



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

OPTIMALIZACE VZDUCHOTECHNIKY WELLNESS SPORTOVNÍHO CENTRA

OPTIMIZATION OF AIR CONDITIONING OF THE WELLNESS SPORTS CENTER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Nikol Prchalová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR BLASINSKI, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	NPC-SIS Stavební inženýrství – pozemní stavby
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Nikol Prchalová
Název	Optimalizace vzduchotechniky wellness sportovního centra
Vedoucí práce	Ing. Petr Blasinski, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

A. Popis stávajícího stavu, analýza tématu a podkladů stavby, stanovení konkrétních cílů a metod řešení.

B. Minimálně 2 varianty optimalizace stávajícího stavu, doplněné o experimentální měření. Experimentální řešení bude obsahovat popis metody a přístrojové techniky. Jednočarová schémata rozvodů VZT systému a chlazení. Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.

C. Minimálně 1 varianta v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení (půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva).

Práce bude zpracována v souladu s platnými předpisy (zákony a vyhláškami, normami) pro navrhování zařízení techniky staveb.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Petr Blasinski, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá mikroklimatem bazénové haly a dělí se do tří částí.

První částí je teoretická část, která se věnuje problematice prostředí v bazénových halách.

Druhá část diplomové práce se věnuje výpočtu průběhu koncentrace měrné vlhkosti během dne v bazénové hale. Jsou posuzovány různé průběhy koncentrace vlhkosti na základě volitelných různých vstupních parametrů. Následně jsou vyhodnoceny vhodné varianty nastavení, aby bylo docíleno přijatelného prostředí v hale z hlediska vlhkosti a optimálních provozních nákladů.

Poslední částí je experimentální část, která se věnuje měření odparu za různých okrajových podmínek a následného srovnání s některými výpočtovými metodami pro výpočet odparu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bazénová hala, průběh vlhkosti, odvlhčování, chladič, měrná vlhkost, cirkulační režim, chladičí výkon, odpar

ABSTRACT

The diploma thesis deals with microclimate of a pool hall. This is divided into three parts.

The first part describes the theoretical aspects of the environment in swimming pools in general.

The second part of the diploma thesis deals with the calculation of the course of specific moisture concentration during the day in the pool hall. Different humidity concentration curves are assessed based on different selectable input parameters. Subsequently, suitable setting options are evaluated in order to achieve acceptable environment in the hall in terms of humidity and optimal operating costs.

The last part relates to the experimental part. This examines the measurement of evaporation under different boundary conditions and the subsequent comparison with some calculation methods for the calculation of evaporation.

KEY WORDS

Pool hall, course of humidity, dehumidification, cooler, specific humidity, circulation mode, cooling capacity, evaporation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Nikol Prchalová *Optimalizace vzduchotechniky wellness sportovního centra*. Brno, 2021. 92 s., 8 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Petr Blasinski, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Optimalizace vzduchotechniky wellness sportovního centra* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 12. 2021

Bc. Nikol Prchalová

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Optimalizace vzduchotechniky wellness sportovního centra* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 12. 2021

Bc. Nikol Prchalová

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych moc poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Blasin-skému, Ph.D., za ochotu, pomoc a cenné rady, které mi během zpracování práce věnoval.

Obsah

ÚVOD.....	11
A. TEORETICKÁ ČÁST	
A.1 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY.....	13
A.2 PROBLEMATIKA PRODUKOVANÝCH ŠKODLIVIN.....	15
A.3 VZT JEDNOTKY.....	18
A.3.1 HISTORIE/ VÝVOJ.....	18
A.3.2 SNIŽOVÁNÍ ENERGIE/ ZÓNOVÁNÍ.....	19
A.4 VLHKÝ VZDUCH.....	20
A.4.1 DALTONŮV ZÁKON.....	21
A.4.2 STAVOVÁ ROVNICE.....	22
A.4.3 VYJÁDŘENÍ VLHKOSTI VZDUCHU.....	22
A.4.4 PŘENOS VLHKOSTI.....	24
A.5 ODPAR.....	26
A.5.1 VÝPOČTOVÉ METODY.....	27
A.5.1.1 Výpočet dle VDI 2089 (starší vydání).....	27
A.5.1.2 Výpočet dle VDI 2089 (nové vydání).....	27
A.5.1.3 Zjednodušený výpočet využívající empirických závislostí.....	28
A.5.1.4 Odpařování z volné hladiny podle L. Oppla.....	29
A.5.1.5 Odpar vody z vodních atrakcí VDI 2089 (nové vydání).....	29
B. VÝPOČTOVÁ ČÁST	
B.1 NÁVRH VZT Z BP.....	32
B.1.1 KLIMATICKÉ PODMÍNKY.....	33
B.1.2 POŽADAVKY NA VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ.....	33
B.1.3 SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA.....	33
B.1.4 TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTUPEM.....	33
B.1.5 VÝPOČET TEPELNÉ BILANCE.....	34
B.1.6 PRŮTOK VZDUCHU.....	40
B.1.7 DISTRIBUČNÍ ELEMENTY.....	41
B.1.8 NÁVRH JEDNOTKY.....	41
B.2 ROZBOR VÝPOČTU.....	42
B.2.1 VÝPOČET KONCENTRACE VLHKOSTI V BAZÉNOVÉ HALE.....	42
B.2.1.1 SCHÉMA POUŽITÝCH VELIČIN PRO V1 - CHLADIČ NA PŘÍVODU.....	45

B.2.1.2 SCHÉMA POUŽITÝCH VELIČIN PRO V2 - CHLADIČ NA ODVODU.....	47
B.2.2 UKÁZKOVÝ GRAF PRŮBĚHU VLHKOSTI V HALE.....	51
B.2.3 SCHÉMA ZKOUMANÝCH REŽIMŮ.....	52
B.2.3.1 CHLADIČ NA PŘÍVODU.....	54
B.2.3.2 CHLADIČ NA ODVODU.....	54
B.2.3.3 C1 - 100% ČERSTVÝ VZDUCH.....	55
B.2.3.4 C2 - 0% ČERSTVÝ VZDUCH.....	55
B.2.3.5 C3 - 60% ČERSTVÝ VZDUCH.....	55
B.2.3.6 C4 - Automatická regulace.....	56
B.2.3.7 C5 - Automatická regulace.....	56
B.2.3.8 SOUČINITEL 'K'.....	57
B.3 VÝSLEDKY	58
B.3.1 GRAFY: ZMĚNA VÝMĚNY VZDUCHU.....	59
B.3.2 GRAFY: ZMĚNA VARIANTY UMÍSTĚNÍ CHLADIČE.....	60
B.3.3 GRAFY: ZVÝŠENÍ CHLADICÍHO VÝKONU.....	61
B.3.4 GRAFY: ZVÝŠENÍ DOLNÍHO LIMITU.....	62
B.3.5 GRAFY: ZMĚNA CIRKULAČNÍHO REŽIMU.....	63
B.3.6 ZMĚNA VÝMĚNY VZDUCHU.....	65
B.3.7 ZMĚNA VARIANTY UMÍSTĚNÍ CHLADIČE.....	65
B.3.8 ZVÝŠENÍ CHLADICÍHO VÝKONU.....	66
B.3.9 ZVÝŠENÍ DOLNÍHO LIMITU.....	66
B.3.10 ZMĚNA CIRKULAČNÍHO REŽIMU.....	67
B.3.11 SJEDNOCENÉ ČÍSELNÉ VÝSLEDKY PRO 3/h.....	68
B.4 ZÁVĚR.....	70
C. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	
C.1 VARIANTY MĚŘENÍ	74
C.2 POPIS MĚŘENÍ.....	75
C.3 POUŽITÉ MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE.....	76
C.4 POUŽITÉ VZTAHY	77
C.4.1 Průtok vzduchu.....	78
C.4.2 Měrná vlhkost vzduchu.....	78
C.4.3 Množství odpařené vody.....	78
C.5 VÝSLEDKY	78
C.6 ZÁVĚR.....	83
ZÁVĚR.....	84

POUŽITÉ ZDROJE	85
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ.....	87
SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	92
PŘÍLOHY	92
1 VÝSLEDKY SLEDOVANÝCH PARAMETRŮ RŮZNÝCH VÝMĚN VZDUCHU.....	93
1.1 2/h VÝMĚNA.....	93
1.2 3/h VÝMĚNA.....	94
1.3 5/h VÝMĚNA.....	95
1.4 10/h VÝMĚNA.....	96
2 UKÁZKA CELISTVÉHO VÝPOČTU PRŮBĚHU KONCENTRACE VLHKOSTI V HALE.....	97
3 OBRAZOVÉ ZNÁZORNĚNÍ ŘEŠENÍ DANÉ PROBLEMATIKY	
3.1 SCHÉMA POUŽITÝCH VELIČIN PRO V1 – CHLADIČ NA PŘÍVODU	
3.2 SCHÉMA POUŽITÝCH VELIČIN PRO V2 – CHLADIČ NA ODVODU	
3.3 SCHÉMA ZKOUMANÝCH REŽIMŮ	
3.4 UKÁZKOVÝ GRAF PRŮBĚHU VLHKOSTI V HALE	
4 VÝKRESY	
4.1 PŮDORYS 2.PP	
4.2 PŮDORYS 1.PP	
4.3 PŮDORYS 1.NP	
4.4 ŘEZ A-A	

ÚVOD

Diplomová práce se zabývá mikroklimatem v bazénové hale a dělí se na tři části:

V první části a to teoretické, se probírají základní požadavky návrhu větrání bazénových hal, problematika vyskytujících se škodlivin, VZT jednotky, vlhký vzduch a odpar.

Druhá část diplomové práce se věnuje výpočtu koncentrace měrné vlhkosti během dne v bazénové hale. Bazénová hala, která je součástí wellness sportovního centra se nachází ve Znojmě. Hala obsahuje bazén a vířivku. Návrh vzduchotechniky je převzán z bakalářské práce.

Jsou posuzovány různé průběhy koncentrace vlhkosti na základě volitelných různých vstupních parametrů, mezi které patří: násobnost výměny větrání, pozice chladiče ve VZT jednotce, chladičí výkon, změna dolní hranice spuštění chladiče či cirkulační režim. Následně jsou vyhodnoceny vhodné varianty nastavení jednotky, aby bylo docíleno přijatelného prostředí v hale z hlediska vlhkosti a optimálních provozních nákladů (provoz chladiče, ohřívače a ventilátorů).

Třetí část je věnována experimentálnímu měření odparu z vodní hladiny za dvou různých provozních stavů (zvlněná hladina a volná hladina s chrličem) s různými průtoky přiváděného vzduchu. Výsledky odparu jsou následně porovnány s některými výpočtovými metodami.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ČÁST A. TEORETICKÁ ČÁST

OPTIMALIZACE VZDUCHOTECHNIKY WELLNESS SPORTOVNÍHO CENTRA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

NIKOL PRCHALOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. PETR BLASINSKI, PH.D.

BRNO 2022

MIKROKLIMA VNITŘNÍCH BAZÉNŮ

A.1 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY

Kryté bazény jsou prostory, ve kterých má vzduchotechnika zásadní vliv na provoz budovy, uživatelský komfort, provozní náklady, bezpečnost stavby a zdraví lidí odvedením škodlivých látek odpařujících se z vody.

Největším problémem pro zajištění tepelně-vlhkostních podmínek je odvedení vlhkosti vznikající odparem primárně z vodní hladiny. Mezi další zdroje vlhkosti patří vlhký povrch podlahy kolem bazénu, vodní atrakce, či lidé.

Mezi zdroje tepla řadíme osvětlení, radiátory, lidé, teplo pronikající pláštěm budovy a sluneční záření (které kvůli často velkým proskleným plochám bývá značné).

Tuto teplotní a vlhkostní zátěž je třeba odvádět větracím systémem, aby nedocházelo ke zhoršování tepelně-vlhkostních poměrů v objektu.

Mezi zásady návrhu větrání bazénových hal patří:

- Udržovat celý prostor v podtlaku (alespoň 95 %) z důvodu zamezení vniknutí par do okolních prostor nebo do chybně provedených konstrukcí.
- Zajistit dokonalé provětrání celé haly včetně koutů, kde by vzduch mohl stát a hrozilo by riziko kondenzace vody (následně hrozí vznik plísní).
- Zvolit správnou distribuci vzduchu. Je žádoucí, aby přírodní vzduch ofukoval prosklené konstrukce a bylo tak zamezeno případné kondenzaci na jejich povrchu. Odvodní prvky se často umísťují nad zdroj škodlivin, tedy nad vodní hladinu.
- Materiály volit tak, aby odolaly agresivnímu prostředí. Koncentrace chloridů spolu s dalšími chemickými látkami a vysokou vlhkostí způsobují až nejvyšší stupeň korozního namáhání. Vzduchovody by proto měly být např. nerezové, plastové či textilní. Odolnost lze zvýšit i nátěrem. Vzduchotechnická jednotka by rovněž měla odolávat náročnějším podmínkám.
- Systém VZT pro bazén tvoří samostatný funkční celek.
- Dle vyhlášky 238/2011 Sb. je minimální výměna vzduchu 2/h; pro bazénovou halu s vodními atrakcemi doporučeno 4-6/h.
- Měrná vlhkost by neměla překročit 14,3 g/kg_{s.v.}.
- U větších bazénových ploch by jednotka měla obsahovat skladbu umožňující systém řízeného celoročního odvlhčování.
- Rychlost v oblasti neoblečených osob do 0,2 m/s.

Tab.A. 1 - Mikroklimatické požadavky, osvětlení a vnitřní ovzduší bazénové haly krytého bazénu a jeho přilehlých prostor – vyhláška č. 238/2011 Sb.⁵

Faktor prostředí	Hala bazénu	Přilehlé prostory pro uživatele (šatny, WC, sprchy, chodby atd.)	Vstupní hala
Intenzita osvětlení	min. 200 luxů pro rekreační koupání, min. 300 luxů pro plavecký výcvik	200 luxů	100 luxů
Teplota vzduchu	o 1–3 °C vyšší než teplota vody v bazénu max. 34 °C	sprchy 24–30 °C šatny 20–28 °C pobytové prostory 22–26 °C vstupní prostory 20–22 °C	min. 17 °C
Relativní vlhkost vzduchu	max. 65 %	sprchy max. 85 % ostatní prostory max. 50 %	
Intenzita výměny vzduchu	min. 2x za hodinu	sprchy min. 8x za hodinu šatny 5 - 6x za hodinu ostatní prostory tak, aby vyhovovaly limitním hodnotám relativní vlhkosti vzduchu	min. 1x za hodinu
Trichlor-amin	0,5 mg/m ³ ¹⁾	-	-

- 1) Odběr vzorku se provádí 20 cm nad hladinou vody v bazénu; pokud to není technicky možné, tak ve výšce 150 cm nad hladinou vody. Četnost sledování si volí provozovatel bazénu podle potřeby na základě místních podmínek (výsledky předchozích stanovení, měřené hodnoty vázaného chloru, roční období apod.)

A.2 PROBLEMATIKA PRODUKOVANÝCH ŠKODLIVIN

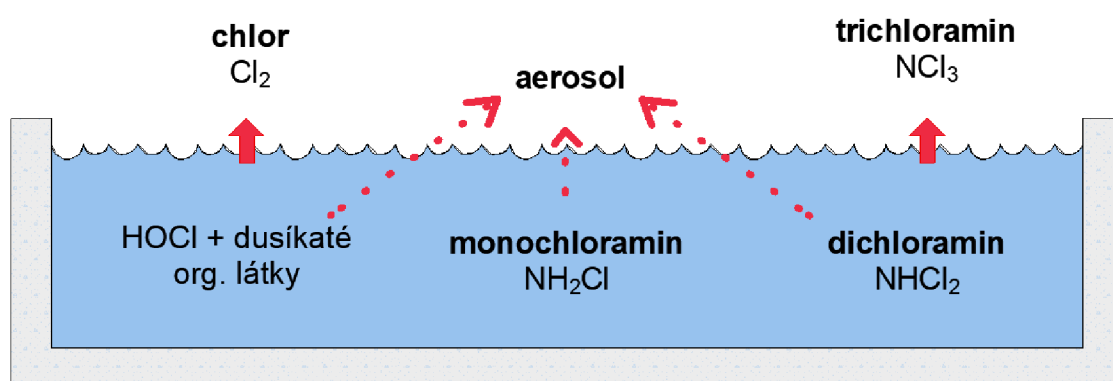
Dezinfekce vody v bazénech je nezbytná z důvodu inaktivace mikrobiologických patogenů a tím pádem k prevenci možných nemocí získaných z vody. S používáním většiny dezinfekčních prostředků je však spojena tvorba vedlejších produktů dezinfekce (chlor – např. chloraminy, ozon – např. aldehydy a bromičnany, chlordioxid – např. chlorečnany, chloritany).

Nejpoužívanějším dezinfekčním prostředkem bazénové vody je, z důvodu cenové dostupnosti a možnosti monitorování jeho koncentrací, chlor. Rozpouštěním ve vodě vzniká volný chlor a ten pak tvoří reakcí s organickými a dusíkatými sloučeninami chlor vázaný. Mezi primární zdroje organických sloučenin patří pot, moč, vlasy, sliny, šupinky kůže a další.

Některé vedlejší produkty chlorace jsou vysoce těkavé a mohou se přenášet z vody do vzduchu. Mezi nejdůležitější těkavé vedlejší produkty patří: trihalometany (THM), včetně chloroformu, dichlorbrommethanu, dibromchlormethanu a bromoformu, a trichloramin (NCl_3). Tyto sloučeniny jsou těžší než vzduch a hromadí se u vodní hladiny, kde pak dochází k vdechování plavci.

Několik studií zjistilo souvislost mezi vystavením zvýšeným hladinám trihalometanů a nepříznivými zdravotními účinky jako je podráždění očí, kůže, nosu a krku, určitých typů rakoviny a nepříznivé účinky na reprodukci.

Velká část výzkumů týkajícího se kontaminace vzduchu v krytých bazénech se zaměřila na expozici trichloraminu. Trichloramin (NCl_3) je spojován s astmatem jak u pracovníků bazénů, tak u návštěvníků a permeabilitu plicního epitelu u malých dětí.¹



Obr.A. 1 - Schéma procesu tvorby trichloraminu

Koncentrace celkových trihalometnanů ve vzduchu dle článku *„Determinants of chlorination by-product in indoor swimming pools“*⁷ jsou spojeny s:

- počtem plavců (dopad mají i provozované aktivity jako je plavání, hraní, vytváření vodních turbulencí a tím zvyšování těkavosti chemické látky z vody do vzduchu)
- objemem haly (chemikálie jsou více rozptýleny a ředěny ve větším objemu vzduchu)
- ročním obdobím
- koncentracemi ve vodě
- recirkulované vzduchu
- poměrem mezi počtem návštěvníků a objemem vody (V/W)

Koncentrace trichloraminu se spojují rovněž s počtem plavců (výrazně), objemem, ročním obdobím, poměrem V/W a navíc pak s teplotou vzduchu a pH vody.

Výsledky zmíněné studie ⁷ odrážejí významné sezonní změny v koncentracích vedlejších produktů chlorace, které následují vysoký podíl recirkulovaného vzduchu během zimního období (nízká výměna vzduchu v zimě vede k akumulaci škodlivin). Podíl oběhového vzduchu musí být kompromisem mezi komfortními podmínkami pro personál a plavce a náklady za dohřev čerstvého vzduchu z venkovního prostředí na požadovanou teplotu.

Četné studie měřily koncentrace THM a NCl₃ jak ve vzorcích prostředí krytých plaveckých bazénů (voda a vzduch), tak v biologických médiích (moč, krev nebo vydechovaný vzduch), aby bylo možné posoudit expozici pracovníků plaveckých bazénů a koupajících se. Tabulka 1 popisuje druh médií a hlavní výsledky uváděné v těchto studiích. Pouze několik studií zkoumalo parametry ovlivňující koncentrace NCl₃ nad bazény.

Tab.A. 2 - Popis studií vztahující se k trihalomenthanů⁷

Vedlejší produkty chlorace	Experimentální podmínky	Hlavní výsledky	Odkaz
CHCl ₃	Bazény n = 3 Média: voda, okolní vzduch a krev Subjekty: 127 exponovaných a 40 neexponovaných	CHCl ₃ v krvi koreloval s hladinami ve vodě a vzduchu, počtem plavců, časem a intenzitou plavecké aktivity.	Aggazzotti a kol., 1990
CHCl ₃	Bazény n = 2 Média: voda, prostředí a vydechovaný vzduch Subjekty: 163 exponovaných a 77 neexponovaných	Významná korelace mezi CHCl ₃ v okolním a alveolárním vzduchu. Vliv plaveckého vzoru na hladinu vzduchu v dechu.	Aggazzotti a kol., 1993
CHCl ₃	Bazény n = 12 Média: voda, okolní a alveolární vzduch a krev Předměty: 127 (102 závodních plavců, 16 nesoutěžních plavců a 9 návštěvníků)	CHCl ₃ v ovzduší byl ve vzájemném vztahu k počtu plavců a CHCl ₃ ve vodě Soutěžní plavci byli silně vystaveni Kinetická CHCl ₃ eliminace	Aggazzotti a kol., 1995

Celkový trihalometan	Bazén $n = 1$ Média: voda, moč, osobní a okolní vzduch Předměty: 5 závodních plavců	Detekce CHCl_3 , CHCl_2Br a CHClBr_2 v alveolárním vzduchu Odlišná rychlost eliminace pro CHCl_3 , CHCl_2Br a CHClBr_2	Aggazzotti a kol., 1998
Celkový trihalometan	Bazény $n = 4$ Média: voda, moč, osobní a okolní vzduch Studované zařízení: šatny, kanceláře, bazén	Inhalace je hlavní cestou expozice pracovníků Pro koupající se může být důležité požití a vstřebávání kůží	Aprea a kol., 2010
NCl_3	Studium akutních účinků Bazény $n = 1$ Médium: okolní vzduch Předmětů: 29 (16 dětí a 13 dospělých)	Expozice NCl_3 může mít nepříznivé účinky na plicní epitel malých dětí	Bernard a kol., 2003
Celkový trihalometan	Bazén $n = 1$ Médium: voda a moč Předměty: 24 (14 pracovníků a 10 plavců)	Významná korelace mezi THM ve vodě a v moči Pro koupající se může být důležité požití a vstřebávání kůží	Caro a Gallego, 2007
Celkový trihalometan	Bazén $n = 1$ Média: voda, moč, okolní a dechový vzduch Dechový vzduch byl citlivější, než moč Předměty: 27 (15 pracovníků a 12 plavců)	Korelace mezi CHCl_3 okolního vzduchu / alveolární vzduch, a mezi moči / alveolární vzduchu. Dechový vzduch byl citlivější, než moč	Caro a Gallego, 2008
CHCl_3	Bazén $n = 1$ Média: voda, okolní vzduch a krev Předměty: 17 (plavci a osoba procházející kolem bazénu)	Absorpce kůží představovala jednu třetinu celkové expozice Korelace mezi koncentracemi v krvi a okolním ovzduší	Erdinger a kol., 2004
Celkový trihalometan	Bazény $n = 5$ Média: voda, okolní a alveolární vzduch Předměty: 32 pracovníků bazénu (16 mužů a 16 žen) Studovaná zařízení: u bazénu, recepce a strojovna	Korelace mezi okolním a alveolárním vzduchem Obsluha bazénu byla vystavena více než zaměstnanci pracující v jiné oblasti	Fantuzzi a kol., 2001
Celkový trihalometan	Bazény $n = 20$ Média: voda, okolní a alveolární vzduch Předměty: 133 pracovníků Studované zařízení: u bazénu, kavárna a recepce	Zaměstnanci pracující u bazénu měli vyšší příznaky podráždění očí a dýchacích cest a kožní onemocnění než subjekty pracující v jiné oblasti	Fantuzzi a kol., 2010
Celkový trihalometan	Bazén $n = 1$ Média: voda a okolní vzduch (TTHM a NCl_3) a alveolární vzduch (TTHM) Subjekty: 50 nekuřáků	Nedostatek spojení mezi plaváním a testy funkce plic Po 40 minutách plavání se mírně zvyšuje propustnost plicního epitelu	Font-Ribera a kol., 2010
NCl_3	Bazény $n = 13$ Médium: okolní vzduch	Vývoj metody odběru vzorků založené na redukci chloraminů na chloridy Hladiny NCl_3 byly ovlivněny vodními turbulencemi Byla navržena mezní hodnota komfortu $0,5 \text{ mg/m}^3$	Héry a kol., 1995
NCl_3	Bazény $n = 38$ (6, pokud je vybráno pro měření podmínek prostředí) Médium: okolní vzduch Subjekty: 624 pracovníků bazénu	Hladiny NCl_3 byly spojeny s počtem plavců, volným chlórem a výškou stropu Nadměrné riziko astmatu u zaměstnanců bazénu	Jacobs a kol., 2007
NCl_3	Bazény $n = 7$ Médium: voda a okolní vzduch Předměty: 600 plavců (závodní plavci a fotbalisté)	Nejvyšší úroveň expozice byla zjištěna u mladších plavců Iritační symptomy byly korelovány s NCl_3 koncentracím Nárůst onemocnění dýchacích cest pro NCl_3 podlažích $\geq 0,37 \text{ mg/m}^3$	Lévesque a kol., 2006
CHCl_3 a CHCl_2Br	Bazén $n = 1$ Média: voda, okolní a alveolární vzduch Předměty: 2 závodní plavci (1 muž a 1 žena)	Vrchol alveolární CHCl_3 byla dvakrát vyšší než dlouhodobé hladiny okolního Dermální absorpce odhadovaná na cca 80 %	Lindstrom a kol., 1997
NCl_3	Bazény $n = 63$ (46 veřejných a 17 volnočasových center)	Vyšší koncentrace byly zjištěny v rekreačním středisku a obecně přesahovaly $0,5 \text{ mg/m}^3$	Massin a kol., 1998

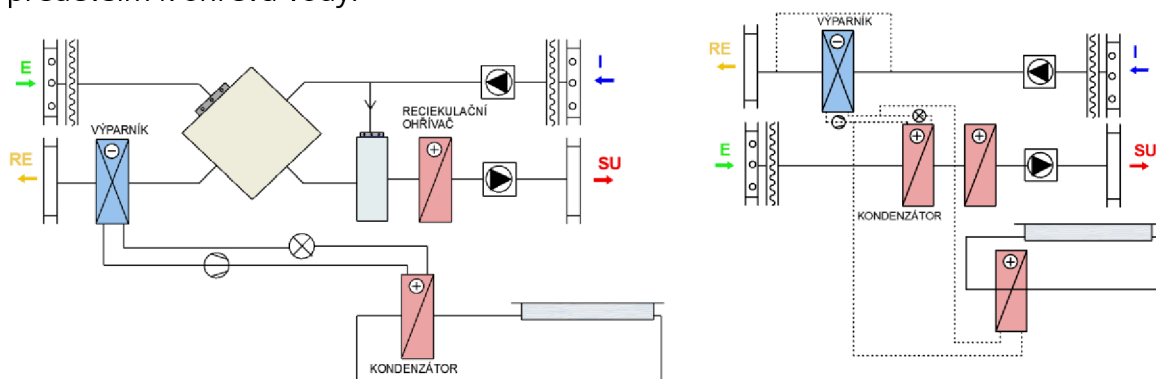
	Médium: okolní vzduch Subjekty: 334 plavčků	Plavčíci s expozicí NCl_3 jsou ohroženi rozvojem akutních příznaků podráždění	
NCl_3	Bazény $n = 3$ Médium: okolní vzduch Předměty: 3 (2 plavčíci a 1 učitel plavání)	NCl_3 může vyvolat astma z povolání u pracovníků bazénů	Thickett a kol., 2002
NCl_3	Bazény $n = 4$ Médium: okolní vzduch	Aplikace metody založené na chemii DPD/KI pro měření NCl_3 Koncentrace NCl_3 byly spojeny s počtem koupajících se a typem plavecké aktivity.	Weng a kol., 2011

Celkový trihalomethan (CHCl_3 , CHCl_2Br , CHClBr_2 , CHBr_3)

A.3 VZT JEDNOTKY

A.3.1 HISTORIE / VÝVOJ

První publikace o energeticky úsporných řešeních skládajících se z větracích jednotek vybavených zařízeními pro zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu byly předloženy v roce 1980. V roce 1994 Westerlund a Dahl navrhli použití otevřeného absorpčního tepelného čerpadla ke snížení spotřeby tepla a elektřiny, avšak otevřené absorpční tepelné čerpadlo se běžně nepoužívá. V roce 1996 navrhli Lazzarini a Longo použití křížového výměníku tepla a tepelné čerpadlo s kondenzátorem vzduch/voda ve ventilačních jednotkách. V roce 2001 Johansson a Westerlund potvrdili, že nejprínosnější byly systémy zahrnující tepelné čerpadlo a dvojitý kondenzátor, nicméně v jejich analýzách prošlo vzduchovým kondenzátorem pouze 10 % větraného vzduchu. Zbývající vzduch putoval přes vodní kondenzátor a rekuperované teplo pak vstoupilo do vody bazénu. Pozorovali nutnost správné definice objemu odpařené vody, což mohlo způsobit určité nesrovnalosti v porovnání výsledků z reálných bazénů. Vzduchotechnické jednotky bazénu navržené v 1996 a 2001 jsou znázorněny na Obr.A.2. Tepelné čerpadlo instalované v těchto jednotkách slouží především k ohřevu vody.⁸

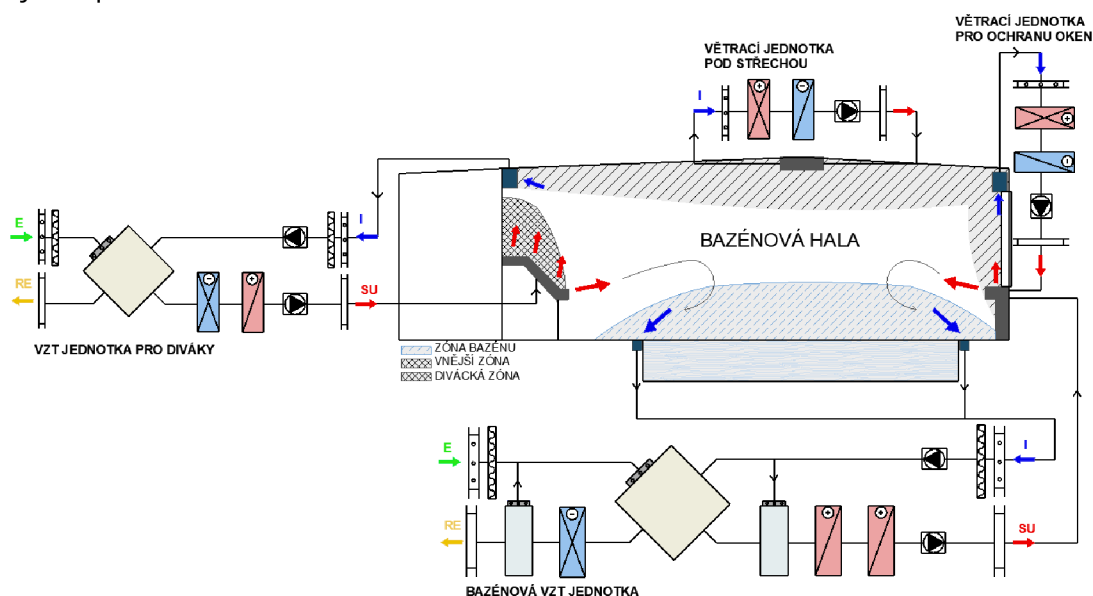


Obr.A. 2 - V literatuře navržené VZT jednotky bazénu s tepelným čerpadlem

A.3.2 SNIŽOVÁNÍ ENERGIE / ZÓNOVÁNÍ

S ohledem na tepelný komfort jsou jiné požadavky pro samotný bazén a případné publikum, kde se vyskytují oblečení lidé. Pohodlná teplota pro plavce je pro diváky příliš vysoká. Jedním z řešení je zřídit samostatnou zónu pro bazén, mezilehlou a samostatnou zónu pro diváky.

- Zóna pro bazén musí splňovat parametry pro tepelnou pohodu plavců, musí se zde odvádět vznikající vlhkost vlivem odparu a škodlivé sloučeniny chlóru (vlivem dezinfekce vody). Průtok přiváděného vzduchu je daný množstvím odpařující se vody.
- Zóna vnější přepážky
- Zóna pro diváky bude vyžadovat jiné podmínky primárně kvůli oblečení, pohybu apod.



Obr.A. 3 - Schéma navrhovaného systému decentralizovaného větrání

Výhodou tohoto decentralního systému je, že každé zařízení může pracovat v případě potřeby, což vede k snížení provozních nákladů.

Dle článku *'Energy consumption decreasing strategy for indoor swimming pools – Decentralized Ventilation system with a heat pump'*⁸ je do strategie snížení spotřeby energie v bazénech zahrnuto:

- Zónování objektu
- Použití větracích jednotek vybavených třístupňovou rekuperací tepla včetně: tepelného čerpadla, tepelného výměníku a dvojitě recirkulace vzduchu, vzduchového kondenzátoru jako základny pro ohřev vzduchu a přídatného vodního kondenzátoru umožňujícího přenos tepla pro topnou vodu²
- Použití samostatného systému pro ochranu obálky budovy proti kondenzaci vlhkosti s využitím pouze cirkulujícího vzduchu

Oproti tomuto řešení stojí tradiční centrální systém větrání s jednou vzduchotechnickou jednotkou, která pokrývá potřeby pro celou bazénovou halu a je v provozu nepřetržitě celý rok. Jednotka pro centrální systém musí zohledňovat odvedení vlhkostní a tepelné zátěže a ochránit obálku budovy -> větší průtok vzduchu hlavní bazénovou jednotkou než v předchozím případě.

Dle polské studie ^{8'} vyplývá úspora z decentralizace větracího systému pro bazénovou halu 30 % s použitím jednotky bez tepelného čerpadla a 36 % s jednotkou s tepelným čerpadlem. Úspory při tomto řešení dosáhneme menším množstvím elektrické energie na ventilátory (celoročně provozovaná jednotka je menší, s menšími ventilátory s menším průtokem; další větrací systémy, které pracují s cirkulačním vzduchem mají díky malým průtokům rovněž malý příkon a nejsou neustále v provozu -> nezvyšuje se tedy spotřeba celého systému).

Další úsporou energie bychom mohli dosáhnout regulací podílu venkovního vzduchu dle potřeby, kde např. v zimním období s menším podílem venkovního vzduchu snížíme potřebu na dohřev. Při zavřené bazénové hale je vhodné pracovat pouze s oběhovým vzduchem. Navíc při možnosti zakrytí vodní hladiny minimalizujeme odpar a tím následně zmenšíme potřebné energie na odvlhčení haly.

A.4 VLHKÝ VZDUCH

Atmosférický vzduch je směs suchého vzduchu a vodních par (nebo i mlhy a jinovatky – zmrzlé mlhy).

Vysoká vlhkost spolu s teplotou a prouděním ovlivňuje termoregulaci člověka tím, že zvyšuje tepelnou vodivost vzduchu (až 10x). Při nízkých teplotách se zvyšuje výdej tepla radiací, vedením a vypařováním (možný vznik hypotermie), při vysokých teplotách pociťujeme dusno a omezuje se výdej všemi způsoby (možný vznik hypertermie).

Podíl vodní páry v klimatizační technice hraje významnou roli. Příliš nízká nebo i příliš vysoká vlhkost ovlivňuje nejen pohodu člověka, ale často je stěžejní veličinou v průmyslu. Pro dosažení požadovaného stavu vzduchu musíme vzduch upravit (filtrovat, ohřát, ochladit, zvlhčit nebo odvlhčit). Tyto změny stavu lze spočítat pomocí stavové rovnice plynů nebo graficky znázornit pomocí h-x diagramu.

Dělí se:

- $p_v < p_v''$ - nenasycený vzduch (parciální tlak vodních par ve vzduchu < tlak sytých par při stejné teplotě)
- $p_v = p_v''$ - nasycený vzduch
- $p_v > p_v''$ - přesycený vzduch (nasycený vzduch, který dále obsahuje další vodu v kapalném nebo tuhém skupenství)

Stanovit hodnotu parciálního tlaku nasycené vodní páry lze pomocí tabulek vodní páry, kde hodnoty nalezneme pomocí teploty. Parciální tlak suchého vzduchu stanovíme rozdílem z celkového tlaku podle Daltonova zákona.

Suchý vzduch je definován, a to pro nulovou nadmořskou výšku složením:

Tab.A. 3 – Složení suchého vzduchu

Plyn	objemové složení [%]	hmotní složení [%]
Dusík (N ₂)	78,09	75,5
Kyslík (O ₂)	20,29	23,2
Argon (Ar)	0,93	1,286
Oxid uhličitý (CO ₂)	0,03	0,046
Ne, He, Kr, Xe, H ₂ , O ₃	0,66	-

Základní termodynamické hodnoty suchého vzduchu:

Tab.A. 4 – Základní termodynamické hodnoty suchého vzduchu

Měrná plynová konstanta	$R_{sv} = 287,062 \text{ J/ (kg. K)}$
Střední molární hmotnost	$M_{sv} = 28,964 \text{ kg/kmol}$
Měrná tepelná kapacita za stálého tlaku	$c_{p,sv} = 1005,968 \text{ J/(kg.K)}$
Kritická teplota	$T_{K,sv} = 132,45 \text{ K}$
Kritický tlak	$p_{K,sv} = 3,77 \text{ Mpa}$
Kritická měrná hmotnost	$\rho_{K,sv} = 349 \text{ kg/m}^3$
Poissonova konstanta	$\kappa = 1,39$

A.4.1 DALTONŮV ZÁKON

Pro směsi ideálních plynů (i pro vlhký vzduch) platí Daltonův zákon. Celkový tlak směsi plynů je dán součtem parciálních (dílčích) tlaků jednotlivých složek.

$$p = p_a + p_d \quad (\text{A.1})$$

p ...celkový tlak vzduchu [Pa]

p_a ...dílčí parciální tlak suché složky [Pa]

p_d ...dílčí tlak vodních par ve vzduchu [Pa]

Tento vztah je přesný pro nízké a střední tlaky, odchylky byly zjištěny pouze pro vysoké tlaky.

$$p_a = \sum p_{a i} \quad (\text{A.2})$$

$p_{a i}$...složky suchého vzduchu [Pa]

A.4.2 STAVOVÁ ROVNICE

$$p = \frac{R}{m_m} \rho \cdot T \quad (\text{A.3})$$

Robecná plynová konstanta 8315 J/(kmol·K)

m_m ...střední molekulová hmotnost [kg/kmol]

ρhustota [kg/m³]

Tabsolutní teplota [K]

Střední molekulová hmotnost suchého vzduchu: $m_m = 1 / \sum (M_i / m_i)$

M_ihmotnosti složek v 1 kg směsi [kg/kg]

m_ijejich molekulové hmotnosti

Pro suchý vzduch je $m_m = 28,97$

V technické praxi se používá plynová konstanta:

- Pro suchý vzduch: $r_a = \frac{R}{m_m} = \frac{8315}{28,97} = 287,02 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

- Pro vodní páru: $r_d = 461,5 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

Hustota vlhkého vzduchu:

$$\rho = \rho_a + \rho_d = \frac{1,317 \cdot 10^{-3}}{T} (2,56 p - \varphi p_d'') = \rho_{a,p} - \frac{1,317 \cdot 10^{-3} p_d''}{T} \rho \quad (\text{A.4})$$

$1,317 \cdot 10^{-3} \cdot p_d'' / T$...rozdíl hustoty suchého a nasyceného vzduchu

φ ...relativní vlhkost vzduchu [-]

$\rho_{a,p}$...hustota suchého vzduchu při celkovém tlaku p

Vztah lze upravit do tvarů: $\rho = \frac{1}{287 T} (p - 0,397 \cdot \varphi \cdot p_d'') = \frac{1}{287 T} (p - \frac{3}{8} \varphi \cdot p_d'')$; $\rho = \frac{p}{461,5 T} \cdot \frac{1+x}{0,622+x}$

A.4.3 VYJÁDŘENÍ VLHKOSTI VZDUCHU

- **Absolutní vlhkost vzduchu** $a = \rho_d$

Je to hustota vodních par ve vzduchu v kg/m³.

- **Parciální tlak vodních par ve vzduchu** p_d

Nejčastěji se určuje měřením teploty vzduchu suchým a zvlhčeným teploměrem. V praxi je pro výpočet použitelná tzv. psychometrická rovnice.

$$p_d = p_d'' - A \cdot p \cdot (t - t_m) \quad (\text{A.5})$$

p_d''tlak sytých vodních par při teplotě zvlhčeného teploměru [Pa]

Apsychometrický součinitel (pro $t_m \leq 30$ °C $A = 622 \cdot 10^{-6}$)

$(t - t_m)$...psychometrický rozdíl teplot (teplota suchého vzduchu - teplota zvlhčeného teploměru [K])

- **Relativní vlhkost vzduchu φ , rh**

Popisuje stupeň nasycení vzduchu. $\varphi=100\%$ je plně nasycený vzduch $p_v = p_v''$. Relativní vlhkost je odvozenou experimentálně měřitelnou veličinou.

Relativní vlhkost je definována poměrem parciálního tlaku vodní páry a parciálního tlaku nasycené vodní páry při konstantní teplotě, alternativně poměrem absolutní vlhkosti daného vzduchu k absolutní vlhkosti nasyceného vzduchu při stejné teplotě.

$$\varphi = \frac{p_d}{p_d''} = \frac{p_d}{p_d''} \quad (\text{A.6})$$

- **Měrná vlhkost vzduchu x**

Jedná se o hmotnost vodních par, které připadají na 1 kg suchého vzduchu. Využívá se při výpočtech spojených s úpravou vzduchu jako vlhčení a odvlhčování.

$$x = 0,622 \frac{p_d}{p - p_d} = 0,622 \frac{\varphi p_d''}{p - \varphi p_d''} \quad (\text{A.7})$$

- **Teplota rosného bodu t_r**

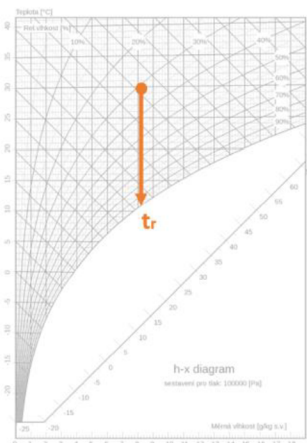
Je to teplota, při které je vzduch při ochlazování vodními parami právě nasycen. Při dalším ochlazování nastane kondenzace.

Je to přibližně teplota, při níž se odmaštěný povrch začíná orosovat, což je ale obtížné stanovit. Provádí se opticky nebo elektricky.

Pokud známe tlak vodních par ve vzduchu, lze teplotu určit podle rovnic:

$$\text{Pro } t_r > 0: t_r = \frac{4044,2}{23,58 - \ln p_d} - 235,6$$

$$\text{Pro } t_r < 0: t_r = \frac{6148}{28,926 - \ln p_d} - 273,1$$



Obr.A. 4 – Teplota rosného bodu v h-x diagramu

- **Teplota mokrého teploměru t_m**

Je to rovnovážná teplota, při níž teplo potřebné k odpařování vody z mokrého povrchu je dodávané do vzduchu. Teplota mokrého teploměru je

veličina ovlivňována podmínkami přenosu tepla a vlhkosti a tepelným sáláním a je měřítkem entalpie vzduchu. Stanovíme měřením:

Baňka teploměru je obalena mokrou punčoškou, z jejíž povrchu se odpařuje voda, nastane po ustálení rovnovážný stav, při němž všechno teplo potřebné k odpařování vody z punčošky je dodáváno z vnějšku (konvekce a sálání). Sálání, které ovlivňuje měření, se eliminuje zvýšením rychlosti proudění a zmenšením rozměrů čidla; sálání okolních ploch se omezuje stíněním (fóliové clony s lesklým povrchem). Měření se vyčíslí pomocí Sprungova vzorce (psychometrická rovnice):

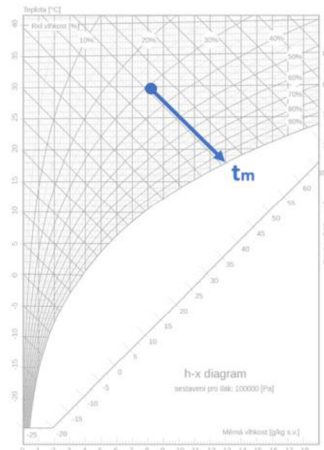
$$p_a = p_d'' m - A \cdot p \cdot (t - t_m) \quad (\text{A.8})$$

$p_a, p_d'' m$tlak vodních par ve vzduchu a sytých par při teplotě mokrého teploměru

ptlak vzduchu

$(t - t_m)$...psychometrický rozdíl teplot

Apsychometrický součinitel



Obr.A. 5 – Teplota mokrého teploměru v h-x diagramu

A.4.4 PŘENOS VLHKOSTI

Pro dimenzování klimatizačních zařízení je nutné stanovit hmotnostní toky odpařující se vody z vodní hladiny či mokrých povrchů.



Obr.A. 6 – Znáornění principu odpařování vody

Přenos vlhkosti (odpařování nebo kondenzace) se počítá analogicky jako přestup tepla:

$$Mw = \beta_p \cdot S \cdot (p_d'' - p_a) = \beta_x \cdot S \cdot (x'' - x) \quad (\text{A.9})$$

Odpar z volné hladiny

$$\beta_p = 24,4 \cdot 10^{-9} \sqrt{w/d}$$

$$\beta_x = (0,7 + 5,3w) \cdot 10^{-3}$$

Mwhmotnost přenášené vlhkosti [kg/s]

β_p, β_x ...součinitel přenosu vlhkosti, vztažený na rozdíl parciálních tlaků vodních par a na rozdíl měrných vlhkostí [kg/(m²·Pa·s)] a [kg/(m²·s)]

p_d'', p_a ...tlak sytých par na mokřém povrchu a parciální tlak par v jádru proudu vzduchu

x'', x ...měrné vlhkosti nasyceného vzduchu na mokřém povrchu a v jádru proudu vzduchu [kg/kg]

ddélka hladiny ve směru proudění [m]

wrychlost proudění vzduchu v jádru proudu [m/s]

Mezi přestupem tepla konvekcí a přenosem vlhkosti při turbulentním proudění platí analogie, pomocí níž lze na základě znalosti součinitele přestupu tepla stanovit součinitel přenosu vlhkosti. Příslušná závislost, tzv. Lewisův vztah má tvar:²

$$\frac{\alpha_k}{\beta_x} = c_a \quad (\text{A.10})$$

α_k ...součinitel přestupu tepla konvekcí

c_a ...měrná tepelná kapacita vzduchu $c_a = 1000 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Vhodné použití pro nižší teploty a menší hodnoty přenosu vlhkosti.

Podobně jako přestup tepla lze i přenos vlhkosti stanovit výpočtem z kritériálních znalostí.

Volné proudění podél rovinného povrchu

$$Nu = 5(Gr \cdot Pr)^{0,104} \quad (\text{A.11})$$

$$Sh = 0,66(Gr \cdot Sc)^{0,26} \quad (\text{A.12})$$

Platí v rozmezí $Gr \cdot Pr = Gr \cdot Sc = 3 \cdot 10^6$ až $2 \cdot 10^8$ a je omezený na ekvivalentní průměr obvykle pod 1 m. Zcela klidný vzduch se v praxi vyskytuje výjimečně. Rychlosti většinou nabývají hodnot 0,2 – 0,5 m/s ve větraných prostorách a ve venkovním prostředí bývá proudění > 1 m/s.

Nucené proudění podél rovinného povrchu

$$Nu = A \cdot Re^n \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,175} \cdot \theta^2 \quad (A.13)$$

$$Sh = B \cdot Re^m \cdot Sc^{0,33} \cdot Gu^{0,135} \cdot \theta^2 \quad (A.14)$$

Gu ...Guchmanovo kritérium $Gu = (t - t_m)/T$

θteplotní faktor $\theta = T/T_p$; T_p je teplota povrchu, na němž nastává odpařování

Tab.A. 5 – hodnoty konstant a exponentů pro intervaly hodnot Re

Re	A	B	m	n
$3,15 \cdot 10^3$ až $2,2 \cdot 10^4$	0,51	0,49	0,61	0,61
$2,2 \cdot 10^4$ až $3,15 \cdot 10^5$	0,027	0,025	0,9	0,9

Pro přestup tepla a přenos vlhkosti z kapek nebo smáčených těles obtékaných vzduchem pro $1 < Re < 220$ platí:

$$Nu = 2 + 1,07 Re^{0,48} \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,175} \quad (A.15)$$

$$Sh = 2 + 0,85 Re^{0,52} \cdot Sc^{0,37} \cdot Gu^{0,135} \quad (A.16)$$

Platí pro $1 < Re < 220$. Hodnota představuje mezní hodnotu Nu a Sh při $Re=0$. Charakteristický rozměr je ekvivalentní průměr obtékaného tělesa.

A.5 ODPAR

Spolehlivý výpočet stanovení odparu z bazénu a mokrých ploch je nedílnou součástí pro dimenzování větracího zařízení i pro výpočty spotřeby energie. Podcenění odparu může vést k poddimenzování vzduchotechnické jednotky a tím následně k nadměrné vlhkosti v bazénové hale (nekomfort návštěvníků, plísně, atd.). Při opačném stavu, kdy se vzduchotechnická jednotka předimenzuje, povede to k nadměrným pořizovacím nákladům a kvůli cyklování zařízení může vést k snížení životnosti zařízení.

Fyzikální jevy:

Během provozu bazénu dochází k těmto fyzikálním jevům:

- Vlny na vodní hladině: Pobyt lidí ve vodě způsobuje na hladině vody vlny, kterými se zvětšuje povrch vody ve styku se vzduchem.
- Mokrý podlaha: Při šplouchání nebo kontaktem plavců z bazénu se podlaha zamokří, tím se zvětší plocha vody kontaktu se vzduchem. Plocha okolních

ploch bývá často značná, takže při větším počtu cestujících osob může podlaha značně navlhnout.

- Mokrý těla lidí: Lidé z bazénu rovněž představují další oblast kontaktu mezi vzduchem a vodou. A protože tělesná teplota lidí je podstatně vyšší než teplota v bazénu, rychlost odparu je vyšší než z hladiny bazénu.
- Aktivita plavců: Při vyšší aktivitě jako jsou různé vodní sporty, vznikají rozstříky kapiček či spršky. Ty opět nabízejí velkou plochu ve styku se vzduchem.

Všechny tyto jevy nabízejí zvětšení plochy voda-vzduch a tím zvýšení odpařování. Mezi mokrou plochou a odpařováním nelze ale uvažovat přímou úměru, např. podlaha kolem bazénu může mít vyšší či nižší teplotu než voda v bazénu, zatímco z povrchu těla bude odpar rychlejší vždy.

A.5.1 VÝPOČTOVÉ METODY

A.5.1.1 Výpočet dle VDI 2089 (starší vydání):

Množství odpařené vody:

$$M_w = \varepsilon \cdot S_h \cdot (p''_{v(t_w)} - p_{v(t_i)}) \text{ [g/s]} \quad (\text{A.17})$$

εsoučinitel přenosu hmoty [g/(m²·s·Pa)]

S_hplocha volné hladiny [m²]

$p''_{v(t_w)}$...tlak syté páry při teplotě vzduchu rovné teplotě vody [Pa]

$p_{v(t_i)}$tlak páry při teplotě vnitřního vzduchu [Pa]

Tab.A. 6 - Součinitel přenosu hmoty pro bazény dle VDI 2089 (starší vydání)

Charakter provozu	ε [g/(m ² ·s·Pa)]
Soukromý bazén	$3,6 \cdot 10^{-5}$
Veřejný bazén	$7,8 \cdot 10^{-5}$
Bazén s umělými vlnami	$9,7 \cdot 10^{-5}$

A.5.1.2 Výpočet dle VDI 2089 (nové vydání):

Výpočet je založený na součiniteli přenosu hmoty β pro různé charaktery provozů.

$$M_w = \frac{\beta_{(p/n)}}{R_v \cdot \bar{T} \cdot 3,6} \cdot S_h \cdot (p''_{v(t_w)} - p_{v(t_i)}) \text{ [g/s]} \quad (\text{A.18})$$

βsoučinitel přenosu hmoty [m/h]

R_v ...plynová konstanta pro vodní páru; $R_v = 461,52 \text{ J/(kg·K)}$

\bar{T}aritmetický průměr teploty vody a vzduchu [K]

Tab.A. 7 - Součinitel přenosu hmoty pro bazény dle VDI 2089 (nové vydání)

Charakter provozu	nepoužívaný bazén n [m/h]	používaný bazén p [m/h]
Zakrytý bazén (odpar pouze z přetokového žlábků)	0,7	-
Soukromý bazén	7	21
Veřejný bazén (hloubka vody > 1,35 m)	7	28
Veřejný bazén (hloubka vody < 1,35 m)	7	40
Bazén s umělými vlnami	7	50

A.5.1.3 Zjednodušený výpočet vody využívající empirických závislostí:

$$M_w = \beta_x \cdot \Delta x \cdot S_h \text{ [g/s]} \quad (\text{A.19})$$

- Odpařování z klidné hladiny vyhříváné vody pro rychlost vzduchu nad hladinou:

$$w \leq 1 \text{ m/s: } \beta_x = (8,33 + 3,89w - 0,072t_u) \text{ [g/(m}^2 \cdot \text{s)]} \quad (\text{A.20})$$

$$w > 1 \text{ m/s: } \beta_x = [6,94 + 5,83w - 0,072t_u - 9,72x_u \cdot (w - 1)] \text{ [g/(m}^2 \cdot \text{s)]} \quad (\text{A.21})$$

$$t_u = \frac{t_i + t_h}{2} \quad (\text{A.22})$$

$$x_u = \frac{x_i + x_h}{2} \quad (\text{A.23})$$

- Odpařování z klidné hladiny nevyhříváné vody (adiabatický děj):

$$\alpha_k = 1,163 \left[4 + 5w + 10 \left(\frac{T_h}{T_i} - 1 \right) \right] \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]} \quad (\text{A.24})$$

- Odpařování ze zvlněné hladiny vyhříváné vody:

$$\beta_x = (6,945 + 5,278w) \cdot 10^{-3} \text{ [g/(m}^2 \cdot \text{s)]} \quad (\text{A.25})$$

t_i, T_i, t_h, T_h ...teploty vnitřního vzduchu a vodní hladiny [°C]

x_i, x_h ...měrná vlhkost vnitřního vzduchu a nasyceného vzduchu při teplotě

t_h [kg/kg_{sv}]

w ...rychlost vzduchu nad hladinou [m/s]

Poznámka: Ukázalo se, že hodnoty β_x z tohoto vztahu mohou být příliš velké.

Tab.A. 8 - Směrné hodnoty součinitele přenosu vlhkosti z vodní hladiny halových bazénů

Stav hladiny	β_x [kg/(m ² ·h)]
klidná hladina (soukromé bazény)	10
mírně zvlněná hladina (plovárny)	20
velmi zvlněná hladina (bazény s vlnobitím)	30

A.5.1.4 Odpařování z volné hladiny podle L. Oppla:

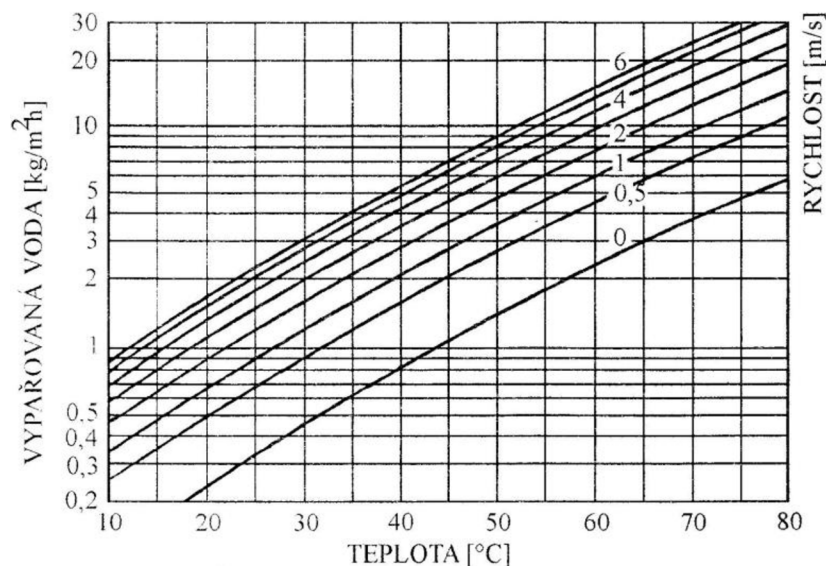
Tok odpařované vody z volné hladiny průmyslových van nebo bazénů závisí silně na parciálních tlacích par na hladině a v okolním vzduchu a na rychlosti proudění vzduchu.

I v klidném vzduchu bez nuceného větrání vzniká nad hladinou pohyb vyvolaný volnou konvekcí. Velmi proto záleží na představě o obrazech proudění v prostoru s vodní hladinou a na správném odhadu rychlosti pohybu vzduchu kolem hladiny. Podle L. Oppla je hustota toku odpařované vody:¹⁴

$$M_w = (M_w - M_r) \cdot \frac{10136}{p_b \cdot 3,6} \cdot S_h \text{ [g/s]} \quad (\text{A.26})$$

M ...při teplotě vody (nikoliv povrchu) a při teplotě rosného bodu okolního vzduchu lze hodnoty odečíst z grafu – z obrázku A.7

P_b ...barometrický tlak [kPa]



Obr.A. 7 - Tok vypařované vody podle L. Oppla⁹

A.5.1.5 Odpar vody z vodních atrakcí VDI 2089 (nové vydání):

Vodní atrakce bazénů výrazně navyšují množství odpařené vody. Zohledňovány jsou pouze současně provozované atrakce.

Vodní kanál a skluzavky:

$$M_w = \frac{\beta_a}{R_v \cdot \bar{T} \cdot 3,6} \cdot (p''_{v(t_w)} - p_{v(t_i)}) \cdot L_a \cdot B_a \text{ [g/s]} \quad (\text{A.27})$$

β_a ...součinitel přenosu hmoty od vodních atrakcí [m/h]

L_a ...délka vodního proudu [m]

B_a ...průměrná šířka vodního proudu [m]

Zbylé atrakce:

$$M_w = \frac{\beta_{ab}}{R_v \cdot \bar{T} \cdot 3,6} \cdot S_h \cdot (p''_{v(t_w)} - p_{v(t_i)}) \cdot M_{DL} \text{ [g/s]} \quad (\text{A.28})$$

β_{ab}součinitel přenosu hmoty: $\beta_{ab} = \beta_a + \beta_{(p/n)}$; v případě současného působení více atrakcí je potřeba zohlednit vliv současnosti odečtením skutečného přenosu β_a hmoty na křivce z Obr. A.8, $\beta_{(p/n)}$součinitel přenosu hmoty od vodní hladiny viz. Tab.A.3

\bar{T}aritmetický průměr teploty body a vzduchu [K]

M_{DL} ...objemové proudění vzduchu pro provzdušňované atrakce (např. vířivka) [kg/h]

$$M_{DL} = M_D \cdot (x''_h - x) \quad (\text{A.29})$$

M_Dprůtok vzduchu pro provzdušňovací atrakce [kg/h]

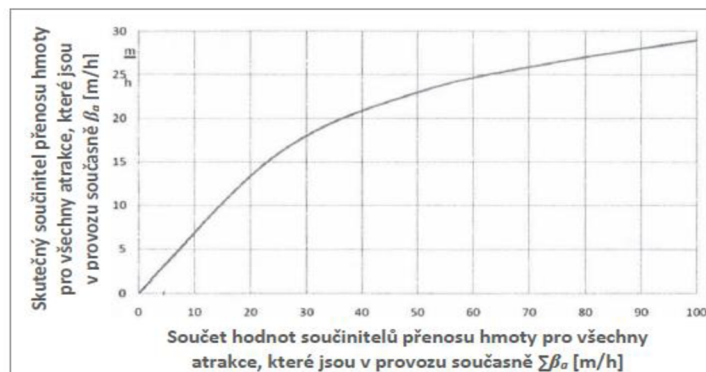
x''_hměrná vlhkost nasyceného vzduchu [kg/kg_{sv}] při teplotě hladiny t_h [°C]

xměrná vlhkost [kg/kg_{sv}] v okolním vzduchu při teplotě t_v [°C]

Tab.A. 9 - Součinitel přenosu hmoty pro vodní atrakce⁶

Typ atrakce	β_x [m/h]
Divoký vodní kanál	30
Dětské skluzavky	3
Průtokové kanály	30
Vodní hříby	$5 \cdot U^*$
Týlové sprchy	6
Dnové trysky	4
Masážní místa	30
Bublínkové gejzíry	3
Sedací plochy	3

*U je obvod hříbu (korekce zesílení pole β_a - platí na metr obvodu hříbu).



Obr.A. 8 - Vliv současnosti vodních atrakcí na součinitel přenosu hmoty⁴



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ČÁST B. VÝPOČTOVÁ ČÁST

OPTIMALIZACE VZDUCHOTECHNIKY WELLNESS SPORTOVNÍHO CENTRA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

NIKOL PRCHALOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

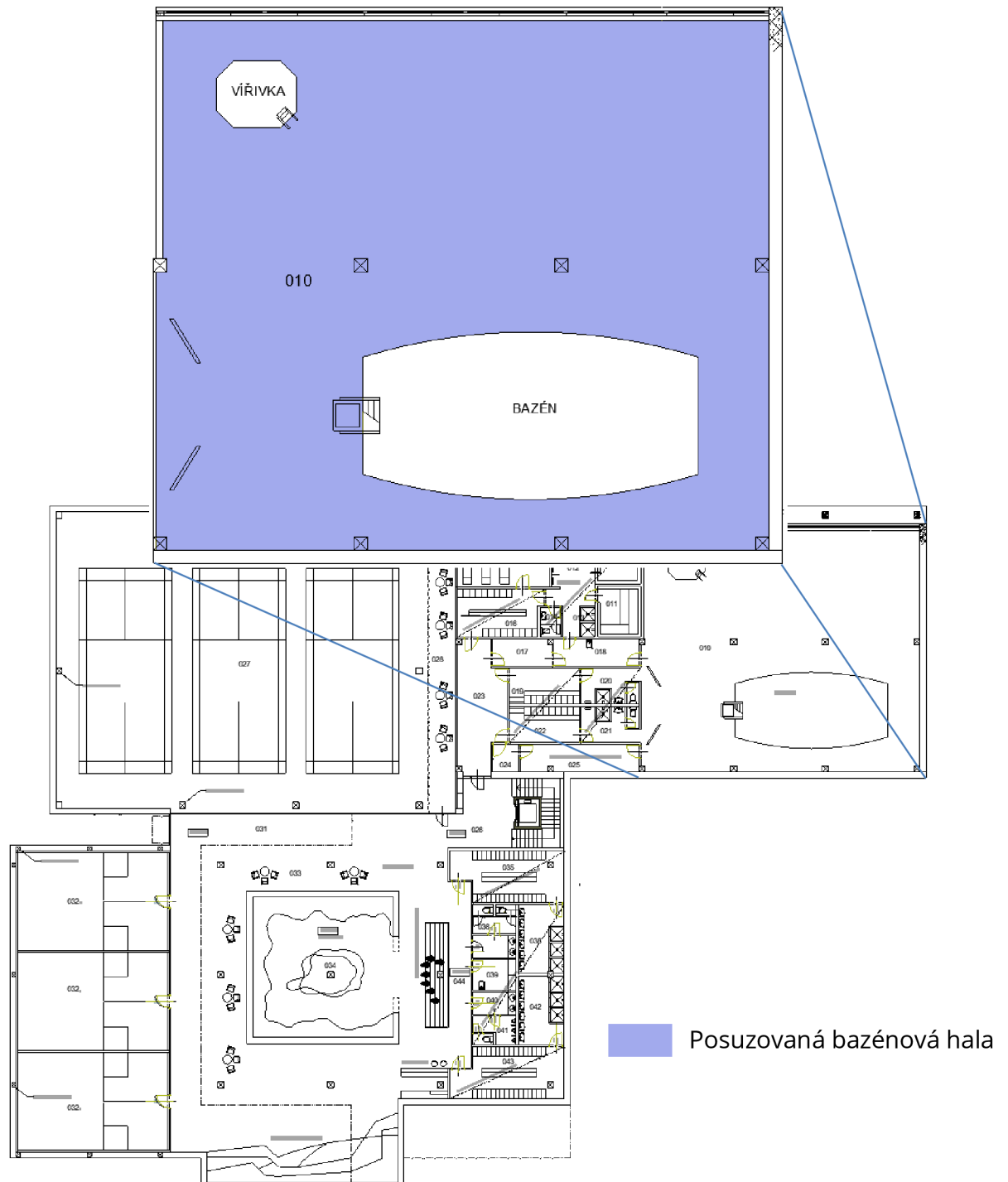
SUPERVISOR

ING. PETR BLASINSKI, PH.D.

BRNO 2022

B.1 NÁVRH VZT Z BP

FUNKČNÍ CELEK:



Obr.B. 1 – Řešený funkční celek bazénové haly

B.1.1 KLIMATICKÉ PODMÍNKY

Klimatické podmínky pro Znojmo:

Tab.B. 1 – Klimatické podmínky Znojmo

ZNOJMO	Teplota	Měrná vlhkost	Entalpie
	t [°C]	[g/kg]	[kJ/kg]
LÉTO	33,1	-	64,3
ZIMA	-15,1	1	-

B.1.2 POŽADAVKY NA VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ

Požadavky na vnitřní prostředí podle účelu prostoru dle platných předpisů.

Tab.B. 2 – Požadavky na vnitřní prostředí

Bazén	Teplota	Relativní vlhkost	Rychlost proudění	Hluk
	[°C]	[%]	[m/s]	[dB/A]
LÉTO	30	55	0,16 - 0,25	50
ZIMA	30	55	0,13 - 0,20	50

B.1.3 SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA

Vypočtené součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2.

Tab.B. 3 – Součinitele prostupu tepla pro konstrukce bazénové haly

	U [W/m ² .K]
Vnější stěna	0,36
Strop	0,44
Podlaha zemina	0,35
Příčka tl. 100 mm	1,17
Příčka tl. 150 mm	0,87

B.1.4 TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTUPEM

$\Phi_{T,i} = 5\,808,8\text{ W}$

B.1.5 VÝPOČET TEPELNÉ BILANCE

Výpočet analytickou metodou elementárních bilancí pro den 21.7.

Vstupní hodnoty:

Den výpočtu:	21
Měsíc výpočtu:	7
Zeměpisná šířka	$\Phi = 48,5^\circ$
Nadmořská výška:	$H = 290 \text{ m n.m.}$
Úhel stěny:	$\alpha = 90^\circ$
Azimut stěny:	$as = 315^\circ$
Součinitel znečistění ovzduší:	$z = 5$
Počet oken:	6 ks
Šířka okna:	$La = 1,35 \text{ m}$
Výška okna:	$Lb = 2,85 \text{ m}$
Plocha okna:	$So = 3,85 \text{ m}^2$
Propustnost difuzního záření sklem:	$Td = 0,85$
Šířka ostění:	$d = 0,12 \text{ m}$
Šířka ostění:	$c = 0,12 \text{ m}$
Plocha okna:	$Sok = 4,5 \text{ m}^2$
Plocha všech zasklení:	$So_{celkem} = 23,085 \text{ m}^2$
Stínící součinitel:	$s = 0,63$
Korekce na čistotu atmosféry:	$co = 0,85$
Součinitel prostupu oknem:	$ko = 1,1 \text{ W/ (m}^2\text{.K)}$
odstup od svislé stínící překážky (š. rámu)	$f = 0,075 \text{ m}$
odstup od vodorovné stínící překážky	$g = 0,075 \text{ m}$
Průměrná rovnocenná sluneční teplota vnějšího vzduchu za 24 hodin	$tm = 27,8^\circ\text{C}$
Délka místnosti:	18,2 m
Šířka místnosti	15,8 m
Výška místnosti:	4,78 m
TI. Obvodové stěny:	0,4 m
TI. Příček:	0,1 m
Plocha místnosti:	$S = 877,075 \text{ m}^2$
Objem místnosti:	$O = 1\,374 \text{ m}^3$
Povrch venkovní stěny:	$Su = 54,6 \text{ m}^2$
Měrná tep. kapacita stěny:	$c = 900 \text{ J/ (kg. K)}$
Objemová hmotnost stěny:	$\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$

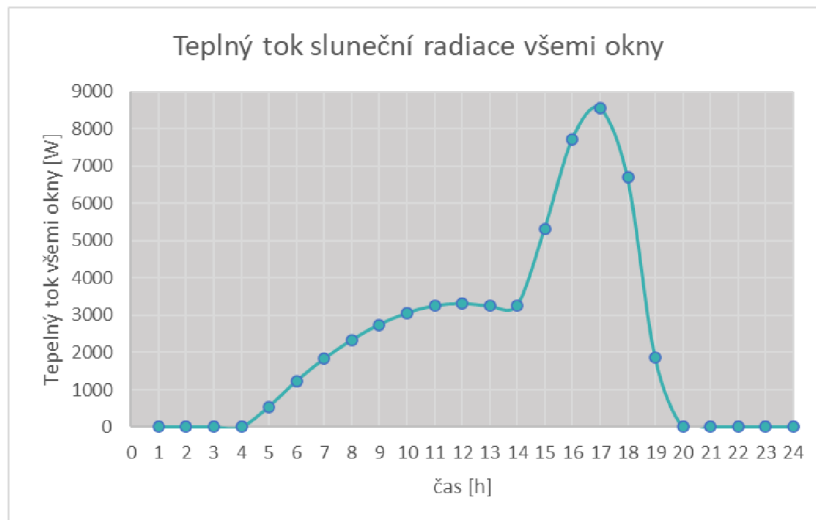
Hmotnost akumulční stěny:	$M = 150\,000\text{ kg}$
Součinitel prostupu stěnou:	$k = 0,35\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
Měrná tep. kapacita vzduchu:	$c = 1\,010\text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
Objemová hmotnost vzduchu:	$\rho = 1,2\text{ kg/m}^3$
Maximální venkovní teplota:	$t_{e\max} = 33,1\text{ }^\circ\text{C}$
Amplituda kolísání venkovních teplot:	$\Delta t = 6$
Podíl sálání na přenosu tepla na povrchu stěny:	$\nu = 0,6$
Celkový součinitel přestupu tepla:	$\alpha = 8\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
Součinitel přestupu tepla konvekcí:	$\alpha_k = 3,5\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
Volitelný časový úsek:	$\Delta\tau = 3\,600\text{ s}$
Součinitel poměrné teplotní pohltivosti:	$A = 0,7$

Tab.B. 4 – Výpočet tepelné bilance po hodinových časových úsecích

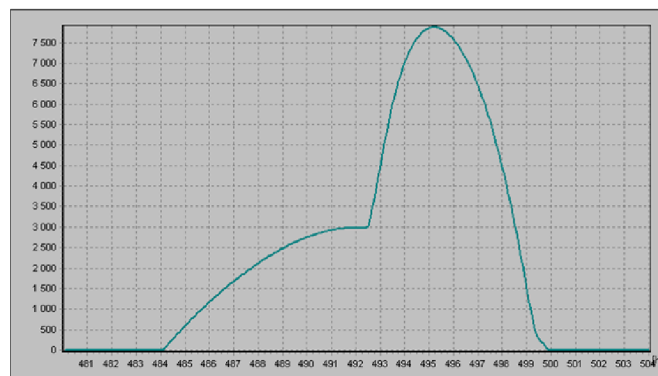
hod. i	Sluneční čas		Výška Slunce		Azimut Slunce		Úhel mezi normálkou osluňného domu a směrem paprsku		Intenzita přímé sluneční radiační		Intenzita přímého slunečního záření na obecně položené ploše		Intenzita difúzní sluneční radiační		Celková poměrná propustnost přímé T _p a difúzní sluneční radiační T _d		Celková intenzita radiační proclaze jí svíslým		Intenzita difúzní radiační proclaze jí oknem		Vodorovný stín		Svíslý stín		Osluňná část okna		Teplotní zisk sluneční radiační pro jedno okno	
	[h]	[°]	[rad]	[°]	[rad]	[°]	[rad]	[°]	[rad]	W/m ²	W/m ²	W/m ²	[-]	W/m ²	W/m ²	[m]	[m]	[m ²]	[W]									
1	15	0,262	-19	0	15	0,26	62	1,08	0	0	0	0,7380	0	0	0,00	0,00	0,00	0										
2	30	0,524	-16	0	29	0,51	75	1,30	0	0	0	0,5288	0	0	0,00	0,00	0,00	0										
3	45	0,785	-10	0	42	0,74	87	1,52	0	0	0	0,1287	0	0	0,00	0,00	0,00	0										
4	60	1,047	-3	0	54	0,95	99	1,73	0	0	0	0,0000	0	0	0,75	0,03	0,00	0										
5	75	1,309	6	0	65	1,14	110	1,92	71	0	28	0,0000	24	24	0,33	0,00	0,00	57										
6	90	1,571	15	0	76	1,32	120	2,09	332	0	63	0,0000	53	53	0,20	0,00	0,00	130										
7	105	1,833	25	0	87	1,51	127	2,22	516	0	93	0,0000	79	79	0,14	0,00	0,00	192										
8	120	2,094	35	1	98	1,71	131	2,28	634	0	119	0,0000	101	101	0,09	0,00	0,00	245										
9	135	2,356	45	1	111	1,95	131	2,28	709	0	140	0,0000	119	119	0,05	0,00	0,00	289										
10	150	2,618	53	1	128	2,24	126	2,21	756	0	156	0,0000	133	133	0,01	0,00	0,00	321										
11	165	2,880	60	1	151	2,64	119	2,08	782	0	166	0,0000	141	141	0,00	0,00	0,00	341										
12	180	3,142	62	1	180	3,14	109	1,91	790	0	169	0,0000	144	144	0,00	0,00	0,00	348										
13	195	3,403	60	1	209	3,64	98	1,71	782	0	166	0,0000	141	141	0,00	0,00	0,00	341										
14	210	3,665	53	1	232	4,04	86	1,50	756	51	156	0,1742	141	133	1,05	1,42	0,57	317										
15	225	3,927	45	1	249	4,34	74	1,28	709	201	140	0,5541	231	119	0,28	0,30	3,02	435										
16	240	4,189	35	1	262	4,57	61	1,06	634	311	119	0,7500	335	101	0,16	0,14	3,52	652										
17	255	4,45	25	0	273	4,77	47	0,83	516	349	93	0,8348	371	79	0,11	0,08	3,76	750										
18	270	4,712	15	0	284	4,96	34	0,60	332	275	63	0,8631	291	53	0,07	0,04	3,91	606										
19	285	4,974	6	0	295	5,14	21	0,37	71	66	28	0,8694	81	24	0,04	0,01	4,02	172										
20	300	5,236	-3	0	306	5,34	9	0,17	0	0	0	0,8700	0	0	0,02	0,00	0,00	0										
21	315	5,498	-10	0	318	5,55	10	0,18	0	0	0	0,8700	0	0	0,01	0,00	0,00	0										
22	330	5,760	-16	0	331	5,78	22	0,39	0	0	0	0,8692	0	0	0,03	0,00	0,00	0										
23	345	6,021	-19	0	345	6,02	35	0,62	0	0	0	0,8619	0	0	0,07	0,00	0,00	0										
24	360	6,283	-21	0	360	6,28	49	0,85	0	0	0	0,8302	0	0	0,12	0,00	0,00	0										
RUČNÍ VÝPOČET (z BP):			25		272						80		361		0,11	0,08	3,74	728										

I_{oi6} [W]	Q_{ok} [W]	Q_o [W]	Q_{o6x} [W]	Q_{sz} [W]	Q_{sv} [W]	Lidé [W]	Svitidla [W]	Q_t [W]	tr_{sz} [°C]	tr_{sv} [°C]
0	0	0	0	-24,85	-7,50	0	0	-32,3	16,9	17
0	0	0	0	-23,06	-7,40	0	0	-30,5	16,2	16
0	0	0	0	-17,07	-7,53	0	0	-24,6	16,0	16
0	0	0	0	-13,49	-7,88	0	0	-21,4	16,2	16
543	0	57	342	-13,49	-8,42	0	0	320,2	18,1	21
1234	0	130	778	-18,86	-9,11	0	0	749,6	20,6	31
1825	0	192	1150	-30,32	-10,03	0	0	1109,7	23,2	37
2333	0	245	1470	-36,21	-10,92	3000	1563,84	5986,4	25,9	38
2749	0	289	1732	-38,10	-11,49	3000	1563,84	6246,1	28,5	36
3059	0	321	1928	-40,00	-12,07	3000	1563,84	6439,4	30,9	32
3252	0	342	2052	-41,79	-12,60	3000	1563,84	6561,3	33,0	33
3317	7	355	2130	-43,26	-13,05	3000	1563,84	6637,4	34,6	35
3252	11	353	2117	-44,52	-13,43	3000	1563,84	6623,0	35,6	36
3266	14	331	1987	-45,26	-13,65	3000	1563,84	6492,2	37,3	36
5321	15	450	2701	-45,47	-13,72	3000	1563,84	7205,9	43,0	36
7724	14	666	3997	-45,26	-13,65	3000	1563,84	8502,4	46,4	34
8556	11,37	762	4569	-43,26	-12,16	3000	1563,84	9077,7	46,4	33
6707	7	612	3674	-40,63	-8,83	3000	1563,84	8188,7	41,3	31
1877	0	173	1038	-37,89	-7,12	3000	1563,84	5556,7	30,4	28
0	0	0	0	-35,05	-6,77	3000	1563,84	4522,0	24,8	25
0	0	0	0	-32,32	-7,37	0	0	-39,7	23,0	23
0	0	0	0	-29,80	-8,51	0	0	-38,3	21,2	21
0	0	0	0	-27,59	-8,32	0	0	-35,9	19,5	20
0	0	0	0	-25,90	-7,81	0	0	-33,7	18,1	18
10,40				-44,49	-12,51	3000	1563,84	8939,9		
8000								9100,0		

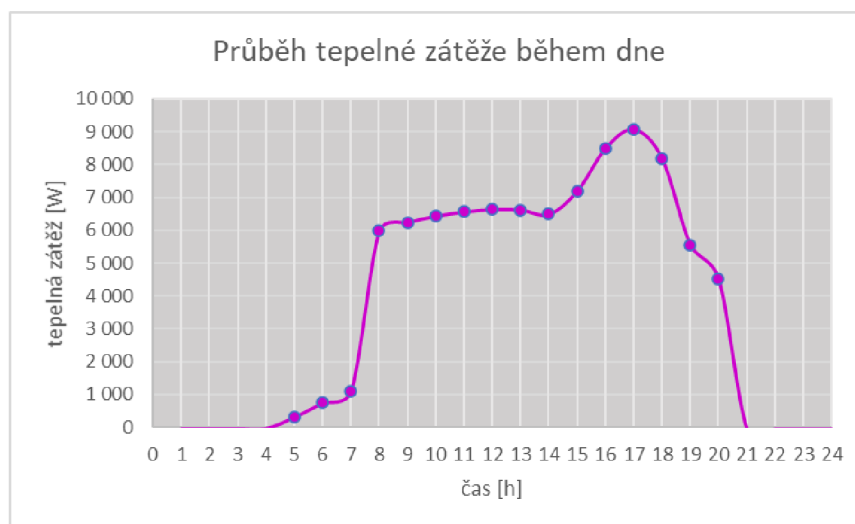
Teruna:



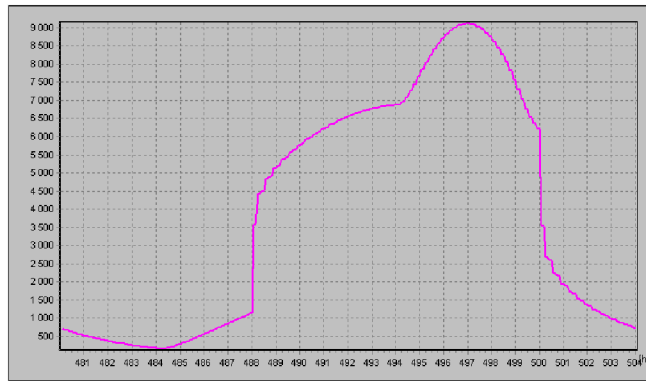
Graf B. 1 - Graf průběhu tepelného toku sluneční radiace všemi okny během dne ručním výpočtem



Graf B. 2 - Graf průběhu tepelného toku sluneční radiace všemi okny během dne softwarem Teruna



Graf B. 3 - Graf průběhu tepelné zátěže během dne ručním výpočtem



Graf B. 4 - Graf průběhu tepelné zátěže během dne softwarem Teruna

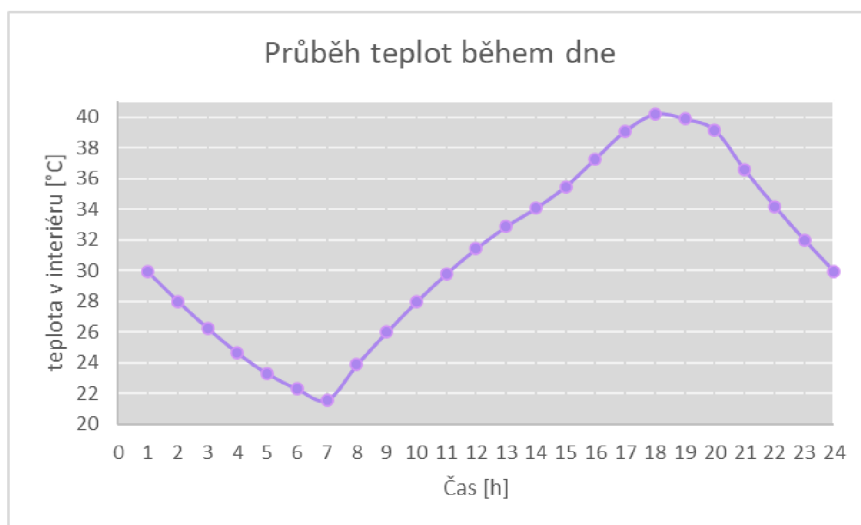
Na prvních dvou grafech je tepelný tok sluneční radiace všemi okny a na dalších dvou průběh tepelné zátěže během dne. První ze dvojice grafů je vytvořen ručním výpočtem a druhý je vygenerován ze softwaru Teruna. Mírné odchylky jsou způsobeny odlišnou metodikou výpočtu.

Tepelný tok a tepelná zátěž mají maximum kolem 17 hodiny, doba provozu haly je od 8:00 do 20:00 hodin, což je patrné i na průběhu tepelné zátěže, která v tomto období výrazně narůstá. V tepelné zátěži jsou započteny zisky od osvětlení a od osob.

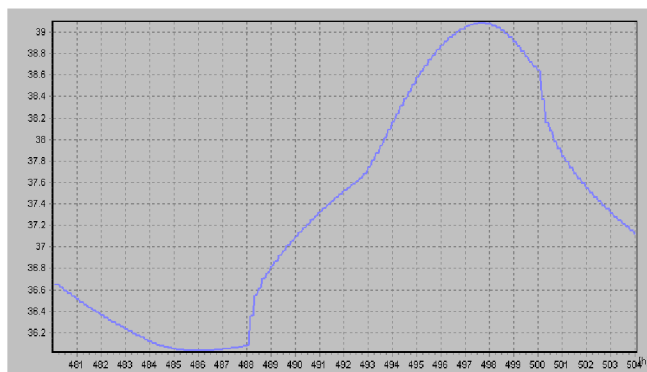
Maximum v pozdějších odpoledních hodinách je způsobeno prosklenými plochami na SZ straně.

Tab.B. 5 - Výpočet průběhu teplot během dne v interiéru Chyského metodou

hod. i	ΣQi	lidé	V_{Ai}	t_{ei}	x_e	t_{pi}	t_{xi}	k_{ai}	k_{di}	k_{ei}	t_{ri}	k_{fi}	t_{vi}	t_{pi}
[h]	[W]	[os]	[m ³ /s]	[°C]	g/kg	[°C]	[°C]	[-]	[-]	[-]	[°C]	[-]	[°C]	[°C]
1	0,0	0	0,022	21,90	3,266	21,90	21,90	1731	0	1776	22	25920	29,90	26,9
2	0,0	0	0,022	21,30	3,728	21,30	21,30	1731	0	1776	21	24277	27,99	25,2
3	0,0	0	0,022	21,10	4,420	21,10	21,10	1731	0	1776	21	22770	26,24	23,6
4	0,0	0	0,022	21,30	5,278	21,30	21,30	1731	0	1776	21	21396	24,63	22,1
5	216,9	0	0,022	21,90	6,265	21,90	21,90	1731	130	1776	23	20259	23,28	20,9
6	673,5	0	0,022	22,86	7,383	22,86	22,86	1731	404	1776	25	19432	22,28	20,0
7	1069,2	0	0,022	24,10	8,666	24,10	24,10	1731	642	1776	28	18859	21,58	19,3
8	5959,5	20	0,022	25,55	10,180	25,55	25,55	1657	6252	1826	30	22104	23,87	21,3
9	6261,5	20	0,022	27,10	12,012	27,10	27,10	1657	6433	1826	33	24044	25,98	23,2
10	6497,4	20	0,022	28,65	14,190	28,65	28,65	1657	6574	1826	35	25861	27,96	25,0
11	6656,2	20	0,022	30,10	16,378	30,10	30,10	1657	6670	1826	37	27534	29,78	26,6
12	6729,7	20	0,022	31,34	17,419	31,34	31,34	1657	6714	1826	38	29040	31,43	28,1
13	6690,3	20	0,022	32,30	16,378	32,30	32,30	1657	6690	1826	39	30345	32,86	29,4
14	6559,3	20	0,022	32,90	14,190	32,90	32,90	1657	6612	1826	39	31439	34,06	30,5
15	7267,4	20	0,022	33,10	12,012	33,10	33,10	1657	7036	1826	44	32753	35,47	31,7
16	8554,9	20	0,022	32,90	10,180	32,90	32,90	1657	7809	1826	49	34437	37,29	33,3
17	9121,8	20	0,022	32,30	8,666	32,30	32,30	1657	8149	1826	50	36070	39,08	35,0
18	8230,1	20	0,022	31,34	7,383	31,34	31,34	1657	7614	1826	45	37011	40,18	36,0
19	5607,3	20	0,022	30,10	6,265	30,10	30,10	1657	6040	1826	34	36622	39,86	35,8
20	4535,5	20	0,022	28,65	5,278	28,65	28,65	1657	5397	1826	29	35898	39,13	35,2
21	0,0	0	0,022	27,10	4,420	27,10	27,10	1731	0	1776	27	31694	36,56	32,9
22	0,0	0	0,022	25,55	3,728	25,55	25,55	1731	0	1776	26	29654	34,20	30,8
23	0,0	0	0,022	24,10	3,266	24,10	24,10	1731	0	1776	24	27750	32,00	28,8
24	0,0	0	0,022	22,86	3,102	22,86	22,86	1731	0	1776	23	25976	29,95	27,0



Graf B. 5 - Graf průběhu teploty vzduchu v interiéru během dne ručním výpočtem (metodou Chyského)



Graf B. 6 - Graf průběhu teploty vzduchu v interiéru během dne softwarem Teruna

Odchytky průběhu teploty jsou způsobeny odlišnou metodikou výpočtu.

B.1.6 PRŮTOK VZDUCHU

Výpočet průtoku vzduchu z BP (bakalářské práce).

Léto:

$$V_{p,L} = \frac{Q_L}{\rho \cdot c \cdot \Delta t_{k,LÉTO}} = \frac{9\,116,9}{1,2 \cdot 1010 \cdot 8} = 0,940 \text{ m}^3/\text{s} = 3\,384,99 \text{ m}^3/\text{h}$$

Zima:

$$V_{p,Z} = \frac{Q_Z}{\rho \cdot c \cdot \Delta t_{k,ZIMA}} = \frac{5\,808,72}{1,2 \cdot 1010 \cdot 10} = 0,479 \text{ m}^3/\text{s} = 1\,725,36 \text{ m}^3/\text{h}$$

Od vodních zisků:

$$V_4 = \frac{M_s}{\Delta t \cdot \rho} = \frac{18\,564}{5 \cdot 1,2} = 3\,094 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow \mathbf{3\,400 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Přepočet rozdílu teplot v zimě (z důvodu celoročního konstantního průtoku):

$$\Delta t_{k,Z} = \frac{Q_Z}{\rho \cdot c \cdot V_{p,L}} = \frac{5\,808,72}{1,2 \cdot 1010 \cdot 0,940} = 5,1 \text{ °C}$$

Požadovaná teplota přívodního vzduchu v létě:

$$t_{p,L} = t_i - \Delta t_{k,L} = 30 - 8 = \mathbf{22 \text{ °C}}$$

Požadovaná teplota přívodního vzduchu v zimě:

$$t_{p,Z} = t_i + \Delta t_{k,Z} = 30 + 5,1 = 35,1 \text{ °C} \approx \mathbf{35 \text{ °C}}$$

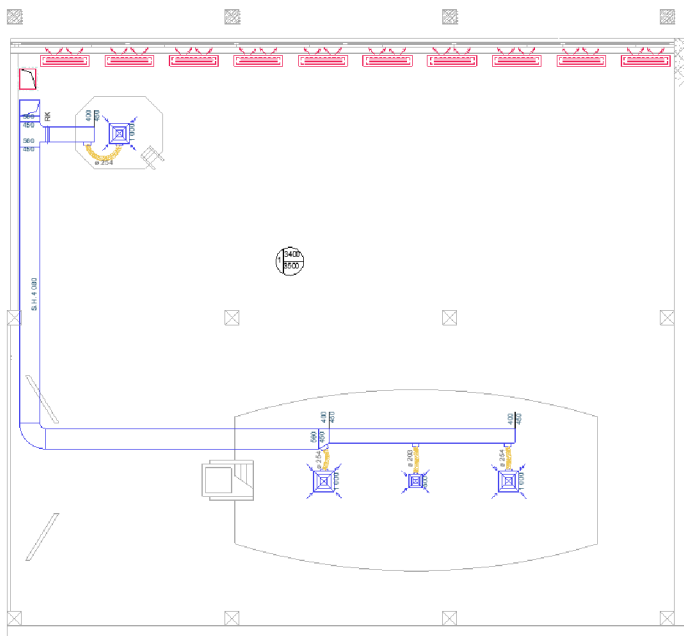
Průtok čerstvého vzduchu:

$$V_e = y_{min} \cdot n = 100 \cdot 20 = \mathbf{2\,000 \text{ m}^3/\text{h}}$$

B.1.7 DISTRIBUČNÍ ELEMENTY

Pro distribuci vzduchu v bazénové hale byly v BP použity pro přívod štěrbinové výustě s vyrovnaný proudem vzduchu po celé své šířce a umístěné tak, aby zároveň ofukovaly přilehlá okna (omezení případné kondenzace).

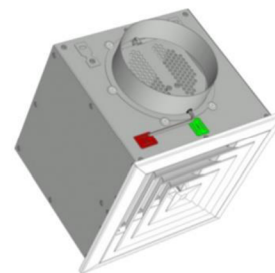
Pro odvod vzduchu byly navrženy lamelové anemostaty umístěné nad vodní hladinou.



Obr.B. 2 – Řešená bazénová hala s navrženými distribučními elementy³



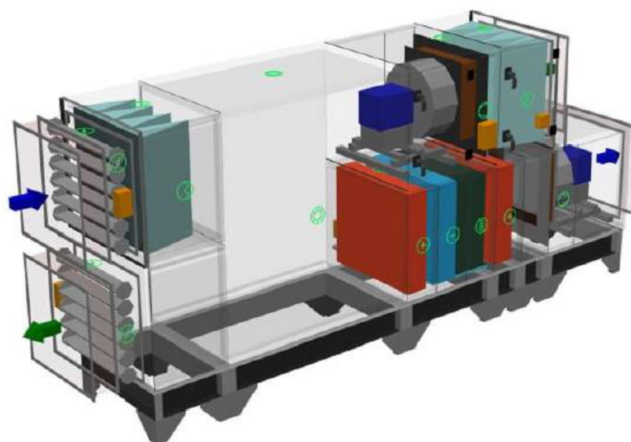
Obr.B. 3 – Navržený štěrbinový difuzor LTDP¹²



Obr.B. 4 – Navržený lamelový anemostat¹³

B.1.8 NÁVRH JEDNOTKY

Byla navržena jednotka AeroMaster XP z programu AeroCAD od firmy Remak. Jednotka se skládá z kapsových filtrů, deskového rekuperátoru, vodních ohřivačů, příměho výparníku a ventilátorů, dále obsahuje tlumicí vložky a uzavírací klapky.



Obr.B. 5 – Axonometrický pohled na VZT jednotku z programu AeroCad

B.2 ROZBOR VÝPOČTU

B.2.1 VÝPOČET KONCENTRACE VLHKOSTI V BAZÉNOVÉ HALE

Rovnice pro výpočet přirozeného větrání:

$$\rho_i = 1,276 / (1 + 0,00366 \cdot t_i) \quad (\text{B.1})$$

$$\rho_e = 1,276 / (1 + 0,00366 \cdot t_e) \quad (\text{B.2})$$

$$\Delta p_t = h \cdot (\rho_e - \rho_i) \cdot g \quad (\text{B.3})$$

$$h = 2/3 \cdot v_o \quad (\text{B.4})$$

v_o ... výška okna

g ... tíhové zrychlení 9,81 m/s²

$$\Delta p_v = \frac{(A_v \cdot v_o^2 \cdot \rho_e)}{2} \quad (\text{B.5})$$

$$\Delta p = \Delta p_t + \Delta p_v \quad (\text{B.6})$$

$$V_p = \sum(i \cdot l) \cdot \Delta p^{0,67} \quad (\text{B.7})$$

$$t_e = t_{e,max} - A_e \cdot (1 - \sin(\tau_i - 135)) \quad (\text{B.8})$$

$$t_i = t_{i,max} - A_i \cdot (1 - \sin(\tau_i - 135)) \quad (\text{B.9})$$

$$\tau_i = \frac{i \cdot 360}{24} \text{ [}^\circ\text{]} \quad (\text{B.10})$$

i ... počítaná hodina [hod]

Rovnice pro výpočet koncentrace škodlivin v uzavřeném prostoru:

Pro $i = 1$

$$k_{int_1} = k_{ext}$$

Pro $i > 1$

$$k_{int_i} = k_{ext} + (k_{int_{i-1}} - k_{ext}) \cdot \exp\left(\frac{-V_{(i-1)} \cdot \Delta \tau_i}{O}\right) + \left(\frac{M_{\dot{s}_i}}{V_{(i-1)}}\right) \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-V_{(i-1)} \cdot \tau_i}{O}\right)\right) \quad (\text{B.11})$$

k_{ext} ...koncentrace vlhkosti v přiváděném vzduchu [g/kg]

k_{int} ...koncentrace vlhkosti v interiéru [g/kg]

V ...objemový průtok vzduchu [m³/s]

τ ...časový úsek [h]

$M_{\dot{s}}$...produkce škodliviny [g/h]

O ...objem místnosti [m³]

Vstupní hodnoty:

šířka místnosti: $\check{s} = 15,8 \text{ m}$

délka místnosti: $d = 18,1 \text{ m}$

výška místnosti: $v = 3,98 \text{ m}$

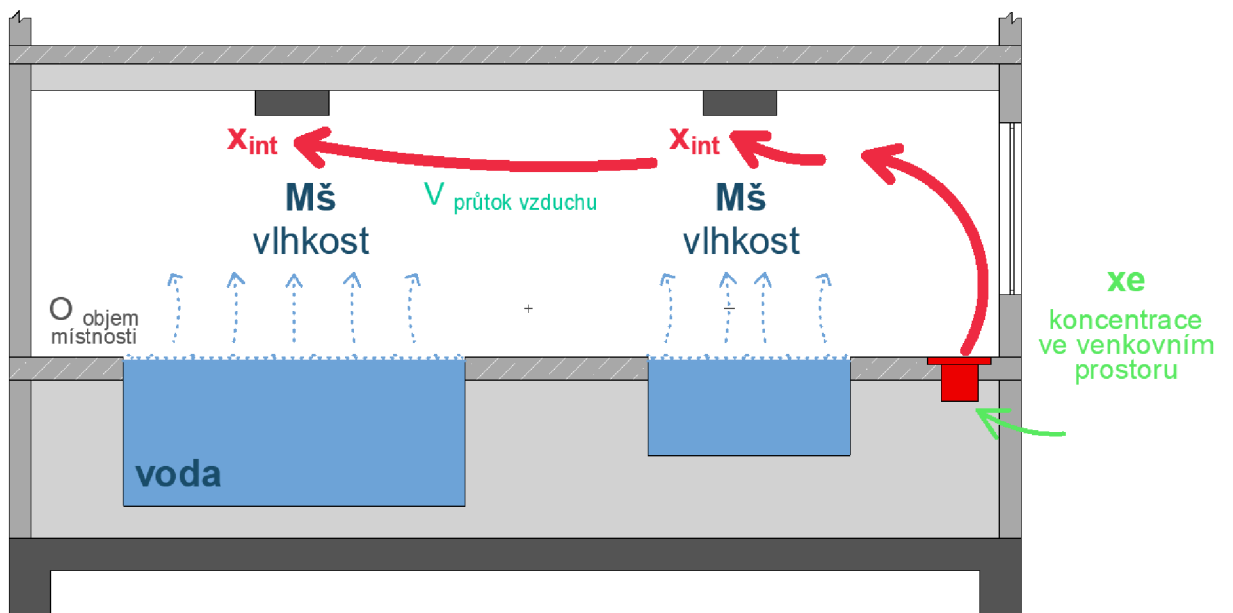
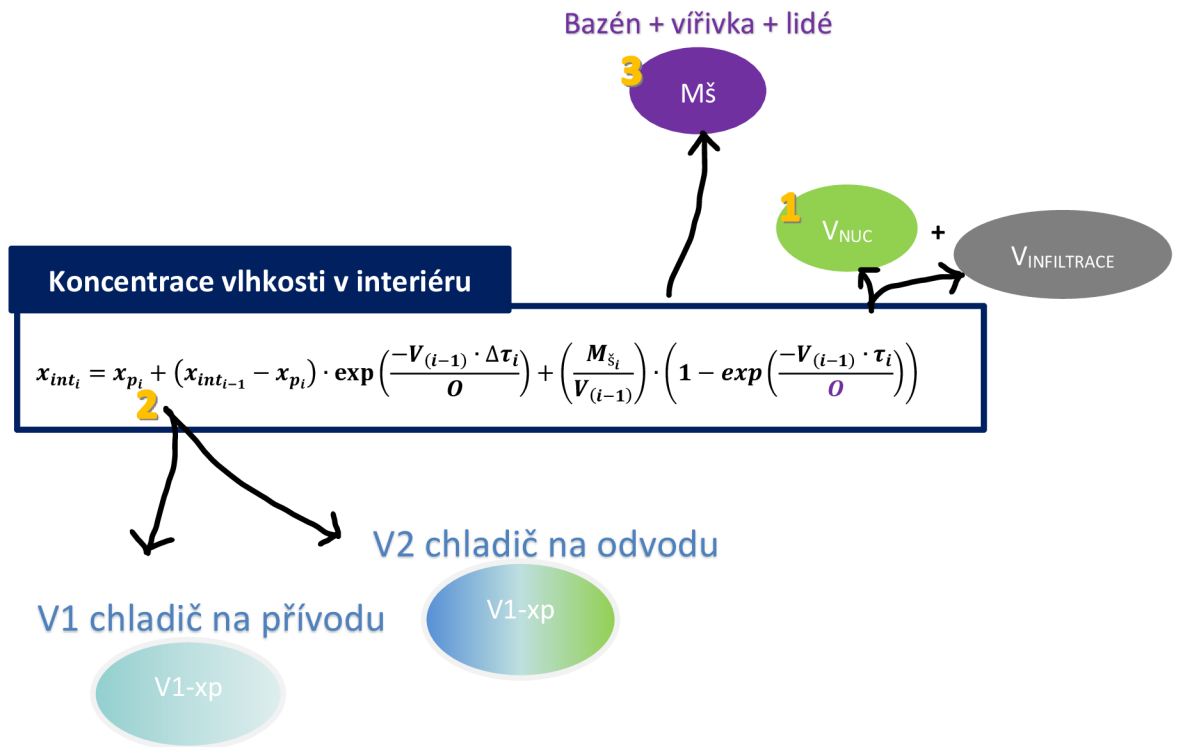
objem místnosti: $O = 1138 \text{ m}^2$

počet osob: $n = 20$

maximální teplota v průběhu dne:	$t_{e,max} = 33,1 \text{ } ^\circ\text{C}$
amplituda kolísání venkovní teploty:	$A_e = 6 \text{ K}$
maximální teplota interiéru:	$t_{i,max} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$
dovolená amplituda kolísání vnitřní teploty:	$A_i = 1,5 \text{ K}$
výška okna:	$v_o = 1,5 \text{ m}$
šířka okna:	$\check{s}_o = 3 \text{ m}$
počet oken:	$n_o = 6 \text{ ks}$
součinitel spárové průvzdušnosti oken:	$i = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{mPa}^{-0,67}$
návětrný tlakový součinitel:	$A_v = 0,6$
rychlost větru:	$v_v = 2 \text{ m/s}$
nucené větrání:	$n = x/h \rightarrow V_n = x \text{ m}^3/h = x \text{ m}^3/s$

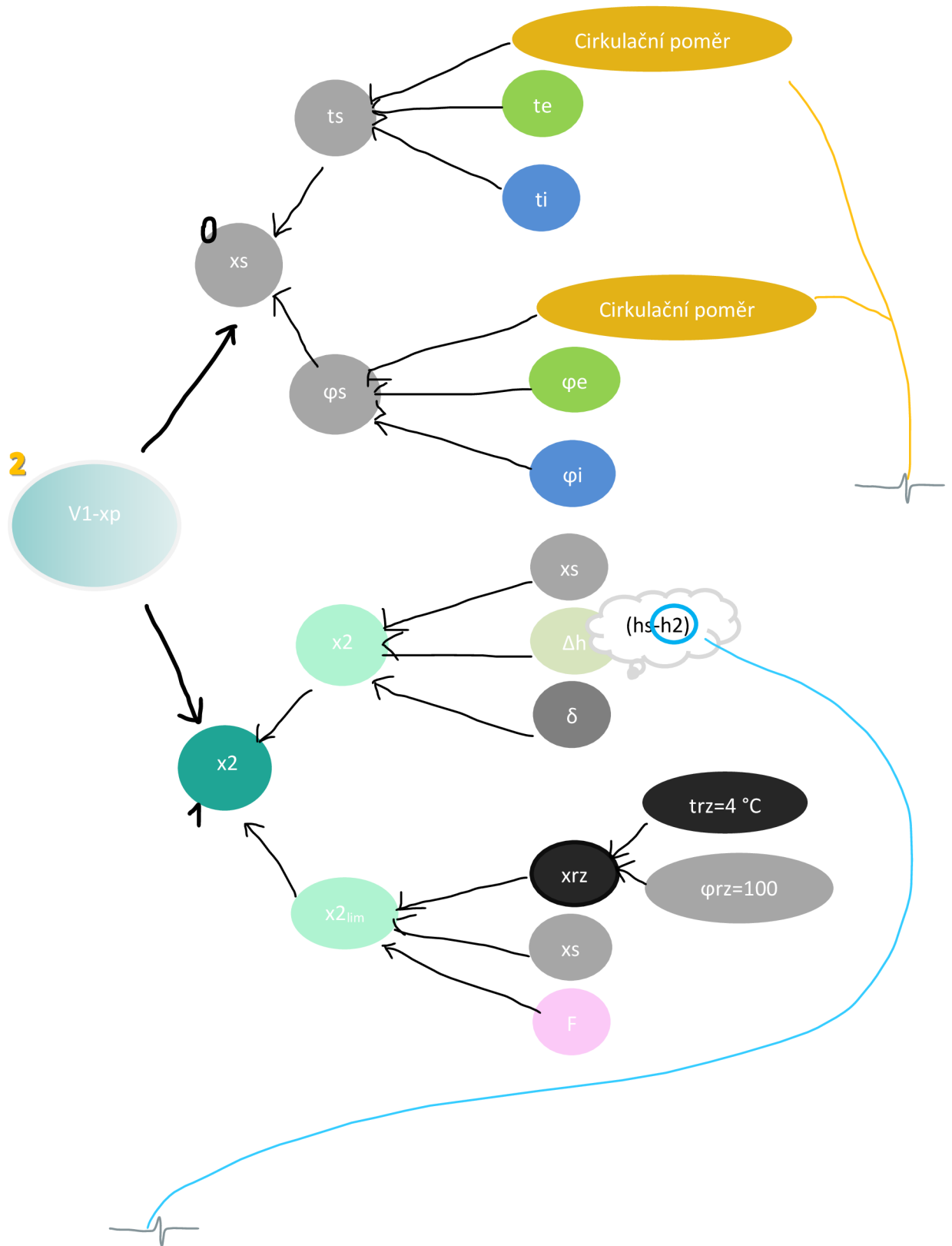
Celý ukázkový výpočet naleznete v příloze č. 2.

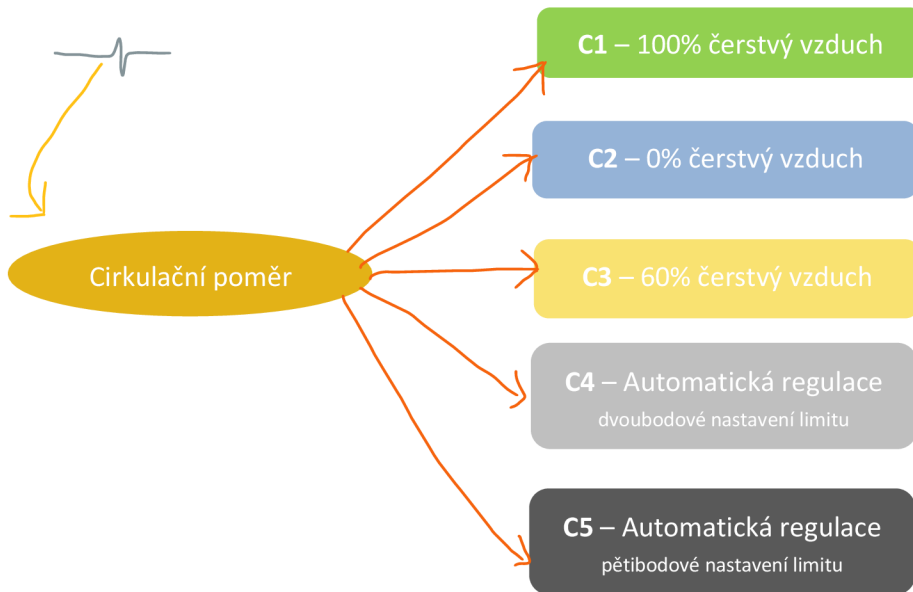
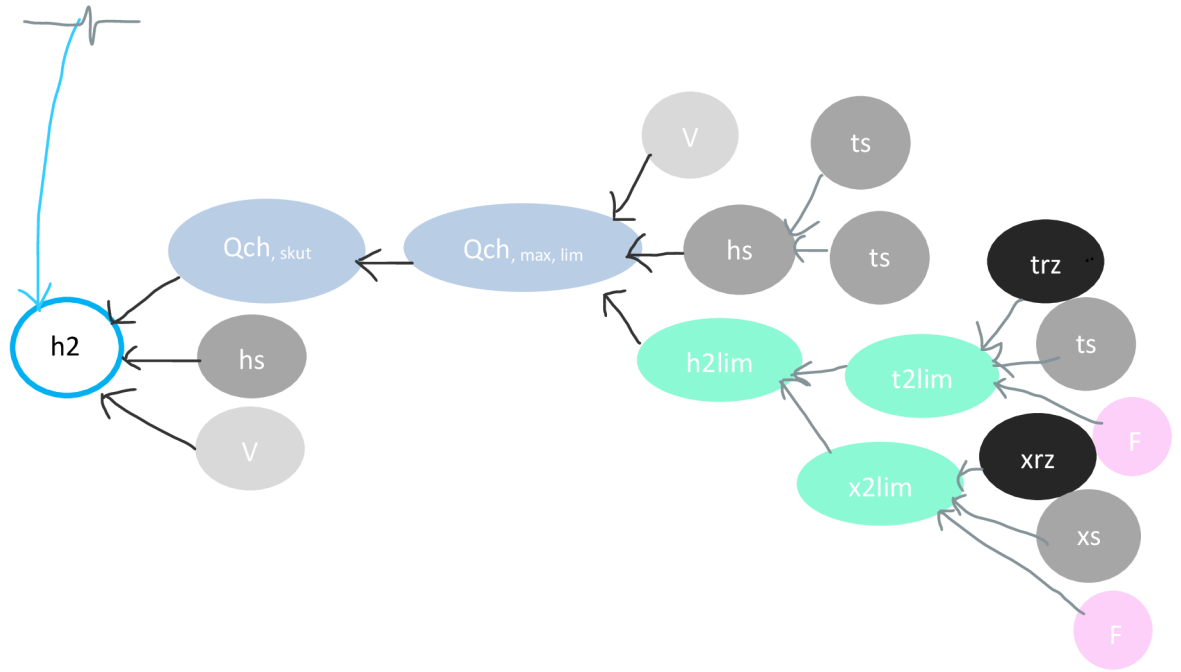
ROVNICE PRO VÝPOČET KONCENTRACE ŠKODLIVIN (VLHKOSTI) V UZAVŘENÉM PROSTORU:



Obr.B. 6 – Toky v bazénové hale

B.2.1.1 SCHÉMA POUŽITÝCH VELIČIN PRO V1 - CHLADIČ NA PŘÍVODU

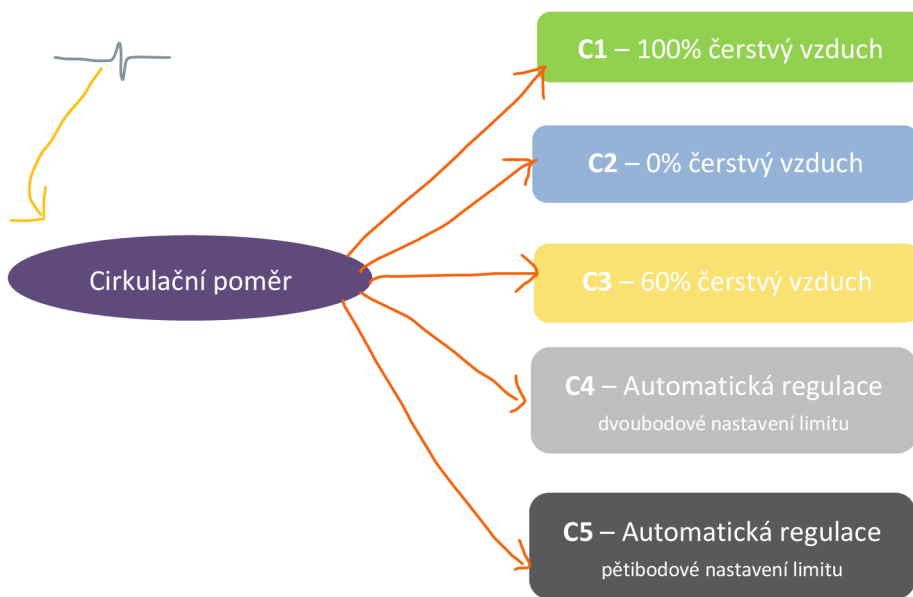
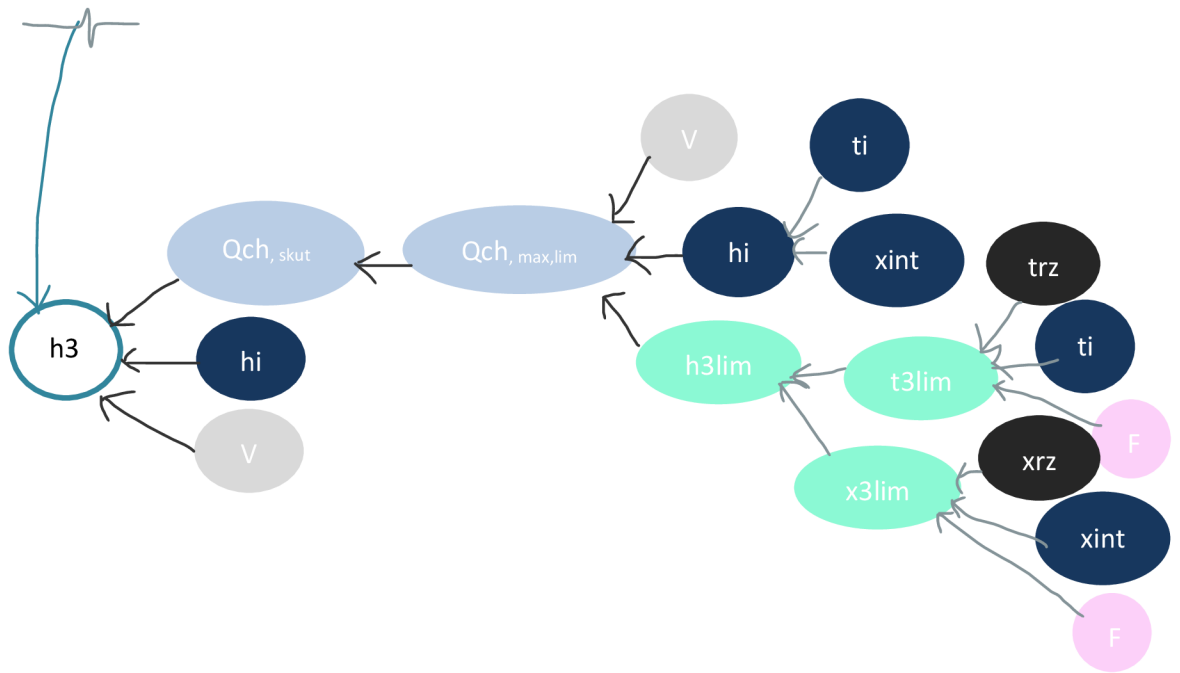




$$Q_{ch} = V \cdot \rho \cdot (hs - h2) \text{ [kW]}$$

$$Q_o = V \cdot \rho \cdot c \cdot (tp - t2) \text{ [kW]}$$

$$Q_v = \text{[kW]}$$



$$Q_{ch} = V \cdot \rho \cdot (h_i - h_3) \text{ [kW]}$$

$$Q_o = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_p - t_3) \text{ [kW]}$$

$$Q_v = \text{ [kW]}$$

0 – neodvlhčuji

1 – odvlhčuji

Objemový průtok vzduchu V [m^3/s] daný součtem průtoku vzduchu V_{NUC} – nuceného větrání a V_{INF} – infiltrace okny. Infiltrace okny závislá na rozměrech a počtu oken, na součiniteli spárové průvzdušnosti a na tlakovém rozdílu vlivem rozdílů teplot a tlaku.

1 Nucené větrání spuštěné dle podmínek: **1 – spuštěné větrání (ventilátor); 0 – nespouštěné větrání (ventilátor)**

- NUC1: KDYŽ $k_{\text{int},1} >$ horní limit x_i ; tak 1; jinak 0
- NUC2: KDYŽ v předchozím 5minutovém intervalu (předchozí řádek) je 1 a současně (funkce A) $<$ než zvolený časový interval chodu ventilátoru; tak předešlý řádek + 1; jinak KDYŽ v NUC1 $>$ 0 a současně (funkce A) $<$ než zvolený časový interval chodu ventilátoru; tak předešlý řádek + 1; jinak $k_{\text{int},1} >$ horní limit x_i ; tak 1; jinak 0
- NUC: KDYŽ NUC2 $>$ 0 nebo (funkce NEBO) buňka nad = 1 a současně (funkce A) $k_{\text{int},1} >$ dolní limit x_i ; tak 1; jinak $k_{\text{int},1} >$ horní limit x_i ; tak 1; jinak 0

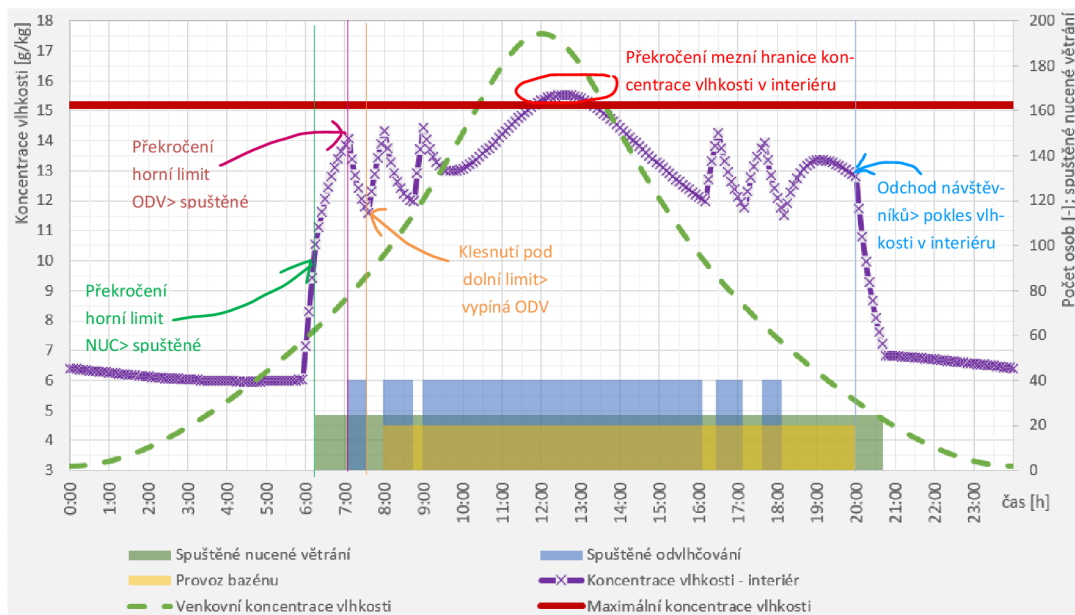
Ventilátor tedy běží, pokud v sloupci NUC je 1 s průtokem manuálně zvoleným pomocí násobnosti výměny.

2 Koncentrace vlhkosti x_p – přírodní koncentrace měrné vlhkosti závislá na potřebě chlazení dle podmínek **1 – spuštěné odvlhčování (chladič); 0 – nespouštěné odvlhčování (chladič)** a volbě umístění chladiče.

- **Nechladím?** Přepíše se měrná vlhkost x_s (pro verzi V1) nebo x_{s2} (pro verzi V2), která je proměnná dle poměru čerstvého venkovního vzduchu a vnitřního oběhového vzduchu dle směšovací rovnic.
- **Chladím?** Přepíše se měrná vlhkost x_2 (pro verzi V1) respektive x_{s1} (pro verzi V2), která $>$ x_2 lim, respektive x_3 lim. X_2/x_3 je hodnota měrné vlhkosti při odvlhčování vyjádřená ze směrového měřítka pomocí entalpií. X_2/x_3 lim je hodnota závislá na měrné vlhkosti rosného bodu, směsi a obtokového součinitele. Určuje mi hodnotu měrné vlhkosti, pod kterou nesmím, na základě chlazení pod rosný bod chladiče, jít.
- ODV1: KDYŽ $k_{\text{int},1} >$ horní limit x_i ; tak 1; jinak 0
- ODV2: KDYŽ v předchozím 5minutovém intervalu (předchozí řádek) je 1 a současně (funkce A) $<$ než zvolený časový interval chodu chladiče; tak předešlý řádek + 1; jinak KDYŽ v ODV1 $>$ 0 a současně (funkce A) $<$ než zvolený časový interval chodu chladiče; tak předešlý řádek + 1; jinak $k_{\text{int},1} >$ horní limit x_i ; tak 1; jinak 0

B.2.2 UKÁZKOVÝ GRAF PRŮBĚHU VLHKOSTI V HALE

Pro 3/h; 30 kW; C3; V1; horní limit pro NUC 9,13 g/kg a pro ODV 13,7 g/kg dolní limit 12 g/kg.



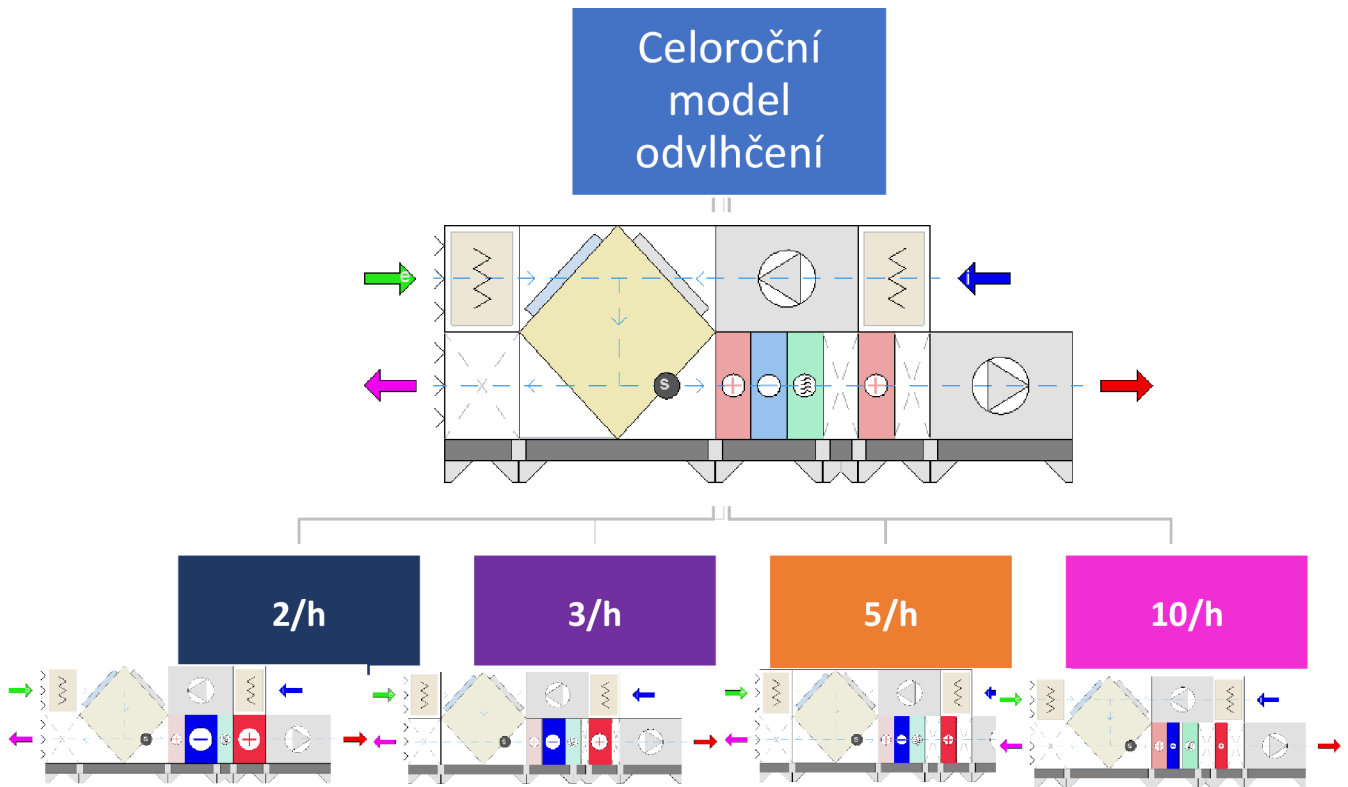
Obr.B. 9 – Popis grafu průběhu koncentrace v interiéru

Maximální koncentrace měrné vlhkosti v interiéru (znázorněná červenou barvou) je daná hodnotou 15,21 g/kg, která vychází z návrhových hodnot teploty interiéru $t_i = 30 \text{ °C}$ a relativní vlhkosti $\varphi = 55 \text{ %}$.

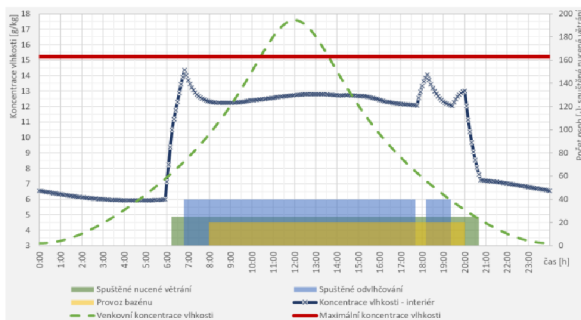
Venkovní koncentrace měrné vlhkosti (znázorněná zelenou přerušovanou čarou) je hodnota vypočtená vzorcem závislejícím na časovém úhlu τ , maximální teplotě v exteriéru $t_{e,max}$ a amplitudě kolísání venkovní teploty A_e .

Koncentrace vlhkosti – interiér (znázorněna fialovou barvou) ukazuje průběh měrné vlhkosti v g/kg během dne. Pro komfort uživatelů v bazénu by se měla pohybovat pod maximální hodnotou. Na grafu je patrné jak při vzniku vlhkosti (danou odparem z vodní hladiny) od 6:00 roste koncentrace vlhkosti v hale, na kterou při překročení nastavené horní meze musí reagovat vzduchotechnická jednotka spuštěním nuceného větrání. Při příchodu návštěvníků (žlutá barva) od 8:00 – 20:00 se ještě navýší produkce vlhkosti. Když měrná vlhkost dosáhne další mezní nastavené hranice pro odvlhčování spustí se chladič (přímý výpar) a realizuje se na něm odvlhčování vlivem chlazením vzduchu pod rosný bod.

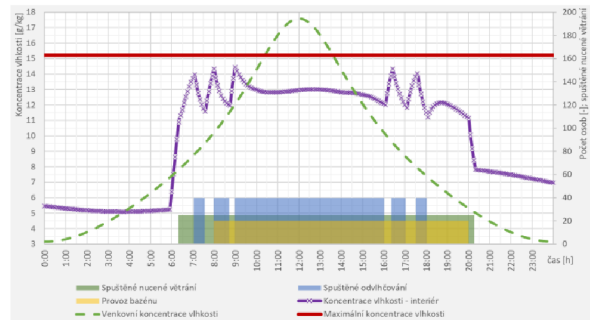
B.2.3 SCHÉMA ZKOUMANÝCH REŽIMŮ



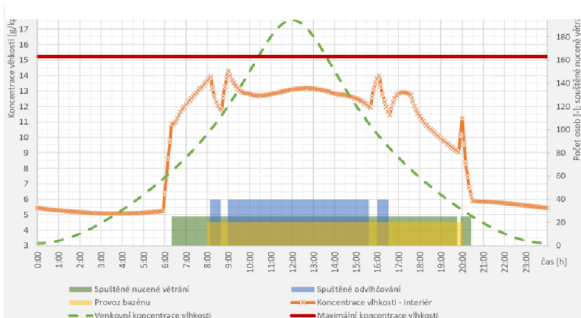
Ukázkové průběhy koncentrací měrné vlhkosti v bazénové hale pro různé průtoky vzduchu s režimem nastavení V1-C5-12,08-30 kW:



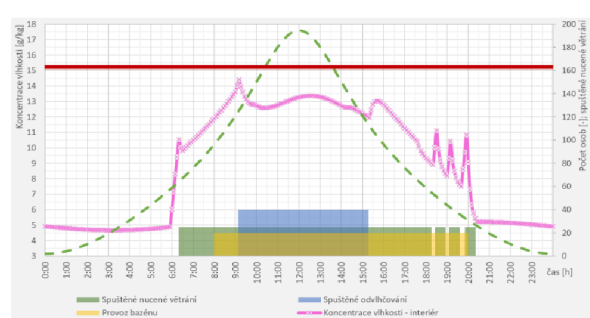
Graf B. 7 – Průběh vlhkosti během dne pro 2/h



Graf B. 8 - Průběh vlhkosti během dne pro 3/h

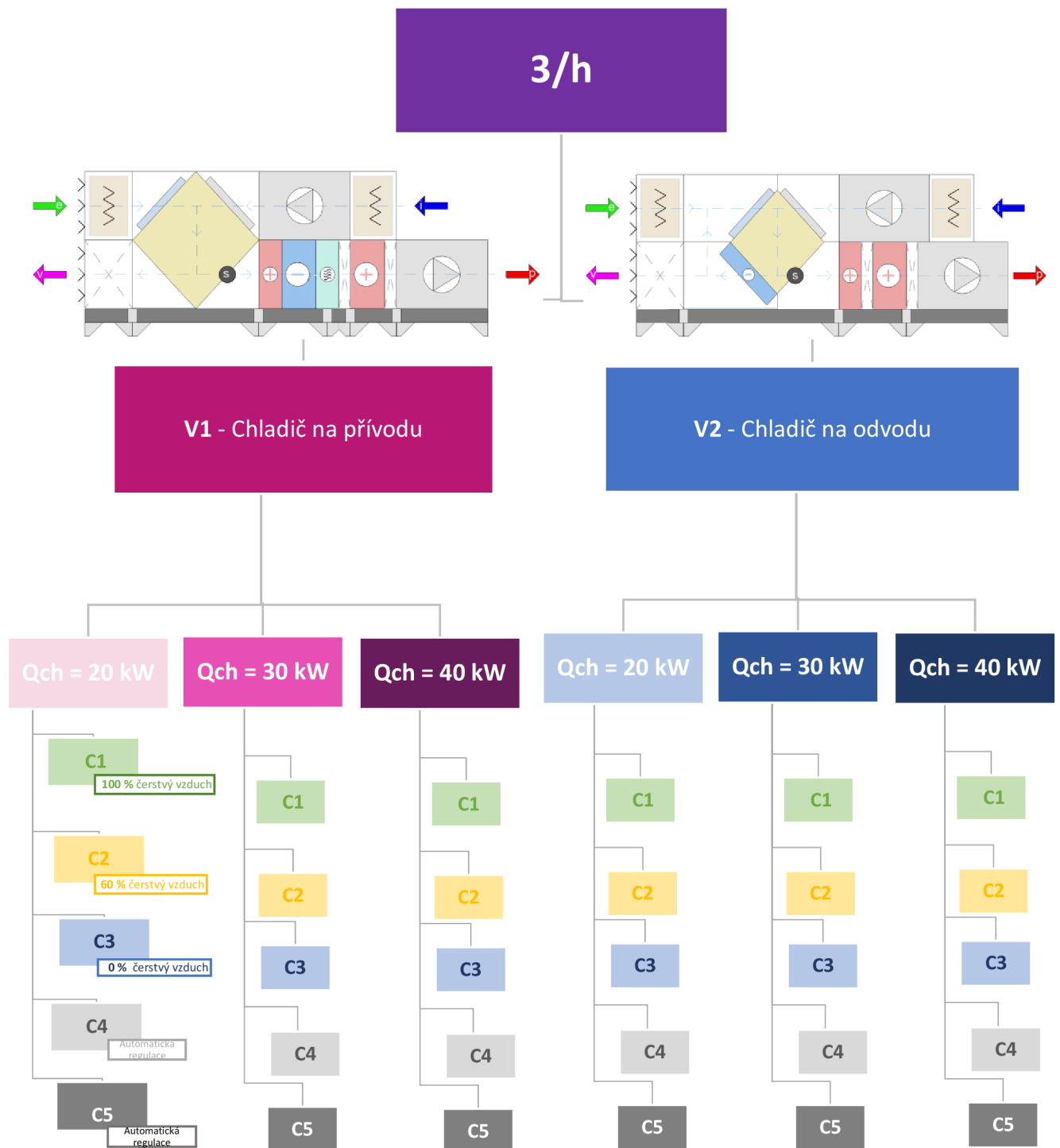


Graf B. 9 - Průběh vlhkosti během dne pro 5/h



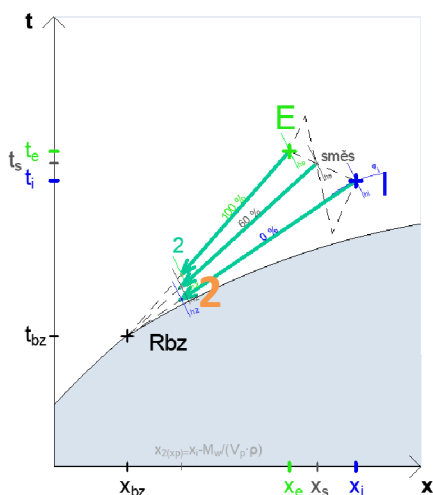
Graf B. 10 - Průběh vlhkosti během dne pro 10/h

Protože bazénové hale odpovídá 3/h výměna vzduchu, budeme se blíže věnovat jí.

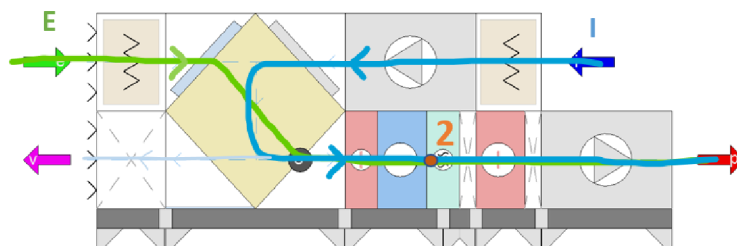


B.2.3.1 CHLADIČ NA PŘÍVODU

Jedná se o složení jednotky, kdy na přívodní větvi je: tlumící vložka, uzavírací klapka, filtr, deskový rekuperátor, vodní ohřivač, přímý výparník/kondenzátor, eliminátor kapek, vodní ohřivač, prázdná sekce, ventilátor, tlumící vložka; na odvodní větvi: tlumící vložka, filtr, ventilátor, deskový rekuperátor, prázdná sekce, uzavírací klapka, tlumící vložka.



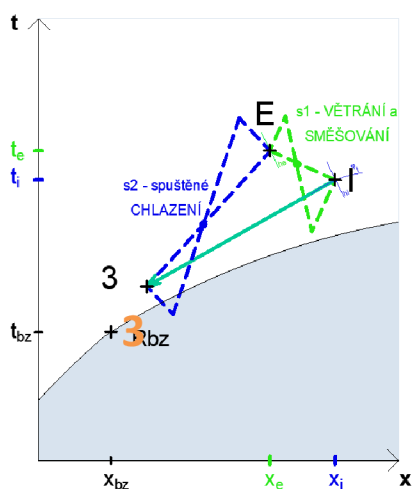
Obr.B. 11 – h-x diagram znázorňující úpravy vzduchu ve V1



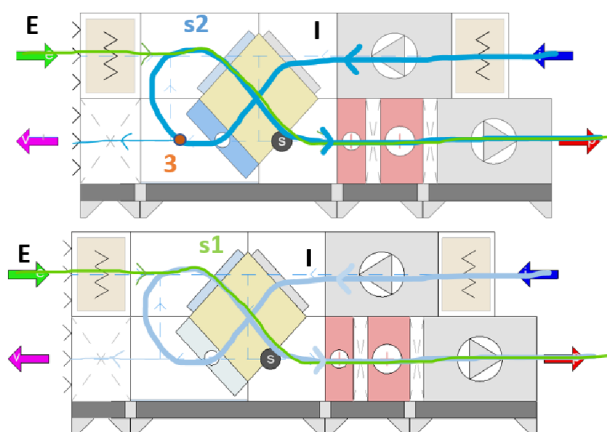
Obr.B. 10 – VZT jednotka v provedení V1

B.2.3.2 CHLADIČ NA ODVODU

Varianta s chladičem na odvodu se používá v případech, kdy se s častým strojním odvlhčováním nepočítá a uvažuje se hlavně s odvlhčováním vlivem výměny vzduchu za venkovní. Tuto variantu je vhodné použít tam, kde není třeba držet přesnou vlhkost v interiéru. Výhodou V2 jsou menší investiční náklady a možnost, přes chladičí smyčku, odvodu kondenzačního tepla z výparníku do dohříváče nebo přes přepínací ventil do bazénové vody (jsou ale velké rozvody vedení chladiva, nahodilý ohřev bazénové vody). Nevýhodou jsou vysoké provozní náklady a nekontrolovaného přetápění interiéru ($t_p = \max. 45^\circ\text{C}$).



Obr.B. 13 – h-x diagram znázorňující úpravy vzduchu ve V2

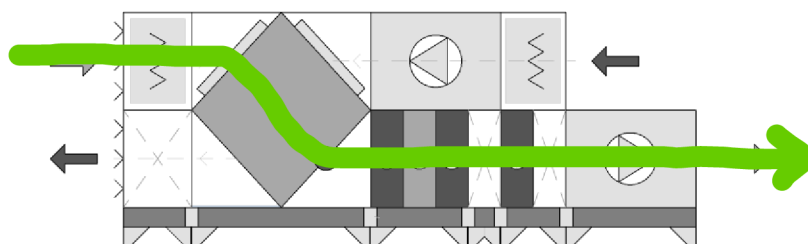


Obr.B. 12 – VZT jednotka v provedení V2

B.2.3.3 C1 – 100 % čerstvý vzduch

Prvním z možných cirkulačních režimů je 100 % čerstvý vzduch. Jedná se o vzduch přiváděný z venkovního prostředí.

Když je v bazénové hale teplota vyšší než požadovaná a zároveň vyšší než teplota vzduchu v exteriéru, přivádíme čerstvý vzduch přes by pass (obtok) a odvlhčení prostoru je zajištěno výměnou venkovního suššího vzduchu za vnitřní vlhký. V případě nižší teploty exteriéru se venkovní vzduch předehřívá v rekuperačním výměníku a dále je na požadovanou teplotu dohříván pomocí dohříváče.



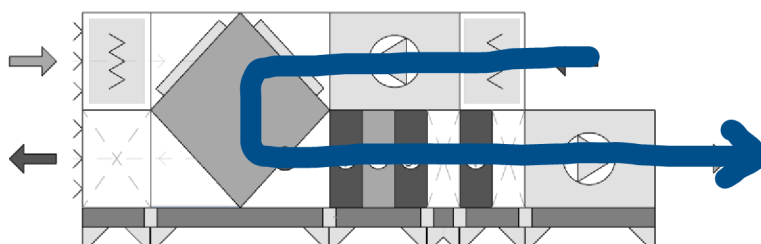
Obr.B. 14 – VZT jednotka v režimu C1

B.2.3.4 C2 – 0 % čerstvý vzduch

Volba režimu s pouze oběhovým vzduchem je vhodný pro noc, kdy se bazén nepoužívá a není třeba přivádět čerstvý vzduch pro návštěvníky.

Při zakryté hladině (což je tento případ), když není třeba odvlhčovat, se vzduch pouze ohřívá pomocí ohříváče na požadovanou teplotu.

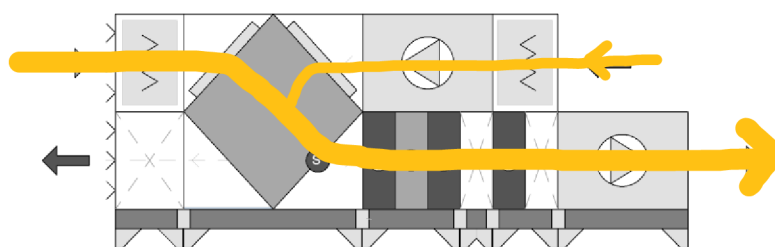
Při potřebě odvlhčování (odpar z vodní hladiny) je v provozu přímý výpar s dohříváčem. Vlhký vzduch se odvlhčuje srážením vody na výparníku vlivem ochlazení pod teplotu rosného bodu.



Obr.B. 15 – VZT jednotka při režimu C2

B.2.3.5 C3 – 60 % čerstvý vzduch

Cirkulace s podílem 60 % čerstvého vzduchu je předvolena pro počet návštěvníků s dávkou čerstvého vzduchu na osobu.



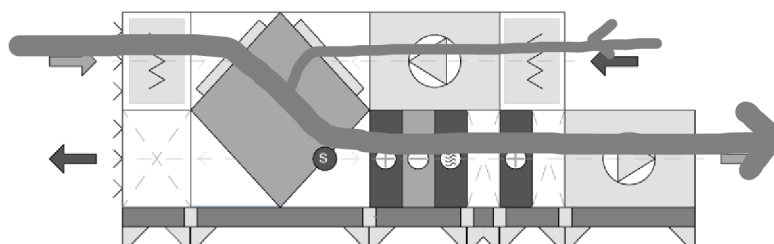
Obr.B. 16 – VZT jednotka při režimu C3

B.2.3.6 C4 – Automatická regulace

Tab.B. 6 – Automatická regulace C4

C4 Automatická regulace	
x_e [g/kg _{sv}]	podíl č.
0,00	1,00
12,00	0,20

Automatická regulace C4 pracuje na základě průběhu měrné vlhkosti v exteriéru. Jedná se o dvou polohovou regulaci, kdy do koncentrace 12 g/kg jednotka provětrává se 100% čerstvým vzduchem a při vyšší měrné vlhkosti jednotka sníží průtok čerstvého vzduchu pouze na 20 %.



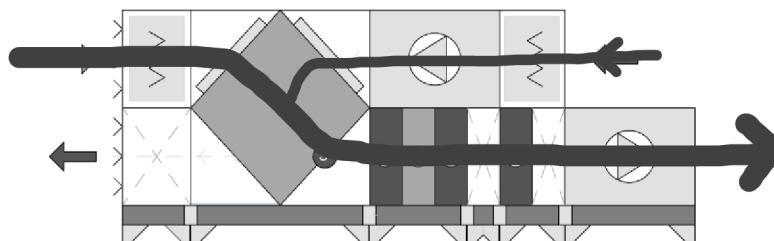
Obr.B. 17 – VZT jednotka při režimu C4

B.2.3.7 C5 – Automatická regulace

Tab.B. 7 – Automatická regulace C5

C5 Automatická regulace	
x_e [g/kg _{sv}]	podíl č.
0,00	1,00
4,00	0,80
8,00	0,60
12,00	0,20
14,00	0,10

Automatická regulace C5 rovněž pracuje v závislosti na exteriéru, ale v tomto případě je pěti polohová. To znamená, že po menších intervalech se přizpůsobuje koncentraci venkovního vzduchu. Do měrné vlhkosti 4 g/kg větrá plně čerstvým vzduchem, do 8 g/kg sníží poměr čerstvého vzduchu na 80 %, do 12 g/kg na 60 % a při koncentraci vyšší pouze 10 %.



Obr.B. 18 – VZT jednotka při režimu C5

B.2.3.8 SOUČINITEL 'K'

Mezi další proměnné patří součinitele pro horní limit K1 (pro NUC) a K2 (pro ODV), které po vynásobení s maximální koncentrací měrné vlhkosti v interiéru (15,21 g/kg) dávají horní limit xi. Pro následující výpočty je uvažováno konstantě s hodnotami pro K1 = 0,6 a K2 = 0,9. $K1 \leq K2$, protože nemůže chladič pracovat bez ventilátorů. Provoz ventilátorů je také levnější než provoz chladiče, takže je ekonomicky výhodnější nejdříve zkusit prostor odvlhčit pomocí NUC a až když to nebude stačit, spustit odvlhčování pomocí chladiče.

Tab.B. 8 – Volba optimální hodnoty součinitele 'K'

V1; 30 kW; C1; dolní limit: 6,67 g/kg

K1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K2=0,9 konst.						
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]:	2,49	2,49	- -	- -	- -	
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]:	9,47	9,75	- -	- -	- -	
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]	13	13	- -	- -	- -	
Provoz celkem [Kč]:	806	804	- -	- -	- -	

V1; 30 kW; C5; dolní limit: 6,67 g/kg

K1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K2=0,9 konst.						
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]:	0,00	0,00	- -	- -	- -	
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]:	9,03	9,20	- -	- -	- -	
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]	13	13	- -	- -	- -	
Provoz celkem [Kč]:	884	882	- -	- -	- -	

V1; 30 kW; C1; dolní limit: 12,08 g/kg

K1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K2=0,9 konst.						
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]:	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	2,66
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]:	9,83	10,45	10,16	11,81	11,73	11,95
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]	8	8	8	10	10	7
Provoz celkem [Kč]:	530	526	527	623	622	453

V1; 30 kW; C5; dolní limit: 12,08 g/kg

K1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K2=0,9 konst.						
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]:	9,68	9,91	10,08	10,09	10,30	11,43
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]	9	10	10	11	12	9
Provoz celkem [Kč]:	628	630	636	722	758	570

V1; 30 kW; C1; dolní limit: 17,50 g/kg

K1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K2=0,9 konst.						
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]:	2,49	2,49	2,49	2,66	3,07	6,48
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]:	9,94	10,55	10,27	11,94	10,84	13,39
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]	8	8	8	10	11	10
Provoz celkem [Kč]:	494	490	490	607	694	595

V1; 30 kW; C5; dolní limit: 17,50 g/kg

K1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K2=0,9 konst.						
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]:	0,33	0,25	0,25	0,17	1,16	6,15
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]:	10,11	10,28	10,48	10,66	11,67	12,56
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]	9	9	9	10	11	10
Provoz celkem [Kč]:	571	567	567	656	660	584

➔ Volím K1 = 0,6

V1; 30 kW; C1; dolní limit: 6,67 g/kg

K1=0,6 konst.						
K2	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]:	2,49	2,49	2,49	2,49	2,66	3,65
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]:	9,53	9,56	9,61	9,75	9,90	10,05
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]	14	14	13	13	12	11
Provoz celkem [Kč]:	913	896	866	804	746	702

V1; 30 kW; C5; dolní limit: 6,67 g/kg

K1=0,6 konst.						
K2	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	1,16
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]:	9,06	9,08	9,12	9,20	9,33	9,56
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]	14	14	14	13	13	12
Provoz celkem [Kč]:	939	927	910	882	844	791

V1; 30 kW; C1; dolní limit: 12,08 g/kg

K1=0,6 konst.						
K2	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]:	2,49	2,49	2,49	2,49	2,66	3,65
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]:	9,79	10,01	10,28	10,45	10,61	10,75
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]	14	12	10	8	7	6
Provoz celkem [Kč]:	906	771	616	526	461	417

V1; 30 kW; C5; dolní limit: 12,08 g/kg

K1=0,6 konst.						
K2	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	2,24
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]:	9,28	9,67	9,77	9,99	10,19	10,40
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]	14	13	11	10	9	8
Provoz celkem [Kč]:	926	857	695	634	576	515

V1; 30 kW; C1; dolní limit: 17,50 g/kg

K1=0,6 konst.						
K2	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]:	2,49	2,49	2,49	2,49	4,15	6,39
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]:	9,79	10,01	10,29	10,55	10,89	11,18
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]	14	12	10	8	6	4
Provoz celkem [Kč]:	906	771	611	490	379	301

V1; 30 kW; C5; dolní limit: 17,50 g/kg

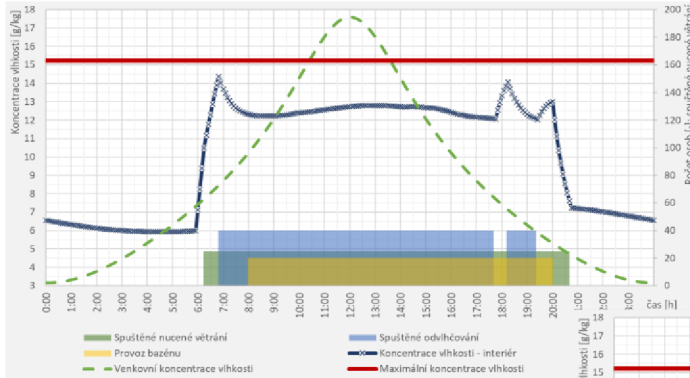
K1=0,6 konst.						
K2	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]:	0,00	0,00	0,00	0,25	4,24	8,30
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]:	9,28	9,67	9,77	10,36	10,90	11,48
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]	14	13	11	9	7	6
Provoz celkem [Kč]:	926	857	695	571	478	388

➔ Volím K2 = 0,9

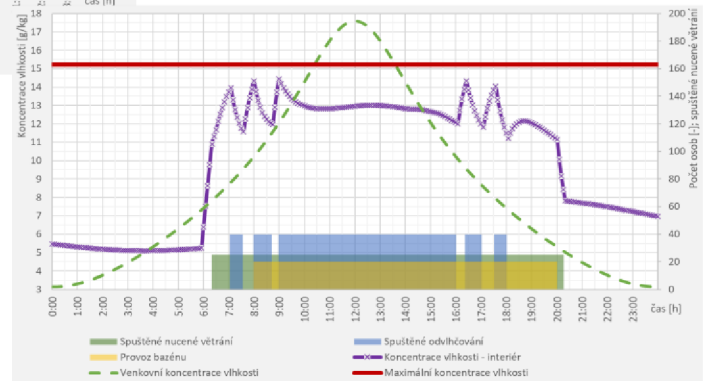
B.3.1 GRAFY: ZMĚNA VÝMĚNY VZDUCHU

2/h-3/h-5/h-10/h

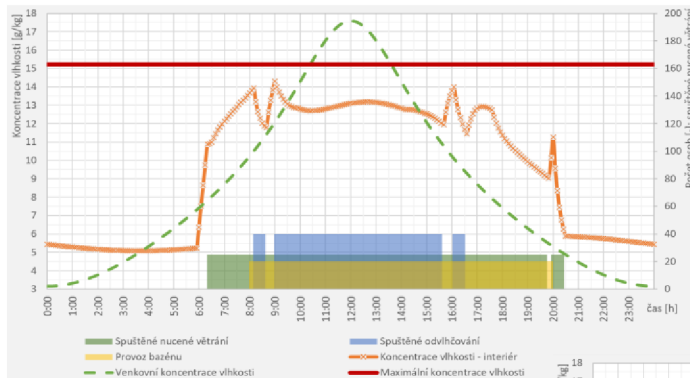
C5 - V1 - 12,08 g/kg - 30 kW



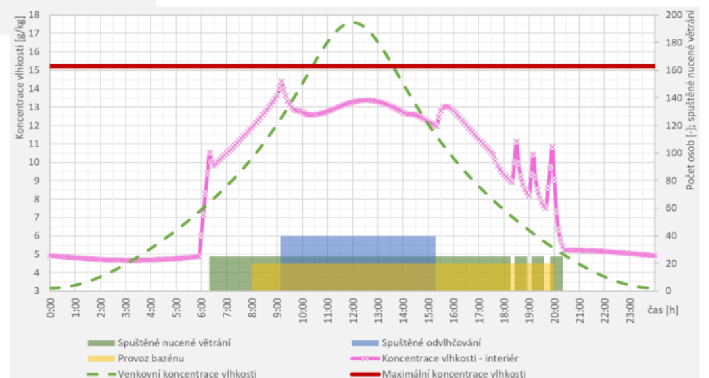
Graf B. 11 – Průběh vlhkosti během dne pro 2/h



Graf B. 12 – Průběh vlhkosti během dne pro 3/h



Graf B. 13 – Průběh vlhkosti během dne pro 5/h

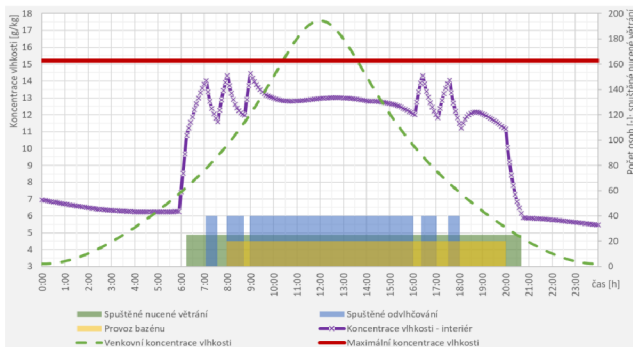


Graf B. 14 – Průběh vlhkosti během dne pro 10/h

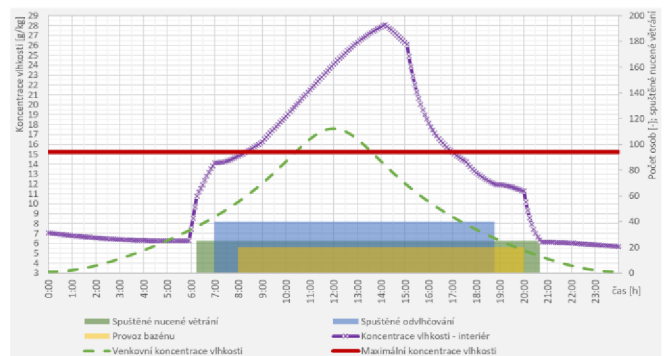
B.3.2 GRAFY: ZMĚNA VARIANTY UMÍSTĚNÍ CHLADIČE

V1-V2

C5 - V1 - 12,08 g/kg - 30 kW

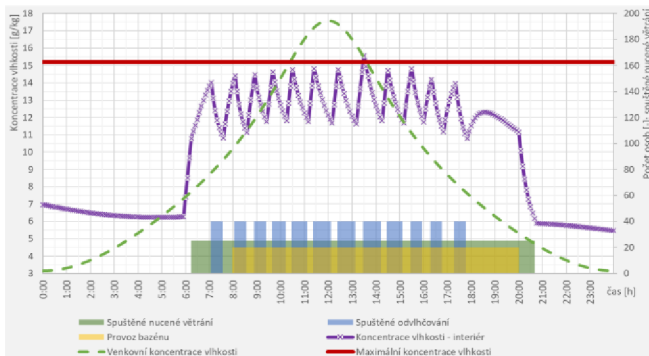


Graf B. 15 - Průběh vlhkosti během dne pro pozici chladiče V1

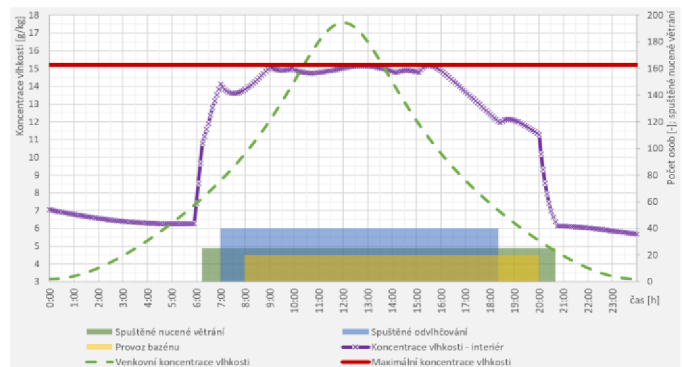


Graf B. 16 - Průběh vlhkosti během dne pro pozici chladiče V2

C5-V1-12,08 g/kg -40 kW



Graf B. 17 - Průběh vlhkosti během dne pro pozici chladiče V1

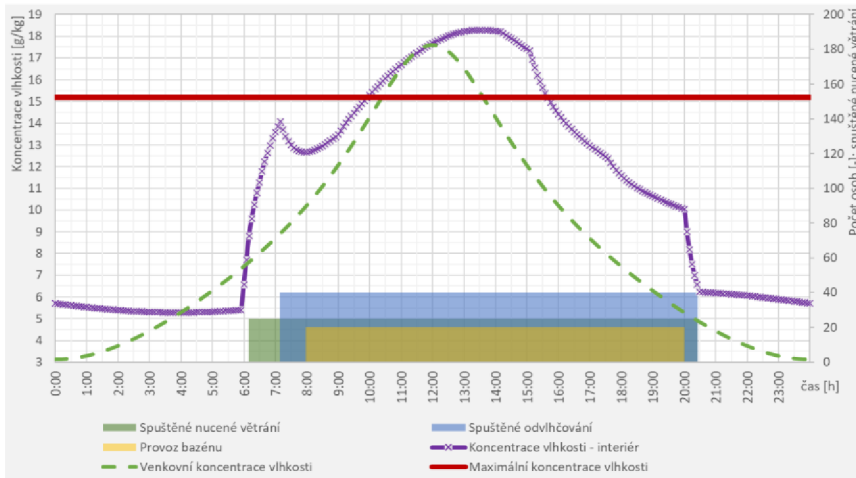


Graf B. 18 - Průběh vlhkosti během dne pro pozici chladiče V2

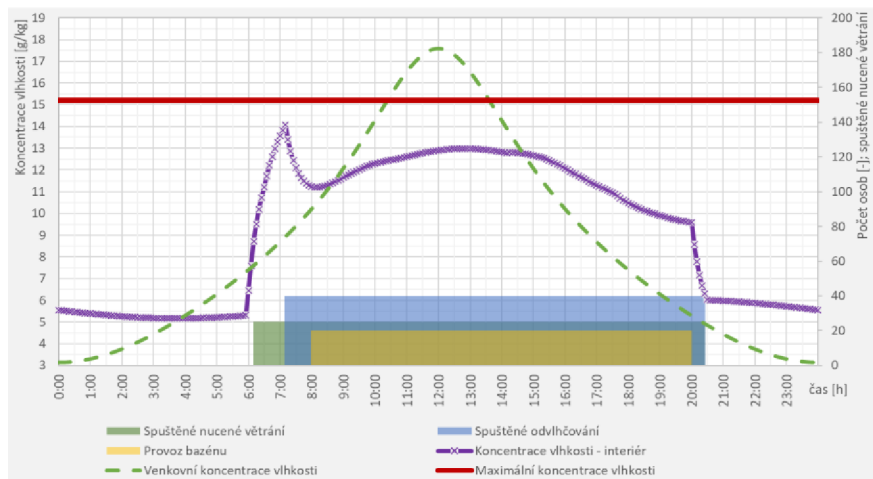
B.3.3 GRAFY: ZVÝŠENÍ CHLADICÍHO VÝKONU

20 – 30 - 40 kW

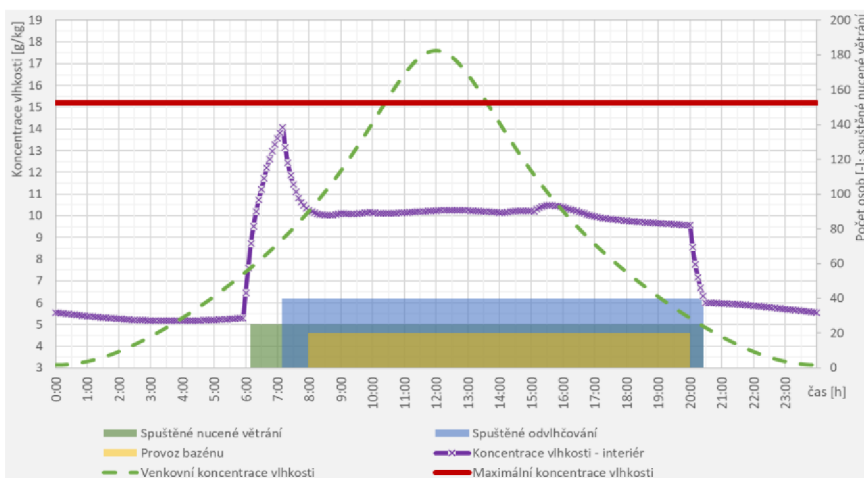
C5-V1-3/h-6,67 g/kg



Graf B. 19 - Průběh vlhkosti během dne pro hodnotu chladicího výkonu 20 kW



Graf B. 20 - Průběh vlhkosti během dne pro hodnotu chladicího výkonu 30 kW

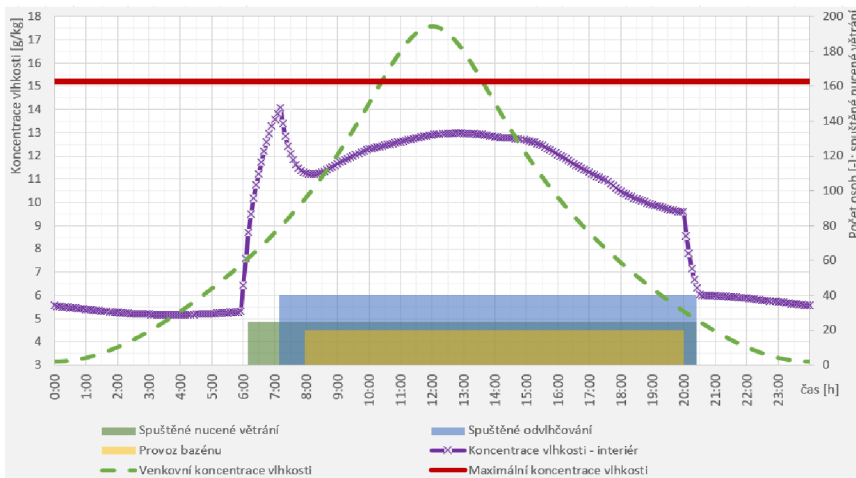


Graf B. 21 - Průběh vlhkosti během dne pro hodnotu chladicího výkonu 40 kW

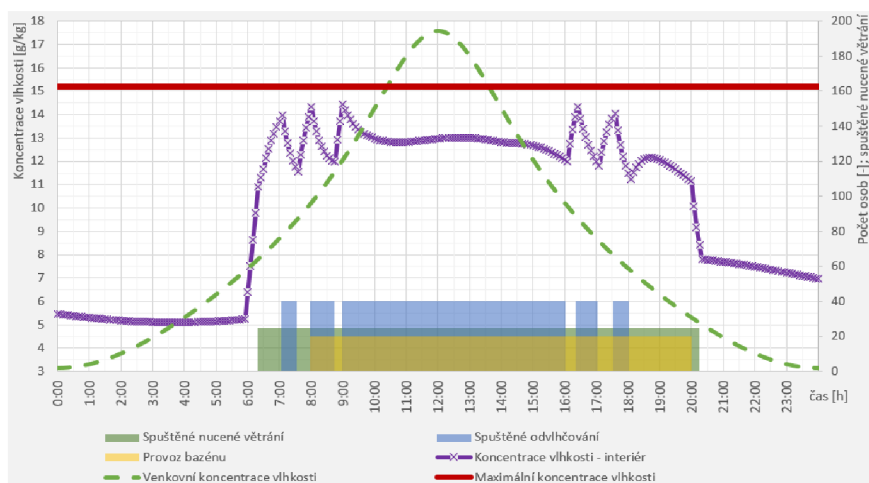
B.3.4 GRAFY: ZVÝŠENÍ DOLNÍHO LIMITU

6,67 - 12,08 - 17,5 g/kg

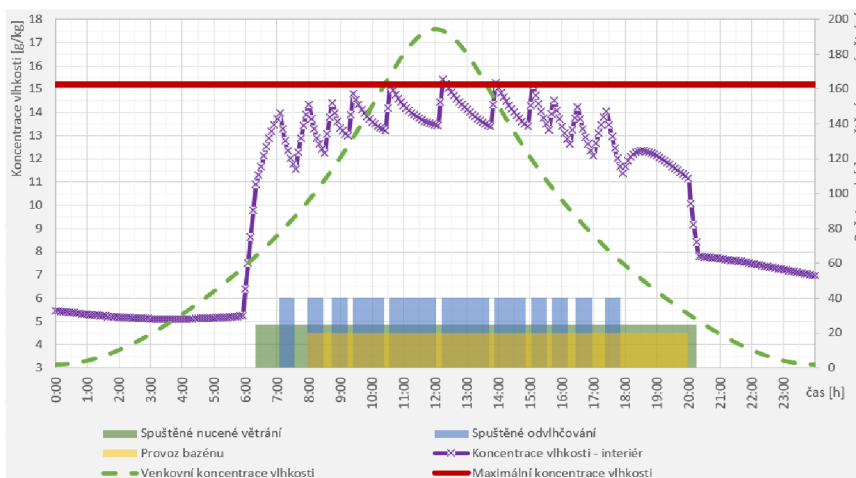
C5-V1-30 kW-3/h



Graf B. 22 - Průběh vlhkosti během dne pro hodnotu dolního limitu 6,67 g/kg



Graf B. 23 - Průběh vlhkosti během dne pro hodnotu dolního limitu 12,08 g/kg

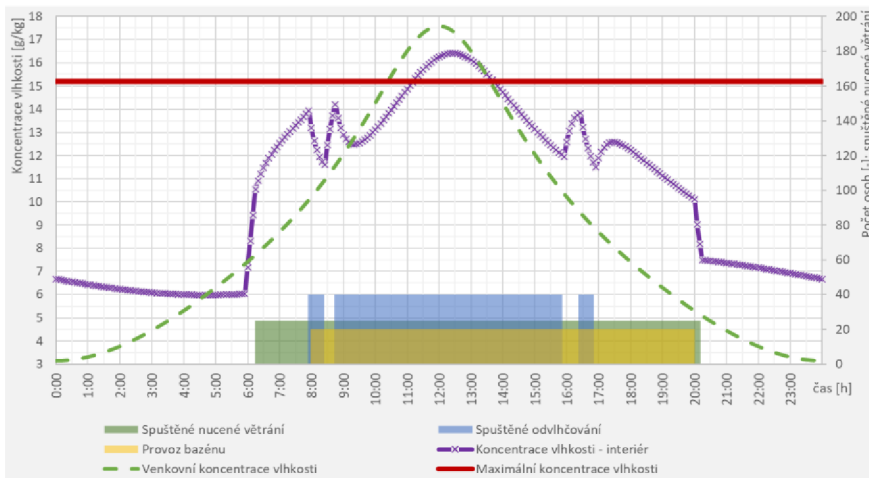


Graf B. 24 - Průběh vlhkosti během dne pro hodnotu dolního limitu 17,50 g/kg

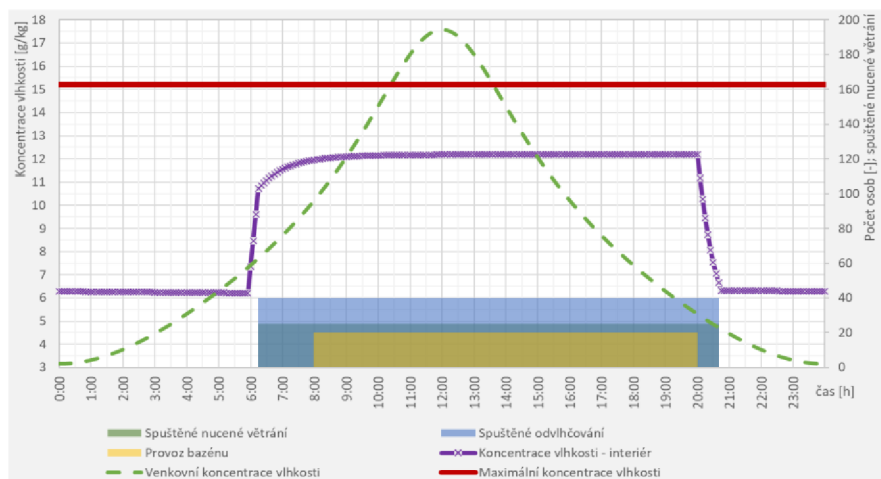
B.3.5 GRAFY ZMĚNA CIRKULAČNÍHO REŽIMU

C1 - C2 - C3 - C4 - C5

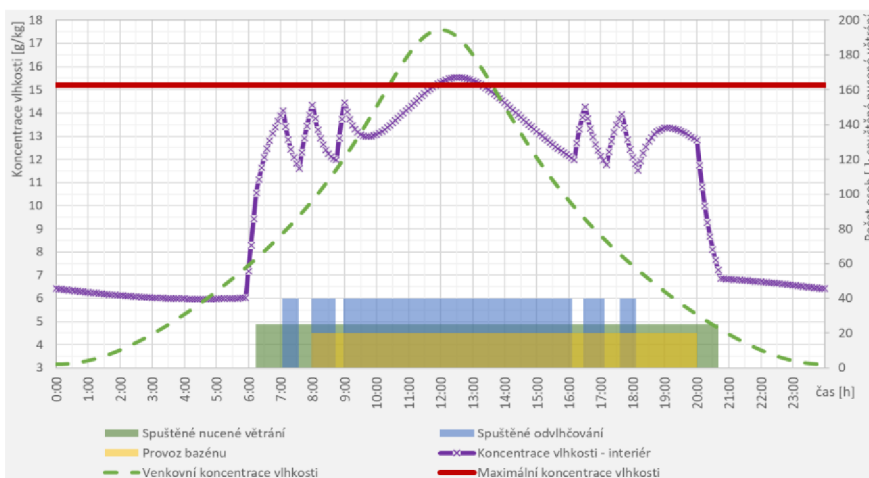
V1-3/h-12,08 g/kg-30 kW



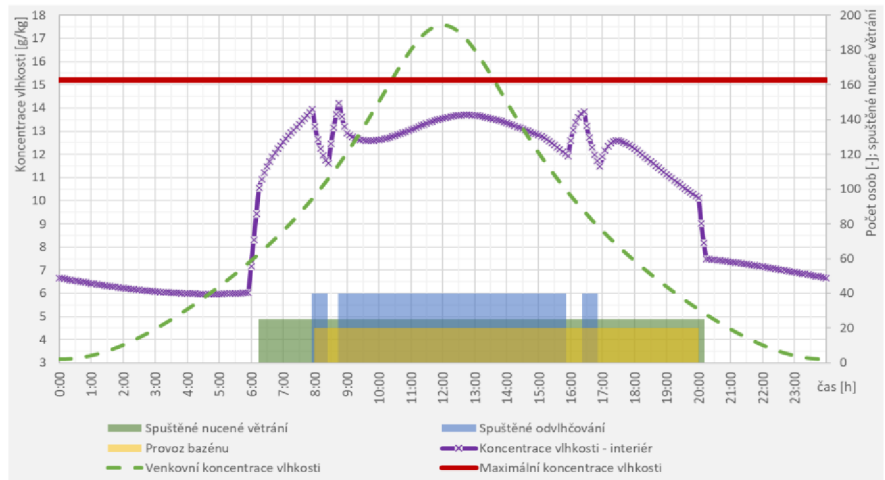
Graf B. 25 - Průběh vlhkosti během dne pro cirkulační režim C1



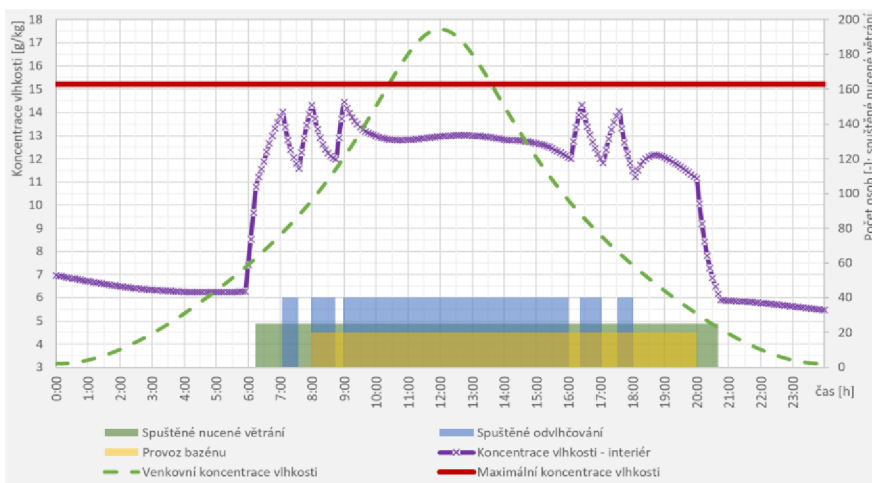
Graf B. 26 - Průběh vlhkosti během dne pro cirkulační režim C2



Graf B. 27 - Průběh vlhkosti během dne pro cirkulační režim C3



Graf B. 28 - Průběh vlhkosti během dne pro cirkulační režim C4



Graf B. 29 - Průběh vlhkosti během dne pro cirkulační režim C5

B.3.6 ZMĚNA VÝMĚNY VZDUCHU

Ukázka průběhu koncentrace měrné vlhkosti při zvyšování průtoku vzduchu. S rostoucí výměnou, dle předpokladu, klesá průměrná hodnota měrné vlhkosti za den a i počet hodin odvlhčování. Úsporu v kW na odvlhčení a dohřev ale kompenzuje, vlivem většího průtoku vzduchu, energie na provoz ventilátorů.

Tab.B. 10 – Výsledky za den pro různé průtoky vzduchu (C5-V1-12,08 g/kg-30 kW)

Výsledky za den:	2/h	3/h	5/h	10/h
Cirkulační režim	C5	C5	C5	C5
Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi	0	0	0	0
Kolik hodin z dne nevyhoví xi	0,00	0,00	0,00	0,00
Průměrná hodnota xi za den	10,06	9,99	9,44	8,91
Celkem hodin provozu odvlhčení	12,1	9,5	7,7	6,2
Celkem hodin provozu nucené větrání	14,5	14,5	14,0	13,5
Celkem energie na odvlhčení	344	285	230	185
Celkem energie na provoz ventilátorů	14	21	35	78
Celkem energie na provoz dohříváče	101	80	58	43
Cena za odvlhčení	467	387	312	251
Cena za provoz ventilátorů	77	113	189	426
Cena za provoz dohříváče	168	134	98	71
Provoz celkem [Kč/den]	712	634	598	749

B.3.7 ZMĚNA VARIANTY UMÍSTĚNÍ CHLADIČE

Variantou V1 je umístění chladiče na přívodu a druhou variantou V2 je chladič umístěný na odvodu. V2 je sice investičně levnější variantou, ale dražší provozně, což potvrzují i výstupy.

Tab.B. 11 – Výsledky za den pro varianty umístění chladiče (C5-V1-6,67 g/kg-30 kW a C5-V1-6,67 g/kg-40 kW)

Výsledky za den:	V1	V2	V1	V2
Cirkulační režim	C5	C5	C5	C5
Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi	0	36	0	0
Kolik hodin z dne nevyhoví xi	0,00	8,64	0,08	0,00
Průměrná hodnota xi za den	9,91	13,42	9,93	10,82
Celkem hodin provozu odvlhčení	9,5	11,8	7,2	11,4
Celkem hodin provozu nucené větrání	14,0	14,5	14,0	14,5
Celkem energie na odvlhčení	285	355	285	457
Celkem energie na provoz ventilátorů	20	21	20	21
Celkem energie na provoz dohříváče	80	66	101	152
Cena za odvlhčení	387	482	387	620
Cena za provoz ventilátorů	109	113	109	113
Cena za provoz dohříváče	134	110	169	254
Provoz celkem [Kč/den]	630	705	665	987

B.3.8 ZVÝŠENÍ CHLADICÍHO VÝKONU

Zvýšením chladicího výkonu vzduch více odvlhčíme, čímž dostaneme koncentraci vlhkosti v hale na nižší úroveň. V ukázkové situaci viz grafy B.19 – B.21 při C5-V1-3/h-0,008 kg/m³ zvyšováním chladicího výkonu při 20 kW je průměrná hodnota xi za den 10,79 g/kg a po přidávání 10 kW klesá na 9,20 a poté na 8,30 g/kg. Hodiny provozu chladiče zůstávají stejné, ale počet kW se liší, takže při vyšším Qch zaplatíme více peněz. V této variantě konkrétně pro 40 kW to dělá 1179 Kč/den, pro 30 kW 882 Kč/den a pro verzi s 20 kW to je 538 Kč/den (tato varianta je sice nejlevnější, ale přes 5,5 h ve dni nevyhoví požadovaná koncentrace vlhkosti).

Tab.B. 12 – Výsledky za den pro různé chladicí výkony (C5-V1-3/h-6,67 g/kg)

Výsledky za den:	20 kW	30 kW	40 kW
Cirkulační režim	C5	C5	C5
Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi	24	0	0
Kolik hodin z dne nevyhoví xi	5,65	0,00	0,00
Průměrná hodnota xi za den	10,79	9,20	8,30
Celkem hodin provozu odvlhčení	13,3	13,3	13,3
Celkem hodin provozu nucené větrání	14,3	14,3	14,3
Celkem energie na odvlhčení	267	398	507
Celkem energie na provoz ventilátorů	21	21	21
Celkem energie na provoz dohříváče	38	137	227
Cena za odvlhčení	362	541	689
Cena za provoz ventilátorů	112	112	112
Cena za provoz dohříváče	64	229	378
Provoz celkem [Kč/den]	538	882	1179

B.3.9 ZVÝŠENÍ DOLNÍHO LIMITU

Dolní limit koncentrace vlhkosti v interiéru hlídá, aby se jednotka vypnula při dosažení této hranice (a současně když o krok dříve nejede ventilátor). Čím vyšší tedy bude dolní limit, tím více bude spouštění chladiče cyklovat, což můžeme vidět na grafech B.22, B.23 a B.24.

Zvýšením dolního limitu se tedy často projevuje jako pokles hodin odvlhčování, což se ale neblaze projevuje zvýšením průměrné hodnoty xi za den.

V konkrétním případě V1-30 kW-C5-3/h, který je ilustrován příslušnými grafy, se konkrétně jedná o vzrůst průměrné hodnoty xi za den z 9,20 přes 9,91 na 10,28 g/kg.

Hodiny odvlhčování klesnou z 13,3 přes 9,5 na 8,5 h, což se pak samozřejmě projeví v ceně, kdy při tomto nastavení ušetříme až 315 Kč/den (za provoz chladiče, ventilátorů i dohříváče; při větších kWh chladiče s potřebou odvlhčení stoupá samozřejmě i počet kWh na provoz ohříváče).

Tab.B. 13 – Výsledky za den pro různé dolní limity xi (C5-V1-30 kW-3/h)

Výsledky za den:	6,67 g/kg	12,08 g/kg	17,5 g/kg
Cirkulační režim	C5	C5	C5
Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi	0	0	1
Kolik hodin z dne nevyhoví xi	0,00	0,00	0,25
Průměrná hodnota xi za den	9,20	9,91	10,28
Celkem hodin provozu odvlhčení	13,3	9,5	8,5
Celkem hodin provozu nucené větrání	14,3	14,0	14,0
Celkem energie na odvlhčení	398	285	255
Celkem energie na provoz ventilátorů	21	20	20
Celkem energie na provoz dohříváče	137	80	66
Cena za odvlhčení	541	387	346
Cena za provoz ventilátorů	112	109	109
Cena za provoz dohříváče	229	134	111
Provoz celkem [Kč/den]	882	630	567

B.3.10 ZMĚNA CIRKULAČNÍHO REŽIMU

Mezi druhy cirkulačních režimů patří C1 – 100% čerstvý vzduch, C2 – plně cirkulační vzduch, C3 – 60% čerstvý vzduch, C4 – automatická regulace: dvou polohová a C5 – automatická regulace: pěti polohová.

Čím vyšší podíl čerstvého vzduchu, tím můžeme v grafech vidět, jak se důrazněji propisuje měrná vlhkost venkovního vzduchu. U plně cirkulačního vzduchu znovu můžeme pozorovat spíše konstantní průběh v závislosti na konstantní produkci vodní páry.

Tab.B. 14 – Výsledky za den pro různé cirkulační režimy (V1-3/h-12,08 g/kg-30 kW)

Výsledky za den:

Výsledky za den:	C1	C2	C3	C4	C5
Cirkulační režim	C1	C2	C3	C4	C5
Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi	10	0	6	0	0
Kolik hodin z dne nevyhoví xi	2,49	0,00	1,41	0,00	0,00
Průměrná hodnota xi za den	10,45	9,70	10,52	10,07	9,91
Celkem hodin provozu odvlhčení	8,2	14,5	9,6	8,2	9,5
Celkem hodin provozu nucené větrání	14,0	14,5	14,5	14,0	14,0
Celkem energie na odvlhčení	245	435	288	245	285
Celkem energie na provoz ventilátorů	20	21	21	20	20
Celkem energie na provoz dohříváče	51	131	69	64	80
Cena za odvlhčení	333	591	390	333	387
Cena za provoz ventilátorů	109	113	113	109	109
Cena za provoz dohříváče	84	218	115	106	134
Provoz celkem [Kč/den]	526	922	618	548	630

B.3.11 SJEDNOCENÉ ČÍSELNÉ VÝSLEDKY PRO 3/h:

VÝKONOVÉ PARAMETRY PRO V1

Tab.B. 15 -Přehled výkonů pro V1

V1		Qch=20 Kw				Qch= 30 kW				Qch= 40 kW			
Dolní mez [g/kg]	cirkulační režim	celkem energie na odvlhčení [kW]	celkem energie na provoz ventilátorů [kW]	celkem energie na provoz dohřívavače [kW]	kolik h ze dne nevyhoví [hod]	celkem energie na odvlhčení [kW]	celkem energie na provoz ventilátorů [kW]	celkem energie na provoz dohřívavače [kW]	kolik h ze dne nevyhoví [hod]	celkem energie na odvlhčení [kW]	celkem energie na provoz ventilátorů [kW]	celkem energie na provoz dohřívavače [kW]	kolik h ze dne nevyhoví [hod]
6,67	C1	252	21	42	4,3	372	20	112	2,5	471	20	170	0,0
	C2	310	23	11	12,5	435	21	131	0,0	558	21	253	0,0
	C3	270	21	38	5,0	399	21	121	1,4	514	21	199	0,0
	C4	252	21	40	5,3	372	20	126	0,0	471	20	203	0,0
	C5	267	21	38	5,6	398	21	137	0,0	507	21	227	0,0
12,08	C1	180	20	15	4,3	245	20	51	2,5	288	20	81	0,0
	C2	300	22	6	12,7	435	21	131	0,0	551	20	248	0,0
	C3	218	21	21	5,0	288	21	69	1,4	322	21	104	0,2
	C4	180	20	13	5,3	245	20	64	0,0	242	20	82	0,1
	C5	215	20	18	5,6	285	20	80	0,0	285	20	101	0,1
17,50	C1	160	20	11	4,4	225	20	45	2,5	258	20	72	0,3
	C2	300	22	6	12,7	435	21	131	0,0	560	20	257	0,0
	C3	210	21	19	5,0	270	21	63	1,6	298	21	96	0,7
	C4	170	20	10	5,4	210	20	50	0,5	238	20	79	0,3
	C5	201	20	15	5,8	255	20	66	0,2	278	20	97	0,4

PROVOZNÍ NÁKLADY PRO V1

Tab.B. 16 -Přehled provozních nákladů pro V1

V1		Qch=20 kW				Qch= 30 kW				Qch= 40 kW			
Dolní mez [g/kg]	cirkulační režim	Cena za odvlhčení [Kč]	Cena za provoz ventilátorů [Kč]	Cena za provoz dohřívavače [Kč]	Cena celkem [Kč]	Cena za odvlhčení [Kč]	Cena za provoz ventilátorů [Kč]	Cena za provoz dohřívavače [Kč]	Cena celkem [Kč]	Cena za odvlhčení [Kč]	Cena za provoz ventilátorů [Kč]	Cena za provoz dohřívavače [Kč]	Cena celkem [Kč]
6,67	C1	342	112	70	524	505	111	187	804	640	111	284	1 035
	C2	421	122	18	561	591	115	219	924	758	113	423	1 293
	C3	367	113	64	543	542	113	202	857	698	112	333	1 143
	C4	342	112	66	520	505	111	210	826	640	111	338	1 090
	C5	362	112	64	538	541	112	229	882	689	112	378	1 179
12,08	C1	244	109	25	379	333	109	84	526	392	109	135	636
	C2	408	117	11	536	591	113	218	922	748	109	415	1 272
	C3	296	113	34	444	390	113	115	618	437	113	174	724
	C4	244	109	21	375	333	109	106	548	328	109	136	574
	C5	292	109	31	432	387	109	134	630	387	109	169	665
17,50	C1	217	109	19	346	306	109	75	490	351	109	120	580
	C2	408	117	11	535	591	113	218	922	760	109	430	1 299
	C3	285	113	31	429	367	113	105	585	405	113	160	678
	C4	231	109	17	358	285	109	84	479	324	109	133	566
	C5	273	109	24	407	346	109	111	567	377	109	162	648

VÝKONOVÉ PARAMETRY PRO V2

Tab.B. 17 – Přehled výkonů pro V2

V2		Qch=20 kW				Qch= 30 kW				Qch= 40 kW			
Dolní mez [g/kg]	cirkulační režim	celkem energie na odvlhčení [kW]	celkem energie na provoz ventilátorů [kW]	celkem energie na provoz dohřívače [kW]	kolik h ze dne nevyhoví [hod]	celkem energie na odvlhčení [kW]	celkem energie na provoz ventilátorů [kW]	celkem energie na provoz dohřívače [kW]	kolik h ze dne nevyhoví [hod]	celkem energie na odvlhčení [kW]	celkem energie na provoz ventilátorů [kW]	celkem energie na provoz dohřívače [kW]	kolik h ze dne nevyhoví [hod]
6,67	C1	252	21	42	7,3	378	21	114	7,3	501	21	171	7,3
	C2	482	35	0	24,0	0	35	0	24,0	0	35	0	24,0
	C3	278	21	34	10,1	413	21	106	8,5	543	21	178	7,0
	C4	252	21	37	7,6	378	21	99	7,5	501	21	172	7,3
	C5	272	21	33	10,1	405	21	94	8,6	537	21	189	0,0
12,08	C1	208	20	21	7,3	313	20	76	7,3	417	20	133	7,3
	C2	482	35	0	24,0	0	35	0	24,0	0	35	0	24,0
	C3	265	21	27	10,2	380	21	88	8,5	467	21	143	7,0
	C4	208	20	16	7,6	313	20	62	7,5	417	20	133	7,3
	C5	245	21	20	10,1	355	21	66	8,6	457	21	152	0,0
17,50	C1	190	20	17	7,3	285	20	64	7,3	380	20	117	7,3
	C2	0	35	0	24,0	0	35	0	24,0	0	35	0	24,0
	C3	250	21	22	10,2	360	21	80	8,5	440	21	131	7,0
	C4	190	20	12	7,6	285	20	50	7,5	380	20	117	7,3
	C5	230	21	15	10,1	330	21	55	8,6	420	21	136	0,0

PROVOZNÍ NÁKLADY PRO V2

Tab.B. 18 – Přehled provozních nákladů V2

V2		Qch=20 kW				Qch= 30 kW				Qch= 40 kW			
Dolní mez [g/kg]	cirkulační režim	Cena za odvlhčení [Kč]	Cena za provoz ventilátorů [Kč]	Cena za provoz dohřívače [Kč]	Cena celkem [Kč]	Cena za odvlhčení [Kč]	Cena za provoz ventilátorů [Kč]	Cena za provoz dohřívače [Kč]	Cena celkem [Kč]	Cena za odvlhčení [Kč]	Cena za provoz ventilátorů [Kč]	Cena za provoz dohřívače [Kč]	Cena celkem [Kč]
6,67	C1	342	112	70	524	513	112	190	814	680	112	286	1 078
	C2	654	188	0	842	0	188	0	188	0	188	0	188
	C3	378	116	57	551	560	115	177	852	738	114	298	1 150
	C4	342	112	62	516	513	112	166	790	680	112	287	1 079
	C5	369	113	56	538	550	113	158	820	729	113	316	1 157
12,08	C1	283	109	36	428	424	109	127	661	566	109	222	897
	C2	654	188	0	842	0	188	0	188	0	188	0	188
	C3	360	113	46	519	516	113	147	776	634	113	238	985
	C4	283	109	28	420	424	109	104	637	566	109	222	897
	C5	333	113	34	480	482	113	110	705	620	113	254	987
17,50	C1	258	109	28	395	387	109	107	604	516	109	195	820
	C2	0	188	0	188	0	188	0	188	0	188	0	188
	C3	339	113	37	490	489	113	133	735	597	113	218	929
	C4	258	109	20	387	387	109	83	580	516	109	195	820
	C5	312	113	26	451	448	113	92	653	570	113	226	910

Pozn.:

Cena za odvlhčení: $5,43/4(\text{EER}) = 1,36 \text{ Kč/kWh}$

Cena za provoz ventilátorů: $5,43 \text{ Kč/kWh}$

Cena za provoz dohříváče (plynový kond. kotel): $1,67 \text{ Kč/kWh}$

B.4 ZÁVĚR

Hlavním sledovaným parametrem je tedy průběh koncentrace měrné vlhkosti v bazénové hale. Komfort návštěvníků patří mezi hlavní parametry návrhu větrání, nezanedbatelným prvkem je také cena za provoz chladicího, ventilátorů a ohříváče. A protože bazénové provozy patří mezi nejnákladnější, je třeba najít kompromis mezi provozními náklady a komfortem.

Hledanou optimální variantou pro extrém je navolení, kdy:

- Počet h, které během dne nevyhoví, je co nejmenší
- Průměrná hodnota x_i za den je co nejvyšší (cena)
- Provozní náklady co nejnižší

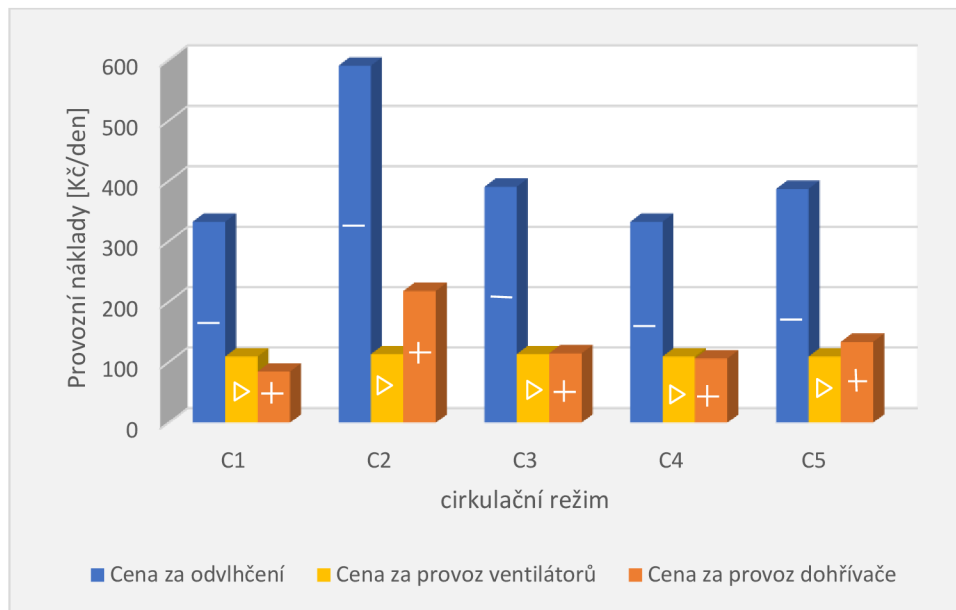
Kompromisem těchto parametrů při volbě optimálního nastavení režimů by u varianty V1 mohla být jednotka s chladicím výkonem 30 kW, kde se počet nevyhovujících hodin pohybuje maximálně do 2,5 h (při režimu cirkulace C1) a průběh koncentrace měrné vlhkosti se pohybuje blízko pod maximální hranicí. S vyšší dolní hranicí rovněž dosáhneme dalších úspor.



Obr.B. 19 - Doporučená řešení V1 (V1-30 kW-6,67/17,50 g/kg-C1/C5)

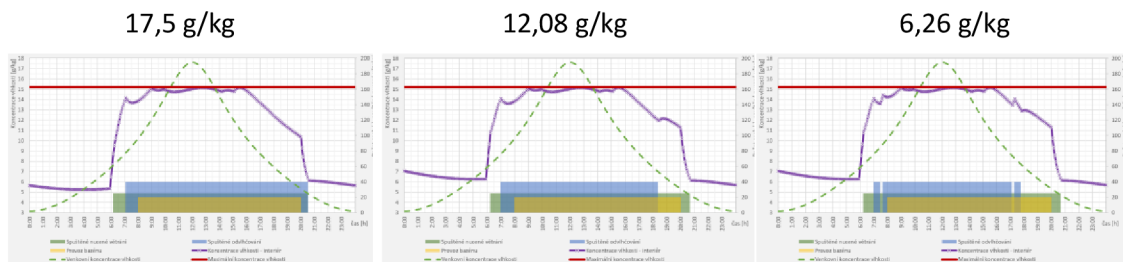
17,5 g/kg
12,08 g/kg
6,26 g/kg

Výsledné provozní náklady pro ,optimální variantu' při umístění chladiče V1 (na přívodu), pro 30 kW a dolní hranici 12,08 g/kg:

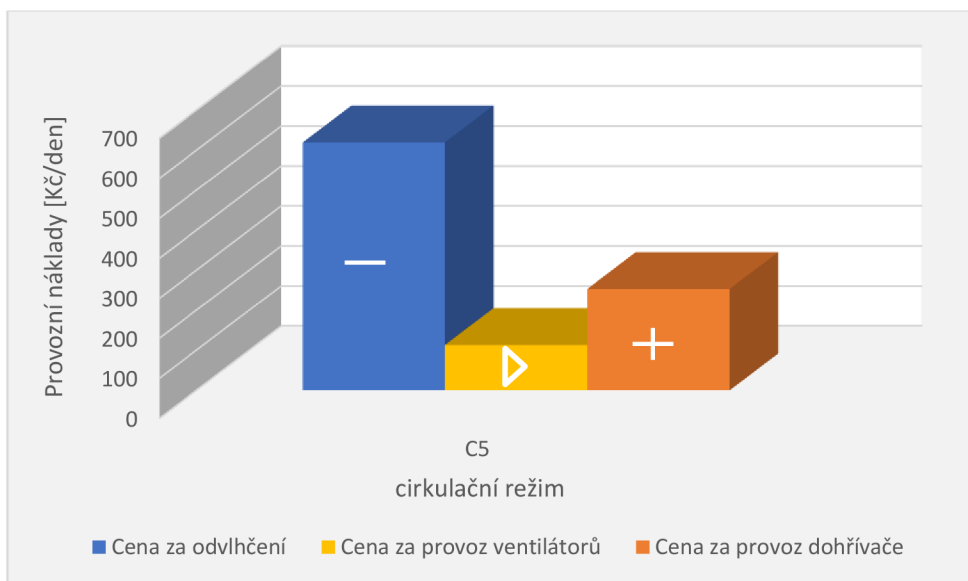


Graf B. 30 - Provozní náklady pro vybranou optimální variantu V1

U varianty V2 výrazně při stejných parametrech stoupne počet nevyhovujících hodin z hlediska měrné vlhkosti v hale. Vzhledem u značného překročení limitu u většiny variant se nabízí vhodná varianta pouze při chladicím výkonu 40 kW a režimu cirkulace C5.



Obr.B. 20 - Doporučená řešení V2



Graf B. 31 - Provozní náklady pro vybranou optimální variantu V2



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ČÁST C. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

OPTIMALIZACE VZDUCHOTECHNIKY WELLNESS SPORTOVNÍHO CENTRA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

NIKOL PRCHALOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. PETR BLASINSKI, PH.D.

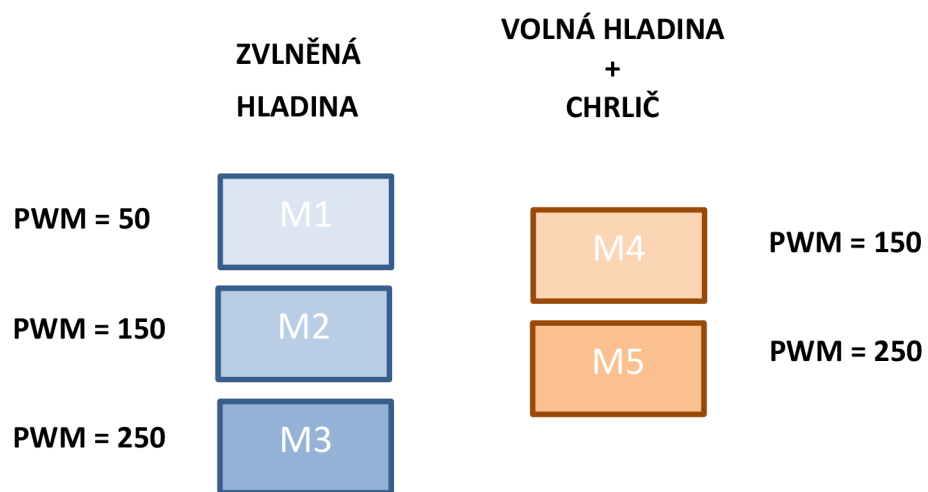
BRNO 2022

Cílem experimentálního měření bylo zanalyzovat odpar z vodní hladiny za dvou různých provozních stavů (zvlněná hladina a volná hladina s chrličem) s různými průtoky přiváděného vzduchu a následně měřené výsledky porovnat s některými výpočtovými metodami na výpočet odparu.

Experimentální měření bylo provedeno na malém modelu v laboratoři fakulty stavební.

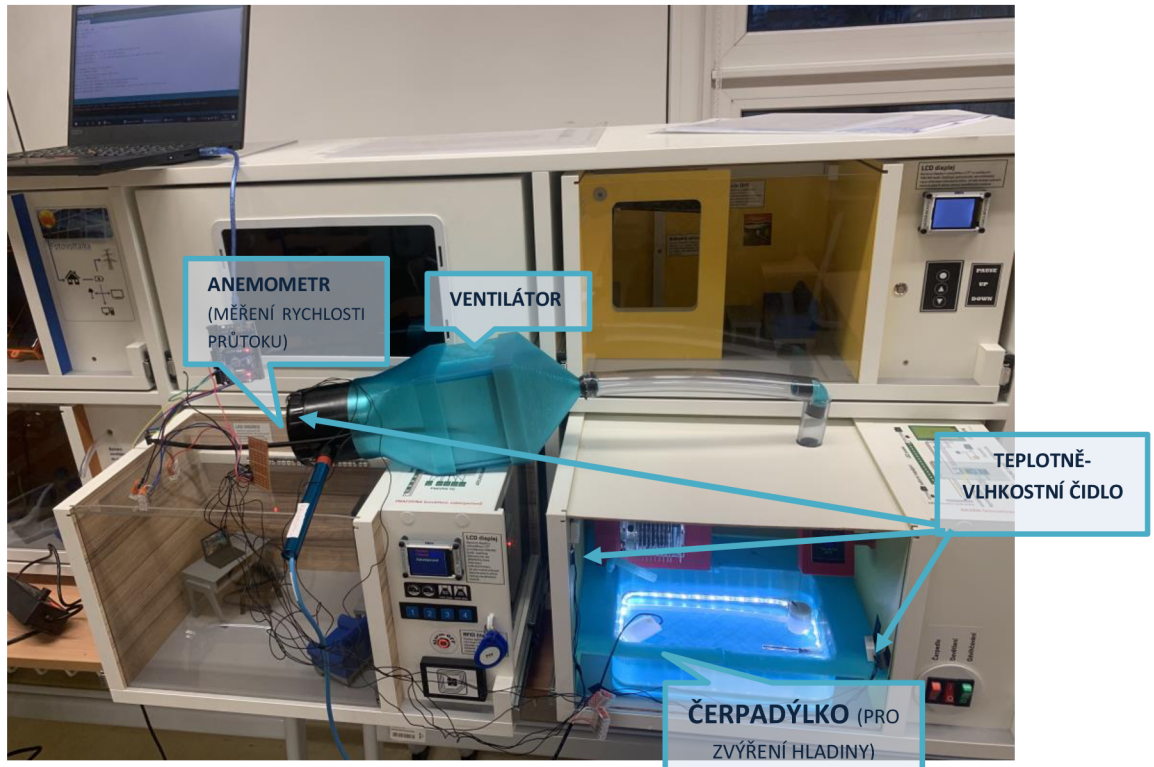
C.1 VARIANTY MĚŘENÍ

Bylo provedeno 5 měření se změnou vstupních parametrů: změna vodní hladiny a nastavení ventilátoru:



Obr.C. 1 – Experimentální měření

C.2 POPIS MĚŘENÍ

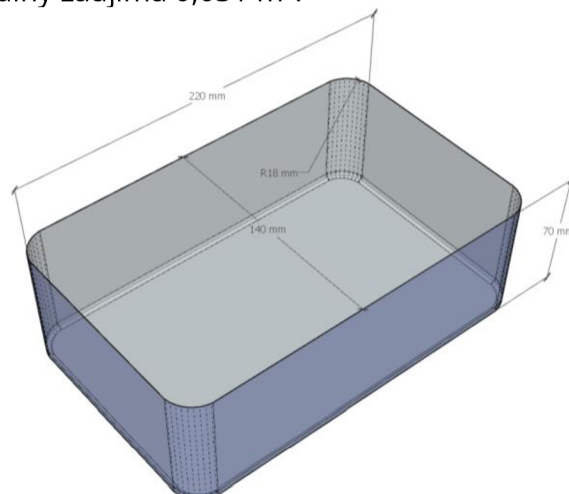


Obr.C. 2 – Popis modelu

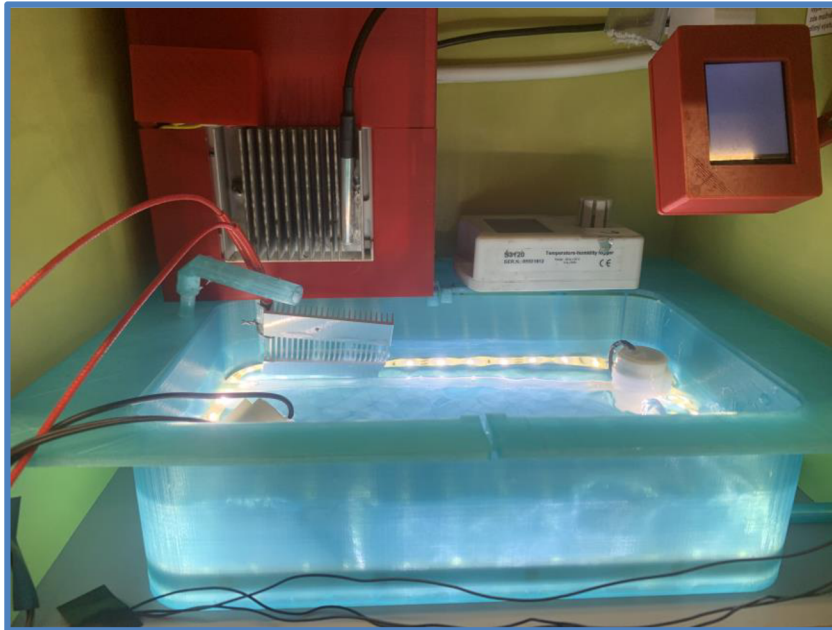
První trojice měření byla pro zvlněnou hladinu (M1-M3), která byla simulována čerpadýlkem s perforovanou trubičkou na Obr. C.4. Ventilátor přiváděl vzduch o dané teplotě a relativní vlhkosti potrubím o průměru 20 mm. Anemometrem byla změřena rychlost v potrubí a nad hladinou, dále teplota vody. Následně po uzavření modelu byly snímány průběhy teplot a relativní vlhkosti černými skříňkami uvnitř modelu (295x225x222 mm – vnitřní rozměry) a vně před ventilátorem.

Druhé kolo měření byla provedena pro klidnou hladinu s chrličem (M4-M5) zobrazené na Obr. C.5.

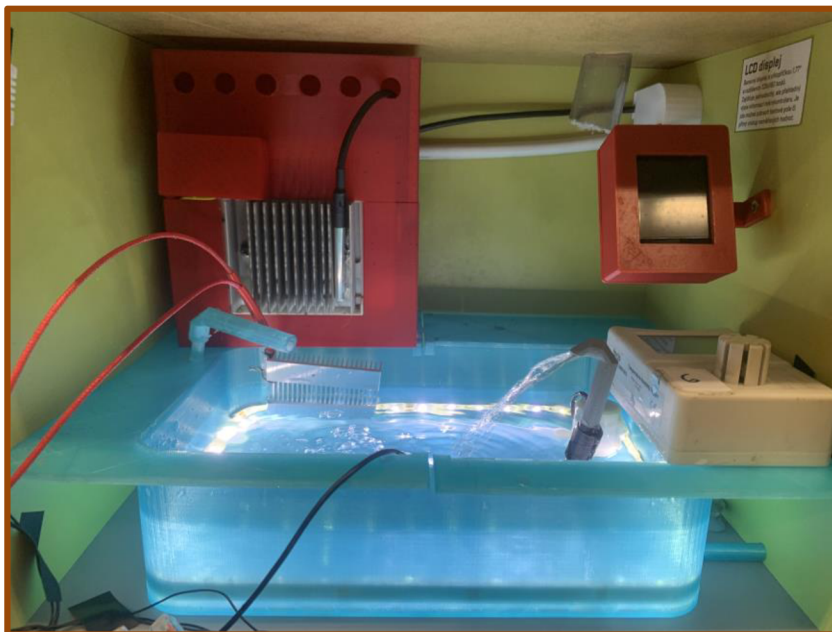
Plocha vodní hladiny zaujímá 0,031 m².



Obr.C. 3 – Geometrie modelu bazény



Obr.C. 4 – Zvlněná hladina M1 – M3



Obr.C. 5 – Volná hladina + chrlič M4 - M5

C.3 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

- Vrtulkový anemometr (FVAD 15) s ústřednou (ALEMEMO 2290-2) – pro měření rychlosti proudění vzduchu
- Datalogger Temperature-humidity logger (Comet S3120) – pro záznam teploty a vlhkosti vzduchu
- Arduino UNO R3 – Vývojová deska Uno, kompatibilní s Arduino UNO, s USB převodníkem CH340G a USB-B konektorem.
- Ponorné mini čerpadlo (DC 3-6V 120 L/H)

C.4 POUŽITÉ VZTAHY

C.4.1 Průtok vzduchu

$$V = S \cdot v = \pi \cdot r^2 \cdot v \text{ [m}^3/\text{h]}$$
$$V_{M1} = V_{M4} = \pi \cdot r^2 \cdot v = \pi \cdot 0,01^2 \cdot 0,33 = 1,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h} = 0,37 \text{ m}^3/\text{h}$$
$$V_{M2} = V_{M5} = \pi \cdot r^2 \cdot v = \pi \cdot 0,01^2 \cdot 0,58 = 1,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h} = 0,66 \text{ m}^3/\text{h}$$
$$V_{M3} = V_{M6} = \pi \cdot r^2 \cdot v = \pi \cdot 0,01^2 \cdot 1,05 = 3,30 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h} = 1,19 \text{ m}^3/\text{h}$$

C.4.2 Měrná vlhkost vzduchu

$$x = 0,622 \cdot \left(\frac{pd}{p-pd}\right) \text{ [kg/kg}_{sv}\text{]}$$

C.4.3 Množství odpařené vody

- Výpočet odpařené vody z naměřených veličin:

$$M_w = V \cdot \rho \cdot (x_i - x_p) \text{ [kg/h]} \quad (\text{C.1})$$

- Výpočet odpařené vody využívající fyzikálních závislostí některých empirických vztahů:

$$M_w = \beta_x \cdot \Delta x \cdot S_h \text{ [g/s]} \quad (\text{C.2})$$

$$w \leq 1 \text{ m/s: } \beta_x = (8,33 + 3,89w - 0,072t_u) \text{ [g/(m}^2 \cdot \text{s)]} \quad (\text{C.3})$$

$$w > 1 \text{ m/s: } \beta_x = [6,94 + 5,83w - 0,072t_u - 9,72x_u \cdot (w - 1)] \text{ [g/(m}^2 \cdot \text{s)]} \quad (\text{C.4})$$

$$t_u = \frac{t_i + t_h}{2} \quad (\text{C.5})$$

$$x_u = \frac{x_i + x_h}{2} \quad (\text{C.6})$$

$$\beta_x = (6,945 + 5,278w) \cdot 10^{-3} \text{ [g/(m}^2 \cdot \text{s)]} \quad (\text{C.7})$$

- Výpočetní metoda podle německé normy VDI 2089 (starší vydání):

Pro M1-M3:

$$M_w = \varepsilon \cdot S_h \cdot (p''_{v(t_w)} - p_{v(t_i)}) \text{ [kg/s]} \quad (\text{C.8})$$

Pro M4-M6:

$$M_w = \varepsilon \cdot S_h \cdot (p''_{v(t_w)} - p_{v(t_i)}) + \beta_a \cdot \varepsilon \cdot S_h \cdot (p''_{v(t_w)} - p_{v(t_i)}) \text{ [kg/s]} \quad (\text{C.9})$$

- Výpočetní metoda podle německé normy VDI 2089 (nové vydání):

Pro M1-M3:

$$M_w = \frac{\beta_{(p/n)}}{R_v \cdot T \cdot 3,6} \cdot S_h \cdot (p''_{v(t_w)} - p_{v(t_i)}) \text{ [kg/s]} \quad (\text{C.10})$$

Pro M4-M6:

$$M_w = \frac{\beta_{ab}}{R_v \cdot T \cdot 3,6} \cdot S_h \cdot (p''_{v(t_w)} - p_{v(t_i)}) \cdot M_{DL} \text{ [kg/s]} \quad (\text{C.11})$$

Veličiny popsané v teoretické části A.5.1 VÝPOČTOVÉ METODY.

C.5 VÝSLEDKY

MĚŘENÍ M1

Okrajové podmínky:

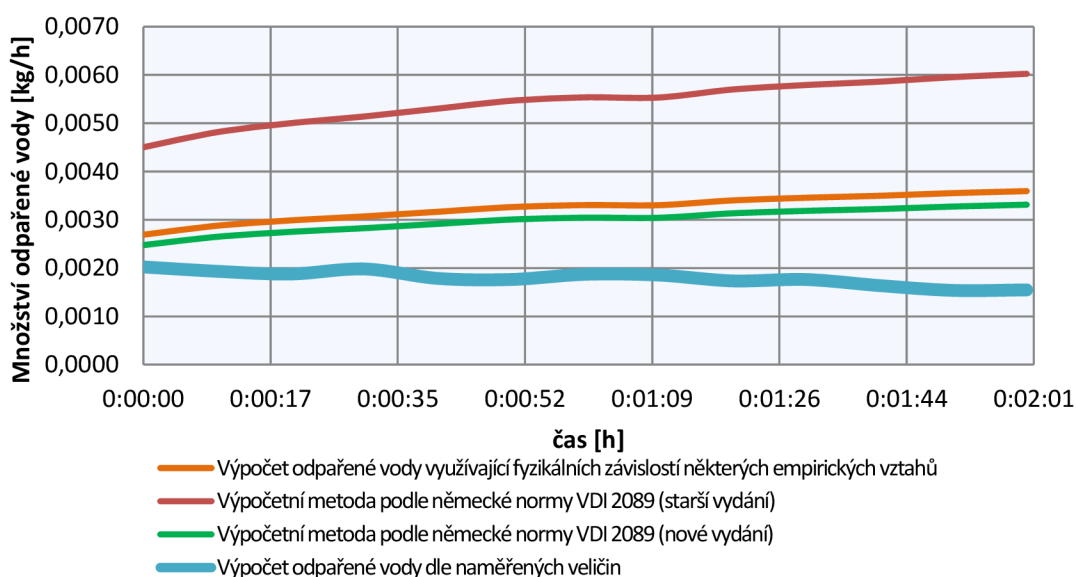
Nastavení ventilátoru:	$PWM = 50$
Rychlost přívodního vzduchu:	$v_p = 0,33 \text{ m/s}$
Rychlost vzduchu nad hladinou vody:	$v_h = 0,02 \text{ m/s}$
Teplota vody:	$t_w = 22 \text{ °C}$
Tlak:	$p = 98\,100 \text{ Pa}$
Průtok vzduchu:	$V_{M1} = 0,37 \text{ m}^3/\text{h}$

Tab.C. 1 - Výpočet množství odpařené vody z naměřených veličin pro měření M1

M1 (zvlíněná hladina; PVM = 50)											
čas	Měrná vlhkost exteriéru	Teplota vzduchu v exteriéru	Tlak syté vodní páry	Parciální tlak vodních par	Měrná vlhkost přiváděného vzduchu	Teplota vnitřního vzduchu	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu	Tlak syté vodní páry	Parciální tlak vodních par	Měrná vlhkost interiéru	Množství odpařené vody
t [h]	te [°C]	φ_e [-]	pd" [Pa]	pd [Pa]	xp [kg/kg]	ti [°C]	φ_i [-]	pd" [Pa]	pd [Pa]	xi [kg/kg]	Mw [kg/h]
0:00:00	23,5	0,439	2897	1272	0,0082	22,5	0,72	2727	1964	0,0127	0,0020
0:00:10	23,5	0,437	2897	1266	0,0081	22,4	0,711	2711	1927	0,0125	0,0019
0:00:20	23,5	0,436	2897	1263	0,0081	22,4	0,703	2711	1906	0,0123	0,0019
0:00:30	23,5	0,418	2897	1211	0,0078	22,4	0,697	2711	1889	0,0122	0,0020
0:00:40	23,6	0,432	2915	1259	0,0081	22,4	0,69	2711	1870	0,0121	0,0018
0:00:50	23,6	0,428	2915	1247	0,0080	22,4	0,683	2711	1851	0,0120	0,0018
0:01:00	23,5	0,415	2897	1202	0,0077	22,4	0,68	2711	1843	0,0119	0,0019
0:01:10	23,5	0,417	2897	1208	0,0078	22,5	0,676	2727	1844	0,0119	0,0019
0:01:20	23,6	0,422	2915	1230	0,0079	22,4	0,673	2711	1824	0,0118	0,0017
0:01:30	23,6	0,415	2915	1210	0,0078	22,4	0,669	2711	1813	0,0117	0,0018
0:01:40	23,6	0,427	2915	1245	0,0080	22,4	0,666	2711	1805	0,0117	0,0016
0:01:50	23,6	0,435	2915	1268	0,0081	22,4	0,662	2711	1794	0,0116	0,0015
0:02:00	23,6	0,431	2915	1256	0,0081	22,4	0,659	2711	1786	0,0115	0,0016

změřeno

MĚŘENÍ - M1



Graf C. 1 – Množství odpařené vody měřením porovnané s některými dalšími výpočtovými metodami pro M1

MĚŘENÍ M2

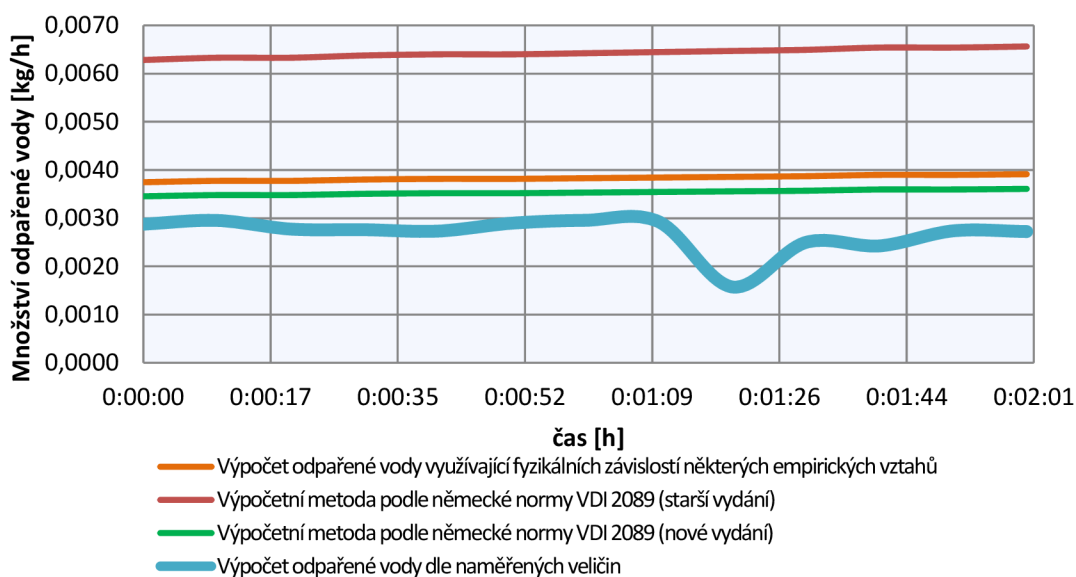
Okrajové podmínky:

Nastavení ventilátoru:	$PWM = 150$
Rychlost přívodního vzduchu:	$v_p = 0,58 \text{ m/s}$
Rychlost vzduchu nad hladinou vody:	$v_h = 0,02 \text{ m/s}$
Teplota vody:	$t_w = 22 \text{ °C}$
Tlak:	$p = 98 \text{ 100 Pa}$
Průtok vzduchu:	$V_{M2} = 0,66 \text{ m}^3/\text{h}$

Tab.C. 2 - Výpočet množství odpařené vody z naměřených veličin pro měření M2

M2 (zvlhěná hladina; PVM = 150)											
čas	Měrná vlhkost exteriéru	Teplota vzduchu v exteriéru	Tlak syté vodní páry	Parciální tlak vodních par	Měrná vlhkost přiváděného vzduchu	Teplota vnitřního vzduchu	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu	Tlak syté vodní páry	Parciální tlak vodních par	Měrná vlhkost interiéru	Množství odpařené vody
t [h]	te [°C]	φ_e [-]	p_d'' [Pa]	p_d [Pa]	x_p [kg/kg]	t_i [°C]	φ_i [-]	p_d'' [Pa]	p_d [Pa]	x_i [kg/kg]	Mw [kg/h]
0:00:00	23,6	0,41	2915	1195	0,0077	22,5	0,644	2727	1756	0,0113	0,0029
0:00:10	23,6	0,403	2915	1175	0,0075	22,5	0,642	2727	1751	0,0113	0,0030
0:00:20	23,6	0,415	2915	1210	0,0078	22,5	0,642	2727	1751	0,0113	0,0028
0:00:30	23,6	0,414	2915	1207	0,0077	22,5	0,64	2727	1745	0,0113	0,0028
0:00:40	23,6	0,415	2915	1210	0,0078	22,5	0,639	2727	1743	0,0112	0,0027
0:00:50	23,6	0,404	2915	1178	0,0076	22,5	0,639	2727	1743	0,0112	0,0029
0:01:00	23,6	0,399	2915	1163	0,0075	22,5	0,638	2727	1740	0,0112	0,0030
0:01:10	23,6	0,4	2915	1166	0,0075	22,5	0,637	2727	1737	0,0112	0,0029
0:01:20	23,6	0,49	2915	1428	0,0092	22,5	0,636	2727	1734	0,0112	0,0016
0:01:30	23,6	0,427	2915	1245	0,0080	22,5	0,635	2727	1732	0,0112	0,0025
0:01:40	23,6	0,43	2915	1253	0,0080	22,5	0,633	2727	1726	0,0111	0,0024
0:01:50	23,6	0,409	2915	1192	0,0077	22,5	0,633	2727	1726	0,0111	0,0027
0:02:00	23,6	0,409	2915	1192	0,0077	22,5	0,632	2727	1724	0,0111	0,0027

MĚŘENÍ - M2



Graf C. 2 - Množství odpařené vody měřením porovnané s některými dalšími výpočtovými metodami pro M2

MĚŘENÍ M3

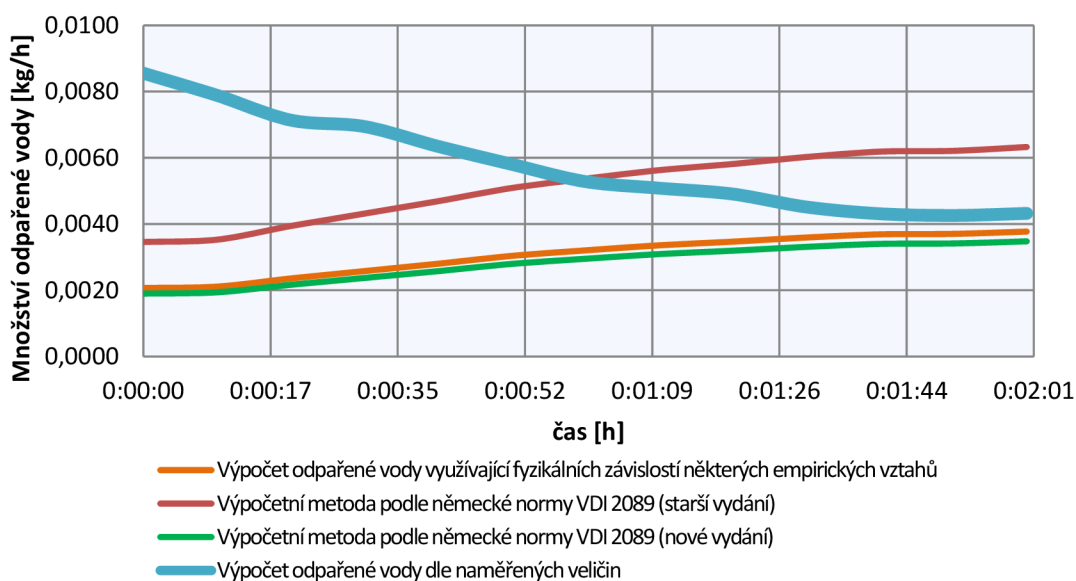
Okrajové podmínky:

Nastavení ventilátoru:	$PWM = 250$
Rychlost přívodního vzduchu:	$v_p = 1,05 \text{ m/s}$
Rychlost vzduchu nad hladinou vody:	$v_h = 0,02 \text{ m/s}$
Teplota vody:	$t_w = 22 \text{ °C}$
Tlak:	$p = 98\,100 \text{ Pa}$
Průtok vzduchu:	$V_{M3} = 1,19 \text{ m}^3/\text{h}$

Tab.C. 3 - Výpočet množství odpařené vody z naměřených veličin pro měření M3

M3 (zvlhčená hladina; PVM = 250)												
čas	Měrná vlhkost exteriéru	Teplota vzduchu v exteriéru	Tlak syté vodní páry	Parciální tlak vodních par	Měrná vlhkost přiváděného vzduchu	Teplota vnitřního vzduchu	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu	Tlak syté vodní páry	Parciální tlak vodních par	Měrná vlhkost interiéru	Množství odpařené vody	
t [h]	te [°C]	φ_e [-]	p_d^s [Pa]	p_d [Pa]	xp [kg/kg]	ti [°C]	φ_i [-]	p_d^s [Pa]	p_d [Pa]	xi [kg/kg]	Mw [kg/h]	
0:00:00	23,6	0,4	2915	1166	0,0075	22,6	0,76	2744	2085	0,0135	0,0086	
0:00:10	23,6	0,422	2915	1230	0,0079	22,6	0,757	2744	2077	0,0135	0,0079	
0:00:20	23,6	0,433	2915	1262	0,0081	22,5	0,744	2727	2029	0,0131	0,0072	
0:00:30	23,6	0,425	2915	1239	0,0080	22,5	0,728	2727	1985	0,0128	0,0070	
0:00:40	23,6	0,432	2915	1259	0,0081	22,5	0,712	2727	1942	0,0126	0,0064	
0:00:50	23,6	0,436	2915	1271	0,0082	22,5	0,695	2727	1895	0,0123	0,0058	
0:01:00	23,6	0,444	2915	1294	0,0083	22,5	0,683	2727	1863	0,0120	0,0053	
0:01:10	23,6	0,441	2915	1285	0,0083	22,5	0,672	2727	1833	0,0118	0,0051	
0:01:20	23,6	0,44	2915	1282	0,0082	22,5	0,664	2727	1811	0,0117	0,0049	
0:01:30	23,6	0,446	2915	1300	0,0084	22,5	0,655	2727	1786	0,0115	0,0045	
0:01:40	23,6	0,447	2915	1303	0,0084	22,5	0,648	2727	1767	0,0114	0,0043	
0:01:50	23,6	0,448	2915	1306	0,0084	22,5	0,647	2727	1764	0,0114	0,0043	
0:02:00	23,6	0,441	2915	1285	0,0083	22,5	0,642	2727	1751	0,0113	0,0043	

MĚŘENÍ - M3



Graf C. 3 - Množství odpařené vody měřením porovnané s některými dalšími výpočtovými metodami pro M3

MĚŘENÍ M4

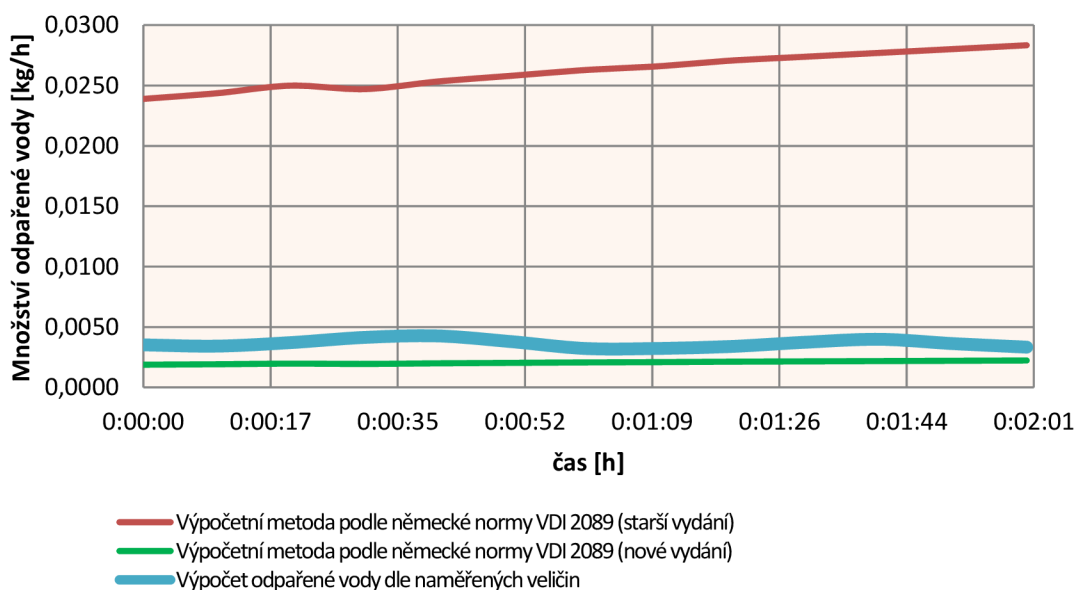
Okrajové podmínky:

Nastavení ventilátoru:	$PWM = 150$
Rychlost přívodního vzduchu:	$v_p = 0,58 \text{ m/s}$
Rychlost vzduchu nad hladinou vody:	$v_h = 0,02 \text{ m/s}$
Teplota vody:	$t_w = 22 \text{ °C}$
Tlak:	$p = 98 \text{ 100 Pa}$
Průtok vzduchu:	$V_{M4} = 0,66 \text{ m}^3/\text{h}$

Tab.C. 4 - Výpočet množství odpařené vody z naměřených veličin pro měření M4

M4 (volná hladina + chříč PVM = 150)											
čas	Měrná vlhkost exteriéru	Teplota vzduchu v exteriéru	Tlak syté vodní páry	Parciální tlak vodních par	Měrná vlhkost přiváděného vzduchu	Teplota vnitřního vzduchu	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu	Tlak syté vodní páry	Parciální tlak vodních par	Měrná vlhkost interiéru	Množství odpařené vody
t [h]	te [°C]	φ_e [-]	p_d'' [Pa]	p_d [Pa]	x_p [kg/kg]	ti [°C]	φ_i [-]	p_d'' [Pa]	p_d [Pa]	x_i [kg/kg]	Mw [kg/h]
0:00:00	23,6	0,484	2915	1411	0,0091	21,8	0,8	2613	2091	0,0135	0,0035
0:00:10	23,6	0,488	2915	1422	0,0092	21,8	0,797	2613	2083	0,0135	0,0034
0:00:20	23,6	0,465	2915	1355	0,0087	21,8	0,793	2613	2072	0,0134	0,0037
0:00:30	23,6	0,438	2915	1277	0,0082	21,9	0,79	2629	2077	0,0135	0,0041
0:00:40	23,6	0,426	2915	1242	0,0080	21,9	0,786	2629	2067	0,0134	0,0043
0:00:50	23,6	0,455	2915	1326	0,0085	21,9	0,783	2629	2059	0,0133	0,0038
0:01:00	23,6	0,49	2915	1428	0,0092	21,9	0,78	2629	2051	0,0133	0,0032
0:01:10	23,6	0,488	2915	1422	0,0092	21,9	0,778	2629	2046	0,0132	0,0032
0:01:20	23,6	0,474	2915	1382	0,0089	21,9	0,775	2629	2038	0,0132	0,0034
0:01:30	23,6	0,449	2915	1309	0,0084	21,9	0,773	2629	2033	0,0132	0,0037
0:01:40	23,6	0,431	2915	1256	0,0081	21,9	0,771	2629	2027	0,0131	0,0040
0:01:50	23,6	0,453	2915	1320	0,0085	21,9	0,769	2629	2022	0,0131	0,0036
0:02:00	23,7	0,468	2932	1372	0,0088	21,9	0,767	2629	2017	0,0131	0,0033

MĚŘENÍ - M4



Graf C. 4 - Množství odpařené vody měřením porovnané s některými dalšími výpočtovými metodami pro M4

MĚŘENÍ M5

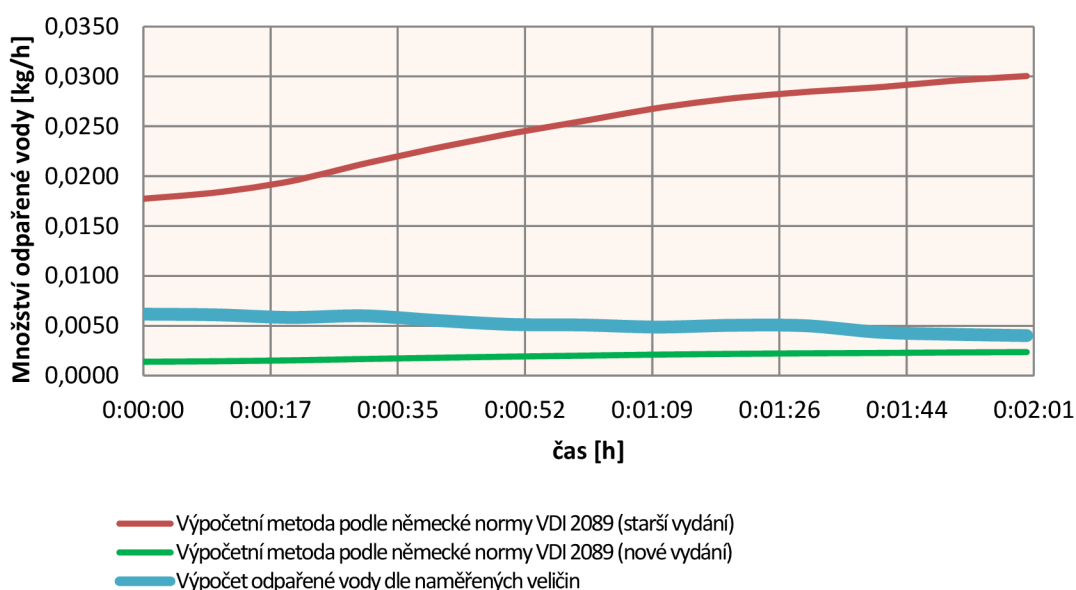
Okrajové podmínky:

Nastavení ventilátoru:	$PWM = 250$
Rychlost přívodního vzduchu:	$v_p = 1,05 \text{ m/s}$
Rychlost vzduchu nad hladinou vody:	$v_h = 0,02 \text{ m/s}$
Teplota vody:	$t_w = 22 \text{ °C}$
Tlak:	$p = 98 \text{ 100 Pa}$
Průtok vzduchu:	$V_{M5} = 1,19 \text{ m}^3/\text{h}$

Tab.C. 5 - Výpočet množství odpařené vody z naměřených veličin pro měření M5

M5 (volná hladina + chrlič; PVM = 250)											
čas	Měrná vlhkost exteriéru	Teplota vzduchu v exteriéru	Tlak syté vodní páry	Parciální tlak vodních par	Měrná vlhkost přiváděného vzduchu	Teplota vnitřního vzduchu	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu	Tlak syté vodní páry	Parciální tlak vodních par	Měrná vlhkost interiéru	Množství odpařené vody
t [h]	te [°C]	$\varphi_e [-]$	$p_{d''} [\text{Pa}]$	$p_d [\text{Pa}]$	$x_p [\text{kg/kg}]$	ti [°C]	$\varphi_i [-]$	$p_{d''} [\text{Pa}]$	$p_d [\text{Pa}]$	$x_i [\text{kg/kg}]$	Mw [kg/h]
0:00:00	23,7	0,524	2932	1537	0,0099	22,1	0,824	2662	2193	0,0142	0,0062
0:00:10	23,7	0,523	2932	1534	0,0099	22,1	0,82	2662	2183	0,0142	0,0061
0:00:20	23,7	0,526	2932	1542	0,0099	22,1	0,813	2662	2164	0,0140	0,0058
0:00:30	23,7	0,51	2932	1495	0,0096	22,1	0,802	2662	2135	0,0138	0,0060
0:00:40	23,7	0,518	2932	1519	0,0098	22,1	0,792	2662	2108	0,0137	0,0055
0:00:50	23,7	0,524	2932	1537	0,0099	22,1	0,783	2662	2084	0,0135	0,0051
0:01:00	23,7	0,519	2932	1522	0,0098	22,1	0,775	2662	2063	0,0134	0,0051
0:01:10	23,7	0,519	2932	1522	0,0098	22,1	0,767	2662	2042	0,0132	0,0049
0:01:20	23,7	0,507	2932	1487	0,0096	22,1	0,761	2662	2026	0,0131	0,0050
0:01:30	23,7	0,505	2932	1481	0,0095	22,1	0,757	2662	2015	0,0130	0,0050
0:01:40	23,7	0,526	2932	1542	0,0099	22,1	0,754	2662	2007	0,0130	0,0044
0:01:50	23,7	0,53	2932	1554	0,0100	22,1	0,75	2662	1996	0,0129	0,0041
0:02:00	23,7	0,532	2932	1560	0,0101	22,1	0,747	2662	1988	0,0129	0,0040

MĚŘENÍ - M5



Graf C. 5 - Množství odpařené vody měřením porovnané s některými dalšími výpočtovými metodami pro M5

C.6 ZÁVĚR

Experimentální měření (M1-M5) jsou graficky porovnávána s dalšími třemi metodami:

První metodou pro porovnání výsledků odparu z měření je *Výpočet odpařené vody využívající fyzikálních závislostí některých empirických vztahů*, kde je odpar počítán dle vzorců C.2 – C.7. K měřením M4-M5 tato metoda není uvažována na porovnání z důvodu nemožnosti zohlednění atrakce (chrliče) do výpočtu.

Druhou metodou je *Výpočetní metoda podle německé normy VDI 2089 (staré vydání)* viz. vzorce C.8 pro zvlněnou hladinu a C.9 pro volnou s chrličem. Charakter provozu je zvolen jako *veřejný bazén* dle Tab.A.6. ($\varepsilon = 0,000078 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$).

Součinitel přenosu hmoty pro vodní atrakce βa je volen pro atrakci *týlová sprcha* hodnotou 6 (viz. Tab.A.10 - Součinitel přenosu hmoty pro vodní atrakce).

Třetí je *Výpočetní metoda podle německé normy VDI 2089 (nové vydání)*, pro kterou jsou voleny vzorce C.10 a C.11 se zohledněním atrakce. Součinitel přenosu hmoty pro vodní atrakce βa je volen rovněž pro atrakci *týlová sprcha*. Objemové proudění vzduchu pro provzdušňované atrakce nebylo použito, tak není ve vzorci zohledňováno, současnost atrakce díky malé ploše modelu je uvažována jako 1.

- Z uvedených grafů můžeme vidět, že se dle předpokladu, množství odpařené vody s rostoucím průtokem zvyšuje.
- Hladina s atrakcí vykazuje vyšší odpar než zvlněná.
- Naměřenému odparu se nejvíce blíží výsledky spočítané výpočetní metodou VDI 2089 (nové vydání) – max. odchylka v měřeném intervalu je 0,0067 g/h (M3), pak výsledky využívající závislostí některých empirických vztahů – max. 0,0065 g/h (M3) a největší odchylky jsou s výsledky spočítanými metodou VDI 2089 (starší vydání) – max. odchylka 0,0204 g/h (M5).

Tab.C. 6 – Odchylky odparu od naměřených hodnot

Metoda	Max. odchylka od naměřeného odparu [g/h]					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
fyz. závislost emp. vztahů	0,000669	0,000822	0,006486	-	-	-
VDI 2089 staré vydání	0,002481	0,003376	0,005096	-	-	-
VDI 2089 nové vydání	0,000453	0,000527	0,006654	-	-	-
VDI 2089 staré vydání	-	-	-	0,018293	0,020368	0,011567
VDI 2089 nové vydání	-	-	-	0,004326	0,003692	0,005768

ZÁVĚR

V diplomové práci jsou v teoretické části popsány základní požadavky návrhu větrání bazénových hal, problematika vyskytujících se škodlivin, VZT jednotky, vlhký vzduch a odpar.

V hlavní, a to výpočtové části, je řešen výpočet průběhu koncentrace měrné vlhkosti uvnitř bazénové haly. Posuzovány byly různé průběhy spolu s výkony a cenami jednotlivých zařízení (chladič, ohřívač a ventilátor). Mezi volitelné proměnné patří: násobnost výměny větrání, pozice chladiče ve VZT jednotce, chladicí výkon, změna dolní hranice spuštění chladiče či cirkulační režim.

S ohledem na ekonomický provoz zařízení a přijatelné prostředí uvnitř haly byly vybrány vhodné varianty pro 3/h výměnu vzduchu a varianty pozice chladiče ve VZT jednotce. Pro variantu V1 byly vyhodnoceny přijatelné všechny typy režimů s chladicím výkonem 30 kW. Pro variantu V2 se ukázaly vhodné pouze výsledky s chladicím výkonem 40 kW a cirkulačním režimem C5 (pěti polohová automatická regulace).

Experimentální část se věnuje měření odparu z vodní hladiny za dvou různých provozních stavů (zvlněná hladina a volná hladina s chrličem) s různými průtoky přiváděného vzduchu. Množství odpařené vody je vyšší při variantě volné hladiny s chrličem a narůstá spolu s vyšším průtokem vzduchu. Výsledky odparu jsou následně porovnány s některými výpočtovými metodami. S naměřenými hodnotami se nejvíce shodují výsledky z výpočtetní metody podle německé normy VDI 2089 (nové vydání). Naopak největší odchylky jsou s výsledky s VDI 2089 (staré vydání).

POUŽITÉ ZDROJE

Knihy, články v odborných časopisech a akademické práce

1. CHYSKÝ, Jaroslav. Výpočet teplot vzduchu v místnostech bez klimatizace v letních podmínkách. Vytápění, větrání, instalace. 1995, 95(1), 64. ISSN 1210-1389
2. CHYTSKÝ, Jaroslav, Karel HEMZAL a kol. *Technický průvodce větrání a klimatizace*. 3. vydání. Praha: ČESKÁ MATICE TECHNICKÁ, 1993. ISBN 80-901574-0-8.
3. *VZDUCHOTECHNIKA WELLNESS SPORTOVNÍHO CENTRA*. Brno, 2020. Bakalářská práce. VUT FAST.
4. BLASINSKI, Petr. *OPTIMALIZACE DISTRIBUCE VZDUCHU BAZÉNOVÝCH HAL*. Brno, 2014. Disertační práce. VUT FAST.

Zákony, vyhlášky, normy směrnice

5. Vyhláška č. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch. In: 238/2011 Sb. 2011
6. VDI 2089. *Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung*. Berlin: Issue German, 2010.

Elektronické zdroje

7. BESSONNEAU, Vincent, Mickaël DERBEZ, Michel CLÉMENT a Olivier THOMAS. Determinants of chlorination by-products in indoor swimming pools. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* [online]. Elsevier, 2011, 215(1), 10 [cit. 2021-12-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438463911001015#bib01302><https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819325824>
8. RATAJCZAK, Katarzyna a Edward SZCZECHOWIAK. Energy consumption decreasing strategy for indoor swimming pools – Decentralized Ventilation system with a heat pump. *Energy and Buildings* [online]. 2020, 206(1), 17 [cit. 2021-12-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819325824>

9. SHAH, M.Mohammed. Prediction of evaporation from occupied indoor swimming pools. *Energy and Buildings* [online]. Elsevier Science, 2003, **35**(7), 7 [cit. 2021-12-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778802002116>
10. BLASINSKI, Petr a Aleš RUBINA. Distribuce vzduchu v bazénových halách – část 1. *TZB info* [online]. Brno: TZB info, 2014 [cit. 2021-12-15]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/11319-distribuce-vzduchu-v-bazenovych-halach-cast-1>
11. Ceny elektrické energie 2022. *TZB info* [online]. Praha: TZB info, 2021 [cit. 2021-12-15]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/14-prehled-cen-elektricke-energie>

Obrazové zdroje

12. LINDAB. Štěrbínový difuzor LTDP: Podklad výrobce [online]. 2020 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://itsolution.lindab.com/lindabwebproduct-sdoc/pdf/documentation/comfort/lindab/technical/ltdp.pdf>
13. MANDIK. Anemostat lamelový ALCM: Podklad výrobce [online]. 2019 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: http://www.mandik.cz/getattachment/a9f8ceaa-e958-4438-9f80-64c2fae0c578/003_97_cz_ALCM.aspx

Software

14. TERUNA, Technika budov, s.r.o.
15. ARCHICAD ver. 22.0, Graphisoft
16. AeroCAD, Remak a.s.

1 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

Zkratky

THM – trihalometany

NUC – nucené větrání

ODV – odvlhčování

V1 – chladič na přívodu

V2 – chladič na odvodu

C1 – režim se 100% čerstvým vzduchem

C2 – režim s 0% čerstvým vzduchem

C3 – režim s 60% čerstvým vzduchem

C4 – automatická regulace dvoupolohová

C4 – automatická regulace pětipolohová

BP – bakalářská práce

PWM – Pulse Width Modulation (pulzně šířková modulace)

Fyzikální veličiny

n – násobnost výměny vzduchu [h⁻¹]

t – čas [s], teplota [°C]

V – objemový průtok [m³/h]

P – hustota [kg/m³]

φ – relativní vlhkost [%]

h – entalpie [kg/k]

v – rychlost [m/s]

U – součinitel prostupu tepla [W/m²K]

c – měrná tepelná kapacita [J/kg K]

β – součinitel přenosu vlhkosti [kg/m² s]

x – měrná vlhkost [kg/kg_{s.v.}]

R – měrná plynová konstanta [J/kg K]

\dot{M} – množství odpařené vody [kg/h]

Rbz – rosný bod [°C]

Indexy

l, i – interiér

E, e – exteriér

v – výtlač

s – sání

p – přívod

o – odvod

2 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázky

Obr.A. 1 - Schéma procesu tvorby trichloraminu	15
Obr.A. 2 - V literatuře navržené VZT jednotky bazénu s tepelným čerpadlem	18
Obr.A. 3 - Schéma navrhovaného systému decentralizovaného větrání	19
Obr.A. 4 – Teplota rosného bodu v h-x diagramu	23
Obr.A. 5 – Teplota mokrého teploměru v h-x diagramu	24
Obr.A. 6 – Znázornění principu odpařování vody	24
Obr.A. 7 - Tok vypařované vody podle L. Oppla ⁹	29
Obr.A. 8 - Vliv současnosti vodních atrakcí na součinitel přenosu hmoty ⁴	30
Obr.B. 1 – Řešený funkční celek bazénové haly.....	32
Obr.B. 4 – Řešená bazénová hala s navrženými distribučními elementy ³	41
Obr.B. 2 – Navržený štěrbinový difuzor LTDP ¹²	41
Obr.B. 3 – Navržený lamelový anemostat ¹³	41
Obr.B. 5 – Axonometrický pohled na VZT jednotku z programu AeroCad	41
Obr.B. 6 – Toky v bazénové hale.....	44
Obr.B. 7 – Výpočet odparu z bazénu	50
Obr.B. 8 – Výpočet odparu z vířivky.....	50
Obr.B. 9 – Popis grafu průběhu koncentrace v interiéru.....	51
Obr.B. 10 – VZT jednotka v provedení V1.....	54
Obr.B. 11 – h-x diagram znázorňující úpravy vzduchu ve V1.....	54
Obr.B. 12 – VZT jednotka v provedení V2.....	54
Obr.B. 13 – h-x diagram znázorňující úpravy vzduchu ve V2.....	54
Obr.B. 14 – VZT jednotka v režimu C1	55
Obr.B. 15 – VZT jednotka při režimu C2.....	55
Obr.B. 16 – VZT jednotka při režimu C3.....	56
Obr.B. 17 – VZT jednotka při režimu C4.....	56
Obr.B. 18 – VZT jednotka při režimu C5.....	56
Obr.B. 19 - Doporučená řešení V1 (V1-30 kW-6,67/17,50 g/kg-C1/C5)	70
Obr.B. 20 - Doporučená řešení V2	71
Obr.C. 1 – Experimentální měření	74
Obr.C. 2 – Popis modelu	75
Obr.C. 3 – Geometrie modelu bazénu	75
Obr.C. 4 – Zvlněná hladina M1 – M3	76
Obr.C. 5 – Volná hladina + chrlič M4 - M5	76

Tabulky

Tab.A. 1 - Mikroklimatické požadavky, osvětlení a vnitřní ovzduší bazénové haly krytého bazénu a jeho přilehlých prostor – vyhláška č. 238/2011 Sb. ⁵	14
Tab.A. 2 - Popis studií vztahující se k trihalomenthanů ⁷	16
Tab.A. 3 – Složení suchého vzduchu	21
Tab.A. 4 – Základní termodynamické hodnoty suchého vzduchu	21
Tab.A. 5 – hodnoty konstant a exponentů pro intervaly hodnot Re	26
Tab.A. 6 - Součinitel přenosu hmoty pro bazény dle VDI 2089 (starší vydání).....	27
Tab.A. 7 - Součinitel přenosu hmoty pro bazény dle VDI 2089 (nové vydání).....	28
Tab.A. 8 - Směrné hodnoty součinitele přenosu vlhkosti z vodní hladiny halových bazénů	28
Tab.A. 9 - Součinitel přenosu hmoty pro vodní atrakce ⁶	30
Součinitel přenosu hmoty pro vodní atrakce β_a je volen pro atrakci <i>týlová sprcha</i> hodnotou 6 (viz. Tab.A.9 - Součinitel přenosu hmoty pro vodní atrakce)...	83
Tab.B. 1 – Klimatické podmínky Znojmo	33
Tab.B. 2 – Požadavky na vnitřní prostředí	33
Tab.B. 3 – Součinitele prostupu tepla pro konstrukce bazénové haly	33
Tab.B. 4 – Výpočet tepelné bilance po hodinových časových úsecích	35
Tab.B. 5 - Výpočet průběhu teplot během dne v interiéru Chyského metodou	39
Tab.B. 6 – Automatická regulace C4	56
Tab.B. 7 – Automatická regulace C5	56
Tab.B. 8 – Volba optimální hodnoty součinitele ‘K’	57
Tab.B. 9 – Výsledky pro 3/h	58
Tab.B. 10 – Výsledky za den pro různé průtoky vzduchu (C5-V1-12,08 g/kg-30 kW).....	65
Tab.B. 11 – Výsledky za den pro varianty umístění chladiče (C5-V1-6,67 g/kg-30 kW a C5-V1-6,67 g/kg-40 kW)	65
Tab.B. 12 – Výsledky za den pro různé chladicí výkony (C5-V1-3/h-6,67 g/kg).....	66
Tab.B. 13 – Výsledky za den pro různé dolní limity ξ_i (C5-V1-30 kW-3/h)	67
Tab.B. 14 – Výsledky za den pro různé cirkulační režimy (V1-3/h-12,08 g/kg-30 kW).....	67
Tab.B. 15 -Přehled výkonů pro V1	68
Tab.B. 16 -Přehled provozních nákladů pro V1	68
Tab.B. 17 – Přehled výkonů pro V2.....	69
Tab.B. 18 – Přehled provozních nákladů V2	69

Tab.C. 1 - Výpočet množství odpařené vody z naměřených veličin pro měření M1	78
Tab.C. 2 - Výpočet množství odpařené vody z naměřených veličin pro měření M2	79
Tab.C. 3 - Výpočet množství odpařené vody z naměřených veličin pro měření M3	80
Tab.C. 4 - Výpočet množství odpařené vody z naměřených veličin pro měření M4	81
Tab.C. 5 - Výpočet množství odpařené vody z naměřených veličin pro měření M5	82
Tab.C. 6 – Odchylky odparu od naměřených hodnot	83

Grafy

Graf B. 1 - Graf průběhu tepelného toku sluneční radiace všemi okny během dne ručním výpočtem	37
Graf B. 2 - Graf průběhu tepelného toku sluneční radiace všemi okny během dne softwarem Teruna.....	37
Graf B. 3 - Graf průběhu tepelné zátěže během dne ručním výpočtem	37
Graf B. 4 - Graf průběhu tepelné zátěže během dne softwarem Teruna.....	38
Graf B. 5 - Graf průběhu teploty vzduchu v interiéru během dne ručním výpočtem (metodou Chyského)	39
Graf B. 6 - Graf průběhu teploty vzduchu v interiéru během dne softwarem Teruna	40
Graf B. 7 – Průběh vlhkosti během dne pro 2/h	52
Graf B. 8 - Průběh vlhkosti během dne pro 3/h.....	52
Graf B. 9 - Průběh vlhkosti během dne pro 5/h.....	52
Graf B. 10 - Průběh vlhkosti během dne pro 10/h.....	52
Graf B. 11 – Průběh vlhkosti během dne pro 2/h	59
Graf B. 12 – Průběh vlhkosti během dne pro 3/h	59
Graf B. 13 – Průběh vlhkosti během dne pro 5/h	59
Graf B. 14 – Průběh vlhkosti během dne pro 10/h	59
Graf B. 15 - Průběh vlhkosti během dne pro pozici chladiče V1.....	60
Graf B. 16 - Průběh vlhkosti během dne pro pozici chladiče V2.....	60
Graf B. 17 - Průběh vlhkosti během dne pro pozici chladiče V1.....	60
Graf B. 18 - Průběh vlhkosti během dne pro pozici chladiče V2.....	60
Graf B. 19 - Průběh vlhkosti během dne pro hodnotu chladicího výkonu 20 kW	61
Graf B. 20 - Průběh vlhkosti během dne pro hodnotu chladicího výkonu 30 kW	61
Graf B. 21 - Průběh vlhkosti během dne pro hodnotu chladicího výkonu 40 kW	61
Graf B. 22 - Průběh vlhkosti během dne pro hodnotu dolního limitu 6,67 g/kg	62
Graf B. 23 - Průběh vlhkosti během dne pro hodnotu dolního limitu 12,08 g/kg	62
Graf B. 24 - Průběh vlhkosti během dne pro hodnotu dolního limitu 17,50 g/kg	62
Graf B. 25 - Průběh vlhkosti během dne pro cirkulační režim C1	63
Graf B. 26 - Průběh vlhkosti během dne pro cirkulační režim C2	63

Graf B. 27 - Průběh vlhkosti během dne pro cirkulační režim C3	63
Graf B. 28 - Průběh vlhkosti během dne pro cirkulační režim C4	64
Graf B. 29 - Průběh vlhkosti během dne pro cirkulační režim C5	64
Graf B. 30 - Provozní náklady pro vybranou optimální variantu V1	71
Graf B. 31 - Provozní náklady pro vybranou optimální variantu V2	72
Graf C. 1 – Množství odpařené vody měřením porovnané s některými dalšími výpočtovými metodami pro M1.....	78
Graf C. 2 - Množství odpařené vody měřením porovnané s některými dalšími výpočtovými metodami pro M2.....	79
Graf C. 3 - Množství odpařené vody měřením porovnané s některými dalšími výpočtovými metodami pro M3.....	80
Graf C. 4 - Množství odpařené vody měřením porovnané s některými dalšími výpočtovými metodami pro M4.....	81
Graf C. 5 - Množství odpařené vody měřením porovnané s některými dalšími výpočtovými metodami pro M5.....	82

PŘÍLOHY

OBSAH

1 VÝSLEDKY SLEDOVANÝCH PARAMETRŮ RŮZNÝCH VÝMĚN VZDUCHU

- 1.1 2/h VÝMĚNA
- 1.2 3/h VÝMĚNA
- 1.3 5/h VÝMĚNA
- 1.4 10/h VÝMĚNA

2 UKÁZKA CELISTVÉHO VÝPOČTU PRŮBĚHU KONCENTRACE VLHKOSTI V HALE

3 OBRAZOVÉ ZNÁZORNĚNÍ ŘEŠENÍ DANÉ PROBLEMATIKY

- 3.1 SCHÉMA POUŽITÝCH VELIČIN PRO V1 – CHLADIČ NA PŘÍVODU
- 3.2 SCHÉMA POUŽITÝCH VELIČIN PRO V2 – CHLADIČ NA ODVODU
- 3.3 SCHÉMA ZKOUMANÝCH REŽIMŮ
- 3.4 UKÁZKOVÝ GRAF PRŮBĚHU VLHKOSTI V HALE

4 VÝKRESY (z BP)

- 4.1 PŮDORYS 2.PP
- 4.2 PŮDORYS 1.PP
- 4.3 PŮDORYS 1.NP
- 4.4 ŘEZ A-A

1.2 3/h VÝMĚNA

6,97 g/kg

12,08 g/kg

17,50 g/kg

$> Q_{CH}$

3/h					
dolní limit = 6,67 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V1					
C1	C2	C3	C4	C5	C5
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

3/h					
dolní limit = 6,67 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V1					
C1	C2	C3	C4	C5	C5
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

3/h					
dolní limit = 6,67 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V1					
C1	C2	C3	C4	C5	C5
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

$\leftarrow V1 \rightarrow V2$

3/h					
dolní limit = 6,67 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V2					
C1	C2	C3	C4	C5	C5
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

$> Q_{CH}$

3/h					
dolní limit = 6,67 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V2					
C1	C2	C3	C4	C5	C5
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

3/h					
dolní limit = 6,67 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V2					
C1	C2	C3	C4	C5	C5
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Výběr ročního období
Deklinace [°]
Max. chladicí výkon [kW]
Otokový součinitel

Výsledky za den:

Cirkulační režim

Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi [%]

Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]

Průměrná hodnota xi za den [g/kg]

Celkem hodin provozu odvhlčení [h]

Celkem energie na provoz **ventilátorů** [kWh]

Celkem energie na provoz **dohříváče** [kWh]

Cena za odvhlčení [Kč]

Cena za provoz **ventilátorů** [Kč]

Cena za provoz **dohříváče** [Kč]

Provoz celkem [Kč/den]

Maximální využitelný chladicí výkon

v1 - chladící na přívodu

v2 - chladící na odvodu

100% čer100% cirk 60% čer. auto2 auto5	18	52	21	22	24
Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi [%]	4,32	12,54	4,98	5,31	5,65
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]	10,31	13,31	10,77	10,50	10,79
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]	13	15,5	14	12,6	13,3
Celkem hodin provozu odvhlčení [h]	14	15,7	15	14,3	14,3
Celkem energie na odvhlčení [kWh]	252	310	270	252	267
Celkem energie na provoz ventilátorů [kWh]	21	23	21	21	21
Celkem energie na provoz dohříváče [kWh]	42	11	38	40	38
Cena za odvhlčení [Kč]	342	421	367	342	362,1
Cena za provoz ventilátorů [Kč]	112	122	113	112	112
Cena za provoz dohříváče [Kč]	70	18	64	66	64
Provoz celkem [Kč/den]	524	561	543	520	538
Maximální využitelný chladicí výkon	61,76	62,98	61,28	60,60	60,56
v1 - chladící na přívodu	61,93	64,37	61,93	61,88	62,02

100% čer100% cirk 60% čer. auto2 auto5	10	0	0	0	0
Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi [%]	2,49	0,00	1,41	0,00	0,00
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]	9,75	0,00	9,70	9,35	9,20
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]	13	14,5	14	12,5	13,3
Celkem hodin provozu odvhlčení [h]	14,3	14,7	14,4	14,3	14,3
Celkem energie na odvhlčení [kWh]	372	435	399	372	398
Celkem energie na provoz ventilátorů [kWh]	20	21	21	20	21
Celkem energie na provoz dohříváče [kWh]	112	131	121	126	137
Cena za odvhlčení [Kč]	505	591	542	505	541
Cena za provoz ventilátorů [Kč]	111	115	113	111	112
Cena za provoz dohříváče [Kč]	187	219	202	210	229
Provoz celkem [Kč/den]	804	924	857	826	828
Maximální využitelný chladicí výkon	61,76	45,18	58,36	51,30	48,49
v1 - chladící na přívodu	57,13	46,05	54,82	50,61	50,98

100% čer100% cirk 60% čer. auto2 auto5	0	0	0	0	0
Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]	9,16	8,36	8,83	8,53	8,30
Celkem hodin provozu odvhlčení [h]	13	14,3	13	12,5	13,3
Celkem energie na odvhlčení [kWh]	471	558	514	471	507
Celkem energie na provoz ventilátorů [kWh]	20	21	21	20	21
Celkem energie na provoz dohříváče [kWh]	170	253	199	203	227
Cena za odvhlčení [Kč]	640	758	698	640	689
Cena za provoz ventilátorů [Kč]	111	113	112	111	112
Cena za provoz dohříváče [Kč]	284	423	333	338	378
Provoz celkem [Kč/den]	1035	1293	1143	1090	1179
Maximální využitelný chladicí výkon	61,76	40,27	55,71	48,58	45,08
v1 - chladící na přívodu	52,32	41,00	50,65	50,61	50,98

100% čer100% cirk 60% čer. auto2 auto5	30	100	42	32	42
Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi [%]	7,31	24,00	10,13	7,64	10,13
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]	11,62	#####	13,13	15,09	19,30
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]	13	24,1	14	12,6	13,6
Celkem hodin provozu odvhlčení [h]	14,3	24,1	14,8	14,3	14,5
Celkem energie na odvhlčení [kWh]	252	482	278	252	272
Celkem energie na provoz ventilátorů [kWh]	21	35	21	21	21
Celkem energie na provoz dohříváče [kWh]	42	0	34	37	33
Cena za odvhlčení [Kč]	342	654	378	342	369
Cena za provoz ventilátorů [Kč]	112	188	116	112	113
Cena za provoz dohříváče [Kč]	70	0	57	62	56
Provoz celkem [Kč/den]	524	842	551	516	538
Maximální využitelný chladicí výkon	61,76	59455,01	67,77	106,85	169,53
v1 - chladící na přívodu	71,56	#####	77,80	122,13	188,78

100% čer100% cirk 60% čer. auto2 auto5	30	100	35	31	36
Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi [%]	7,31	24,00	8,47	7,47	8,64
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]	11,62	#####	12,29	12,35	13,11
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]	13	24,1	14	12,6	13,5
Celkem hodin provozu odvhlčení [h]	14,3	24,1	14,7	14,3	14,4
Celkem energie na odvhlčení [kWh]	378	0	413	378	405
Celkem energie na provoz ventilátorů [kWh]	21	35	21	21	21
Celkem energie na provoz dohříváče [kWh]	114	0	106	99	94
Cena za odvhlčení [Kč]	342	654	378	342	369
Cena za provoz ventilátorů [Kč]	112	188	115	112	113
Cena za provoz dohříváče [Kč]	190	0	177	166	158
Provoz celkem [Kč/den]	814	188	852	790	820
Maximální využitelný chladicí výkon	61,76	59455,01	65,84	74,25	82,83
v1 - chladící na přívodu	71,56	#####	73,05	79,45	87,72

100% čer100% cirk 60% čer. auto2 auto5	30	100	29	30	0
Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi [%]	7,31	24,00	6,98	7,31	0,00
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]	11,62	#####	11,55	10,74	10,43
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]	13	24,1	14	12,6	13,5
Celkem hodin provozu odvhlčení [h]	14,3	24,1	14,6	14,3	14,4
Celkem energie na odvhlčení [kWh]	501	0	543	501	537
Celkem energie na provoz ventilátorů [kWh]	21	35	21	21	21
Celkem energie na provoz dohříváče [kWh]	171	0	178	172	189
Cena za odvhlčení [Kč]	680	0	738	680	729
Cena za provoz ventilátorů [Kč]	112	188	114	112	113
Cena za provoz dohříváče [Kč]	286	0	298	287	316
Provoz celkem [Kč/den]	1078	188	1150	1079	1157
Maximální využitelný chladicí výkon	61,76	59455,01	64,08	58,43	53,51
v1 - chladící na přívodu	71,56	#####	68,70	59,02	53,85

94

3/h					
dolní limit = 12,08 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V1					
C1	C2	C3	C4	C5	C5
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

3/h					
dolní limit = 12,08 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V1					
C1	C2	C3	C4	C5	C5
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

3/h					
dolní limit = 12,08 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V1					
C1	C2	C3	C4	C5	C5
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

3/h					
dolní limit = 12,08 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V2					
C1	C2	C3	C4	C5	C5
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

3/h					
dolní limit = 12,08 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V2					
C1	C2	C3	C4	C5	C5
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

3/h					
dolní limit = 12,08 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V2					
C1	C2	C3	C4	C5	C5
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Výběr ročního období
Deklinace [°]
Max. chladicí výkon [kW]
Otokový součinitel

Výsledky za den:

Cirkulační režim

Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi [%]

Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]

Průměrná hodnota xi za den [g/kg]

$> Q_{CH}$ ← V1 → V2 → $> Q_{CH}$

Výběr ročního období		Deklinace [°]		Max. chladičový výkon [kW]		Obtakový součinitel	
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Výsledky za den:							
Cirkulační režim							
Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi [%]							
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]							
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]							
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]							
Celkem energie na provoz ventilátorů [kWh]							
Celkem energie na provoz dohříváče [kWh]							
Cena za provoz ventilátorů [Kč]							
Cena za provoz dohříváče [Kč]							
Provoz celkem [Kč/den]							
Maximální využitelný chladičový výkon							
v1 - chladič na přívodu							
v2 - chladič na odvodu							

6,67 g/kg

1.3 5/h VÝMĚNA

Výběr ročního období		Deklinace [°]		Max. chladičový výkon [kW]		Obtakový součinitel	
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Výsledky za den:							
Cirkulační režim							
Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi [%]							
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]							
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]							
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]							
Celkem energie na provoz ventilátorů [kWh]							
Celkem energie na provoz dohříváče [kWh]							
Cena za provoz ventilátorů [Kč]							
Cena za provoz dohříváče [Kč]							
Provoz celkem [Kč/den]							
Maximální využitelný chladičový výkon							
v1 - chladič na přívodu							
v2 - chladič na odvodu							

12,08 g/kg

Výběr ročního období		Deklinace [°]		Max. chladičový výkon [kW]		Obtakový součinitel	
Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto	Léto
20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Výsledky za den:							
Cirkulační režim							
Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi [%]							
Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]							
Průměrná hodnota xi za den [g/kg]							
Celkem hodin provozu odvlhčení [h]							
Celkem energie na provoz ventilátorů [kWh]							
Celkem energie na provoz dohříváče [kWh]							
Cena za provoz ventilátorů [Kč]							
Cena za provoz dohříváče [Kč]							
Provoz celkem [Kč/den]							
Maximální využitelný chladičový výkon							
v1 - chladič na přívodu							
v2 - chladič na odvodu							

17,50 g/kg

1.4 10/h VÝMĚNA

g/h/°C

Table with 8 columns for different scenarios. Each column contains a table with '10/h' header, 'dolní limit = 6,67 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V1', and various data rows for 'Léto', 'Zima', 'Max. chladič výkon [kW]', 'Obtokový součinitel', 'Výsledky za den', 'Cirkulační režim', 'Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi [%]', 'Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]', 'Průměrná hodnota xi za den [g/kg]', 'Celkem hodin provozu odvhlčení [h]', 'Celkem energie na provoz ventilátorů [kWh]', 'Celkem energie na provoz dohříváče [kWh]', 'Cena za odvhlčení [Kč]', 'Cena za provoz ventilátorů [Kč]', 'Cena za provoz dohříváče [Kč]', 'Provoz celkem [Kč/den]', 'Maximální využitelný chladič výkon v1 - chladič na přívodu', 'v2 - chladič na odvodu'.

Table with 8 columns for different scenarios. Each column contains a table with '10/h' header, 'dolní limit = 12,08 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V1', and various data rows for 'Léto', 'Zima', 'Max. chladič výkon [kW]', 'Obtokový součinitel', 'Výsledky za den', 'Cirkulační režim', 'Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi [%]', 'Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]', 'Průměrná hodnota xi za den [g/kg]', 'Celkem hodin provozu odvhlčení [h]', 'Celkem energie na provoz ventilátorů [kWh]', 'Celkem energie na provoz dohříváče [kWh]', 'Cena za odvhlčení [Kč]', 'Cena za provoz ventilátorů [Kč]', 'Cena za provoz dohříváče [Kč]', 'Provoz celkem [Kč/den]', 'Maximální využitelný chladič výkon v1 - chladič na přívodu', 'v2 - chladič na odvodu'.

Table with 8 columns for different scenarios. Each column contains a table with '10/h' header, 'dolní limit = 17,59 g/kg; K1=0,6 a K2=0,9; V1', and various data rows for 'Léto', 'Zima', 'Max. chladič výkon [kW]', 'Obtokový součinitel', 'Výsledky za den', 'Cirkulační režim', 'Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi [%]', 'Kolik hodin z dne nevyhoví xi [h]', 'Průměrná hodnota xi za den [g/kg]', 'Celkem hodin provozu odvhlčení [h]', 'Celkem energie na provoz ventilátorů [kWh]', 'Celkem energie na provoz dohříváče [kWh]', 'Cena za odvhlčení [Kč]', 'Cena za provoz ventilátorů [Kč]', 'Cena za provoz dohříváče [Kč]', 'Provoz celkem [Kč/den]', 'Maximální využitelný chladič výkon v1 - chladič na přívodu', 'v2 - chladič na odvodu'.

g/h/°C

g/h/°C

96

2 UKÁZKA CELISTVÉHO VÝPOČTU PRŮBĚHU KONCENTRACE VLHKOSTI

Výběr ročního období
 Deklinace
 Max. chladicí výkon:
 Obtokový součinitel

Leto
 $\delta = 20,8^\circ$
 $Q_{ch,max} = 30$ kW
 $F = 0,1$
 Měnitelné
 Vypočítané

Výsledky za den:

Cirkulační režim: 60% čerstvý vzduch
 Kolik procentuálně z dne nevyhoví xi: 6 %
 Kolik hodin z dne nevyhoví xi: 1,41 hod
 Průměrná hodnota xi za den: 10,52 g/kg
 Celkem hodin provozu odvlhčení: 10 hod
 Celkem hodin provozu nucené větrání: 15 hod
 Celkem energie na odvlhčení: 288 kWh
 Celkem energie na provoz ventilátorů: 21 kWh
 Celkem energie na provoz dohříváče: 69 kWh
 Cena za odvlhčení: 390 Kč,-
 Cena za provoz ventilátorů: 113 Kč,-
 Cena za provoz dohříváče: 115 Kč,-
 Provoz celkem: 618 Kč/den

Maximální využitelný chladicí výkon pro špičku dne

58,37 chladicí výkon [kW] - chladič na přívodu
 54,82 chladicí výkon [kW] - chladič na odvodu

OVLÁDÁNÍ SPOUŠTĚNÍ VENTILÁTORU A CHLADIČE (odvlhčení):			
	ventilátor	chladič (odvlhčení)	
interval spuštění (minimálně 5 min):	30 min	30 min	
součinitele pro horní limit xi: K1=	0,6	K2 = 0,9	
limit xi - horní:	0,011 kg/m ³	0,016 kg/m ³	
limit xi - dolní:	0,015 kg/m ³	0,015 kg/m ³	

volba cirkulačního režimu: C3
 volba pozice chladiče: VARIANTA 1 - CHLADIČ NA PŘÍVODU
VARIANTA 1 - CHLADIČ NA PŘÍVODU
 VARIANTA 2 - CHLADIČ NA ODVODU

τ	τ	h	Δτ	ŠKODLIVINY		VĚTRÁNÍ PŘÍROZENÉ / NUCENÉ														KONCENTRACE ŠKODLIVINY			MEZIVÝPOČTY			
				i _i	M _S	t _a	p _e	t _i	p _i	Δp	V _{inf}	NUC1	NUC2	NUC	ODV1	ODV2	ODV	V _{nuc}	V _p	x _{int}	x _{int}	x _{int}	Δp _v	Δp _t	h	g
[h:mm]	[°]	[m]	[s]	[H]	[kg/s]	[°C]	[kg/m ³]	[°C]	[kg/m ³]	[Pa]	[m ³ /s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[kg/m ³]	[-]	[g/kg]	[Pa]	[Pa]	[m]	[m/s ²]
0:00	0	-19	0	0	0	23	1,177	27	1,160	1,589	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0077	0	6,412	1,413	0,176	1,00	9,81
0:05	1	-19	300	0	0	23	1,178	27	1,160	1,592	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0077	0	6,399	1,4134	0,1787		
0:10	3	-19	300	0	0	23	1,178	27	1,160	1,595	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0077	0	6,386	1,4139	0,1814		
0:15	4	-19	300	0	0	23	1,179	27	1,160	1,598	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0076	0	6,373	1,4143	0,184		
0:20	5	-19	300	0	0	23	1,179	27	1,160	1,601	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0076	0	6,360	1,4147	0,1865		
0:25	6	-19	300	0	0	22	1,179	27	1,160	1,604	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0076	0	6,348	1,4151	0,189		
0:30	7	-19	300	0	0	22	1,180	27	1,160	1,607	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0076	0	6,335	1,4155	0,1914		
0:35	9	-19	300	0	0	22	1,180	27	1,160	1,610	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0076	0	6,322	1,4158	0,1937		
0:40	10	-19	300	0	0	22	1,180	27	1,160	1,612	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0076	0	6,310	1,4162	0,196		
0:45	11	-19	300	0	0	22	1,180	27	1,160	1,615	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0076	0	6,298	1,4166	0,1982		
0:50	13	-18	300	0	0	22	1,181	27	1,160	1,617	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0075	0	6,285	1,4169	0,2003		
0:55	14	-18	300	0	0	22	1,181	27	1,160	1,620	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0075	0	6,273	1,4172	0,2023		
1:00	15	-18	300	0	0	22	1,181	27	1,160	1,622	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0075	0	6,261	1,4176	0,2043		
1:05	16	-18	300	0	0	22	1,182	27	1,161	1,624	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0075	0	6,249	1,4179	0,2062		
1:10	18	-18	300	0	0	22	1,182	27	1,161	1,626	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0075	0	6,238	1,4182	0,2081		
1:15	19	-17	300	0	0	22	1,182	27	1,161	1,628	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0075	0	6,226	1,4184	0,2098		
1:20	20	-17	300	0	0	22	1,182	27	1,161	1,630	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0075	0	6,215	1,4187	0,2115		
1:25	21	-17	300	0	0	22	1,182	27	1,161	1,632	0,022	0	0	0	0	0	0	0,000	0,022	0,0074	0	6,204	1,419	0,2132		
1:30	23	-16	300	0	0	22	1,183	27	1,161	1,634	0,023	0	0	0	0	0	0	0,000	0,023	0,0074	0	6,193	1,4192	0,2147		
1:35	24	-16	300	0	0	22	1,183	27	1,161	1,636	0,023	0	0	0	0	0	0	0,000	0,023	0,0074	0	6,182	1,4195	0,2161		
1:40	25	-16	300	0	0	21	1,183	27	1,161	1,637	0,023	0	0	0	0	0	0	0,000	0,023	0,0074	0	6,171	1,4197	0,2175		
1:45	26	-16	300	0	0	21	1,183	27	1,161	1,639	0,023	0	0	0	0	0	0	0,000	0,023	0,0074	0	6,161	1,4199	0,2188		
1:50	28	-15	300	0	0	21	1,183	27	1,161	1,640	0,023	0	0	0	0	0	0	0,000	0,023	0,0074	0	6,151	1,4201	0,22		
1:55	29	-15	300	0	0	21	1,184	27	1,161	1,641	0,023	0	0	0	0	0	0	0,000	0,023	0,0074	0	6,141	1,4203	0,2212		
2:00	30	-14	300	0	0	21	1,184	27	1,161	1,643	0,023	0	0	0	0	0	0	0,000	0,023	0,0074	0	6,131	1,4204	0,2222		

PŘÍSLUŠNÝ GRAF K UVEDENÝM VÝSLEDKŮM

