezi 17:00 – 20:00.

Z grafu závislosti vnitřní teploty v pokojích na čase je zřejmý stabilní teplotní rozdíl mezi teplotou vzduchu v obývacím pokoji a ostatních pokojích, které slouží převážně ke spánku. V pokojích určených ke spánku je teplota vnitřního vzduchu nižší. V obývacím pokoji je teplota ve večerních hodinách ovlivněna zatopením v krbu při relaxaci dvou obyvatel v obývacím pokoji (viz graf koncentrace CO₂). Jelikož není toto teplo rozváděno vzduchovody po domě, teplota v ostatních pokojích zůstala konstantní.

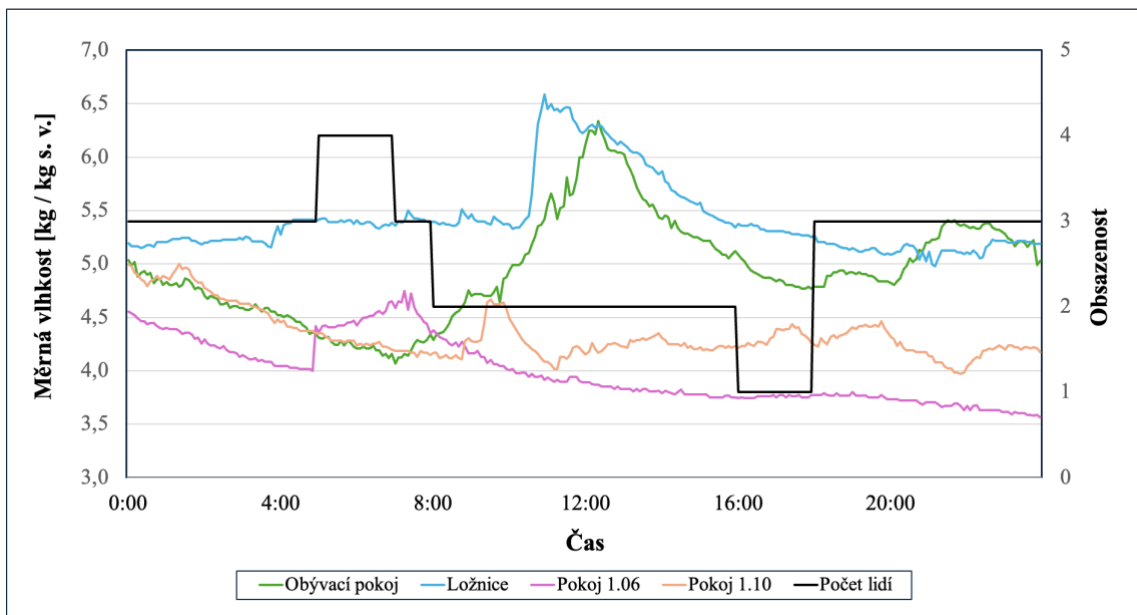
Zajímavé je, že nedošlo ani k mírnému nárůstu teploty v ložnici, což svědčí o tom, že při obvyklém chování obyvatel domu vnitřní vzduch mezi těmito místnostmi necirkuluje. Obvyklé chování obyvatel znamená, že dveře mezi těmito pokoji jsou pravidelně zavírány a nejspíše tomu bylo tak i v tomto případě. Co se týče měrné vlhkosti v místnostech, tak od půlnoci do vstávání obyvatel klesala měrná vlhkost v obývacím pokoji, nicméně ve všech ostatních místnostech rostla. V ložnici rostla nejstrměji (nacházeli se tu 2 spící lidé), nicméně v pokoji 1.06 a 1.10 rostla měrná vlhkost téměř stejně, byť v pokoji 1.10 byla přítomna spící osoba, ale v pokoji 1.06 ne. Růst vlhkosti byl tedy způsoben přívodem čerstvého vzduchu o vyšší měrné vlhkosti než byla měrná vlhkost vzduchu v pokojích. Zároveň z toho vyplývá, že se na vlhkostním profilu neprojevila přítomnost obyvatele v pokoji 1.10 a tudíž průběh měrné vlhkosti na jeho přítomnosti nezávisel. Růst měrné vlhkosti vzduchu v ranních hodinách v ložnici a v pokoji 1.10 byl spojen s ranní hygienou, jelikož se tyto pokoje nachází v blízkosti koupelen. Růst měrné vlhkosti vzduchu v obývacím pokoji je způsoben přípravou a konzumací snídaně v otevřeném prostoru. Po odchodu obyvatel z domu je patrná snaha systému srovnat měrnou vlhkost napříč pokoji k hodnotě 3 až 3,5 kg/kg s. v., která se blížila měrné vlhkosti venkovního vzduchu. Rychlost změny měrné vlhkosti však není dostatečná na to, aby po nepřítomnosti obyvatel během dne byly měrné vlhkosti stejné ve všech pokojích. Odlišná změna platí pro koncentraci oxidu uhličitého, kdy jeho odvod je velice rychlý a již kolem 15. hodiny, tedy 7 hodin po odchodu posledního obyvatele z domu, byly koncentrace srovnány. Příchod obyvatele pokoje 1.10 a jeho hodinový pobyt doma způsobil nejenom nárůst koncentrace oxidu uhličitého, ale i výrazné zvýšení měrné vlhkosti v pokoji 1.10. Při pohledu na křivku koncentrace CO₂ je patrné totožné zvyšování koncentrace této škodliviny po půlnoci, kdy patrně v ložnici spal jeden obyvateľ a v obývacím pokoji odpočíval druhý, přičemž jeho přesun do ložnice způsobil následný strmější růst koncentrace této škodliviny v ložnici a pokles v obývacím pokoji. Je nezvyklé, že růst koncentrace oxidu uhličitého není konstantní, ale kolem čtvrté hodiny ranní roste dvojnásobně rychle. Ve večerních hodinách rostla koncentrace oxidu uhličitého stejně v obou pokojích, ale kolem půl jedenácté začala koncentrace v ložnici exponenciálně klesat a v obývacím pokoji stoupat. Buď došlo k přesunu jednoho

obyvatele z ložnice do obývacího pokoje, nebo byly zavřeny dveře spojující obě místnosti.

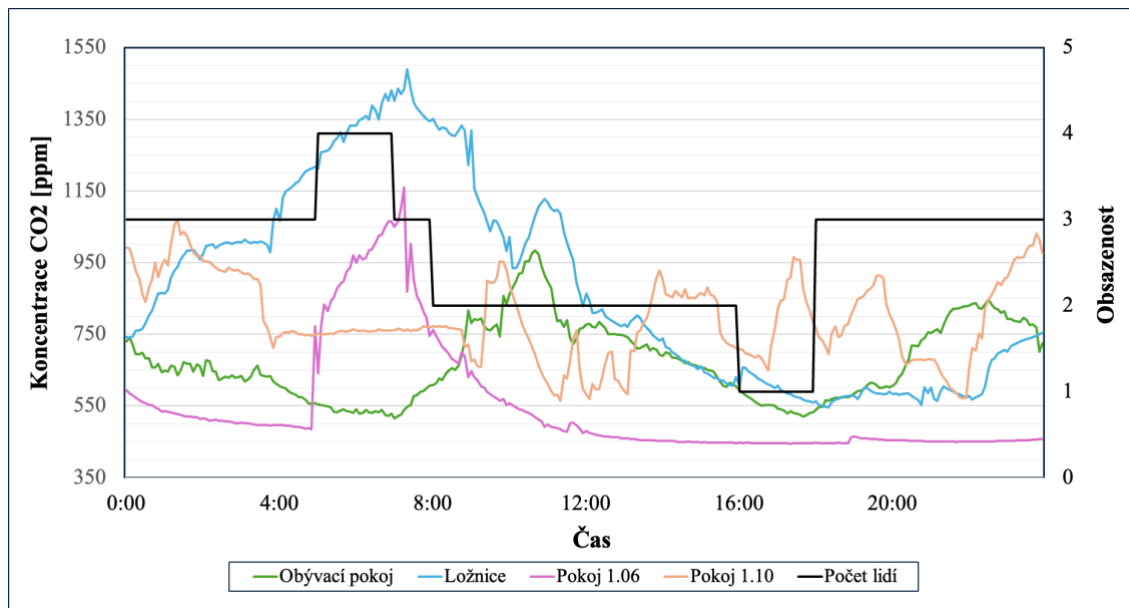
5.11.5. Analýza běžného víkendového dne – sobota 27. 1. 2024



Obrázek 32 Vývoj teploty 27. 1. 2024



Obrázek 33 Vývoj měrné vlhkosti 27. 1. 2024

Obrázek 34 Vývoj koncentrace CO₂ 27. 1. 2024

Tabulka 38 Sledované parametry vzduchu 27. 1. 2024

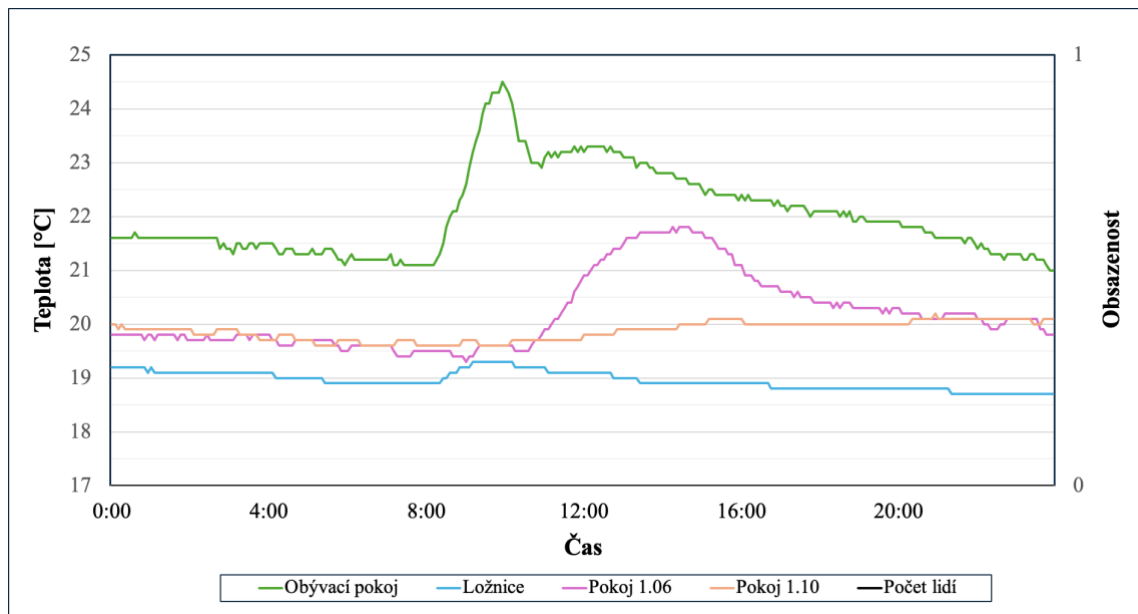
Průměrná venková teplota [°C]	5,7
Průměrná měrná vlhkost – přívod [kg/kg s. v.]	5,19
Průměrná měrná vlhkost – odvod [kg/kg s. v.]	7,24

Jedná se o typický příklad víkendového dne, kdy se jeho obyvatelé drželi po většinu dne uvnitř budovy. Doba mezi půlnocí a čtvrtou hodinnou ranní je při pohledu na graf měrné vlhkosti interpretována stejnou rychlostí poklesu jak pro pokoje 1.06 a 1.10, tak i pro obývací pokoj. Rozdíl mezi pokoji 1.06 a 1.10 byl stejně jako v pátek 12. 1. 2024 v tom, že v pokoji 1.10 se nacházel spící člověk, ale v pokoji 1.06 ne. Příchod obyvatele pokoje 1.06 a otevření dveří do chodby po čtvrté hodině ranní způsobilo vyrovnání měrné vlhkosti vzduchu v pokoji s pokojem 1.10 a obývacím pokojem. Po této hodině je zvláštní, že měrná vlhkost v pokoji 1.06 stoupá a v pokoji 1.10 klesá. Dopolední vaření v kuchyni způsobilo lineární růst měrné vlhkosti až do poledne, kdy se s vařením přestalo. Z toho je patrné, že vaření je i při zapnuté digestoři velmi výrazným znečišťovatelem vzduchu. Přírůstek měrné vlhkosti v ložnici je způsoben vysprchováním se v přilehlé koupelně a ponecháním otevřených dveří mezi pokoji. Přírůstek měrné vlhkosti při přípravě večere v kuchyni způsobil zvýšení vlhkosti v obývacím pokoji, ale ne tak výrazně jako během dopoledne. V po zbytku dne neobydleném pokoji 1.06 klesala měrná

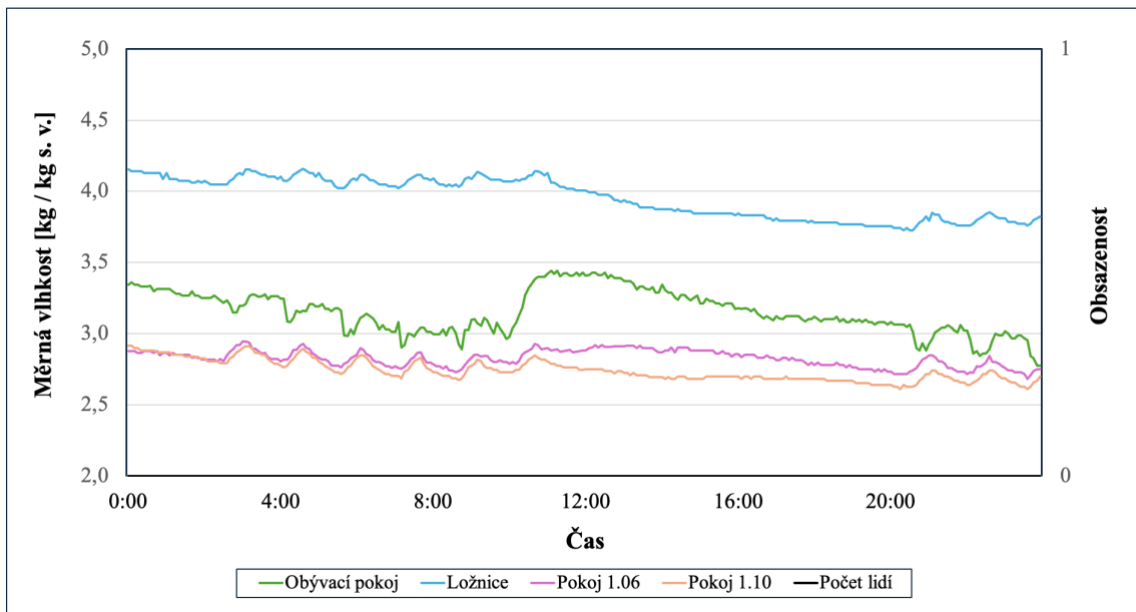
vlhkost k hodnotě 3,5 kg/kg s. v., byť měrná vlhkost přiváděného vzduchu byla 5,19 kg/kg s. v.

Koncentrace oxidu uhličitého v ložnici začala během noci strměji růst kolem čtvrté hodiny ranní, což se stalo i během analýzy v pátek 12.1.2024. Stalo se tak poté, co koncentrace CO₂ v pokoji 1.10 strmě poklesla o 200 ppm. Během dne se koncentrace CO₂ pohybovaly kolem podobných hodnot v závislosti na tom, v jakém konkrétním pokoji se nacházeli obyvatelé domu.

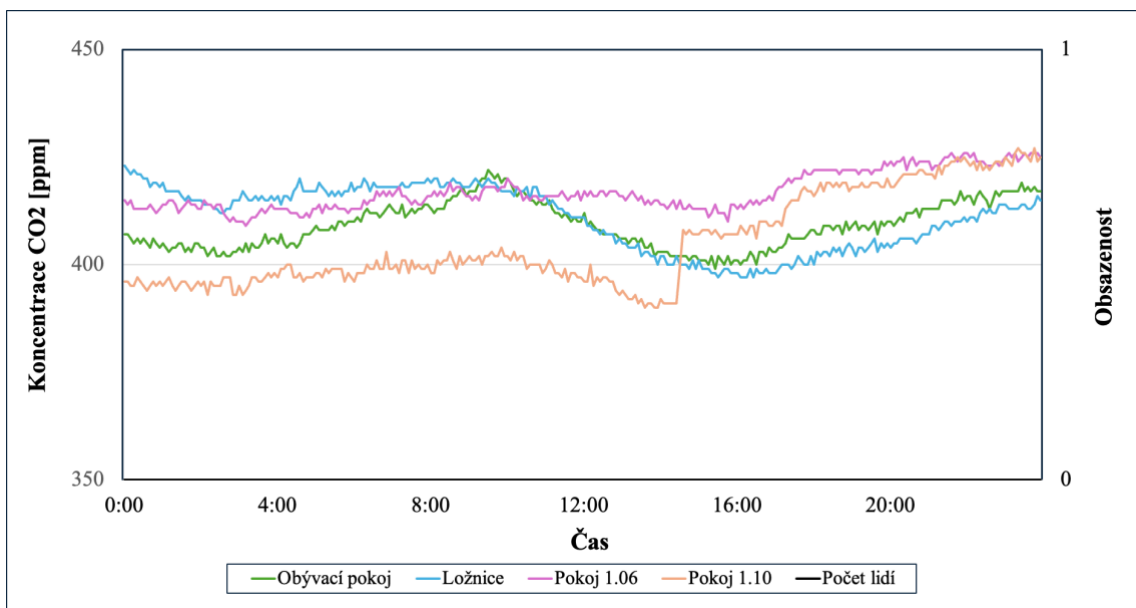
5.11.6. Analýza dne při nulovém obsazení – sobota 20. 1. 2024



Obrázek 35 Vývoj teploty 20. 1. 2024



Obrázek 36 Vývoj měrné vlhkosti 20. 1. 2024

Obrázek 37 Vývoj koncentrace CO₂ 20. 1. 2024

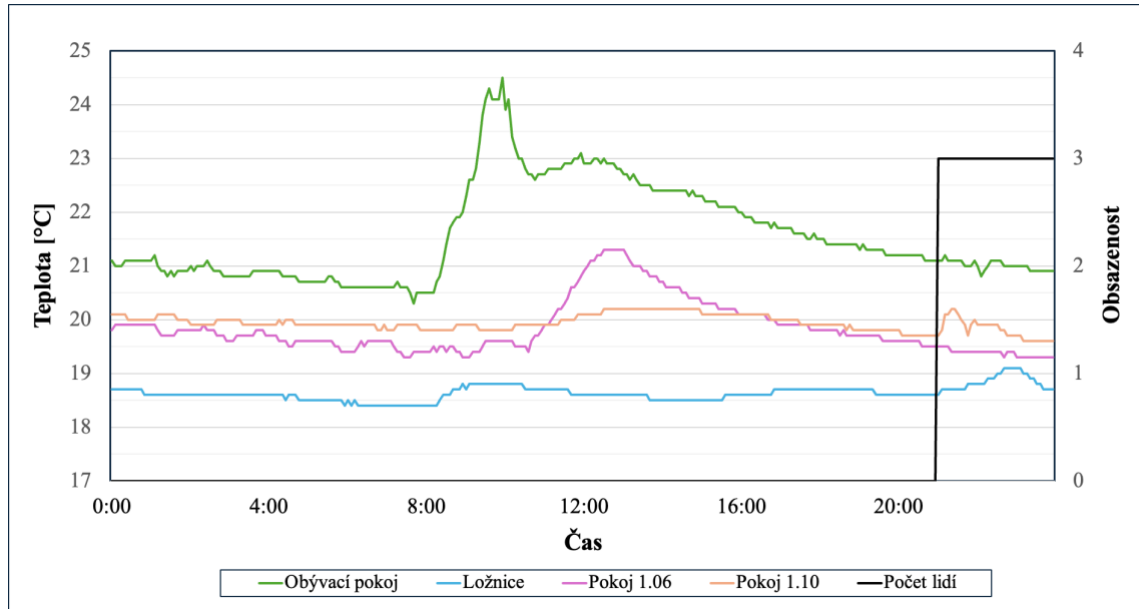
Tabulka 39 Sledované parametry 20. 1. 2024

Průměrná venkovní teplota [°C]	-0,2
Průměrná měrná vlhkost – přívod [kg/kg s. v.]	3,31
Průměrná měrná vlhkost – odvod [kg/kg s. v.]	5,28

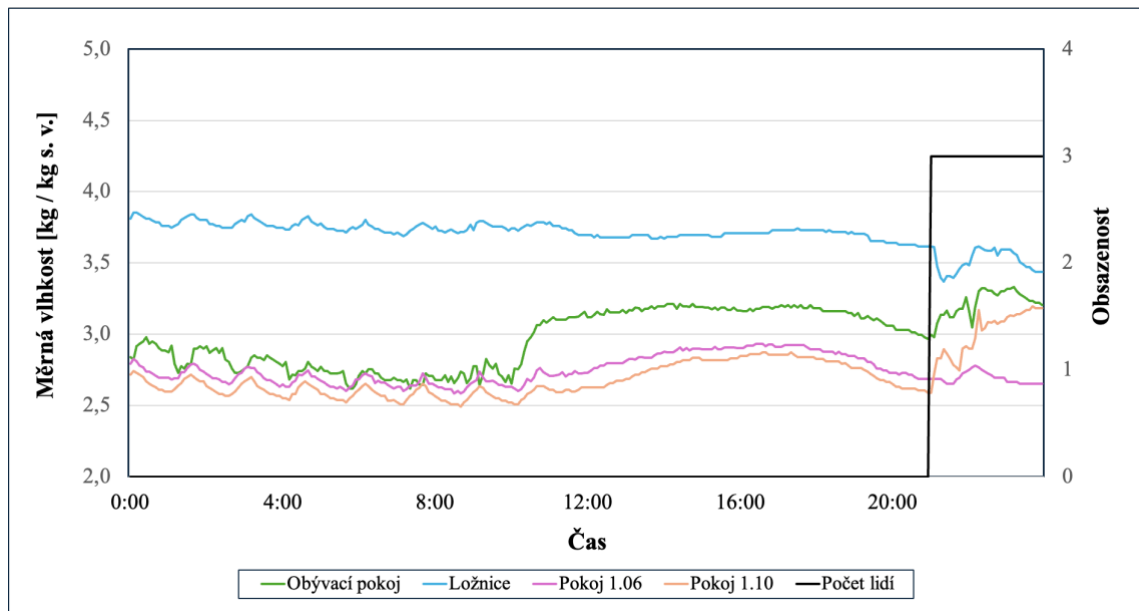
Sobota 20.1.2024 byla jediným dnem během celého měření, kdy se v domě nenacházela žádná osoba, přičemž i během noci byl dům prázdný. Větrání budovy bylo ponecháno na stejné hodnotě, tedy 40 % maximálního výkonu jednotky. Teplota v ložnici a v pokoji 1.10 byla konstantní, nicméně v obývacím pokoji a pokoji 1.06 došlo v ranních a dopoledních hodinách k růstu teplot vnitřního vzduchu. Pokud by byly tyto teploty ovlivněny průtokovým ohřivačem vzduchu, rostly by ve všech pokojích, což se nestalo. Na vině budou zisky z oslunění, jelikož oba pokoje mají okna na jižní stranu, po které se dopoledne pohybovalo Slunce. Okna na jižní stranu má nicméně i pokoj 1.10, ve kterém se zvýšení teploty neprojeví. V dopoledních hodinách docházelo k výrazné oscilaci měrné vlhkosti ve všech pokojích, což mohlo být dáno rozdílnou měrnou vlhkostní přiváděného vzduchu, která mohla být ovlivňována vodou kondenzující ve výměníku. V ložnici byla měrná vlhkost vnitřního vzduchu o 1 kg/kg s. v. vyšší než v ostatních pokojích po celý den s tím, že hodnoty měrných vlhkostí se nepřibližovaly. Jelikož se jednalo o chladný den s průměrnou venkovní teplotou pod bodem mrazu, byla měrná vlhkost přiváděného vzduchu nižší v porovnání s výše popisovanými dny. Koncentrace

oxidu uhličitého byla stálá, ve všech místnostech srovnatelná a její mírná fluktuace byla způsobována změnou koncentrace oxidu uhličitého ve venkovním vzduchu.

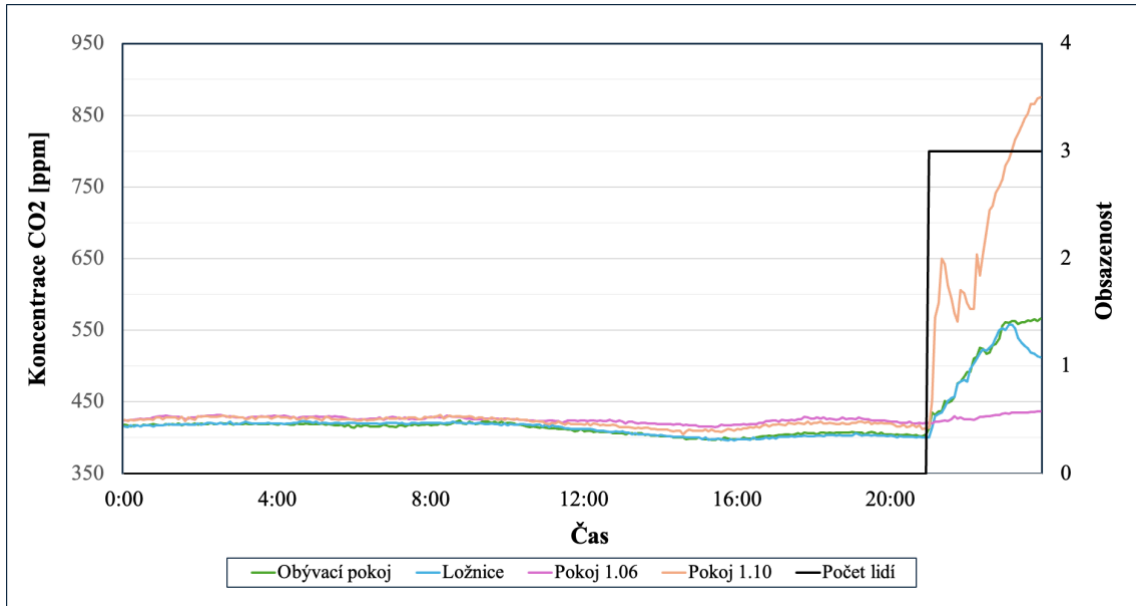
5.11.7. Analýza příjezdu osob do prázdného domu – neděle 21. 1. 2024



Obrázek 38 Vývoj teploty 21. 1. 2024



Obrázek 39 Vývoj měrné vlhkosti 21. 1. 2024

Obrázek 40 Vývoj koncentrace CO₂ 21. 1. 2024

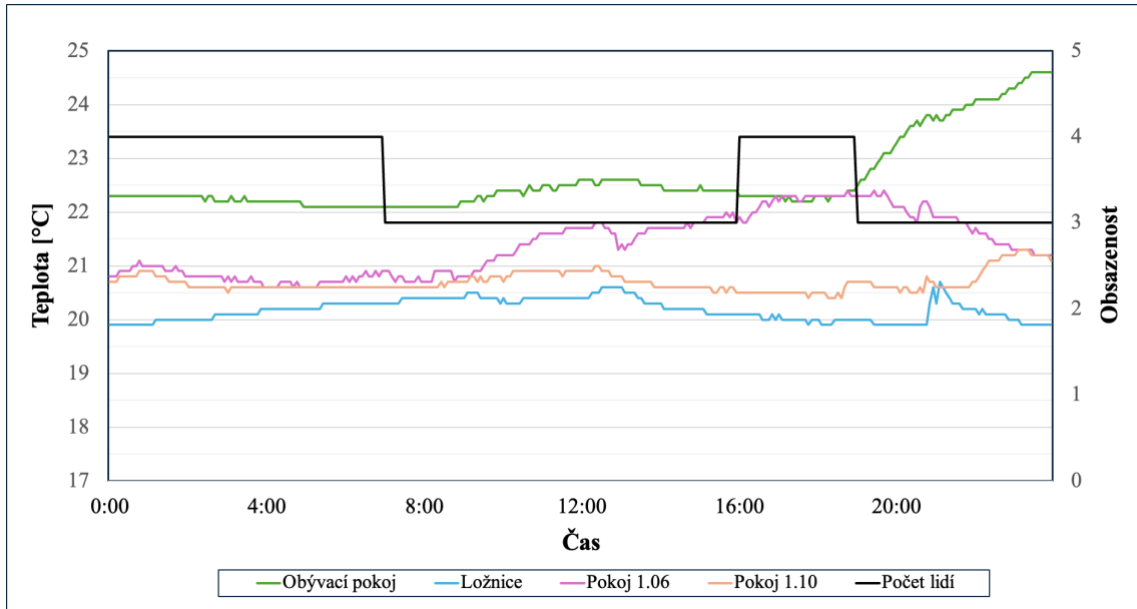
Tabulka 40 Sledované parametry vzduchu 21. 1. 2024

Průměrná venkovní teplota [°C]	-0,4
Průměrná měrná vlhkost – přívod [kg/kg s. v.]	3,31
Průměrná měrná vlhkost – odvod [kg/kg s. v.]	5,04

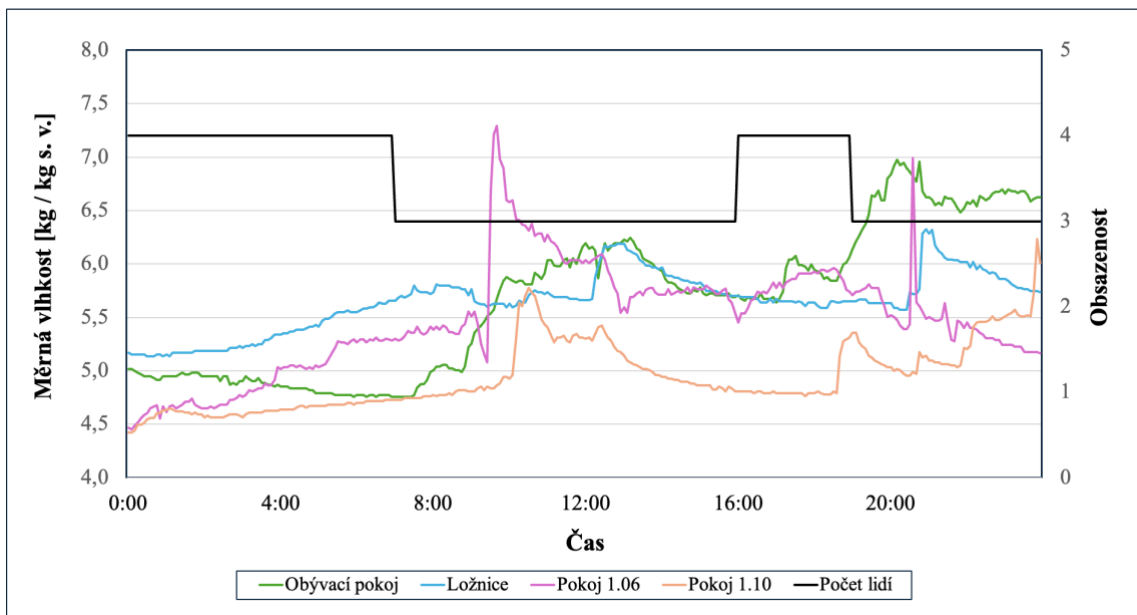
Dům zůstal prázdný až do neděle 21. 1. 2024, kdy jeho obyvatelé dorazili kolem 20. hodiny. Příjezd obyvatel neměl vliv na teploty venkovního vzduchu v pokojích, měrné vlhkosti se po příjezdu nenavýšily, ale srovnal se rozdíl v měrné vlhkosti vnitřního vzduchu mezi místnostmi. Největší vliv měl příjezd na strmé zvýšení koncentrace oxidu uhličitého v obývacím pokoji, pokoji 1.10 a ložnici, kdy v ložnici a obývacím pokoji rostly koncentrace CO₂ identicky, což se změnilo až před půlnocí. Lze s jistotou tvrdit, že

dveře mezi obývacím pokojem a ložnicí byly otevřeny, což způsobilo identický růst koncentrace. V pokoji 1.10 rostla koncentrace CO₂ výrazněji.

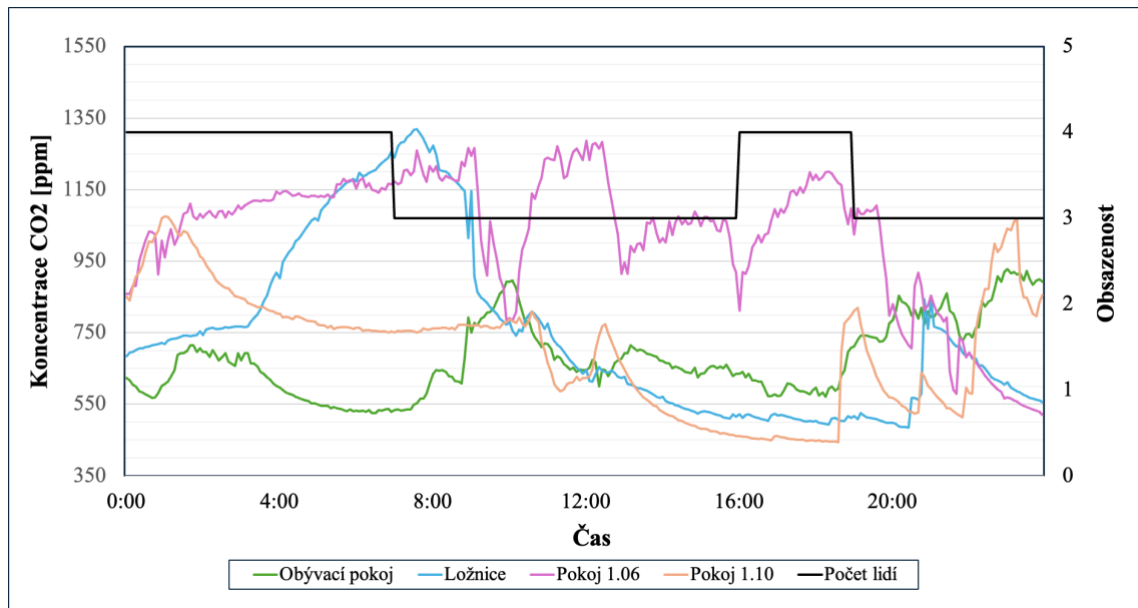
5.11.8. Analýza dne s nejvyšším počtem Osobo_hodin



Obrázek 41 Vývoj teploty 3. 2. 2024



Obrázek 42 Vývoj měrné vlhkosti 3. 2. 2024

Obrázek 43 Vývoj koncentrace CO₂ 3. 2. 2024

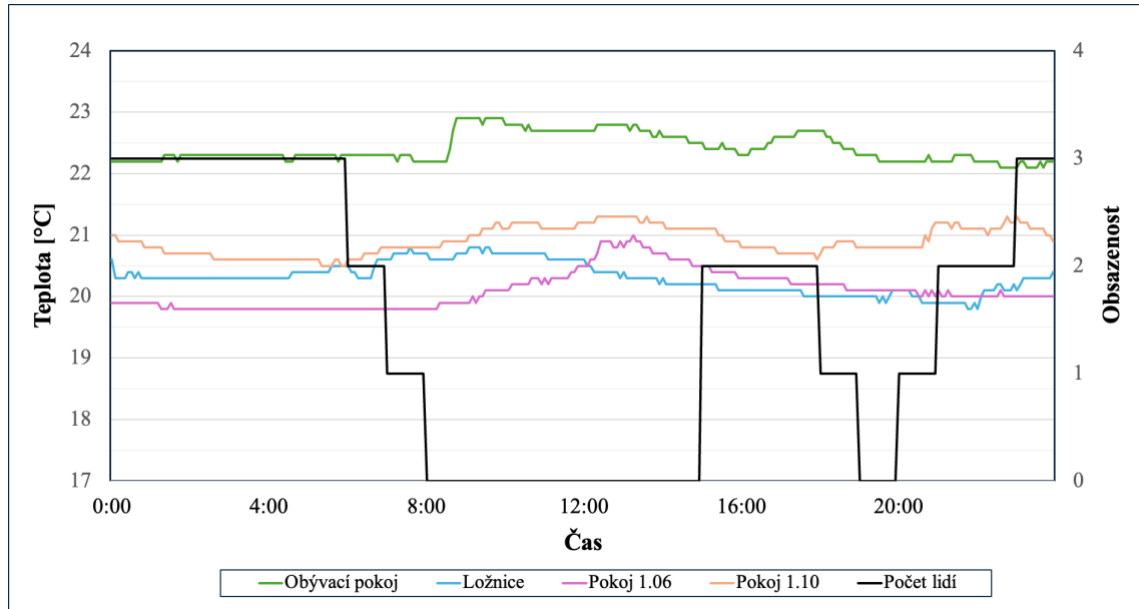
Tabulka 41 Sledované parametry vzduchu 3. 2. 2024

Průměrná venkovní teplota [°C]	9,3
Průměrná měrná vlhkost – přívod [kg/kg s. v.]	6,8
Průměrná měrná vlhkost – odvod [kg/kg s. v.]	7,85

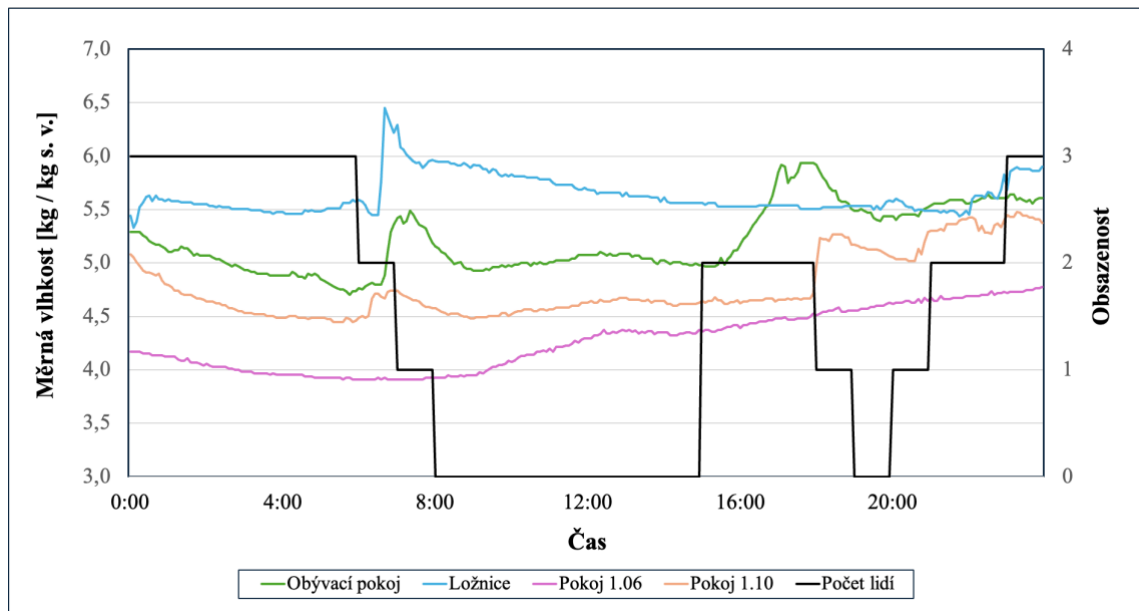
Dnem, kdy se v domě nacházelo co nejvíce lidí po co nejdélejší dobu, byla sobota 3. 2. 2024. V tento den byly doma přibližně 12 hodin čtyři členové domácnosti a po zbytek času tři. Jednalo se o den s průměrnou denní teplotou venkovního vzduchu 9,3 °C, z tohoto důvodu byla měrná vlhkost přiváděného vzduchu 6,8 kg/kg s. v., nicméně měrná vlhkost odváděného vzduchu byla 7,85 kg/kg s. v., tedy vyšší. Z grafu měrné vlhkosti vnitřního vzduchu je velmi výrazné navýšení měrné vlhkosti v pokoji 1.06 v dopoledních hodinách po sprchování, zvýšení měrné vlhkosti vnitřního vzduchu bylo více jak 2 kg/kg s. v. Příprava oběda v dopoledních hodinách a příprava večeře ve večerních hodinách způsobily zvýšení měrné vlhkosti o 1,5 kg/kg s. v., nicméně zvýšení měrné vlhkosti v době večeře bylo strmější. Zvýšení měrné vlhkosti v obývacím pokoji během

přípravy večere se s časovou prodlevou projevilo i v ložnici, což bylo patrně způsobeno otevřením dveří a promícháním vnitřního vzduchu z obou pokojů.

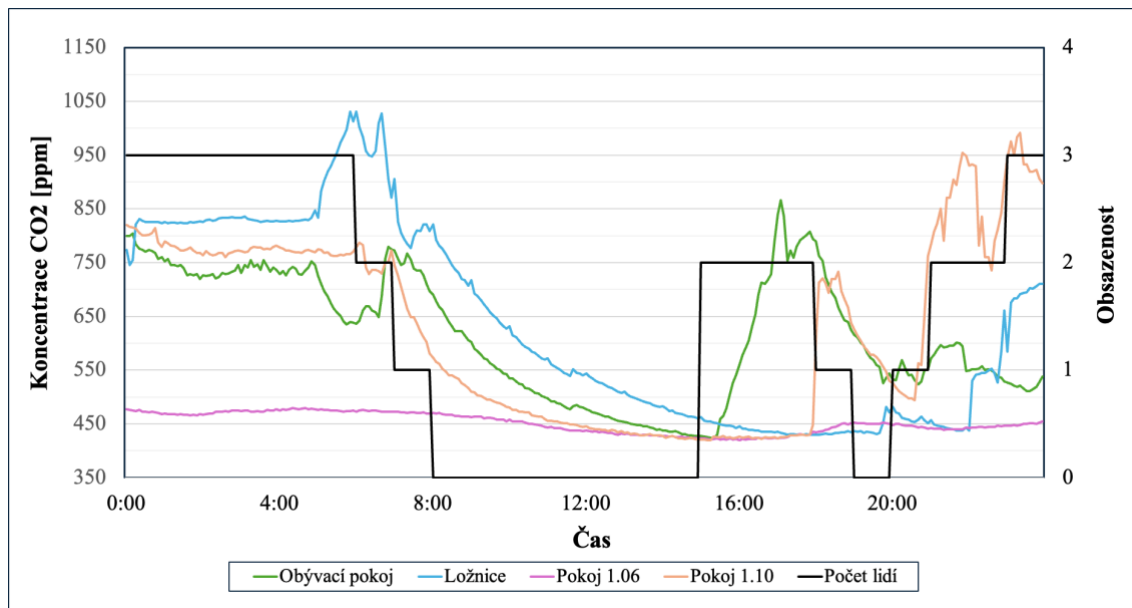
5.11.9. Analýza dne se zvyšující se měrnou vlhkostí venkovního vzduchu – středa 14. 2. 2024



Obrázek 44 Vývoj teploty 14. 2. 2024



Obrázek 45 Vývoj měrné vlhkosti 14. 2. 2024

Obrázek 46 Vývoj koncentrace CO₂ 14. 2. 2024

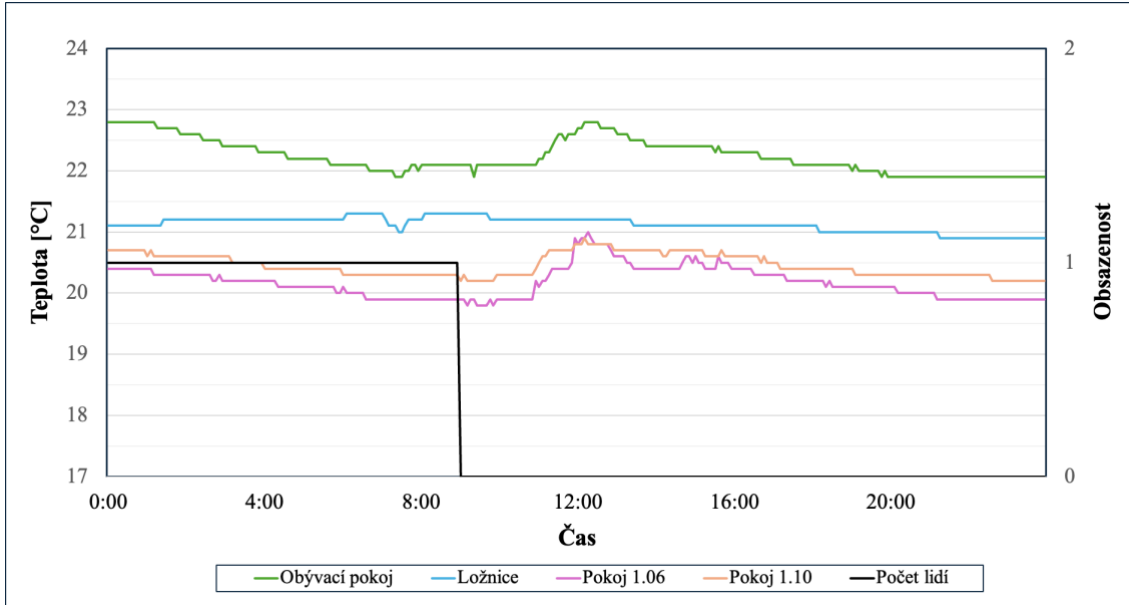
Tabulka 42 Sledované parametry vzduchu 14. 2. 2024

Průměrná venkovní teplota [°C]	6,6
Průměrná měrná vlhkost – přívod [kg/kg s. v.]	6,29
Průměrná měrná vlhkost – odvod [kg/kg s. v.]	7,86

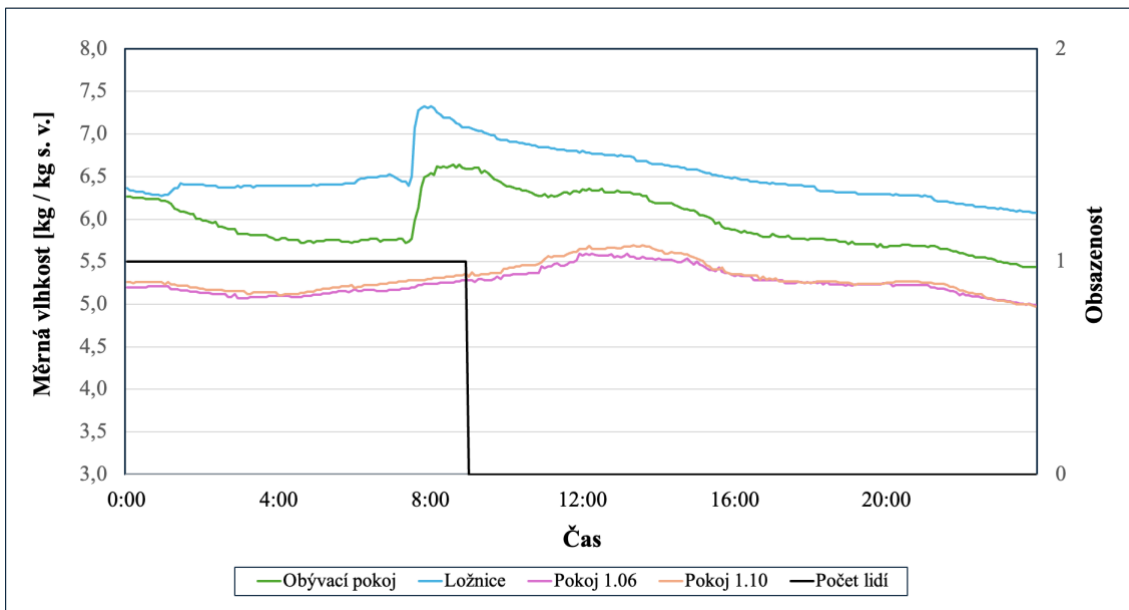
Teplota venkovního vzduchu ve středu 14. 2. 2024 byla v porovnání s únorovým průměrem nadprůměrně teplá. Měrná vlhkost přiváděného vzduchu byla tudíž vyšší, a to 6,29 kg/kg s. v. Od 8:00 do 15:00 byl dům prázdný a měrná vlhkost vnitřního vzduchu měla snahu se mezi pokoji srovnat na hodnotu kolem 5 kg/kg s. v., nicméně 7 hodin pro srovnání nebylo dostatečných. Tento den je zmiňován právě z důvodu postupného navlhčování obytného prostoru, což demonstruje závislost právě mezi měrnou vlhkostí vnitřního a venkovního vzduchu. Pokud by byla měrná vlhkost venkovního vzduchu nižší než měrná vlhkost vnitřního vzduchu v pokoji 1.06, nedocházelo by ke zvyšování měrné vlhkosti vnitřního vzduchu v tomto pokoji. Z grafu je také patrný nárůst měrné vlhkosti

vnitřního vzduchu v obývacím pokoji po příchodu dvou lidí, který byl nejspíše způsoben přípravou večere.

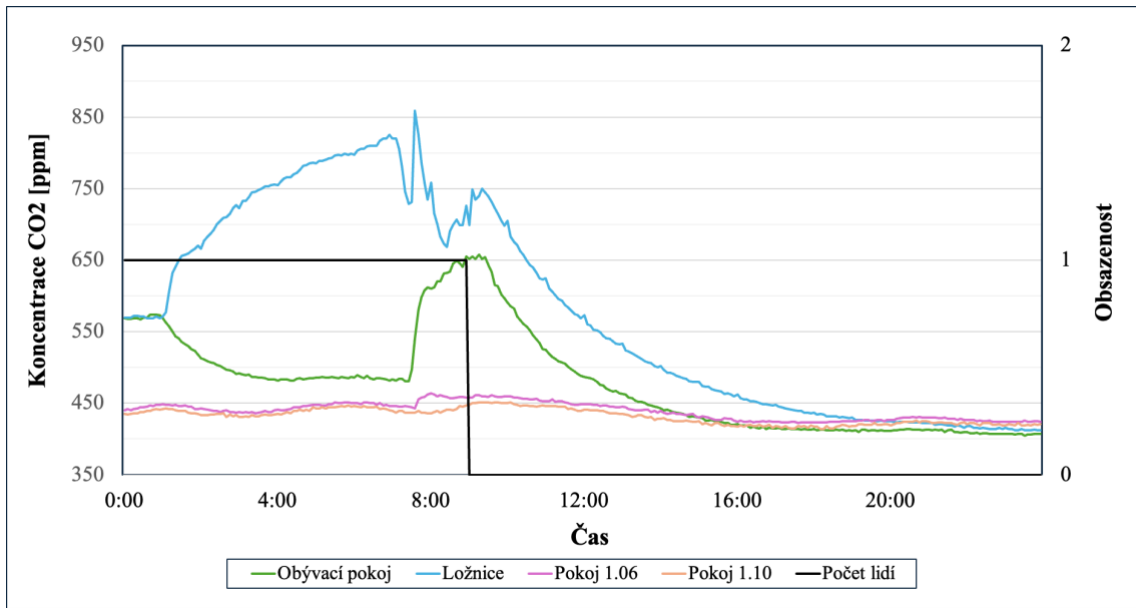
5.11.10. Pobyt jednoho obyvatele v domě – sobota 17. 2. 2024



Obrázek 47 Vývoj teploty 17. 2. 2024



Obrázek 48 Vývoj měrné vlhkosti 17. 2. 2024

Obrázek 49 Vývoj koncentrace CO₂ 17. 2. 2024

Tabulka 43 Sledované parametry vzduchu 17. 2. 2024

Průměrná venková teplota [°C]	10
Průměrná měrná vlhkost – přívod [kg/kg s. v.]	8,04
Průměrná měrná vlhkost – odvod [kg/kg s. v.]	8,79

Sobota 17. 2. 2024 je specifická pobytem pouze jednoho člověka v průběhu noci a rána a následně jeho odchod s příchodem až následující den. Z grafu měrné vlhkosti vnitřního vzduchu a koncentrace CO₂ hodinu po půlnoci je vidět určitá vazba mezi oběma veličinami způsobená otevřenými dveřmi mezi obývacím pokojem a ložnicí. Po odchodu obyvatele do ložnice a zavření dveří mezi obývacím pokojem a ložnicí se od sebe hodnoty měrné vlhkosti i koncentrace CO₂ začaly vzdalovat. Otevření dveří ráno mezi pokoji způsobilo nejenom snahu srovnat koncentrace CO₂, ale i přenos vlhkosti po vysprchování se z koupelny do ložnice i obývacího pokoje. Rozdíly těchto měrných vlhkostí byly udrženy i po zbytek dne, kdy, byť byly pokoje odvětrávány a hodnoty měrných vlhkostí vnitřního vzduchu klesaly totožně, rozdíly mezi nimi zůstávaly stále stejné. Během tohoto dne byla průměrná teplota venkovního vzduchu 10 °C a měrná vlhkost přiváděného

vzduchu 8,04 kg/kg s. v. I přesto, že byla měrná vlhkost venkovního vzduchu vyšší než měrná vlhkost vnitřního domu, tak vlhkost z domu byla odváděna.

5.11.11. Vyšší relativní vlhkost v ložnici 1.18

Z většiny grafů průběhů měrných vlhkostí vyplývá vyšší měrná vlhkost v ložnici 1.18 v porovnání s ostatními pokoji. Zároveň po skokovém zvýšení měrné vlhkosti během sprchování dochází ke snižování vlhkosti v ložnici 1.18 pomaleji než v ostatních místnostech. Je možné, že právě v ložnici dochází k větší akumulaci vlhkosti než v ostatních pokojích. Ložnice je specifická tím, že veškeré oblečení je uskladněno v šatně sousedící s ložnicí a celá zeď mezi ložnicí a šatnou je obložena dekorativní deskou z laminované dřevotřískové desky o tloušťce 17 mm. Celkový objem této desky je 0,197 m³. Tyto desky se vyrábí z upravené dřevotřískové desky, které jsou povrchově upraveny nalisováním dekorativního papíru impregnovaného aminoplastickými pryskyřicemi. [70] Ze stejného materiálu je vyroben i nábytek v pokojích a šatně, nicméně jejich povrch není imitací dýhy jako u desky, ale je čistě bílý. Je možné, že odlišná povrchová úprava a velikost desky působí v ložnici 1.18 více hygroskopicky než v ostatních pokojích.

6. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zanalyzovat bilanci vlhkosti v novostavbě rodinného domu a navrhnout realizovatelné změny.

V úvodních státech bylo pojednáváno o požadavcích na větrání obecně, jaká by měla být výměna vzduchu v jednotlivých místnostech a jaká jsou pravidla na území České republiky v porovnání s ostatními evropskými zeměmi.

Dále byly zmiňovány znečišťující látky v ovzduší včetně jejich povolených koncentrací a vlivu na zdraví člověka. Mezi znečišťující látky patří také vodní pára, jejíž minimální koncentrace je však na rozdíl od ostatních škodlivin nezbytná pro naše sliznice. Její vysoká koncentrace však podporuje vznik plísní a šíření bakterií a virů, což má negativní vliv na lidské zdraví a imunitu.

Významným zdrojem vodní páry je člověk a jeho činnosti, které byly popsány společně s jejich průměrnými vlhkostními zisky. Ze získaných dat bylo patrné, že s automatizací lidských činností se do vnitřního prostoru již nedostávají vlhkostní zisky z mytí nádobí či sušení prádla, jelikož jsou tyto procesy včetně sušení realizovány v automatických mycích a pracích zařízeních. Při potřebě navlhčit vnitřní prostor je možné tyto procesy provést bez těchto zařízení a tím napomoci zvýšit vnitřní koncentraci vodní páry. Nejvýznamnější množství vodní páry se uvolňuje při sprchování, a to výrazně více než při koupání. Na množství uvolňované vodní páry do vzduchu má vliv kromě intenzity proudu vody i její teplota. Difúze vodní páry skrze stavební konstrukci se v dnešní době kromě difúzně otevřených dřevostaveb nepředpokládá, jelikož použití extrudovaného či expandovaného polystyrenu, jakožto levných tepelně-izolačních materiálů, difúzi brání.

V další teoretické kapitole byly rozebrány možnosti úpravy vlhkosti ve vnitřním prostoru. Při návrhu úpravy vždy záleží na průběhu zvýšené, případně snížené relativní vlhkosti, a dispozičním a konstrukčním možnostem domu. Pasivní možnosti jako zavěšení hygroskopických látek se jeví jako možné pro malé pokoje, jelikož není estetické jejich použití v rámci velkých objemů. Další pasivní možností je entalpický výměník, který nelze řídit a přenos vlhkosti mezi vzduchovody probíhá samovolně pro vyrovnání absolutní vlhkosti na obou stranách. Ručně spínaná zařízení bez měření relativní vlhkosti

mohou disponovat vysokými výkony a je doporučována jejich regulace prostřednictvím hygroskopů, což zabrání přílišnému vysušení, respektive navlhčení vnitřního vzduchu.

Experimentální část měla za cíl objektivně zachytit a zanalyzovat bilanci vlhkosti v domácnosti, která je vybavena nuceným větráním se zpětným získáváním tepla. Pro měření bylo vybráno zimní období s ohledem na sušší venkovní vzduch, který je vháněn dovnitř do domu. Před měřením nebylo zapomenuto ani na verifikaci měřicích přístrojů. Výsledky měření vypovídají o sušším vzduchu v domě držící se pod spodní hodnotou doporučeného intervalu. Vyhovující hodnota relativní vlhkosti je subjektivní pojem, kterou má každý jedinec posunutou jinak. Nicméně v měřeném domě byla zjištěna téměř totožná hodnota relativní vlhkosti v obývacím pokojích 1.05., pokojích 1.06 a 1.10 v porovnání s ložnicí 1.18, kde vlhkost vyhovovala doporučeným intervalům. Největší ovlivnění relativní vlhkosti přinášelo sprchování, jehož výrazný nárůst byl při otevřených dveřích do konkrétní místnosti zřejmý i přes to, že byl v místnostech přetlak v porovnání s koupelnou, kde se nacházel zdroj vlhkosti. Tabelární vlhkostní zisk při sprchování je 700 g/h [38], ale běžný obyvatel domu se vysprchoval do 10 minut, tedy vyprodukoval 117 g vodní páry, což stačilo na to, aby znatelně vzrostla měrná vlhkost v pokoji. Naopak při spaní dvou lidí v ložnici, kdy jeden spící člověk vyprodukuje 40 g/h vodní páry, není vlhkostní zisk vždy rozeznatelný. Nicméně nelze omezit činnost větrací jednotky proto, aby neodváděla vlhkostní zisky od lidí, jelikož koncentrace CO₂ vždy přes noc stoupala k méně přijatelným hodnotám kolem 1300 ppm, nicméně z důvodu nepřítomnosti lidí přes den v tomto pokoji byl vnitřní vzduch vyvětrán a jeho hodnota během večera následujícího dne byla téměř na úrovni koncentrace CO₂ ve venkovním vzduchu. U domácností, v nichž je člověk přítomen celý den v jednom pokoji, to však může být problém. Při vaření se dle tabulkových hodnot [38] produkuje podobné a případně vyšší množství vodní páry jako při sprchování, nicméně skokový nárůst měrné vlhkosti v obývacím pokoji, který je otevřený vůči kuchyni, zaznamenán nebyl. Svůj podíl na tom může mít nejenom kvalitně fungující digestoř, ale právě i velikost celého prostoru, do kterého se vodní zisky při vaření rozptylovaly.

Z měření je zřejmé, že člověk může svou činností ovlivnit přenos vlhkosti napříč vnitřním prostorem a využít vlhkostní zisky, které se v něm přirozeně tvoří. I takové maličkosti jako otevření myčky na nádobí po skončení mycího programu můžou zvýšení vlhkosti

napomoci. Další možností je regulace intenzity větrání v domě, kdy v něm není přítomna žádná osoba.

Je otázkou, zda v tomto případě doporučit instalaci entalpického výměníku, na něhož zástavbu je větrací jednotka stavěna. Jeho aplikací by odpadla potřeba používat průtokový ohřívač, nicméně relativní vlhkost by stoupla ve všech místnostech, včetně ložnice, kde se relativní vlhkost držela na velice dobrých hodnotách a jenom v 11 % celkového času klesla pod 30 %. Není vyloučen ani nákup květin, které sice v noci produkují oxid uhličitý, nicméně jeho koncentrace v domě nepřesahovala limitní hodnoty a tudíž by květiny nezpůsobily zvýšení koncentrace CO₂ nad limit během dne.

Z experimentálních výpočtů měření průtoku přírodního vzduchu z rovnice bilance škodlivin pro oxid uhličitý a vodní páru vyplývá, jak je dům kvalitně utěsněn a že vzduch opravdu nikam nedifunduje, neakumuluje se a ztrácí se pouze komunikačními otvory.

Co se týče jednotlivých grafů závislostí hmotnostního toku vodní páry odváděné nuceným větráním, tak ty utvrzují v přesnosti měření a jeho správném nastavení. Závislost hmotnostního toku vodní páry odváděné nuceným větráním na venkovní teplotě a její klesání se zvyšující se teplotou vyplývá z přirozeného lidského chování, kdy při vyšší teplotě se člověk nezděráhá pustit do vnitřního prostoru více venkovního vzduchu přirozeným způsobem.

7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ZMRHAL, Vladimír. *Větrání rodinných a bytových domů*. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4573-2.
- [2] DIMITROULOPOULOU, C. Ventilation in European dwellings: A review. *Building and Environment* [online]. 2012, 47, 109-125 [cit. 2024-04-29]. ISSN 03601323. Dostupné z: doi:10.1016/j.buildenv.2011.07.016
- [3] *Sbírka zákonů č. 201/2012*. In: . 2012, částka 69, s. 2787.
- [4] Kvalita vnějšího a vnitřního vzduchu. In: DOLEŽÍLKOVÁ, Hana. *TZB-info* [online]. 2010, 17.5.2010 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/6486-kvalita-vnejsiho-a-vnitriho-vzduchu>
- [5] DUFKA, Jaroslav. *Větrání a klimatizace domů a bytů*. 2., přeprac. vyd. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-1144-3.
- [6] HEJHÁLEK, RNDr. Jiří. Oxid uhličitý je indikátor nezdravých budov. In: *Stavebnictví3000* [online]. 2021, 15.6.2021 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/oxid-uhlicity-v-boji-proti-virum-funguje-jako-indikator-zdraveho-prostredi>
- [7] FRANEK, Bc. Ondřej. *Polutanty ve vnitřním budov z pohledu provozu staveb* [online]. Praha, 2018 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/74143/F1-DP-2018-Franek-Ondrej-DP_OF_POLUTANTY.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Diplomová práce. ČVUT FSv, katedra technologie staveb. Vedoucí práce Doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc.
- [8] OXIDY SÍRY (SOX/SO₂). MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Irz.cz* [online]. [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/latky-v-irz/oxidy-siry-sox/so2>
- [9] PETRLÍK, RNDr. Jindřich. Formaldehyd. *Arnika* [online]. 2010, 29.11.2010, 31.8.2022 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/formaldehyd>
- [10] PROTRONIX S.R.O. Nenechte si vnitřní prostředí obrátit v prach. In: *TZB-info* [online]. 2024, 27.10.2023 [cit. 2024-05-29]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/26003-nenechte-si-vnitri-prostredi-obratit-v-prach>
- [11] Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 202: IV.1 Suspendované částice. In: *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2024-05-29]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/20_04_1_PM_v2.pdf
- [12] Vzduchové filtrační třídy. *Ventishop.cz* [online]. [cit. 2024-05-29]. Dostupné z: https://www.ventishop.cz/slovník-pojmu/vzduchove-filtracni-tridy-g1-f9/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwpNuyBhCuARIsANJqL9PW6XaqaWJpGvg1Zd3L7EQ7SmcGf66cJv22nT-XNUm-xyAMbgfoxQaAqCsEALw_wcB
- [13] DREKOMA. Zvlhčování vzduchu – cesta ke snižování prašnosti: zkušenosti z dřevařské výroby a nejen pro dřevařský obor. In: *TZB-info* [online]. 2024 [cit. 2024-05-29]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/4838-zvlhcovani-vzduchu-cesta-ke-snizovani-prasnosti>
- [14] Elektronický nos. *Wikiskripta.eu* [online]. [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Elektronický_nos

- [15] ŠŤOVÍČEK, Vladimír a Miroslav ŠUTA. Azbest zabíjí. Varování lékařů dlouho nikdo neposlouchal. In: *Český rozhlas* [online]. 2017, 7.2.2017 [cit. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://plzen.rozhlas.cz/azbest-zabiji-varovani-lekaru-dlouho-nikdo-neposlouchal-6718037>
- [16] RUBINOVÁ, Olga a Aleš RUBINA. *Klimatizace a větrání*. Brno: ERA group, 2004. Stavíme. ISBN 80-865-1730-6.
- [17] JOKL, Miloslav. Optimální a přípustné mikroklimatické podmínky pro obytné prostředí. In: *TZB-info* [online]. 2004, 20.8.2004 [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/2103-optimalni-a-pripustne-mikroklimaticke-podminky-pro-obytne-prostredi>
- [18] CHYSKÝ, Jaroslav. *Vlhký vzduch*. 1977. ISSN 04-239-77.
- [19] SCHWARZER, Jan. *Teorie vlhkého vzduchu a úprava vlhkosti vzduchu při větrání (I)* [online]. In: . 2006, 29.5.2006 [cit. 2024-05-25]. Dostupné z: SCHWARZER, Jan. *Teorie vlhkého vzduchu a úprava vlhkosti vzduchu při větrání (II)*. In: *TZB-info* [online]. 2006, 12.6.2006, 10.11.2022 [cit. 2024-05-25]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3353-teorie-vlhkeho-vzduchu-ii>
- [20] *Větrání a klimatizace*. 3., zcela přeprac. vyd. Brno: BOLIT-B Press, 1993. ISBN 80-901-5740-8.
- [21] SCHWARZER, Jan. *Teorie vlhkého vzduchu a úprava vlhkosti vzduchu při větrání (II)*. In: *TZB-info* [online]. 2006, 12.6.2006, 10.11.2022 [cit. 2024-05-25]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3353-teorie-vlhkeho-vzduchu-ii>
- [22] *Dýchací cesty a plíce: základní informace* [online]. 2024 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1090-dychaci-cesty-a-plice-zakladni-informace>
- [23] BOŽIČ, Anže a Matej KANDUČ. Relative humidity in droplet and airborne transmission of disease. *Journal of Biological Physics* [online]. 2021, **47**(1), 1-29 [cit. 2024-04-29]. ISSN 0092-0606. Dostupné z: doi:10.1007/s10867-020-09562-5
- [24] Normal Breathing and Respiration (Explained). In: LANDRY, BS, RRT, John. *Respiratory therapy zone* [online]. 2024, 25.4.2024, 25.4.2024 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://www.respiratorytherapyzone.com/normal-breathing/>
- [25] MCLAURIN, Thad. Running and Breathing: A Lesson in Oxygen Intake and VO2 Max. In: *Active.com* [online]. 2017, 28.11.2017, 28.11.2017 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://www.active.com/running/articles/running-and-breathing-a-lesson-in-oxygen-intake-and-vo2-max>
- [26] KUBEŠOVÁ, Barbora. JAK ZABRÁNIT NADMĚRNÉMU POCENÍ? POMOCI MOHOU BYLINKY, LÉKY I OPERACE. In: *Zdravi.euro.cz* [online]. 2021, 7.8.2021, 7.8.2021 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/clanky/jak-zabranit-nadmernemu-poceni/>
- [27] *Katalog fitness 97*. 1997.
- [28] ZEMITIS, Jurgis, Anatolijs BORODINECS a Marta FROLOVA. Measurements of moisture production caused by various sources. *Energy and Buildings* [online]. 2016, **127**, 884-891 [cit. 2024-04-29]. ISSN 03787788. Dostupné z: doi:10.1016/j.enbuild.2016.06.045
- [29] SAASEN PEDERSEN, Anders. *Moisture production in buildings* [online]. Trondheim, 2018 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu->

- xmlui/bitstream/handle/11250/2572905/20119_FULLTEXT.pdf?sequence=1&isAll
owed=y. Diplomová práce. Norwegian University of Science and Technology,
Department of Energy and Process Engineering. Vedoucí práce Hans Martin
Mathisen, EPT.
- [30] The Effect of Indoor Humidity on Water Vapor Release in Homes. In:
TENWOLDE, Anton a Crystal L. PILON. *Oak Ridge National Laboratory* [online].
01.2007n. 1., 01.2007 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z:
[https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-
archive/2007%20B10%20papers/071_TenWolde.pdf](https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/2007%20B10%20papers/071_TenWolde.pdf)
- [31] *Moisture generated by cooking and laundry drying Study on Moisture Source in
Daily Life in Japan* [online]. In: . 2015, 15.6.2015, s. 1-5 [cit. 2024-04-29].
Dostupné z:
[https://www.researchgate.net/publication/268324295_Moisture_generated_by_cook-
ing_and_laundry_drying_Study_on_Moisture_Source_in_Daily_Life_in_Japan](https://www.researchgate.net/publication/268324295_Moisture_generated_by_cooking_and_laundry_drying_Study_on_Moisture_Source_in_Daily_Life_in_Japan)
- [32] Čínské tajemství stravování, dobrého zdraví i nálady. *Knížní klub* [online]. 2010,
13.8.2010 [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: [https://literarni-
kavarna.knizniklub.cz/clanek/4999-cinske-tajemstvi-stravovani.html](https://literarni-kavarna.knizniklub.cz/clanek/4999-cinske-tajemstvi-stravovani.html)
- [33] ZEMITIS, Jurgis, Anatolijs BORODINECS a Marta FROLOVA. Measurements of
moisture production caused by various sources. In: *Energy and Buildings* [online].
2016, s. 884-891 [cit. 2024-04-29]. ISSN 03787788. Dostupné z:
doi:10.1016/j.enbuild.2016.06.045
- [34] WEST, D. W. a D. F. GAFF. The Effect of Leaf Water Potential, Leaf Temperature
and Light Intensity on Leaf Diffusion Resistance and the Transpiration of Leaves of
Malus sylvestris. In: *Physiologia Plantarum* [online]. 1976, s. 98-104 [cit. 2024-04-
29]. ISSN 0031-9317. Dostupné z: doi:10.1111/j.1399-3054.1976.tb04866.x
- [35] GREVE, Frederick William, George Andrew HAWKINS, John Thomas AGNEW a
Kenneth Brady WOODS. *Research in Home Humidity Control: Progress Report of
Work Completed Through June 30, 1948*. Purdue University: Purdue University,
1947. ISBN Nepřidělen.
- [36] ZMRHAL, Vladimír. Navlhčení vzduchu v obytném prostředí. *Časopis VVI*. 2022,
33(1), 20-26. ISSN 1210-1389.
- [37] Home Moisture Sources. *Cold climate housing information center* [online]. 1988,
1(1), 2 [cit. 2024-04-29]. ISSN NR-FS-3396. Dostupné z:
[/var/folders/5j/b_3jktwn3011v7lfz08d1w280000gn/T/com.apple.useractivityd/share-
d-pasteboard/items/48638D12-ED94-4C94-87CF-A9AA254043F7/Cold Climate
Housing Information Center- Home Moisture Sources.pdf](/var/folders/5j/b_3jktwn3011v7lfz08d1w280000gn/T/com.apple.useractivityd/share-d-pasteboard/items/48638D12-ED94-4C94-87CF-A9AA254043F7/Cold%20Climate%20Housing%20Information%20Center-%20Home%20Moisture%20Sources.pdf)
- [38] ERHORN, H. a K. GERTIS. Minimal thermal insulation and minimal ventilation.
Gesundheit Engineering. 1986, (107).
- [39] YIK, F. W. H., P. S. K. SAT a J. L. NIU. Moisture Generation through Chinese
Household Activities. In: *Indoor and Built Environment* [online]. 2004, s. 115-131
[cit. 2024-04-29]. ISSN 1420-326X. Dostupné z: doi:10.1177/1420326X04040909
- [40] VENCEL, Lukáš. *Teplotně vlhkostní namáhání stěny* [online]. Brno, 2017 [cit.
2024-05-06]. Dostupné z:
https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=144111.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. David
Bečkovský Ph.D.

- [41] JELÍNEK, Vladimír. Difúzní tok a kondenzace vodní páry v konstrukci stěny: – část 1 – Vlhký vzduch a vznik difúzního toku. In: JELÍNEK, Vladimír. *TZB-info* [online]. 2010, 13.9.2010 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/6771-difuzni-tok-a-kondenzace-vodni-pary-v-konstrukci-steny-cast-1-vlhky-vzduch-a-vznik-difuzniho-toku>
- [42] *Variabilita koeficientů difuze vodní páry ve dřevě a její vliv na vlhkostní pole uvnitř vybrané konstrukce* [online]. Brno, 2015 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: https://theses.cz/id/t80k6b/zaverecna_prace.pdf. Bakalářská práce. MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ. Vedoucí práce Mgr. Ing. Miroslav Trcala, PhD.
- [43] Zpětný zisk vlhkosti. In: *Rekuperace-cermak.cz* [online]. 2023 [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <http://rekuperace-cermak.cz/docs/ZpZisk.pdf>
- [44] Jak vybrat správný odvlhčovač vzduchu [online]. 2024 [cit. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://www.proalergiky.cz/eshop/odvlhcovace-vzduchu/nakupni-radce>
- [45] WOOD'S DEHUMIDIFIER MDX20P. In: Woods [online]. [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: https://woods.se/wp-content/uploads/2023/11/woods_mdx20p_product_sheet_en.pdf
- [46] REMKO CZECH s. r. o. [online]. [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.remko.cz/odvlhcovace-domaci-asf100>
- [47] LI, Yan a Shuxia REN. *Building Decorative Materials*. Woodhead Publishing Limited, 2011. ISBN 978-0-85709-257-1.
- [48] Technický list Silikagel E. In: Long life for art [online]. [cit. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://llfa.eu/silica-gel-beads.html>
- [49] DEFENSOR PH15/PH28. In: Flair, a. s. [online]. [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.flair.cz/mobilni-zvlhcovace-defensor-ph>
- [50] , ROSA In. s. r. o. Zpětný zisk vlhkosti při řízeném větrání - nové dimenze větrání. In: TZB-info [online]. [cit. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/2938-zpetny-zisk-vlhkosti-pri-rozenem-vetrani-nove-dimenze-vetrani>
- [51] POSTUPA, Martin. Moderní rotační výměníky. In: TZB-info [online]. 2017, 22.5.2017 [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/15795-moderni-rotacni-vymeniky-tepla>
- [52] RECUTECH S. R. O. Co je entalpický protiproudý výměník? [online]. 2024 [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://www.recutech.com/cs/technologie/entalpicky-vymenik/>
- [53] RECUTECH S. R. O. Protiproudý vs. křížový výměník vzduchu [online]. 2024 [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://www.recutech.com/cs/technologie/protiproudy-vs-krizovy-vymenik/>
- [54] Hliníkový rekuperátor REK+. In: RECUTECH s.r.o. [online]. [cit. 2024-05-07]. Dostupné z: <https://www.recutech.com/wp-content/uploads/doc/REK-Sheet-CZ.pdf>
- [55] Entalpický rekuperátor RFK+ / RFC+. In: RECUTECH s.r.o, [online]. [cit. 2024-05-07]. Dostupné z: https://www.recutech.com/wp-content/uploads/doc/RFK_RFC-Sheet-CZ.pdf
- [56] SIEGELE, Dietmar a Fabian OCHS. Effectiveness of a membrane enthalpy heat exchanger. *Applied Thermal Engineering* [online]. 2019, 160 [cit. 2024-05-02]. ISSN 13594311. Dostupné z: doi:10.1016/j.applthermaleng.2019.114005

- [57] SAPELI Lotos M14 komfort CPL laminát barva. ČEČETKA s. r. o. [online]. [cit. 2024-05-07]. Dostupné z: <https://www.cecetka.cz/interierove-dvere-sapeli-lotos-m14-komfort-cpl-laminat-barva/>
- [58] Dřevotřísková deska dýhovaná LOSÁN. In: Welde s.r.o. [online]. [cit. 2024-05-07]. Dostupné z: <https://www.welde.cz/wp-content/uploads/2017/12/KL-Welde-DTD-dyhovane.pdf>
- [59] Plastové okno 88. PKS okna a.s. [online]. [cit. 2024-05-07]. Dostupné z: <https://www.pksokna.cz/plastove-okno-88#:~:text=Plastové%20okno%2088%20vyrábíme%20z,rekonstrukci%20pasivních%20a%20nízkoenergetických%20domů.>
- [60] TECHNICKÝ LIST Tepelné čerpadlo vzduch/voda RTC 6i: REGULUS spol s. r. o. [online]. In: . 11.2023n. l. [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: https://www.regulus.cz/download/tech-listy/cz/tl_cz_technicky-list_rtc-6i.pdf
- [61] Potrubí čtyřhranné plast, 60x200 - 1,5 m. In: Regulus s r.o. [online]. [cit. 2024-06-03]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/potrubi-ctyrhranne-plast-60x200-1-5-m>
- [62] TECHNICKÝ LIST Kruhové EPP potrubí Ø 125 a Ø 150 mm: REGULUS spol. s. r. o. [online]. In: . 09.2022n. l. [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: https://www.regulus.cz/download/tech-listy/cz/tl_cz_technicky-list_epp-potrubi.pdf
- [63] Potrubí kruhové EPP 1 m. In: Regulus s r.o. [online]. [cit. 2024-06-03]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/potrubi-kruhove-epp-1-m>
- [64] Aluflex Flexibilní hliníková hadice. In: Seznam.cz, a.s. [online]. [cit. 2024-06-03]. Dostupné z: <https://www.zbozi.cz/vyrobek/aluflex-flexibilni-hlinikova-hadice-160-mm/>
- [65] VP 100/1000 KH kruhová PVC hadice. In: Vzduchotechnika a ventilátory Praha [online]. [cit. 2024-06-03]. Dostupné z: <https://www.vzduchotechnika-levne.cz/ventilator/potrubi-a-dily/ohebne-flexo-potrubi/kruhove-pvc-hadice/produkt/vp-1001000-kh-kruhova-pvc-hadice>
- [66] OTEVŘENÁ DATA O KLIMATU, Z. Ú. Průměrná teplota v ČR v jednotlivých měsících [online]. 2024 [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/teplota-cr-mesice>
- [67] Technický list ohřívače vzduchu ET-VZT. In: Regulus s.r.o. [online]. 12/2020n. l. [cit. 2024-05-25]. Dostupné z: https://www.regulus.cz/download/tech-listy/cz/tl_cz_technicky-list_et-vzt.pdf
- [68] Wöhler CDL 210. In: Promertech [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://promertech.cz/wohler-cdl-210-mereni-oxidu-uhliciteho-co2-teploty-a-vlhkosti-vzduchu-v-mistnosti>
- [69] Data loggers. In: Food engineering [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.foodengineeringmag.com/articles/94542-data-loggers>
- [70] Laminované dřevotřískové desky (LTD) a Lamináty (HPL). ATYP nábytek [online]. [cit. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://www.a-typ.cz/material/laminovane-drevotriskovce-desky-ltd-a-laminaty-hpl?id=26>

8. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Relativní přírůstek hmotnosti prádla při ždímání.....	34
Obrázek 2 Výkres rodinného domu (příloha č.1)	51
Obrázek 3 Čtyřhranné plastové potrubí [61]	53
Obrázek 4 Kruhové EPP potrubí [63]	53
Obrázek 5 Hliníková hadice Aluflex MI [64]	53
Obrázek 6 Flexibilní PVC hadice [65]	54
Obrázek 7 Plastový talířový ventil.....	54
Obrázek 8 Designový ventil	54
Obrázek 9 Výkres větrací soustavy (příloha č. 2).....	55
Obrázek 10 Měřicí zařízení Wöhler CDL 210 [68]	57
Obrázek 12 Umístění v obývacím pokoji 1.05	58
Obrázek 13 Umístění v ložnici 1.18	58
Obrázek 14 Umístění v pokoji 1.10	59
Obrázek 15 Umístění v pokoji 1.06	59
Obrázek 16 Porovnání měřicích zařízení.....	60
Obrázek 17 Měřicí zařízení Omega OM-92 [69].....	61
Obrázek 18 Umístění měřicího zařízení na straně sání.....	62
Obrázek 19 Umístění měřicího zařízení na straně odvodu	62
Obrázek 20 Verifikace měřicích zařízení 1	63
Obrázek 21 Verifikace měřicích zařízení 2	63
Obrázek 22 Rozdíl relativních vlhkostí měřicích zařízení vůči etalonu OMEGA OM- SP2000	63

Obrázek 23 Umístění průtokoměrů v EPP potrubí	65
Obrázek 24 Zapisovací arch na vchodových dveřích	66
Obrázek 25 Závislost účinnosti přenosu citelného tepla na venkovní teplotě	72
Obrázek 26 Závislost účinnosti přenosu latentního tepla na venkovní teplotě.....	73
Obrázek 27 Závislost produkce vodní páry	76
Obrázek 28 Závislost navlhčení na počtu osob v domácnosti	77
Obrázek 29 Závislost hmotnostního toku vodní páry na průměrném počtu osob v domě na denní době	78
Obrázek 30 Vývoj teploty 12. 1. 2024.....	80
Obrázek 31 Vývoj měrné vlhkosti 12. 1. 2024	80
Obrázek 32 Vývoj koncentrace CO ₂ 12. 1. 2024.....	81
Obrázek 33 Vývoj teploty 27. 1. 2024.....	83
Obrázek 34 Vývoj měrné vlhkosti 27. 1. 2024	83
Obrázek 35 Vývoj koncentrace CO ₂ 27. 1. 2024.....	84
Obrázek 36 Vývoj teploty 20. 1. 2024.....	85
Obrázek 37 Vývoj měrné vlhkosti 20. 1. 2024	86
Obrázek 38 Vývoj koncentrace CO ₂ 20. 1. 2024.....	86
Obrázek 39 Vývoj teploty 21. 1. 2024.....	88
Obrázek 40 Vývoj měrné vlhkosti 21. 1. 2024	88
Obrázek 41 Vývoj koncentrace CO ₂ 21. 1. 2024.....	89
Obrázek 42 Vývoj teploty 3. 2. 2024.....	90
Obrázek 43 Vývoj měrné vlhkosti 3. 2. 2024	90
Obrázek 44 Vývoj koncentrace CO ₂ 3. 2. 2024.....	91

Obrázek 45 Vývoj teploty 14. 2. 2024	92
Obrázek 46 Vývoj měrné vlhkosti 14. 2. 2024	92
Obrázek 47 Vývoj koncentrace CO ₂ 14. 2. 2024.....	93
Obrázek 48 Vývoj teploty 17. 2. 2024.....	94
Obrázek 49 Vývoj měrné vlhkosti 17. 2. 2024	94
Obrázek 50 Vývoj koncentrace CO ₂ 17. 2. 2024.....	95

9. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Požadavky národní přílohy ČSN EN 15665/Z1	11
Tabulka 2 Vliv koncentrace oxidu uhličitého na zdraví člověka	17
Tabulka 3 Vztah mezi časovým intervalem expozice a koncentrací CO	18
Tabulka 4 Velikosti prachových částic a jejich vliv na lidský organismus	19
Tabulka 5 Dělení velikosti částic dle normy ČSN EN ISO 16890	20
Tabulka 6 Množství vyprodukované vodní páry při konkrétních parametrech během sprchování	29
Tabulka 7 Množství vyprodukované vodní páry v závislosti na sledovaných parametrech během sprchování	30
Tabulka 8 Vlhkostní zisky při vaření	30
Tabulka 9 Vlhkostní zisky při vaření v závislosti na chodu	31
Tabulka 10 Vlhkostní zisky pro konkrétní jídla	31
Tabulka 11 Hmotnost oblečení před a po ždímání na 1200 ot.	33
Tabulka 12 Hmotnost oblečení před a po ždímání na 800 ot.	33
Tabulka 13 Hmotnost oblečení před a po ždímání na 500 ot.	33
Tabulka 14 Faktory difúzních odporů běžně používaných stavebních materiálů	37
Tabulka 15 Výsledky numerické studie difuze u rodinných domů	38
Tabulka 16 Simulace difúze vodní páry pro různé parametry venkovního vzduchu	39
Tabulka 17 Množství odebrané vodní páry v závislosti na parametrech vzduchu v místnosti	41
Tabulka 18 Adsorpční kapacity pro Silikagel – E	42
Tabulka 19 Zvlhčovací výkon pro navlhčovače PH15 a PH28	43
Tabulka 20 Porovnání parametrů entalpických a tepelných výměníků [54][55]	46

Tabulka 21 Skladba stěny rodinného domu	48
Tabulka 22 Geometrické charakteristiky budovy	49
Tabulka 23 Návrh větrání.....	55
Tabulka 24 Parametry měření oxidu uhličitého	56
Tabulka 25 Parametry měření teploty	57
Tabulka 26 Parametry měření relativní vlhkosti	57
Tabulka 27 Parametry měření teploty	61
Tabulka 28 Parametry při měření relativní vlhkosti	61
Tabulka 29 Korekce zjištěné po kalibraci	64
Tabulka 30 Parametry měřicího zařízení	64
Tabulka 31 Venkovní klimatické podmínky během měření	67
Tabulka 32 Parametry vzduchu během měření	68
Tabulka 33 Intervaly vlhkosti a jejich četnost	69
Tabulka 34 Intervaly účinnosti výměníku a jejich četnost.....	71
Tabulka 35 Navlhčení větracího vzduchu v jednotlivých dnech	75
Tabulka 36 Průměrné navlhčení podle dnů v týdnu.....	76
Tabulka 37 Sledované parametry vzduchu 12. 1. 2024	81
Tabulka 38 Sledované parametry vzduchu 27. 1. 2024	84
Tabulka 39 Sledované parametry 20. 1. 2024.....	87
Tabulka 40 Sledované parametry vzduchu 21. 1. 2024	89
Tabulka 41 Sledované parametry vzduchu 3. 2. 2024	91
Tabulka 42 Sledované parametry vzduchu 14. 2. 2024	93
Tabulka 43 Sledované parametry vzduchu 17. 2. 2024	95

10. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Výkres domu

Příloha č. 2 – Výkres větrací soustavy