



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

VĚTRÁNÍ BAZÉNOVÝCH HAL

AIRCONDITIONING OF POOL HALLS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

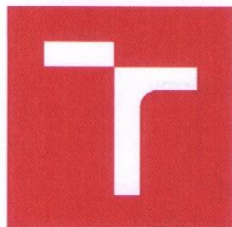
Bc. ONDŘEJ BOBROVSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Ondřej Bobrovský
Název	Vzduchotechnika bazénových hal
Vedoucí práce	doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Aktuální právní předpisy ČR
2. České i zahraniční technické normy
3. Odborná literatura
4. Zdroje na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu, právní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Teoretické řešení v praxi – dvě varianty návrhu možného řešení. Výstupem budou výkresy navržených variant VZT zařízení a jednočarové rozvody vzduchu. Bude proveden technický popis výhod a nevýhod navržených variant.

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení

Návrh technického řešení s využitím poznatků získaných v experimentu.

C. Experimentální řešení a zpracování výsledků

Měření fyzikálních veličin při reálném provozu bazénové VZT jednotky. Zpracování naměřených dat a jejich vyhodnocení.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

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



doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na problematiku větrání bazénových hal. Popisuje zásady návrhu vzduchotechnického zařízení pro bazénové haly a rizika spojená s provozem. Uvádí varianty řešení větrání s výhodami a nevýhodami jednotlivých technických řešení. V rámci experimentálního řešení byla měřena bazénová jednotka ve skutečných podmínkách. Cílem měření bylo vyhodnocení teplotní účinnosti křížového deskového výměníku pro zpětné získávání tepla a monitorování režimů a funkce jednotky. Na základě poznatků získaných během experimentu byly navrženy dvě varianty větrání zadané bazénové haly s vyhodnocením ekonomické náročnosti provozu obou variant při celoročním užívání a při extrémních klimatických podmínkách.

Klíčová slova

Bazénová hala, vlhkostní zátěž, odvlhčování, tepelné čerpadlo, bazénová jednotka, jednotka s řízeným odvlhčováním, klimatizace, zpětné získávání tepla

Abstract

Diploma thesis is focused on problematics of ventilation of swimming pool halls. Thesis describes the design of air handling units for swimming pool halls and operation risks. It presents different variants of ventilation with mentioned advantages and disadvantages of individual technical solutions. A swimming pool air handling unit was measured in real conditions as a part of experimental solution. The goal of measuring was to analyze thermal efficiency of cross flow heat exchanger as well as to monitor working modes and functions of unit. Based on informations gathered during experimental measuring, two different variants of ventilation were designed. Both designs are evaluated economically during extreme weather conditions and during the whole year.

Keywords

Swimming pool hall, humidity load, dehumidification, heat pump, swimming pool air handling unit, air handling unit with controlled dehumidification, air conditioning, heat recovery

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Ondřej Bobrovský *Větrání bazénových hal*. Brno, 2018. 90 s, 20 s. příloh. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.

Prohlášení:

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

V Brně dne 12.1.2018

.....
podpis autora

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12.1. 2018

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Aleši Rubinovi, Ph.D. za odbornou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

Obsah

A) TEORETICKÁ ČÁST

1. Úvod.....	13
2. Větrání bazénových hal	14
2.1 Požadavky na systém VZT	14
2.2 Návrh VZT systému	15
2.3 Požadavky na mikroklima bazénových hal	18
3. Způsoby větrání bazénových hal	20
3.1 Nucené větrání	20
3.2 Nucené větrání s odvlhčovačem	22
3.3 VZT jednotka s chladičem	23
3.4 Bazénová jednotka	25
4. Ekodesign.....	26
4.1 Nařízení komise (EU) č. 1253/2014	27
4.2 Požadavky Ekodesign platné od 1. ledna 2018	28
4.3 Dopady nařízení Ekodesign na VZT jednotky:	32
4.4 Ekodesign a bazénové jednotky	32

B) APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ

1. Úvod.....	34
2. Vstupní parametry.....	34
2.1 Geografická poloha.....	34
2.2 Bazénová hala.....	34
3. Varianta 1 – Bazénová jednotka	39
4. Varianta 2 – VZT jednotka s řízeným odvlhčováním.....	41
5. Vyhodnocení	42
5.1 Roční bilance	42
5.2. Extrémní návrhové podmínky	46
5.3 Klimatické extrémy	53
5.4 Cirkulační režim bazénové jednotky	55
6. Technická zpráva	56
6.1 Úvod	56
6.2 Mikroklimatické podmínky, zadávací parametry a dimenzování	57
6.3 Popis VZT zařízení.....	59



6.4	Požadavky na navazující profese.....	61
6.5	Požadavky projektanta na realizaci	62
6.6	Pokyny pro obsluhu, údržbu, bezpečnost práce, zkoušky	63
6.7	Nakládání s odpady	64
6.8	Vliv na životní prostředí.....	64
6.9	Sumarizace požadavků na energie.....	64
6.10	Závěr	64

C) EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

1.	Úvod.....	66
2.	Místo měření	66
3.	Popis VZT zařízení	67
4.	Popis měření	68
5.	Popis techniky.....	69
5.1	Comet S3120	69
5.2	Vzdálený dohled PC	70
6.	Umístění měřicích čidel	71
		71
7.	Pracovní režimy jednotky	72
7.1	Režim cirkulace	73
7.2	Režim odvlhčování	74
7.3	Režim větrání.....	75
8.	Vyhodnocení měření.....	76
8.1	Přívodní teplotní účinnost s cirkulací	77
8.2	Přívodní teplotní účinnost bez cirkulace	78
	Závěr	82
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	83
	Seznam použitých zdrojů.....	84
	Seznam obrázků.....	87
	Seznam tabulek	88
	Seznam grafů	89
	Přílohy.....	90

Úvod

Diplomová práce se zabývá problematikou větrání bazénových hal. Teoretická část má za cíl popsat hlavní důvody instalace vzduchotechnického zařízení pro kryté bazény, a možné problémy spojené s provozem v prostředí bazénových hal. Na problematiku navazuje přiblížení možných variant řešení větrání krytých bazénů. Větrání bazénových hal je energeticky, a tím i ekonomicky, velmi náročné. Proto se druhá část zaměřuje na energetickou náročnost a ekodesign, který mimo jiné stanovuje minimální účinnost systému zpětného získávání tepla.

Cílem aplikace tématu na zadané budově bylo navrhnout dvě varianty větrání bazénové haly. V první variantě je počítáno s bazénovou jednotkou specificky navrženou pro odvlhčování bazénových hal. Druhá varianta využívá jednotky s řízným odvlhčováním. Obě varianty budou ekonomicky porovnány v rámci celého roku i extrémních návrhových podmínek. Součástí návrhů budou výkresy v měřítku 1:50 a 1:100, schéma jednotek, specifikace a technická zpráva pro první variantu.

Při experimentálním řešení byla měřena a monitorována bazénová jednotka ve skutečných podmínkách. Z naměřených údajů bude vyhodnocena účinnost deskového rekuperátoru a množství odpařené vody za klidné hladiny, tedy mimo provozní dobu bazénové haly.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

A) Teoretická část

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ONDŘEJ BOBROVSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

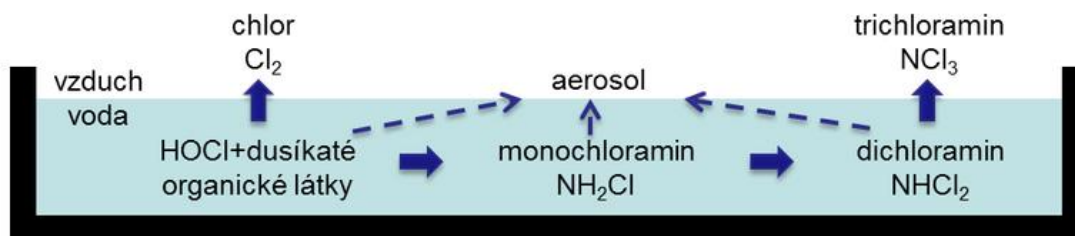
SUPERVISOR

Doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2018

1. Úvod

Vzduchotechnika je nedílnou součástí každého krytého bazénu. Instalace vzduchotechniky není nutná jen z důvodu zajištění komfortu pro pobývajících osoby, ale především pro odvedení vlhkostní zátěže a odvětrání škodlivých látek odpařujících se z povrchu vodní hladiny. Se zvyšující se relativní vlhkostí nastává v hale v kombinaci s vysokou teplotou vzduchu nepříjemný pocit dusna. Vlivem nižší venkovní teploty může docházet ke vzniku plísní na obvodových konstrukcích, zejména v rozích haly a v místech tepelných mostů. V extrémním případě, především v zimním období, dochází ke kondenzaci vodní páry na chladných konstrukcích, běžně na prosklených plochách. Působením vysoké vlhkosti hrozí poškození nejen vybavení haly, ale také samotné konstrukce objektu např. korozi kovových prvků, či hnilobou dřevěných podhledů, trámů apod. Kromě vodních par se z bazénu odpařují i jiné, potenciálně škodlivé látky. Jejich hlavním zdrojem jsou dezinfekční přípravky přidávané do vody. Díky svým známým vlastnostem, snadno měřitelné koncentraci a také nízké ceně je jako dezinfekční látka nejčastěji používán chlor. Chlor reaguje s vodou a následně s organickými látkami, např. vlasy a kůží za vzniku trichloraminu. Trichloramin (NCl_3) je zdraví nebezpečný plyn, který může stát za vznikem zdravotních potíží jako podráždění očí a dýchacích cest, alergických reakcí, astma. Chloraminy jsou těžší než vzduch, proto se koncentrují nad povrchem vodní hladiny. Z tohoto důvodu je třeba při návrhu větrání bazénových hal zvolit vhodný způsob distribuce vzduchu, aby došlo k odvětrání škodlivých plynů z pobytové zóny.



Obr. 1 Trichloramin

2. Větrání bazénových hal

2.1 Požadavky na systém VZT

Pro zajištění požadovaných mikroklimatických podmínek bazénových hal je nutné navrhnout vhodný systém VZT. Při navrhování vzduchotechnického zařízení je třeba zohlednit následující parametry:

1. Konstrukce bazénové haly

Od konstrukce bazénové haly se odvíjí ostatní parametry, jako například tepelné ztráty obvodové konstrukce, tepelná zátěž prosklenými okny, povrchová teplota konstrukcí. V závislosti na geometrii bazénové haly a parametrech obvodových konstrukcí je třeba zvolit vhodnou distribuci vzduchu.

2. Tepelné ztráty

Vzduchotechnická jednotka v bazénových halách často zcela, nebo alespoň částečně, pokrývá tepelné ztráty. Teplovzdušné vytápění je preferováno z důvodu vhodnější a snadnější distribuce tepla, protože bazénové haly mají často prosklené celé stěny a pro otopná tělesa není vhodné místo. Dalším důvodem preference teplovzdušného vytápění VZT jednotkou je vysoká agresivita bazénového vzduchu.

3. Tepelná zátěž

Značný podíl obvodových konstrukcí bazénových hal tvoří okna. Pokud nejsou okna vybavena stínícími prvky, jako např. externí žaluzie, nebo slunolamy, může velká prosklená plocha v letních měsících způsobit značnou tepelnou zátěž. Navzdory vysoké teplotě vzduchu, která v bazénových halách bývá, je možné, že při vysoké tepelné zátěži bude potřeba přiváděný vzduch ochlazovat.

4. Vlhkostní zátěž

Vlhkostní zátěž způsobená vypařující se vodou z bazénu je hlavní důvod instalace vzduchotechniky v bazénových halách. Odpařování vody z hladiny je způsobeno difúzí a konvekcí vodních molekul, kdy na rozhraní dvou fází dochází k přestupu hmoty. Základními faktory ovlivňujícími množství odpařené vody v bazénové hale je parciální tlak páry vzduchu v bazénové hale, tlak nasycených par při teplotě vody a součinitel přenosu hmoty, který se odvíjí např. od rychlosti proudění nad vodní hladinou.

5. Technologie bazénu

Technologie bazénu definuje další faktory, které je třeba brát v potaz při návrhu VZT systému. Může se jednat např. o specifické zdroje tepelné zátěže, nebo tepelných ztrát. Důležitý vliv na návrh systému větrání bazénové haly má použitý dezinfekční prostředek bazénové vody. Nejčastěji používaný dezinfekční prostředek, chlor, se odpařuje z vody,

a společně s vysokou vlhkostí a teplotou přispívá ke korozivním vlastnostem vzduchu, k čemuž je třeba přihlédnout při volbě materiálu vzduchotechnického zařízení.

6. Provozní doba a období

Zamýšlená provozní doba a provozní období slouží k dimenzování VZT jednotky. Například bazénové haly na školách často nebývají v provozu v letním období k čemuž je možné přihlédnout při návrhu jednotky.

7. Obsazenost

Z obsazenosti vyplývá potřeba čerstvého vzduchu, který musí jednotka zajistit. Minimální množství větracího vzduchu stanovuje vyhláška č. 20/2012 Sb.

2.2 Návrh VZT systému

Tyto parametry se následně promítnou do zařízení:

1. Složení VZT jednotky

Složení jednotky vyplývá z principu odvodu vlhkostní zátěže. Jednotlivé varianty jsou popsány v kapitole 3.

2. Množství přiváděného a odváděného vzduchu

Množství vzduchu, se kterým jednotka pracuje se stanoví na základě vlhkostní zátěže a z toho plynoucího rozdílu měrných vlhkostí, dX , přiváděného vzduchu a vzduchu v bazénové hale. Objemový průtok vzduchu se rovněž volí s ohledem na rozdíl teplot, dT , pro pokrytí tepelné zátěže a tepelné ztráty, a pro pokrytí hygienické dávky větracího vzduchu.

3. Směšovací poměr, množství čerstvého vzduchu

Vyplývá z počtu osob v bazénové hale. Minimální dávka vzduchu na osobu v pobytové místnosti je $25 \text{ m}^3/\text{h}$. S ohledem na škodlivé látky odpařující se z bazénové vody je vhodnější zvolit větší množství.

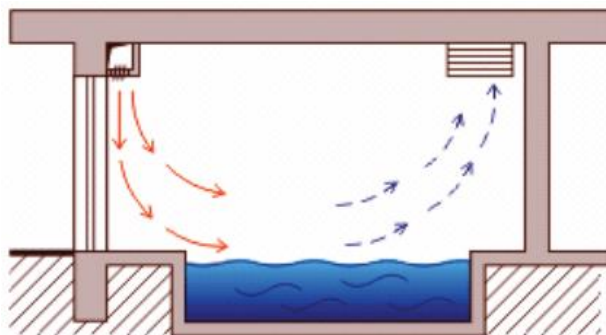
4. Výkon výměníků

Dle tepelné zátěže a tepelné ztráty stanovených pro extrémní zimní a letní podmínky. U bazénových jednotek se navíc posuzuje vlhkostní extrém, který nastává například v létě po dešti, kdy je vysoká teplota a relativní vlhkost, z čehož vyplývá vysoká měrná vlhkost větracího vzduchu, se kterým musí jednotka pracovat.

5. Způsob distribuce vzduchu

Distribuční prvky je třeba zvolit s ohledem na konstrukční řešení bazénové haly. Vhodné je zvolit přívod vzduchu u prosklených ploch pro zamezení orosení a omezení proudění

chladného vzduchu u oken. Odvodní prvky je vhodné umístit nad zdroj škodlivin, tedy nad vodní hladinu.



Obr. 2 Distribuce vzduchu v halách

6. Provozní režimy jednotky

Vyplyvá z provozní doby bazénové haly. Při klidné hladině klesá hmotnostní tok vody odpařované z bazénu, a tím je možné snížit průtok jednotky. Jednotka může regulovat množství větracího vzduchu v závislosti na obsazenosti v závislosti na nastavení systému MaR.

7. Pořizovací a provozní náklady

Správně navržená bazénová jednotka by měla plně zajišťovat tepelně-vlhkostní a toxické mikroklima, a tím přispívat k bezpečnému a komfortnímu vnitřnímu prostředí bazénových hal. Pořizovací náklady vzduchotechnického zařízení pro bazénové haly bývají vysoké z důvodu skladby jednotky, která musí splňovat požadavky dané charakterem obsluhovaných prostor, a rovněž kvůli použitým materiálům, uzpůsobeným pro prostředí bazénových hal. Vzhledem k energeticky náročným úpravám vzduchu je třeba navrhnout jednotku tak, aby pracovala co nejekonomičtěji, například zvýšením účinnosti zpětného získávání tepla, což většinou vede k dalšímu navýšení pořizovacích nákladů. Ve výsledku je často bazénová jednotka kompromis mezi optimem navrženým projektantem a finančními možnostmi investora.

8. Materiál vzduchotechnického zařízení

Korozivní vlastnosti bazénového vzduchu je třeba zohlednit při výběru materiálů pro celé vzduchotechnické zařízení.



Obr. 3 Pád stropu bazénové haly vlivem koroze

Hlavním požadavkem na vzduchotechniku bazénové haly je odvod vlhkostní zátěže. Při výpadku vzduchotechniky dojde vlivem odparu z bazénu velmi rychle k překročení maximální přípustné vlhkosti vzduchu, což má za následek nezbytné přerušení provozu bazénové haly. Proto je důležitým faktorem při návrhu celého VZT systému životnost a spolehlivost jednotlivých komponent. Vlivem vysoké vlhkosti a dezinfekčních prostředků má bazénový vzduch vysoce korozivní vlastnosti. Proto je třeba použít korozivzdorné materiály, především s vysokou odolností proti chloridům. Běžná nerezová ocel v agresivním prostředí bazénových hal zkoroduje v rámci několika let. Vhodnou ocelí pro použití v bazénových halách je ocel s obsahem alespoň 6 % molybdenu, který zvyšuje odolnost vůči korozi. Rovněž ocel s vysokým obsahem chromu jeví vysokou odolnost vůči chloridům. Mezi tento typ oceli patří například ocel třídy AISI 316 s obsahem chromu $>16\%$ a molybdenu $>2\%$. Pro zlepšení korozivzdorných vlastností oceli, nebo jako alternativa vysoce odolných ocelí se používá nátěrů. Běžně používaný zinek zajišťuje účinnou ochranu oceli pro použití v bazénových halách při tloušťce ochranné vrstvy alespoň $20\ \mu\text{m}$. Díky chemické netečnosti je rovněž využíváno plastů, například potrubí z polyvinylchloridu. Odolnost jednotlivých komponent VZT jednotky a potrubí lze zvýšit pomocí povrchové úpravy, například nátěrem.



Obr. 4 Ocelový nosník v bazénové hale po 12 letech

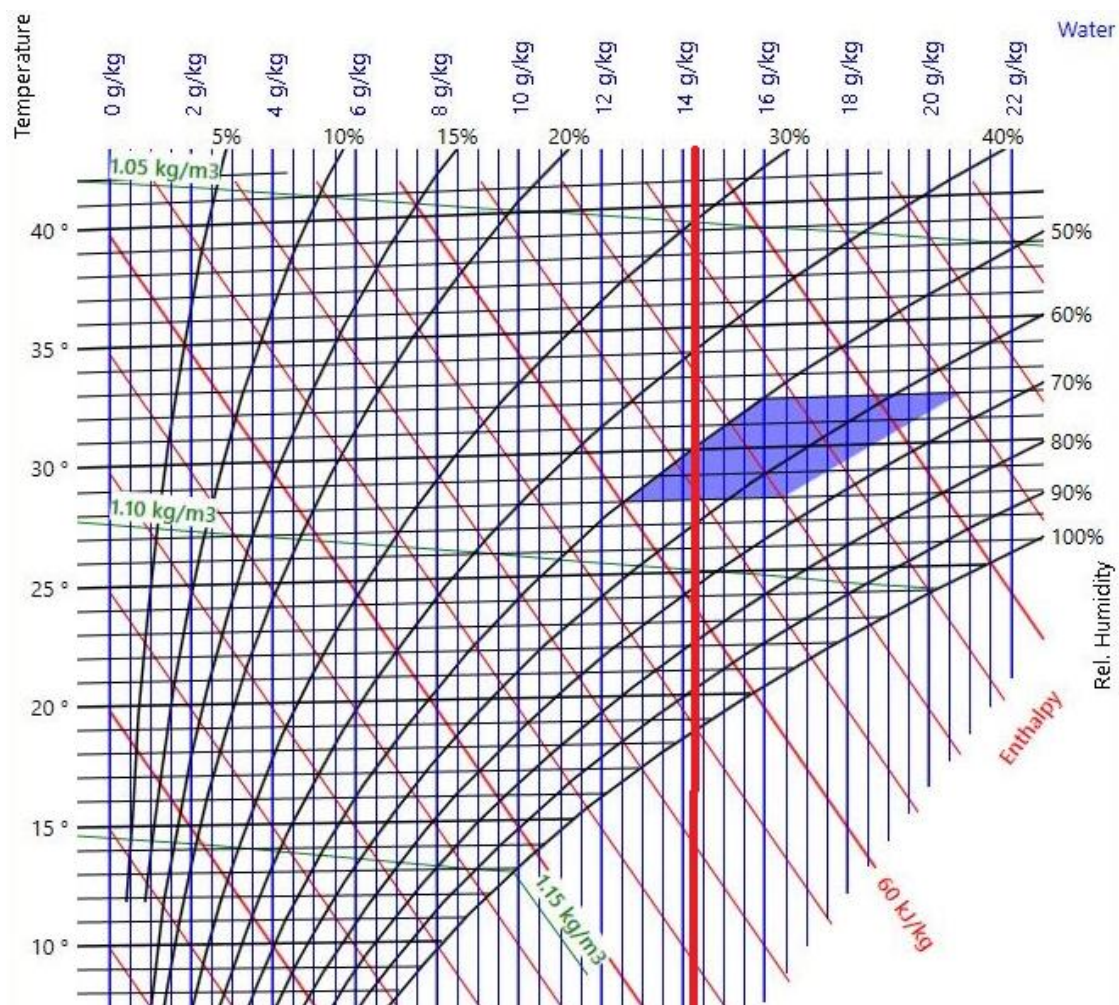
2.3 Požadavky na mikroklima bazénových hal

Základní hygienické požadavky na mikroklima bazénových hal jsou stanoveny ve vyhlášce č. 238/2011 Sb. příloze 12 následovně:

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 (500 luxů při závodech v 50m bazénu)	200 luxů	100 luxů
Teplota vzduchu	o 1 - 3 °C vyšší než teplota vody v bazénu	sprchy 24 - 27°C šatny a místnosti pro pobyt osob 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
Trichloramin	0,5 mg/m ³	-	-

Tab. 1 Požadavky na mikroklima

Vzhledem k vysoké teplotě v bazénových halách pohybující se běžně kolem 30 °C by relativní vlhkost 65 % dle vyhlášky způsobovala pocit dusna vlivem vysoké absolutní vlhkosti. Zároveň by stoupla teplota rosného bodu, což by zvýšilo riziko vzniku plísní a povrchové kondenzace. Pro daný příklad by se jednalo o teplotu rosného bodu 22,7 °C a měrnou vlhkost 17,6 g/kg. Proto se při návrhu zohledňuje hodnota z německé normy VDI 2086, která uvádí limitní hodnotu měrné vlhkosti vzduchu 14,3 g/kg. Tato hodnota by při 30 °C odpovídala relativní vlhkosti 53 % a teplotě rosného bodu 19,4 °C.



Obr. 5 Rozsah vlhkosti v hale

V HX diagramu (obr. 5) je modrou barvou vyznačen běžný stav vzduchu v bazénové hale. Jedná se o rozmezí 28 °C až 32 °C při relativní vlhkosti 50 % až 65 %. Červenou přímkou je vyznačena hranice dusna dle VDI 2086, jako konstantní hodnota měrné vlhkosti 14,3g/kg. Je zřejmé, že přípustná hodnota relativní vlhkosti 65 % je pro prostory bazénových hal nevyhovující z důvodu vysoké teploty v hale.

Další veličinou omezenou ve vyhlášce, je maximální koncentrace trichloraminu. Tu vyhláška stanovuje na 0,5 mg/m³, což je zároveň limitní hodnota stanovena Světovou zdravotnickou organizací (WHO). Člověk je schopný rozeznat výskyt trichloraminu v ovzduší již od koncentrace 0,02mg/m³. Při této koncentraci je cítit typický zápach bazénových hal. Iritující účinky nastávají od koncentrace 0,3mg/m³, kdy dochází k podráždění očí a dýchacích cest.

V případě použití ozónu jako dezinfekčního prostředku je třeba zajistit maximální koncentraci ozónu O₃ v ovzduší bazénové haly dle vyhlášky č. 6/2003 Sb. do 100 µg/m³.

3. Způsoby větrání bazénových hal

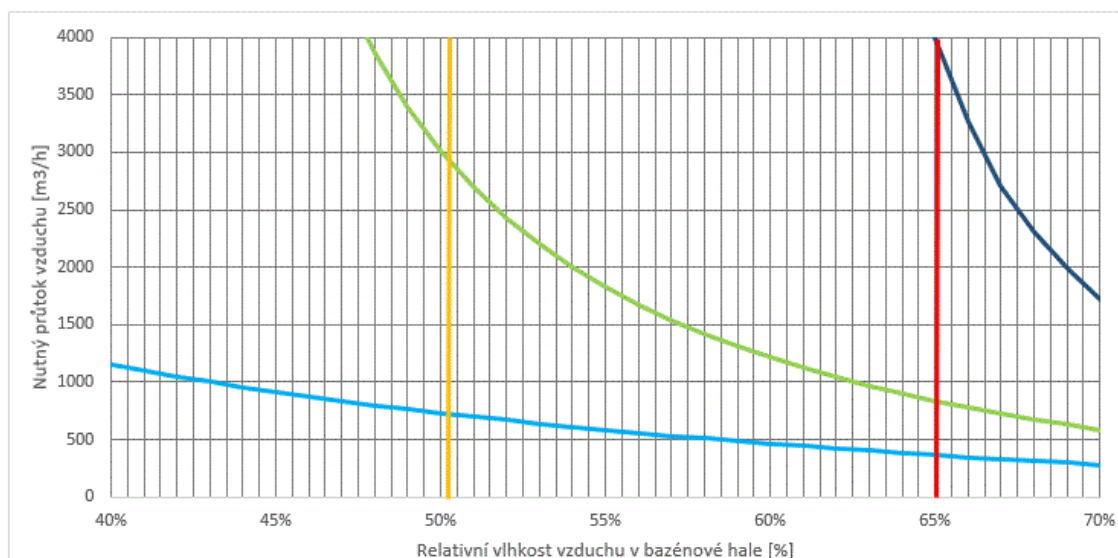
Technických způsobů odvodu vlhkostní zátěže a zajištění vyhovujícího vnitřního mikroklima bazénových hal je několik. Základem jsou dva odlišné principy odvodu vlhkostní zátěže z bazénových hal. Prvním způsobem je odvlhčení pomocí větrání, které může být nucené, nebo přirozené. Druhým způsobem je kondenzační odvlhčování s využitím chladicího okruhu.

3.1 Nucené větrání

Jako technicky nejjednodušší způsob odvodu vlhkostní zátěže z bazénové haly je nucená výměna vzduchu. Vzduchotechnická jednotka je vybavena systémem zpětného získávání tepla pro snížení provozních nákladů a ohřívacem. Nedisponuje chladičem, proto není možné odvlhčit přiváděný vzduch. V případě, že jednotka slouží k vytápění bazénové haly je vhodná instalace směšovací komory.

Princip odvlhčování funguje na základě rozdílu měrných vlhkostí mezi exteriérem a interiérem, od kterého se společně s množstvím větracího vzduchu odvíjí odvlhčovací výkon. Proto se zvyšující se vlhkostí exteriéru roste potřebné množství větracího vzduchu. V momentě, kdy vlhkost exteriéru je vyšší, než vlhkost interiéru nedokáže jednotka zajistit požadovanou úroveň relativní vlhkosti v bazénové hale z důvodu absence chladiče.

Následující graf znázorňuje potřebu čerstvého vzduchu pro odvedení vlhkostní zátěže z bazénové haly v rodinném domě. Pro bazénovou halu je uvažována teplota vzduchu 30 °C a teplota vody 29 °C. Plocha bazénu je 24 m². Množství větracího vzduchu je vypočteno na základě rozdílu měrných vlhkostí pro tři stavy exteriéru: léto, zima, a přechodné období simulující vlhkostní extrém. Parametry exteriéru odpovídají extrémům z části B.



Graf 1 Požadovaný objemový průtok pro zajištění odpovídající relativní vlhkosti

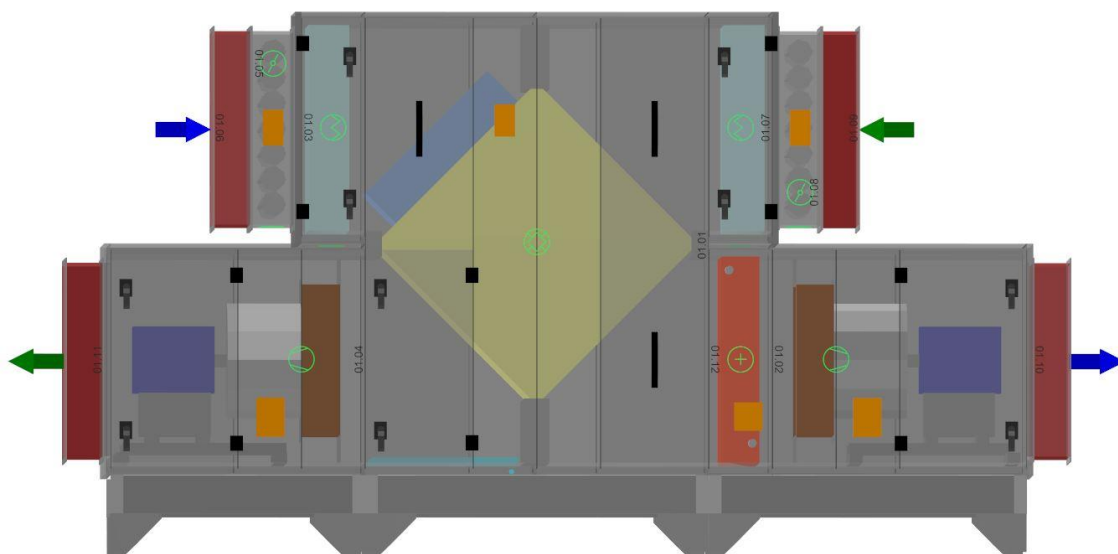
Z grafu je patrné, že jednotka bez možnosti regulace vlhkosti přiváděného vzduchu nedokáže pokrýt vlhkostní extrém ani zvýšenou vlhkost venkovního vzduchu v letním a přechodném období bez zvýšení vlhkosti v bazénové hale nad hranici dusna.

Výhody:

- nízké pořizovací náklady
- nízké provozní náklady

Nevýhody:

- absence chladiče znemožňuje regulaci vlhkosti přiváděného vzduchu
- při zvyšující se vlhkosti venkovního vzduchu dochází ke snížení množství vlhkostní zátěže, kterou je jednotka schopna pokrýt a tím i ke zvýšení vlhkosti v bazénové hale
- při vysoké vlhkosti exteriéru přestává být odvlhčování nuceným větráním zcela účinné
- omezené schopnosti pokrývat tepelnou zátěž; při letním extrému přispívá větrací vzduch k tepelné zátěži



Obr. 6 Větrací jednotka

3.2 Nucené větrání s odvlhčovačem

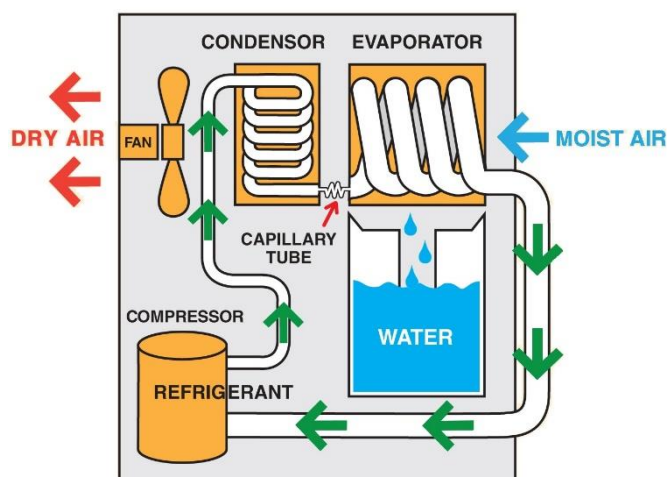
VZT jednotka umožňující nucené větrání doplněná o lokální odvlhčovač rozšiřuje schopnost systému pokrývat vlhkostní zátěž. Odvlhčovač obsahuje tepelné čerpadlo s kondenzátorem i výparníkem. Vzduch proudí přes výparník, kde je zchlazen a odvlhčen a následně přes kondenzátor, kde dojde k ohřátí. Odvlhčovač tak pracuje pouze s cirkulačním vzduchem v bazénové hale, a proto je nutné jej doplnit o nucené větrání, které zajistí přívod čerstvého vzduchu. Vzhledem k nižšímu odvlhčovacímu výkonu jsou lokální odvlhčovače vhodné pro použití u menších bazénů v rodinných domech.

Výhody:

- menší nároky na VZT zařízení zajišťující nucené větrání (pouze zajištění minimální výměny)
- odvlhčovač částečně pokrývá tepelné ztráty
- nízké pořizovací náklady

Nevýhody:

- nízký odvlhčovací výkon
- nutnost doplnit odvlhčovač o systém nuceného větrání



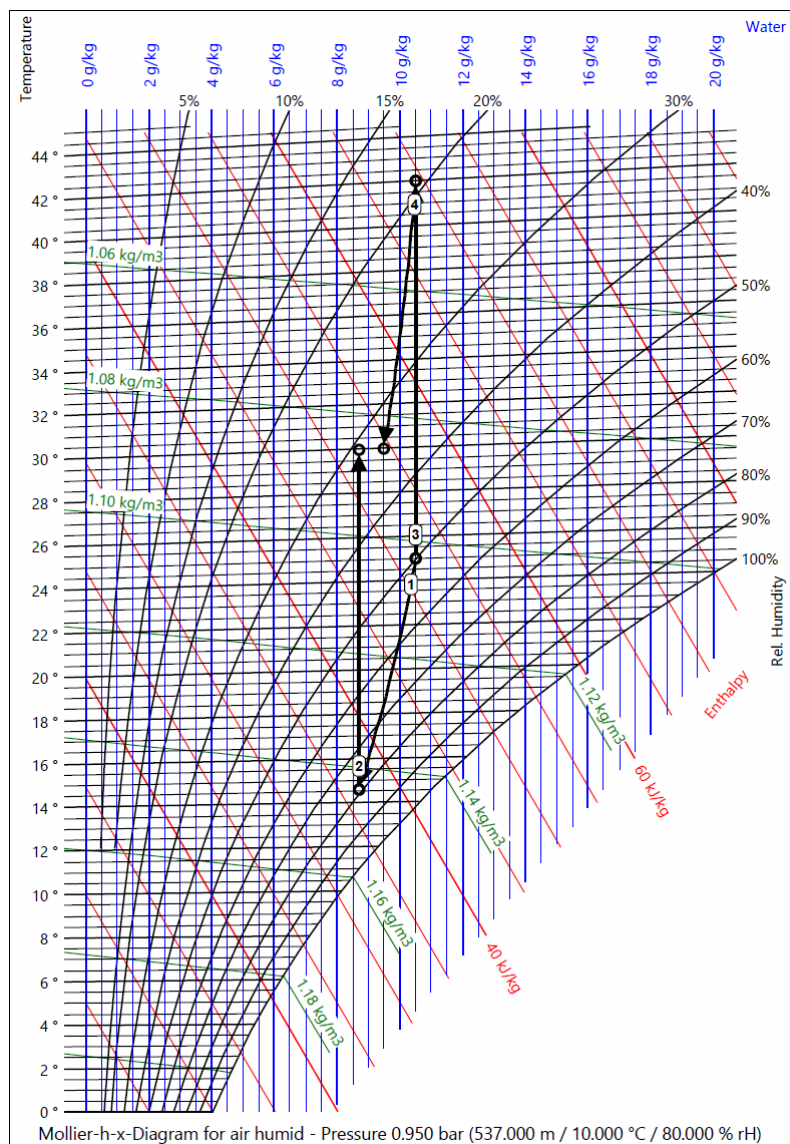
Obr. 8 Schéma odvlhčovače



Obr. 7 Bazénový odvlhčovač

3.3 VZT jednotka s chladičem

Stejná skladba jako v případě větrací jednotky doplněná o chladič v přívodní větvi. Za běžných podmínek exteriéru odvlhčuje jednotka na základě rozdílu měrné vlhkosti exteriéru a interiéru. Při zvyšující se vlhkosti exteriéru snižuje jednotka měrnou vlhkost kondenzačním odvlhčováním na chladiči. Následně je vzduch dohřátý vodním ohřivačem na požadovanou teplotu. Významný vliv na odvlhčovací schopnost jednotky má umístění výměníků ve směru proudění. V případě, že je chladič umístěn za ohřivačem (obr. 10) jedná se o neřízené odvlhčování. Pokud je pořadí výměníků opačné, nebo má jednotka za chladičem umístěný druhý ohřivač, jedná se o řízené odvlhčování. Kromě vyšší přesnosti řízení vlhkosti a teploty přiváděného vzduchu má řízené odvlhčování výhodu v nižších nárocích na energii pro zchlazení (odvlhčení) a ohřev vzduchu.



Obr. 9 Řízené a neřízené odvlhčování

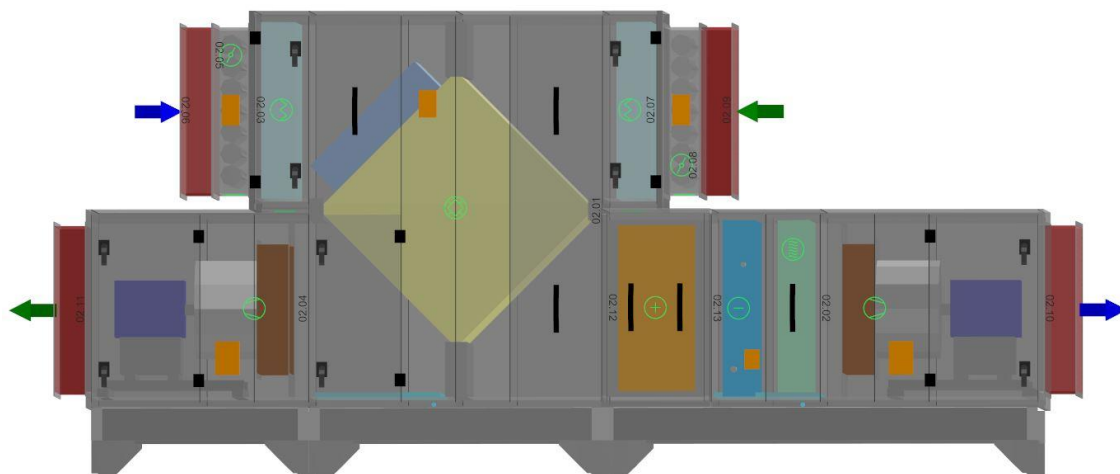
Z HX diagramu (obr. 9) vyplývá rozdíl mezi umístěním výměníků. Množství kondenzátu na chladiči u jednotky s řízeným odvlhčováním pracující s 5000 m³/h a výkonem chladiče 23,2kW je 10 kg/h, zatímco u jednotky s opačným pořadím výměníků je množství kondenzátu pouze 5,5kg/h. Pro zajištění stejné přívodní teploty navíc musí být ohřívač u jednotky s neřízeným odvlhčováním o 3kw výkonnější.

Výhody:

- v závislosti na výkonu výměníků umožňuje pokrytí klimatických extrémů
- pokrytí tepelné zátěže
- pokrytí vlhkostní zátěže

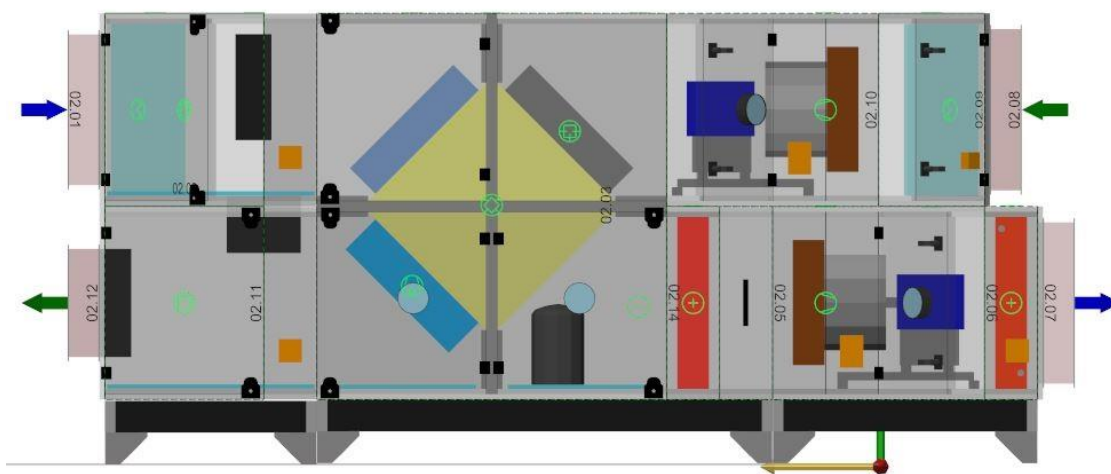
Nevýhody:

- vysoké provozní náklady
- vzhledem k nepravidelnému provozu chladiče je prakticky nemožné přímé využití odpadního tepla
- nemožnost využít deskového rekuperátoru při cirkulačním režimu pro odvlhčení



3.4 Bazénová jednotka

Komplexní a technicky nejsložitější řešení větrání bazénových hal. Jednotka je vybavena deskovým výměníkem pro zpětné získávání tepla a okruhem tepelného čerpadla s více kondenzátory. Chladič je umístěn na odvodní větvi za rekuperátorem, což při cirkulaci umožňuje využívat rekuperátor pro snížení energetických nároků jednotky. Na rozdíl od předchozích variant je k odvlhčování primárně určen cirkulační režim. Přebytečné kondenzační teplo je možné využít pro ohřev bazénové vody. Podrobnější popis funkce bazénové jednotky je v části B a C.



Obr. 11 Bazénová jednotka

Nevýhody:

- Pořizovací náklady
- Vzhledem k umístění chladiče na odvodní větvi není možné přímo regulovat větrací vzduch – nutná částečná cirkulace, což za určitých podmínek exteriéru vede k náročnějšímu provozu

Výhody:

- Schopnost zajištění mikroklima bazénových hal
- Ekonomický provoz
- Vícenásobné využití zpětného získávání tepla pomocí kombinace tepelného čerpadla a deskového rekuperátoru
- Vzhledem k celoročnímu provozu TČ je možné využít přebytečné kondenzační teplo pro snížení provozních nákladů bazénové haly (ohřev bazénové vody)

4. Ekodesign

Z vlhkostní zátěže a vysoké teploty vzduchu v bazénových halách vyplývají vysoké energetické nároky pro úpravu vzduchu. Pro snížení energetické náročnosti a tím snížení nákladů na provoz VZT zařízení je třeba využívat účinných systémů ZZT, a vzhledem k nepřetržitému provozu vzduchotechniky v bazénových halách i účinných ventilátorů. Požadavky na účinnost jednotlivých komponent jsou stanoveny v Ekodesignu.

Ekodesign je soubor požadavků na vlastnosti výrobků. Směrnice je určena pro sjednocení předpisů zohledňujících spotřebu energie v rámci celé Evropské unie. Cílem ekodesignu je snížení negativního dopadu výroby a používání těchto výrobků na životní prostředí během jejich životního cyklu. Životním cyklem výrobku jsou myšlena všechna stadia výrobku: těžba a zpracování surovin, výroba, používání výrobku a na závěr likvidace použitého výrobku. Předně sledovaným parametrem je spotřeba energie. Vedle spotřeby energie se ekodesign zabývá i funkčností, ekonomičností, bezpečností, ergonomičností, estetičností apod. Požadavky na ekodesign byly stanoveny v řadě právních předpisů. Hlavní základ požadavků stanovila směrnice 2005/32ES. Tuto směrnici později nahradila přepracovaná verze směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES. Pro navrhování vzduchotechnických zařízení je zásadní nařízení komise (EU) č. 1253/2014, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign větracích jednotek. Dalším předpisem týkajícím se přímo vzduchotechnických jednotek je nařízení komise č. 327/2011, které stanovuje požadavky na ekodesign ventilátorů poháněných elektromotory s příkonem v rozmezí od 125 W do 500 kW. Ekodesign se netýká pouze VZT systémů. Požadavky na další výrobky jsou řešeny v příslušných nařízeních, patří mezi ně například: kotle na tuhá paliva; teplovodní kotle na kapalná, nebo plynná paliva; lokální topidla; ohřívače pro vytápění vnitřních prostorů a kombinovaných ohřevů.

4.1 Nařízení komise (EU) č. 1253/2014

Nařízení komise č. 1253/2014 ze dne 7. července 2014 stanovuje požadavky na ekodesign větracích jednotek. Nařízení vstoupilo v platnost 26. listopadu 2014 a je realizováno ve dvou částech. První část nabývá účinnosti 1. ledna 2016, druhá část 1. ledna 2018. Druhá část obecně zavádí přísnější podmínky, které jsou stanoveny v části první. Větrací jednotkou je směrnici myšlen elektrický spotřebič, který je vybaven alespoň oběžným kolem, motorem a skříní a slouží k výměně vzduchu v budově venkovním vzduchem. Předpis dále rozlišuje větrací jednotky na větrací jednotky pro obytné budovy a na větrací jednotky pro jiné než obytné budovy. Větrací jednotka pro obytné budovy je charakterizována maximálním průtokem 250 m³/h, nebo s maximálním průtokem v rozmezí 250 až 1000 m³/h, přičemž výrobce deklaruje zamýšlené použití výhradně v obytných budovách. Na definované typy větracích jednotek se dle článku 3 následně vztahují stanovené požadavky na ekodesign:

1. Od 1. ledna 2016 musí větrací jednotky pro obytné budovy splňovat zvláštní požadavky na ekodesign stanovené v příloze II bodě 1.
2. Od 1. ledna 2016 musí větrací jednotky pro jiné než obytné budovy splňovat zvláštní požadavky na ekodesign stanovené v příloze III bodě 1.
3. Od 1. ledna 2018 musí větrací jednotky pro obytné budovy splňovat zvláštní požadavky na ekodesign stanovené v příloze II bodě 2.
4. Od 1. ledna 2018 musí větrací jednotky pro jiné než obytné budovy splňovat zvláštní požadavky na ekodesign stanovené v příloze III bodě 2.



*Obr. 12 Typické označení
jednotky splňující ekodesign*

Významnějším typem je větrací jednotka pro jiné než obytné budovy. Pro tento typ jednotky směrnice stanovuje následující požadavky:

4.2 Požadavky Ekodesign platné od 1. ledna 2018

Od 1. ledna 2018 vstupují v platnost nové požadavky na ekodesign, které dále rozvíjí a zpřísňují požadavky platné od 1. ledna 2016:

Všechny obousměrné větrací jednotky musí být osazeny systémem zpětného získávání tepla vybaveného obtokem. Směrnice vymezuje minimální tepelnou účinnost η_{t_nrvu} systému zpětného získávání tepla s výjimkou oběhových systémů na 73 %. U oběhových systémů zpětného získávání tepla je minimální hranice tepelné účinnosti 68 %. V nařízení je uvedeno, že tepelnou účinností systému ZZT se rozumí poměr mezi ziskem přiváděného vzduchu a tepelnou ztrátou odváděného vzduchu vztaženo k venkovní teplotě. Dále nařízení stanovuje referenční podmínky: sucho, vyvážený hmotnostní průtok, a rozdíl mezi teplotou exteriéru a interiéru 20 K. Předpis zohledňuje vyšší tepelnou účinnost započítáním „ bonusu za účinnost“, zkratka „E“. Velikost bonusu je závislý na použitém systému ZZT.

Pro systémy bezoběhové:

$$E = (\eta_{t_nrvu} - 0,73) \cdot 3\,000$$

a pro ZZT systémy s oběhem:

$$E = (\eta_{t_nrvu} - 0,68) \cdot 3\,000$$

kde:

η_{t_nrvu} – tepelná účinnost systému zpětného získávání tepla pro jiné než obytné budovy [%]

E – bonus za účinnost

Z uvedeného vztahu vyplývá, že jednotka obdrží 30 bonusových bodů za každé procento nad požadovanou tepelnou účinností.

Tento bonus je zamýšlen jako korekční faktor, který zohledňuje vyšší tlakovou ztrátu účinnějších systémů ZZT. Vyšší tlakové ztráty se promítnou do většího měrného příkonu ventilátoru. Na ventilátory se váže požadavek na minimální účinnost ventilátoru, značené η_{vu} . Požadovanou hodnotu minimální účinnosti určuje příkon ventilátoru.

Jednosměrné větrací jednotky s příkonem do 30kW, včetně:

$$\eta_{vu} \geq 6,2 \% \cdot \ln(P) + 42,0 \%$$

kde:

P – jmenovitý elektrický příkon ventilátoru, [kW]

Pro jednosměrné větrací jednotky s příkonem přesahujícím 30kW je stanovena minimální účinnost ventilátoru na 63,1 %.

Předpis rovněž udává maximální měrný příkon ventilátoru, označeném SFP_{int_limit} . Touto veličinou je myšlen poměr mezi vnitřní tlakovou ztrátou větracích součástí a účinností ventilátoru stanovenou pro referenční konfiguraci. Referenční konfigurace obousměrné

větrací jednotky sestává z: skříně; alespoň 2 ventilátorů vybavených pohonem s proměnnými otáčkami, nebo vícerychlostním pohonem; systémem ZZT; čistým jemným filtrem na přívodu a čistým středním filtrem na odvodu.

Hodnota maximálního vnitřního měrného příkonu se odvíjí dle jmenovitého průtoku. Pro obousměrnou větrací jednotku s oběhovým systémem ZZT:

$$SFP_{int} \leq 1\,600 + E - 300 \cdot q_{nom} / 2 - F$$

Při jmenovitém průtoku nižším než 2 m³/s. Jednotky s průtokem vzduchu rovném 2 m³/s, nebo vyšším, musí splnit maximální vnitřní měrný příkon:

$$SFP_{int} \leq 1\,300 + E - F$$

Na jednotky s jiným, než oběhovým systémem zpětného získávání tepla jsou kladeny přísnější požadavky. Pro jmenovitý průtok do 2 m³/s:

$$SFP_{int} \leq 1\,100 + E - 300 \cdot q_{nom} / 2 - F$$

Pro průtok 2 m³/s a vyšší:

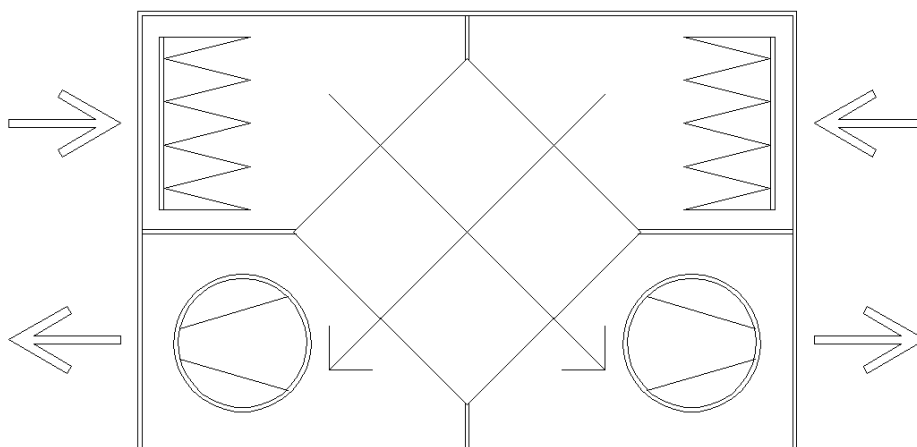
$$SFP_{int} \leq 800 + E - F$$

kde:

SFP_{int} – vnitřní měrný příkon ventilátoru [W/(m³/s)]

q_{nom} – jmenovitý průtok [m³/s], výrobcem stanovený průtok za standardních atm. podmínek

F – korekce filtru [Pa], při odchylce od referenční konfigurace



Obr. 13 Referenční konfigurace obousměrné větrací jednotky

Předpis uvádí i řadu výjimek, pro které neplatí dané požadavky. Jedná se například o jednotky: s příkonem ventilátorů do 30 W, určené pro nouzové použití a krátkodobý provoz, dopravující vzduch o teplotě vyšší než 100 °C, nebo nižší než -40 °C. Důležitá je výjimka pro jednotky obsahující systém ZZT a současně tepelné čerpadlo konstrukčně umožňující zpětné získávání tepla.

Dalším bodem nařízení komise 1253/2014 je povinnost výrobce zveřejňovat informace o výrobcích. Informace musejí být zveřejněny v technické dokumentaci větracích jednotek a na internetových stránkách výrobců. Požadavky uvádí příloha V:

- a) název nebo ochranná známka výrobce;
- b) identifikační značka modelu používaná výrobcem, tj. kód, obvykle alfanumerický, který odlišuje konkrétní model větrací jednotky pro jiné než obytné budovy od jiných modelů se stejnou ochrannou známkou nebo stejným názvem dodavatele;
- c) deklarovaná typologie v souladu s článkem 2 (větrací jednotky pro obytné budovy, větrací jednotky pro jiné než obytné budovy, jednosměrné větrací jednotky, obousměrné větrací jednotky);
- d) typ pohonu, který je instalován nebo má být instalován (vícerychlostní pohon nebo pohon s proměnnými otáčkami);
- e) typ systému zpětného získávání tepla (oběhový, jiný, žádný);
- f) tepelná účinnost zpětného získávání tepla (v % nebo „nepoužije se“, pokud výrobek nemá žádný systém zpětného získávání tepla);
- g) jmenovitý průtok větracích jednotek pro jiné než obytné budovy v m³/s;
- h) efektivní elektrický příkon (kW);
- i) SFP_{int} v W/(m³/s);
- j) účinná nátoková rychlost v m/s při konstrukčním průtoku;
- k) jmenovitý vnější tlak ($\Delta p_{s, ext}$) v Pa;
- l) vnitřní tlaková ztráta větracích součástí ($\Delta p_{s, int}$) v Pa;
- m) volitelně: vnitřní tlaková ztráta jiných než větracích součástí ($\Delta p_{s, add}$) v Pa;
- n) statická účinnost ventilátorů použitých v souladu s nařízením (EU) č. 327/2011;
- o) deklarovaná maximální vnější netěsnost (%) skříní větracích jednotek; a deklarovaná maximální vnitřní netěsnost (%) obousměrných větracích jednotek nebo přenesení (pouze u regeneračních výměníků tepla); v obou případech se měří nebo vypočítává zkušební metodou přetlakování nebo sledovacího plynu při deklarovaném tlaku v systému;
- p) energetická náročnost, pokud možno energetická klasifikace, filtrů (deklarované informace o vypočítané roční spotřebě energie);
- q) popis vizuálního upozornění na výměnu filtru u větracích jednotek pro jiné než obytné budovy určených pro použití s filtrem, včetně textu poukazujícího na důležitost pravidelné výměny filtru pro výkon a energetickou účinnost jednotky;



- r) hladina akustického výkonu skříně (LWA) zaokrouhlená na nejbližší celé číslo, v případě větracích jednotek pro jiné než obytné budovy určených k použití ve vnitřních prostorech;
- s) internetová adresa návodu na demontáž v souladu s bodem 3.

4.3 Dopady nařízení Ekodesign na VZT jednotky:

Pro dosažení parametrů požadovaných nařízením 1253/2014 je třeba přizpůsobit návrh jednotky. Důležitým faktorem je rychlost v průřezu jednotky. Při nižší rychlosti proudění dosahuje VZT systém vyšší účinnosti. Jako maximální rychlost pro vyhovění nařízení se jeví rychlost proudění v průřezu jednotky 2 m/s. Při této rychlosti je možné se současnou technologií dosáhnout požadovaných parametrů, jako např. minimální účinnost systému ZZT a měrný příkon ventilátorů. Snížení rychlosti v průřezu má za následek zvětšení jednotky, což nejen že zvyšuje nároky na prostor, ale také na konstrukci objektu vlivem zvýšené hmotnosti. Zvětšení velikosti jednotky má rovněž za následek zmenšení užité plochy objektu. Z tohoto důvodu se pro zpětné získávání tepla začal více využívat rotační výměník namísto běžně používaného deskového z důvodu menších rozměrů a větší účinnosti. Nařízení s sebou také přináší komplikace při rekonstrukcích, protože na jednotky nahrazující stávající není vztažena výjimka. Může nastat situace, že stávající jednotku nebude možné vyměnit z důvodu nedostatečného prostoru pro instalaci nové jednotky, případně bude třeba využít technicky a finančně mnohem náročnějšího řešení.

4.4 Ekodesign a bazénové jednotky

V nařízení komise č. 1253/2014 článku 1 „Předmět a oblast působnosti“ je uvedeno, že se nařízení nevztahuje na větrací jednotky, které zahrnují výměník tepla a tepelné čerpadlo pro zpětné získávání tepla, nebo umožňují, aby přenos nebo odvádění tepla doplňovaly systém zpětného získávání tepla, s výjimkou přenosu tepla pro ochranu před mrazem nebo odmrazování. Tato výjimka je zásadní pro bazénové jednotky, protože většina běžných bazénových sestav využívá deskového rekuperátoru a tepelného čerpadla pro odvlhčování a zároveň ohřev přiváděného vzduchu. Vzhledem k umístění kondenzátoru do přívodní větve a výparníku do odvodní je možné tepelné čerpadlo při větrání využívat pro rekuperaci tepla z odpadního vzduchu, čímž se zvyšuje účinnost zpětného získávání tepla celé sestavy. Bazénové jednotky, které nesplňují tuto výjimku, podléhají nařízení.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

B) Aplikace tématu na zadané budově

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ONDŘEJ BOBROVSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2018

1. Úvod

Cílem této části práce bylo navrhnout dvě možné varianty větrání bazénové haly s technickým a ekonomickým vyhodnocením a porovnáním obou variant. Jako první jednotka pro porovnání byla zvolena standardní bazénová jednotka s tepelným čerpadlem využívaným ke zpětnému získávání tepla. Druhá jednotka je jednotka s řízeným odvlhčováním bez specifického určení pro bazénové haly. Oba návrhy byly posouzeny z hlediska celoročního provozu na základě průměrných denních parametrů a zároveň z hlediska extrémních okrajových podmínek – zimní a letní teplotní extrém a vlhkostní extrém. Vyhodnocení bylo stanoveno na základě následujících vstupních parametrů:

2. Vstupní parametry

2.1 Geografická poloha

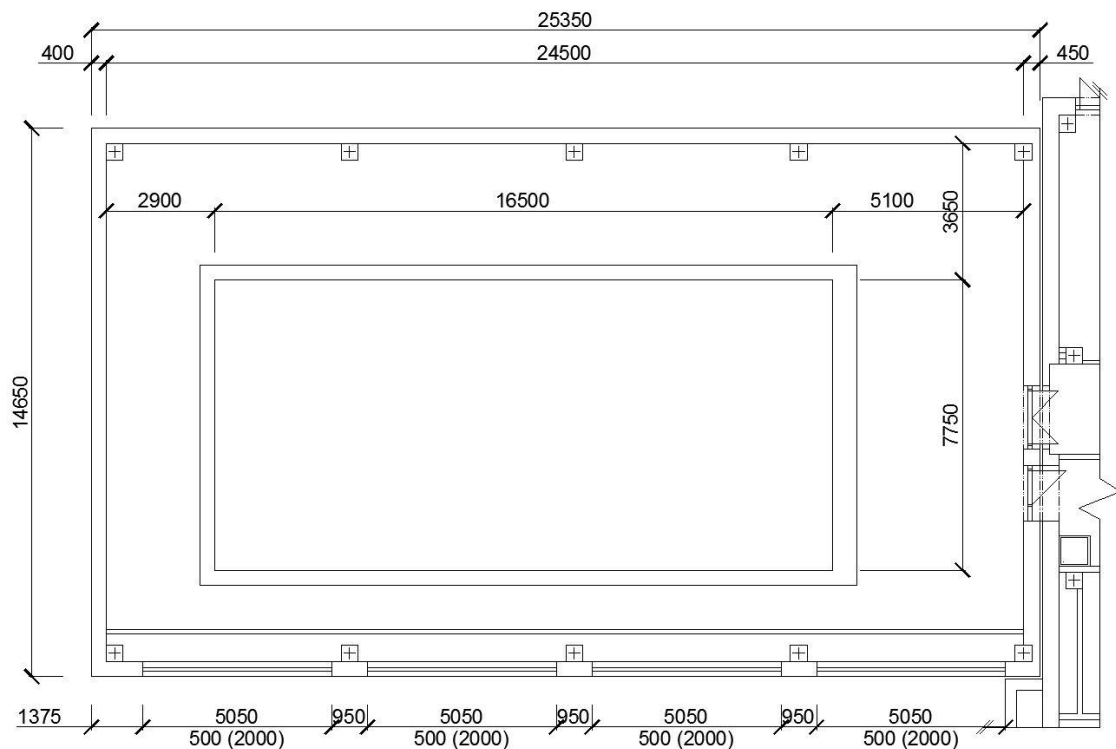
Řešená bazénová hala je umístěna v Brně v nadmořské výšce 237 m.n.m. Z umístění plynou průměrné denní teploty exteriéru pro vyhodnocení roční bilance a rovněž extrémní návrhové podmínky. Pro zimní období je uvažována teplota exteriéru $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkost 95 % a pro letní období $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 35 %. Hlavním problémem bazénových hal je vlhkostní zátěž, proto byl zvolen vlhkostní extrém, pro který platí teplota exteriéru $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkost 90 %.

2.2 Bazénová hala

Uvažovaná bazénová hala je modelována dle bazénové haly na základní škole v Líšni, ve které bylo prováděno experimentální měření. Teplota interiéru je $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Relativní vlhkost v bazénové hale byla stanovena jako kompromis mezi vyhláškou č. 238/2011 Sb., která udává jako mezní hodnotu RH 65 % a mezi německou normou VDI 2086, ve které je určena hranice dusna jako měrná vlhkost 14,3 g/kg. Uvažovaná relativní vlhkost v hale je 60 %. Hodnota zvolené relativní vlhkosti při $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ odpovídá 16,6 g/kg. Zvolená teplota a vlhkost rovněž odpovídají nejčastějšímu stavu vzduchu v měřené bazénové hale z části C. Teplota vody je $29\text{ }^{\circ}\text{C}$. Doba plného provozu bazénové haly pro účely ročního vyhodnocení byla stanovena na 8 hodin denně v pracovní dny i víkendy.

2.2.1 Geometrie

Půdorysné rozměry bazénové haly jsou 24,5x13 m, světlá výška 3 m. Stěnu orientovanou na západ tvoří okna o celkové ploše 40 m². Plocha vodní hladiny je 128 m².



Obr. 14 Schéma bazénové haly

2.2.2 Tepelné ztráty

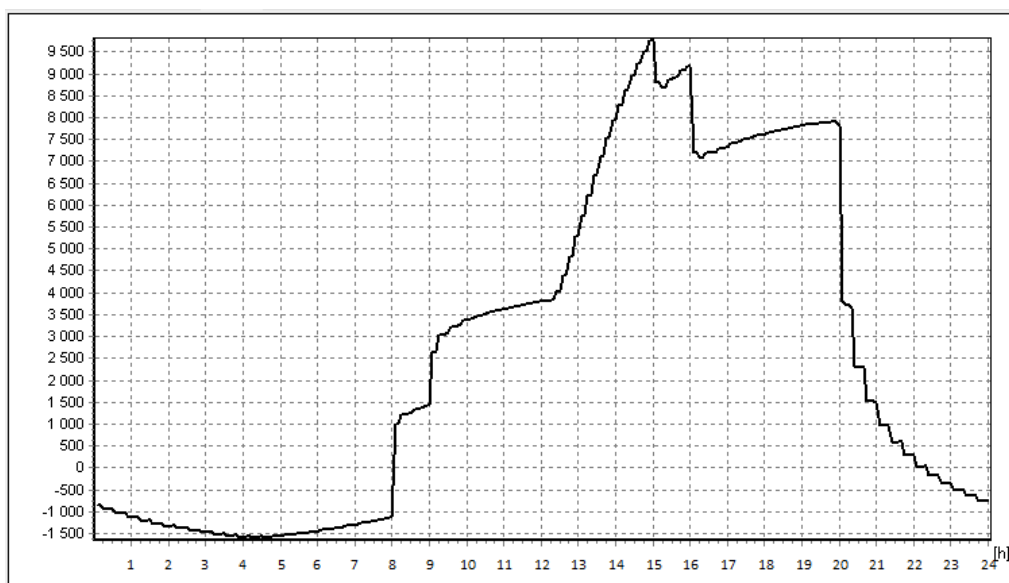
Místnost: Bazénová hala							
Tepelné ztráty přímo do venkovního prostoru							
Ozn.	Popis	A _k	U _k	ΔU	U _{kc}	ek	A _k ·U _{kc} ·e _k
		[m ²]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[-]	[W/K]
SN01	Vnější stěna	155,90	0,24	0,04	0,28	1,00	43,65
OO1	Okno	40,00	1,40	0,04	1,44	1,00	57,60
ST01	Střecha	339,00	0,22	0,04	0,26	1,00	88,14
Celková ztráta do venkovního prostředí [W/K]							189,39
Tepelné ztráty z / do prostorů vytápěných na rozdílné teploty							
Ozn.	Popis	θs	A _k	U _k	f _{ij}	A _k ·U _{kc} ·f _{ij}	
		[°C]	[m ²]	[W/m ² K]	[-]	[W/K]	
SN02	Vnitřní stěna	24,00	29,90	0,24	0,14	1,03	
SN02	Vnitřní stěna	18,00	21,30	0,24	0,29	1,46	
Celková ztráta z / do prostorů vytápěných na rozdílné teploty [W/K]							2,49
Tepelné ztráty zeminou							
Ozn.	Popis	A _k	U _{ekv}	A _k ·U _{ekv}	f _{g1}	f _{g2}	G _w
		[m ²]	[W/m ² K]	[W/K]	[-]	[-]	[-]
P01	Podlaha	211,00	0,18	37,98	1,45	0,60	1,15
Tepelná ztráta zeminou				37,98	f _{g1} ·f _{g2} ·G _w		1,00
Celková tepelná ztráta zeminou [W/K]							38,00
Rozdíl teplot (θ _{int,i} -θ _e)		42,00					
TEPELNÁ ZTRÁTA VODNÍ HLADINOU - VÝPOČET TERUNA							2233,00
CELKOVÁ TEPELNÁ ZTRÁTA MÍSTNOSTI							11887,82

Tab. 2 Tepelné ztráty bazénové haly

Tepelné ztráty byly spočítány dle normy ČSN EN 12831. Pro výpočet byla uvažovaná teplota interiéru 30 °C a teplota exteriéru -12°C. Teplota přilehlých šaten a chodby 24 °C a strojovny 18°C. Tepelná ztráta prostupem činí 12kW.

2.2.3 Tepelná zátěž

Tepelná zátěž pro bazénovou halu byla pro letní extrém spočítána v programu TERUNA. Hodnota maximální tepelné zátěže dosahuje 9,6kW v 15 hodin. Nejvýznamnější vliv na průběh a hodnotu tepelné zátěže má prosklená plocha orientovaná na západ a vnitřní tepelné zisky v podobě osvětlení a lidí.



Obr. 15 Tepelná zátěž bazénové haly

2.2.4 Vlhkostní zátěž

Vlhkostní zátěž byla spočítána dle německé normy VDI 2089 z roku 2010.

$$m_{wo} = \frac{\beta_{(p/n)}}{R_v \cdot \bar{T}} \cdot S_h \cdot (p''_{v(tw)} - p_{v(ti)}) [kg/h]$$

kde:

$\beta_{(p/n)}$ - součinitel přenosu hmoty [m/h]

R_v - plynová konstanta pro vodní páru [kg/K]

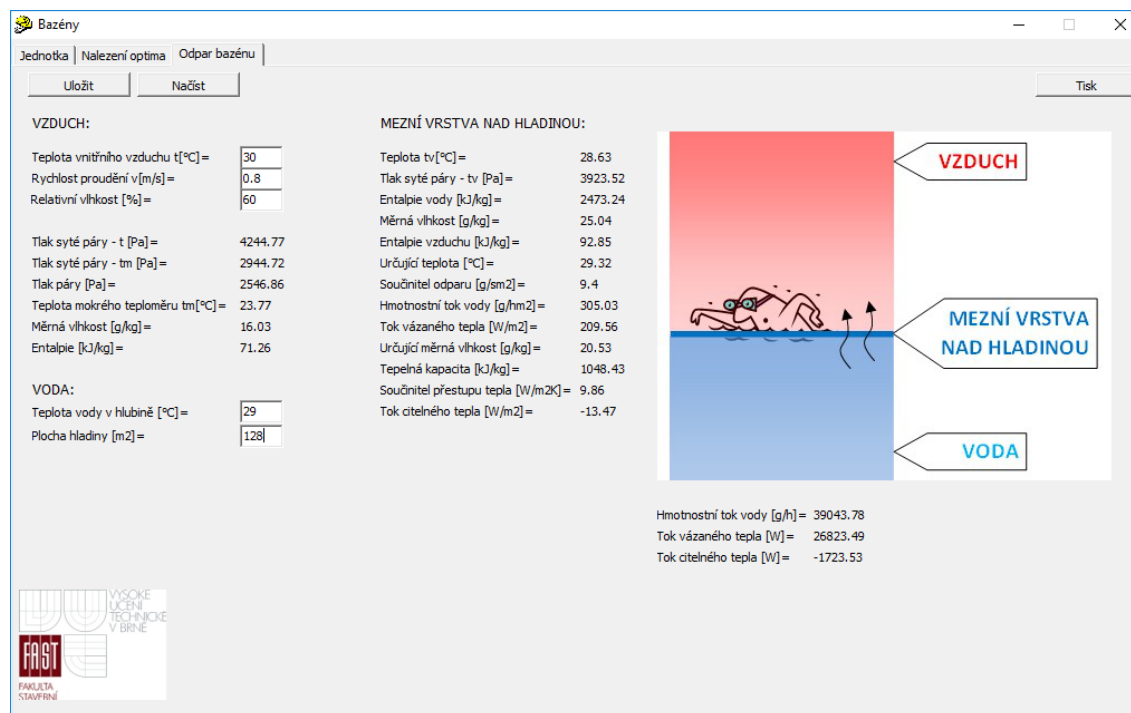
$\bar{T}$ - aritmetický průměr teploty vody a vzduchu [K]

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

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

Vlhkostní zátěž pro řešený bazén v době provozu je 37,41 kg/h, v případě nevyužívání 9,35kg/h.

Vypočítaná hodnota pro plný provoz byla ověřena v programu TERUNA:



Obr. 16 Výpočet odparu v programu TERUNA

Hodnota odparu dle výpočtu v programu TERUNA odpovídá 39,04 kg/h.

Na základě těchto výsledků byla uvažována hodnota vlhkostní zátěže v době provozu 40 kg/h a při klidné hladině 10 kg/h.

2.2.5 Množství čerstvého vzduchu

Vyhláška 20/2012 Sb udává jako minimální dávku vzduchu pro pobytové místnosti 25 m³/h na osobu. Vzhledem k charakteru větrané místnosti je z důvodu použití chloru jako dezinfekčního prostředku bazénové vody uvažováno s dávkou 50 m³/h na osobu. Maximální obsazenost haly je 30 osob.

Výsledné množství čerstvého vzduchu je stanoveno na 1500 m³/h.

2.2.6 Účinnost rekuperátoru

Společným prvkem pro obě uvažované vzduchotechnické jednotky je rekuperátor. Jednotky jsou osazeny protiproudým deskovým rekuperátorem se stejnou uvažovanou tepelnou účinností. Tepelná účinnost rekuperátoru je stanovena na základě nařízení evropské komise 1253/2014 o ekodesignu. Nařízení udává jako minimální hodnotu tepelné účinnosti, tedy poměrem mezi tepelným ziskem přiváděného vzduchu a tepelnou ztrátou odváděného vzduchu, hodnotu 73 %. Této účinnosti musí být dosaženo při vyváženém hmotnostním průtoku a rozdílu teplot mezi exteriérem a interiérem 20 K. S ohledem na nižší účinnost při menším rozdílu teplot, a naopak byly hodnoty účinnosti rekuperátoru stanoveny, pro přiblížení skutečnému stavu, následovně:

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Průměrná měsíční teplota	-1,0	-4,9	5,7	10,2	15,6	19,8	21,3	19,6	18,3	9,1	4,0	-0,3
Tepelná účinnost rekuperátoru	78%	80%	75%	73%	63%	45%	40%	45%	53%	73%	76%	78%

Tab. 3 Tepelná účinnost rekuperátoru

Průměrná měsíční teplota byla převzata z internetových stránek Českého hydrometeorologického ústavu pro rok 2016.

3 Varianta 1 – Bazénová jednotka

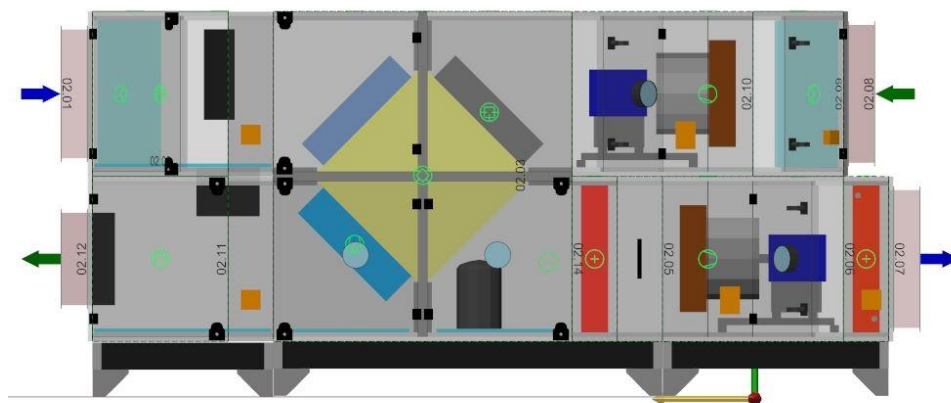
Jako první varianta technického řešení větrání bazénové haly je bazénová jednotka ve standardním provedení. Přívodní část vzduchotechnické jednotky sestává z:

- Pružný nástavec
- Uzavírací klapka
- Filtr M5
- Směšovací komora
- Rekuperátor (účinnost dle tab. 3) s obtokem a směšováním
- Kondenzátor
- Ventilátor
- Vodní ohřívač
- Pružný nástavec

Odvodní část jednotky je složena:

- Pružný nástavec
- Filtr M5
- Ventilátor
- Rekuperátor s obtokem a směšováním
- Výparník
- Směšovací komora
- Uzavírací klapka
- Pružný nástavec

Tepelné čerpadlo je vybaveno druhým kondenzátorem pro odvod přebytečného tepla do vody. Uvažovaný topný faktor (COP) je 4,0 a chladicí faktor (EER) 3,5. Jednotka vytváří v bazénové hale mírný podtlak průtokem vzduchu 5000 m³/h na přívodu a 5100 m³/h na odvodu. Během provozu bazénové haly pracuje jednotka v režimu větrání s částečnou



Obr. 17 Sestava bazénové jednotky



cirkulací. Množství větracího vzduchu odpovídá 1500 m³/h. V tlumeném režimu pracuje jednotka v režimu cirkulace, kdy dochází k odvlhčování na rekuperátoru a výparníku. Pro efektivní využití předchlazení na rekuperátoru je uvažováno s průtokem 1250 m³/h aby došlo na výparníku k zchlazení na nízkou teplotu a využití studeného vzduchu o teplotě 13°C pro ochlazení vzduchu odváděného z bazénové haly. Za tohoto provozu je jednotka schopna pokrýt vlhkostní zátěž 10 kg/h. Vzduch je následně ohřátý na požadovanou teplotu kondenzátorem TČ. Přebytké teplo je rekuperováno do vody. Orientační cena jednotky je 1 000 000 Kč.

4 Varianta 2 – VZT jednotka s řízeným odvlhčováním

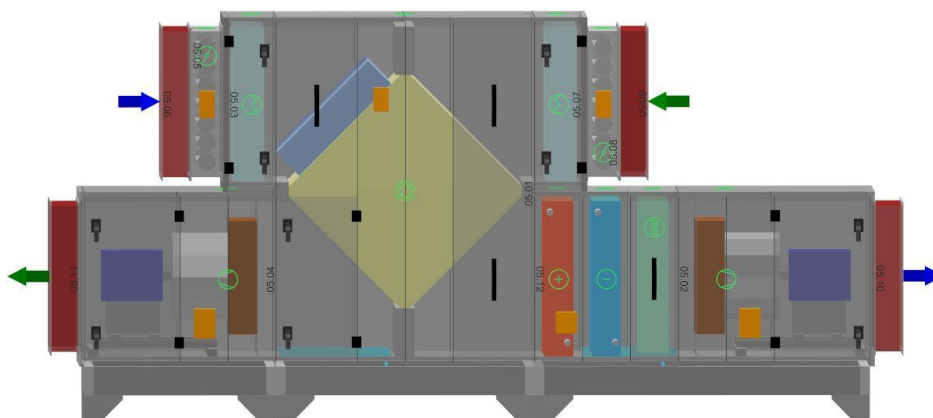
Druhou variantou technického řešení větrání bazénové haly je obyčejná VZT jednotka pro všeobecné použití. Přívodní část jednotky:

- Pružný nástavec (x2)
- Uzavírací klapka
- Filtr M5
- Rekuperátor (účinnost dle tab. 3) s obtokem a směřováním
- Chladič (přímý výpar)
- Vodní ohřívač
- Ventilátor

Odvodní část jednotky je složena:

- Pružný nástavec (x2)
- Filtr M5
- Ventilátor
- Rekuperátor s obtokem a směřováním
- Uzavírací klapka

Uvažovaný chladicí faktor (EER) tepelného čerpadla je 3,5. Jednotka pracuje se stejným množstvím vzduchu jako bazénová jednotka – 5000/5100 m³/h. Při provozu bazénové haly pracuje jednotka na plný režim. V tlumeném provozu je uvažováno se sníženým průtokem 1500 m³/h. Jednotka neobsahuje směšovací komoru. Orientační cena jednotky je 750 000 Kč.



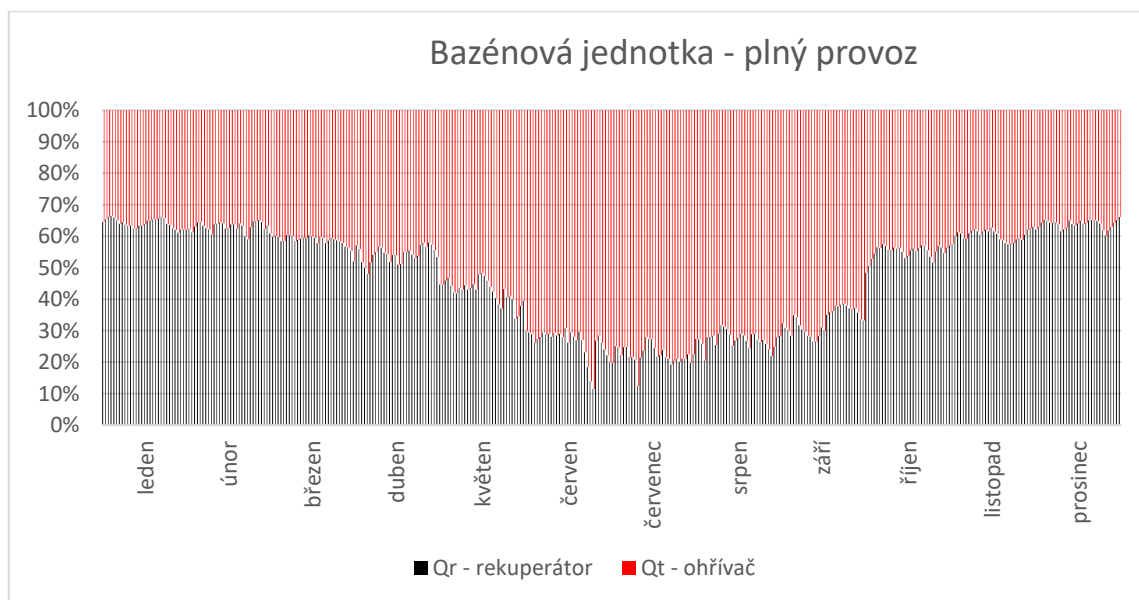
Obr. 18 Sestava jednotky s odvlhčováním

5 Vyhodnocení

5.1 Roční bilance

Výpočet potřeby energie za celý rok byl stanoven na základě daných okrajových podmínek. Pro interiér byla uvažována konstantní teplota 30 °C a relativní vlhkost 60 %. Okrajové podmínky pro exteriér byly uvažovány jako průměrné denní teploty za rok 2016 pro Brno. Denní data byla získána z archívu Českého hydrometeorologického ústavu. Teplota přívodního vzduchu je konstantních 32 °C.

Následující graf zobrazuje poměr mezi množstvím tepla přeneseným rekuperátorem a množstvím tepla dodaným ohřívačem. Kromě účinnosti rekuperátoru má na tento poměr vliv rozdíl teplot exteriéru a interiéru vzhledem k teplotě přiváděného vzduchu.



Graf 2 Poměr přeneseného tepla rekuperátorem a ohřívačem

5.1.1 Potřeba tepla

Potřeba tepla pro větrání byla pro plný režim obou jednotek a pro tlumený režim standardní jednotky spočítána:

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t \cdot \eta_{ZZT} \text{ [W]}$$

kde:

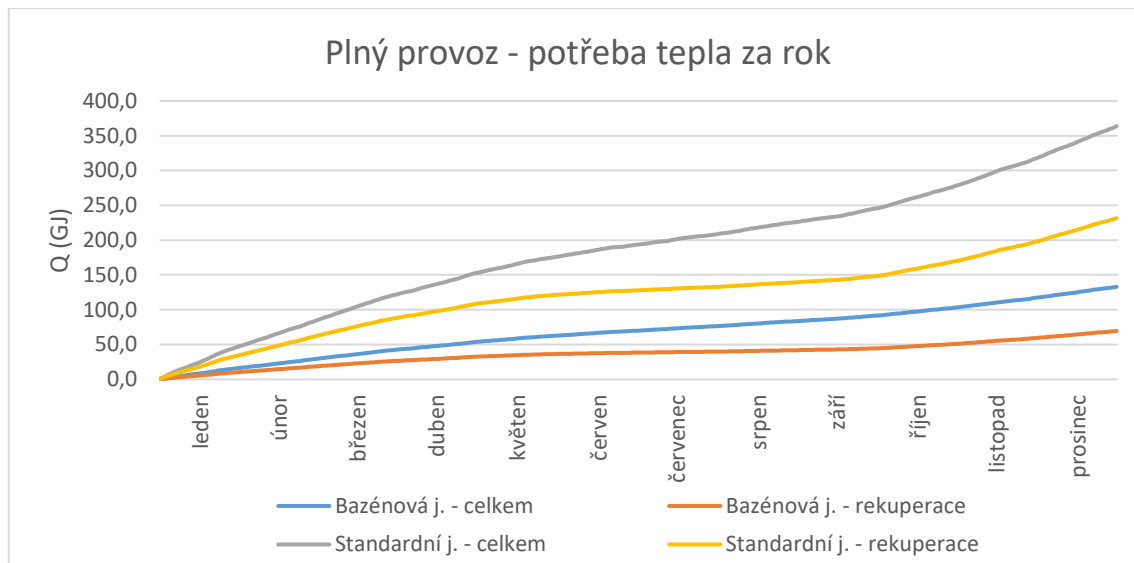
Q – potřeba energie [W]

ρ – objemová hustota [%]

c – měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kgK]

Δt – rozdíl teplot exteriéru a interiéru [K]

η_{ZZT} – tepelná účinnost systému ZZT [%]

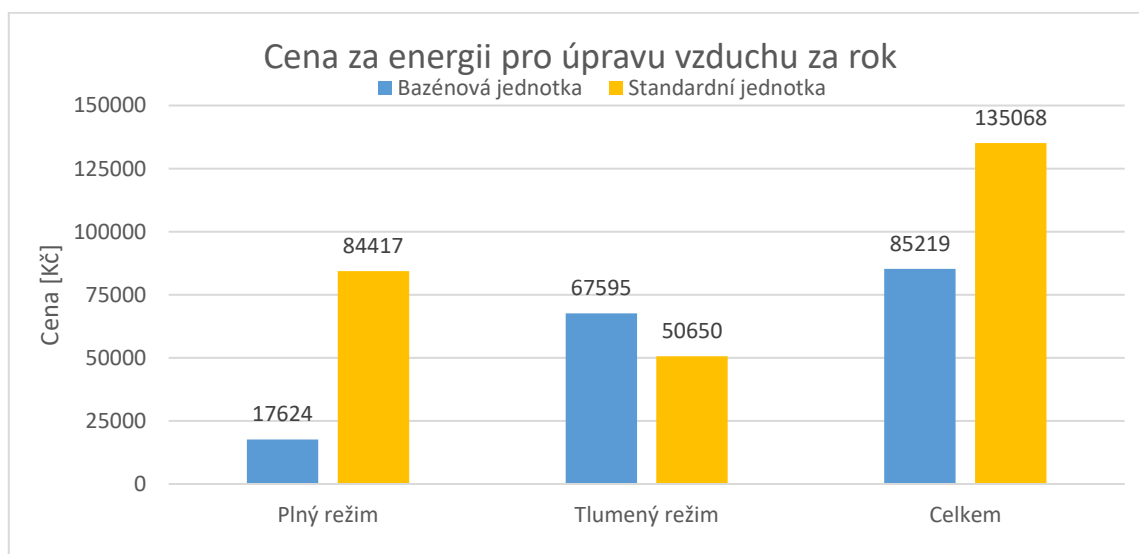


Graf 3 Potřeba tepla za rok

Z porovnání vyplývá, že při plném provozu má nižší potřebu tepla bazénová jednotka. To je dáno využitím cirkulačního vzduchu a snížením množství větracího vzduchu z exteriéru. Jednotky pracují na plný režim 8 hodin denně.

5.1.2 Cena provozu

Cena provozu jednotek byla vypočtena z potřeby tepla pro provoz se zahrnutím plného i tlumeného režimu. Cena zahrnuje pouze energii potřebnou k úpravě vzduchu a nezahrnuje náklady spojené s provozem ventilátorů, prvků MaR a ostatní dílčí náklady. Pro stanovení ceny provozu byla uvažována cena za elektrickou energii 4 Kč/kWh a za tepelnou energii 2,3 Kč/kWh.



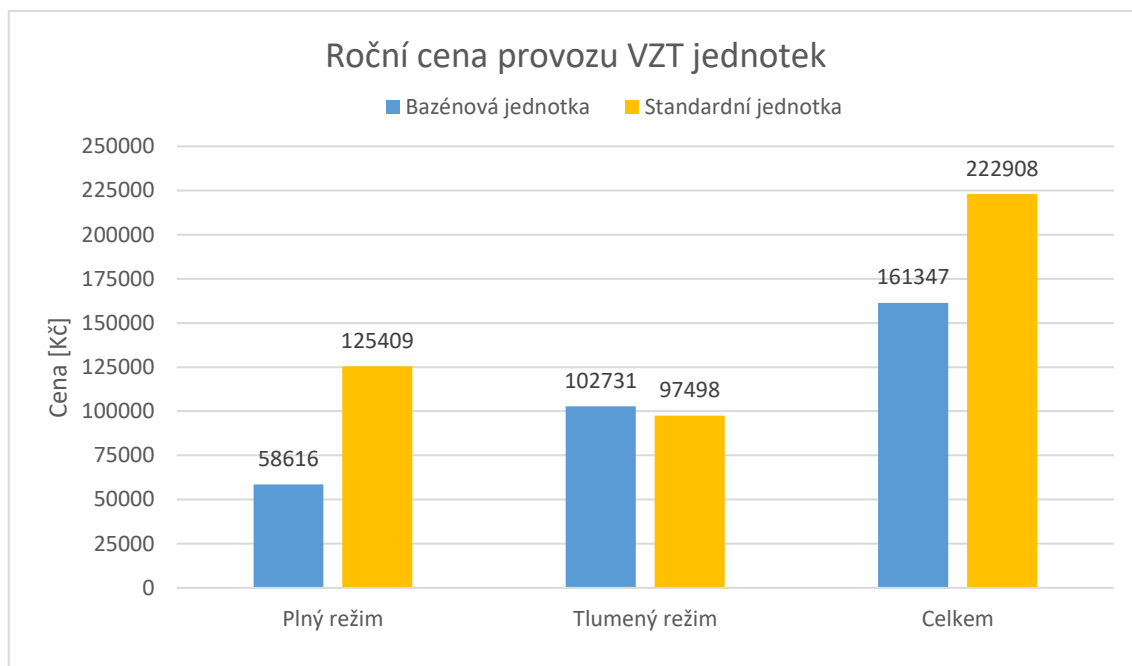
Graf 4 Cena za energii pro úpravu vzduchu za rok

Výrazný rozdíl v provozních nákladech v plném režimu je způsoben využitím cirkulace u bazénové jednotky. Celkově nižší náklady na roční provoz vykazuje bazénová jednotka, ačkoli v tlumeném režimu pracuje ekonomičtěji jednotka s řízeným odvlhčováním. Tento rozdíl je způsoben odlišným provozem při tlumeném režimu a je ovlivněn metodou vyhodnocení. Bazénová jednotka pracuje v tlumeném režimu výhradně s cirkulačním vzduchem, z čehož plyne, že není ovlivněna aktuálními povětrnostními vlivy. Druhá varianta počítá s jednotkou bez směšovací komory, která musí i v případě tlumeného režimu pracovat s venkovním vzduchem. Roční bilance počítá s průměrnými denními teplotami, a nezahrnují extrémy, které by v tlumeném režimu působily ve prospěch bazénové jednotky. Navzdory nižším provozním nákladům dokáže tlumený režim standardní jednotky zajistit potřebné odvedení vlhkostní zátěže z bazénové haly bez použití chladiče až do měrné vlhkosti exteriéru 10,8 g/kg, tedy ekvivalentu 25 °C a 52 % relativní vlhkosti.

V roční bilanci není zahrnuta možnost využití přebytečného tepla vyprodukovaného tepelným čerpadlem bazénové jednotky v cirkulačním režimu. Po započítání tepla potřebného na dohřev vzduchu po odvlhčení odpovídá množství přebytečného tepla 47,8 MWh za rok, což při ceně 2,3 Kč za kilowatthodinu činí 110 000 Kč. Takto vyprodukované teplo může být využito např. pro ohřev bazénové vody, nebo přehřev vody do sprch, čímž dojde ke snížení provozních nákladů bazénové haly.

Po započítání ceny za provoz ventilátorů s uvažovaným příkonem 3,5kW v plném režimu a 2kW v tlumeném režimu pro jednotku s řízeným odvlhčováním a s příkonem 3,5kW a 1,5kW pro bazénovou jednotku, dostaneme přibližný odhad celkových provozních nákladů obou jednotek.

Roční cena provozu bazénové jednotky vychází na 162 000 Kč, což je o 27 % méně než provoz jednotky s řízeným odvlhčováním, jejíž provoz stojí ročně 223 000 Kč.

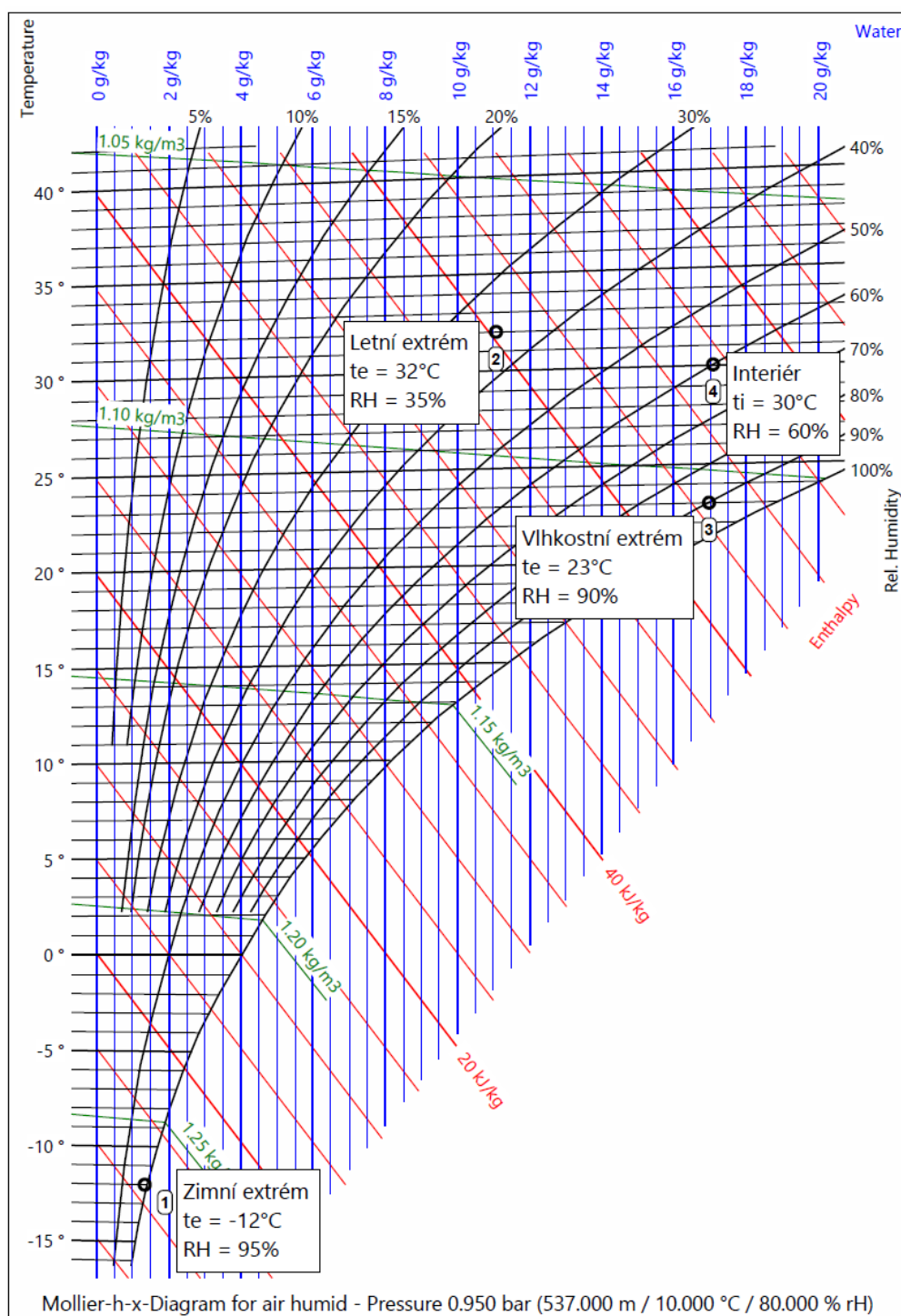


Graf 5 Roční náklady na provoz VZT jednotek se započítáním energie pro ventilátory

5.2. Extrémní návrhové podmínky

Pro dimenzování výměníků je třeba počítat s extrémními teplotami a v případě bazénové haly i s extrémní vlhkostí exteriéru. Pro vyhodnocení jsou uvažovány následující okrajové podmínky:

Vlhkostní zátěž: $M_w = 40 \text{ kg/h}$



Obr. 19 Návrhové okrajové podmínky

5.2.1. Bazénová jednotka

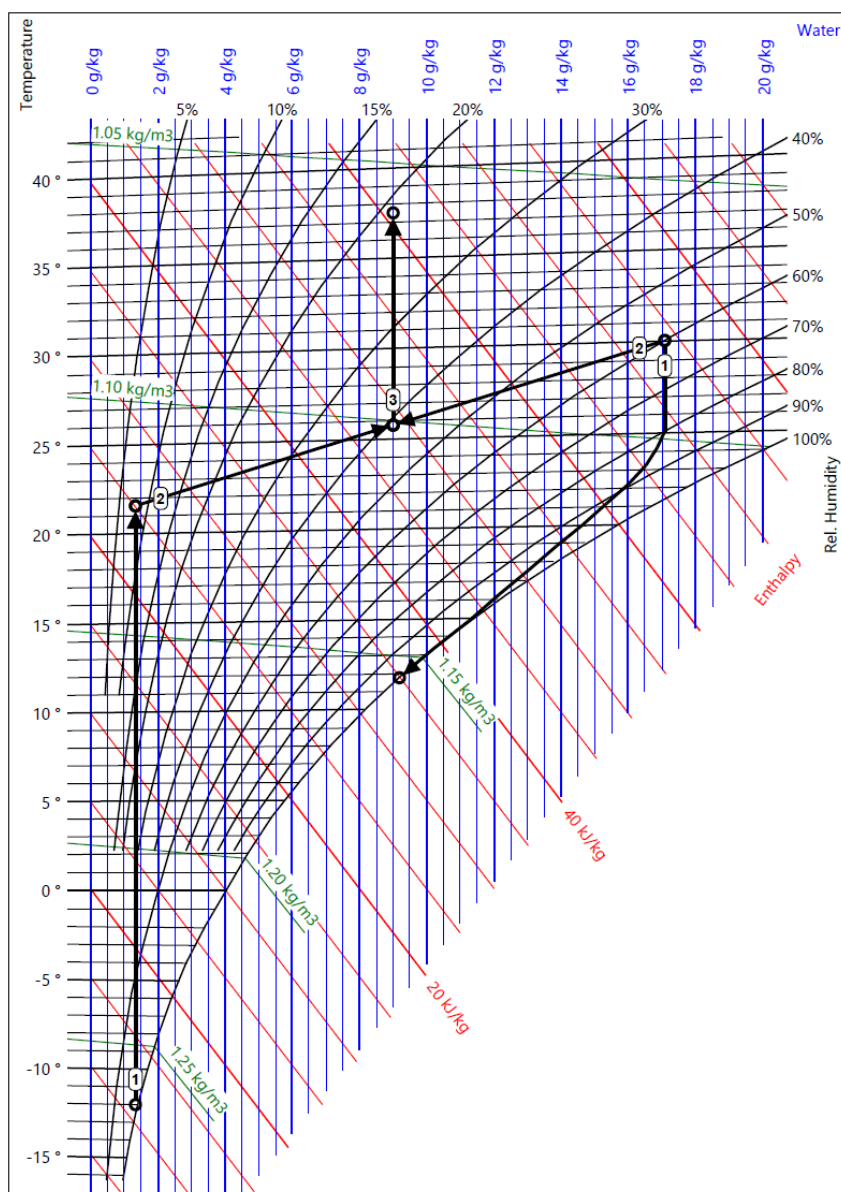
Zimní extrém

V zimním extrému pokrývá bazénová jednotka tepelné ztráty 12kW. Jednotka pracuje s 50 % cirkulačního vzduchu. Pro výpočet je uvažováno s tepelnou účinností rekuperátoru 80 %. Zpětné získávání tepla zajistí ohřev vzduchu z -12°C na $21,6^{\circ}\text{C}$. Po rekuperaci dojde ke smísení přiváděného vzduchu s cirkulačním. Teplota směsi odpovídá $25,8^{\circ}\text{C}$. Následuje ohřev pomocí vodního ohřívače. Provoz tepelného čerpadla je při nízkých teplotách nevhodný z důvodu nízké teploty ($11,8^{\circ}\text{C}$) odváděného vzduchu po rekuperaci. V daném režimu zajistí jednotka odvlhčení bazénové haly o 48,8kg/h.

Parametry výměníků:

Rekuperátor: 29,8 kW ($\eta = 80\%$)

Vodní ohřívač: 18,3 kW



Obr. 20 Bazénová jednotka – zimní extrém

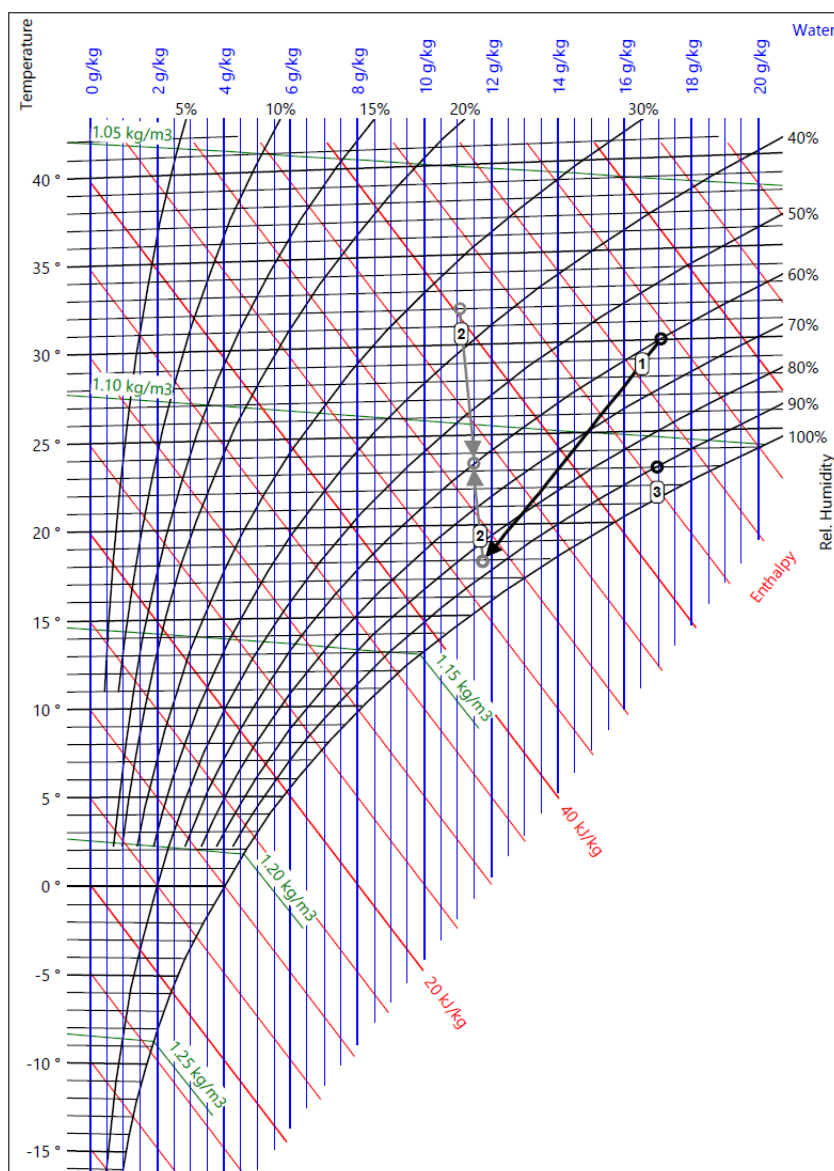
Letní extrém

V letním extrému je třeba pokrýt tepelnou zátěž 9,6kW a zajistit potřebné odvlhčení haly. V době provozu musí jednotka zajistit minimální dávku čerstvého vzduchu pro pobývací osoby. Vzhledem k umístění chladiče na odvodní větví dochází ke ztrátě části odvlhčeného vzduchu. Poměr cirkulačního a větracího vzduchu závisí na teplotě a vlhkosti venkovního vzduchu. V případě nízké vlhkosti je možné přivádět více čerstvého vzduchu pro větší odvlhčovací efekt. Za uvažovaných venkovních parametrů 32°C a 35 % relativní vlhkosti se jeví jako nejekonomičtější odvlhčení odváděného vzduchu na 12 g/kg a následné smísení s venkovním vzduchem. Množství cirkulačního vzduchu odpovídá 60 %. Smísení zajistí navýšení teploty na přívodní teplotu 24,5 °C, při které jednotka pokryje tepelnou zátěž. V případě plného provozu, a tedy hodnoty odparu 40 kg/h, dojde v letním extrému k dočasnému zvýšení vlhkosti v bazénové hale na 18,5 g/kg, což při teplotě 31 °C odpovídá relativní vlhkosti 61 %.

Parametry

výměníků:

Chladič: 38,3 kW



Obr. 21 Bazénová jednotka – letní extrém

Vlhkostní extrém

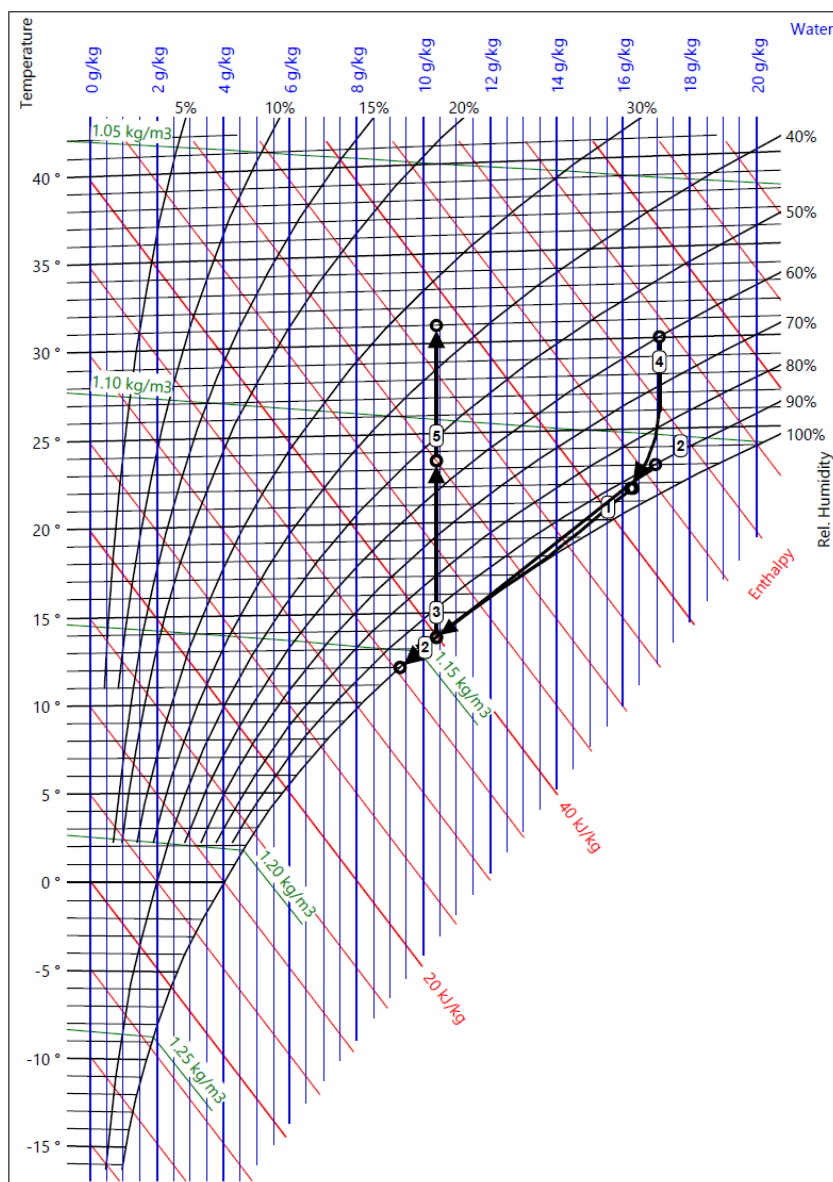
Pro prověření schopnosti jednotky zajistit přípustnou relativní vlhkost v bazénové hale slouží tzv. vlhkostní extrém. Při vlhkostním extrému je uvažováno s teplotou exteriéru 23 °C a relativní vlhkostí 90 %. Takové podmínky mohou nastat např. v létě při dešti. Rekuperátor zajistí ochlazené odváděného vzduchu, čímž dojde ke snížení potřebného výkonu chladiče. Na výparníku dojde k potřebnému odvlhčení, načež je upravený vzduch smísen s čerstvým vzduchem pro zajištění provětrání bazénové haly. Kondenzátor tepelného čerpadla zajistí ohřev vzduchu na požadovanou teplotu. Podobně jako v případě letního extrému v bazénové hale dočasně stoupne relativní vlhkost na 62 % při 30 °C, což odpovídá 17,5 g/kg.

Parametry výměníků:

Rekuperátor: 16,0 kW ($\eta = 60\%$)

Chladič: 41,6 kW

Ohřívač: 11,7 kW



Obr. 22 Bazénová jednotka – vlhkostní extrém

5.2.2 Jednotka s řízeným odvlhčováním

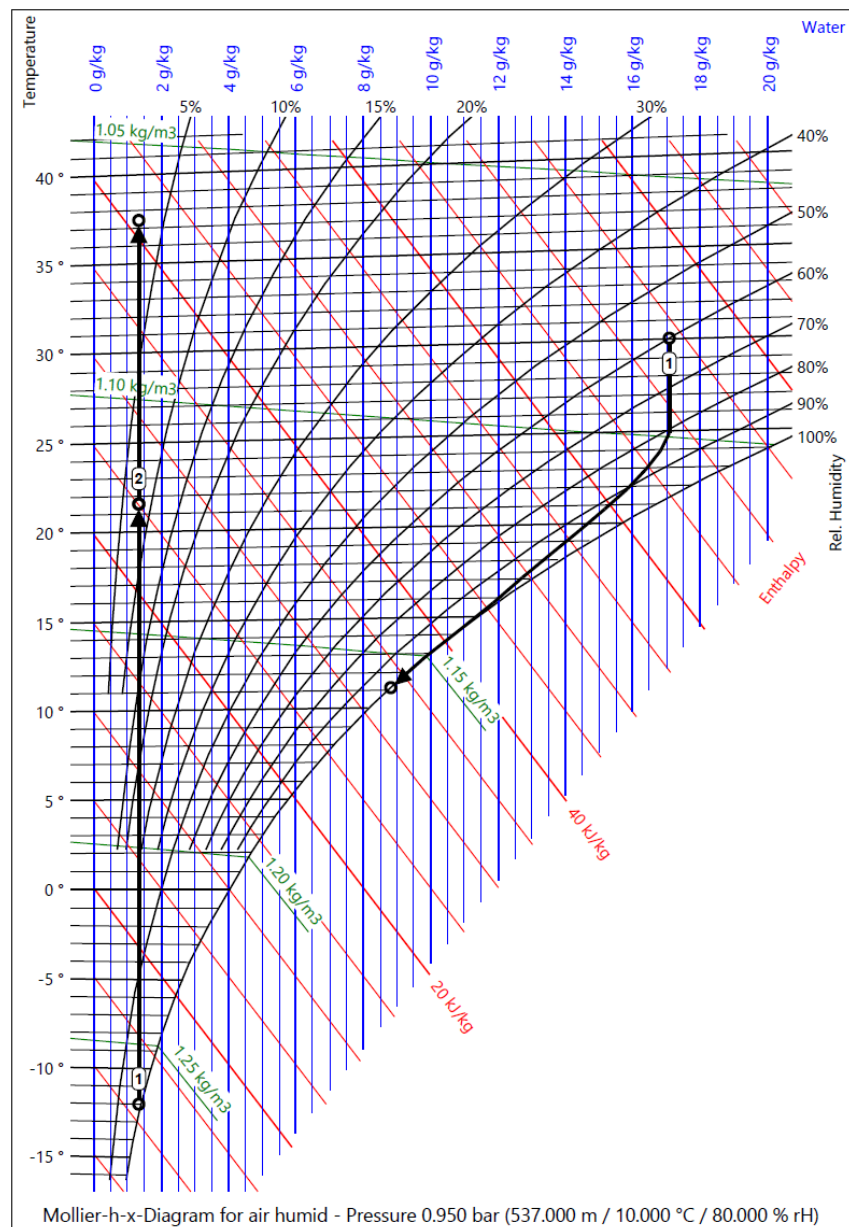
Zimní extrém

V zimním extrému jednotka využívá rekuperátor a vodní ohřívač k úpravě vzduchu na teplotu 37,5 °C pro pokrytí tepelné ztráty. Vzhledem k nízké absolutní vlhkosti venkovního vzduchu a absenci směšovací komory vykazuje jednotka v tomto režimu velký odvlhčovací výkon.

Parametry výměníků:

Rekuperátor: 59,5 kW ($\eta = 80\%$)

Ohřívač: 25,0 kW



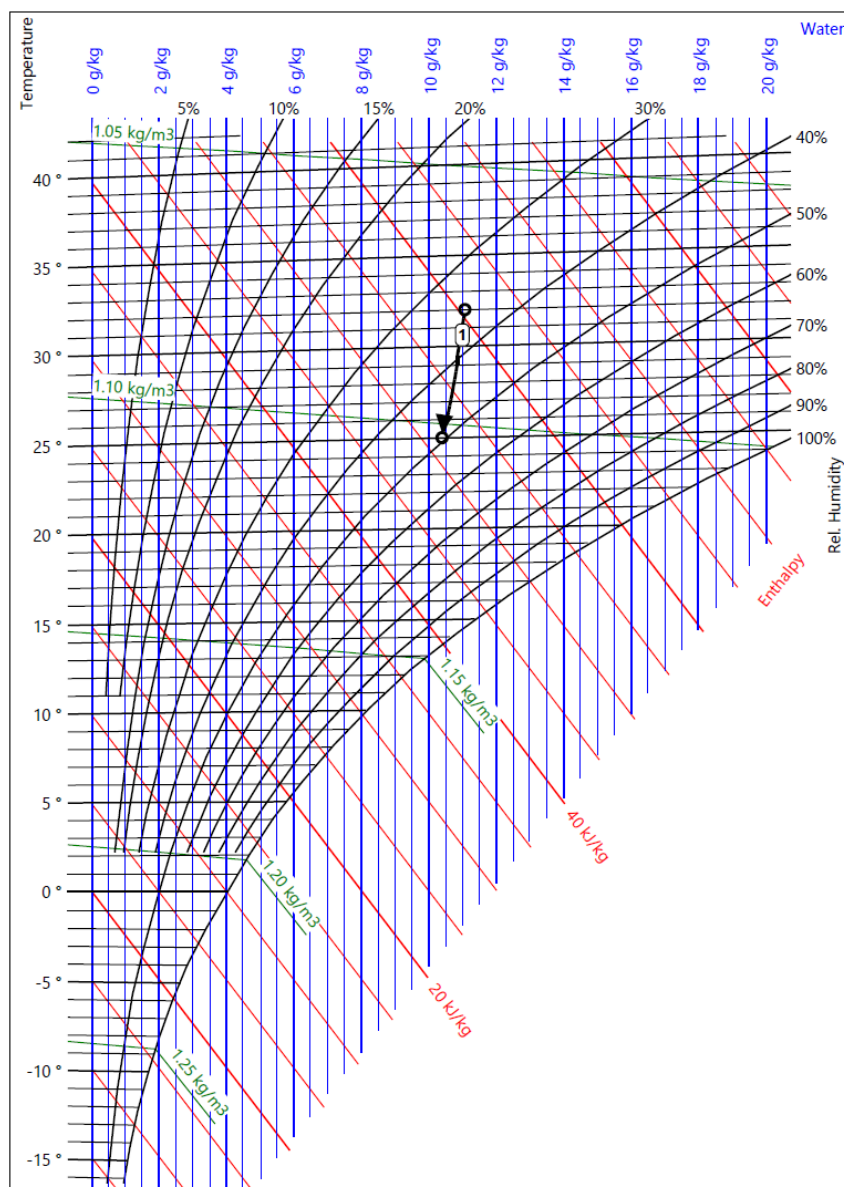
Obr. 23 Jednotka s řízeným odvlhčováním – zimní extrém

Letní extrém

V letním provozu je pro standardní jednotku výhodné umístění chladiče v přívodní větvi. Při chlazení na teplotu 25 °C, pro pokrytí tepelné zátěže, tak není třeba ochlazovat vzduch z bazénové haly o entalpii 73,8 kJ/kg, ale venkovní o entalpii 60,5 kJ/kg. Stejně jako v případě bazénové jednotky je uvažováno s mírným navýšením měrné vlhkosti v bazénové hale na 18 g/kg.

Parametry výměníků:

Chladič: 13,1 kW



Obr. 24 Jednotka s řízeným odvlhčováním – letní extrém

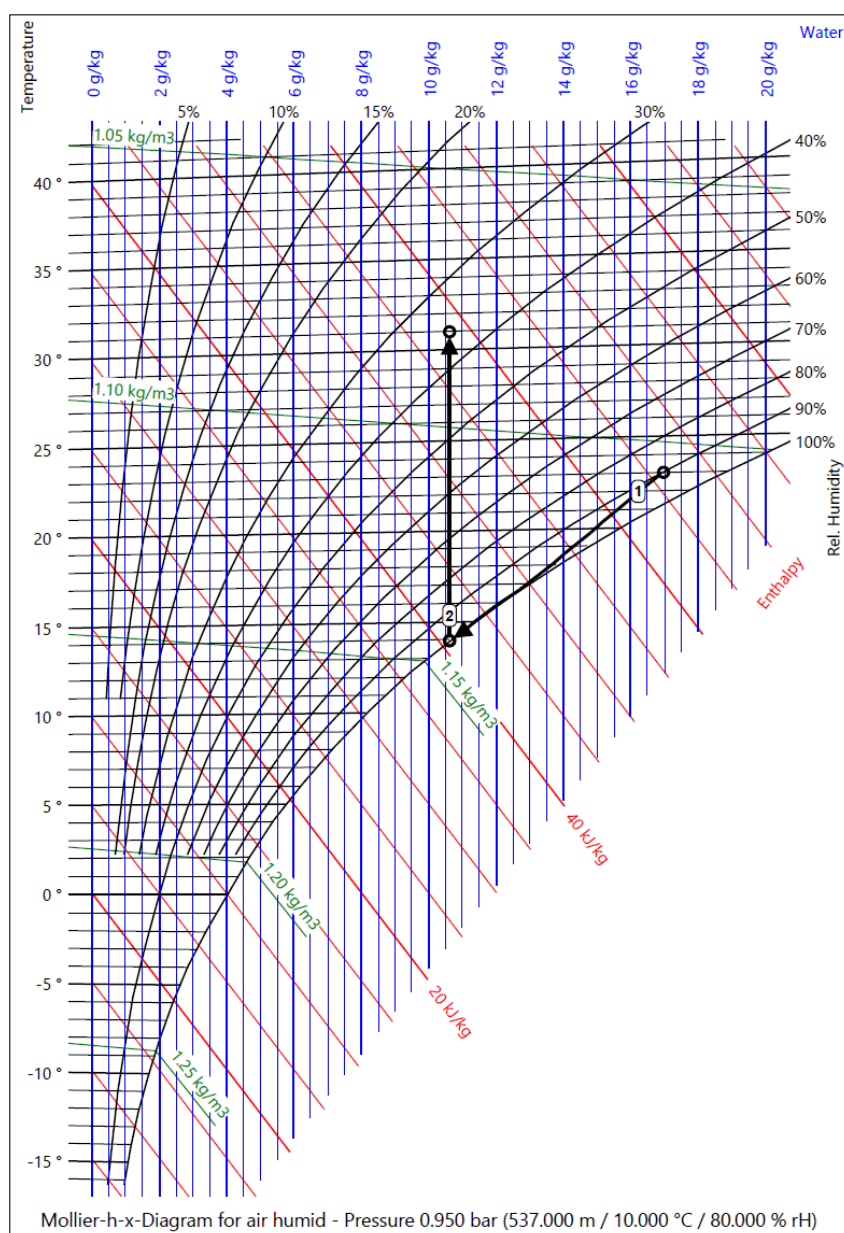
Vlhkostní extrém

Pro úpravu vzduchu při vlhkostním extrému je třeba u standardní jednotky využít jak chladič, tak ohřívač pro dohřev vzduchu na požadovanou teplotu. Na rozdíl od bazénové jednotky není ve standardní jednotce umístěn kondenzátor tepelného čerpadla, proto není možné využít odpadní teplo z odvlhčování pro dohřev.

Parametry výměníků:

Chladič: 38,3 kW

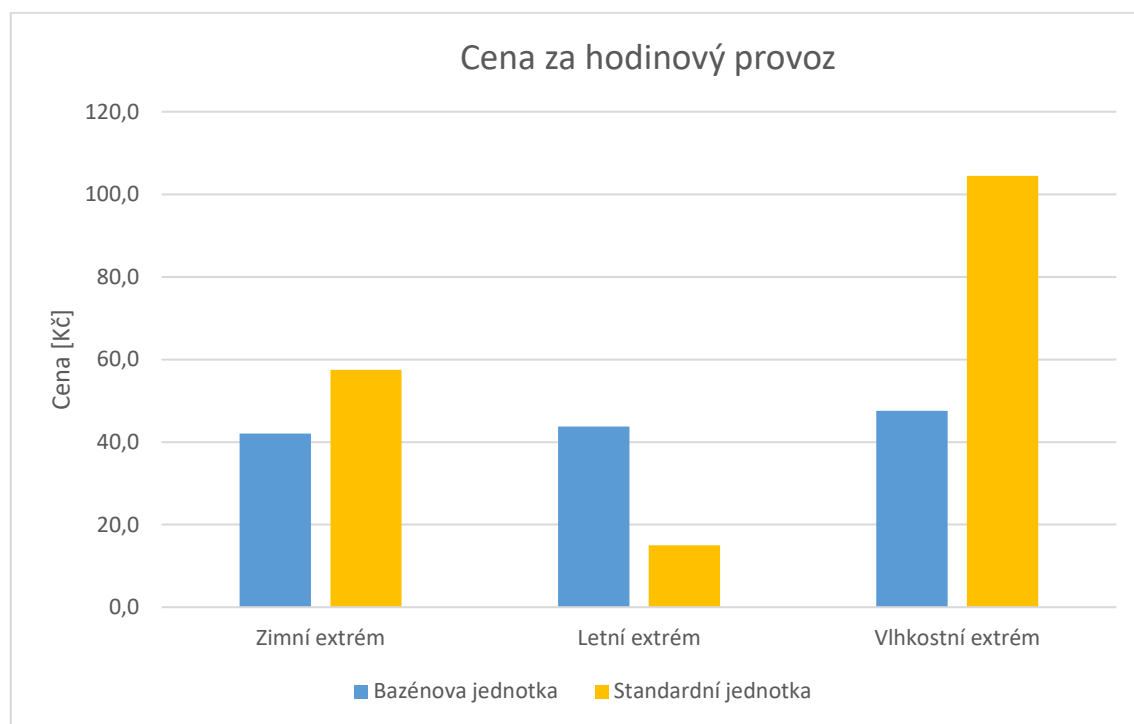
Ohřívač: 26,4 kW



Obr. 25 Jednotka s řízeným odvlhčováním – vlhkostní extrém

5.3 Klimatické extrémy

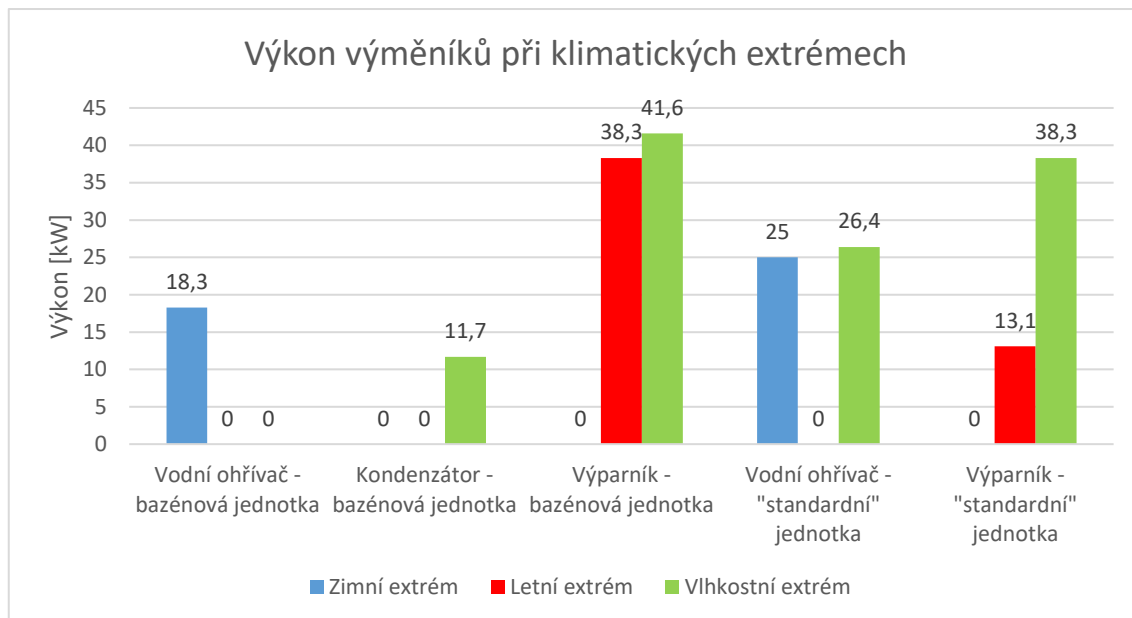
Vyhodnocení je provedeno na základě energetické náročnosti úpravy vzduchu bez započtení ceny provozu ventilátorů a dílčích nákladů. Uvažovaná cena za elektrickou energii je 4 Kč/kWh a za tepelnou energii 2,3 Kč/kWh.



Graf 6 Cena za hodinový provoz při klimatických extrémech

Z vyhodnocení je patrné, že rozdílem ceny v provozu v zimním extrému je využití cirkulačního vzduchu u bazénové jednotky. V letním extrému má na cenu provozu bazénové jednotky negativní dopad umístění chladiče na odvodní větví a tedy nemožnost přímo chladit větrací vzduch. Vzhledem k nutnosti cirkulace pro odvlhčení a chlazení a k potřebě zajistit minimální dávku větracího vzduchu dochází k ztrátě části upraveného vzduchu. Ve vlhkostním extrému je u bazénové jednotky výhodou využití rekuperátoru pro předchlazení odváděného vzduchu a využití jak výparníku, tak kondenzátoru pro dohřev přiváděného vzduchu.

Potřebné výkony výměníků pro pokrytí klimatických extrémů jsou zobrazeny v následujícím grafu:



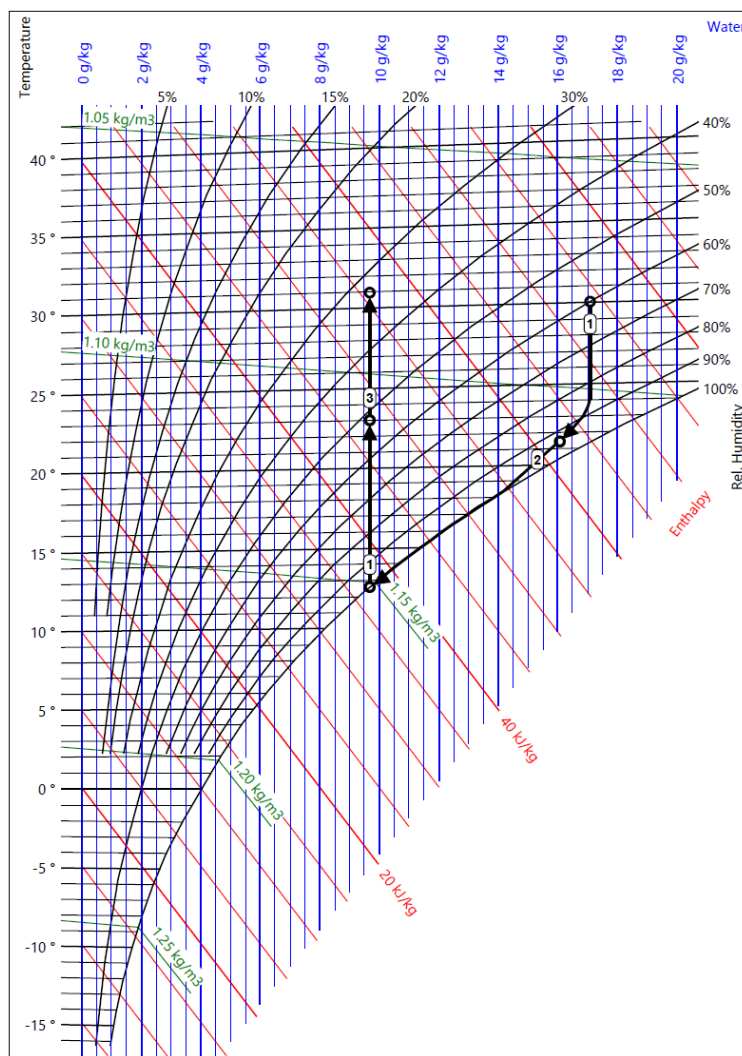
Graf 7 Porovnání potřebného výkonu výměníků pro pokrytí návrhových extrémů

5.4 Cirkulační režim bazénové jednotky

Největší výhodou bazénové jednotky je možnost pracovat v plně cirkulačním režimu a využívat při tom u tepelného čerpadla výparníku i kondenzátoru a snižovat energetické nároky na TČ pomocí rekuperátoru. Díky kondenzačnímu odvlhčování a přebytku tepla při odvlhčování dokáže jednotka reagovat na změnu tepelné bilance bazénové haly bez výrazného navýšení provozních nákladů. Provoz TČ rovněž umožňuje využívat přebytečné teplo po celý rok.

	Průtok	Výkon rekuperátoru	Výkon chladiče	Výkon ohřivače	Maximální tepelná zátěž ($t_i=30^\circ\text{C}$)	Maximální tepelné ztráty ($t_i=30^\circ\text{C}$)	Odvlhčovací výkon	Cena za hodinu
	[m ³ /h]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kg/h]	[Kč]
Tlumený režim	1250	4,3	9,3	3,1	2,8	7,5	10	10,6
	2500	8,5	19,2	6,2	5,4	14,8	20	21,9
	3750	12,7	28,8	9,4	8,2	22,3	30	32,9
Plný režim	5000	16,9	38,3	12,5	11,3	29,7	40	43,8

Tab. 4 Parametry cirkulačního režimu



Obr. 26 Bazénová jednotka – cirkulační režim

6 Technická zpráva

Varianta č. 1 –

Bazénová jednotka

6.1 Úvod

6.1.1 Účel a funkce zařízení

Předmětem projektové dokumentace je návrh vzduchotechnického zařízení pro účel klimatizace bazénové haly. Návrh byl proveden v souladu s hygienickými požadavky na výměnu vzduchu s ohledem na komfort osob pobývajících v bazénové hale.

6.1.2 Výchozí podklady

Výchozími podklady pro zpracování dokumentace byly:

- stavební výkresy
- hygienické předpisy
- ČSN a legislativa oboru vzduchotechnika

Součástí projektu nejsou navazující profese.

6.1.3 Použité předpisy a obecné technické normy

- Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb
- Nařízení vlády č.361/2007 Sb. kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci se změnami 68/2010 Sb, 93/2012 Sb
- Nařízení vlády č.272/2011 Sb. ze dne 24. srpna, kterým se mění nařízení vlády č. 88/2004 Sb, o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- ČSN EN 12 236 – Větrání budov – Závěsy a uložení potrubí – Požadavky na pevnost
- ČSN EN 13 779 - Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení
- ČSN EN 1886 - Větrání budov – Potrubní prvky – Mechanické vlastnosti
- ČSN 12 7010 - Vzduchotechnická zařízení. Navrhování větracích a klimatizačních zařízení.

Všeobecná ustanovení

- ČSN 73 0802 - Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty (2009)
- ČSN 73 0810 - Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení (2009)
- ČSN EN 378 Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Bezpečnostní a environmentální požadavky (prosinec 2012)

6.1.4 Výpočtové hodnoty klimatických poměrů

Místo	:	Brno
Nadmořská výška	:	237 m.n.m.
Normální tlak vzduchu	:	0,0975 MPa
Letní výpočtová teplota	:	+32 °C
Zimní výpočtová teplota	:	-12 °C

6.2 Mikroklimatické podmínky, zadávací parametry a dimenzování

Parametry interního mikroklima jsou dány hygienickými předpisy, směrnici, normami a požadavky investora.

6.2.1 Množství přiváděného vzduchu

Celkový objem vzduchu pro odvlhčování bazénu je navržen pro pokrytí vlhkostní a tepelné zátěže a tepelné ztráty. Množství dopravovaného vzduchu zařízením je řízeno na základě integrovaného systému MaR, který je součástí odvlhčovací jednotky. Množství vzduchu (čerstvý vzduch, cirkulace) je řízeno na základě integrovaných čidel parametrů vzduchu.

Množství větracího vzduchu pro bazénovou halu je dáno těmito zadávacími parametry:

Plocha bazénu	128 m ²
Objem bazénové haly	890 m ³ (plocha 318,5 m ² x výška 3 m)
Teplota bazénové vody	29 °C
Teplota vzduchu	30 °C
Zakrývání vodní hladiny	ne

Z hlediska návrhu byla využita metodika dle VDI 2089 s těmito výsledky:

Vzduchový výkon VZT zařízení	5000 m ³ /h
Odvlhčovací výkon celkový	40 kg/h
Vlhkostní zátěž dle VDI 2089	37,4 kg/h
Klidový provoz	10 kg/h

6.2.2 Množství odváděného vzduchu

Odvod vzduchu z prostoru bazénové haly zajišťuje bazénová jednotka distribučními elementy umístěnými nad vodní plochou pracující celkově v podtlaku.

6.2.3 Vstupní data pro výpočet tepelných zisků

Jednotka pokrývá tepelnou zátěž bazénové haly stanovený výpočtem na 9,6 kW.

6.2.4 Vstupní data pro úhradu tepelných ztrát

Tepelné ztráty bazénové haly byly stanoveny dle ČSN 12 831. Bazénová jednotka pokrývá tepelné ztráty 12 kW teplovzdušným vytápěním.

6.2.5 Dimenzování ohřevu

Zimní výpočtová normová teplota pro Brno je $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, na tuto hodnotu je dimenzován systém ohřevu vzduchu. Vzduch je ohříván pomocí křížového deskového rekuperátoru (zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu) a teplovodního ohříváče. Dimenzování výměníku ohřevu bylo stanoveno z výchozí hodnoty teploty za rekuperátorem, jehož účinnost je minimálně stanovena na 73 %. Ohříváč vzduchu je dimenzován na ohřev z teploty za rekuperátorem na požadovanou teplotu přívodního vzduchu. Teplota topné vody je uvažována 65/50 $^{\circ}\text{C}$.

6.2.6 Stavy vnitřního mikroklima

Bazénová hala t_i = zajišťuje UT+VZT na 30 $^{\circ}\text{C}$,
 RH = max. 60 % v zimě, max. 65 % v létě

6.2.7 Hlukové parametry

Bazénová hala 50 dB
Technické prostory 65 dB

6.2.8 Provozní stavy VZT zařízení

Systémy VZT bazénové jednotky bude řízeno integrovaným řídicím systémem. Systém MaR umožní dálkový přístup.

Základními provozními stavy jsou:

Režim větrání – jednotka zajišťuje větrání bazénové haly s částečnou cirkulací

Režim cirkulace – při nevyužívání bazénové haly, jednotka zajišťuje pokrytí tepelné a vlhkostní zátěže a tepelných ztrát

6.3 Popis VZT zařízení

6.3.1 Popis zařízení a jeho provozních stavů

Zařízení č.1 – Bazénová hala – K(-v)

Pro větrání a odvlhčování bazénové haly je navržena samostatná kombinovaná bazénová VZT jednotka ve vnitřním provedení pro přívod a odvod vzduchu, která je umístěna ve strojovně bazénové technologie + VZT. Přívod, úpravu a odvod vzduchu do resp. z prostoru bazénové haly zajistí VZT jednotka pracující s proměnným množstvím čerstvého vzduchu. Vzduchotechnická jednotka bude vybavena systémem ZZT, je použit křížový deskový rekuperátor s oddělenými proudy vzduchu a systémem tepelného čerpadla pro odvlhčování a rekuperaci. Systém je dimenzován na odvlhčení bazénové haly s plochou vodní hladiny 128 m².

Přívodní část klimatizační jednotky:

- tlumicí vložka – zamezuje přenosu chvění z jednotky do potrubního systému,
- uzavírací klapka – slouží k uzavírání přívodu venkovního vzduchu, servopohon (dodávka MaR) je s havarijní funkcí pro automatické uzavření při výpadku zařízení,
- filtrační komora s filtrem M5 – výměna při dvojnásobku tlakové ztráty čistého filtru,
- směšovací klapka,
- deskový rekuperační výměník s obtokem a integrovaným směšováním,
- systém tepelného čerpadla, kondenzátor
- ventilátor – EC motor,
- ohřívač – topná voda 65/50 °C,
- tlumicí vložka – zamezuje přenosu chvění z jednotky do potrubního systému.

Odvodní část klimatizační jednotky:

- tlumicí vložka – zamezuje přenosu chvění z jednotky do potrubního systému,
- uzavírací klapka,
- filtrační komora s filtrem M5 – slouží jako ochrana rekuperátoru, výměna při dvojnásobku tlakové ztráty čistého filtru,
- ventilátor – EC motor,
- deskový rekuperační výměník s integrovaným směšováním,
- systém tepelného čerpadla, výparník
- směšovací klapka,
- uzavírací klapka,
- tlumicí vložka – zamezuje přenosu chvění z jednotky do potrubního systému.

VZT jednotka bude osazena na rámu, který je součástí dodávky VZT jednotky.

Sání vzduchu bude řešeno přes nasávací potrubí opatřeným parotěsnou izolací zakončený sacím kolenem na střeše objektu. Výfuk vzduchu je řešen potrubím přes fasádu objektu,

zakončený protidešťovou žaluzií. Do vzduchovodů přívodu, odvodu, sání a výfuku jsou osazeny tlumiče hluku.

Koncovými elementy přívodu vzduchu budou přívodní štěrbinové výustě s plenum boxem a vířivé anemostaty. Pro odvod vzduchu jsou osazeny odvodní anemostaty.

Potrubí pro přívod, odvod a výfuk bude plastové – materiál PVC. Vzduch bude do prostoru bazénové haly přiváděn potrubím vedeným v podhledu, potrubí bude vyspádováno a odvodněno (zajistí profese ZTI). Veškeré potrubí bude vodotěsné a odvodněné.

V rámci prostoru strojovny bazénové technologie je nutno provést vzájemnou koordinaci postupu prací všech profesí.

Ovládání zařízení zajistí autonomní plně automatický systém MaR.

6.3.2 Popis společných prvků a opatření

EC motory

Jednotka je vybavena z důvodu rozsahu možných provozních stavů EC motory, prokabelování mezi motorem ventilátoru a systémem řízení je součástí dodávky VZT jednotky.

Otáčky ventilátorů budou řízeny na základě udržování konstantního tlaku v potrubí (tato hodnota tlaku bude nastavena při zaregulování).

Vzduchotechnické potrubí

V objektu bude vzduch dopravován čtyřhranným, nebo kruhovým plastovým (PVC). Třídy vzduchotěsnosti min. B (dle ČSN EN 1507). Potrubí bude zavěšeno na závěsech s roztečí maximálně 2-5 m dle velikosti potrubí. Vzduchovody na závěsech, podpěrách či konzolách budou podloženy gumou.

Potrubí bude vyrobeno z plastu (PVC). Potrubí budou vedena ve spádu k VZT jednotce a v nejnižších místech bude zajištěno odvodnění.

Protihlukové opatření

Budou provedena taková opatření, která zabrání šíření hluku do venkovního prostoru i do větraných místností:

- Potrubní rozvody budou od ventilátorů odděleny pryžovými manžetami
- Ventilátory i potrubí na závěsech podloženy gumou.
- Vřazení tlumičů hluku do potrubních rozvodů k zamezení šíření hluku od ventilátoru do místnosti i do venkovního prostoru.
- Rychlost proudění vzduchu v potrubí a distribuční elementy jsou zvoleny tak, aby proudění vzduchu nezpůsobovalo nadměrný hluk.

- Pro zabránění přenosu hluku do stěn bude potrubí v prostupu vždy obaleno minerální vatou. Začištění omítky musí být provedeno tak, aby nemohlo dojít k přenosu vibrací
- Bude zajištěno stavební odhlučnění technického prostoru

Protipožární opatření

Vzduchotechnické zařízení bude provedeno v souladu s normou ČSN 73 0872. Rozdělení objektu na jednotlivé požární úseky je řešeno samostatným projektem požární ochrany.

Izolace a nátěry

Tepelné izolace splňují jednak požadavky na úsporu tepla a jednak slouží k útlumu hluku vznikajícího provozem vzduchotechnických zařízení. V souladu s těmito požadavky bude navrženo provedení izolací.

Potrubí sání čerstvého vzduchu: budou izolována parotěsnou tepelnou izolací tl. 25 mm.

Potrubí přívodu upraveného vzduchu: budou izolována kaučukovou tepelnou izolací tl. 25 mm.

Potrubí odvodu vzduchu ve větraných prostorech: bez izolace

Potrubí odvodu vzduchu ve strojovně VZT: budou izolována kaučukovou tepelnou izolací tl. 19 mm.

Potrubí výfuku vzduchu: budou izolována kaučukovou tepelnou izolací tl. 25 mm.

Potrubí VZT s požadavkem na požární odolnost: budou izolována požární izolací s odpovídající požární odolností (min. 45 minut).

Dodávka a provedení izolací je součástí profese vzduchotechnika.

6.4 Požadavky na navazující profese

6.4.1 Požadavky na elektrickou energii

Profese elektro zajistí silový přívod pro všechna zařízení vzduchotechniky a dodá a zapojí silové rozvaděče.

Všechna el. zařízení vzduchotechniky musí mít ochranu před nebezpečným dotykovým napětím a ochranu před nebezpečnými účinky statické elektřiny.

Napojení jednotlivých zařízení musí být koordinováno s profesí MaR, aby byly zabezpečeny požadované vazby mezi těmito profesemi.

6.4.2 Požadavky na tepelnou energii

Profese ÚT provede napojení ohřívače VZT jednotky na topné medium a nucený oběh topné vody. Teplota bude řízena regulačním trojcestným ventilem. Teplota topné vody bude 65/50°C. Profese ÚT v součinnosti s profesí MaR dodá směšovací regulační uzel a provede jeho napojení na vodní ohřívač VZT jednotky.

6.4.3 Požadavky na ZTI

Napojení odvodu kondenzátu od rekuperátorů, chladiče – výparníku TČ a od míst odvodnění VZT potrubí pro bazénovou halu bude provedeno přes zápachovou uzávěrku do odpadního potrubí. Potrubí odvodu kondenzátu bude vedeno samospádem a bude z neohebného materiálu příslušné dimenze – dle výpočtu ZTI. Všechny zápachové uzávěrky budou opatřeny kontrolním a zalévacím hrdlem. Zápachové uzávěrky připojeny v části podtlaku jednotky budou navíc s mechanickou zpětnou klapkou (je dostačující kulička v sedle).

6.4.4 Požadavky na stavbu

Aby v době montáže vzduchotechnického zařízení nedošlo ke kolizím mezi prvky VZT a stavbou je třeba:

- zajistit prostor pro osazení VZT jednotek vč. dopravních cest,
- provedení stavebních konstrukcí v prostoru bazénové haly tak, aby bylo možno osadit koncové prvky a tyto dopojit VZT potrubím,
- zajištění prostupů VZT obvodovou stěnou a střechou,
- provedení otvorů pro průchody potrubí stěnami, rozměry otvorů jsou vždy o 50 mm symetricky na každou stranu, větší, než je rozměr potrubí,
- dozrání a začištění všech otvorů po montáži potrubí, potrubí v prostupech stěnami budou obaleny izolací zabráňující přenášení chvění,
- zajistit přístup ke všem regulačním klapkám a prvkům vyžadujícím servis,

6.4.5 Požadavky na MaR

Profese MaR napojí všechna zařízení vzduchotechniky na rozvod elektrické energie v součinnosti profesí elektro. Jsou to:

- udržování požadované relativní vlhkosti v prostoru bazénové haly,
- udržování požadované teploty přiváděného vzduchu v zimním období,
- signalizaci zanesení filtrů,
- osazení teplotního čidla za rekuperátor
- měření difference tlaku na rekuperátoru
- uzavírání a otevírání klapek při odstavení a spuštění zařízení,

Přesné hodnoty nastavené v ovládacím programu budou dohodnuty při uvádění zařízení do provozu a při komplexním vyzkoušení zařízení.

6.5 Požadavky projektanta na realizaci

Při montáži budou dodrženy podrobné pokyny pro montáž jednotlivých strojů a elementů přiložených v dodávce nebo uvedených v jednotlivých normách.

Před montáží ověří dodavatel shodnost požadavků a parametrů skutečně dodaného technologického zařízení s projektovanými hodnotami.

Zvýšenou pozornost je nutno věnovat montáži VZT jednotek.

Před započítáním montážních prací ověřit skutečné typy podhledů a zohlednit tyto v rozměrech nástavců a koncových VZT elementů.

Před zahájením montážních prací je nutno provést vzájemnou koordinaci postupu prací všech profesí.

Dodavatel VZT před objednáním VZT jednotky ověří u profese MaR typ komunikačního protokolu a zohlední / předá tuto informaci dodavateli odvlhčovací jednotky.

6.6 Pokyny pro obsluhu, údržbu, bezpečnost práce, zkoušky

Vzhledem k charakteru zařízení je nutno provádět pravidelnou údržbu zařízení. Před zahájením provozu musí být prověřeno, že zařízení bylo namontováno bez nečistot, prachu a zbytků stavebního materiálu.

Do ostatní běžné údržby patří prohlídky a kontrola funkce spínačů a stykačů, dotahování svorek, stav izolací apod.

O výsledcích všech prohlídek a kontrol musí být provedeny záznamy. Všichni pracovníci musí dodržovat platné bezpečnostní předpisy a musí být pravidelně školeni.

Po dokončení montáže se provede individuální vyzkoušení zařízení, které ověřuje věcnou úplnost dodávky a montáže zařízení a spočívá v uvedení strojů do chodu. Kontroluje se například správné umístění elementů v prostoru, určený smysl otáčení ventilátorů, provedení správného uchycení, pružné uložení, náplň mazadel, přístupnost ovládacích prvků atd. Doporučujeme přítomnost budoucí obsluhy při provádění tohoto vyzkoušení. Součástí dodávky bude protokol o zaregulování vzduchových výkonů zařízení.

V rámci přípravy ke komplexnímu vyzkoušení se provede uvedení do provozu jednotlivých skupin strojů ve vzájemných vazbách tak, aby bylo možno přistoupit ke komplexnímu vyzkoušení zařízení. Seřídí se vzduchové výkony koncových elementů rozvodu vzduchu a ventilátorů. V této fázi je vhodné zahájit zaučování budoucí obsluhy. Před předáním uživateli se zařízení podrobí komplexním zkouškám. Doba komplexního vyzkoušení se dohodne mezi odběratelem a dodavatelem. Při zkouškách se prokazuje zejména:

- jistota chodu strojů a zařízení
- bezpečnost provozu
- funkční spolehlivost
- snadnost a plynulost ovládání zařízení

Věcná náplň komplexního vyzkoušení zahrnuje obvykle:

- kontrolu, zda zařízení je schopno po dohodnutou dobu nepřetržitého bezporuchového provozu
- ověření klidného chodu všech částí (ventilátory)
- kontrolu všech ložisek
- prokázání dodržení ostatních parametrů daných výrobcí použitých zařízení, případně dohodnutých mezi dodavatelem a odběratelem.

6.7 Nakládání s odpady

Odpadní látky vzniklé v průběhu výstavby budou skladovány, transportovány a likvidovány v souladu se zásadami pro nakládání s odpady dle zákona č. 185/2001 Sb. (Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů). Evidence vzniklých odpadů při stavbě bude vedena původcem odpadů.

6.8 Vliv na životní prostředí

VZT zařízení nemají žádný negativní vliv na životní prostředí. Jako chladicího média bude použito výhradně ekologicky přípustného chladiva (R407c).

6.9 Sumarizace požadavků na energie

Elektrická en. - instalovaný příkon: 15,5 kW

Topná voda: 18,3 kW

6.10 Závěr

Při realizaci musí být dodrženy všechny uvedené normy a směrnice.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

C) Experimentální měření

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ONDŘEJ BOBROVSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

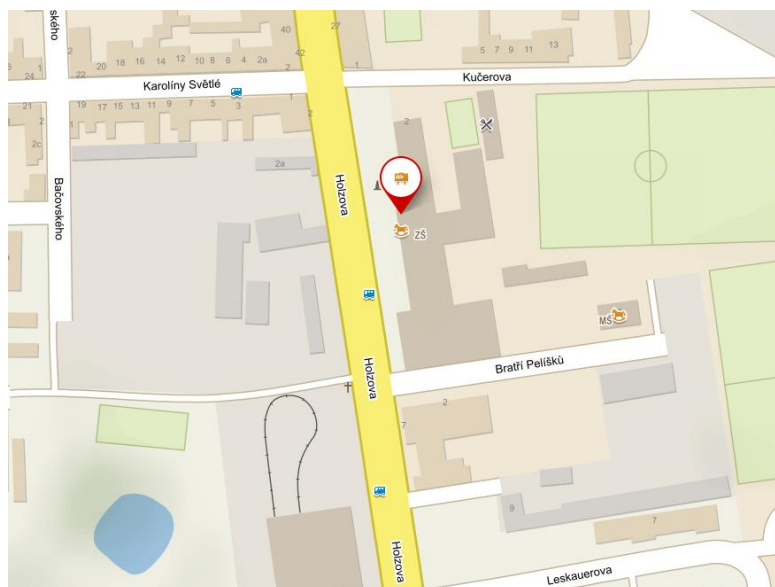
BRNO 2018

1. Úvod

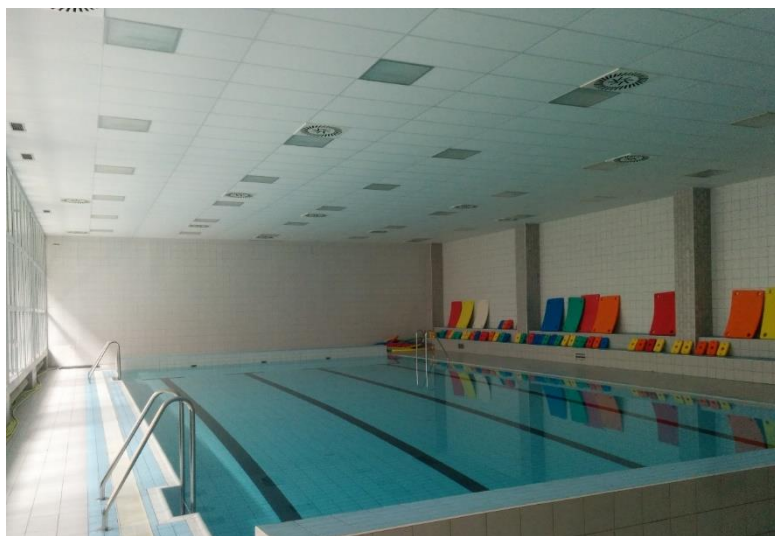
Tato část se zabývá měřením zvolené vzduchotechnické jednotky s cílem zjistit reálnou účinnost systému ZZT v reálných provozních podmínkách a porovnat zjištěné údaje s údaji od výrobce.

2. Místo měření

Pro účely měření byla vybrána vzduchotechnická jednotka obsluhující bazénovou halu. Bazén se nachází v základní škole na ulici Holzova v Brně. Bazénová hala, včetně příslušného vzduchotechnického zařízení, prošla v roce 2014 rekonstrukcí. Důvodem rekonstrukce byl havarijní stav způsobený vysokou vlhkostí. Vodní hladina zabírá plochu 128 m^2 . Objem místnosti činí 890 m^3 . Prosklená stěna haly je situována na jihozápad.



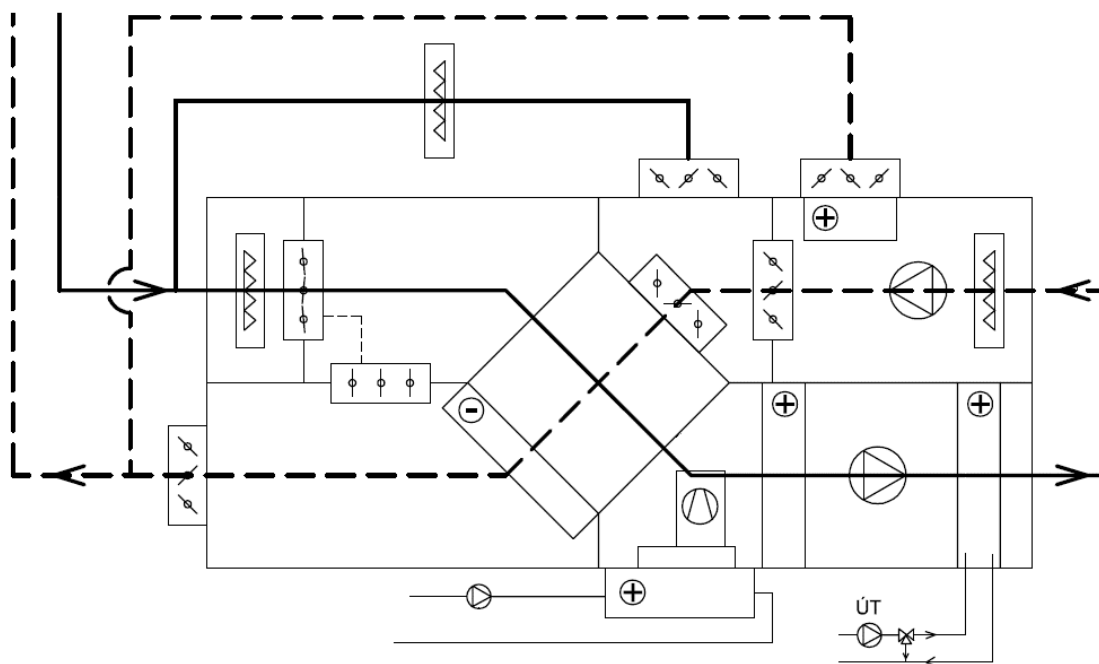
Obr. 27 Lokace školy



Obr. 28 Měřená bazénová hala

3. Popis VZT zařízení

Původní VZT jednotka byla při rekonstrukci nahrazena bazénovou jednotkou druhé generace od firmy REMAK. Zařízení zajišťuje celoroční klimatizaci bazénové haly. V zimním období pokrývá tepelné ztráty v kombinaci s otopnými tělesy. Jednotka je vybavena směšovacími komorami, deskovým rekuperátorem pro zpětné získávání tepla a teplovodním ohřívačem. Jednotka je dále vybavena chladivovým okruhem pro odvlhčování vzduchu s přímým výparníkem a třemi kondenzátory – kondenzátorem pro ohřev přívodního vzduchu, kondenzátorem pro ohřev bazénové vody a kondenzátorem pro odvod přebytečného tepla odpadním vzduchem. Součástí jednotky je jednostupňová filtrace na straně přívodního a odvodního vzduchu. Třída filrace je M5. VZT jednotka je vybavena vlastním systémem měření a regulace. Jednotka je napojena na internet a je možné ovládat základní funkce jednotky (časové režimy, chod) a monitorovat parametry (teploty, vlhkosti apod.) ze vzdáleného PC. Jednotka je umístěna ve strojovně VZT v 1.PP. Sání čerstvého a výfuk znehodnoceného vzduchu je řešeno potrubím zakončeným protidešťovými žaluziemi na fasádě budovy ve dvoře školy. Pro přívod vzduchu v bazénové hale slouží vířivé anemostaty a čtyřhranné výustky. Odvod je zajištěn čtyřhrannými anemostaty. Distribuční elementy jsou na čtyřhranné potrubí napojeny ohebným potrubím.



Obr. 29 Schéma měřené bazénové jednotky

4. Popis měření

Měření proběhlo v období mezi 14.4. 2016 – 17.5.2016. K změření údajů byly použity čtyři dataloggery S3120 firmy Comet. Dataloggery byly umístěny na přívodu i odvodu u deskového rekuperátoru. Interval mezi jednotlivými záznamy činil 10 minut. Cílem bylo zajistit data nutná pro vyhodnocení účinnosti systému ZZT. Pro stanovení režimu a stavu, ve kterém se jednotka v určitém čase nacházela byly pořizovány záznamy ze vzdáleného dohledu PC.



Obr. 30 Montáž měřících čidel



Obr. 31 Umístění měřícího čidla u kompresoru

5. Popis techniky

5.1 Comet S3120

Datalogger je určen pro záznam teploty a relativní vlhkosti. Záznam je prováděn do energeticky nezávislé elektronické paměti. Údaje lze kdykoli přenést do osobního počítače přes rozhraní USB, RS232, Ethernet nebo GSM modem pro další zpracování.

Technická data:

Rozsah teploty	-30 až 70 °C
Přesnost měření teploty	± 0,4 °C
Přesnost měření vlhkosti vzduchu	± 2,5 % RH od 5 do 95 % při 23 °C
Celková kapacita paměti	32 000 hodnot
Rozměry	93 x 64 x 29 mm
Hmotnost	115 g

Tab. 5 Parametry datalooggeru



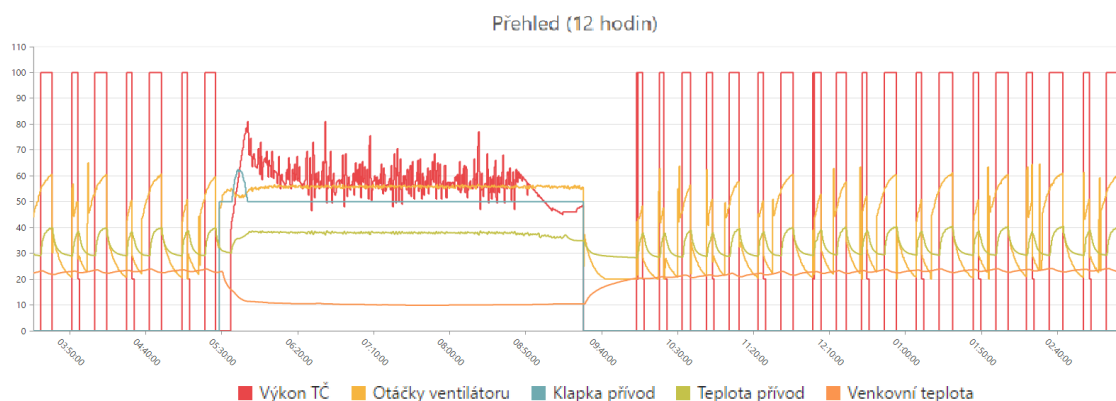
Obr. 33 USB adaptér pro datalogger



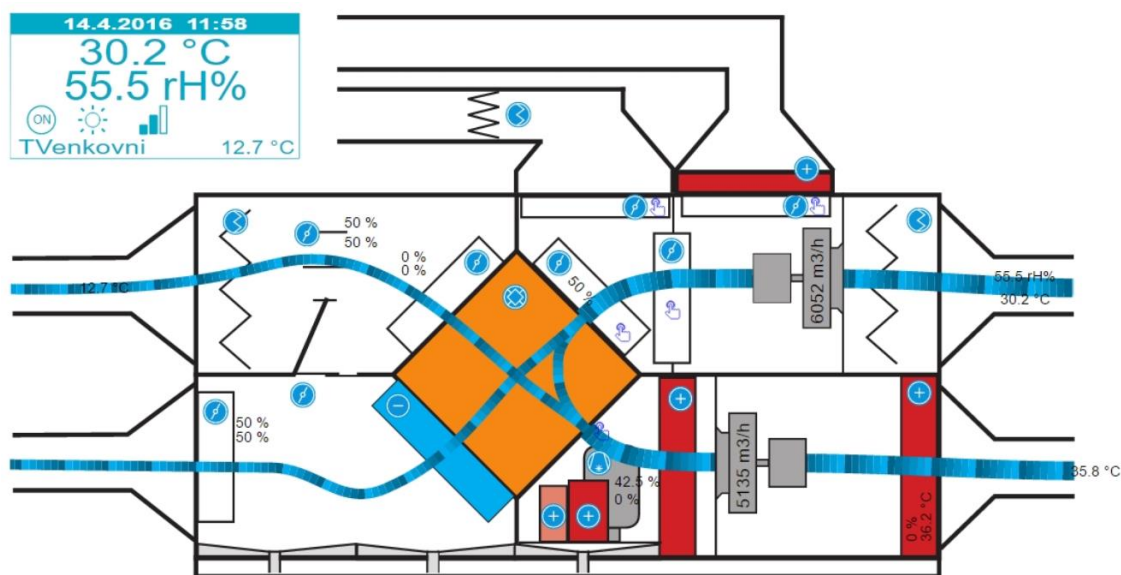
Obr. 32 Datalogger Comet

5.2 Vzdálený dohled PC

Jednotka je napojena na internet, což umožňuje zjištění aktuálních informací o práci zařízení pomocí webového prohlížeče. Vzdálený dohled PC byl využit k upřesnění režimu jednotky, ve kterém se v určitou chvíli během měření nacházela. Dohled poskytuje komplexní přehled o stavu jednotky jako např. průtok přívodního a odvodního vzduchu, polohu klapek, případně procentuální využití tepelného čerpadla a tepelných výměníků v jednotce. Dále zobrazuje podstatné vlastnosti vzduchu na přívodu a odvodu včetně hodnot ze samostatného snímače teploty a vlhkosti umístěného v prostoru bazénové haly. V případě poruchy lze pomocí vzdáleného dohledu zjistit příčinu. Funkce jednotky za posledních 12 hodin je zaznamenávána do přehledných grafů.



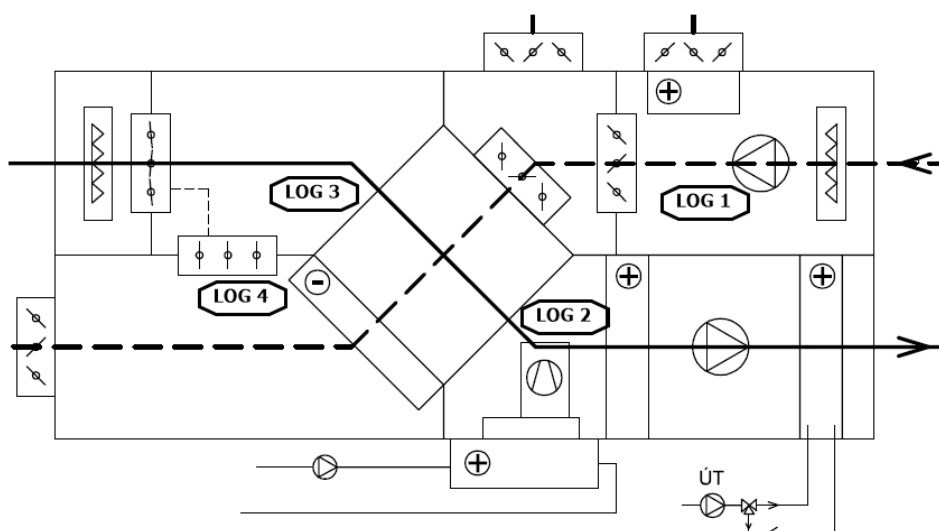
Obr. 34 Vzdálený dohled – přehled činnosti jednotky



Obr. 35 Vzdálený dohled – přehled stavu jednotky

6. Umístění měřicích čidel

Teploty a relativní vlhkosti byly zaznamenány pomocí čtyř dataloggerů. Ty byly umístěny v blízkosti rekuperátoru. Na odvodní větvi bylo čidlo za rekuperátorem umístěno až za výparníkem. Loggery byly připevněny pomocí měděného drátku a na exponovaných místech hliníkovou páskou.



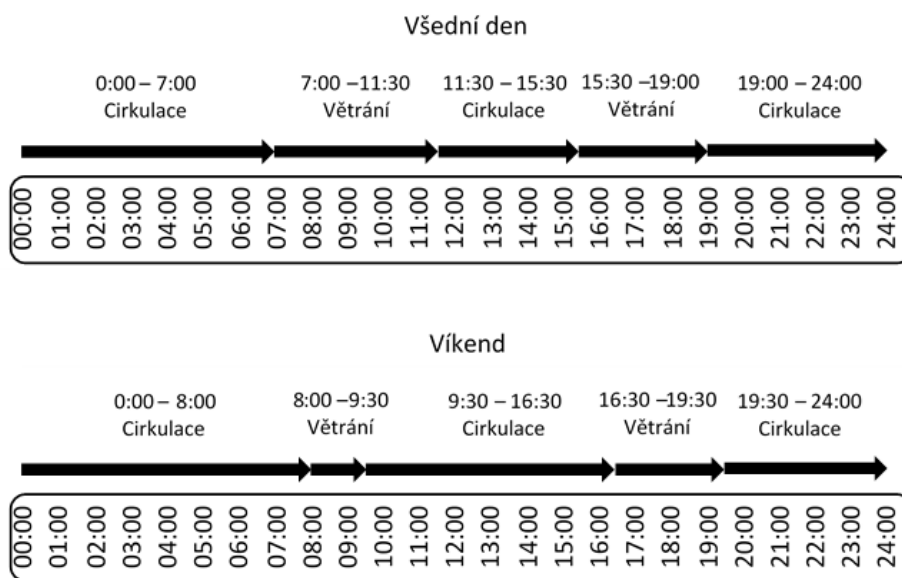
Obr. 36 Schéma umístění měřicích čidel



Obr. 37 Montáž měřicích čidel – umístění

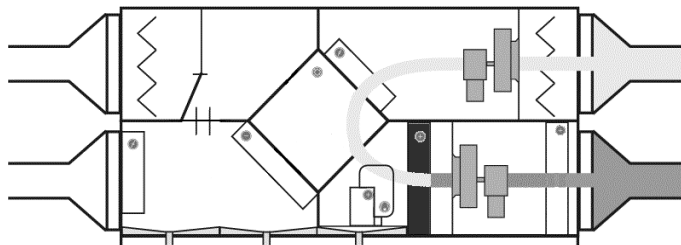
7. Pracovní režimy jednotky

Hlavní vliv na vyhodnocení výsledků měření je režim, ve kterém bazénová jednotka v dané chvíli pracuje. Jednotka pracovala v nastaveném časovém režimu, který rozlišoval mezi pracovními dny a víkendy. V období probíhajícího měření pracovala jednotka v následujících režimech:



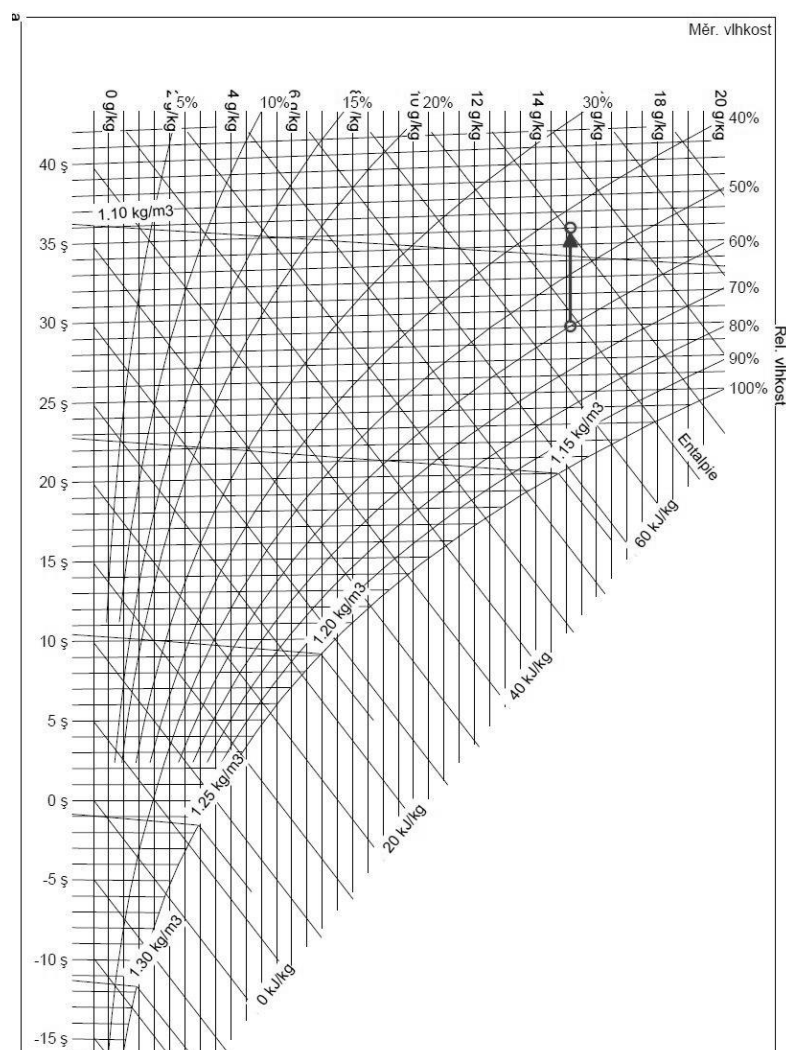
Obr. 38 Časová osa pracovních režimů bazénové jednotky

7.1 Režim cirkulace



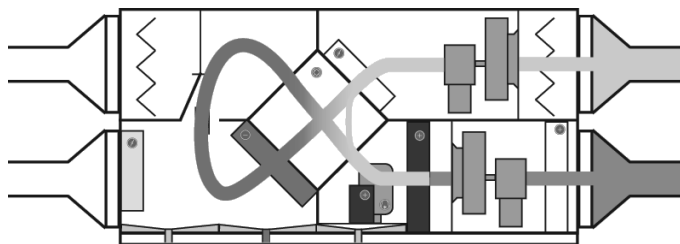
Obr. 39 Režim cirkulace

Tento režim byl během měření aktivní především přes noc, kdy není hala obsazená a současně nebyla překročena požadovaná relativní vlhkost. Jednotka plynule přechází z režimu cirkulace do režimu odvlhčování dle relativní vlhkosti v bazénové hale. V zimním období je cirkulační režim využit pro vytápění haly teplovodním ohřívacem. Během cirkulace snížila jednotka průtok vzduchu na 4000 m³/h.



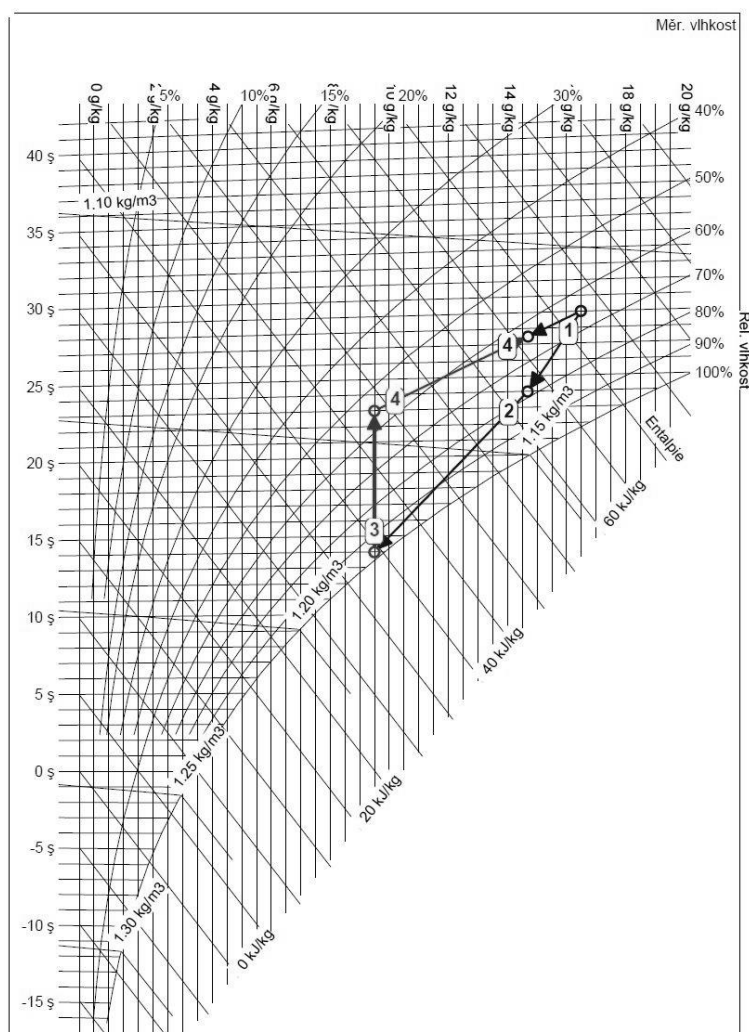
Obr. 40 HX diagram – Režim cirkulace

7.2 Režim odvlhčování



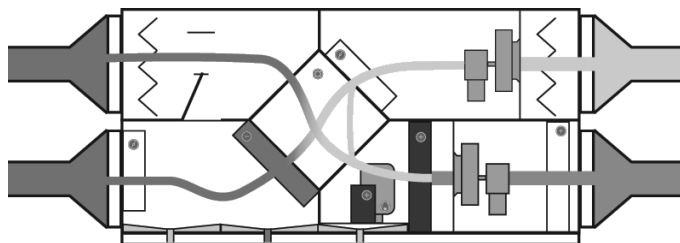
Obr. 41 Režim cirkulace – odvlhčování

V případě potřeby snížit vlhkost přepne jednotka do režimu odvlhčování. V režimu odvlhčování proudí vzduch z bazénové haly přes rekuperátor, kde dochází k předchlazení a částečnému odvlhčení. Na výfukové části rekuperátoru je umístěn výparník, kde je vzduch zchlazen a odvlhčen. Poté se vzduch vrací směšovací komorou zpět přes rekuperátor a kondenzátor do bazénové haly. Přebytek kondenzačního tepla je využíván k ohřevu bazénové vody. V zimních měsících je v provozu i teplovodní ohřívač pro pokrytí tepelných ztrát.



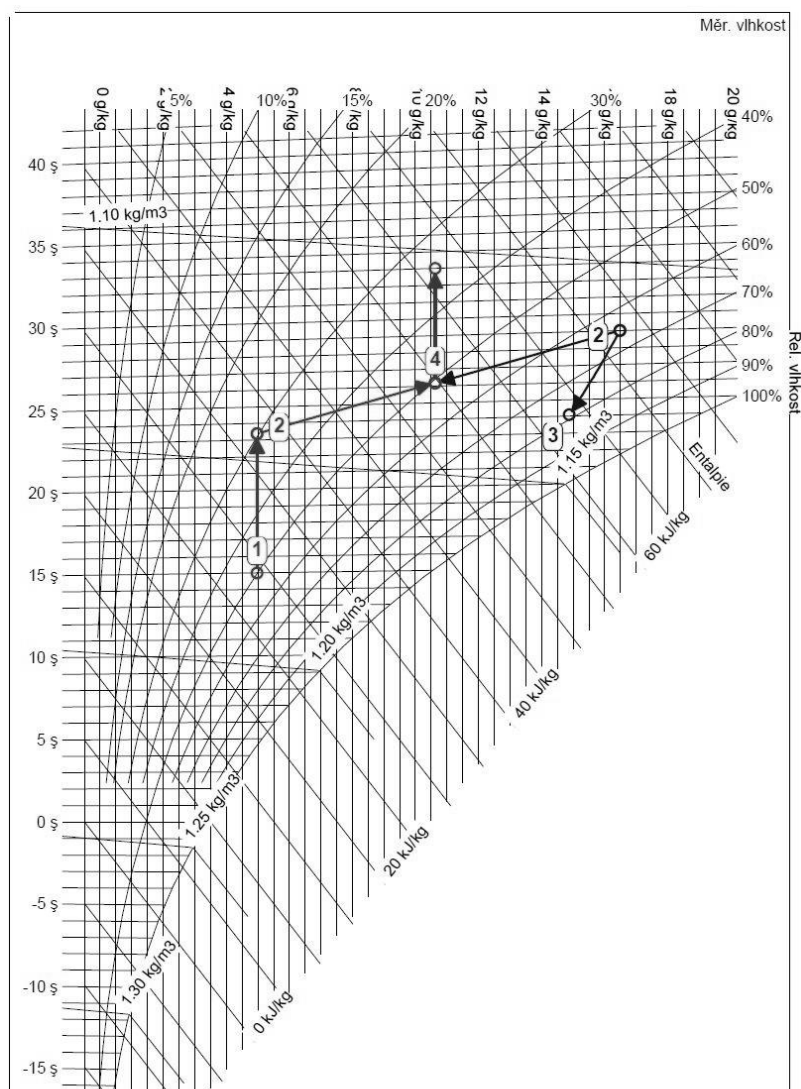
Obr. 42 HX diagram – režim odvlhčování

7.3 Režim větrání



Obr. 43 Režim větrání s částečnou cirkulací

V provozní době bazénu je dle potřeby přiváděn větrací vzduch. Při nižší potřebě větracího vzduchu část odváděného vzduchu cirkuluje přes obtok rekuperátoru. Přívodní vzduch je ohříván na rekuperátoru, následně na kondenzátoru tepelného čerpadla. V zimním období je pro dohřev vzduchu na požadovanou teplotu používán i vodní ohřívač.

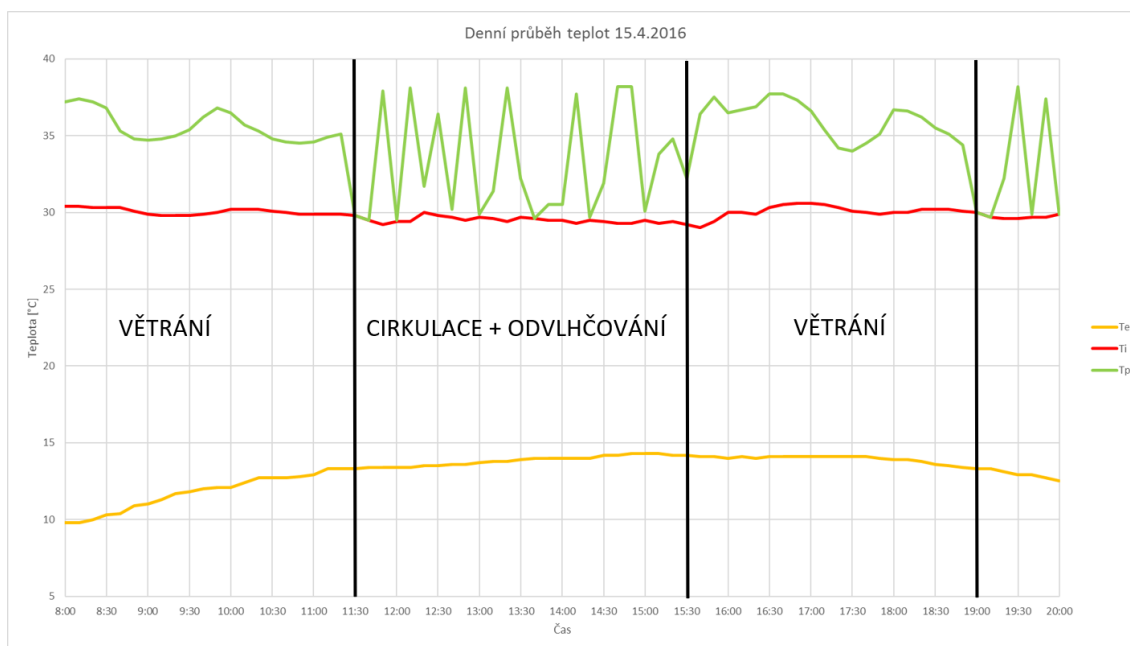


Obr. 44 HX diagram – režim větrání s částečnou cirkulací

8. Vyhodnocení měření

Pracovní režim jednotky

V následujícím grafu je znázorněn průběh teplot pro typický pracovní den. Z grafu je patrné časové nastavení pro pracovní režimy jednotky. V režimu cirkulace a odvlhčování je zřejmé kolísání teploty přiváděného vzduchu, způsobené častým a krátkodobým spínáním tepelného čerpadla. Mezi 20 a 7 hodinou pracuje jednotka v režimu cirkulace a odvlhčování.



Graf 8 Denní průběh teplot

Z tohoto grafu a z grafu přehledu činnosti jednotky (obr. 34) vyplývá složitost vyhodnocení naměřených údajů. Byla předpokládána změna režimu v delších intervalech, než tomu je ve skutečnosti. Z čehož vyplývá četnost spínání tepelného čerpadla a změna polohy klapky. Umístění výparníku přímo na rekuperátoru neumožnilo měření rekuperace bez vlivu tepelného čerpadla. Z polohy klapky obtoku rekuperátoru není přesně známo množství vzduchu proudícího přes rekuperátor. Chyba měření s ohledem na neznámé faktory je až 10%.

Z tohoto důvodu byla vypočítána teplotní účinnost rekuperátoru pro přívodní vzduch pro režimy větrání s 50 % obtokem a pro režim větrání bez obtoku.

Přívodní teplotní účinnost ZZT vyjadřuje, jaký podíl citelného tepla je systémem rekuperován z odpadního vzduchu do přiváděného.

Výpočet teplotní účinnosti vyplývá z následujícího vztahu:

$$\eta = 100 \times \frac{t_o - t_e}{t_i - t_e} [\%]$$

kde:

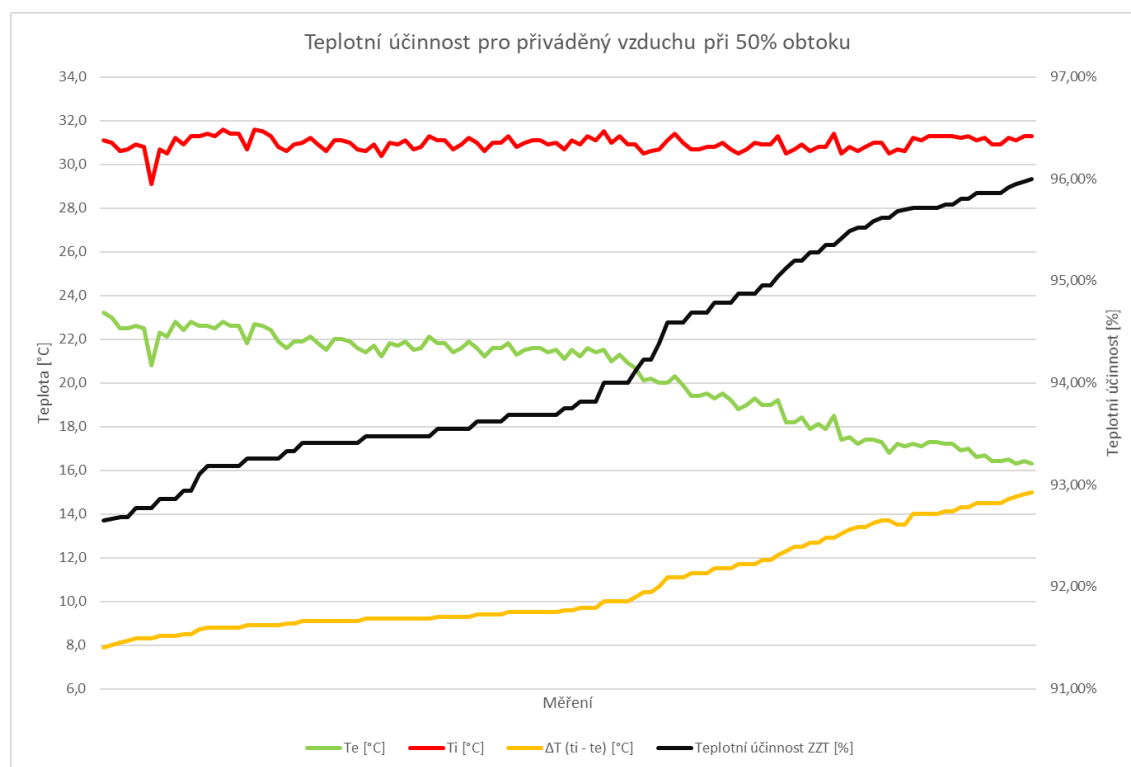
t_o – teplota přívodního vzduchu za rekuperátorem

t_e – teplota exteriéru

t_i – teplota interiéru

8.1 Přívodní teplotní účinnost s cirkulací

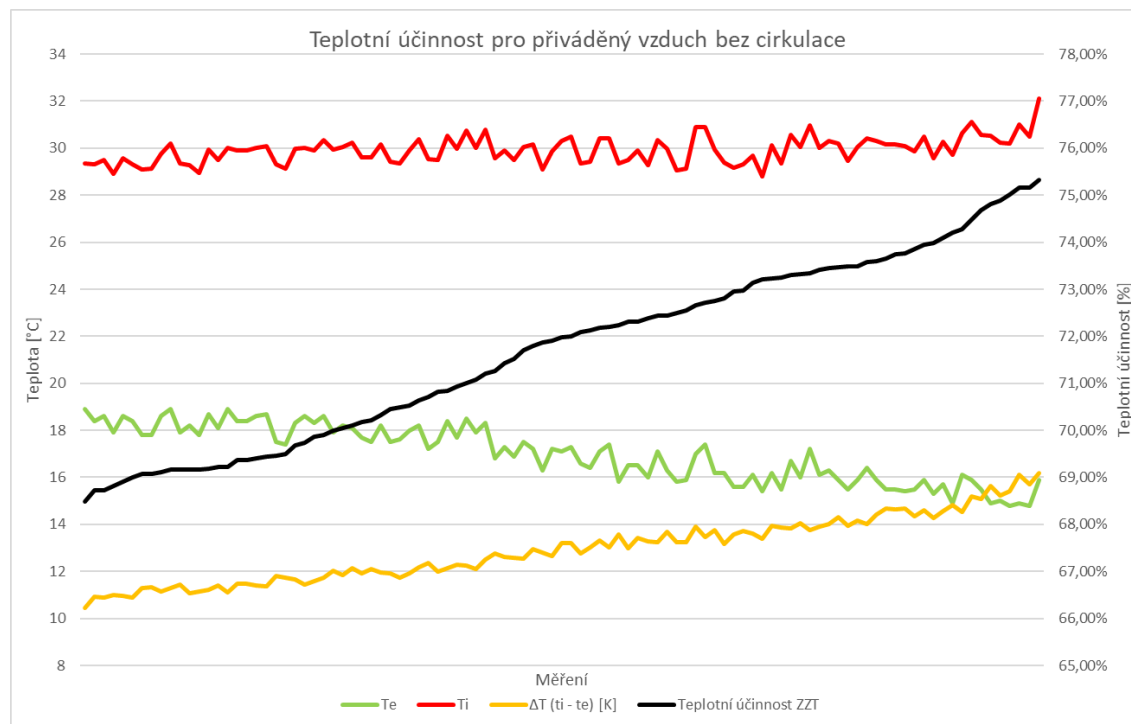
Přívodní teplotní účinnost rekuperátoru se započítáním cirkulace 50% dosahovala až 96%. Takto vysoká účinnost je způsobena několika faktory. Hlavním faktorem byla částečná cirkulace pomocí směšovací klapky, která je součástí rekuperátoru. Vysoce účinný rekuperátor, s deklarovanou účinností 79 % při rozdílu teplot exteriéru a interiéru 20K, je dimenzován na návrhový průtok 6500/6600 m³/h pro přívod a odvod. Při větrání pracovala jednotka s průtokem 5100/5200 m³/h. Nižší rychlost proudění povede k většímu prostupu tepla. Z důvodu zabránění pronikání vlhkosti a škodlivých agencií obsažených v bazénovém vzduchu do přilehlých místností pracuje jednotka v podtlaku. Větší hmotnostní tok odpadního vzduchu způsobuje zvýšení účinnosti ZZT. Z měření je zřejmá závislost mezi rozdílem teplot čerstvého a odpadního vzduchu před rekuperací a teplotní účinností. Následující graf zobrazuje nejčtenější hodnoty účinnosti zpětného získávání tepla při daném rozdílu teplot.



Graf 9 Přívodní teplotní účinnost se započítáním 50% obtoku

8.2 Přívodní teplotní účinnost bez cirkulace

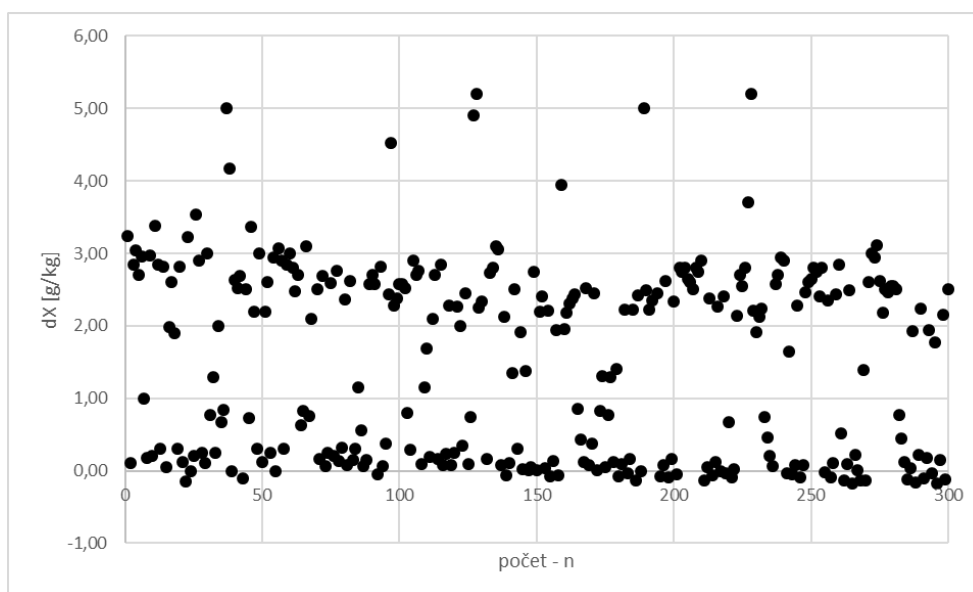
Přívodní teplotní účinnost rekuperátoru bez cirkulace se pohybovala v rozmezí 68 % až 76 %. Jednotka pracovala se sníženým průtokem 5100/5200 m³/h. Stejně jako v případě větrání s částečnou cirkulací vyplývá z měření závislost mezi teplotní účinností a rozdílem teplot exteriéru a interiéru. Četnost měření, při kterých jednotka pracovala se 100 % čerstvého vzduchu je nízká, což ovlivňuje přesnost a spolehlivost výsledků.



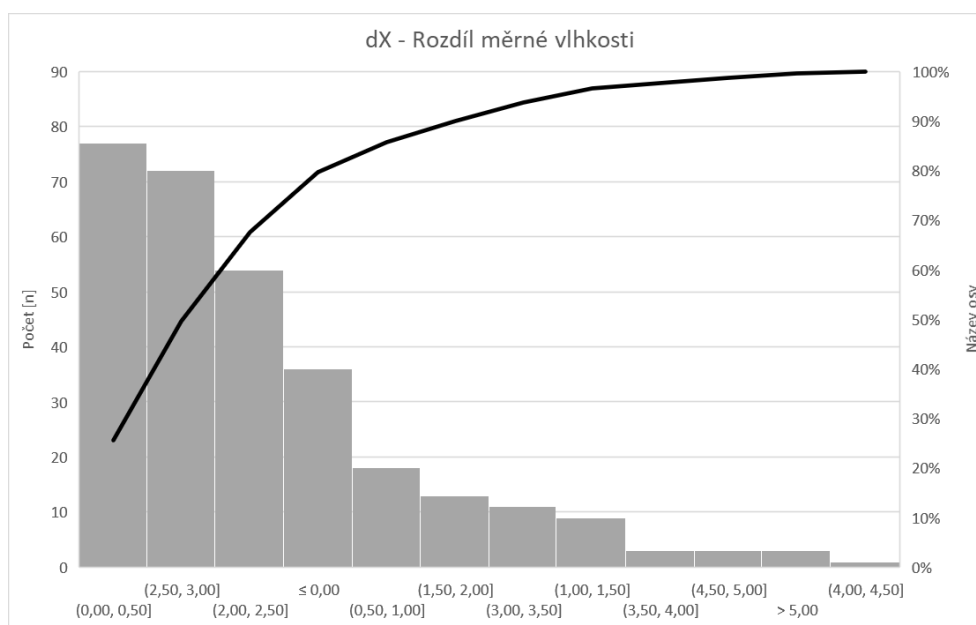
Graf 10 Přívodní teplotní účinnost bez obtoku

9. Dílčí experiment – odpar

Cirkulační režim, který byl aktivní především během noci, vytváří vhodné (nejustálenější) podmínky pro změření skutečného množství odpařené vody. V tomto režimu udržovala jednotka v bazénové hale teplotu $30 \pm 0,7$ °C a hodnota relativní vlhkosti se pohyboval v rozmezí 60 ± 1 %. V nočních hodinách se nepředpokládá využití bazénové haly, tedy do výpočtu nevstupují další faktory ovlivňující množství odparu a nijak ovlivňující chod bazénové jednotky, jako např. zvíření hladiny lidmi, tepelná zátěž od technologie a od slunce apod. Množství odpařené vody bylo vypočteno na základě rozdílu měrných vlhkostí odváděného a přiváděného vzduchu v rámci jednoho týdne v rozmezí 20:00 – 6:00 hod.



Graf 12 Rozdíl měrných vlhkostí přiváděného a odváděného vzduchu



Graf 11 Četnost intervalů rozdílu měrných vlhkostí

Průměrný odvlhčovací výkon v tlumeném režimu odpovídá 7,1 kg/h, což je o 24 % méně, než vypočítaný hmotnostní tok dle VDI 2089 (9,35kg/h). Z rozdílu měrné vlhkosti je patrná práce chladiče. Při práci tepelného čerpadla se odvlhčovací výkon nejčastěji pohyboval mezi 2–3 g/kg. V případě cirkulace bez odvlhčování se rozdíl měrných vlhkostí pohyboval kolem 0 g/kg, ale klesl i pod tuto hodnotu, což by znamenalo vlhčení. Záporná hodnota je nejpravděpodobněji způsobena nepřesností měřících čidel.

Pro porovnání naměřené hodnoty byl spočítán odpar dle různých metod:

VDI 2089 (2010)

Výpočet proveden v části B) bodě 2.

VDI 2089 (starší vydání)

$$m_{wo} = \varepsilon \cdot S_h \cdot (p''_{v(tw)} - p_{v(ti)}) [g/s]$$

kde:

ε – součinitel přenosu hmoty [$g/m^2 \cdot s \cdot Pa$]

S_h – plocha volné hladiny [m^2]

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

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

Metoda dle Ladislava Oppla

$$m_{wo} = (Mw - Mr) \cdot S_h \cdot \frac{101,36}{pb \cdot 3,6} [g/s]$$

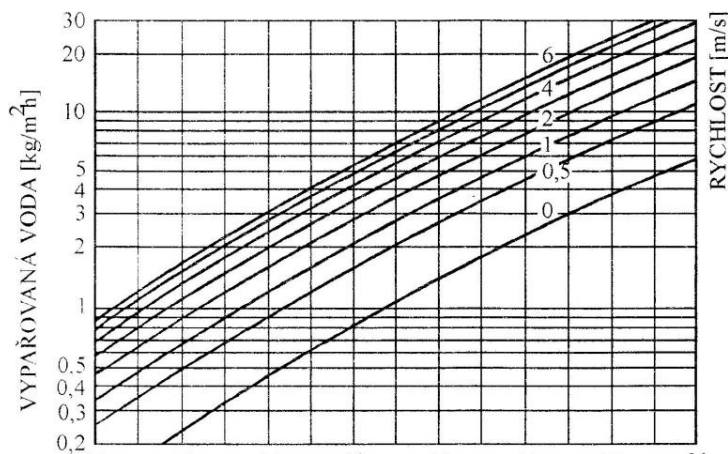
kde:

Mw – odpar při teplotě vody (z grafu) [kg/m^2h]

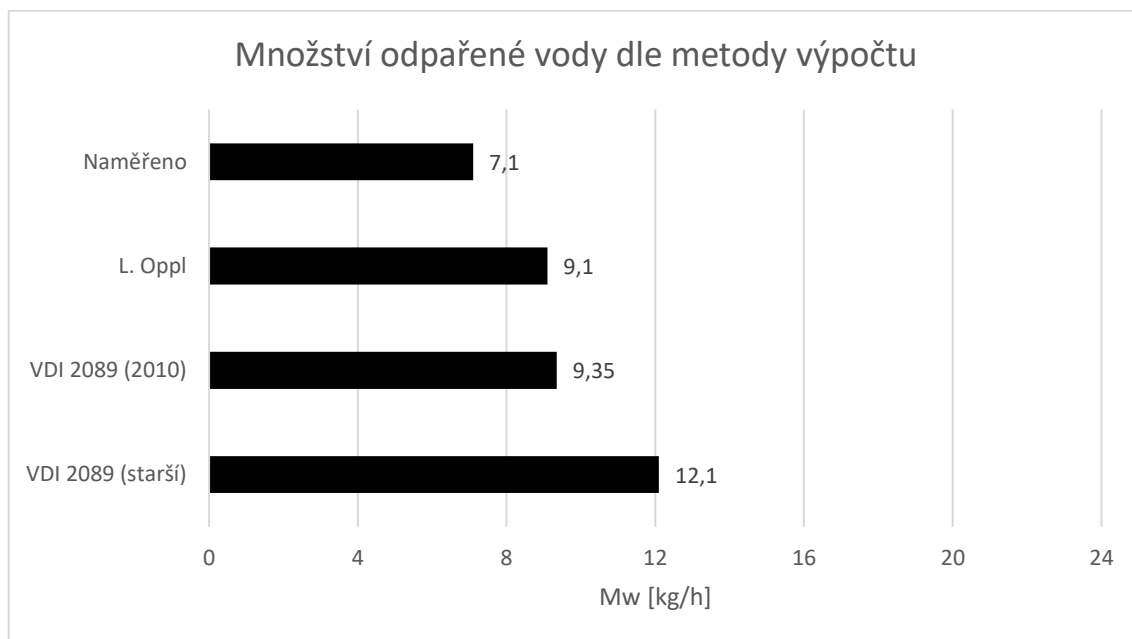
Mr – odpar při teplotě rosného bodu (z grafu) [kg/m^2]

pb – barometrický tlak [Pa]

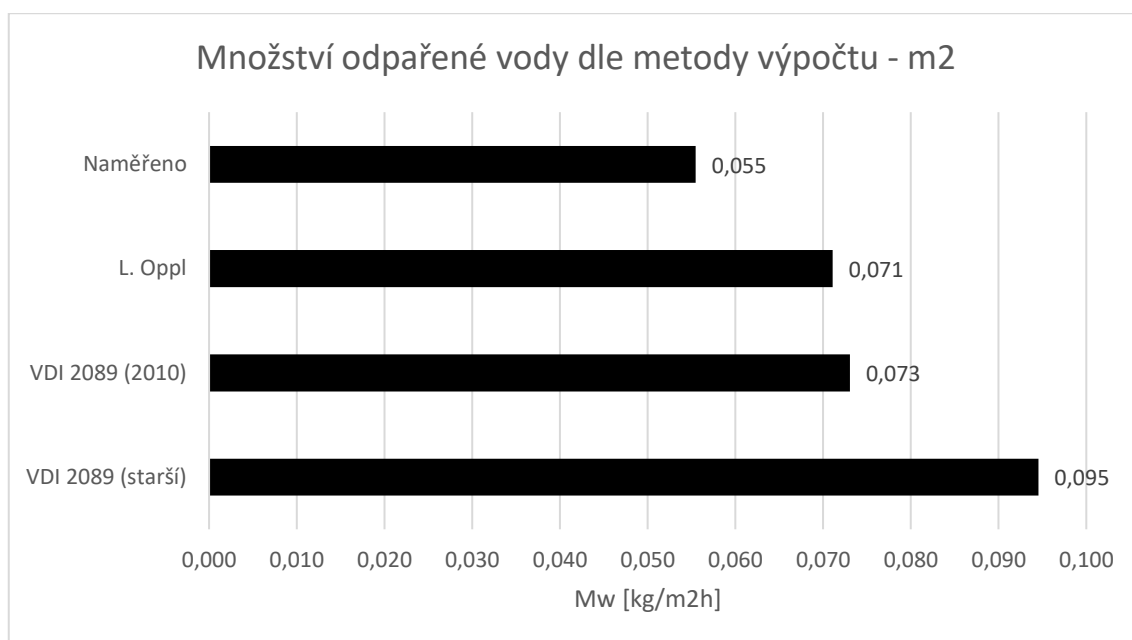
S_h – plocha volné hladiny [m^2]



Obr. 45 Tok odpařované vody dle L. Oppla



Graf 13 Množství odpařené vody z bazénu při klidné hladině



Graf 14 Množství odpařené vody z 1 m²

Závěr

Práce se v teoretické části zabývá základní problematikou větrání bazénových hal. Zásadním fyzikálním dějem je odpar z vodní hladiny, způsobující vlhkostní zátěž, kterou je třeba z bazénové haly odvést. Práce rovněž definuje další úskalí bazénových hal jako odpar toxických látek použitých pro dezinfekci bazénové vody a rizika, která představují jak pro lidské zdraví, tak pro vybavení, technologii a stavební konstrukci hal. Provoz bazénových hal je z důvodu vnitřních parametrů nákladný. Významný podíl na provozních nákladech má vzduchotechnická jednotka, z důvodu energeticky náročných úprav vzduchu pro zajištění bezpečného a komfortního prostředí v halách. Proto práce popisuje nařízení ekodesign, které má mimo jiné za cíl snížit energetické nároky spotřebičů, a jeho dopadem na vzduchotechnická zařízení, obzvláště na bazénové jednotky.

Při experimentálním řešení byla měřena a monitorována bazénová jednotka ve skutečných podmínkách. Z naměřených údajů byla vyhodnocena účinnost deskového rekuperátoru. Přesnost měření byla výrazně ovlivněna častým přepínáním jednotky mezi jednotlivými režimy, plynule regulovaným výkonem tepelného čerpadla, částečnou cirkulací po většinu doby měření a relativně dlouhé měřicí intervaly. Kromě účinnosti rekuperátoru bylo rovněž vypočítáno množství odpařené vody v noční době, tedy při klidné hladině.

V rámci aplikace tématu byly navrženy dvě varianty větrání bazénové haly. V první variantě je počítáno s bazénovou jednotkou specificky navrženou pro odvlhčování bazénových hal. Druhá varianta využívá jednotky s řízným odvlhčováním, která je svou skladbou vhodná i pro chlazení běžných prostorů, a v případě doplnění o zvlhčování pro úplnou klimatizaci. Provoz jednotek je vyhodnocen na základě stanovených okrajových podmínek a předpokládaného provozu jak po celý rok, tak pro extrémní klimatické podmínky. Součástí návrhů jsou výkresy v měřítku 1:100, schéma jednotek a technické zprávy pro obě varianty.

Seznam použitých zkratek a symbolů

TČ	- tepelné čerpadlo
ZZT	- zpětné získávání tepla
ÚT	- ústřední topení
MaR	- měření a regulace
AISI	- American iron and steel institute (Americký institut pro železo a ocel)
VDI	- Verein Deutscher Ingenieure (Sdružení německých inženýrů)
η_{t_nrvu}	- tepelná účinnost systému zpětného získávání tepla pro jiné než obytné budovy [%]
E	- bonus za účinnost
η_{vu}	- minimální účinnost ventilátoru [%]
P	- jmenovitý elektrický příkon ventilátoru, [kW]
SFP_{int}	- měrný příkon ventilátoru [kW]
SFP_{int_limit}	- maximální měrný příkon ventilátoru [kW]
RH	- relative humidity (relativní vlhkost)
COP	- topný faktor tepelného čerpadla (Coefficient of performance)
EER	- chladicí faktor tepelného čerpadla (Energy efficiency ratio)
Mw	- vlhkostní zátěž
EC	- Electronically commutated, elektronicky komutované (motory)

Seznam použitých zdrojů

Literární zdroje

1. Český hydrometeorologický ústav, 2018 [online]. ČHMÚ [cit. 2.1.2018]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/>
2. Vyhláška č. 238/2011 Sb. *O stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch*. 2011.
3. Vyhláška č. 97/2014 Sb., *kterou se mění vyhláška č. 238/2011 Sb.* 2014.
4. VDI 2089. *Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung*. Berlin: Issue English, 2010.
5. CHYSKÝ, J. a L. OPPL. *Větrání a klimatizace*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1971, 561 s. Technický průvodce.
6. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES. *O stanovení rámce pro určení požadavků na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie (přepracování)*. 2009.
7. Nařízení komise (EU) č 1253/2014, *kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign větracích jednotek*. 2014
8. LAIN, M. *Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci (I)* In: tzb-info.cz [online]. 6.11.2006 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-i>
9. LAIN, M. *Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci (II)* In: tzb-info.cz [online]. 20.11.2006 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/3688-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-ii>
10. ADAMOVSKEÝ, D. *Zpětné získávání tepla a chladu ve vzduchotechnice* In: tzb.fsv.cvut.cz [online]. [cit. 2.1.2018]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esbt/prednasky/125esb2-09.pdf>

11. BLASINSKI, P. RUBINA, A. *Distribuce vzduchu v bazénových halách – část 1* In: tzb-info.cz [online]. 9.6.2014 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/11319-distribuce-vzduchu-v-bazenovych-halach-cast-1>
12. REMAK. *Bazénové jednotky druhé generace s přesnou regulací teploty a vlhkosti* In: tzb-info.cz [online]. 14.11.2013 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/10585-bazenove-jednotky-druhe-generace-s-presnou-regulaci-teploty-a-vlhkosti>
13. REMTOVÁ, K. *Ekodesign* In: cenia.cz [online]. 2003 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z: [http://cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/MZPAPFIVNKW4/\\$FILE/ekodesign%20Remtova.pdf](http://cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/MZPAPFIVNKW4/$FILE/ekodesign%20Remtova.pdf)
14. ROBATHERM. *Vzduchotechnické systémy pro kryté bazény* [Technický list]. 2011 [cit. 2.1.2018].
15. HESELMANS, J. VEREMEIJ, P. *Fatal Accident in Dutch Swimming Pool caused by Environmentally Cracked Bolts* In: studiekern-corrosie.nl [online]. 2013 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z: <http://www.studiekern-corrosie.nl/wp-content/uploads/2013/06/2331.pdf>
16. PUMP, O. *Prísne podmínky pro výrobce vzduchotechnických jednotek* [online]. [cit. 2.1.2018]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/download/38026>

Obrazové zdroje

1. Trichloramin [obrázek]. 2014 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/11319-distribuce-vzduchu-v-bazenovych-halach-cast-1>
2. Distribuce vzduchu v halách [obrázek]. 2010 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/tz31/zadani/tz31-u2-vetrani_bazenu.pdf
3. Pád stropu bazénové haly vlivem koroze [obrázek]. 2013 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z <http://www.atguv.co.uk/view-client/318>
4. Ocelový nosník po 12 letech [obrázek]. 2013 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z <http://www.studiekern-corrosie.nl/wp-content/uploads/2013/06/2331.pdf>
5. Schéma odvlhčovače [obrázek]. 2013 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z <http://blog.supplyhouse.com/what-a-dehumidifier-does/>
6. Bazénový odvlhčovač [obrázek]. 2017 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z <http://www.bazenovyodvlhcovac.cz/odvlhcovace/eshop/4-1-Bazenove-odvlhcovace-DRY/0/5/35-Bazenove-odvlhcovace-DRY-1200-Metal-pro-bazeny-s-plochou-do-100-m2>

7. Typické označení jednotky splňující Ekodesign [obrázek]. 2017 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z <https://www.robatherm.com/en/technology/erp-compliant-AHUs>
8. Lokace školy [obrázek]. 2018 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z <https://www.mapy.cz>
9. USB adaptér pro datalogger [obrázek]. 2017 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z <http://www.cometsystem.cz/produkty/r0110e-teplomer-s-vnitrim-cidlem/reg-LP003>
10. Datalogger Comet [obrázek]. 2017 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z <http://www.cometsystem.cz/produkty/dataloggery/s3120-teplomer-vlhkomer/reg-S3120>
11. Režim cirkulace [obrázek]. 2013 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z <http://vetrani.tzb-info.cz/10585-bazenove-jednotky-druhe-generace-s-presnou-regulaci-teploty-a-vlhkosti>
12. Režim odvlhčování [obrázek]. 2013 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z <http://vetrani.tzb-info.cz/10585-bazenove-jednotky-druhe-generace-s-presnou-regulaci-teploty-a-vlhkosti>
13. Režim větrání [obrázek]. 2013 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z <http://vetrani.tzb-info.cz/10585-bazenove-jednotky-druhe-generace-s-presnou-regulaci-teploty-a-vlhkosti>
14. Tok odpařované vody dle L. Oppla [obrázek]. 2017 [cit. 2.1.2018]. Dostupné z <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/11319-distribuce-vzduchu-v-bazenovych-halach-cast-1>

Seznam obrázků

Obr. 1 Trichloramin	13
Obr. 2 Distribuce vzduchu v halách.....	16
Obr. 3 Pád stropu bazénové haly vlivem koroze	17
Obr. 4 Ocelový nosník v bazénové hale po 12 letech.....	17
Obr. 5 Rozsah vlhkosti v hale	19
Obr. 6 Větrací jednotka.....	21
Obr. 7 Bazénový odvlhčovač.....	22
Obr. 8 Schéma odvlhčovače	22
Obr. 9 Řízené a neřízené odvlhčování	23
Obr. 10 VZT jednotka s neřízeným odvlhčováním	24
Obr. 11 Bazénová jednotka.....	25
Obr. 12 Typické označení jednotky splňující ekodesign.....	27
Obr. 13 Referenční konfigurace obousměrné větrací jednotky	29
Obr. 14 Schéma bazénové haly.....	35
Obr. 15 Tepelná zátěž bazénové haly	36
Obr. 16 Výpočet odparu v programu TERUNA.....	37
Obr. 17 Sestava bazénové jednotky	39
Obr. 18 Sestava jednotky s odvlhčováním.....	41
Obr. 19 Návrhové okrajové podmínky	46
Obr. 20 Bazénová jednotka – zimní extrém	47
Obr. 21 Bazénová jednotka – letní extrém	48
Obr. 22 Bazénová jednotka – vlhkostní extrém.....	49
Obr. 23 Jednotka s řízeným odvlhčováním – zimní extrém	50
Obr. 24 Jednotka s řízeným odvlhčováním – letní extrém	51
Obr. 25 Jednotka s řízeným odvlhčováním – vlhkostní extrém	52
Obr. 26 Bazénová jednotka – cirkulační režim.....	55
Obr. 27 Lokace školy.....	66
Obr. 28 Měřená bazénová hala	66
Obr. 29 Schéma měřené bazénové jednotky.....	67
Obr. 30 Montáž měřících čidel	68
Obr. 31 Umístění měřícího čidla u kompresoru	68
Obr. 32 Datalogger Comet.....	69
Obr. 33 USB adaptér pro datalogger	69
Obr. 34 Vzdálený dohled – přehled činnosti jednotky	70
Obr. 35 Vzdálený dohled – přehled stavu jednotky.....	70
Obr. 36 Schéma umístění měřících čidel	71
Obr. 37 Montáž měřících čidel – umístění	71
Obr. 38 Časová osa pracovních režimů bazénové jednotky	72
Obr. 39 Režim cirkulace	73
Obr. 40 HX diagram – Režim cirkulace	73
Obr. 41 Režim cirkulace – odvlhčování	74
Obr. 42 HX diagram – režim odvlhčování	74
Obr. 43 Režim větrání s částečnou cirkulací	75
Obr. 44 HX diagram – režim větrání s částečnou cirkulací.....	75
Obr. 45 Tok odpařované vody dle L. Oppla	80



Seznam tabulek

Tab. 1 Požadavky na mikroklima	18
Tab. 2 Tepelné ztráty bazénové haly	35
Tab. 3 Tepelná účinnost rekuperátoru	38
Tab. 4 Parametry cirkulačního režimu.....	55
Tab. 5 Parametry dataloogeru	69



Seznam grafů

Graf 1 Požadovaný objemový průtok pro zajištění odpovídající relativní vlhkosti	20
Graf 2 Poměr přeneseného tepla rekuperátorem a ohříváčem	42
Graf 3 Potřeba tepla za rok	43
Graf 4 Cena za energii pro úpravu vzduchu za rok	43
Graf 5 Roční náklady na provoz VZT jednotek se započítáním energie pro ventilátory	45
Graf 6 Cena za hodinový provoz při klimatických extrémech	53
Graf 7 Porovnání potřebného výkonu výměníků pro pokrytí návrhových extrémů	54
Graf 8 Denní průběh teplot	76
Graf 9 Přívodní teplotní účinnost se započítáním 50% obtoku	77
Graf 10 Přívodní teplotní účinnost bez obtoku	78
Graf 11 Četnost intervalů rozdílu měrných vlhkostí	79
Graf 12 Rozdíl měrných vlhkostí přiváděného a odváděného vzduchu	79
Graf 13 Množství odpařené vody z bazénu při klidné hladině	81
Graf 14 Množství odpařené vody z 1 m ²	81



Přílohy

1. Specifikace – varianta č. 1 (1 A4)
2. Půdorys – varianta č. 1 (10 A4)
3. Pohledy – varianta č. 1 (2 A4)
4. Půdorys – varianta č. 2 (3 A4)
5. Schéma – varianta č. 1 (2 A4)
6. Schéma – varianta č. 2 (2 A4)



Příloha 1 – Specifikace - varianta č. 1

SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ				
Bazénová hala				
Zařízení č. 1 - Bazénová jednotka				
Ozn.	Výrobce	Popis zařízení	Jednotka	Množství
1.001	REMAK	Vzduchotechnická bazénová jednotka <i>V = 5000/5100 m³/h; Skladba dle schéma; Jednotka včetně ventilátorů s volným oběžným kolem a EC motorem, vodního ohříváče, integrovaným tepelným čerpadlem s výparníkem a dvěma kondenzátory, rekuperátorem se směřováním, směšovací komorou, pružného připojení potrubí, základového rámu.</i>	ks	1
1.051	MART	Tlumič hluku kulisový 500x400 ; 1500mm	ks	2
1.052	MART	Tlumič hluku kulisový 800x400 ; 1500mm	ks	1
1.101	SYSTEMAIR	Stěnová mřížka 325x75	ks	4
1.201	SYSTEMAIR	Přívodní bazénová šterbinová vyúst' s hrdly pro připojení potrubního rozvodu <i>Počet šterbin:1 ; šířka šterbiny: 8mm; délka vyústě: 1500mm; včetně plenum boxu a regulačních klapky; připojení 3x DN 98; materiál A316</i>	ks	4
1.202	SYSTEMAIR	Přívodní bazénový anemostat s nastavitelnými lamelami <i>600x600; průtok 460 m³/h; včetně plenum boxu a regulační klapky; připojení 1x DN 198; materiál A316</i>	ks	10
1.203		Odvodní bazénový anemostat <i>600x600; průtok do 475 m³/h; včetně plenum boxu a regulační klapky; připojení 1x DN 198; materiál A316</i>	ks	11
1.301		Protipožární klapka 400x355	ks	2
1.302		Protipožární klapka 710x400	ks	1
1.501		Nasávací koleno 150°, včetně síta proti hmyzu	ks	1
1.551		Výfuková žaluzie 1100x500	ks	1
1.701		Potrubí čtyřhranné plastové PVC, rovné	m ²	103
1.702		Potrubí čtyřhranné plastové PVC, tvarovky	m ²	35
1.801		Potrubí kruhové plastové DN200	m	41
1.802		Potrubí kruhové plastové DN160	m	8
1.803		Potrubí kruhové plastové DN100	m	15
1.901		Kaučuková tepelná izolace, tl 25mm	m ²	80
1.902		Kaučuková tepelná izolace, tl 19mm	m ²	21