

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**ŘEŠENÍ VZDUCHOTECHNICKÉHO SYSTÉMU PRO
BAZENOVOU HALU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Ing. Martina Hybešová

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Karel Papež, CSc.

2017/2018



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hybešová	Jméno: Martina	Osobní číslo: 395790
Zadávací katedra: K125 - Katedra technických zařízení budov		
Studijní program: Inteligentní budovy		
Studijní obor: Inteligentní budovy		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Řešení vzduchotechnického systému pro bazénovou halu	
Název diplomové práce anglicky: Solution of the HVCA desing of swimming poll hall	
Pokyny pro vypracování: - v úvodu práce uvést podklady pro vnitřní prostředí - projekt VZT pro daný objekt	
Seznam doporučené literatury: - Chyský, Hemzal - Větrání a klimatizace - Gunter Gebauer, Helena Horká a Olga Rubinová - Vzduchotechnika	
Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. Karel Papež, CSc.	
Datum zadání diplomové práce: 1.3.2018	Termín odevzdání diplomové práce: 20.5.2018 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
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“.

<i>13.2018</i>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

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

ČeskýBrod 20/5/2018

Martina Hybešová

Děkuji panu doc. Ing. Karlu Papežovi, CSc. Za ochotné vedení práce a rady.
Dále děkuji svým rodičům a svým blízkým za nekonečnou podporu a trpělivost.

OBSAH

1.	Předmluva	8
2.	Teoretická část	9
2.1.	Požadavky na vnitřní prostředí	9
2.2.	Tepelné bilance	10
2.2.1.	Tepelné zisky sluneční radiací	11
2.2.2.	Tepelné zisky z osvětlení	11
2.2.3.	Tepelné zisky od osob	11
2.2.4.	Prostup tepla přes obvodovou konstrukci	12
2.2.5.	Přestup tepla mezi vodní hladinou a vnitřním vzduchem	12
2.2.6.	Zátěž vázaným teplem	13
2.3.	Odpar z vodní hladiny	13
2.3.1.	Výpočet dle technického průvodce (svazek 31)	14
2.3.2.	Výpočet dle německé normy VDI 2089	14
2.3.3.	Orientační hodnoty	15
2.4.	Stanovení průtoku vzduchu bazénové vzduchotechnické jednotky	16
2.5.	Zásady větrání bazénové haly a větrací systémy	17
2.6.	Vzduchotechnický systém	18
2.6.1.	Potrubní materiály a řešení	18
2.6.2.	Větrací jednotky	19
2.6.2.1.	Popis provozních stavů jednotek	19
2.6.2.1.1.	Provozní stav č. 1	20
2.6.2.1.2.	Provozní stav č. 2	20
2.6.2.1.3.	Provozní stav č. 3	21
2.6.2.1.4.	Provozní stav č. 4	21
2.6.2.1.5.	Provozní stav č. 5	22
2.7.	Požadavky na stavební řešení	22
2.8.	Problémy plynoucí z nesprávného návrhu větrání	23
3.	Závěr	24
4.	Seznamy	25
4.1.	Seznam použité literatury	25
4.2.	Seznam tabulek	27
4.3.	Seznam obrázků	27

4.4. Seznam rovnic 27

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá návrhem systému větrání bazénové haly. Tento systém musí zabezpečit optimální vnitřní prostředí v prostorách bazénových hal a přilehlých prostor. Teoretická část práce obecně shrnuje problematiku větrání prostor s vysokou relativní vlhkostí.

Pro zpracování návrhu byl vybrán plavecký bazén v Táboře. Pro tento objekt je následně navržen systém nuceného větrání.

KLÍČOVÁ SLOVA

vzduchotechnický systém, bazénová hala, relativní vlhkost, vodní pára, odpar, vnitřní mikroklima, kvalita vnitřního ovzduší

ANNOTATION

This diploma thesis deals with the design of a swimming pool ventilation system. This system must ensure an optimal indoor environment in the pool halls and adjacent areas. The theoretical part of the thesis summarizes the issue of ventilation of areas with high relative humidity.

The swimming pool in Tábor was chosen for the design. A forced ventilation system is then designed for this object.

KEY WORDS

air-conditioning system, swimming pool, relative humidity, water vapor, evaporation, indoor microclimate, indoor air quality

1. Předmluva

Kryté plavecké bazény jednoznačně patří k prostorám s provozem, na které jsou kladeny specifické požadavky na zajištění kvality vnitřního prostředí a tepelné pohody pro uživatele. Ať už se jedná o klasický městský bazén, aquapark či menší krytý rodinný bazén, tak pro tyto provozní podmínky platí jedno společné, a to, že vyžadují komplexní a hlavně zodpovědný přístup k návrhu již od rané fáze projektu.

Teoretická část této diplomové práce se soustředí na shrnutí požadavků a doporučení pro návrh vzduchotechnických systémů krytých bazénů. Představí danou problematiku navrhování větrání bazénových hal v širších souvislostech, např. doporučení pro stavební a provozní řešení, principiální řešení vzduchotechnických jednotek a příslušných prvků pro provoz bazénové haly.

Podklady zpracované v teoretické části a poznatky jsou využity a aplikovány v návrhu vzduchotechnického systému pro provoz plaveckého bazénu v Táboře.

2. Teoretická část

2.1. Požadavky na vnitřní prostředí

V dnešní době patří návrh vzduchotechnického systému bazénu k jeho součásti a stává se tak samozřejmostí. Vlastnosti takového systému musí zajistit tepelný komfort uživatele, ale i zabezpečit ochranu stavebních konstrukcí (převážně dřevěných a ocelových) vytvořením umělého vnitřního prostředí.

Mikroklimatické požadavky bazénových hal jsou dány vyhláškou č. 238/2011 Sb., a stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch, ve znění pozdější vyhlášek č. 97/2014 Sb. a 1/2016 Sb.

Faktor prostředí	Hala bazénu	Přilehlé prostory pro uživatele	
		sprchy	šatny
Intenzita osvětlení	min. 200 luxů pro rekreační koupání, min. 300 luxů pro plaveckých výcvik	200 luxů	200 luxů
Teplota vzduchu	o 1 - 3 °C vyšší než teplota vody v bazénu max. 34 °C	24 - 30 °C	20 - 28 °C
Relativní vlhkost vzduchu	max. 65 %	max. 85 %	max. 50 %
Intenzita výměny vzduchu	min. 2x za hodinu	min. 8x za hodinu	5 - 6x za hodinu
Trichloramin	0,5 mg/m ³	-	-

Tab. č. 1: Mikroklimatické požadavky, osvětlení a vnitřní ovzduší bazénové haly krytého bazénu a jeho přilehlých prostor. Převzato z vyhlášky č. 238/2011 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

Vysoká vlhkost vzduchu způsobená vysokým odparem z vodní hladiny ovlivňuje uživatele bazénu, a to vytvořením pocitu dusna i vytvořením ideálních podmínek pro růst plísní a mikroorganismů. Především v zimním období by neměla relativní vlhkost překročit hodnotu 65 %, z důvodu výskytu povrchové kondenzace v místě tepelných mostů a nedostatků konstrukcí. Empiricky stanovená hodnota měrné vlhkosti vzduchu 14,3 g/kg s.v. v prostoru bazénové haly by měla být překročena pouze v případě, kdy se měrná vlhkost vzduchu pohybuje výše než 9 g/kg s.v.

Zároveň s odparem vody dochází i k odparu trichloraminu (NCl₃), který je produktem

vázaného chlóru a je ve vodě špatně rozpustný. V souvislosti s koncentrací trichloraminu v ovzduší je možné se setkat s tzv. hypotézou bazénového chlóru, která poukazuje na možný vztah mezi NCl_3 a růstem případů výskytu astmatu u dětí.

V dnešní době se dost často stává, že při návrhu větrání bazénové haly je tato škodlivina zcela zanedbána, ale je však nutné plnění požadavků na její koncentraci ve vnitřním prostředí.

V prostorách bazénu se lidé pohybují jen lehce oblečení a převážně mokří, a proto je nutné zajistit dostatečně vysokou teplotu vzduchu. Sálání obvodových stěn by mělo být vyváženo provedením podlahového vytápění nebo sálavého stěnového vytápění.

Teplota vzduchu v bazénové hale by měla být o 1-3°C vyšší než teplota vody v bazénu, tato teplota však závisí i na charakteru bazénu.

Charakter bazénu	Teplota vody (°C)
Bazén pro rekreační plavání	24 – 28
Bazén pro závodní plavání	22 – 24
Terapeutické a rekreační bazény	až 35
Dětské bazény	26 – 28

Tab. č. 2: Teplota vody dle charakteru bazénu

Intenzita výměny vzduchu pro bazénovou halu vychází z výpočtu množství odpařené vody. Dle vyhlášky tato hodnota musí splnit požadavek na minimální výměnu vzduchu, tj. 2x za hodinu. Navržená intenzita výměny vzduchu musí zajistit dokonalé provětrání celé bazénové haly, nesmí docházet ke vzniku míst, kde vzduch stojí. Zároveň je důležité předejít vzniku průvanu a vysokému proudění vzduchu v místech, kde se vyskytují plavci.

2.2. Tepelné bilance

Celková tepelná bilance objektu je součet citelného a vázaného tepla. Stanoví se dle rovnice:

$$Q = Q_{OR} + Q_U + Q_L + Q_{hl} + Q_j + Q_{sv} \quad (W) \quad (1)$$

<i>Q</i>	..... celková tepelná bilance	(W)
<i>Q_{OR}</i>	..... tepelné zisky slunečních radiací	(W)
<i>Q_U</i>	..... prostup tepla stavební konstrukcí	(W)
<i>Q_L</i>	..... tepelné zisky od osob	(W)
<i>Q_{sv}</i>	..... tepelné zisky od osvětlení	(W)
<i>Q_{hl}</i>	..... přestup tepla mezi vodní hladinou a okolním vzduchem	(W)
<i>Q_j</i>	..... zátěž vázaným teplem	(W)

2.2.1. Tepelné zisky sluneční radiací

Postup výpočtu stanovuje norma ČSN 73 0548. Tepelné zisky sluneční radiací okny se stanoví dle rovnice:

$$Q_{OR} = (S_{os} * I_o * c_o + (S_o - S_{os}) * I_{o\ dif}) * s \quad (W) \quad (2)$$

<i>kde</i>	S_{os}	..... osluněný povrch okna	(m^2)
	S_o	..... povrch okna	(m^2)
	I_o	..... celková intenzita sluneční radiace, procházející standardním jednoduchým zasklením	(W/m^2)
	$I_{o\ dif}$	..... intenzita difúzní sluneční radiace, procházející standardním jednoduchým zasklením	(W/m^2)
	c_o	..... korekce na čistotu atmosféry	(-)
	s	..... stínící součinitel	(-)

2.2.2. Tepelné zisky z osvětlení

Při výpočtu celkové tepelné bilance je nutné uvažovat i se zisky od umělého osvětlení i v letních měsících.

Tepelné zisky od osvětlení se stanoví dle rovnice:

$$Q_{sv} = P * c_1 * c_2 \quad (W) \quad (3)$$

<i>kde</i>	P	..... celkový příkon od svítidel	(W)
	c_1	..... součinitel současnosti používání svítidel	(-)
	c_2	..... zbytkový součinitel	(-)

2.2.3. Tepelné zisky od osob

Tyto zisky jsou nedílnou součástí pro výpočet celkové tepelné bilance objektu. Při výpočtu těchto zisků je obtížné určit, jakou část citelného tepla sdílí plavec do vody a jakou část do okolního vzduchu. Při návrhu je nutné brát na zřetel, zda jsou v prostorách bazénu hlediště s tribunami, ochozy – předpoklad vysokého výskytu osob.

Pro orientační stanovení tepelných zisků od osob lze použít rovnici:

$$Q_L = n * q \quad (\text{W}) \quad (4)$$

kde n počet osob (-)
 q produkce tepla jedné osoby (W/os)

Pro stanovení vnitřní tepelné zátěže osobami dle české normy ČSN 73 0548.

2.2.4. Prostup tepla přes obvodovou konstrukci

Výpočet pro stanovení tepelných ztrát prostupem tepla přes obvodové konstrukce je dle evropské normy ČSN EN 12 831. Tepelná ztráta pro vytápěný prostor se stanoví dle rovnice:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) * (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (\text{W}) \quad (5)$$

kde $H_{T,ie}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (interiéru) do venkovního prostoru (exteriéru) pláštěm budovy (W/K)
 $H_{T,iue}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (interiéru) do venkovního prostoru (exteriéru) nevytápěným prostorem (u) (W/K)
 $H_{T,ig}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (interiéru) do zeminy (g) (W/K)
 $H_{T,ij}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (interiéru) do sousedního prostoru (j) vytápěného na výrazně jinou teplotu (W/K)
 $\theta_{int,i}$ výpočtová teplota vytápěného prostoru (°C)
 θ_e výpočtová venková teplota (°C)

2.2.5. Přestup tepla mezi vodní hladinou a vnitřním vzduchem

Vlivem rozdílné teploty vodní hladiny a okolního vzduchu dochází ke sdílení citelného tepla. Množství přeneseného citelného tepla se stanoví dle rovnice:

$$Q_{hl} = \alpha * S_w * (t_w - t_i) \quad (\text{W}) \quad (6)$$

kde α součinitel přestupu tepla mezi vodní hladinou a vzduchem
 $\alpha = 10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 S_w plocha vodní hladiny (m^2)
 t_w teplota vody (K)
 t_i teplota vzduchu v interiéru (K)

2.2.6. Zátěž vázaným teplem

Nejdůležitější roli v celém výpočtu celkové tepelné zátěže bazénové haly hraje zátěž vázaným teplem. Zátěž vázaným teplem se stanoví dle rovnice:

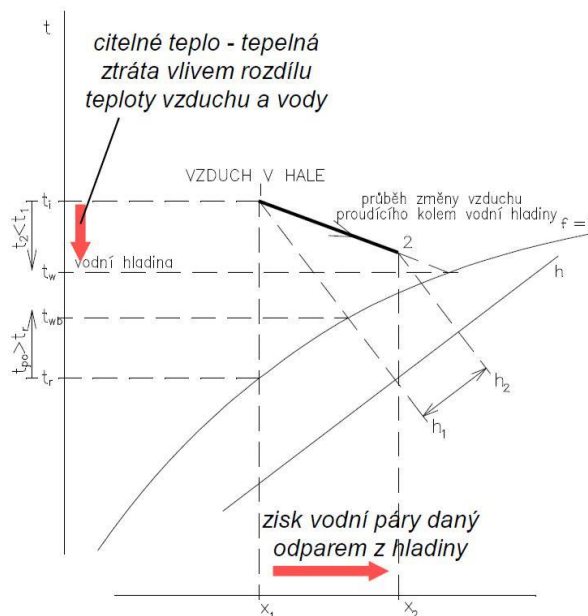
$$Q_l = M_w * I \quad (\text{W}) \quad (7)$$

kde M_w množství odpařené vodní páry (g/s)
 I výparné teplo vody ($\sim I = 2,5 \times 10^6 \text{ J/kg}$)

2.3. Odpar z vodní hladiny

Odpar z vodní hladiny, na rozdíl od vypařování, probíhá téměř za jakékoliv teploty vody. Výpar je ovlivněn plochou vodní hladiny a rychlostí proudícího vzduchu kolem hladiny. Tento vzduch absorbuje vodní páru, která se odpařuje z volné vodní hladiny. Při odparu dochází ke změně skupenství vody z kapalného na plynné a tento jev zároveň způsobuje chladnutí vody v bazénu.

Při odparu se nad volnou vodní hladinou vytvoří vrstva nasyceného vzduchu o teplotě vody, přičemž tlak nasycené vodní páry v této mezní vrstvě je vyšší než parciální tlak vodní páry vzduchu v hale. Následkem odparu dochází k navýšení měrné entalpie vzduchu v hale a k zátěži vázaným teplem, které je nutné odvětrat. Zároveň je předáno citelné teplo vlivem rozdílné teploty vody a vzduchu.



Obr. č. 1. Grafické znázornění odparu z vodní hladiny v HX diagramu.

2.3.1. Výpočet dle technického průvodce (svazek 31)

Produkcí vlhkosti lze stanovit z rozdílu parciálních tlaků vodních par ve vzduchu nasyceném při teplotě vodní hladiny a tlaku par při teplotě vnitřního vzduchu dle rovnice:

$$M_w = \beta * S_{hl} * (p_{v''(tw)} - p_{v(ti)}) \quad (\text{kg/h}) \quad (8)$$

kde β součinitel přenosu hmoty ($\text{kg/h} * \text{m}^2 * \text{kPa}$)
 S_{hl} plocha volné vodní hladiny (m^2)
 $p_{v''(tw)}$ tlak syté vodní páry při teplotě vzduchu rovné teplotě vody (kPa)
 $p_{v(ti)}$ tlak syté vodní páry při teplotě vnitřního vzduchu (kPa)

Pro malé rychlosti proudění vzduchu do 0,3 m/s platí součinitel přenosu vlhkosti a rovnice:

$$B = 0,124 + 0,11 * w \quad (\text{kg/h} * \text{m}^2 * \text{kPa}) \quad (9)$$

kde w rychlost proudění (m/s)

Dále lze stanovit množství odpařené vodní páry z rozdílu měrných vlhkostí vzduchu při teplotě vody a vnitřního vzduchu dle rovnice:

$$M_w = \beta_x * S_{hl} * (x''_{tw} - x_{ti}) \quad (\text{kg/h}) \quad (10)$$

kde β_x součinitel přenosu hmoty ($\text{kg/h} * \text{m}^2 * \text{kPa}$)

$$\beta_x = 25 + 19 * w \quad (\text{kg/h} * \text{m}^2) \quad (11)$$

S_{hl} plocha volné vodní hladiny (m^2)
 x''_{tw} měrná vlhkost vzduchu při teplotě vody (kg/kg s.v.)
 x''_{ti} měrná vlhkost vzduchu při vnitřního vzduchu (kg/kg s.v.)

2.3.2. Výpočet dle německé normy VDI 2089

Pro přesnější výpočet množství odpařené vody z vodní hladiny je možné použít základní vztah dle německé normy VDI 2089.

Starší vydání:

$$M_{w,n/p} = \varepsilon * S_{hl} * (p_{v''(tw)} - p_{v(ti)}) \quad (\text{g/s}) \quad (12)$$

kde ε součinitel přenosu hmoty ($\text{g/s} * \text{m}^2 * \text{mbar}$)
 S_{hl} plocha volné vodní hladiny (m^2)
 $p_{v''(tw)}$ tlak syté vodní páry při teplotě vzduchu rovné teplotě vody (mbar)

$p_{v(t_i)}$ tlak syté vodní páry při teplotě vnitřního vzduchu (mbar)

Charakter provozu	ϵ
	(g/s*m2mbar)
Soukromý bazén	$3,6 * 10^{-3}$
Veřejný bazén	$7,8 * 10^{-3}$
Bazén s umělými vlnami	$9,7 * 10^{-3}$

Tab. č. 3: Součinitel přenosu hmoty pro bazény dle VDI 2089 (starší vydání)

Nové vydání

$$M_{w,n/p} = (\beta_{n/p} / (R_v * T)) * S_{hl} * (p_{v''(tw)} - p_{v(t_i)}) \quad (\text{kg/h}) \quad (13)$$

kde

$\beta_{n/p}$součinitel přenosu hmoty pro nepoužívaný/používaný bazén dle tab. č.4 (m/h)

R_vplynová konstanta pro vodní páru (J/kg*K)

$$R_v = 461,52 \text{ J/kg*K}$$

Tarimetrický průměr teploty vody a vzduchu (K)

S_{hl} plocha volné vodní hladiny (m²)

$p_{v''(tw)}$ tlak syté vodní páry při teplotě vzduchu rovné teplotě vody (kPa)

$p_{v(t_i)}$ tlak syté vodní páry při teplotě vnitřního vzduchu (kPa)

Charakter provozu	nepoužívaný bazén n	používaný bazén p
	m/h	m/h
Zakrytá hladina bazénu (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

Tab. č. 4: Součinitel přenosu hmoty pro bazény (nové vydání)

Tato norma uvádí postup výpočtu stanovení odparu z vodní hladiny u bazénových hal, které jsou vybaveny vodními atrakcemi, a umožňuje přizpůsobit výpočet nejlépe k daným okrajovým podmínkám řešeného provozu.

2.3.3. Orientační hodnoty

Odpar z vodní hladiny je ztelně ovlivněn a souvisí s využíváním a provozem bazénové haly. Pro

ukázku jsou v tabulce č.4 uvedeny směrné hodnoty hustoty hmotnostního toku odpařené vody a hustoty toku vázaného tepla z vodní hladiny krytých halových bazénů.

Bazénová hala v provozu	mw	Qv	Bazénová hala mimo provoz	mw	Qv
	g/(m ² .h)	W/m ²		g/(m ² .h)	W/m ²
mírně zvlněná hladina vody	100	70	nezakrytý bazén	60 - 80	42 - 56
více zvlněná hladina vody	200	140	zakrytý bazén	5 - 15	3,5 - 10

Tab. č. 5: Orientační hodnoty hustoty hmotnostního toku odpařované vody a hustoty toku vázaného tepla z vodní hladiny halových bazénů

Pro běžné veřejné kryté bazény lze stanovit měrné množství větracího vzduchu jednodušeji, dle ročního období.

Roční období	Orientační měrné nároky na větrání
	m ³ /(h.m ²)
zimní období	14
přechodné období	20
letní období	40 (respektive odstávka provozu)

Tab. č. 6: Orientační měrné nároky na větrání

V zahraniční literatuře je možné se setkat s poměrně rozdílnými hodnotami množství přiváděného vzduchu do prostoru bazénové haly, které jsou zpravidla poměrně velkorysě převážně v britských příručkách. Dle německé příručky je doporučeno přivádět 30 m³/(h*m²) v letním období a v době, kdy neklesne venkovní teplota pod 0°C. Při teplotách pod bodem mrazu by měl být zajištěn přívod vzduchu alespoň 15 m³/(h*m²).

2.4. Stanovení průtoku vzduchu bazénové vzduchotechnické jednotky

Výpočet se provádí nejprve pro letní návrhový stav, který je důležitý z hlediska zátěže vázaným teplem pro návrh množství větracího vzduchu. Dále se ověří tyto navrhované parametry i pro zimní stav. Doporučuje se ověřit navrhované parametry i pro přechodné období.

Ze stanoveného množství odpařené vody z vodní hladiny se vypočte množství přiváděného vzduchu dle rovnice:

$$V_p = M_w / (\rho \cdot (x_i - x_p)) \quad (\text{m}^3/\text{hod}) \quad (14)$$

kde M_wmnožství odpařené vodní páry (g/hod)
 ρ hustota vody (kg/m³)
 x_i měrná vlhkost interiérového vzduchu v bazénové hale (g/kg s.v.)
 x_p měrná vlhkost přiváděného vzduchu do bazénové haly (g/kg s.v.)

Roční období	Výpočtový rozdíl měrných vlhkostí
	g/kg s.v.
zimní období	14
přechodné období	10
letní období	5

Tab. č. 7: Výpočtový rozdíl měrných vlhkostí vnitřního a venkovního vzduchu

Dále se ověří, zda vypočtené množství přiváděného vzduchu splňuje podmínku minimální intenzity výměny vzduchu v bazénové hale dle vztahu:

$$V_p = I * V_h \quad (\text{m}^3/\text{hod}) \quad (15)$$

kde Iintenzita výměny vzduchu do bazénové haly (m³/hod)
 V_hobjem bazénové haly (m³)

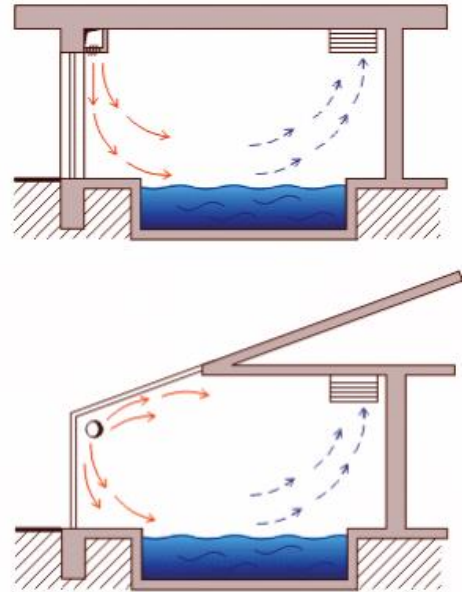
Při návrhu je nutné stanovit dostatečný podíl čerstvého vzduchu, jelikož se lidé v bazénu pohybují. Nicméně česká legislativa tuto problematiku neřeší. Pro návrh je lepší se inspirovat v Nařízení vlády 361/2007 Sb. Optimální množství čerstvého vzduchu pro prostory bazénových hal se pohybuje v rozmezí 20 až 45 m³/hod na osobu. Okamžitá kapacita návštěvníků bazénu se dle vyhlášky 238/2011 Sb. stanoví jako maximálně dvojnásobek kapacity vodní plochy bazénů. Plocha pro jednoho neplavce činí 3 m² a plocha pro jednoho plavce je 5 m².

2.5. Zásady větrání bazénové haly a větrací systémy

Pro vytvoření dobrého návrhu větrání bazénové haly je nutné si uvědomit a především pochopit veškeré doporučení. V bazénových halách se setkáváme s vyšší teplotou vzduchu, vysokou relativní i absolutní vlhkostí vzduchu a vyskytují se zde agresivní složky obsažené ve vzduchu, které vznikají během chemických procesů při čištění bazénové vody. Tyto faktory jsou stěžejní pro návrh bazénu už od první koncepce, v této fázi se rozhoduje o tom, jak efektivní bude provoz bazénu, co se týče technických systémů, stavebního řešení a s tím souvisí i finanční prostředky na realizaci a provoz bazénu.

Tyto požadavky lze shrnout do těchto několika bodů:

- Musí být zajištěno dokonalé a rovnoměrné provětrání celého prostoru bazénu. Nesmí docházet ke vzniku míst, kde vzduch stojí.
- Přiváděný vzduch musí být teplý, suchý s nízkou relativní vlhkostí. Takový vzduch musí být distribuován u prosklených fasád, a musí mít dostatečnou rychlost a dosah proudu.
- Celý prostor bazénové haly musí být trvale udržován v podtlaku (min 95%), aby se zamezilo riziku pronikání par do sousedních prostor přes chybně provedené ohraničující konstrukce (špatná parotěsná zábrana).
- Z důvodu agresivního prostředí musí být rozvod VZT z nerez potrubí.



Obr. č. 2. Umístění přívodu a odvodu

- Pokud projektant zamýšlí návrh podlahového rozvodu, musí být zajištěna dokonalá vodotěsnost a musí být ve spádu směrem ke sběru kondenzátu.
- Větrání bazénové haly musí být odděleno od ostatních systémů větrání. Bazénové haly mají své VZT jednotky.
- U rodinných bazénů, kde je nárazový provoz, se doporučuje spojit větrání s teplovzdušným vytápěním (teplovzdušné větrání zajistí velmi rychlý náběh teploty vzduchu na požadovanou hodnotu během několika minut)
- Vzduchotechnické jednotky určené pro bazénové haly musí být navrženy do agresivního prostředí (chlór). Rekuperační výměníky musí být vyrobeny z nerez nebo plastu, odvodňovací vany též.
- Pro malé prostory bazénu/bazénků lze navrhnout lokální odvlhčovací recirkulační jednotku.
- Nejvhodnějším řešením je jednotka ve složení – větrací a odvlhčovací jednotka, zde je třeba dodržet minimální množství čerstvého venkovního vzduchu.

2.6. Vzduchotechnický systém

2.6.1. Potrubní materiály a řešení

Rozvody vzduchu v bazénových halách musí splňovat hygienické požadavky, ale také požadavky na trvanlivost a chemickou odolnost prostředí. Tyto požadavky v dnešní době dle nabízených materiálů splňují pouze dvě varianty, potrubí z nerez a potrubí ze sendvičového materiálu a rozvody z textilních materiálů.

- Potrubí z nerez je na trhu dostupné, včetně tvarovek.
- Potrubí ze sendvičového materiálu (ALP) se skládá nejméně ze tří vrstev.

- Ve složení: hliníková fólie (hladká nebo jinak povrchově upravená) od 80 do 200 μm tloušťky, dále pak střední vrstva polyuretanové pěny o standardní tloušťce 20.5 nebo 30 mm a třetí vrstva opět hliníková fólie.
- Technické vlastnosti:
 - polyisokyanátový sendvičový panel, který je z obou stran krytý hliníkovou fólií s gofrovaným povrchem
 - tloušťka Al fólie: dle druhu panelu 80 μm nebo 200 μm
 - hustota izolační pěny: 48 kg/m^3
 - váha panelu: dle druhu panelu 1,2-1,9 kg/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 $^{\circ}\text{C}$
- Potrubí z textilních materiálů se do podvědomí projektantů dostává až teď, neboť nejsou na trhu nabízené delší dobu. Lze od nich očekávat rovnoměrnou distribuci vzduchu a dle výrobců i snadné čištění textilních rozvodů díky vlastnostem tkaniny, z níž jsou rozvody vyrobeny.

2.6.2. Větrací jednotky

Materiálové a konstrukční řešení vzduchotechnických jednotek pro bazénový provoz vychází zejména z požadavku na odolnost v agresivním prostředí. Tímto je myšleno uvolňování 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 $\text{RH} = 65\%$.

Výrobci bazénových jednotek uvádí klíčové vlastnosti těchto jednotek tj.

- 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 chladič okruh s hermetickým kompresorem (ochrana elektroniky a mechanických dílů kompresoru před agresivními látkami ze vzduchu).

2.6.2.1. Popis provozních stavů jednotek

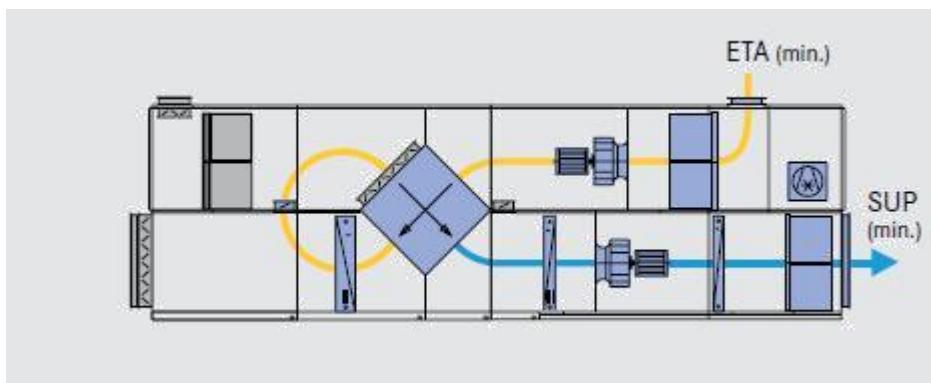
Popis funkcí (sub zařízení) jednotky: jednotka obsahuje ohřívač a chladič napojené na okruh tepelného čerpadla; též uvnitř jednotky často najdeme druhý ohřívač pro dohřev napojený na vnější rozvody tepla, dále křížový výměník ZZT, příslušné filtrové komory, ventilátorové komory a redukční klapky pro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

Legenda zkratk:

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)

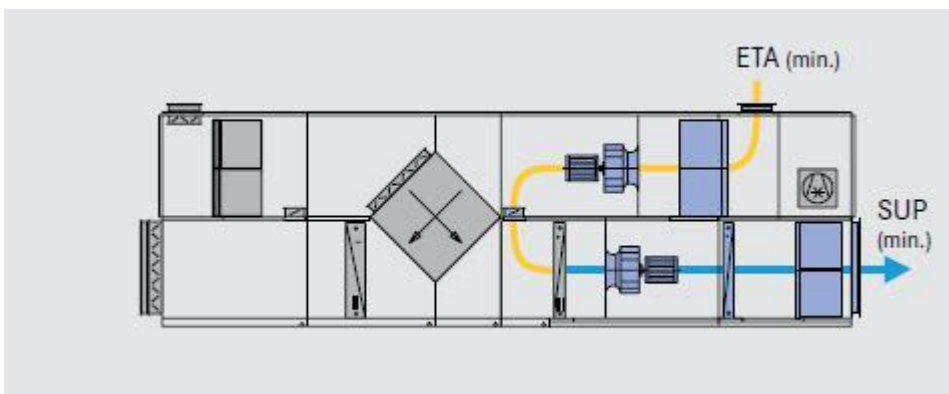
2.6.2.1.1. Provozní stav č. 1



Obr. č. 3. Provoz VZT jednotky v době bez návštěvníků provoz VZT jednotky v době bez návštěvníků
[Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm]

Na obrázku č. 3. je ilustrovaný 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).

2.6.2.1.2. Provozní stav č. 2

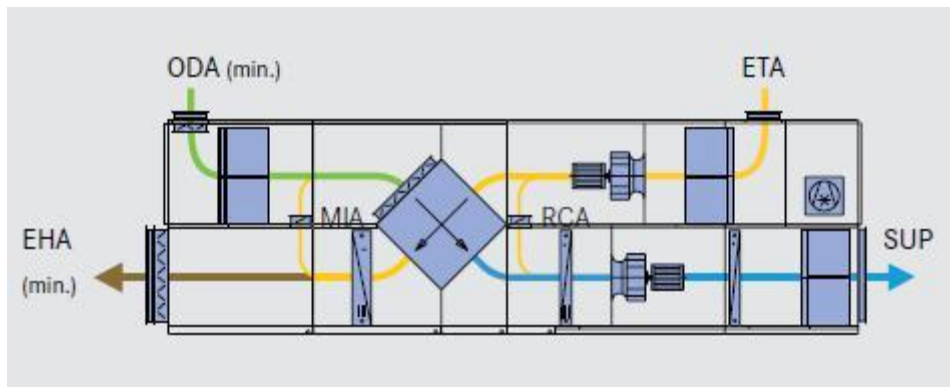


Obr. č. 4. Klidový stav VZT jednotky s odvlhčováním – bez návštěvníků, ale je odváděn přirozený odpar
[Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm]

Na obr. 4 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 mísicí 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).

2.6.2.1.3. Provozní stav č. 3

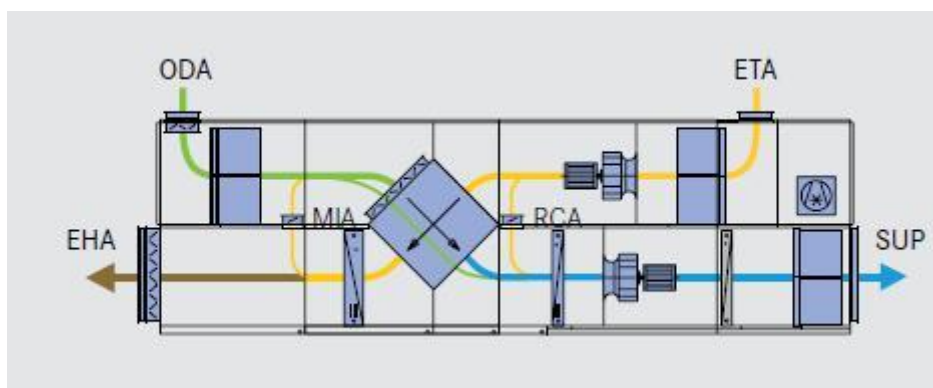


Obr. 5. Zimní provoz VZT jednotky s odvlhčováním, předeřevem výměníku ZZT, přimícháváním odváděného vzduchu [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm]

Obr. 5 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).

2.6.2.1.4. Provozní stav č. 4

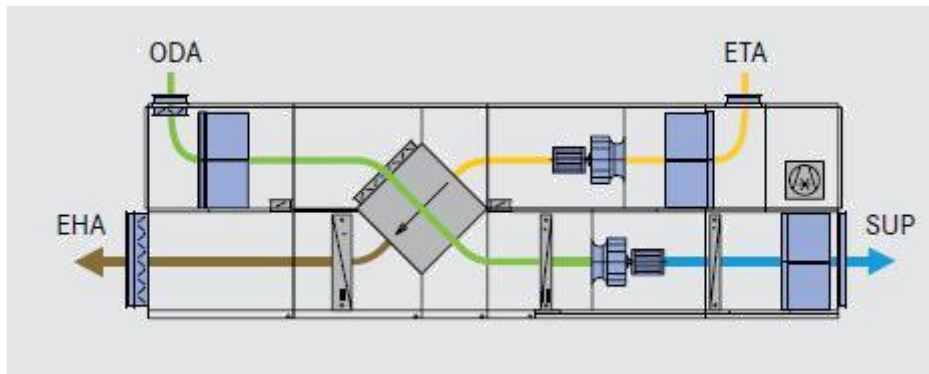


Obr. 6. Provoz v přechodném období [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm]

Obrázek 6 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.

Pozn. 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.

2.6.2.1.5. Provozní stav č. 5



Obr. č. 7. 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).

2.7. Požadavky na stavební řešení

Požadavky vycházejí z obecných doporučení, z kritických míst, problémů a zkušeností. Při návrhu bazénu je nutná koordinace jednotlivých profesí, aby došlo ke kvalitnímu návrhu a zajištění kvality vnitřního prostředí.

Tyto požadavky lze shrnout:

- Obvodové konstrukce, výplně otvorů navrhnout s nejlepšími tepelně-technickými parametry
- Omezit zbytečné rozsahy zasklení – především u střech bazénů
- Eliminovat tepelné mosty
- Návrh dokonalé parotěsné zábrany
- Návrh pravoúhlého tvaru objektu pro možnost instalace navíjecích fóliových zákrytů
- Při napojení na bytové prostory navrhnout spojovací dveře tak, aby byly těsné. Nejlépe přes samostatně odvětrávací prostor chodby.

2.8. *Problémy plynoucí z nesprávného návrhu větrání*

Důsledky špatných rozhodnutí ve fázi projektu vzduchotechniky bazénové haly mohou být více či méně zjevné. Jedno mají však společné, a sice že dodatečná a nápravná opatření bývají zpravidla velmi nákladná a komplikovaná.

V případě, že není zajištěn vyhovující odvod vlhkostní zátěže, relativní vlhkost v prostoru stoupá. To je příčina vzniku rizika kondenzace na povrchu stavebních konstrukcí, a to v místech tepelných mostů a na prosklených stěnách. Vzniklý kondenzát znehodnocuje stavební konstrukce a dochází i ke zhoršení tepelně technických vlastností dotčených konstrukcí.

Při vzniku orosených oken, vlhkých omítek a mokrých podhledů je patrné, že navržený systém není funkční a má nedostatky. Tyto nedostatky mohou zapříčinit koroze, poškodit interiérové prvky, poškození elektroinstalace apod. Současně může docházet ke stékání kondenzátu po stavebních konstrukcích, což je z estetického hlediska pro návštěvníky a uživatele bazénové haly nepřijatelné.

Následně, vzhledem k přítomnosti vlhkosti na povrchu konstrukcí, jsou vytvořeny podmínky vhodné k růstu plísní a bujení mikroorganismů. Nejčastěji se setkáváme s rody plísní *Penicillium* (Štětičkovec), *Aspergillus* a *Cladosporium*, jež produkuje těkavé organické látky, které mohou způsobovat zejména alergie a dýchací potíže.

3. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout systém větrání pro bazénovou halu. Ke zpracování práce byl vybrán bazénový stadion v Táboře.

V teoretické části byly shrnuty obecné informace a požadavky pro zajištění vhodného prostředí pro vnitřní prostředí bazénu. Největším problémem vyskytujícím se v bazénech bývá vlhkost, se kterou souvisí zdravotní potíže.

V druhé části diplomové práce byl navržen systém větrání. Při postupu návrhu VZT jsem postupovala dle výše zmíněných požadavků, rad a zkušeností firmy Robatherm. Cílem práce bylo zajištění příjemného mikroklimatu vnitřního prostředí pro návštěvníky. Při tvorbě návrhu je vždy nutné zohlednit i energetickou stránku daného systému, neboť bazény patří k objektům, které jsou energeticky velmi náročné.

4. Seznamy

4.1. Seznam použité literatury

- [1] Vyhláška č. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch se změnami 97/2014 Sb. a 1/2016 Sb. Sbírka zákonů České republiky. Srpen 2011. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-238>
- [2] VDI 2089 Blatt 1/Part 1. Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern/Building Services in swimming baths, Indoor pools. Dusseldorf: Verein Deutscher Ingenieure e.V., leden 2011.
- [3] BERNARD, A., CARBONELLE, S., de BURBURE, C., MICHEL, O., NICKMILDER, M., 2006: Chlorinated pool attendance, atopy, and the risk of asthma during childhood. Environmental Health Perspectives [online]. [12.9.2016]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1626429/>
- [4] BLASINSKI, P., RUBINA, A., 2014: Distribuce vzduchu v bazénových halách – část 1. TZB-info [online]. [12.5.2016]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitriprostredi/11319-distribuce-vzduchu-v-bazenovych-halach-cast-1>
- [5] CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol. Technický průvodce větrání a klimatizace. 3. vyd. Praha: ČESKÁ MATICE TECHNICKÁ, 1993. 490 s. ISBN 80-901574-0-8
- [6] KONTRA, J., 2012: Praktický návrh bazénové odvlhčovací jednotky KLMV – větrací. TZB-info [online]. [12.5.2016]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/8522-prakticky-navrhbazenove-odvlhcovaci-jednotky-klmv-vetraci>
- [7] SCHWARZER, J., 2007: Návrh a dimenzování VZT pro bazény (1). TZB-info [online]. [12.5.2016]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4218-navrh-a-dimenzovani-vztpro-bazeny-i>
- [8] ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. Praha: ÚNMZ, duben 1986.
- [9] ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu. Praha: ÚNMZ, březen 2005.
- [10] SZÉKYOVÁ, M., FERSTL, K. a NOVÝ, R.. Větrání a klimatizace. 1. české vyd. Bratislava: JAGA, 2006. 359 s. ISBN 80-8076-037-3
- [11] ADAMOVSKEJ, D.. Větrání specifických provozů [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, březen 2016.

- [12] MORÁVEK, P.. Vytápění a větrání v prostorech rodinných bazénů. WELLNESS Bazény & Sauny [online]. 2006, čís. 3-4, str. 34-38. [20.4.2016]. Dostupné z: www.atrea.cz/en/?download=cz/napsali/2006_04_bs_u_vody.pdf
- [13] Rheinisch-Westfalisches Elektrizitätswerk. RWE Bau-Handbuch Technischer Ausbau 1983/4. RWE AG, Essen, W. Germany, 1983
- [14] BRUNDRETT, G.W.. Handbook of dehumidification technology. 1. Title. Tiptree, Essex: Anchor Brendon Ltd., 1987. ISBN 0-408-02520-4
- [15] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Sběrka zákonů České republiky. Prosinec 2007. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361/zneni-20160129>
- [16] KOUBKOVÁ, I.. Bazény, vzduchotechnika vnitřních bazénových prostor [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, březen 2016.
- [17] ČSN EN 13451-1 Vybavení plaveckých bazénů – Část 1: Všeobecné bezpečnostní požadavky a zkušební metody. Praha: ÚNMZ, květen 2012.
- [18] ČSN EN 15288-1+A1 Plavecké bazény – Část 1: Bezpečnostní požadavky pro navrhování bazénů. Praha: ÚNMZ, květen 2012.
- [19] ROBATHERM [online]. Air Handling Systems for Indoor Pools. 2011. [10.9.2016]. Dostupné z: https://www.robatherm.com/de/system/files/robatherm_swimmingpools_eng.pdf
- [20] PROJEKTA, spol. s r.o.. Snižování energetické náročnosti v provozu plaveckých bazénů. Arch. č. 4315-502-2/2-AX-01 [online]. Praha: Česká energetická agentura, 1999. 50 s. [10.9.2016]. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/dokument/99_8072.pdf
- [21] Salinita [online]. Wikipedie otevřená encyklopedie. [15.9.2016]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Salinita>
- [22] RUBINOVÁ, O., POČINKOVÁ, M., RUBINA, A.. Odborné posouzení vybraných systémů vzduchotechniky a vytápění Wellness centra Bruntál. Brno: VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov, květen 2011.
- [23] Vyhláška č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb. Sběrka zákonů České republiky. Listopad 2006. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-499/zneni-20130329>
- [24] ČSN 75 5455 Výpočet vnitřních vodovodů. Praha: ÚNMZ, únor 2014.

4.2. Seznam tabulek

- Tabulka č. 1. *Mikroklimatické požadavky, osvětlení a vnitřní ovzduší bazénové haly krytého bazénu a jeho přilehlých prostor. Převzato z vyhlášky č. 238/2011 Sb. ve znění pozdějších předpisů.*
- Tabulka č. 2. *Teplota vody dle charakteru bazénu*
- Tabulka č. 3. *Součinitel přenosu hmoty pro bazény dle VDI 2089 (starší vydání)*
- Tabulka č. 4. *Součinitel přenosu hmoty pro bazény*
- Tabulka č. 5. *Orientační hodnoty hustoty hmotnostního toku odpařované vody a hustoty toku vázaného tepla z vodní hladiny halových bazénů*
- Tabulka č. 6. *Orientační měrné nároky na větrání*
- Tabulka č. 7. *Výpočtový rozdíl měrných vlhkostí vnitřního a venkovního vzduchu*

4.3. Seznam obrázků

- Obrázek č. 1. *Grafické znázornění odparu z vodní hladiny v HX diagramu.*
- Obrázek č. 2. *Umístění přívodu a odvodu*
- Obrázek č. 3. *Provoz VZT jednotky v době bez návštěvníků provoz VZT jednotky v době bez návštěvníků [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm]*
- Obrázek č. 4. *Klidový stav VZT jednotky s odvlhčováním – bez návštěvníků, ale je odváděn přirozený odpar [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm]*
- Obrázek č. 5. *Zimní provoz VZT jednotky s odvlhčováním, předehřevem výměníku ZZT, přimícháváním odváděného vzduchu [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm]*
- Obrázek č. 6. *Provoz v přechodném období [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm]*
- Obrázek č. 7. *Letní provoz [Zdroj schématu projekční podklady firmy Robatherm]*

4.4. Seznam rovnic

- Rovnice č. 1. *Celková tepelná bilance objektu*
- Rovnice č. 2. *Tepelné zisky sluneční radiací*
- Rovnice č. 3. *Tepelné zisky z osvětlení*
- Rovnice č. 4. *Tepelné zisky od osob*
- Rovnice č. 5. *Prostup tepla přes obvodovou konstrukci*
- Rovnice č. 6. *Přestup tepla mezi vodní hladinou a vnitřním vzduchem*
- Rovnice č. 7. *Zátěž vázaným teplem*
- Rovnice č. 8. *Výpočet dle technického průvodce (svazek 31)*
- Rovnice č. 9. *Výpočet součinitele přenosu hmoty pro malé rychlosti proudění vzduchu*
- Rovnice č. 10. *Výpočet množství odpařené vodní páry z rozdílu měrných vlhkostí vzduchu při teplotě vody a vnitřního vzduchu*
- Rovnice č. 11. *Výpočet součinitele přenosu hmoty pro malé rychlosti proudění vzduchu*
- Rovnice č. 12. *Výpočet množství odpařené vody z vodní hladiny dle německé normy VDI 2089 (starší vydání)*
- Rovnice č. 13. *Výpočet množství odpařené vody z vodní hladiny dle německé normy VDI 2089*
- Rovnice č. 14. *Stanovení průtoku vzduchu bazénové vzduchotechnické jednotky*
- Rovnice č. 15. *Stanovení intenzity výměny vzduchu v bazénové hale*