

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



VZDUCHOTECHNIKA BAZÉNOVÉHO  
PROVOZU  
DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Vedoucí diplomové práce:** Ing. Roman Musil, Ph.D.  
**Vypracoval:** Radomír Koudelka  
**Akademický rok:** 2016/2017



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Koudelka Jméno: Radomír Osobní číslo: 396164

Zadávací katedra: Katedra technických zařízení budov K-125

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí (B), zaměření Technická zařízení budov

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Projekt vzduchotechniky bazénu

Název diplomové práce anglicky: Air conditioning project of swimming pool

Pokyny pro vypracování:

Diplomová práce se skládá ze dvou částí.

1. část práce řeší analýzu klimatických dat pro návrh bazénů a simulace chování odvodu vlhkosti z prostoru bazénu v programu Designbuilder. Zároveň tato část práce pojednává o vhodném typu VZT potrubí pro bazénové prostory a typy použitelných VZT jednotek.

2. Část diplomové práce se bude týkat projektu systému větrání bazénu, zpracovaný na úrovni rozšířené dokumentaci pro stavební povolení. Součástí dokumentace budou půdorysy, schéma VZT jednotky (jednotek), řezy VZT potrubím, křížení VZT potrubí se stavebními konstrukcemi, technická zpráva včetně požadavků na ostatní profese a funkční schéma VZT systému jako podklad pro MaR.

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího diplomové práce: Roman Musil

Datum zadání diplomové práce: 5.10.2016

Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017  
~~15.1.2017~~

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

5.10.2016

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne 8. 1. 2016

podpis .....

## PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Romanu Musilovi, Ph.D. za odborné vedení a rady při zpracování této práce.

# OBSAH

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2. LEGISLATIVA, EMPIRICKÉ VZTAHY A KOLEGOVÉ Z NĚMECKA OKOLO VZDCHOTECHNIKY BAZÉNŮ</b> .....	<b>9</b>
2.1 Vyhláška 238/2011: Příloha č.12 a německá norma VDI 2089 .....	10
2.2 Empirické vztahy a doporučené hodnoty od autorů Chýský a Hemzal .....	11
2.2.1 Doporučení pro Plavecké bazény .....	12
2.2.2 Obecná doporučení .....	12
<b>3. TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ A PRVKY DISTRIBUCE PRO VZDUCHOTECHNIKU BAZÉNŮ</b> .....	<b>13</b>
3.1 Potrubní materiály a možnosti řešení .....	13
3.2 Větrací / klimatizační (odvlhčovací) jednotky .....	15
3.2.1 Materiálové řešení .....	15
3.3 Popis provozních stavů VZT jednotky s odvlhčováním .....	16
<b>4. ZÁSADY VĚTRÁNÍ, STAVEBNÍHO ŘEŠENÍ BAZÉNŮ A NEJČASTĚJŠÍ PROBLÉMY PŘI NÁVRHU</b> .....	<b>19</b>
4.1 Zásady větrání .....	20
4.2 Zásady konstrukčního a stavebního řešení .....	22
4.3 Nejčastější chyby v návrzích .....	22
<b>5. OPERACE S H-X DIAGRAMEM</b> .....	<b>24</b>
5.1 Odpařování vodní páry z volné hladiny .....	24
5.2 Odpařování z volné hladiny v aplikaci pro bazény .....	26
<b>6. POROVNÁNÍ DVOU VÝPOČTŮ MNOŽSTVÍ PŘENÁŠENÉ VODNÍ PÁRY (M<sub>w</sub>)</b> .....	<b>28</b>
6.1 Okrajové podmínky .....	29
6.2 Výpočet podle Technického průvodce č.31 Větrání a klimatizace, autoři: Chýský J., Hemzal K.30	
6.3 Výpočet podle VDI 2089 Building Services in swimming baths, Indoor pools .....	30
6.4 Porovnání .....	33
6.4.1 Vlastní porovnání obou výpočtu - dle autorů Chýský-Hemzal s německou normou VDI 2089 (nové vydání – obsáhlejší postup) .....	33
6.4.2 Závislost množství opařené vody na teplotě interiéru .....	34
<b>7. ROČNÍ BILANCE ENERGIÍ PRO VZDUCHOTECHNIKU BAZÉNU</b> .....	<b>36</b>
7.1 Teoretické porovnání .....	36
7.2 Analýza klimatických dat .....	36
7.2.1 Volba limitů u jednotlivých analýz .....	37
7.2.2 Analýza měrné vlhkosti vnějšího vzduchu .....	37
7.2.3 Analýza vnější teploty .....	39

7.3	SIMULACE VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ BAZÉNU V SOFTWARE DESIGN BUILDER.....	40
7.3.1	Vytvoření modelu (popis vytvoření, popis okrajových podmínek, popis zadaných vlastností kcí) .....	41
7.3.2	Zavedení vlhkostního zisku do modelu skrze latentní teplo .....	41
7.3.3	Odvod vypařené vodní páry a nastavení podmínek vnitřního prostředí .....	43
7.3.4	Průběh, klíčová nastavení a analýza výsledků simulace .....	44
7.3.5	výsledky Roční bilance SIMULAČNÍHO MODELU .....	49
7.4	MANUÁLNÍ VÝPOČET SIMULACE ROČNÍHO PROVOZU VZT JEDNOTKY.....	50
7.5	Shrnutí práce v Design Builderu při posuzování vnitřního prostředí bazénů.....	51

## 8. ZÁVĚR..... 52

### GRAFY

Graf 1 - Odpar vodní páry dle VDI 2089 v zimě při různém druhu provozu pro součet dětského a plaveckého bazénu .....	31
Graf 2 - Odpar vodní páry <b>dětského</b> bazénu dle VDI 2089 v létě a v zimě při různém druhu provozu.....	32
Graf 3 - Odpar vodní páry <b>plaveckého</b> bazénu dle VDI 2089 v létě a v zimě při různém druhu provozu.....	32
Graf 4 Četnost případů vnější měrné vlhkosti.....	38
Graf 5 - Četnost případů vnější měrné vlhkosti s podrobnějším členěním nad limitem 9 g v.p./kg s.v.....	38
Graf 6 - Četnost teplot v roce .....	39
Graf 7 - Četnost násobnosti výměny.....	45
Graf 8 - Četnost a pokrytí vnitřní relativní vlhkosti .....	46
Graf 9 - Četnost a procento pokrytí případů Vnitřní relativní vlhkosti okolo limitu $\phi_{i} = 65$ [%] .....	47
Graf 10 – Roční bilance energií .....	49
Graf 11 - Četnost množství větracího vzduchu v roce dle určených limitů, procento pokrytí všech případů do daného (uvedeného) limitu .....	50
Graf 12 - Znázornění pokrytí výskytu rozdílu měrných vlhkostí vnitřního a vnějšího vzduchu v celém roce simulace .....	51

### OBRÁZKY

Obrázek 1 - provoz VZT jednotky v době bez návštěvníků [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm].....	16
Obrázek 2 - Klidový stav VZT jednotky s odvlhčováním – bez návštěvníků, ale je odváděn přirozený odpar [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm] .....	17
Obrázek 3 - Zimní provoz VZT jednotky s odvlhčováním, předehřevem výměníku ZZT, přimícháváním odváděného vzduchu [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm] .....	17

Obrázek 4 - Provoz v přechodném období [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm] .....	18
Obrázek 5 - Letní provoz [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm].....	19
Obrázek 6 - Ilustrace převzaty z podkladů firmy Atrea k bazénové VZT jednotce DUPLEX RDH4.....	21
Obrázek 7 - plnohodnotné rozvody vzduchotechniky v podlaze okolo menšího rekreačního bazénu např. v hotelu (Design Guide Manual firmy Seresco <sup>7</sup> ).....	21
Obrázek 8- plnohodnotné rozvody vzduchotechniky okolo menšího rekreačního bazénu (Design Guide Manual firmy Seresco <sup>7</sup> ) .....	22
Obrázek 9 - Průběh odpařování z volného vodního povrchu do různých směrů podle toho, která z obou (počáteční a koncová) teplot je větší a zároveň podle toho, zda je teplota povrchu vodní hladiny větší, či menší teplotě rosného bodu pro daný vzduch (Zdroj obrázku: katedra TZB FSv ČVUT: Mollierův diagram).....	25
Obrázek 10 - Průběh odparu z vodní hladiny. Zdroj Přednášky Ing. Adamovský FSv ČVUT .....	27
Obrázek 11 - Graf závislosti množství opařené vody na teplotě interiéru.....	35
Obrázek 12 - Model budovy v prostředí softwaru Design Builder.....	41

## TABULKY

Tabulka 1 - Vyhláška 238/2011: Příloha č.12 .....	10
Tabulka 2 - Teploty v místnostech dle VDI 2089 .....	10
Tabulka 3 - okrajové podmínky.....	29
Tabulka 4 - Množství odpařené v.páry .....	30
Tabulka 5 Součinitel přenosu hmoty pro bazény dle VDI 2089 (nové vydání).....	31
Tabulka 6 - Odpar vodní páry dle VDI 2089 v létě a v zimě pro dětský a plavecký bazén při různém druhu provozu.....	32
Tabulka 7 - Množství odpařené vodní páry dvěma postupy.....	33
Tabulka 8.....	36
Tabulka 9 - venkovní teploty .....	37
Tabulka 10.....	42
Tabulka 11 – Minimální množství čerstvého vzduchu $V_{e,min}$ .....	43
Tabulka 12 - výkony chlazení a topení určené softwarem DB.....	43
Tabulka 13 – Rozvrhové plány ve virtuálním modelu v prostředí Design Builderu .....	44
Tabulka 14 - analýza: extrémní stavy .....	45
Tabulka 15 - Roční spotřeby energie včetně průměrných ročních hodnot sledovaných veličin simulačního modelu .....	49

## ANOTACE

Předkládaná práce má za cíl přiblížit teoretickou část problematiky návrhu vzduchotechniky v bazénovém provozu. Je rozdělena do několika částí: první představuje legislativní požadavky a doporučení, dále také zařízení a prvky pro vzduchotechniku bazénů, druhá popisuje zásady návrhu vzduchotechniky i stavební řešení; třetí se týká operací v Mollierově h-x diagramu, ve čtvrté části jsou porovnávány různé přístupy pro výpočet množství odpařené vodní páry a v páté poslední je řešena analýza klimatických dat a simulace vnitřního prostředí v softwaru Design Builder.

## ANNOTATION

Diploma thesis you are looking at, deals with theoretical background (knowledge) of swimming pool ventilation. Whole work is divided into a several parts: first discusses legislative requirements and recommendations and also devices and components (elements) for swimming pool usage; second describes basics of ventilation and also includes construction recommendations for swimming pool in general. Third part is about essential pool processes described in Mollier's h-x diagram; fourth section compares different approaches to water mass flow calculations. The fifth and last one deals with climatic data analysis and also simulation of swimming pool interior in Design Builder software ®.



## 1. ÚVOD

Tato práce má za cíl doplnit projektovou dokumentaci vzduchotechniky plaveckého bazénu v Hořovicích o teoretickou část. V teoretické části je žádané představit problematiku návrhu větrání bazénů v širších souvislostech jako např. doporučení pro stavební a provozní řešení, principiální řešení vzduchotechnických (dále jen VZT) jednotek a příslušných vzduchotechnických prvků pro provoz vzduchotechniky bazénů. Dále následuje stručný rozbor provozu VZT jednotek v různých provozních situacích, dále jsou rozebrány základní procesy v h-x diagramu doplněné o odpar z volné vodní hladiny a odvlhčování.

Druhou částí této práce bude zjednodušený výpočet roční bilance energií vzduchotechniky bazénu. Ten bude řešen jednak jako ruční výpočet s danými okrajovými podmínkami, současně pak pro srovnání také jako simulace vnitřního prostředí ve virtuálním 3D modelu v softwaru Design Builder v.4.7.

## 2. LEGISLATIVA, EMPIRICKÉ VZTAHY A KOLEGOVÉ Z NĚMECKA OKOLO VZDCHOTECHNIKY BAZÉNŮ

Obecně lze shrnout podklady pro projektování bazénů asi do čtyř skupin:

1. vyhlášky platné na našem území – zejména vyhláška 238/2011: Příloha č.12 <sup>1</sup>
2. německá komplexní norma pro projektování bazénů včetně vodních atrakcí VDI 2089 <sup>2</sup>
3. empirické vztahy a doporučené hodnoty od autorů Chýský a Hemzal <sup>3</sup>
4. firemní podklady výrobců potrubích rozvodů, VZT bazénových jednotek, textilních rukávů (blíže dále v textu), jiných specifických součástí soustavy celé vzduchotechniky (dále pouze VZT). Tato čtvrtá část nebude dále rozebírána.

---

<sup>1</sup> Vyhláška č. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch

<sup>2</sup> Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern

<sup>3</sup> CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. Větrání a klimatizace. Vydání třetí, zcela přepracované. Praha: BOLIT-B press, 1993. ISBN 80-901574-0-8.

## 2.1 Vyhláška 238/2011: Příloha č.12 a německá norma VDI 2089

Vyhláška č 238/2011 v příloze č.12 uvádí pro projektování bazénů asi nejzásadnější informace o požadovaném rozsahu teplot, vlhkosti, výměně vzduchu a také požadovanou míru osvětlení:

<b>Faktor prostředí</b>	<b>Hala bazénu</b>	<b>Přílehlé prostory pro uživatele ( šatny, WC, sprchy, chodby atd. )</b>
Teplota vzduchu	o 1 - 3°C vyšší než teplota vody v bazénu, max. 34°C	sprchy 24 - 30°C (min. 17°C) šatny 20 – 28°C místnosti pro pobyt osob 22 - 26°C vstupní prostory 20 – 22°C
Relativní vlhkost vzduchu	60%, max. provoz 65%	sprchy max. 85% ostatní prostory max. 50% (kromě parní komory)
Výměna vzduchu	nejméně 2x za hodinu	sprchy min. 8x/h, šatny 5-6x/h ostatní prostory tak, aby vyhovovaly relativní vlhkosti vzduchu
Intenzita osvětlení	Min. 200 lux. Pro rekreaci Min. 300 luxů pro plavecký výcvik	200 luxů

Tabulka 1 - Vyhláška 238/2011: Příloha č.12

Pro porovnání zejména co se týče rozsahu teplot je zde uveden přehled převzatý z VDI 2089 (dále jen normy) znázorňující min a maximální teploty v místnostech bazénu, čehož lze využít například i při výpočtu v letním stavu, kdy máme omezení i z horní hranice v letním období:

Místnost	Teplota v místnosti (°C)	
	Min	max
Vstup, pomocné prostory	20	x
Schodiště	18	x
Šatny	22	28
Hygienická zařízení návštěvníků a místnosti pro personál (pracovníci)	22	26
Sprchy a přílehlá hyg. Zařízení	26	34
Hala bazénu	30	34

Tabulka 2 - Teploty v místnostech dle VDI 2089

Dále uvádí německá norma teploty vody pro různé druhy bazénů:

Druh bazénu	Teplota vody tw [°C]
Plavecký, potapěčský, s vlnobitím	28
Rekreační bazén	28 až 32
Pro léčebné účely – terapie	36
Vířivka	36
Brouzdaliště	32
„Studený bazén“	15

Rovněž v normě dohledáme doporučené **povrchové teploty** pro povrchy s možným dotykem plavců. **Povrchy podlah** by měly být v rozsahu 30 až 39°C, bez obutí 22 až 30°C. Plochy zařízení určených k vytápění prostor by neměly překročit povrchovou teplotu 50°C. Teplota vody ve výstupu ze sprchy nejvýše 42°C.

K **relativní vlhkosti** se norma vyjadřuje následovně: Pro člověka je třeba držet prostředí bez pocitu dusna. Limitní hodnotou pro vznik pocitu dusna je  $X_{i} = 14.3 \text{ g}_{\text{v.p.}}/\text{kg SV}$  při částečném tlaku vodních par  $p_{\text{d}} = 22.7 \text{ hPa}$ . Zejména však v letních měsících nastává ve vnějším prostředí dusno a podmínky jemu odpovídající, čímž je prakticky nemožné zajistit vnitřní klima ve stanovených hodnotách vlhkosti. Při těchto vnějších podmínkách  $X_{\text{e}} > 9 \text{ g vp/kg SV}$  (odpovídající  $p_{\text{d}} = 14.4 \text{ hPa}$ ) umožňuje norma překročit výše zmíněnou hodnotu měrné vlhkosti  $X_{\text{i}} = 14.3 \text{ g/kgSV}$ . Doporučeným rozmezím relativní vlhkosti vnitřního vzduchu je  $40 \% \leq \varphi \leq 64 \%$ .

## 2.2 Empirické vztahy a doporučené hodnoty od autorů Chýský a Hemzal

Obecně je možné říci, že to, co chybí pro navrhování vnitřního prostředí v bazénovém provozu ve vyhlášce 238/2011 oproti německé normě VDI 2089, doplňuje publikace *Větrání a klimatizace (Chýský, Jaroslav a Karel Hemzal)* pomocí uvedených empirických vzatů a ověřených hodnot. Zejména je zde uveden vztah pro výpočet **množství odváděné vodní páry** podstatný pro další výpočet množství ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) větracího vzduchu  $V_{\text{p}}$ . Rovněž se dají vyčíst **teploty vody** pro různé účely bazénů, výčet doporučení a okrajových podmínek je uveden v následujícím textu:

### 2.2.1 DOPORUČENÍ PRO PLAVECKÉ BAZÉNY

Tři kategorie bazénů: bez hlediště, s hledištěm (nejsložitější větrání, kombinace dvou provozů) a poslední terapeutické. Z konstrukčního hlediska jsou nejjednodušší bazény zcela obestavěné budovou, naopak nejsložitější volně stojící značně prosklené (kde nelze **zcela zabránit** kondenzaci par na skle (složitý systém ofukování skel přívodním vzduchem)).

Doporučení podle Chýského a Hemzala k roku 1993:

1. Vzduch v hale bazénu 25 až 28°C (max. 3°K nad teplotou vody)  $\varphi = 0.5$  až 0.6 v zimě;  $\varphi = 0.6$  až 0.7 v létě
2. Teplota vody bazénu pro:
  - závodní plavání 22 - 24°C
  - skokanský bazén 22 až 23 °C
  - dětský bazén 26 až 28°C; při zajištění biologické čistoty
3. **Rychlost proudění vzduchu v pásmu pohybu plavců 0.1 až 0.2 m/s** (v hledišti nepřístupném plavcům 0.2 až 0.25)
4. *Terapeutické bazény* – teplota vody 29 -35°C, vzduchu 27 až 29°C  $\varphi = 0.5$  až 0.6
5. Sprchy: jsou energeticky náročné. Teplota v místnosti 25°C s přívodem vzduchu 40 až 50°C, **průtok vzduchu** 220 m<sup>3</sup>/h na jednu sprchu v létě a 75 až 100 m<sup>3</sup>/h v zimě (intenzita větrání 25 – 30 l/h. V šatnách 15 až 20 m<sup>3</sup>/(h\*m<sup>2</sup>)).

### 2.2.2 OBECNÁ DOPORUČENÍ

Plavcům je třeba kompenzovat chladný účinek sálání obvodových konstrukcí např. podlahovým vytápěním nebo sálavými stěnovými panely. V noci se teploty vody i vzduchu snižují. Větší intenzita větrání je třeba v létě [násobně větší absolutní měrná vlhkost kolem 6-9 g/kgSV ( v zimě se vzduch částečně cirkuluje)] Doporučuje se zpětné získání tepla (dále jen ZZT).

**Průtok vzduchu** k větrání se stanovuje tak, aby **odváděl odpařenou vodu**, přičemž stále platí, že rychlost proudění  $w < 0.3$  m/s. Měrný vývin vodní páry lze empiricky stanovit z následujícího vztahu, kde pro malé rychlosti  $w < 0.3$  m/s platí:

$$\beta = 0.124 + 0.11 * w \text{ (kg/(h.m}^2\text{.Pa))}.$$

Druhým způsobem výpočtu je počítat s tokem vlhkosti (kg/h) odpařované z hladiny bazénu o ploše S (m<sup>2</sup>) s využitím dalšího vztahu pro součinitel přenosu vlhkosti vztažený k rozdílu měrných vlhkostí nasycené vrstvy u hladiny a převažující vlhkosti vzduchu v hale:

$$M_w = \beta_x * S * (x'' - x) \quad [\text{g/s; kg/s}],$$

kde:

$\beta_x = 25 + 19w$  [kg/(h\*m<sup>2</sup>)] platí pro  $w < 0.3$  m/s - součinitel přenosu vlhkosti vztažený na rozdíl měrných vlhkostí

$x''$  = [kg/kg] měrná vlhkost **vrstvy vodní páry při hladině** o teplotě vody

$x$  = [kg/kg] měrná vlhkost **vnitřního vzduchu**

Obvykle nabývá součin:  $\beta_x * \Delta X$  hodnot 0.1 až 0.15 v létě a 0.15 až 0.25 kg/(h.m<sup>2</sup>) v zimě.

Průtok **venkovního vzduchu** je pak dopočitatelný ze vztahu pro odvod vlhkosti rozdílem vnitřní a vnější vlhkosti vzduchu:

$$M_e = M_w / (X_o - X_e) \quad [\text{kg/h}]$$

,kde  $X_o$ ;  $X_e$  – jsou měrné vlhkosti **odváděného** (o) a **venkovního** (e) vzduchu.

### 3. TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ A PRVKY DISTRIBUCE PRO VZDUCHOTECHNIKU BAZÉNŮ

#### 3.1 Potrubní materiály a možnosti řešení

Rozvody vzduchotechniky pro vnitřní prostředí bazénu musí splňovat hygienické požadavky, ale také požadavky na trvanlivost v chemicky i vlhkostně agresivním prostředí. Výše zmíněné požadavky proto splňují na současném trhu zatím dvě řešení, rozvody z nerezového plechu, rozvody ze sendvičových materiálů a též rozvody z textilních materiálů.

Pro rozvody z nerezů jsou na trhu dostupné řady potrubí, např. řada **nerezového potrubí**<sup>4</sup> firmy Atrea DN 160 – 250 s příslušnými tvarovkami, případně je možné využít nerezového **spiro potrubí**<sup>5</sup>. Mezi žádané vlastnosti nerezových rozvodů patří:

- snadné propojení
- estetický vzhled
- odolný materiál (agresivní prostředí)
- dobrá čistitelnost
- individuální výroba (tvarovky apod.)

U sendvičových materiálů (potrubí ALP je docíleno trvanlivosti použitím nejméně tří vrstev. Z vnitřní strany vzduchovodu je souvrství následující: hliníková fólie (hladká, nebo jinak povrchově upravená) od 80 do 200  $\mu\text{m}$  tloušťky, dále pak střední vrstva polyuretanové pěny o standardní tloušťce 20.5 nebo 30 mm a třetí vrstva opět hliníková fólie. Vybrané technické vlastnosti **ALP panelu**<sup>6</sup>:

- polyisokyanátový sendvičový panel, který je z obou stran krytý hliníkovou fólií s gofrovaným povrchem
- tloušťka Al fólie: dle druhu panelu 80  $\mu\text{m}$  nebo 200  $\mu\text{m}$
- hustota izolační pěny: 48  $\text{kg}/\text{m}^3$
- váha panelu: dle druhu panelu 1,2-1,9  $\text{kg}/\text{m}^2$
- součinitel tepelné vodivosti: 0,0200  $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$
- součinitel prostupu tepla: 0,93  $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$
- tepelná odolnost: +110  $^{\circ}\text{C}$ , - 35  $^{\circ}\text{C}$

Textilní rozvody jsou nejmladším řešením větrání bazénových hal, které se dostává do pozornosti projektantů až v poslední době. Lze od nich očekávat rovnoměrnou distribuci

---

<sup>4</sup> Bazénové jednotky: DUPLEX RDH5. Atrea [online]. [cit. 2016-10-26]. Dostupné z: <http://www.atrea.cz/cz/bazeny-rd>

<sup>5</sup> Vzduchotechnika-ventilace: spiro potrubí [online]. [cit. 2016-10-26]. Dostupné z: <https://www.vzduchotechnika-ventilace.cz/>

<sup>6</sup> Potrubí ALP. Vzduchotechnika Zmrzlík [online]. [cit. 2016-10-26]. Dostupné z: <http://www.vzt-zmrzlik.cz/cz/komponenty/salp.php>

vzduchu a dle výrobců i snadné čištění textilních rozvodů díky vlastnostem tkaniny, z níž jsou rozvody **vyrobené**<sup>7</sup>.

## 3.2 Větrací / klimatizační (odvlhčovací) jednotky

### 3.2.1 MATERIÁLOVÉ ŘEŠENÍ

Materiálové a konstrukční řešení vzduchotechnických jednotek pro bazénový provoz vychází zejména z požadavku na odolnost v agresivním prostředí. Tímto je myšleno prostředí bazénu s uvolňováním chlóru do větraného (cirkulovaného) vzduchu, který působí zejména na kontaktní plochy zařízení s cirkulačním vzduchem. Dále je agresivním prostředím myšlena také zvýšená úroveň relativní vlhkosti ve vnitřním prostředí dosahující dle vyhlášky maximálně RH = 65%.

Jeden z výrobců těchto jednotek uvádí klíčové obecné vlastnosti VZT jednotky pro bazénové prostředí následovně:

- nerezové materiály / alternativně povrchová úprava epoxydovým nástřikem (zamezení kontaktu 'chlóru' přímo se stěnou konstrukčního materiálu)
- nastavitelné mikroprocesorové řídicí jednotky (nutnost provádět operace s h-x diagramem v průběhu provozu)
- vysoká účinnost rekuperace tepla (větrají se poměrně velké objemy vzduchu)
- energeticky úsporná tepelná čerpadla (tepelné čerpadlo je zde s výhodou využito zejména pro vysoušení, kdy je třeba chladu i tepla v průběhu procesu odvlhčování)
- funkce odvlhčování
- vestavěný chladicí okruh s hermetickým kompresorem (ochrana elektroniky a mechanických dílů kompresoru před agresivními látkami ze vzduchu),

---

<sup>7</sup> MATERIÁL. Příhoda s.r.o. [online]. [cit. 2016-10-26]. Dostupné z: <http://www.prihoda.com/cs/material>

### 3.3 Popis provozních stavů VZT jednotky s odvlhčováním

Popis funkcí (sub zařízení) jednotky: jednotka obsahuje ohřívač a chladič napojené na okruh tepelného čerpadla; též uvnitř jednotky často najdeme druhý ohřívač pro dohřev napojený na vnější rozvody tepla, dále křížový výměník ZZT, příslušné filtrové komory, ventilátorové komory a redukční klapky pro směšování, nebo přepouštěcí klapky pro cirkulaci vnitřního vzduchu.

Vysvětlení zkratk užitých ve schématech provozů:

ODA = venkovní vzduch,

SUP = přiváděný vzduch,

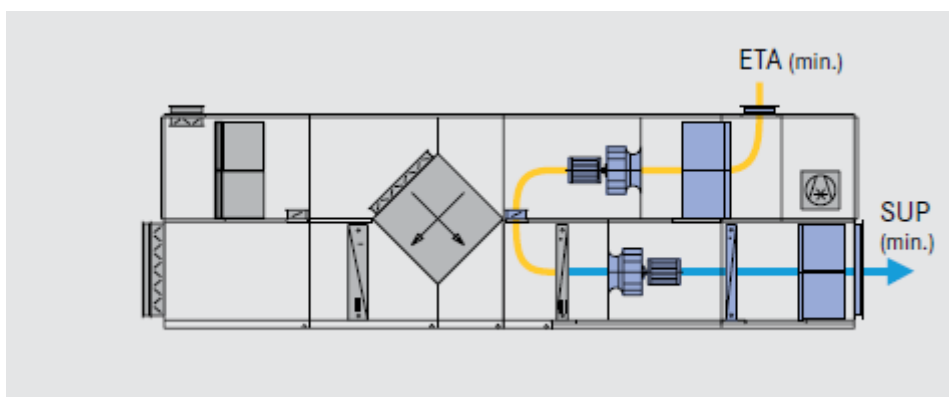
ETA = odváděný vzduch,

EHA = odpadní vzduch,

RCA = cirkulační vzduch,

MIA = smíšený vzduch

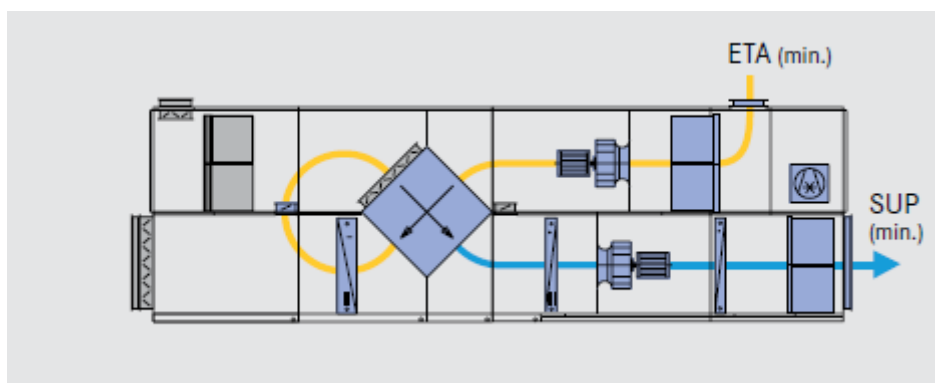
(min) – pouze nutné minimum (z hygienických či ekonomicko-provozních důvodů)



Obrázek 1 - provoz VZT jednotky v době bez návštěvníků [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robotherm]

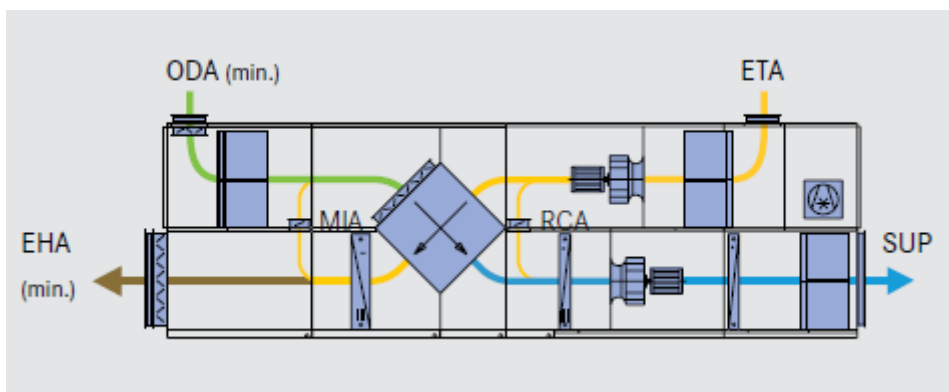
Na obrázku 1. je ilustrován minimální průtok pouze cirkulačního vzduchu v době mimo běžný provozní režim kdy není navíc třeba odvlhčovat protékající vzduch. Dochází pouze k přečištění vzduchu na filtrech, přidání tlaku proudu vzduchu (zvýšení rychlosti) a zejména dohřevu v období s tepelnými ztrátami (dohřev napojený na vnější rozvody tepla).





Obrázek 2 - Klidový stav VZT jednotky s odvlhčováním – bez návštěvníků, ale je odváděn přirozený odpar [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm]

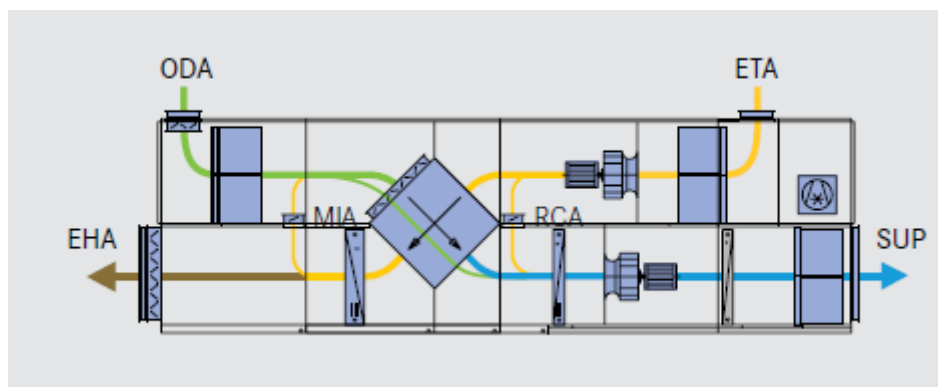
Na obr. 2 je provoz VZT jednotky v době mimo provoz koupání ale včetně odvlhčování – klidový stav s odvlhčováním. Vzduch je odvlhčován dvěma způsoby zároveň, jednak na předchlazeném výměníku ZZT a na hlavním chladiči. Na výměníku ZZT je předchlazení realizováno vzduchem, který se ve smyčce vrací otevřenou mísící klapkou již ochlazený na hlavním chladiči. Ke konci je vzduch dohříván a přiváděn zpět do bazénové haly přes filtrační komoru. V činnosti je tepelné čerpadlo, hlavní chladič, koncový dohřev i výměník zpětného získání tepla (zkr. ZZT).



Obrázek 3 - Zimní provoz VZT jednotky s odvlhčováním, předehřevem výměníku ZZT, přimícháváním odváděného vzduchu [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm]

Obr. 3 znázorňuje zimní provoz VZT jednotky včetně odvlhčování. V činnosti je tepelné čerpadlo, výměník, chladič, ohřivač, směšovací a cirkulační klapky. Do jednotky je navíc oproti předešlému stavu přiváděn čerstvý venkovní chladný vzduch (ODA), do kterého se směšovací klapkou přimíchává z důvodu ochrany výměníku ZZT určitý průtok mísícího vzduchu (MIA), který je o několik kelvinů teplejší, než venkovní a navíc je

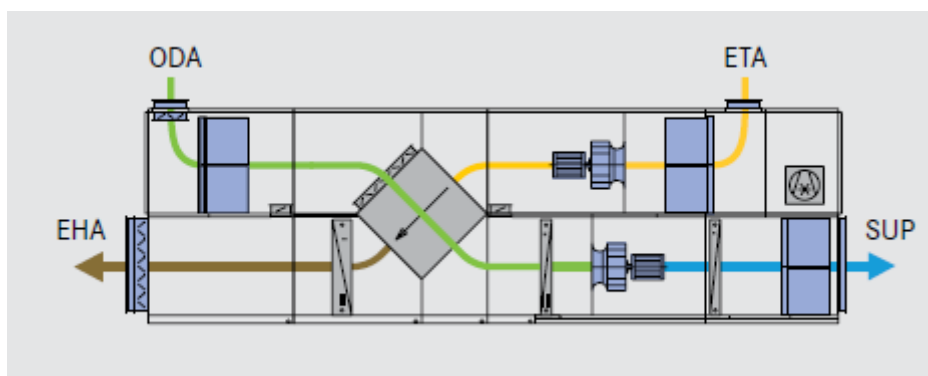
zpravidla sušší, již odvlhčený hlavním chladičem, čímž se snižuje potřeba odvlhčování venkovního vzduchu. Venkovní vzduch dále prochází výměníkem ZZT. Za ním je přimícháván v určitém poměru teplý ale znehodnocený (škodliviny obsahující) cirkulační vzduch (RCA) – tento proces snižuje potřebné teplo pro ohřev vzduchu na požadovanou teplotu v interiéru. Nakonec je vzduch opět ohřátý koncovým dohřevem na požadovanou teplotu a přiveden do haly bazénu (SUP).



Obrázek 4 - Provoz v přechodném období [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robotherm]

Obrázek 4 je ilustrací stavu jednotky v přechodném období (zhruba jaro a podzim), kdy je oproti stavu v čistě zimním, nebo letním období umožněn tzv. by-pass venkovního vzduchu (např. vzduch o rozsahu teplot 2 až 18°C) uvnitř jednotky okolo výměníku ZZT. K výměně tepla ve výměníku ZZT dochází jen v nezbytné míře. By-pass tedy umožňuje snížení tlakových ztrát, které jsou jinak na výměníku v poměru k by-passu znatelně vyšší. Účinnost výměníku klesá s rozdílem vstupních teplot odváděného a čerstvého vzduchu:

V zimě může být tento rozdíl znatelný, uvnitř bazénu je stabilně kolem 26°C, venku -10 až -15°C v závislosti na lokalitě v ČR. Rozdíl teplot, na které reaguje výměník je pak v rozmezí 36 až 41°C, v přechodném období při venkovních teplotách od 2 do 18°C je tento rozdíl řádově do 24°C, tedy zhruba poloviční oproti stavům v zimě.



Obrázek 5 - Letní provoz [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm]

Přes letní období je provoz charakterizován na obr. 5. Je patrné, že je výměník nevyužíván, veškerý venkovní vzduch proudí přes by-pass. Zde je uveden případ, kdy je vypnuté odvlhčování tepelným čerpadlem (též výměníkem) a je uplatněno odvádění vlhkosti pouze zvýšeným průtokem větracího (venkovního) vzduchu (toto množství rozhoduje defakto o velikosti jednotky, protože se jedná o nejvyšší průtok přes celý rok). Zároveň je třeba říci, že přes období vysokých letních teplot případně doprovázených bouřkami, je tento způsob větrání nemožný. V takových případech se povoluje dočasný vzrůst vlhkosti uvnitř interiéru a z technického hlediska se doporučuje využití kompresorového odvlhčování (soustavou chladičů a následného dohřevu).

[Zdroj obrázků projekční podklady firmy **Robatherm**<sup>8</sup>]:

#### 4. ZÁSADY VĚTRÁNÍ, STAVEBNÍHO ŘEŠENÍ BAZÉNŮ A NEJČASTĚJŠÍ PROBLÉMY PŘI NÁVRHU

Pro pochopení všech doporučení a častých problémů je vhodné si uvědomit, jaké je vnitřní prostředí bazénů. Jde především o **vyšší teplotu vzduchu, vysokou relativní i absolutní vlhkost vzduchu a agresivní složky** obsažené ve vzduchu vlivem chemických procesů při čištění bazénové vody. Tyto hlavní faktory ovlivňují návrh bazénu už od počáteční koncepce, kdy se rozhoduje o tom, jak efektivní bude provoz bazénu, co se týče technických systémů, stavebního řešení, ale i finančních prostředků při investici i

<sup>8</sup> Vzduchotechnické systémy pro kryté bazény [online]. [cit. 2016-10-26]. Dostupné z: [https://www.robatherm.com/de/system/files/robatherm\\_swimmingpools\\_cze.pdf](https://www.robatherm.com/de/system/files/robatherm_swimmingpools_cze.pdf)

provozu. **Ing. Adamovský**<sup>9</sup> shrnuje ve své přednášce zásady větrání, vytápění a stavebního řešení následovně:

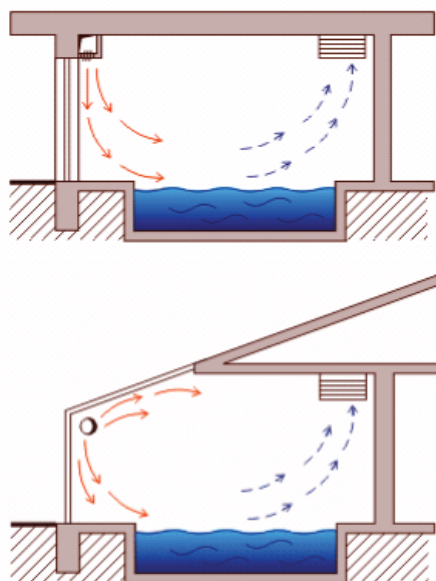
#### 4.1 Zásady větrání

V bodech je možné shrnout doporučení k větrání takto:

- zajištění dokonalého a rovnoměrného provětrávání celého prostoru bazénu bez nevětraných koutů a sektorů, kde hrozí kondenzace
- zajištění přívodu teplého suchého vzduchu s nízkou relativní vlhkostí zásadně k proskleným stěnám a oknům s dostatečnou rychlostí a dosahem proudu v celém rozsahu prosklení
- celý prostor bazénu udržovat vzduchotechnikou trvale v podtlaku (min. 95 %) pro vyloučení rizika pronikání par do sousedních prostor a přes chybně provedené parotěsné zábrany do konstrukcí
- rozvody vzduchotechniky zásadně z nerez potrubí
- u podlahových rozvodů zajistit dokonalou vodotěsnost, vyspádování ke sběru kondenzátu,
- přístup pro čištění a dokonalou tepelnou izolaci a zamezit zatékání vody z podlahy
- zásadně oddělit systém vzduchotechniky bazénu od ostatních VZT systémů – samostatné větrací jednotky
- při nárazovém provozu (rodinné bazény) je ideální instalace vzduchotechniky spojená s teplovzdušným vytápěním (zajistí se velmi rychlý náběh teploty vzduchu na požadovanou hodnotu během několika desítek minut).
- vzduchotechnické jednotky pro větrání bazénů navrhnout v provedení do agresivního prostředí (chlor), tzn. s rekuperačním výměníkem z nerez nebo z plastu, odvodňovací vany též z nerez, nebo speciální úpravy
- velmi malé prostory bazénů lze řešit lokální odvlhčovací recirkulační jednotkou
- nejvýhodnější je větrací a odvlhčovací vzduchotechnická jednotka – je třeba dodržet min. množství čerstvého venkovního vzduchu

---

<sup>9</sup> Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.; Katedra technických zařízení budov; Fakulta stavební, ČVUT v Praze  
Přednáška předmětu Energetické systémy budov 2 – Větrání bazénů

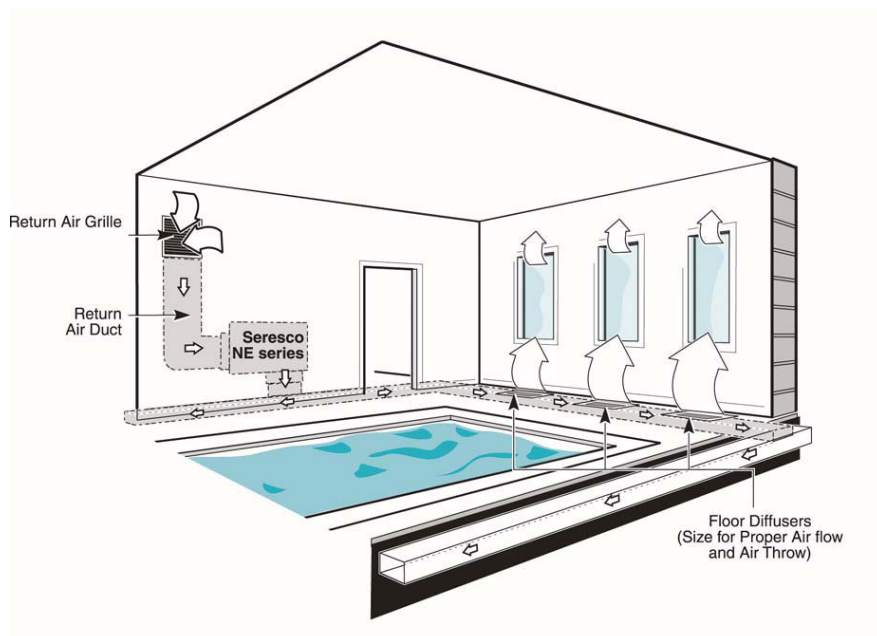


Podélný přívod větracího vzduchu nad okny nebo prosklenou stěnou, distribuce vzduchu dýzami nad prosklenými plochami, odtah mřížkami do potrubí na protilehlé straně

Podélný přívod větracího vzduchu v prosklené stěně, rozvodné potrubí kruhové z nerezového plechu, distribuce vzduchu perforací nebo dýzami vertikálně a šikmo na prosklené plochy.

Obrázek 6 - Ilustrace převzaty z podkladů firmy Atrea k bazénové VZT jednotce DUPLEX

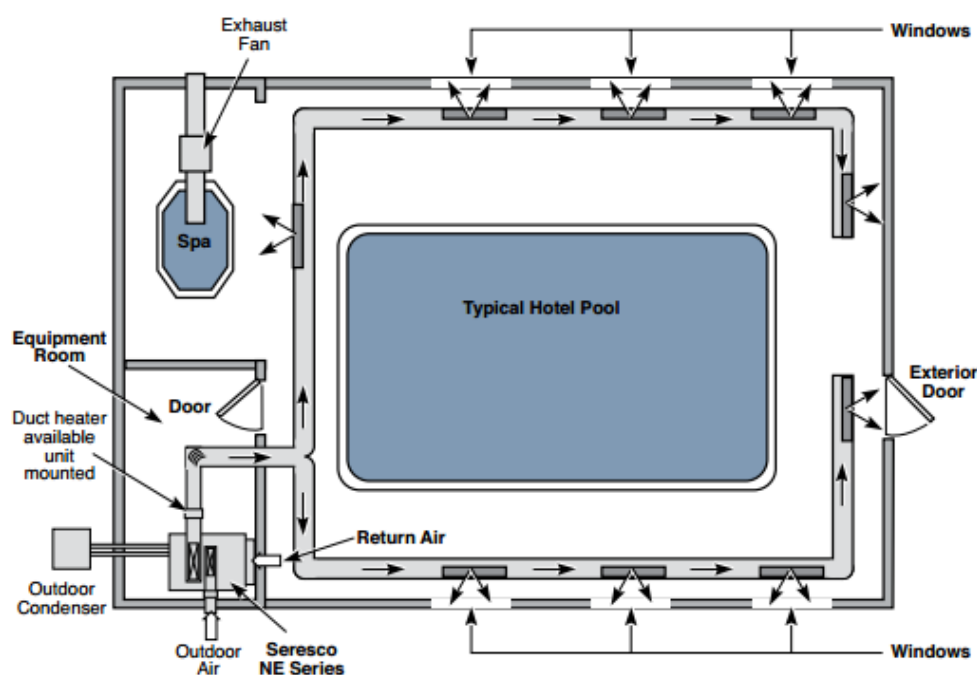
Příložený jsou ilustrace častých provedení přívodů a odvodu vzduchu u bazénového provozu (převzato z manuálu firmy Seresco)<sup>10</sup>:



Obrázek 7 - plnohodnotné rozvody vzduchotechniky v podlaze okolo menšího rekreačního bazénu např. v hotelu (Design Guide Manual firmy Seresco<sup>7</sup>)

<sup>10</sup> Natatorium Design Guide Manual [online]. , 1-32 [cit. 2016-10-26]. Dostupné z: <http://serescodehumidifiers.com/engineers/indoor-pool-design/Seresco-Natatorium-Design-Guide-2013.pdf>

Výše ilustrované provedení v půdoryse (pozn. *Return air* = *odváděný vzduch*):



Obrázek 8- plnohodnotné rozvody vzduchotechniky okolo menšího rekreačního bazénu (Design Guide Manual firmy Seresco<sup>7</sup>)

#### 4.2 Zásady konstrukčního a stavebního řešení

Zásady vycházejí též z obecných doporučení, kritických míst a problémů u bazénů.

Přehledně shrnuje tyto charakteristiky Ing. Adamovský takto:

- obvodové konstrukce stěn a oken řešit s nejlepšími tepelně-technickými parametry
- omezit (zbytečné) rozsahy zasklení (zejména ve střeších bazénů !)
- zcela eliminovat tepelné mosty
- navrhnout dokonalé parotěsné zábrany stěn a stropů
- preferovat pravoúhlé tvary bazénů pro možnost instalace navíjecích foliových zákrytů,
- případně tepelně-izolačních kazet z plášťovaného polyuretanu
- napojení na bytové prostory domu navrhnout výhradně přes těsné dveře, výhodně přes samostatně odvětraný meziprostor chodby

#### 4.3 Nejčastější chyby v návrzích

Je účelem navrhovat VZT vyústky tak, aby směřovaly proudem vzduchu na nejvíce ochlazované konstrukce, často prosklené stěny bazénových hal. Při tomto procesu je

s výhodou využíván Coanda efekt, kdy se při výtoku hnaného vzduchu do vzduchu uvnitř haly hnaný vzduch rozvíří a turbulentními proudy je přisáván ke stěnám či právě k oknům. Coanda efekt umožní navíc dosažení delší vzdálenosti vlivem přilnutí proudu ke stěně obecně např. u talířové – trychtýřovité vyústky umístěné u stropu. Coanda efekt funguje pouze, je-li např. u talířové vyústky samotná trasa vyfukovaného vzduchu v rámci vyústky tvarována. Kdyby byl vzduch vyfukován přímo kolmo dolů, k efektu by nedocházelo. Ze stejného důvodu je i zásadní nasměrování trysek (dýz) pod mírným úhlem k oknům, aby došlo k přilnutí.

Často je ve stavebním návrhu omezený prostor pro zázemí vzduchotechniky, tím pádem i pro samotnou VZT jednotku. Doporučuje se umísťovat kus přímého potrubí před sání ventilátorových komor VZT jednotek. Pakliže jsou kolena blízko VZT jednotek, může docházet k turbulentnímu proudění uvnitř potrubí, které omezí zbývající průtočný profil potrubí a dochází poté k nerovnoměrnému, a neefektivnímu využití např. výměníků tepla. Těm klesá v důsledku toho jejich účinnost.

Z hlediska umísťování odvodních a přívodních vyústek platí zásada, že by nemělo v proudění vzduchu docházet ke zkratu (přiváděný vzduch je odsán dříve, než projde požadovanou trasu – trajektorii interiérem). Dále se nedoporučuje umísťovat nasávací vyústky do nižších poloh kvůli zanášení filtrů vlivem intenzivnějšího nasávání prachu právě ze spodních částí interiérů.

Nežádá se, kdy též dochází k nedostatečnému nadimenzování (navržení) množství vzduchu nutného k odvodu vypařené vodní páry ze všech vodních povrchů a vodních atrakcí. Výsledkem je pak vznik plísní v celém prostoru, nebo v jeho nevětrané části. Ze stavebního hlediska je pak zvýšená vlhkost problémem zejména pro konstrukce využívající ve svém materiálovém souvrství dřeva či materiálů na bázi dřeva.

## 5. OPERACE S H-X DIAGRAMEM

### 5.1 Odpařování vodní páry z volné hladiny

Obecně probíhá odpařování z volné vodní hladiny v h-x diagramu následujícím způsobem:

- K vypařování dochází při styku vzduchu s volnou hladinou vody
- používá se pro vodu skrápěné výměníky, ale platí i pro proudění vzduchu kolem vodní hladiny
- směr změny v Molliérově diagramu probíhá po spojnici počátečního “vysušeného“ stavu (**bod 1**) a pomocného bodu, který je na křivce sytosti ( $\phi=100\%$ ) tam, kde jí protne teplota mokrého povrchu (pro bazén je to teplota vody)
- mohou nastat **dva případy**, buď bude vzduch proudící okolo volné hladiny **zvlhčován**, nebo naopak **vysoušen**. Zvlhčován bude v případě, kdy je teplota rosného bodu pro daný stav vzduchu (v h-x diagramu značen jako  $t_r$ ) nižší, než teplota povrchu vodní hladiny. Naopak platí, bude-li teplota povrchu volné hladiny nižší, než teplota vzduchu, bude docházet k odvlhčování a zároveň k chlazení vzduchu vodou. V podstatě můžeme zjednodušeně říci, že přechod vodní páry je řízen rozdílem teplot, a že vlhkost přechází stejně jako teplo z místa o vyšší teplotě do míst o teplotě nižší.

$t_{po}$  – teplota mokrého povrchu (vodní hladiny)

$t_r$  – teplota rosného bodu pro daný stav vzduchu

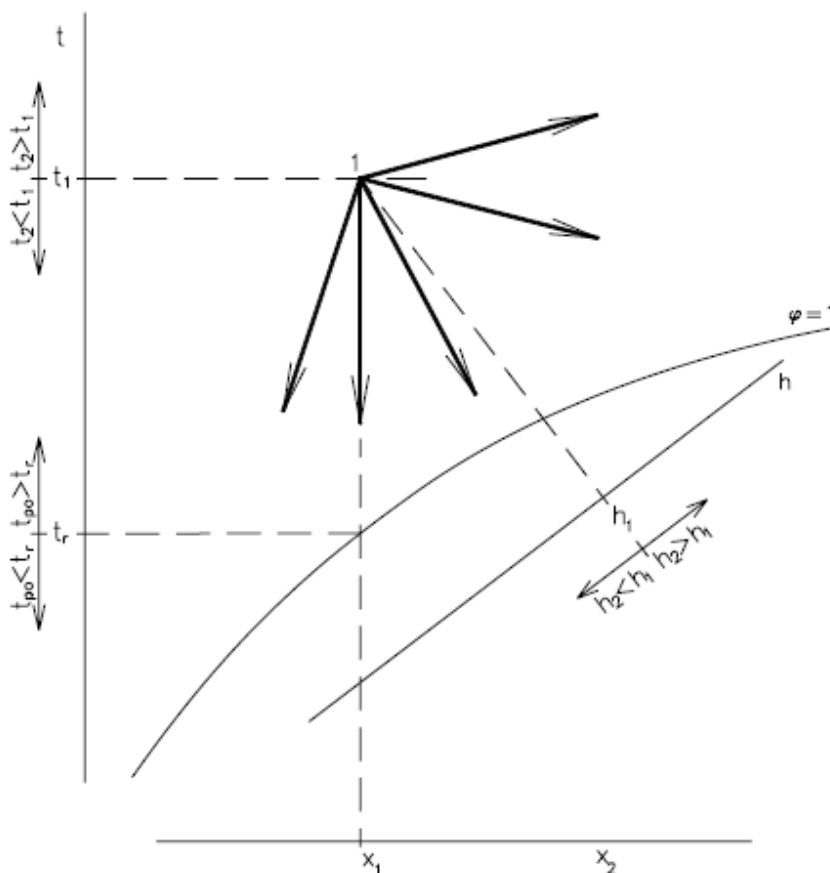
$t_{po} > t_r$  – dochází k vlhčení vzduchu vodou odpařovanou z vodní hladiny

$t_{po} < t_r$  – dochází k vysoušení vzduchu a vylučování vody

Prakticky vzato může vodní povrch předávat teplo dvěma způsoby: předávání citelného tepla, když je voda teplejší, než vzduch (v bazénu je to naopak, proto je vodě dodáváno citelné teplo z okolního o 2 až 3 °C teplejšího vzduchu). Druhým způsobem předávání tepla je teplo vázané - latentní, což je teplo nutné k odpařování vody (teplo latentní například uniká z hrnce s vařící vodou bez poklice. Přikryjeme-li hrnec poklicí, pára – vázané teplo, se po kontaktu se



studenější poklicí přemění – kondenzuje, opět na teplo citelné a poklice se ohřívá do doby, než má stejnou teplotu jako vypařující se pára). V našem případě v molierově diagramu je ale latentní teplo patrné nejlépe v případě, kdy má vzduch totožnou teplotu jako okolní voda. I v tomto případě probíhá vypařování, neprobíhá však předávání citelného tepla a proces je tedy v Molierově digramu znázorněn pouze posunem doprava po horizontálně ose při pohledu ze strany vzduchu. Naopak díváme-li se na to ze strany odpařující se vody, je jí vypařováním teplo ubíráno – ochlazuje se, stejně jako člověk, který se potí – nechává vypařovat vodu na svém povrchu.



Obrázek 9 - Průběh odpařování z volného vodního povrchu do různých směrů podle toho, která z obou (počáteční a koncová) teplot je větší a zároveň podle toho, zda je teplota povrchu vodní hladiny větší, či menší teplotě rosného bodu pro daný vzduch (Zdroj obrázku: katedra TZB FSv ČVUT: Mollierův diagram)

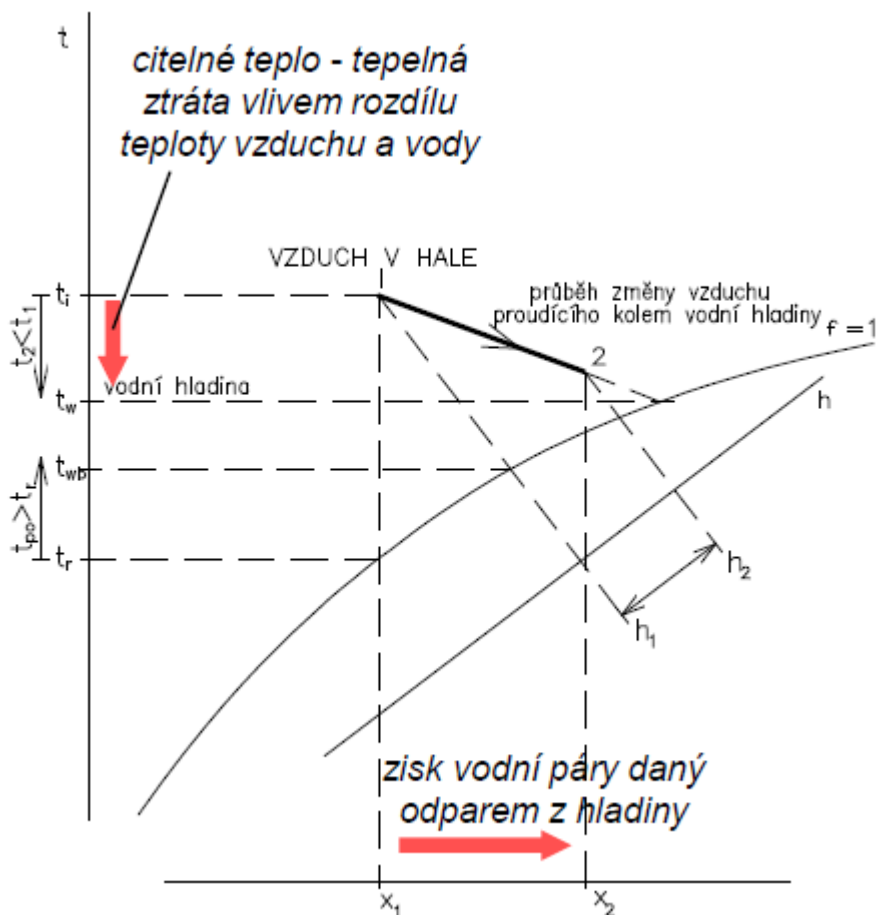
## 5.2 Odpařování z volné hladiny v aplikaci pro bazény

Popsání této problematiky se mimo jiných věnuje Ing. Adamovský a popisuje změny stavu vzduchu ve dvou krocích – stavech, (viz. popis a obrázek pod textem):

Stav 1 – stav vzduchu uvnitř bazénové haly, tento stav je v h-x diagramu definován alespoň dvěma parametry, nejčastěji maximální přípustnou **relativní vlhkostí** nepřesahující  $\phi = 65\%$  a **teplotou vzduchu**  $t_i$ , která je zpravidla o 2 až 3 °C vyšší, než teplota vody v přilehlém bazénu (větší rozdíl není žádoucí, zvyšoval by se pouze odpar z volné hladiny, a navíc by u plavců vzrůstal pocit dusna).

Stav 2 – koncový stav vzduchu, který do sebe absorboval v průběhu své dráhy okolo vodní hladiny takové množství vodní páry, jaké odpovídá napočítanému odparu vodní páry. Odpar se v h-x diagramu projeví velikostí rozdílu měrné vlhkosti, tedy konkrétně  $X_2 - X_1$ .

V průběhu změny mezi stavem 1 a stavem 2, absorbuje vzduch vlhkost. Přitom platí, že teplota vody, je v rozmezí mezi teplotou rosného bodu ( $t_r$ ) a teplotou vzduchu v hale ( $t_i$ ). Vzduch ztrácí při vypařování citelné teplo (v h-x diagramu je to pokles svislým směrem) a získává teplo vázané (v h-x diagramu probíhá pod sklonem, který je určen z rozdílu stavu 1 a stavu 2, který je dán teplotou vody při maximálním nasycení a vypočteným rozdílem měrné vlhkosti ( $x_2 - x_1$ ) v g/kg S.V.)



Obrázek 10 - Průběh odparu z vodní hladiny. Zdroj Přednášky Ing. Adamovský FSV ČVUT

Stav 1 a Stav 2 jsou po energetické stránce popsány zejména entalpií vzduchu, pro kterou

$$h_1 = c_{p,sv} \cdot t_i + x_1 \cdot (l_{2,3} + c_{vp} \cdot t_i)$$

$$h_2 = c_{p,sv} \cdot t_2 + x_2 \cdot (l_{2,3} + c_{vp} \cdot t_2)$$

platí:

$$h_2 > h_1$$

,kde:

$h_1, h_2$  [kJ/kg<sub>s,v</sub>] – entalpie v bodech 1 a 2

$c_{p,sv}$  [kJ/(kg·K)] – měrná tepelná kapacita suchého vzduchu

$t_i$  [°K] – teplota v interiéru

$t_1$  a  $t_2$  [°K] – teploty v koncovém a počátečním bodu (před a po odpaření)

$x_1$  a  $x_2$  [g<sub>v,p</sub>/kg<sub>s,v</sub>] – měrná vlhkost vzduchu v obou bodech

$l_{2,3}$  – výparné teplo vody (přibližně 2 257 kJ/kg)

Též platí, že entalpie v bodě 2 bude vždy větší, než v bodě 1, dochází k výraznému nárůstu latentního tepla ve vzduchu.

## 6. POROVNÁNÍ DVOU VÝPOČTŮ MNOŽSTVÍ PŘENÁŠENÉ VODNÍ PÁRY ( $M_w$ )

Obecně právě množství větracího vzduchu rozhoduje o velikosti VZT jednotky. O velikosti veskrze větrací jednotky rozhodují dva parametry: **množství odpařené vodní páry** a **měrná vlhkost vnějšího vzduchu**. O tom, kolik se odpařuje vodní páry z volné hladiny vody rozhoduje více faktorů:

- Teplota a vlhkost vnitřního vzduchu
- Teplota vody
- **Rychlost a vzdálenost převažujícího proudění** vnitřního větracího vzduchu od vodní hladiny
- Stěžejními parametry jsou **plocha vodní hladiny** a **druh provozu** (zda-li jsou přítomny atrakce a v jakém provozu je bazén v daném okamžiku: aktivní provoz, či útlum (noční, přestávky, zakrytý, odstavený – nulový). Výše zmíněné parametry mají vliv na intenzitu v jaké bude voda rozstříkováána do vzduchové vrstvy plně nasyceného vzduchu těsně nad hladinou.

## 6.1 Okrajové podmínky

Výpočet byl proveden pro dva bazény, větší plavecký a menší dětský. **Okrajové podmínky** každého z nich shrnuje následující přehled:

Tabulka 3 - okrajové podmínky

PLAVECKÝ BAZÉN				DĚTSKÝ BAZÉN			
Bazénová hala				Bazénová hala			
$t_a =$	26	°C		$t_a =$	28	°C	
$t_a'' = t_w =$	24	°C		$t_a'' = t_w =$	26	°C	
$T_{mean}$	25	°K		$T_{mean}$	27	°K	
$R_v$	461.52	J/kg*K		$R_v$	461.52	J/kg*K	
$S =$	242.5	m <sup>2</sup>		$S =$	47.7	m <sup>2</sup>	
$p''_v =$	2985.2	(Pa)		$p''_v =$	3362.8	(Pa)	
$p_v =$	2185.8	(Pa)		$p_v =$	2457.8	(Pa)	
$\beta_p =$	28	m/h		$\beta_p =$	28	m/h	
$\beta_n =$	7	m/h		$\beta_n =$	7	m/h	
$\beta_n, \text{zakryt.} =$	0.7	m/h		$\beta_n, \text{zakryty} =$	0.7	m/h	
$\varphi_{a,i} =$	0.65	(-)leto	0.55 zima	$\varphi_{a,i} =$	0.65	(-)leto	0.55 zima
$x''(24; 1) =$	19	g/kg S.V.		$x''(26; 1) =$	21	g/kg S.V.	
$x_z(26; 0.55) =$	11.5	g/kg S.V.		$x_z(28; 0.55) =$	13.3	g/kg S.V.	
$x_l(26; 0.65) =$	14	g/kg S.V.		$x_l(28; 0.65) =$	15.5	g/kg S.V.	

$t_a$  – teplota vnitřního vzduchu (uvnitř haly) ve výšce zhruba 1.5 m nad hladinou

$t_a'' = t_w$  – teplota plně nasycené vrstvičky vzduchu těsně nad hladinou vody shodná s teplotou vody samotné

$T_{mean}$  – průměr teploty vzduchu a nasycené vrstvičky (K)

$R_v$  – plynová konstanta pro vodní páru

$S$  – plocha vodní hladiny

$p''_v$  – tlak vodní páry při plném nasycení

$p_v$  – tlak vodní páry při teplotě vnitřního vzduchu (obecně okolního prostředí)

$\beta_p$  - Součinitel přenosu hmoty pro bazén v plném provozu

$\beta_n$  - Součinitel přenosu hmoty pro bazén nepoužívaný nezakrytý

$\beta_n, \text{zakryt.}$  - Součinitel přenosu hmoty pro bazén nepoužívaný zakrytý

$\varphi_{a,i}$  – relativní vlhkost vnitřního vzduchu (% nebo bez jednotek)

$x''(24; 1)$  - měrná vlhkost plně nasycené vrstvičky nad hladinou vody (FI=100%), teplota shodná s teplotou vody při teplotě a relativní vlhkosti uvedené v závorkách

$x_z(26; 0.55)$  – měrná vlhkost v zimě při teplotě a relativní vlhkosti uvedené v závorkách

$x_l(26; 0.65)$  - měrná vlhkost v létě při teplotě a relativní vlhkosti uvedené v závorkách

$x''$  - měrná vlhkost plně nasycené vrstvičky nad hladinou vody (FI=100%), teplota shodná s teplotou vody

$x$  - měrná vlhkost vzduchu v bazénu ( $x$  odečteno z h-x diagramu pro teplotu vnitřního vzduchu)

$w$  - rychlost proudění vzduchu

6.2 Výpočet podle Technického průvodce č.31 Větrání a klimatizace, autoři: Chýský J., Hemzal K.

Základní vztah pro výpočet množství odpařené vodní páry je dán následujícím vztahem založeném na součiniteli přenosu vlhkosti a gradientu změny daném rozdílem měrných vlhkostí vrstvy nasyceného vzduchu u hladiny a vzduchu v hale bazénu:

$$Mw = \beta x \cdot S \cdot (x'' - x) \quad [\text{g/s}],$$

kde:

$$\beta x = 25 + 19 \cdot w \quad [\text{kg/h.m}^2]$$

$$w = 0.15 \quad \text{m/s}$$

$$\beta x = 27.85 \quad [\text{kg/h.m}^2] \quad \text{součinitel přenosu vlhkosti vztážený na rozdíl měrných vlhkostí}$$

$$\beta x, \text{min} = 26.9 \quad [\text{kg/h.m}^2] \quad \text{pro min rychlost 0.1 m/s}$$

$$\beta x, \text{max} = 28.8 \quad [\text{kg/h.m}^2] \quad \text{pro max rychlost 0.2 m/s}$$

$x''$  - měrná vlhkost plně nasycené vrstvičky nad hladinou vody (FI=100%), teplota shodná s teplotou vody

$x$  - měrná vlhkost vzduchu v bazénu ( $x$  odečteno z h-x diagramu pro teplotu vnitřního vzduchu)

$S$  - plocha vodní hladiny

$w$  - rychlost proudění vzduchu

Tabulka 4 - Množství odpařené v.páry

Množství odpařené v.páry	Dětský bazén	Plavecký bazén	Celkem	Měrné množství
	[g/s]	[g/s]	[g/s]	[g/s*m2]
Letní provoz	2.0	9.4	11.4	0.039
Zimní provoz	2.8	14.1	16.9	0.058
Plocha v.h.[m2]	47.7	242.5	290.2	x

6.3 Výpočet podle VDI 2089 Building Services in swimming baths, Indoor pools

Výpočet dle německé normy VDI 2089<sup>11</sup> (nové vydání, leden 2010) je založené na **součiniteli přenosu hmoty**  $\beta(p/n)$ , který je odlišný pro různé charaktery provozů:

<sup>11</sup> VDI 2089. Building Services in swimming baths Indoor pools. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2010(leden).

Tabulka 5 Součinitel přenosu hmoty pro bazény dle VDI 2089 (nové vydání)

Součinitel přenosu hmoty pro bazény dle VDI 2089 (nové vydání)		
Charakter provozu	N - nepoužívaný bazén [m/h]	p - používaný bazén [m/h]
Zakrytý bazén (odpar pouze z přetokového žlábků)	0,7	–
Soukromý bazén	7	21
Veřejný bazén (hloubka vody > 1,35 m)	7	28
Veřejný bazén (hloubka vody < 1,35 m)	7	40
Bazén s umělými vlnami	7	50

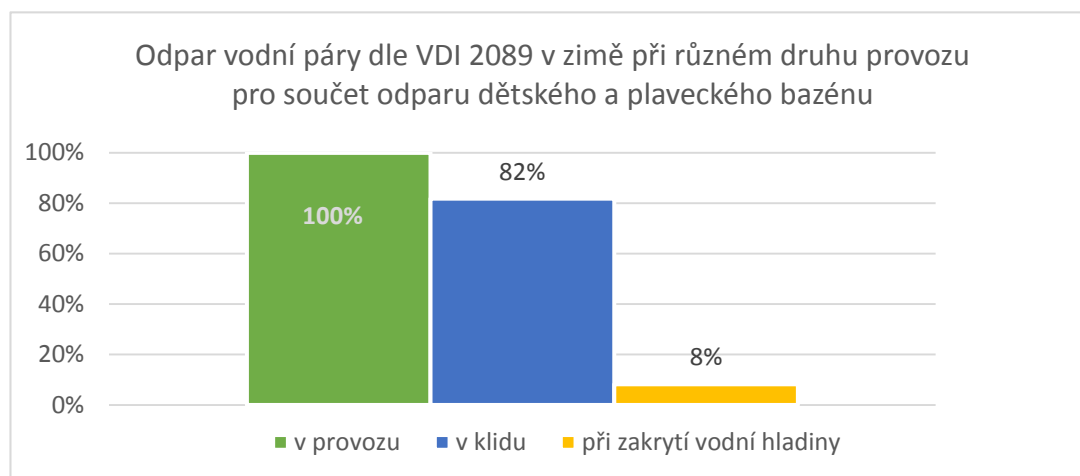
Samotný vztah pro výpočet množství odpařované vodní páry pak vypadá následovně:

$$m_{wo} = \frac{\beta_{(p/n)}}{R_v \cdot \bar{T} \cdot 3,6} \cdot S_h \cdot (p_{v(t_w)}'' - p_{v(t_i)}) \quad [\text{g} \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde je

- $\beta$  – součinitel přenosu hmoty (viz tab. 2) [m/h]
- $R_v$  – plynová konstanta pro vodní páru;  
 $R_v = 461,52 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- $\bar{T}$  – aritmetický průměr teploty vody a vzduchu [K]
- $S_h$  – plocha volné hladiny [ $\text{m}^2$ ]
- $p_{v(t_w)}''$  – tlak syté páry při teplotě vzduchu rovné teplotě vody [Pa]
- $p_{v(t_i)}$  – tlak páry při teplotě vnitřního vzduchu [Pa]

Německá norma dělí provoz na tři druhy provozu: **v užívání** (bez/ s atrakcemi), **v klidu** a **se zakrytou vodní plochou**, porovnání vypočteného odparu vodní páry při různém

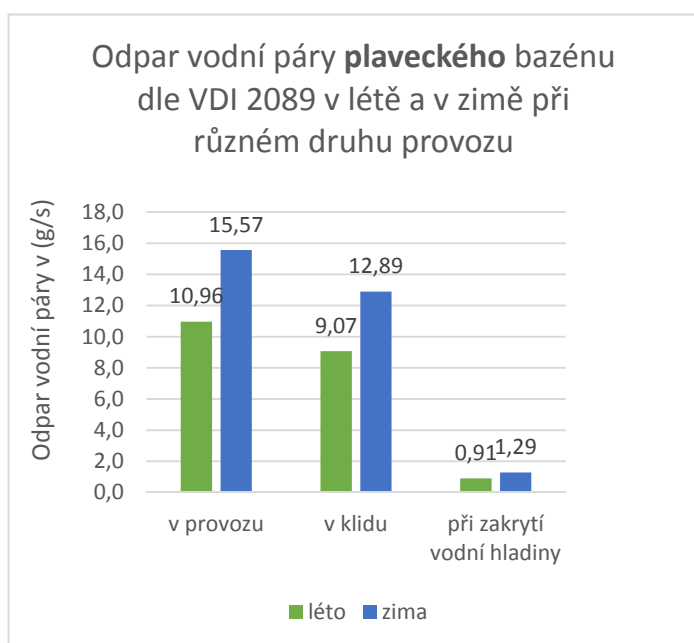


Graf 1 - Odpar vodní páry dle VDI 2089 v zimě při různém druhu provozu pro součet dětského a plaveckého bazénu

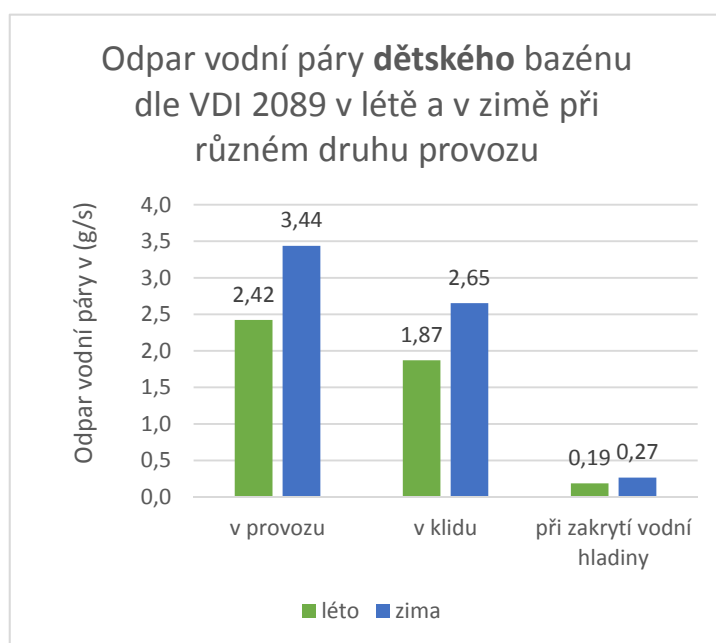
provozu je patrné z následujícího grafu a tabulky zachycující odpar z vodní hladiny pro tři druhy provozu:

Odpar vodní páry dle VDI 2089 v létě a v zimě pro dětský a plavecký bazén při různém druhu provozu								
		Dětský bazén		Plavecký bazén		Celkem		
		léto	zima	léto	zima	léto	zima	
v provozu	(g/s)	2.42	3.44	10.96	15.57	13.38	19.00	100%
v klidu	(g/s)	1.87	2.65	9.07	12.89	10.95	15.54	82%
při zakryté hladině	(g/s)	0.19	0.27	0.91	1.29	1.09	1.55	8%

Tabulka 6 - Odpar vodní páry dle VDI 2089 v létě a v zimě pro dětský a plavecký bazén při různém druhu provozu



Graf 3 - Odpar vodní páry **plaveckého** bazénu dle VDI 2089 v létě a v zimě při různém druhu provozu



Graf 2 - Odpar vodní páry **dětského** bazénu dle VDI 2089 v létě a v zimě při různém druhu provozu



## 6.4 Porovnání

Porovnání výpočtu odparu je provedeno jednou na základě vypočtených hodnot (kap. 5.4.1) a podruhé citací článku zabývajícího se porovnáním všech přístupů (kap. 5.4.2).

### 6.4.1 VLASTNÍ POROVNÁNÍ OBOU VÝPOČTU - DLE AUTORŮ CHÝSKÝ-HEMZAL S NĚMECKOU NORMOU VDI 2089 (NOVÉ VYDÁNÍ – OBSÁHLEJŠÍ POSTUP)

Tabulka 7 - Množství odpařené vodní páry dvěma postupy

Množství odpařené v.páry	Dětský bazén	Plavecký bazén	Celkem	Měrné množství	Poměr měrného množství
<b>Dle VDI 2089 (nové vydání)</b>	[g/s]	[g/s]	[g/s]	[g/s*m2]	
Letní provoz	2.42	10.96	13.38	0.046	118%
Zimní provoz	3.44	15.57	19	0.065	112%
Plocha v.h.[m2]	47.7	242.5	290.2		
<b>Dle Chýský-Hemzal</b>					
Letní provoz	2	9.4	11.4	0.039	100%
Zimní provoz	2.8	14.1	16.9	0.058	100%
Plocha v.h.[m2]	47.7	242.5	290.2	x	x

Pozn.: u poměru měrného množství je procentním základem varianta Chýský-Hemzal a to v obou případech pro letní a zimní provoz.

Budeme-li chtít porovnat německou normu VDI 2089 (nové vydání) s empirickým postupem autorů Chýský-Hemzal dojdeme ke stručnému závěru, a sice že v případě VDI 2089 (n.v.) dává výpočet o něco vyšší (bezpečnější) hodnoty výparu vodní páry z volné hladiny. Na základě provedených výpočtů (Tabulka 7) je možné tvrdit, že při vztahení na tuto konkrétní situaci (zejména vnitřní teploty vzduchu a teploty vody) je **poměr měrného množství** odpar vyšší oproti empirickému vztahu Chýský-Hemzal přes **zimní období o 12% a v létě o 18%.**

#### 6.4.2 ZÁVISLOST MNOŽSTVÍ OPAŘENÉ VODY NA TEPLOTĚ INTERIÉRU

Podobná porovnání byla provedena na odborném serveru TZB-info, kde Ing. Petr Blasinski a doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D, publikovali **článek**<sup>12</sup> porovnávající jak empirické vztahy (L.Oppl), tak německé normy, navíc v obou vydání (starší, novější). Je zde dále uvedeno závěrečné shrnutí všech porovnávaných metod:

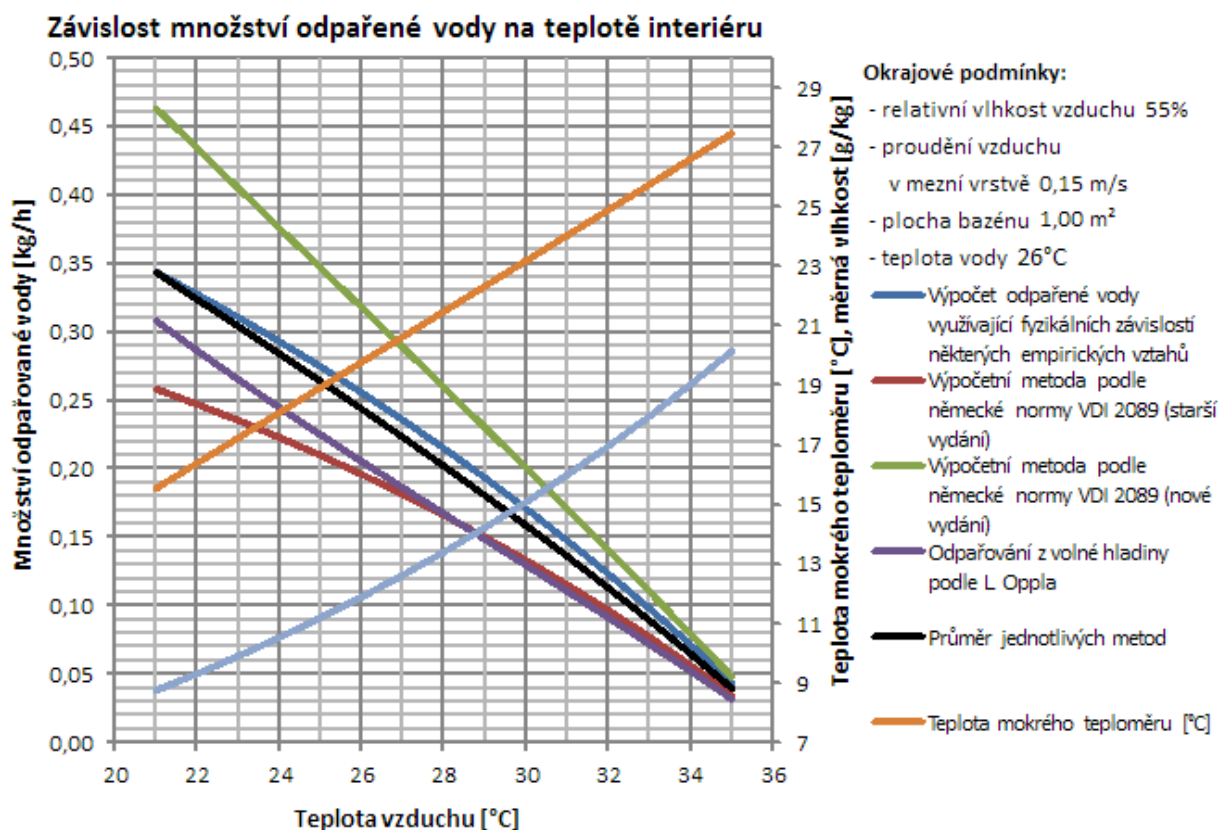
- Výpočet dle VDI 2089 (starší vydání) – Technické vybavení budov plováren, kryté bazény
- Výpočet dle VDI 2089 (nové vydání)
- Zjednodušený výpočet odpařené vody využívající empirických závislostí
- Odpařování z volné hladiny podle L. Oppla

#### Popis výpočtu a zvolených okrajových podmínek

*„Pro modelování závislosti odparu na teplotě interiéru byly zvoleny okrajové podmínky tak, aby vyhovovaly fyziologickému vnímání tepelně vlhkostní mikroklíma člověkem v uzavřeném prostoru (teplo, bez dusna). Jako relativní vlhkost interiéru byla zvolena vlhkost 55 %, proudění vzduchu nad hladinou 0,15 m/s. Jedná se o rychlost vzduchu, která vzniká při pohybu plavající osoby. Teplota vody byla zvolena 26 °C. Výsledky jsou zobrazeny v grafu na následujícím obrázku.“<sup>9</sup>*

---

<sup>12</sup> BLASINSKI, Ing. Petr a doc. Ing. Aleš RUBINA. Distribuce vzduchu v bazénových halách – část 1 [online]. [cit. 2016-10-26]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/11319-distribuce-vzduchu-v-bazenovych-halach-cast-1>



Obrázek 11 - Graf závislosti množství odpařené vody na teplotě interiéru

„Z grafu je patrný menší odpar při vyšších teplotách vzduchu, kdy je teplota mokrého teploměru a měrná vlhkost již natolik vysoká, že difuze vodní páry neprobíhá tak intenzivně, jak při nižších teplotách, kdy je vzduch interiéru sušší a pojme větší množství vodní páry. Za předpokladu udržování konstantní relativní vlhkosti je tedy účelné volit vyšší teplotu vzduchu, neboť s rostoucí teplotou se snižuje množství odpařené vody, a tím nároky na odvlhčování.“

Výše uvedené výstupy naznačují, že výběr metody výpočtu odparu má výrazný vliv na určení množství odpařené vodní páry. Například, přestože norma VDI 2089 ve svém novějším vydání nabízí nejvíce možností, jak přizpůsobit výpočet zadaným okrajovým podmínkám, v porovnání s ostatními metodami vykazuje pro navrženou situaci nejvyšší hodnoty odparu. Zatímco hodnotám bližícím se průměru všech metod se nejvíce blíží výstupy metody výpočtu fyzikální závislosti některých empirických vztahů.“<sup>9</sup>

## 7. ROČNÍ BILANCE ENERGIÍ PRO VZDUCHOTECHNIKU BAZÉNU

Na úvod této kapitoly bylo zařazeno prvotní porovnání různých způsobů odvlhčování. Z praktického hlediska lze uvažovat zejména tři nejčastěji používané způsoby odvlhčování: větráním, kompresorovým chlazením a regeneračním výměníkem. Tyto možnosti jsou heslovitě hodnoceny v následujícím přehledu.

### 7.1 Teoretické porovnání

Tabulka 8

Způsob odvlhčování/ Kritérium	<b>POUZE VĚTRÁNÍ</b>	<b>ODVLHČOVÁNÍ (KOMPRESOROVÉ)</b>	<b>VYSOUŠENÍ</b> Reg. výměníkem
<b>PROVOZ LETNÍ</b>	<b>Malý rozdíl <math>\Delta x</math>,</b> velké objemy větracího vzduchu	Odvlhčování chlazením (kompresorové) $\Leftrightarrow$ <b>náklady na chlazení</b>	Nutné zařadit kompresorové chlazení (dovysoušení)
<b>PROVOZ ZIMNÍ</b>	Poměrně velké množ, větracího vzduchu = <b>tepelné ztráty</b> jsou úměrné účinnosti ZTZ	Vysouší se chlazením, tudíž nutný ještě větší ohřev (případný přehřev po ZTZ před chlazením (vysoušením)). Závěrem tedy vyšší nároky na tepelnou energii. <b>ALTERNATIVNĚ LZE</b>	Oproti kompresorovému ušetří právě v zimě na podchlazování, ale zase nevyužije tolik ZTZ (méně účinný zzt)
<b>INVESTICE</b>	V závislosti na konkrétním projektu		
<b>ZTZ</b>	VYUŽITO	VYUŽITO	VYUŽITO s menší účinností

Pro další rozbor byly vybrány dvě možnosti, a sice odvlhčování větráním a odvlhčování kompresorovým okruhem.

### 7.2 Analýza klimatických dat

Klimatická data byla přebrána ze softwaru Design Builder jako referenční pro Českou republiku a rok 2002. Byla provedena analýza těchto dat za účelem stanovení parametrů pro větrací a odvlhčovací jednotku v bazénovém provozu řešeného objektu.

### 7.2.1 VOLBA LIMITŮ U JEDNOTLIVÝCH ANALÝZ

V průběhu analýz vstupních parametrů byly zvoleny limitní hodnoty, které tak tvoří svou škálou jednotlivé kategorie v každé analýze.

Německá norma VDI 2089 uvádí limitní hodnotu *měrné vlhkosti vnějšího vzduchu*  $X_{e} = 9 \text{ g, vp/kgS.V.}$ , proto byla tato hodnota použita i jako limitní hodnota této analýzy. Dále byla pak zvolena jako limitní hodnota  $1 \text{ g/kgSV}$ , z důvodu toho, že tvoří minimum v zimním období. Zbylé intervaly byly pro analýzu **měrné vlhkosti vnějšího vzduchu** voleny následovně:

- pod  $1 \text{ g v.p./kg S.V.}$  (gramů vodní páry na kilogram suchého vzduchu)
- pod  $5 \text{ g v.p./kg S.V.}$
- pod  $9 \text{ g v.p./kg S.V.}$
- nad  $9 \text{ g v.p./kg S.V.}$

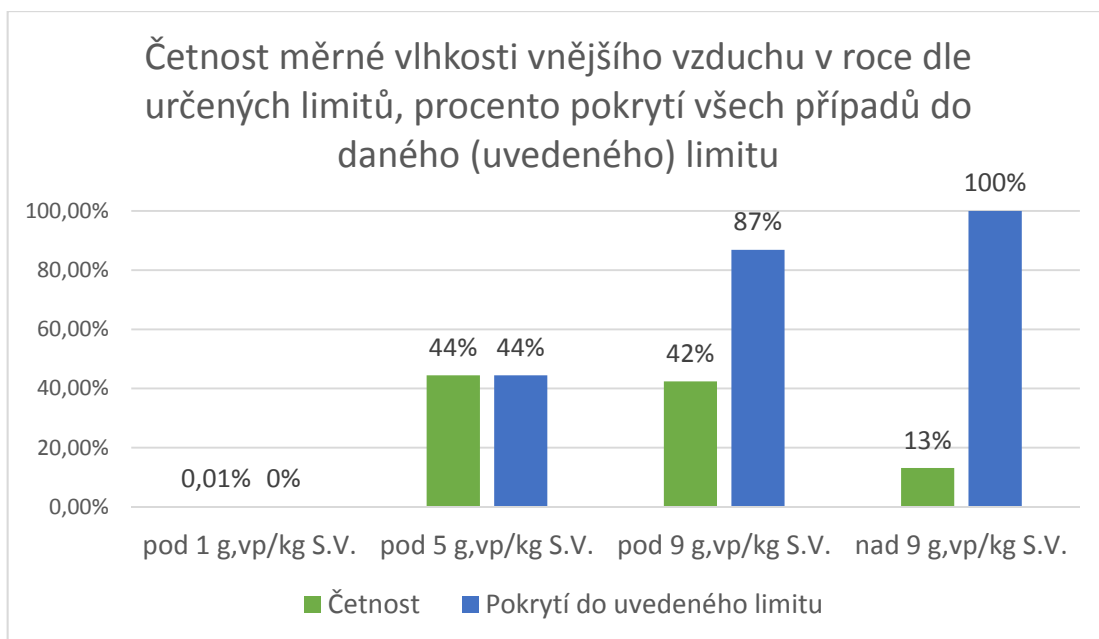
Pro analýzu **venkovní teploty** byly zvoleny limity následujícím způsobem:

Tabulka 9 - venkovní teploty

Teplota v [°C]	-16	-10	-5	0	4	8	12	16	20	24	28	32
----------------	-----	-----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----

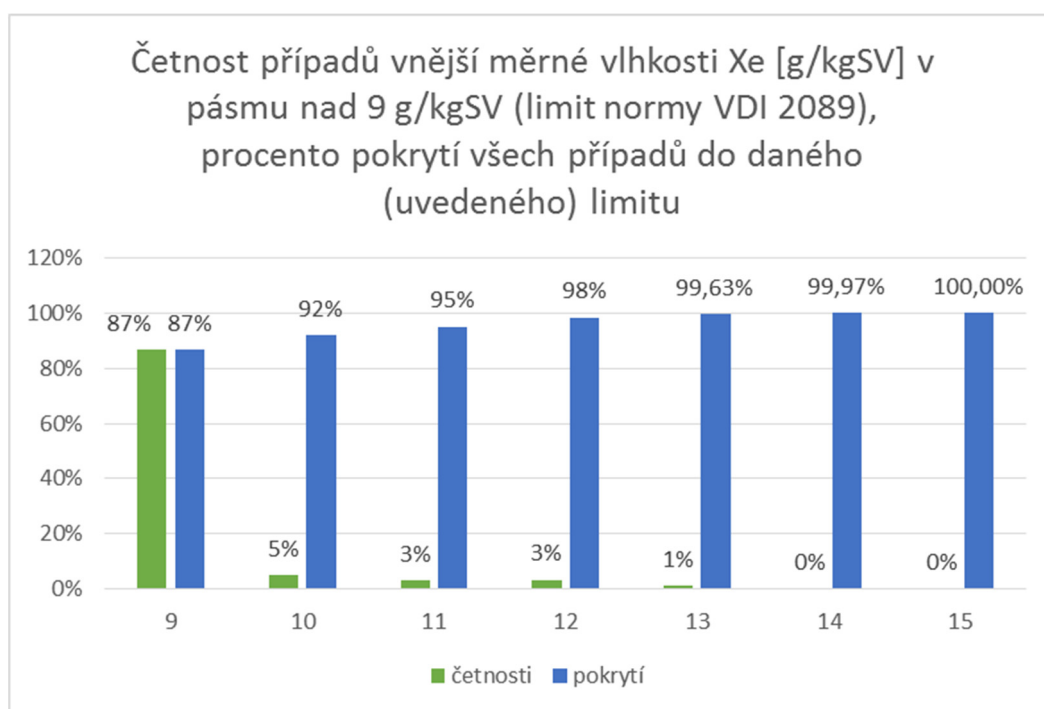
### 7.2.2 ANALÝZA MĚRNÉ VLHKOSTI VNĚJŠÍHO VZDUCHU

Dle uvedených limitů a výše popisovaných referenčních meteorologických dat byl zhodnocen průběh měrné vlhkosti vnějšího vzduchu  $X_e \text{ [g/kgSV]}$ , kde bylo zkoumáno zejména procento případů, kdy tato **vlhkost překročí limitní hodnotu  $9 \text{ g/kgSV}$** . To nastalo celkem ve **13 %** ze všech případů, tzn, pakliže vezmeme hodnotu měrné vlhkosti  $9 \text{ g/kgSV}$  jako extrém pro dimenzování vzduchotechniky (dále jen VZT), navrhujeme VZT pro 87 % případů, v ostatních případech připouštíme zvýšení vnitřní relativní vlhkosti nad mezní hodnotu  $9 \text{ g/kgSV}$ , což má za důsledek pocit dusna.



Graf 4 Četnost případů vnější měrné vlhkosti

Toto pásmo, 13 % případů, od 9 do 15 g/kgSV je detailněji analyzováno na následujícím grafu:



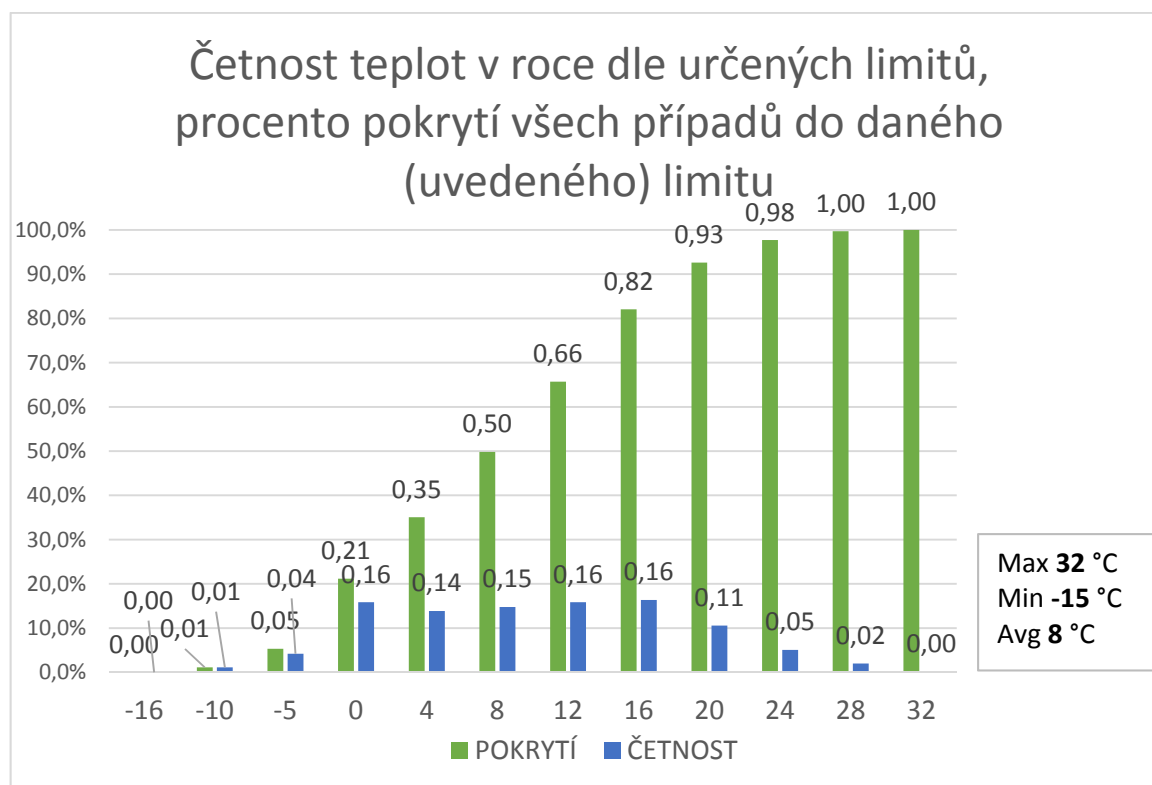
Graf 5 - Četnost případů vnější měrné vlhkosti s podrobnějším členěním nad limitem 9 g v.p./kg s.v.

Z této analýzy vyplývá, že **zvolením limitní hodnoty 9 g/kgSV** pokryjeme v základu 87 % všech případů. V druhé části byl rozebrán zbytek možných případů, oněch zbylých 13 % případů se připouští vyšší relativní vlhkost uvnitř bazénové haly,  $\phi_i > 65\%$  (alternativně lze říci, že se připouští zvýšení měrné vlhkosti vnitřního vzduchu nad zmiňovanou hodnotu 9 g/kgSV).

Z detailnějšího rozboru vyplývá, že by např. pro pokrytí 98 % případů stačilo využít jako limitní hodnotu  $X_e = 12 \text{ g/kgSV}$ , nicméně pak bychom **nemohli uplatnit odvod vlhkosti větráním**, protože by všechny případy zahrnovaly i ty, kdy je venkovní měrná vlhkost větší než měrná vlhkost vzduchu uvnitř bazénu.

### 7.2.3 ANALÝZA VNĚJŠÍ TEPLoty

Vnější teplota byla rozebrána v podrobnějším dělení, výsledné četnosti a pokrytí uvádí následující graf. V grafu jsou též zaneseny extrémy venkovní teploty jako min., max., a avg – average (průměr).



Graf 6 - Četnost teplot v roce

Pro návrh vzduchotechniky bazénu jsou, co se týče vnější teploty klíčové<sup>13</sup> zejména letní extrémní teploty (teplotní maxima) v kombinaci s letním maximem a minimem vnější relativní vlhkosti vzduchu. V předešlém grafu je možné zjistit, že v modelovém roce (klim.data pro rok 2002) byla maximální teplota 32°C s výskytem blížkým nule (prakticky se tedy mohla vyskytnout pouze v jednom hodinovém kroku celé roční simulace). Např. četnost 2 % ze všech případů zaujímá rozsah teplot od 28 do 32°C atp.

### 7.3 SIMULACE VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ BAZÉNU V SOFTWARE DESIGN BUILDER

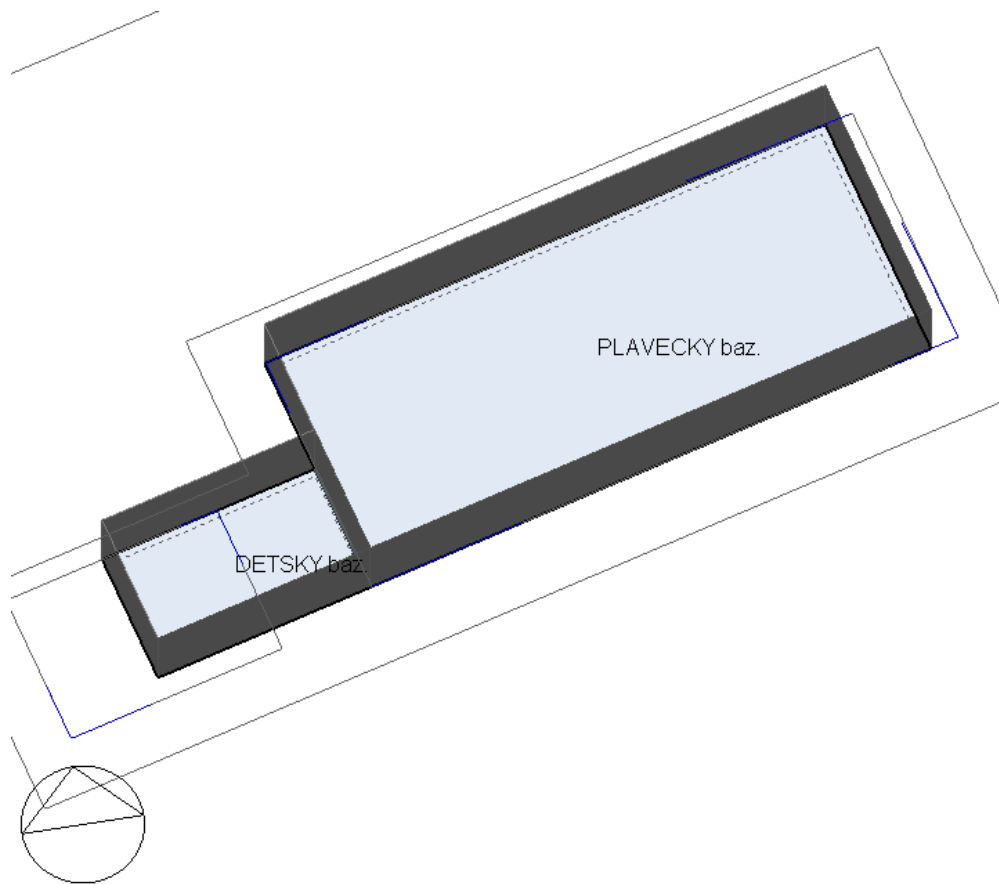
V této části byl vytvořen virtuální model plaveckého bazénu, jenž sloužil k sestavení analýzy parametrů vnitřního prostředí, zejména pak ale také pro zjištění roční bilance energie na odvlhčování.

*Stručný popis modelu:* Jedná se dispozičně o dva bazény, větší plavecký a menší dětský (zhruba čtvrtinová plocha). U plaveckého je jak teplota vzduchu, tak teplota vody o 2 °C nižší, než u dětského. V návrhu bazénů je kritickou sledovanou veličinou relativní vlhkost vnitřního prostředí. Ta je na straně vzniku ovlivněna právě odparem vodní páry z volné vodní hladiny a její limitní hodnota je dána vyhláškou.

---

<sup>13</sup> Pro návrh VZT pro bazénový provoz vycházíme z několika zákonitostí: jde jednak o závislost vyšší vnější teploty se zvyšující se měrnou vlhkostí vnějšího vzduchu; tento fakt je třeba provázat se způsobem odvádění vlhkosti z bazénové haly, kterým je často pouze odvod vlhkosti větráním na základě rozdílu měrné vlhkosti vnitřního a vnějšího vzduchu. Do těchto souvislostí vstupují ještě technické možnosti odvlhčování. V případě VZT jednotky, která odvlhčuje pouze větráním (např. menší bazény u RD) můžeme říci, že se průtok vzduchu bude zvyšovat, pakliže se bude snižovat rozdíl měrných vlhkostí vnějšího a vnitřního vzduchu. Měrná vlhkost vnitřního vzduchu v bazénech je oproti běžným podmínkám např. v bytě poměrně vysoká, tudíž převážnou většinu roku je venkovní vzduch schopen odvádět vlhkost. Situace, kdy se přibližují vnitřní a venkovní vlhkost jsou zejména léto, kdy je venkovní vzduch zahřátý a tím pádem obsahuje více vlhkosti, než na jaře či na podzim. Situací, na kterou nemůže reagovat VZT bazénu ani při správném návrhu, je situace letních bouřek, teplý vzduch využívá plně svůj potenciál nést velké množství vodní páry. V tomto případě dovoluje např. německá norma VDI 2089 překročit hranici vnitřní relativní vlhkosti vzduchu nad 65%.





Obrázek 12 - Model budovy v prostředí softwaru Design Builder

### 7.3.1 VYTVOŘENÍ MODELU (POPIS VYTVOŘENÍ, POPIS OKRAJOVÝCH PODMÍNEK, POPIS ZADANÝCH VLASTNOSTÍ KCÍ)

Geometrie modelu je dána projektovou dokumentací řešeného objektu. Jednotlivé konstrukce budovy bazénu odpovídají současným normovým požadavkům na součinitel prostupu tepla konstrukcí dle platné vyhlášky. Ve virtuálním modelu je zavedena zjednodušená příčka mezi zónami, které vytváří. Ve skutečnosti je tento prostor v návrhu volně průchozí. Okrajové podmínky vstupující do výpočtu jsou shodné s okrajovými podmínkami uvedenými v kapitole 6.1.

### 7.3.2 ZAVEDENÍ VLHKOSTNÍHO ZISKU DO MODELU SKRZE LATENTNÍ TEPLŮ

Specifikem této části vytváření virtuálního modelu bylo zavedení množství odpařené vodní páry odlišnou cestou, a to pomocí zisků latentního - **výparného tepla** resp.

přesněji, a sice za pomoci **měrného výparného tepla**, výparného tepla převedeného na metr čtverečný [W/m<sup>2</sup>]. Tento výkon byl stanoven na základě vztahu pro měrné teplo:

$$Q_{\text{výp}} = M_w \cdot l \quad [\text{W}],$$

kde:

$M_w$  - množství vypařené vodní páry v (g/s),

$l$  – skupenské teplo vody = 2510 kJ/kg

$Q_{\text{výp}}$  – měrné teplo (W)

Podělením měrného tepla  $Q_{\text{výp}}$  plochou, dostáváme měrný výparný výkon ve [W/m<sup>2</sup>]. Jak samotné hodnoty výpary z vodní hladiny, tak i měrné výparné teplo uvádí následující tabulka:

Tabulka 10

<b>Vstupní hodnoty pro počítačovou simulaci</b>				
<b>Množství odpařené vodní páry v zónách pro letní a zimní stav</b>				
	Dětský b.	Plavecký b.		
Odpařené množství	[g/s]	[g/s]		
Letní provoz	2.0	9.4		
Zimní provoz	2.8	14.1		
<b>Výparné teplo</b>	[W]	[W]		skupenské teplo vody = 2510 kJ/kg
Letní provoz	5 094	23 544		
Zimní provoz	7 132	35 316		
<b>Měrné výparné teplo.</b>	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]		
Letní provoz	106.8	97.1		
Zimní provoz	149.5	145.6		Pro simulaci tvoří 100%
údaj do DB				
Poměr léto/zima	0.714285714	0.6666667		zima = 100%

Poté, co je zadán výpar z hladiny, je zadána hodnota pro zimní období jako základ 100 % a v průběhu roku je vždy v Design Builderu zvlášť pro zimu a léto změněna hodnota vývinu vodní páry – resp. měrného výparného tepla.

Dělení roku je v simulaci následující:

ZIMA	LÉTO
1 Říjen - 31 Bře	1. Dub – 30 Zář

### 7.3.3 ODVOD VYPAŘENÉ VODNÍ PÁRY A NASTAVENÍ PODMÍNEK VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

V simulačním modelu byl odveden výpar z volné vodní hladiny nastavením funkce **autosize**<sup>14</sup> spolu se zavedením množství venkovního čerstvého vzduchu na osobu.

Tabulka 11 – Minimální množství čerstvého vzduchu  $V_{e,min}$

	Množství čerstvého vzduchu m <sup>3</sup> /h (aktivní činnost)	Množství čerstvého vzduchu l/s (design builder)
Dospělý	70	19,4
Dítě	20	5,56
objem bazénových hal [m <sup>3</sup> ]	1 415	
$V_{e, min} = [m^3/h]$	4190	
<b>Min. násobnost větrání</b>		
$n, min (h^{-1})$	2,96	Min. násobnost čerstvého vzduchu

Rovněž byla v modelu nastavena u vnitřního prostředí hranici relativní vlhkosti vnitřního vzduchu  $\phi_i = 65 \%$ , jak ji požaduje příslušná vyhláška č. 238/2011. S výše uvedenými vstupními hodnotami parametrů výpočtu, navrhl software výkony vytápění a chlazení takto:

Tabulka 12 - výkony chlazení a topení určené softwarem DB

	výkon chlazení	Výkon topení
Provoz	kW	kW
Dětský bazén	9,00	9,50
Plavecký bazén	27,00	39,00
Celkem	36	48.5

Dále byly vytvořeny rozvrhové časové i návštěvní plány pro: rozvrh – otevírací dobu bazénu; pro odlišný výpar dětského a plaveckého bazénu a nakonec pro ovládání HVAC systémů a osvětlení. Všechny použité provozní plány (rozvrhy – schedules) jsou uvedeny v následujícím přehledu:

<sup>14</sup> Funkce **autosize** umožňuje simulačnímu programu nastavovat výkon požadovaných operací jako např.: chlazení, ohřev, dle proběhlých výpočtů – tyto výpočty mají většinou charakter jakési specializované simulace buď na vytápění či chlazení. Při chlazení je zkoumán pouze kritický den či kratší časové období. V případě vytápění je provedena hrubá roční studie.

Tabulka 13 – Rozvrhové plány ve virtuálním modelu v prostředí Design Builderu

Číslo	Označení	Popis	Hodnoty
1.	Rozvrh bazénu	Popisuje obsazenost prostor celé budovy. Zápis je následující: Od 7 do 8 je de návštěvnost 60% Od 8 do 9 50% Od 9 do 15 h je to 43% Od 15 do 18 pak 75% Od 18 do 22 h nakonec 50% Ve zbývajících intervalech je návštěvnost = 0	0 až 1
2.	Dětský b. výpar	Popisuje změnu výparu přes zimu a léto, zima = 100% a léto je dle hodnoty jako zlomek ze zimy	0 až 1
3.	Plavecký b. výpar	Popisuje změnu výparu přes zimu a léto, zima = 100% a léto je dle hodnoty jako zlomek ze zimy	0 až 1
4.	HVAC, osvětlení,...	Popisuje procesy v průběhu dne, reguluje pouze 0 nebo 100%, HVAC, osvětlení, ... (typ: on/off)	0 nebo 1

#### 7.3.4 PRŮBĚH, KLÍČOVÁ NASTAVENÍ A ANALÝZA VÝSLEDKŮ SIMULACE

Po provedení **studie vytápění a chlazení** s nastavením HVAC v módu **autosize**, byla zvolena možnost nastavení HVAC<sup>15</sup> systému na mód *manuální*, který přebírá softwarem navržené hodnoty výkonů ohřivače a chladiče z předešlých studií - výpočtů. Dále byla provedena roční simulace a analýza resp. ověření výsledků.

Sledovanými veličinami výsledné analýzy byly:

1. **Násobnost výměny vzduchu** (design builder značí jako **ac/h** ekvivalent **h<sup>-1</sup>**)
2. **Vnitřní relativní vlhkost  $\phi_i$**  (%) – analýza četností a rozbor pokrytí
3. **Výkonu chladiče** (extrémní stav, bez další analýzy)
4. **Roční bilance** (spotřeba) energií pro provoz VZT

Tyto veličiny byly v **prvotní fázi analýzy** rozebrány v hodinovém kroku z hlediska extrémních stavů v průběhu simulovaného roku (maximum, minimum a průměr):

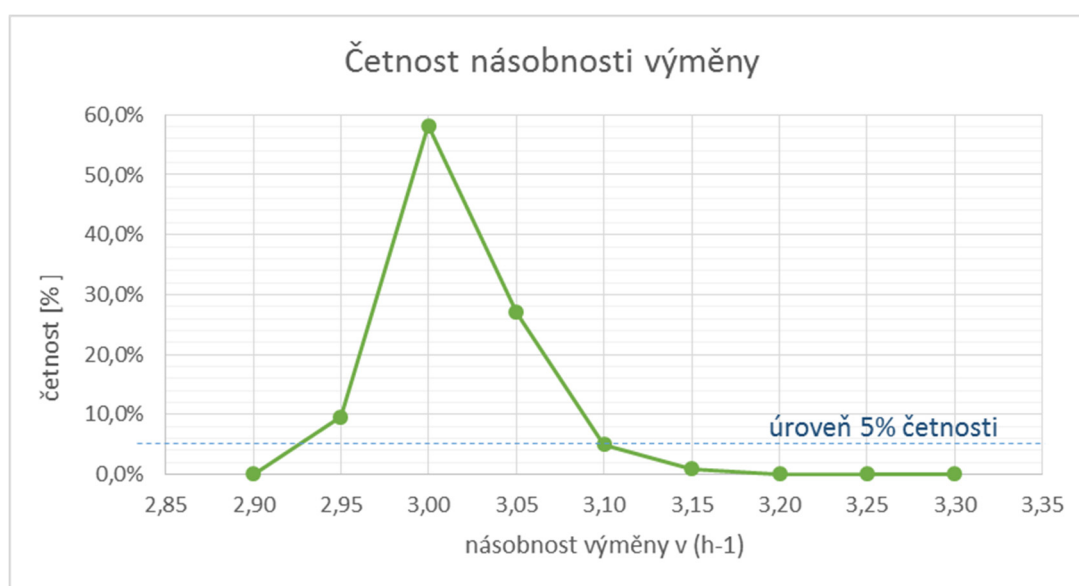
<sup>15</sup> HVAC – heating ventilation airconditioning (vytápění, větrání, klimatizace)

Tabulka 14 - analýza: extrémní stavy

	Násobnost výměny	Odpovídající průtok	Vytápění	Chlazení celkem	Relativní vlhkost	Citelný chlad zóny	Vázaný chlad zóny (ODVLHČOVÁNÍ) jako rozdíl chlazení celkem – citelný chlad zóny
Jednotky	h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /h	kW	kW	%	kW	kW
MINIMUM	2,9	4124	0,0	-36,4	38,7	-31,0	-31,4
PRŮMĚR	<b>3,0</b>	4232	3,7	-11,7	64,6	-6,5	-5,2
MAXIMUM	3,3	<b>4629</b>	<b>19,6</b>	0,0	<b>88,7</b>	0,0	18,7

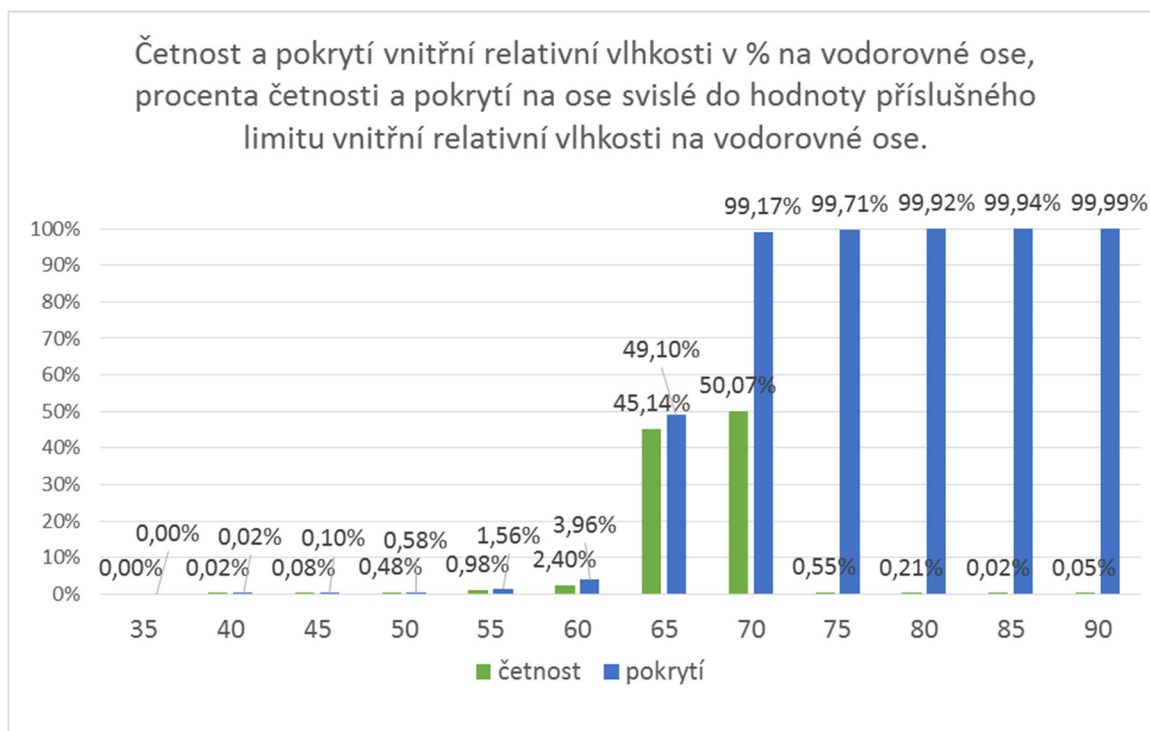
Pozn.: U chlazení jsou maximální hodnoty záporného charakteru  
 U **Vázaného chladu zóny**, byly výsledné min,max, avg hodnoty vypočteny z celoročních hodnot po čtvrt hodinovém kroku, nejde tedy o prostý odečet hodnot extrémů mezi sebou

Z této první fáze analýzy [ověření chování virtuálního modelu] vyplývá, že stanovená hodnota **násobnosti výměny** jen velice málo osciluje okolo hodnoty  $n = 3 \text{ h}^{-1}$ , což zpětně odpovídá zadanému průtoku minimálního množství čerstvého vzduchu (kapitola 6.3.3) s hodnotou průtoku  $V = 4\,232 \text{ m}^3/\text{h}$  a minimální násobnosti čerstvého vzduchu  $n_{\text{min}} = 2.92 \text{ h}^{-1}$ . Na následujícím grafu je volena hranice četnosti (svislá osa) 5 %, již považujeme za zbytkovou četnost. K této hranici dochází k rozkmitu od hodnoty 3,0 (bereme jako průměrnou) o  $\pm 0,1 \text{ h}^{-1}$ , což odpovídá odchylce v průtoku  $\Delta V_{\text{max}} = 141.5 \text{ m}^3/\text{h}$  to tvoří zhruba 3.5% z celkového průtoku, z toho důvodu je rozptyl malý – vyhovující.



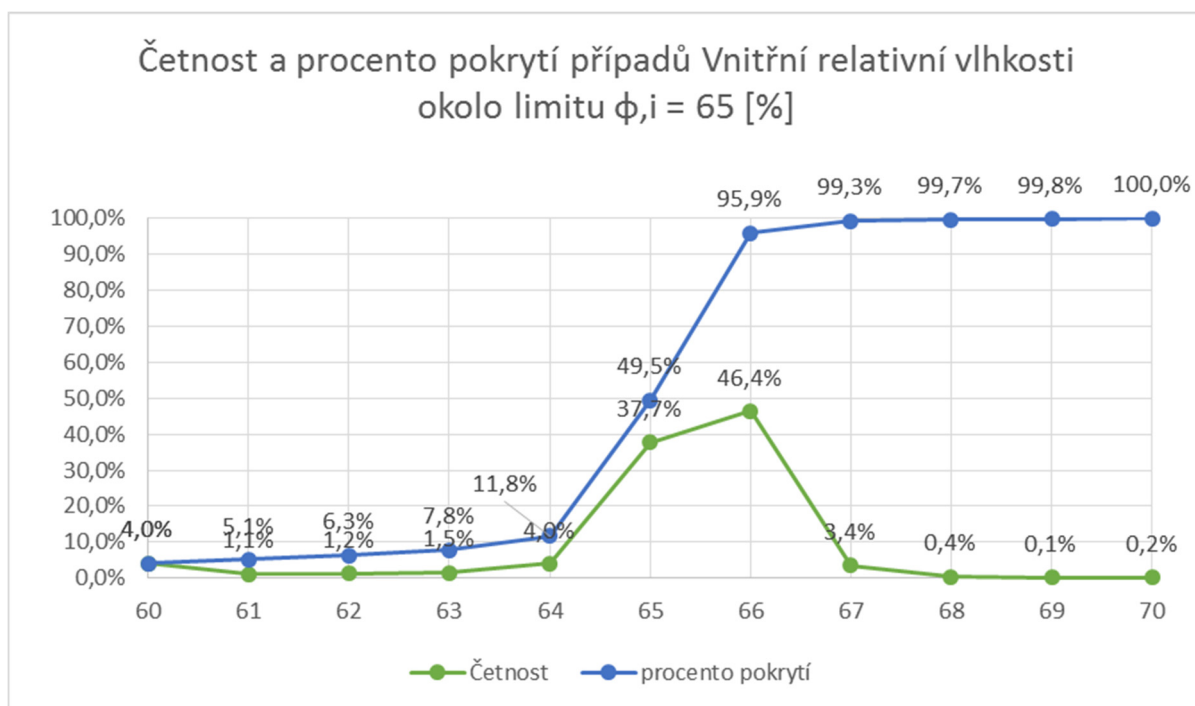
Graf 7 - Četnost násobnosti výměny

Vzhledem k závažnosti případného dlouhodobého **zvýšení relativní vlhkosti** vnitřního vzduchu ( $\phi_i$ ) byla provedena hlubší analýza jejích četností. Výsledný graf zobrazuje na vodorovné ose limity do dané hodnoty relativní vlhkosti v (%) a na svislé ose výskyt (též v %). Na svislé ose potom procento četnosti a procento pokrytí všech případů při určení hraničního limitu v dané hodnotě z vodorovné osy.



Graf 8 - Četnost a pokrytí vnitřní relativní vlhkosti

Z výše uvedeného grafu je patrné, že do limitu  $\phi_i = 65$  % byla četnost případů 45,14% spolu s procentem pokrytí = 49% a do limitu  $\phi_i = 70$  % byla četnost 50,7% a procento pokrytí všech případů již 99,17%, v druhém případě je už pokrytí dostatečné. Není ale zřejmé, jak je rozložená četnost mezi hodnotami  $\phi_i$  mezi 65 a 70%. Z toho důvodu byla pro kontrolu sestavena podrobnější analýza intervalu mezi hodnotami  $\phi_i = 60$  až 70%.



Graf 9 - Četnost a procento pokrytí případů Vnitřní relativní vlhkosti okolo limitu  $\phi_{i} = 65$  [%]

Z podrobnější analýzy situace na grafu č.8 je již patrné rozvrstvení četností okolo hodnoty  $\phi_{i} = 65\%$ . Nastává poměrně přesná shoda pouze s překmity v rámci 1% směrem nahorů, s výraznějším zlomem v hodnotě  $\phi_{i} = 66\%$ , kde je již procento pokrytí rovné 95,9 %, což pokládáme za dostatečné. Software Design Builder tedy dodržel stanovené vnitřní podmínky (především  $\phi_{i} = 65\%$ ) s přesností odpovídající překmitu 1%.

Dimenzování chladiče a ohřívače probíhá již zmíněnou formou počátečních studií - výpočtů, kdy se vypočte výkon chladiče a ohřívače na principu dvou studií výpočtů pro kritický letní den, a pak zimní extrém pro otopnou sezónu, přičemž nelze obecně pro bazénový provoz říci, jaký ze dvou stavů bude rozhodovat o dimenzování chladiče a jaký o dimenzi ohřívače. Jak chladič, tak ohřívač se totiž podílejí na úpravách vzduchu při odvlhčovacím procesu. Hodnoty výkonů chladiče a ohřívače jsou již uvedeny v tabulce č. 11 (kapitola 6.3.3).

Výše popisovaný postup (začátek podkapitoly 6.3.4) se ukázal přes nesčetné pokusy a vyhodnocování **analýzou četností a pokrytí extrémů**<sup>16</sup> nejlepším řešením, jak odvést

<sup>16</sup> Tato analýza užívá četnost výskytů výsledků v určitých stanovených intervalech od jednoho limitu k druhému. Součtem těchto četností v rámci jednoho intervalu, nebo součtem vybraného a všech podřízených intervalů pak vzniká postupně procento pokrytí do příslušného. Ve výsledku tak analýza

vlhkost ze vzduchu v simulovaném prostoru v tomto softwaru – Design Builderu. Tento software je primárně určen spíše na tepelně-energetické výpočty, než vlhkostní průběhy v interiérech, proto je zavedení a následný odvod vypařené vodní páry poměrně nestandardním a hůře sledovatelným postupem při úpravách vzduchu. Z praktického hlediska tedy nelze tento software v současné verzi doporučit pro obdobné typy zkoumání vnitřního prostředí.

---

čtenářům říká, jak často se daný extrém v celkové množině hodinových intervalů vyskytuje v případě četnosti, procento pokrytí má pak simulovat podíl pokrytí všech případů do uvedeného limitu. Jinými slovy znamená pokrytí procento případů, pro které bude návrh užívající daný limit jako extrém ještě provozuschopný.



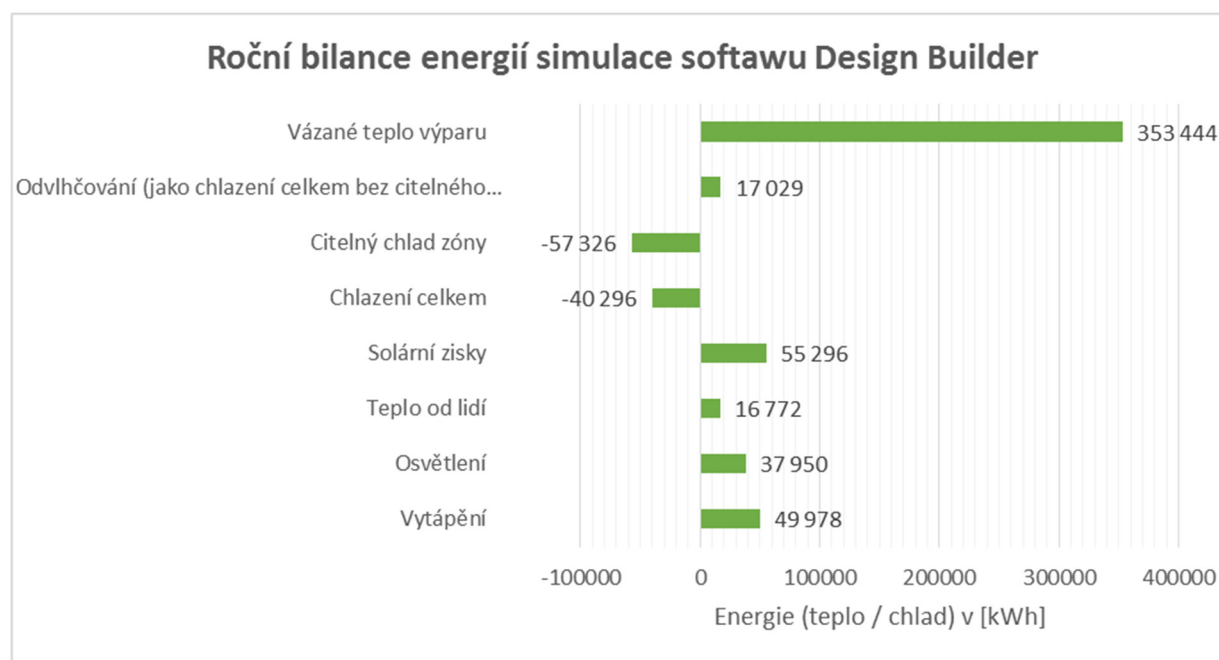
### 7.3.5 VÝSLEDKY ROČNÍ BILANCE SIMULAČNÍHO MODELU

Výsledky ze simulace pro zjištění ročních spotřeb energie jsou znázorněny v následující tabulce:

Tabulka 15 - Roční spotřeby energie včetně průměrných ročních hodnot sledovaných veličin simulačního modelu

<b>Násobnost výměny celková včetně infiltrace a přirozeného větrání</b>		
	<b>ac/h</b>	<b>4,513546</b>
Rel. Vlhkosti	%	59,5
Vytápění	kWh	49977,9
Osvětlení	kWh	37949,7
Teplo od lidí	kWh	16772,2
Solární zisky	kWh	55295,5
Chlazení celkem	kWh	-40296,1
Citelný chlad zóny	kWh	-57325,5
Odvlhčování (jako chlazení celkem bez citelného chladu zóny)	kWh	17029,4
Vázané teplo výparu	kWh	353443,6

Graficky vypadá porovnání následovně:



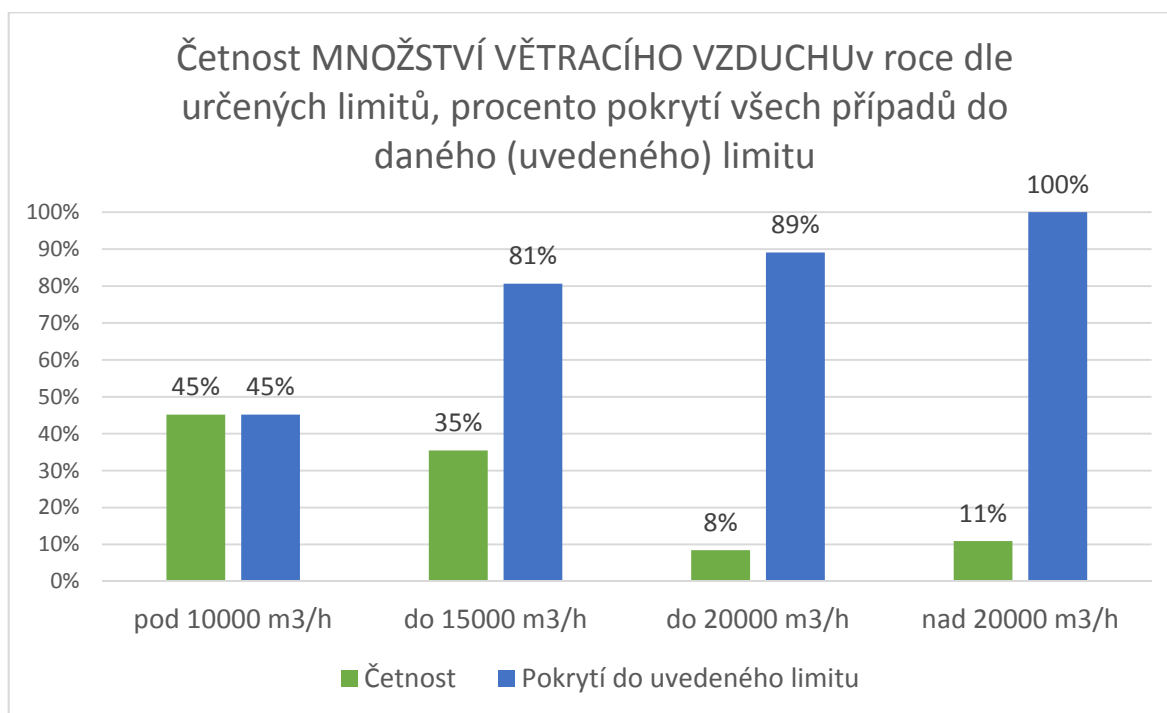
Graf 10 – Roční bilance energií

Porovnání odvlhčování pouze větráním s odvlhčováním kompresorovým není pro bazén této velikosti reálnou situací. Vzduchotechnické jednotky využívající principu odvlhčení pouze větráním jsou vyráběny pouze do určitého limitního průtoku vzduchu

v (m<sup>3</sup>/h), lze tvrdit, že pro průtok odpovídající tomuto provozu nejsou vzt jednotky tohoto typu na trhu.

#### 7.4 MANUÁLNÍ VÝPOČET SIMULACE ROČNÍHO PROVOZU VZT JEDNOTKY

Analýza průtoku větracího vzduchu v m<sup>3</sup>/h:



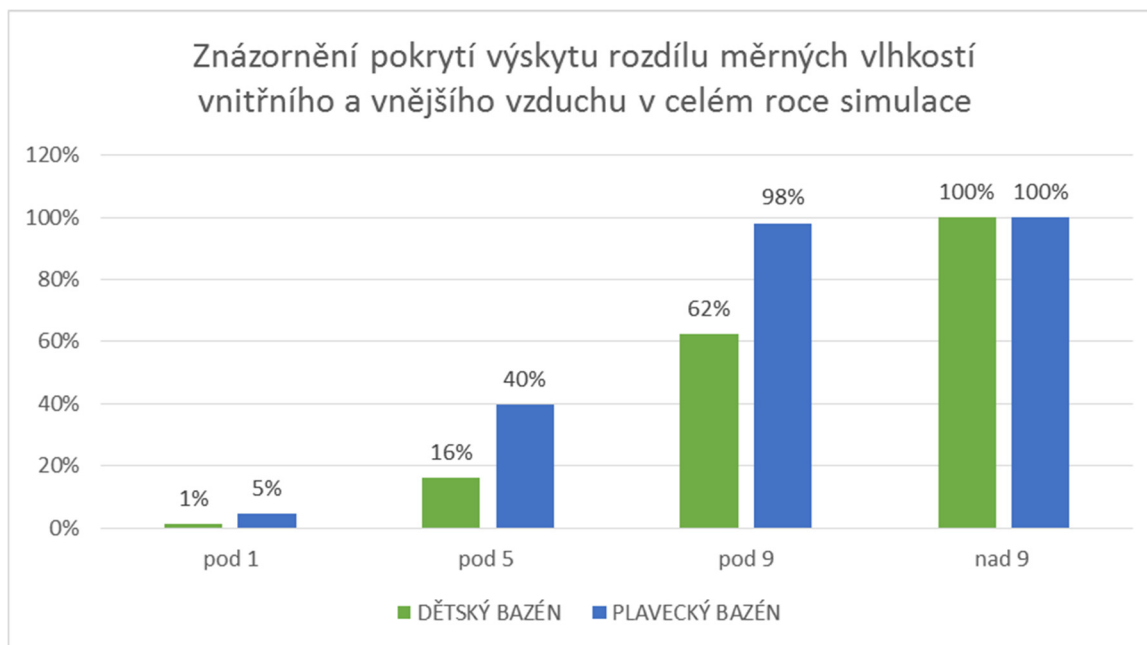
Graf 11 - Četnost množství větracího vzduchu v roce dle určených limitů, procento pokrytí všech případů do daného (uvedeného) limitu

Manuální cestou byly vypočteny hodnoty nutného průtoku výhradně čerstvého venkovního vzduchu bez kompresorového odvlhčování), jejichž přehled ukazuje graf nad textem. V **projekčních podkladech**<sup>17</sup> k VZT jednotkám obsahující tepelné čerpadlo a výměník ZZT od firmy CIC Hřebec se dozvídáme, že pro veřejný bazén o ploše zhruba<sup>18</sup> 300 m<sup>2</sup> je maximální průtok doporučených VZT jednotek mezi hodnotami 14 500 až 18 500 m<sup>3</sup>/h, tudíž bude pokrytí někde mezi hodnotou 81 až 89 %, odhad lineární interpolací je 84 % pokrytí všech případů.

<sup>17</sup> Katalog - Bazénové jednotky [online]., 19-21 [cit. 2016-10-27]. Dostupné z: [http://www.cic.cz/downloads/05\\_TP12103\\_CZ%20H%20HL%20Katalog\\_Baz%C3%A9nov%C3%A9%20jednotky.pdf](http://www.cic.cz/downloads/05_TP12103_CZ%20H%20HL%20Katalog_Baz%C3%A9nov%C3%A9%20jednotky.pdf)

<sup>18</sup> Přesná plocha obou bazénů je: 242,5+47,7=290,2m<sup>2</sup>

Rozdíl Xi-Xe, jak je znázorněn na grafu pod textem, znázorňuje pokrytí výskytu rozdílu do určitého limitu - pokrytí v případě návrhu VZT jednotky na tuto hodnotu. U dětského je dán větší rozdíl vyšší vnitřní teplotou vzduchu, zatímco vnější podmínky zůstávají shodné pro oba případy.



Graf 12 - Znázornění pokrytí výskytu rozdílu měrných vlhkostí vnitřního a vnějšího vzduchu v celém roce simulace

Při ručním výpočtu bylo shledáno jako příliš náročné vyřešit pro všechny čtvrt hodinové kroky roční simulace procesy v h-x diagramu, které se běžně v projekční praxi řeší grafickou cestou – návrhem za použití Molierova diagramu. Byla vzata v úvahu určitá možná zjednodušení, ale žádné z nich by nevedlo ke zjištění roční bilance energií, tak, jak bylo na začátku v celé své komplexnosti zamýšleno. Nejnáročnější je na manuální výpočet vyřešit přiměřeně jednoduchými numerickými vztahy proces odvlhčování a jeho energetickou náročnost. Tento problém částečně řeší pomůcky firem zabývajících se vzduchotechnikou, nicméně tyto algoritmy podléhají autorským právům a nedaly se v průběhu této práce dále využít v takovém měřítku, aby je bylo možné zautomatizovat a využít pro danou věc.

## 7.5 Shrnutí práce v Design Builderu při posuzování vnitřního prostředí bazénů

Pakliže by mělo být řečeno několik slov o ne/vhodnosti softwaru Design Builder k hodnocení vnitřního vlhkostního prostředí budov obecně, nelze tento software v jeho

aktuální verzi příliš doporučit. Program je zaměřen spíše na tepelně-technické výpočty, základy CFD analýzy a roční bilance energií při vytápění různým způsobem, nicméně zavádění vlhkosti a další práce s ní je ve virtuálním prostředí trochu oříškem a ne vždy je možné výsledky přesně ověřit a kontrolovat program, na základě čeho výsledné hodnoty počítá. Už kvůli tomu lze závěrečné výsledky v kapitole 6.3.5 brát pouze jako orientační.

Oproti manuálním výpočtům však program poskytl konečné výsledky v podobě bilance energií. Do budoucna je možné očekávat určité rozšíření a vývoj v oblasti CFD analýzy a možná také vlhkostního chování uvnitř objektů.

## 8. ZÁVĚR

*V části analýzy klimatických dat bylo dosaženo následujícího:*

VDI 2089 a doporučených  $X_e = 9$  gv.p./kgs.v. se jeví jako optimální hodnota pro výpočet extrémních stavů, pro modelový rok 2002 bylo s touto hodnotou dosaženo pokrytí 87% ze všech případů. Hodnota se jeví jako praktická, protože ponechává prostor pro ovlhčování pouze větráním, kdy je pro funkci nutný rozdíl vnější a vnitřní měrné vlhkosti vzduchu. Pásmo nad 9 gv.p./kgs.v. už není příliš praktické z důvodu případného malého rozdílu obou vlhkostí.

*V části porovnání různých výpočtů pro množství odpařené vodní páry byly vyvozeny následující závěry:*

Při porovnání výpočtů množství odpařené vodní páry podle obou přístupů (VDI 2089 a empirických vztahů Chýský a Hemzal) bylo potvrzeno určité procentuální navýšení množství odpařené vodní páry při užití výpočtu dle VDI 2089 oproti empirickým vztahům Chýský-Hemzal. V zimní období o 12%, v létě pak o 18%. Je však nutné upozornit, že tato situace, popsané porovnání, nastává při podmínkách plaveckého bazénu bez dalších atrakcí a zejména v době provozu bazénu. Není tedy závěrem, že

německá norma VDI v každé situaci poskytuje vyšší výsledné hodnoty odparu. Obecně je naopak pravdou, že VDI 2089 zohledňuje, zda je bazén užívaný, zakrytý či neužívaný, a zda v těchto případech dochází k využívání atrakcí, proto má tato metodika větší význam zejména v simulačních metodách, kdy se nepočítá pouze extrémní stav, ale jsou váženým průměrem zahrnuty i doby mimo provoz bazénu.

*Co se týče problematiky simulace energetické náročnosti vzduchotechniky bazénu, došel autor práce k následujícímu závěru:*

Tato problematika je poměrně složitá, a to zejména v její dynamice, ovlivňování výsledné energetické bilance větším počtem vstupních parametrů a proměnných a z toho vyplývající nutné iterace v průběhu výpočtů. Autor se pokoušel vytvořit simulační model v prostředí Design Builderu s tím závěrem, že je tento software pro tuto problematiku spíše nevhodný - nelze jej v současné chvíli (r.2016) doporučit. Výsledné bilance energií bylo dosaženo, nicméně ani při paralelních ručních výpočtech nad rámec této práce, nebylo úspěšně dosaženo ověření bilance z Design Builderu druhým ručním výpočtem.

*Využití výstupů z teoretické části pro praktický návrh:*

pro praktický návrh vzduchotechniky bazénu bude využit typ odvlhčovací jednotky zahrnující tepelné čerpadlo a rekuperační výměník tepla jako důsledek velikosti bazénové plochy. Dále bude využito výpočtů množství odpařené vodní páry z předchozích kapitol a také užití limitu vnější měrné vlhkosti pro návrh vzduchotechnické jednotky,  $X_e = 9 \text{ g}_{vp}/\text{kg}_{sv}$ .