

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

ENERGETICKÉ HODNOCENÍ KLIMATIZACE PLAVECKÉHO BAZÉNU  
DIPLOMOVÁ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pich** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **380640**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**  
Studijní program: **Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Technika životního prostředí**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Energetické hodnocení klimatizace plaveckého bazénu**

Název diplomové práce anglicky:

**Energy Evaluation of Swimming Pool Air Conditioning**

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**prof. Ing. František Drkal CSc., ústav techniky prostředí FS**

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

Datum zadání diplomové práce: **27.10.2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **13.01.2017**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **SOUHRN**

Diplomová práce se zabývá klimatizačním systémem bazénové haly. Určením energetické náročnosti provozu referenčního objektu a výpočtem potřeby energie na ohřev vzduchu a potřeby energie na dopravu vzduchu. Hledání úspor potřeby energie pomocí jednotlivých opatření. Klimatizační systém v diplomové práci pracuje s nuceným oběhem vzduchu při rovnotlaké výměně. Vypracování projektového řešení bazénové haly.

## **SUMMARY**

The thesis deals with the air conditioning system for the pool hall. Specifying operational energy intensity of the reference object and calculating energy needs for air heating and energy needs for transport of air. Finding savings in energy consumption through variol measures. The air conditioning system in the thesis works with forced air isobaric exchange. Developing the project design pool hall.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Bazénová hala, úspora energie, vzduchotechnika, návrh projektového řešení

## **KEY WORDS**

The swimming pool hall, saving energy, ventilation, draft project design

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Energetické hodnocení klimatizace plaveckého bazénu“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Františka Drkala CSc a odborného konzultanta Ing. Jana Schwarzera, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 13. 1. 2017

Bc. Tomáš Pich

## PODĚKOVÁNÍ

Především děkuji Ing. Janu Schwarzerovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce, cenné rady a trpělivost. Dále děkuji prof. Ing. Františku Drkalovi CSc. za vedení diplomové práce a podmětné rady. Děkuji rodině za podporu při psaní diplomové práce i celkovém studiu.

# 1 Obsah

1	Obsah .....	5
2	Soupis použitého značení.....	7
3	Úvod.....	10
3.1	Obecné zadání .....	10
3.2	Historie vzduchotechniky a klimatizace .....	10
4	Legislativa.....	13
5	Řešený objekt.....	16
5.1	Popis objektu .....	16
5.2	Tepelně – technické parametry .....	17
5.3	Okrajové podmínky.....	18
5.4	Určující psychrometrické výpočty .....	21
6	Metody větrání bazénové haly .....	23
6.1	Nucené větrání bez využití ZZT a oběhového vzduchu.....	23
6.2	Nucené větrání se ZZT .....	26
6.3	S ZZT i oběhovým vzduchem.....	28
7	Návrh výpočtu tepelné zátěže .....	32
7.1	Tepelná bilance .....	32
7.1.1	Výpočet sluneční radiace .....	33
7.1.2	Vnitřní zisky .....	36
7.1.3	Zisky a ztráty prostupem tepla konstrukcí:.....	38
7.2	Celková tepelná bilance .....	39
8	Návrh klimatizace a větrání .....	40
8.1	Letní období .....	41
8.2	Zimní období.....	42
9	Projektové řešení.....	44
9.1	Seznam výkresů: .....	44
9.2	Popis vzduchotechnického zařízení .....	44
9.3	Rozvod čerstvého vzduchu .....	45
9.4	Rozvod odpadního vzduchu .....	46
9.5	Protipožární opatření.....	46
9.6	Požadavky na související profese.....	46
9.6.1	STAVBA .....	46

9.6.2	ZTI .....	47
9.6.3	ELEKTRO .....	47
9.6.4	MaR .....	47
9.7	Komplexní zkoušky .....	47
10	Provozní parametry .....	49
10.1	Výpočet energetické náročnosti pro daný den.....	50
11	Navrhovaná opatření ke snížení energetické náročnosti.....	58
11.1	Opatření 1: zakrytí vodní hladiny.....	58
11.2	Opatření 2: snížení vnitřní teploty po zavírací době .....	60
11.3	Opatření 3: přidání venkovních žaluzií na JZ stěnu .....	63
11.4	Celkové zhodnocení jednotlivých opatření .....	63
12	Závěr .....	66
13	Použitá literatura .....	67
14	Seznam příloh .....	68

## 2 Soupis použitého značení

A	(-)	amplituda kolísání teplot
a	(°)	sluneční azimut
$c_a$	(J/kgK)	měrná tepelná kapacita vzduchu
$c_o$	(-)	korekce na čistotu atmosféry
$c_w$	(J/kgK)	měrná tepelná kapacita vodní páry
D	(m <sup>3</sup> /os)	požadovaná dávka čerstvého vzduchu na osobu
$F_f$	(-)	korekce stínění
h	(°)	výška slunce nad obzorem
$h_e$	(kJ/kg)	entalpie venkovního vzduchu
$h_{e,v}$	(kJ/kg)	výpočtová entalpie venkovního vzduchu
$h_i$	(kJ/kg)	entalpie vnitřního vzduchu
$h_p$	(kJ/kg)	entalpie přívodního vzduchu
$h_{sm}$	(kJ/kg)	entalpie po smíšení
I	(-)	intenzita výměna vzduchu
l	(kJ/kg)	výparné teplo vody
$l_o$	(W/m <sup>2</sup> )	sluneční konstanta
$l_D$	(W/m <sup>2</sup> )	intenzita přímé sluneční radiace
$l_d$	(W/m <sup>2</sup> )	intenzita sluneční difuzní radiace
M	(-)	měsíc v roce (1-12)
$M_w$	(kg/h)	množství odpařené vody
n	(-)	počet lidí
$n_0$	(-)	počet oken
$p''_{v(te)}$	(Pa)	tlak syté páry při teplotě venkovního vzduchu
$p''_{v(ti)}$	(Pa)	tlak syté páry při teplotě vnitřního vzduchu
$p''_{v(tw)}$	(Pa)	tlak syté páry při teplotě vzduchu rovné teplotě vody
$p_b$	(Pa)	atmosférický tlak
$p_{v(te)}$	(Pa)	parciální tlak páry při teplotě venkovního vzduchu a vlhkosti
$p_{v(ti)}$	(Pa)	parciální tlak páry při teplotě vnitřního vzduchu a vlhkosti
$Q_c$	(W)	celkové teplo
$Q_{chl}$	(W)	výkon chladiče
$Q_{cit}$	(W)	citelné teplo
$Q_{hl}$	(W)	přestup tepla mezi vodní hladinou
$Q_i$	(W)	vnitřní zisky
$Q_L$	(W)	tepelná zátěž vázaným teplem
$Q_{lid}$	(W)	tepelné zisky od lidí
$Q_{osl}$	(W)	tepelné zisky od oslunění
$q_{osv}$	(W/m <sup>2</sup> )	měrný výkon osvětlení



$Q_{osv}$	(W)	zisk od osvětlení
$Q_{u,z}$	(W)	Ztráty/zisky prostupem tepla skrz konstrukci
$Q_v$	(W)	vážené teplo
$R_v$	(J/kgK)	plynová konstanta pro vodní páru
$s$	(-)	stínící součinitel
$S_0$	(m <sup>2</sup> )	plocha okna včetně rámu
$S_{a,JZ}$	(m <sup>2</sup> )	plocha oken JZ
$S_{hl}$	(m <sup>2</sup> )	plocha volné hladiny
$S_{os}$	(m <sup>2</sup> )	osluněný povrch okna
$S_{osv}$	(m <sup>2</sup> )	osvětlená plocha
$T$	(°C)	aritmetický průměr teploty vody a vzduchu
$T_D$	(-)	celková poměrná propustnost přímé sl. radiace standartním sklem
$T_d$	(-)	celková propustnost difusní sl. radiace standartním sklem
$t_e$	(°C)	teplota venkovního vzduchu
$T_{e,max}$	(°C)	maximální naměřená teplota
$T_{e,min}$	(°C)	minimální naměřená teplota
$t_{e,v}$	(°C)	venkovní výpočtová teplota
$t_i$	(°C)	teplota vnitřního vzduchu
$T_i$	(°C)	vnitřní výpočtová teplota
$t_o$	(°C)	teplota oběhového vzduchu
$t_{od}$	(°C)	teplota odváděného vzduchu
$t_{sm}$	(°C)	teplota po smíšení
$t_w$	(°C)	teplota vody
$T_{zzt}$	(°C)	teplota za ZZT
$U_i$	(W/m <sup>2</sup> K)	součinitel prostupu tepla dané konstrukce
$U_{okna}$	(W/m <sup>2</sup> K)	součinitel prostupu tepla oknem
$U_{stěn}$	(W/m <sup>2</sup> K)	součinitel prostupu tepla stěnou
$U_{str}$	(W/m <sup>2</sup> K)	součinitel prostupu tepla střechou
$V_e$	(m <sup>3</sup> /h)	množství venkovního čerstvého vzduchu
$V_M$	(m <sup>3</sup> )	objem místnosti
$V_{min}$	(m <sup>3</sup> /h)	průtok přiváděného vzduchu z požadované výměny
$V_o$	(m <sup>3</sup> /h)	průtok oběhového vzduchu
$V_{od}$	(m <sup>3</sup> /h)	průtok odváděného vzduchu
$V_p$	(m <sup>3</sup> /h)	průtok přiváděného vzduchu
$V_{p,d}$	(m <sup>3</sup> /h)	průtok přiváděného vzduchu z dávky čerstvého vzduchu na osobu
$V_{p,e}$	(m <sup>3</sup> /h)	průtok přiváděného venkovního vzduchu
$V_{p,vlh}$	(m <sup>3</sup> /h)	průtok přiváděného vzduchu na odvod vlhkosti
$V_{p,zt}$	(m <sup>3</sup> /h)	průtok přiváděného vzduchu na krytí ztrát
$x_e$	(g/kg)	měrná vlhkost venkovního prostředí
$x_i$	(g/kg)	měrná vlhkost ve vnitřním prostředí
$z$	(-)	znečištění atmosféry
$\alpha$	(°)	úhel stěny s vodorovnou rovinou

$\alpha_e$	(W/m <sup>2</sup> K)	součinitel přestupu tepla mezi vodní hladinou a okolním vzduchem
$\beta$	(m/h)	součinitel přenosu hmoty
$\gamma$	(°)	azimutový úhel normály stěny
$\delta$	(°)	sluneční deklinace
$\Delta T$	(K)	rozdíl mezi teplotou vody a vzduchu
$\Delta t$	(K)	rozdíl teploty mezi vnitřním a venkovním vzduchem
$\Delta T_p$	(K)	rozdíl teploty přívodního vzduchu
$\theta$	(°)	úhel mezi normálou osl. plochy a směrem paprsků
$\rho$	(kg/m <sup>3</sup> )	hustota vzduchu
$\tau$	(h)	sluneční čas
$\varphi_e$	(%)	relativní vlhkost venkovní
$\varphi_i$	(%)	relativní vlhkost vnitřní
$\varphi_{ZZT}$	(%)	účinnost ZZT

### 3 Úvod

Z důvodu stále se zvyšujícím nárokům na ochranu životního prostředí a omezení množství těžby primárních zdrojů, které mají dopad na ekonomickou stránku dalších primárních energií (např. elektrická energie), je vhodné hledat jejich úspory. Tato okolnost je zohledňovaná i patřičnými státními orgány, které každým rokem vydávají nové předpisy na úsporu energií. Tyto předpisy nařizují, aby daná technická zařízení či stavba měli patřičnou energetickou náročnost. Po splnění daného kritéria jsou označena štítkem energetické náročnosti. Úspora energie se však netýká pouze nových staveb. Úsporu je možné hledat i ve stávajících objektech a provozech. Úspory energií lze řešit modernizací stávajících technologií, či investicí do využití obnovitelných zdrojů energií jako jsou například alternativní zdroje energie toku vody, větru či dopadající sluneční energie.

#### 3.1 Obecné zadání

Cílem diplomové práce je navrhnout funkční řešení větrání a klimatizace bazénové haly, dle platných předpisů a norem a následné energetické zhodnocení daného provozu bazénové haly.

Úkolem diplomové práce je zajistit vyhovující mikroklima v zadané bazénové hale a vyhodnotit energetickou náročnost provozu objektu. Vzduchotechnika a klimatizace v diplomové práci řeší vývin vnitřních škodlivin to konkrétně vlhkosti a její odvod do exteriéru. Dále bude řešen odvod vnitřních tepelných zisků a hrazení tepelných ztrát k zajištění tepelné pohody.

#### 3.2 Historie vzduchotechniky a klimatizace

Vzhledem k nedostatku písemných podkladů, je prvním zdokumentovaným klimatizačním zařízením, klimatizace z roku 1930. První klimatizační zařízení byly určeny pro Státní zdravotní ústav, pro studia a hlasatelny Čs. rozhlasu v Praze, budovu Elektrických podniků hl. m. Prahy a výškovou budovu ÚRO na Žižkově, kterou projektovaly zahraniční firmy Carrier, LufttechnischeGesellschaft Stuttgart. Pro tato zařízení dodaly vzduchotechnické zařízení včetně sprchových praček tuzemské podniky a dovezena byla pouze automatická regulace. Strojní chlazení dodaly Škodovy závody. V letech 1934-1937 začaly projektovat a instalovat klimatizační zařízení bývalé firmy Ing. Robert Müller a OstrakA.G. v Praze. Původní centrální transmisní pohony velkého počtu textilních nebo jiných pracovních

strojů byly teprve po roce 1945 nahrazovány přímými pohony s elektromotory. Byly velké potíže s výpočty, protože nebyly odborné knihy a teorie klimatizace ani odborné přednášky se na žádné škole nepřednášely. Vše se učili lidé v praxi, přímo na stavbě, kde se zařízení a jejich elementy proměřovali a porovnávali s výpočtem. Již před válkou se přešlo v USA na přímé chlazení vzduchu ve výparníku chladícího zařízení, u nás se na tento systém přešlo až kolem roku 1943. Časově lze rozvoj vzduchotechniky rozdělit do tří časově přesně ohraničených etap: [10, 11]

- Období vzniku vzduchotechniky 1872-1918
- Období živelného rozvoje oboru 1918-1945
- Období plánovitého rozvoje oboru 1945- do dnešní doby

Zavádění klimatizace u nás spadá do druhé etapy rozvoje. Jedním největším podnikem byl národní podnik JANKA Radotín. Dále byl vybudován nový specializovaný závod ZVVZ Milevsko, který začal již v roce 1950 produkovat zařízení. V roce 1953 byl založen dnešní Výzkumný ústav vzduchotechniky v Praze a byly zřízeny státní projektové ústavy, ve kterých se začala projektovat vzduchotechnická zařízení a všechny další odborné profese pro komplexní výstavbu. Od roku 1972 se mnoho menších závodů zrušilo a pod generálním ředitelstvím Československých vzduchotechnických závodů v Praze vznikly specializované podniky: [10, 11]

- ZVVZ Milevsko- pro těžkou vzduchotechniku a pneumatickou dopravu
- JANKA ZRL Radotín - pro klimatizaci a větrání
- Liberecké vzduchotechnické závody - pro výrobu přístrojů a různých elementů
- Vzduchotechnika Nové Město nad Váhom pro výrobu sušáren, klimatizací a větrání
- Výzkumný ústav vzduchotechniky v Praze Malešicích.

V té době ČSSR zaujímala první místo mezi ostatními soc.zeměmi. Po revoluci v roce 1989 některé závody jako např. Československé vzduchotechnické závody zanikly, jiné vznikly a např. společnost JANKA, pokračuje ve výrobě dodnes, i když v současné době ne jako česká firma, ale jako součást mezinárodní skupiny LLOYD ELECTRIC AND ENGINEERING Ltd. se sídlem v Novém Dillí v Indii. Vývoj se v současnosti soustřeďuje na vylepšování konstrukcí, vyvíjejí se nové materiály a zejména nové vestavby (ventilátory, výměníky apod.) Výrobci výměníku se zaměřují hlavně na zvyšování účinnosti a u zvlhčovačů se zaměřují na zařízení, která jsou méně náročná na údržbu. V současné době, kdy je nutná úspora energií, s ohledem na životní prostředí,

ale i z důvodů zdražování energií, se dodavatele zaměřují na dovoz a výrobu energeticky úsporných zařízení jako jsou např. rekuperační jednotky. Rekuperační jednotky, odvádí odpadní vzduch z objektů a zároveň přivádí čerstvý vzduch z venku do objektu. Venkovní vzduch je filtrován a zbaven prachu, v jednotce prochází rekuperačním výměníkem, kde je ohříván zbytkovým teplem zachyceným z odváděného vzduchu. [10,11]

## 4 Legislativa

Vypracování projektové dokumentace v diplomové práci je řízeno převážně normami ČSN a EN, vyhláškami, sbírkami zákonů a předpisy:

- Zákon 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví ve znění pozdějších předpisů
- Zákon 262/2006 Sb., zákoník práce ve znění pozdějších předpisů
- Zákon 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) ve znění pozdějších předpisů

Prováděcí předpisy zákona 258/2000 Sb. (hygienické předpisy):

- Vyhláška č. 97/2014 Sb., kterou se mění vyhláška č. 238/2011 Sb., o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch.
- Vyhláška č. 137/2004 Sb. o hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a provozní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných se změnami: 602/2006 Sb.
- Vyhláška č. 6/2003 Sb. kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.
- Vyhláška č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých se změnami: 343/2009 Sb.
- Nařízení vlády 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nebezpečnými účinky hluku a vibrací.

Prováděcí normy a předpisy:

- ČSN EN 1505 Větrání budov - Kovové plechové potrubí a armatury pravoúhlého průřezu - rozměry
- ČSN EN 15665 (12 7021) Změna Z1 Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov
- ČSN EN 15423 Větrání budov - Protipožární opatření vzduchotechnických systémů
- ČSN EN 12792 Větrání budov - Značky, terminologie a grafické značky

- ČSN EN 13053+A1 Větrání budov - Vzduchotechnické manipulační jednotky - Hodnocení a provedení jednotek, prvků a částí
- ČSN EN 15241 Větrání budov - Výpočtové metody pro stanovení energetických ztrát způsobených větráním a infiltrací v budovách
- ČSN EN 15242 Větrání budov - Výpočtové metody pro stanovení průtoku vzduchu v budovách včetně infiltrace
- ČSN EN 15243 Větrání budov - Výpočet teplot v místnostech, tepelné zátěže a energie pro budovy s klimatizačními systémy
- ČSN EN 15251 Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky
- ČSN 73 4301 Obytné budovy se změnami Z1, Z2 a Z3
- ČSN EN 13142 Větrání budov - Součásti/výrobky pro větrání obytných budov - Požadované a volitelné výkonové charakteristiky
- ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky
- ČSN 013454 Technické výkresy - instalace - Vzduchotechnika, klimatizace
- ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu.
- ČSN EN 1886 - Větrání budov - Potrubní prvky - Mechanické vlastnosti.
- ČSN 73 0872 - Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením.
- ČSN EN 12 097 - Větrání budov - Vzduchovody - Požadavky na části vzduchovodních systémů z hlediska údržby.

V diplomové práci byli využité následující tabulky:

**Tabulka 1** Vyhláška č. 238/2011 Mikroklimatické požadavky [6]

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

**Tabulka 2** ČSN EN 73 0540-2:2011[7]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m <sup>2</sup> ·K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30 <sup>1)</sup>	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30 <sup>1)</sup>	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině <sup>4), 6)</sup>	0,45	0,30	0,22 až 0,15



## 5 Řešený objekt

V této kapitole se podrobněji seznámíme s tepelně technickými vlastnostmi řešeného objektu (bazénové sportoviště) a navrhovanými parametry, ze kterých vycházejí výpočty použité v diplomové práci.

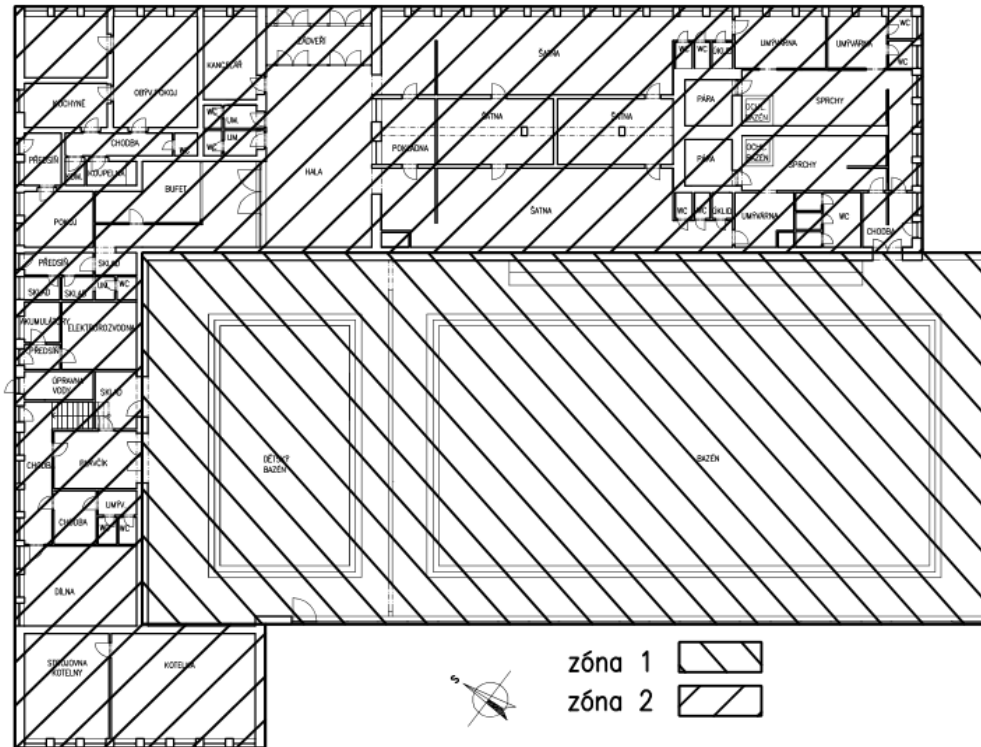
### 5.1 Popis objektu

Větrací a klimatizační zařízení, navrhnuté pro bazénové sportoviště se nachází v Praze, s venkovní výpočtovou teplotou  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jedná se o jednopatrovou budovu s jedním podzemním podlažím. V prvním nadzemním podlaží je situován plavecký bazén, dětský bazén, hygienické zázemí, šatny, sklady, chodbou. V prvním podzemním podlaží je technickým zázemím pro strojovnu vzduchotechniky a dalších technických prvků pro provoz objektu.

Podrobné půdorysné rozložení bazénové haly je patrné z obrázku 1. Celý objekt bude kvůli vhodnému řešení vzduchotechniky rozdělen na dvě samostatné zóny. První zóna bude řešit pouze bazénovou halu s plaveckým a koupacím bazénem. Tyto bazény jsou v objektu situované na jihozápadě objektu, kde se je jihozápadní stěna celoprosklená (viz Obrázek 1 a Obrázek 2).

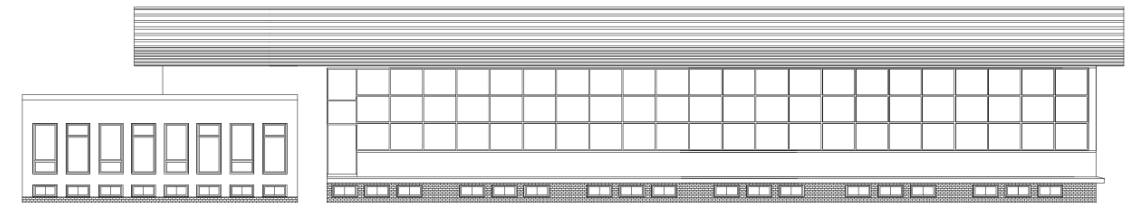
Zóna dvě bude řešit přilehlé místnosti (jako jsou kancelář, bufet, sklady, šatny, toalety atd.), které sousedí přímo se zónou jedna.

V této diplomové práci se budeme zabývat výhradně zpracováním první zóny a jejího energetického zhodnocení v průběhu roku.



**Obrázek 1** Půdorys bazénové haly s rozdělením do jednotlivých zón

POHLED JIHOZÁPADNÍ



**Obrázek 2** Jihozápadní pohled na bazénovou halu

## 5.2 Tepelně – technické parametry

Řešená bazénová hala byla navržena tak, aby splnila normu ČSN EN 73 0540-2:2011, pro návrh požadovaných součinitelů prostupů tepla. Vnitřní výpočtová teplota byla v objektu stanovena na 28 °C. Z tohoto důvodu se hodnoty součinitelů prostupů tepla z tabulky 2 musí upravit pomocí korekčního součinitele, který je uveden v Tabulce 3. Takto budou dosaženy požadované parametry. Součinitelé prostupů tepla, pro požadované hodnoty, byly stanoveny dle normy ČSN EN 73 0540-2:2011

**Tabulka 3** Korekční součinitel

Převažující návrhová vnitřní teplota	15	16	17	18-22	23	24	25	26	27	28
součinitel typu budovy	1.45	1.33	1.23	1	0.84	0.8	0.76	0.73	0.7	0.67

Uvažované hodnoty součinitele prostupu tepla pro daný objekt jsou:

Součinitel prostupu tepla oknem	$U_{okna}$	1.05	W/m <sup>2</sup> K
Součinitel prostupu tepla stěnou	$U_{stěn}$	0.2	W/m <sup>2</sup> K
Součinitel prostupu tepla střechou	$U_{str}$	0.16	W/m <sup>2</sup> K

Pro dané součinitele prostupu tepla byla v 9. kapitole vypočtena tepelná ztráta objektu.

### 5.3 Okrajové podmínky

V následující tabulce jsou uvedeny základní okrajové podmínky, které budou využity pro výpočet vnějších psychrometrických údajů, vnitřního prostředí a pro výpočet tepelných zisků/ztrát.

**Tabulka 4** Přehled konstant použitých při výpočtech

Konstanty	Označení	Hodnota	Jednotka
atmosférický tlak	$p_b$	101325	Pa
hustota vzduchu	$\rho$	1.2	kg/m <sup>3</sup>
měrná tepelná kapacita vodní páry	$c_w$	1840	J/kgK
měrná tepelná kapacita vzduchu	$c_a$	1010	J/kgK
plynová konstanta pro vodní páru	$R_v$	461.52	J/kgK
součinitel přestupu tepla mezi vodní hladinou a okolním vzduchem	$\alpha_e$	10	W/m <sup>2</sup> K
výparné teplo vody	$l$	2500	kJ/kg

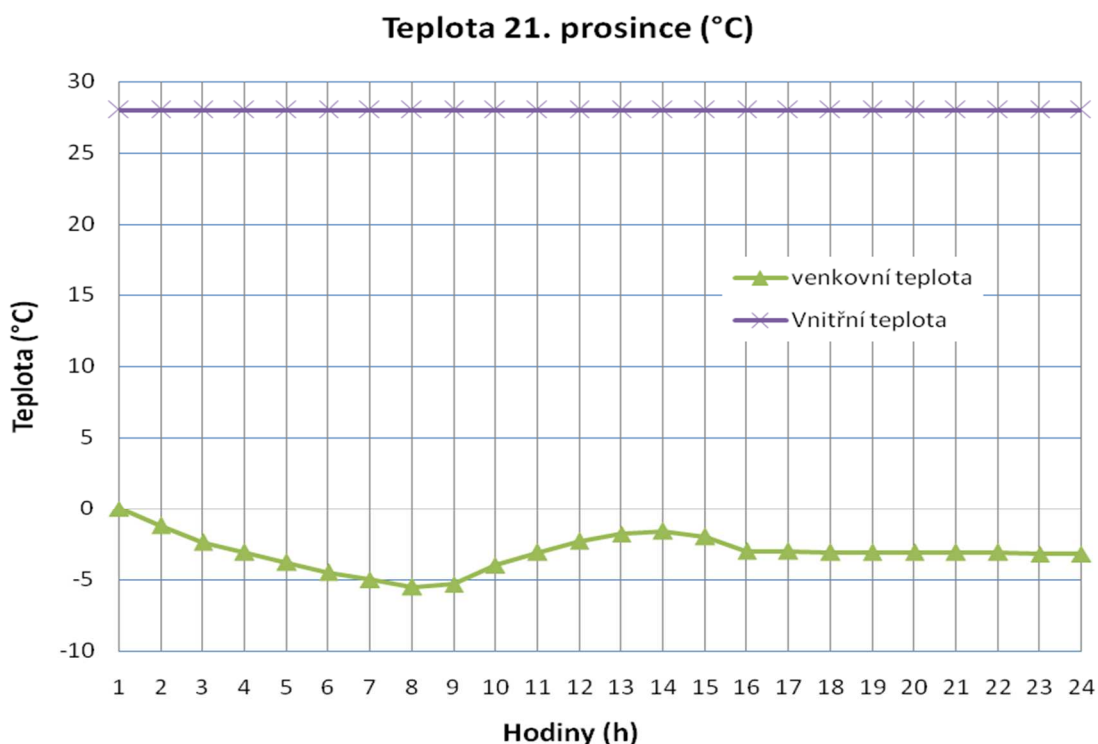
Pro určení energetické náročnosti bylo zapotřebí znát další hodnoty, které ovlivňují energetickou bilanci. V tabulce (Tabulka 5) jsou vzorově vyplněné parametry, se kterými bylo počítáno při hodnocení energetické náročnosti v referenčním bazénu.

Tabulka 5 Zadávané hodnoty referenčního bazénu

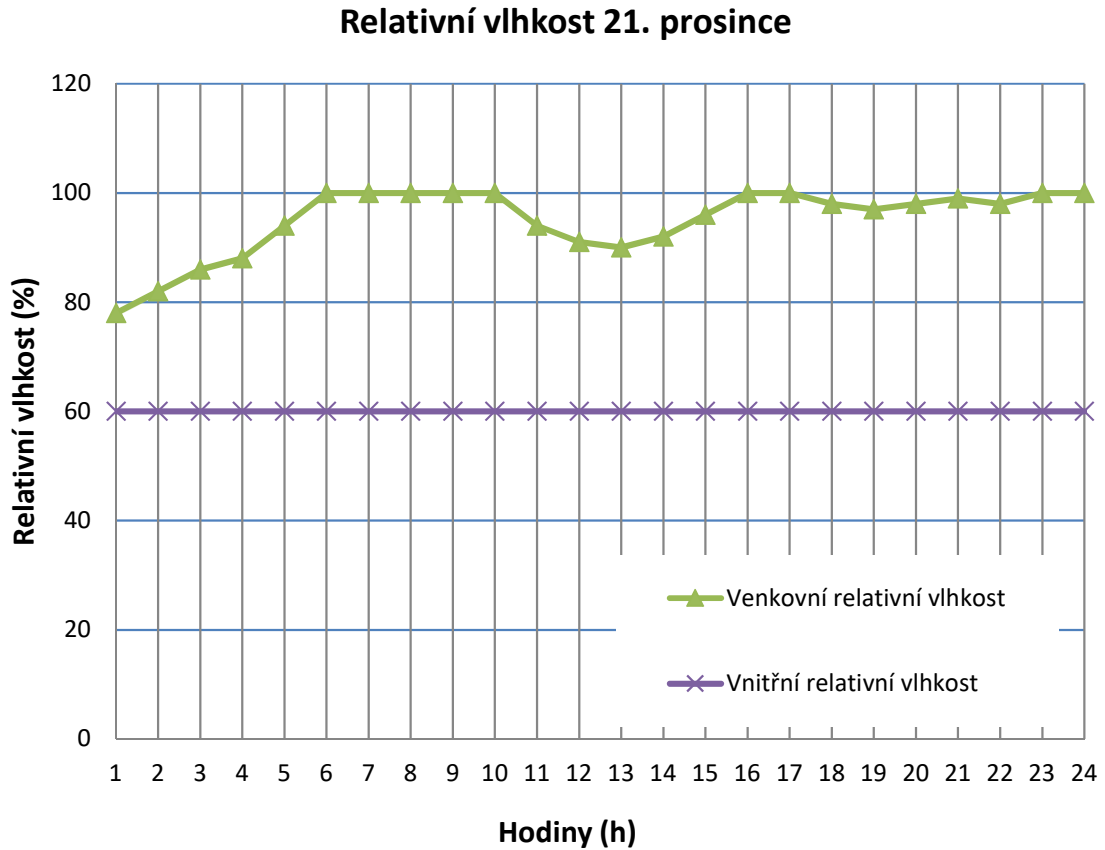
Zadávané hodnoty	Označení	Hodnota	Jednotka
dávka čerstvého vzduchu na osobu	D	50	m <sup>3</sup> /h
intenzita výměna vzduchu	I	2	-
počet lidí	n	50	-
Účinnost ZZT	$\varphi_{zzt}$	65	%

Pro posouzení energetické náročnosti větrání bazénové haly byla k dispozici celoroční hodinová data venkovní teploty, relativní vlhkosti, teploty rosného bodu, teploty mokrého teploměru a radiace dopadající na JZ prosklenou stěnu. Údaje, které byly použity pro vyhodnocení, jsou nejčastěji se vyskytující hodnoty za období 50 let. Pro vhodné zpracování velkého množství dat byl použit softwarový program Excel. V datovém souboru jsou zpracována data za celý rok, pro ukázkou jsou zde vybrány dva referenční dny. Jako první den byl zvolen 21. prosinec v zimním období a jako druhý den byl zvolen 21. červen v letním období. Obě data byla zvolena na základě doby, kdy nastává slunovrat.

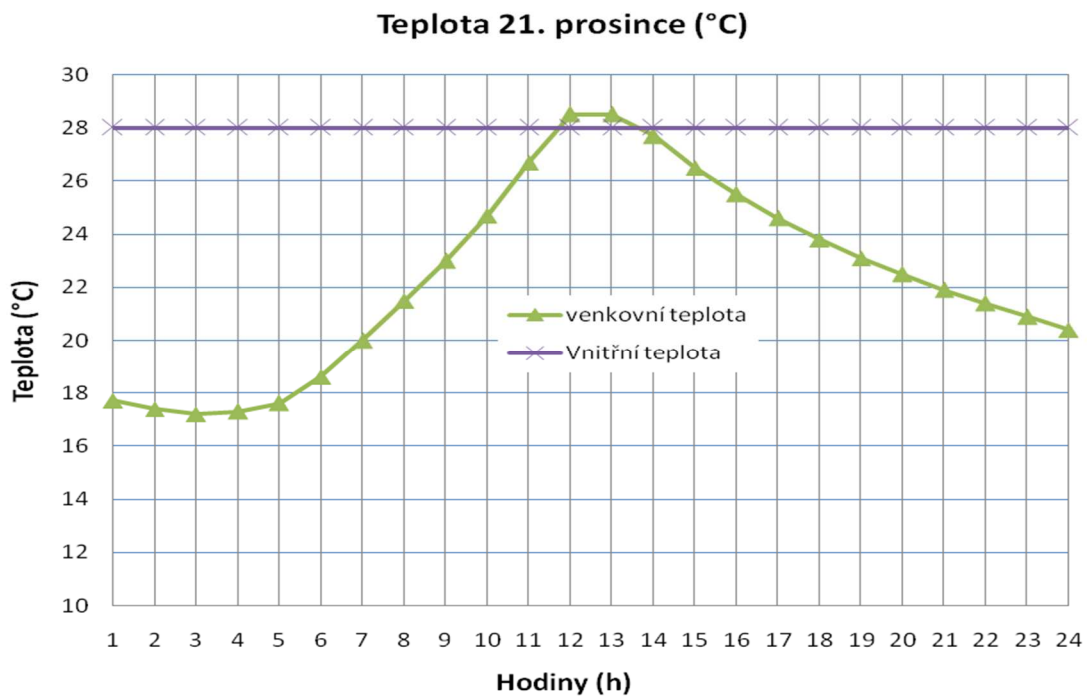
V následujících obrázcích (3-6) je zobrazen průběh teplot a vlhkostí v typických vybraných dnech:



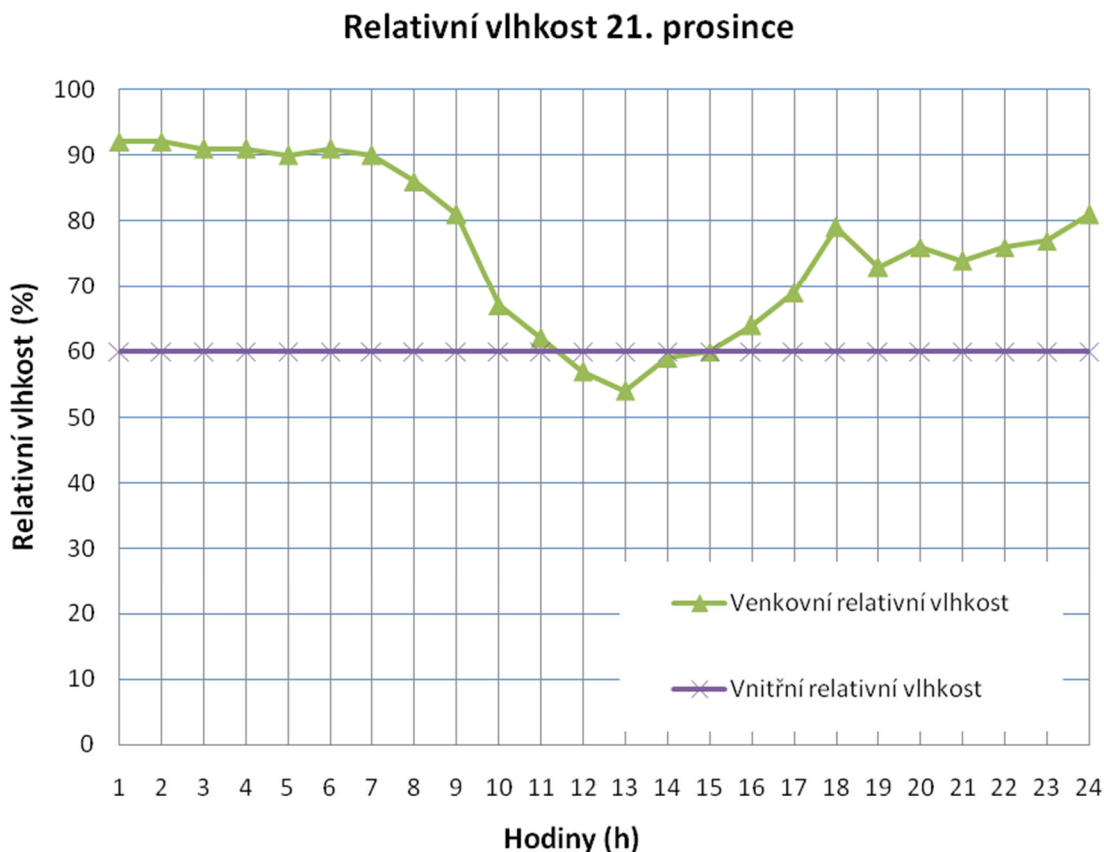
Obrázek 3 Průběh venkovní a vnitřní teploty pro 21. prosince



**Obrázek 4** Průběh venkovní a vnitřní relativní vlhkosti pro 21. prosince



**Obrázek 5** Průběh venkovní a vnitřní teploty pro 21. června



**Obrázek 6** Průběh venkovní a vnitřní relativní vlhkosti pro 21. června

Maximální teploty v průběhu roku byly  $T_{e,max} = 33,7 \text{ °C}$  a  $T_{e,min} = -12,7 \text{ °C}$ . Teploty, na které bude navrženo větrací, a klimatizační zařízení jsou:

- Letní návrhová teplota vzduchu  $32 \text{ °C}$
- Zimní návrhová teplota vzduchu  $-15 \text{ °C}$

V příloze č. 1 je zobrazen průběh teplot za celý rok. V dané příloze bylo zobrazeno, kdy venkovní teplota překročí návrhové parametry teploty. V zimním období tento případ nenastal. V letním období byla návrhová teplota překročena a pro tento případ by se mohlo stát, že klimatizační zařízení nesplní vnitřní požadované parametry.

V příloze č. 2 je zobrazen průběh venkovních vlhkostí za celý rok. Dále je v příloze 3 zobrazen průběh intenzity sluneční radiace dopadající na JZ stěnu.

#### 5.4 Určující psychrometrické výpočty

Pro energetickou náročnost byl určen tlak syté páry (vzorec 3.4.1 ÷ 3), měrná vlhkost prostředí (vzorec 3.4.4 ÷ 5) a entalpie (vzorec 3.4.6 ÷ 7), které byla použita pro výpočet energetické náročnosti.

Tlak syté páry (při teplotě venkovního vzduchu):

$$p''_{v(te)} = e^{\left(23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + t_e}\right)} \quad 5.1$$

Tlak syté páry (při teplotě vnitřního vzduchu)

$$p''_{v(ti)} = e^{\left(23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + t_i}\right)} \quad 5.2$$

Tlak syté páry (při teplotě vody)

$$p''_{v(tw)} = e^{\left(23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + t_w}\right)} \quad 5.3$$

Parciální tlak páry (při teplotě vnitřního vzduchu a vlhkosti)

$$p_{v(ti)} = \varphi_i * p''_{v(ti)} \quad 5.4$$

Parciální tlak páry (při teplotě venkovního vzduchu a vlhkosti)

$$p_{v(te)} = \varphi_e * p''_{v(te)} \quad 5.5$$

Měrná vlhkost venkovního prostředí:

$$x_e = 0,622 * \frac{p''_{v(te)}}{p_b - p''_{v(te)}} \quad 5.6$$

Měrná vlhkost vnitřního prostředí:

$$x_i = 0,622 * \frac{p''_{v(ti)}}{p_b - p''_{v(ti)}} \quad 5.7$$

Venkovní entalpie vzduchu:

$$h_e = c_a * t_e + x_e(l + c_w * t_e) \quad 5.8$$

Vnitřní entalpie vzduchu:

$$h_i = c_a * t_i + x_i(l + c_w * t_i) \quad 5.9$$

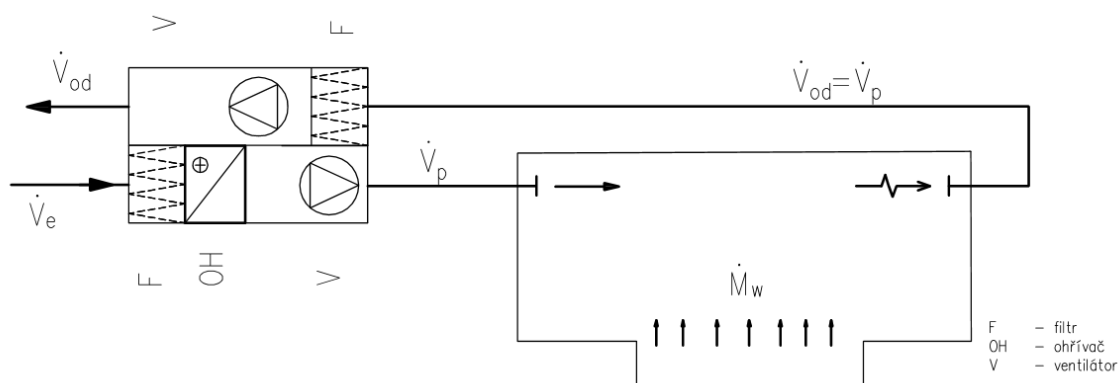
## 6 Metody větrání bazénové haly

V následující kapitole budou posuzovány možnosti větrání bazénové haly. Diplomová práce bude zaměřena především na to, jaké klady a zápory mají jednotlivé typy systémů větrání a na jejich stručnou charakteristiku. Pro větrání bazénových hal přichází v úvahu několik možností. V kapitole 6.1 se zaměříme na větrání, kdy veškerý odvodní vzduch bude nahrazen venkovním čerstvým vzduchem. V kapitole 6.2 do systému nuceného větrání umístíme zařízení pro zpětné získání tepla (ZZT). V kapitole 6.3 bude systém nuceného větrání řešit větrání s oběhovým vzduchem a ZZT (cirkulace).

### 6.1 Nucené větrání bez využití ZZT a oběhového vzduchu

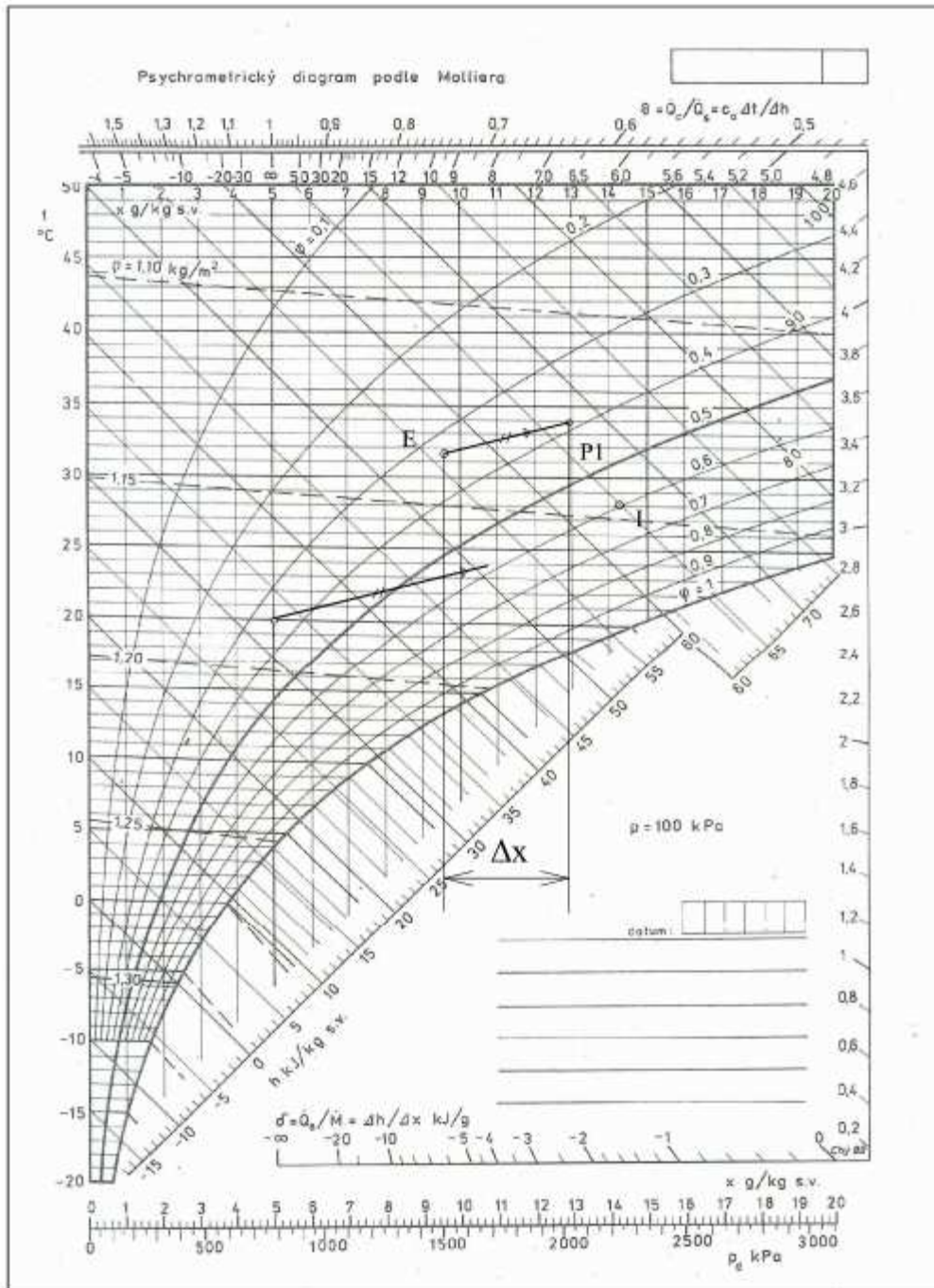
Návrh klimatizace a větrání byl proveden jako jednorubková soustava, kde veškerý odvodní vzduch byl nahrazen čerstvým vzduchem. V letním období, kdy do systému není zařazeno zpětné získání tepla ani oběhový vzduch, může docházet k přehřívání vnitřního prostředí. Průběh návrhu nuceného větrání je zobrazen v h-x diagramu (obrázek 8).

Největší nedostatek pro tento návrh je, že veškeré odpadní teplo, které se vyprodukuje v bazénové hale, je nevyužito a vypouštěno zpět do venkovního prostředí. Pro nucené větrání bez využití zpětného získání tepla i oběhového vzduchu má návrh ze zvolených možností největší požadavky na výkon ohříváče. Přiváděný vzduch je potřebné ohřát z výpočtové zimní teploty až na požadovanou přívodní teplotu. Průběh návrhu nuceného větrání pro zimní období je zobrazen v h-x diagramu (obrázek 7).

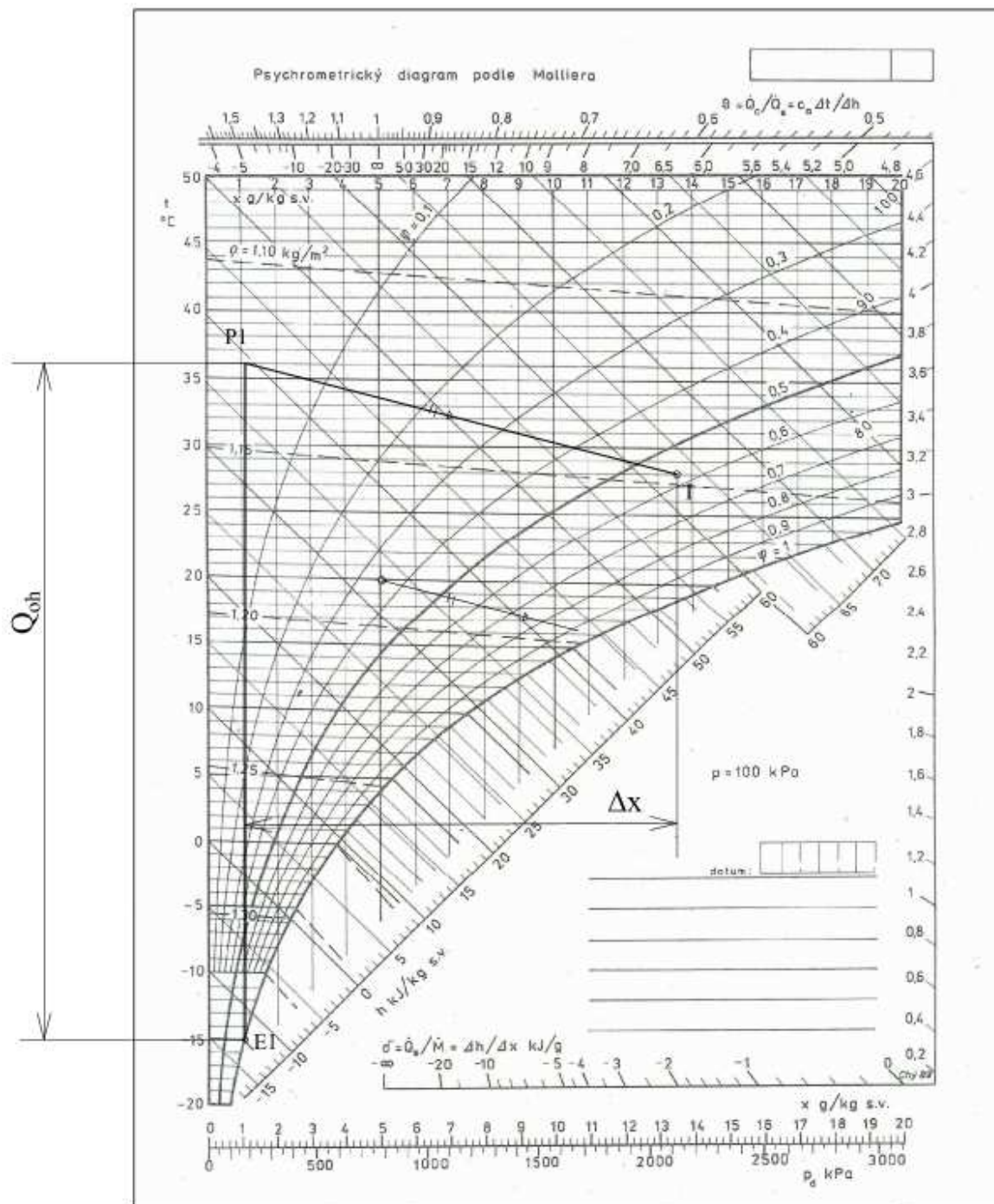


**Obrázek 7** Schéma nuceného větrání bez využití ZZT a oběhového vzduchu





**Obrázek 8** Návrh nuceného větrání bazénové haly bez využití ZZT a oběhového vzduchu pro letní období

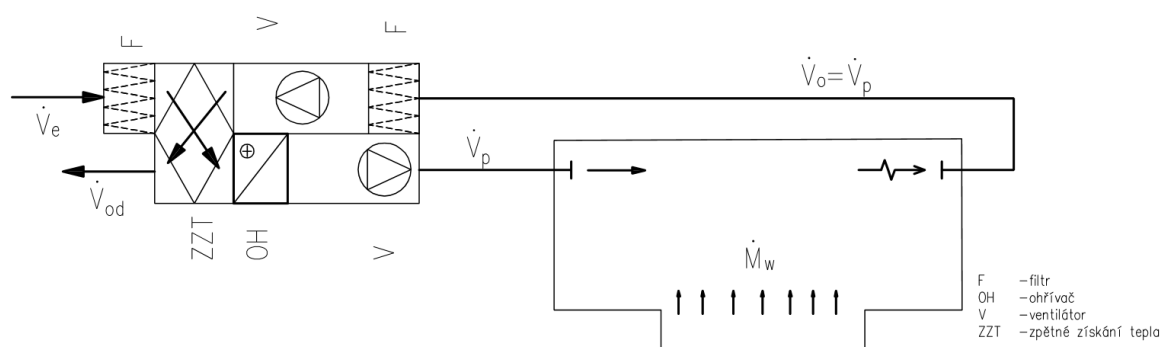


**Obrázek 9** Návrh nuceného větrání bazénové haly bez využití ZZT a oběhového vzduchu pro zimní období

Pro zimní období je do místnosti přiváděn vzduch o parametrech EI (zimní výpočtová teplota, 100% relativní vlhkost), následně přiváděný vzduch byl ohřát v ohřívači do bodu P1. P1 je požadovaný bod, který je přiváděn do místnosti.

## 6.2 Nucené větrání se ZZT

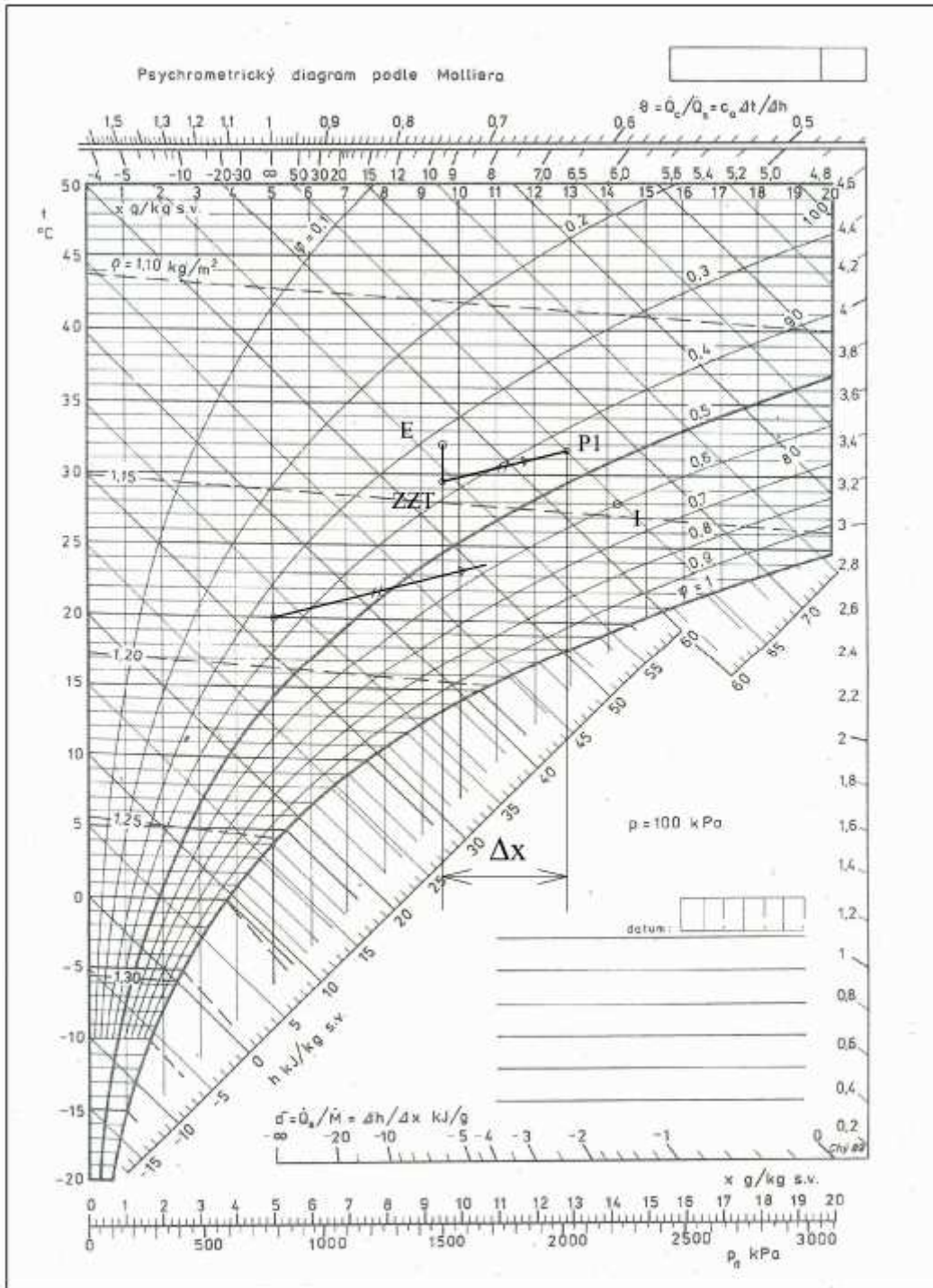
Návrh klimatizace a větrání byl proveden jako jednotrubková soustava, kde veškerý odvodní vzduch prochází přes zpětné získání tepla a nahrazuje ho čerstvý venkovní vzduch. Při zpětném získání tepla přechází část tepelné energie z odpadního vzduchu do vzduchu přiváděného. Tím se využije odpadní teplo obsažené v odpadním vzduchu a dochází k úspoře energie dodané ohřívači čerstvého vzduchu z exteriéru. Zlepšení parametrů vnitřního mikroklimatu nastává v letním období, kdy čerství vzduch částečně ochladíme a tím dosáhneme lepších vnitřních parametrů. Pro zimní období nastává úspora energie potřeby tepla pro ohřátí venkovního vzduchu na požadovanou teplotu. Schéma nuceného větrání se zpětným získání tepla je zobrazen v obrázku 10.



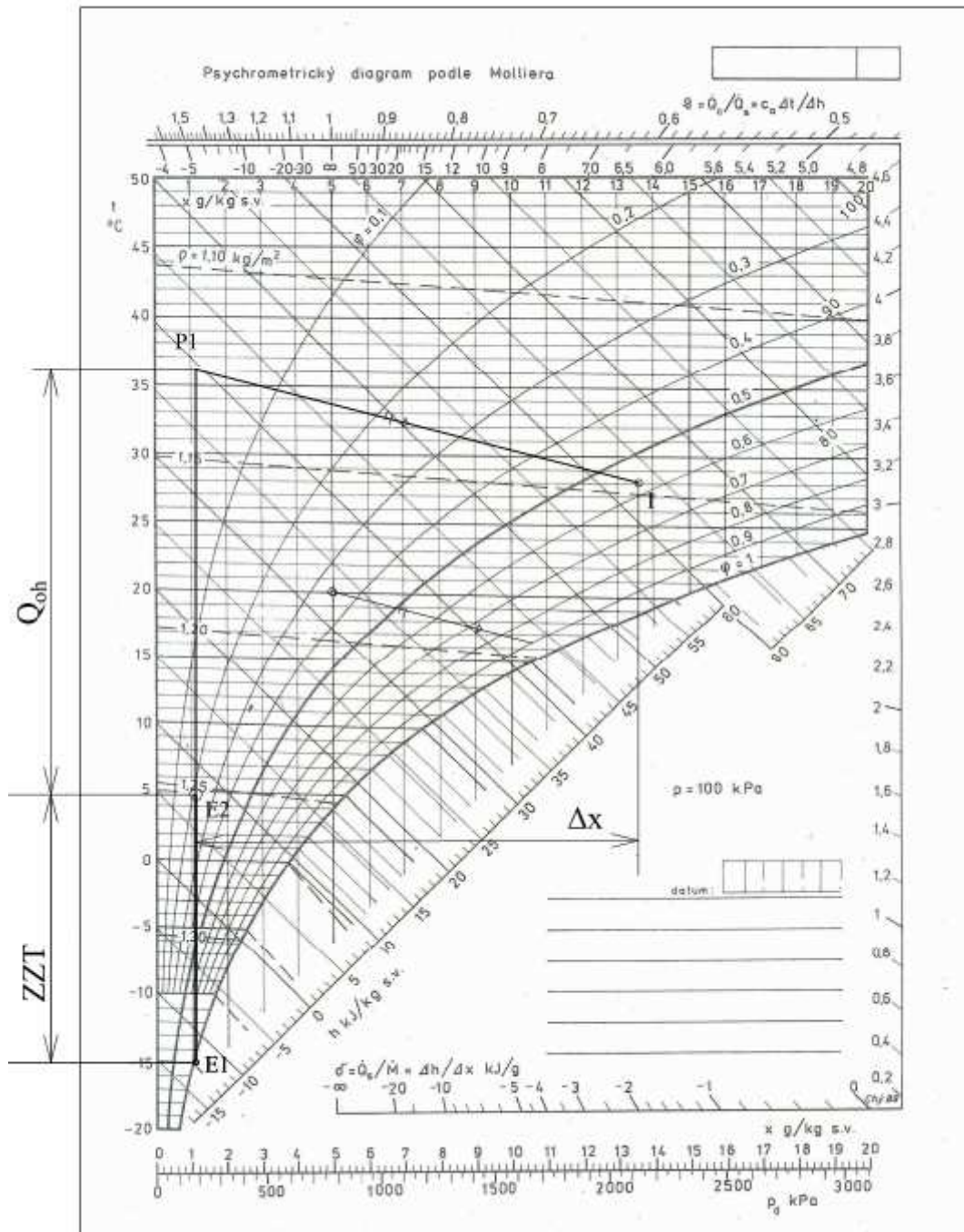
**Obrázek 10** Schéma nuceného větrání se zpětným získání tepla

Nevýhodou systému s využitím ZZT bez oběhového vzduchu je nutnost přivádět větší množství čerstvého vzduchu, z důvodu hrazení tepelných ztrát, než je nutné dle podmínek průtoku na odvod vlhkosti, dávky čerstvého vzduchu na osobu nebo požadované výměny vzduchu.

Průběhy změny vzduchu jsou zobrazeny v obrázku 11 a 12.



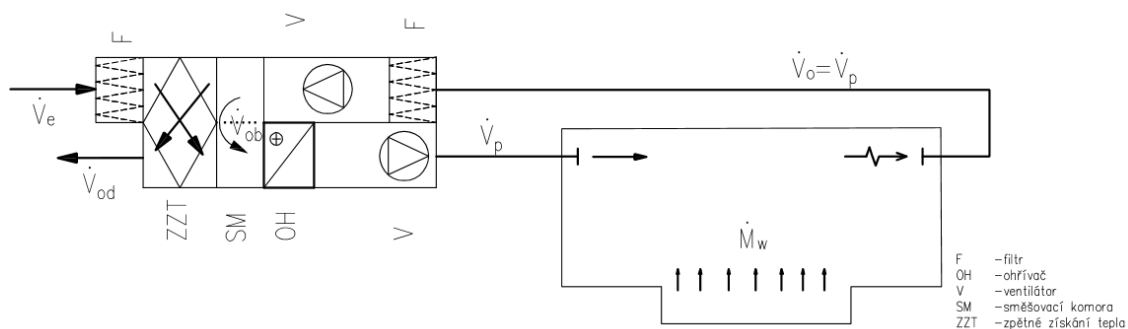
Obrázek 11 Návrh nuceného větrání bazénové haly s využitím ZZT pro letní období



Obrázek 12 Návrh nuceného větrání bazénové haly s využitím ZZT pro zimní období

### 6.3 S ZZT i oběhovým vzduchem

Nejčastěji používaná metoda větrání a klimatizace bazénové haly je se zpětným získáním tepla a zároveň využití oběhového vzduchu z důvodu maximálních úspor. Schéma nuceného větrání se zpětným získáním tepla a oběhového vzduchu je na obrázku 13.



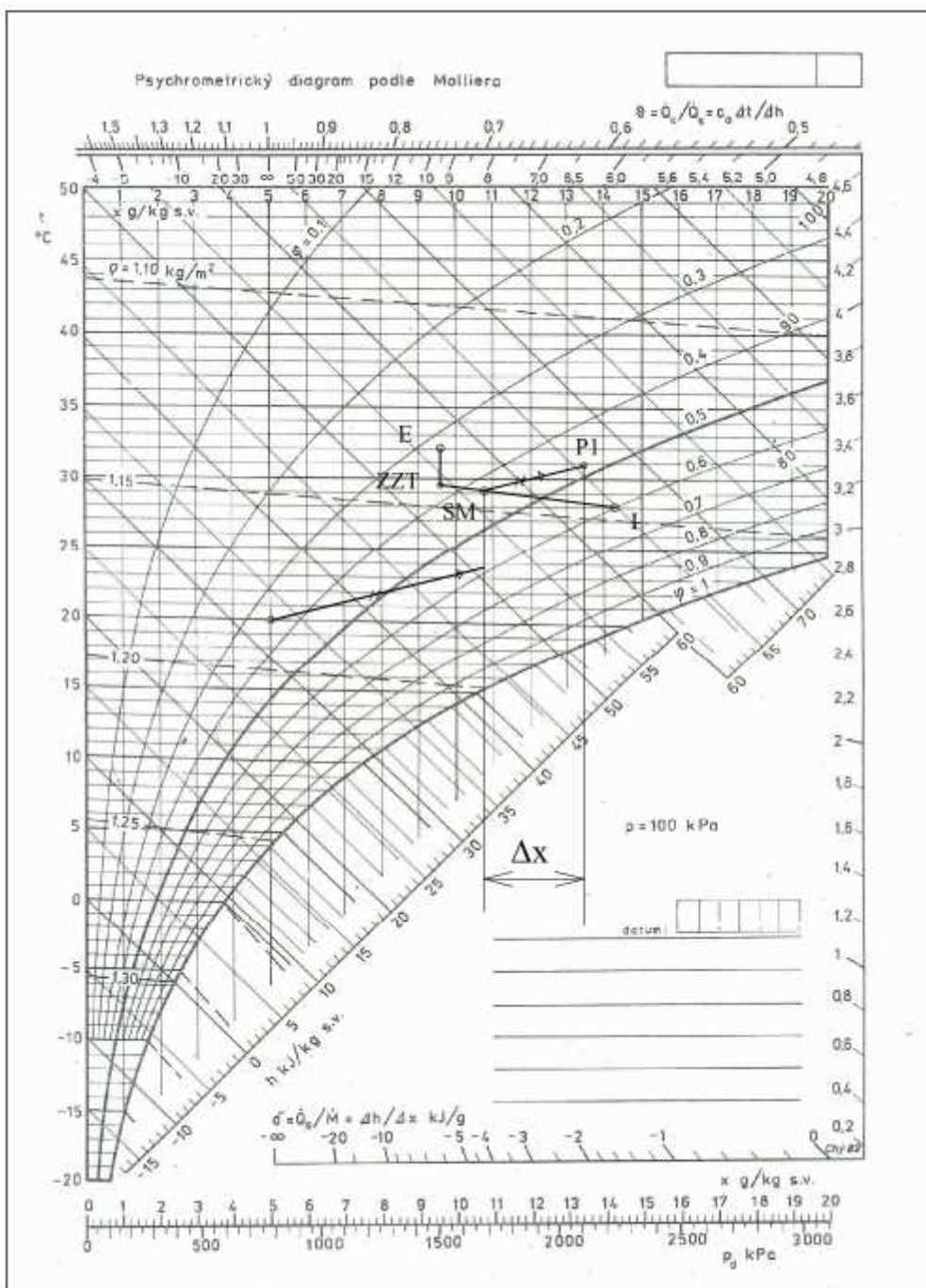
**Obrázek 13** Schéma nuceného větrání se zpětným získáním tepla a oběhovým vzduchem

Díky částečnému využití oběhového vzduchu do vzduchu přívodního je dosaženo maximální úspory energie dodané pro dohřev přiváděného vzduchu.

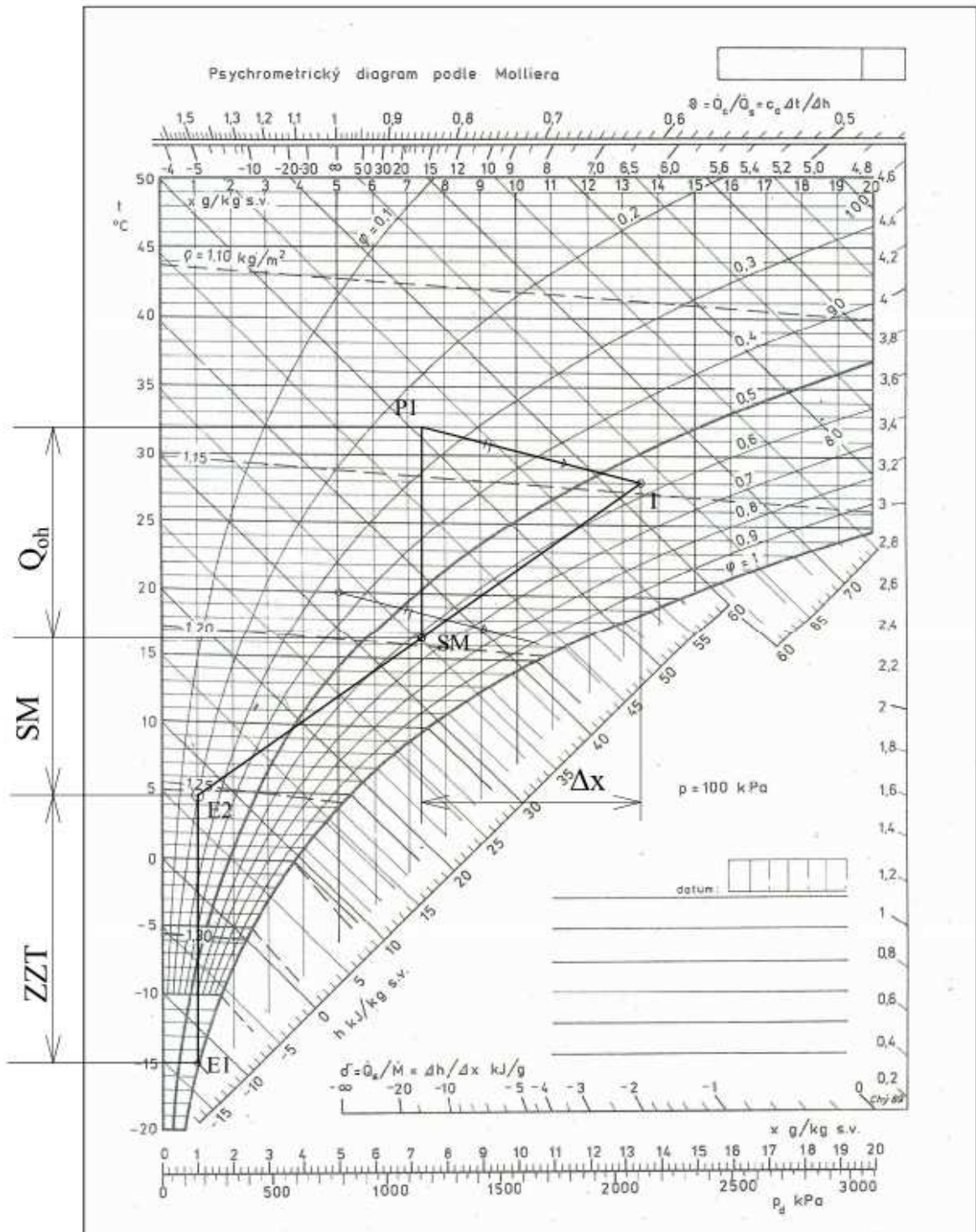
Při použití zpětného získání tepla i oběhového vzduchu došlo k maximálnímu využití tepelné energie obsažené v odpadním vzduchu pro předehřev přiváděného čerstvého vzduchu.

Další úspory energie lze dosáhnout změnou charakteru provozu využívání budovy.

Průběhy změny vzduchu pro letní a zimní období jsou vidět na obrázku 14 a 15.



**Obrázek 14** Návrh nuceného větrání bazénové haly s využitím ZTT a oběhového vzduchu pro letní období



**Obrázek 15** Návrh nuceného větrání bazénové haly s využitím ZZT a oběhového vzduchu pro zimní období



## 7 Návrh výpočtu tepelné zátěže

Instalace větracího zařízení v krytých prostorech s bazénem je ve většině případů nezbytná. V bazénových halách dochází k intenzivnímu odparu vody z volné hladiny a pro dodržení vnitřních parametrů prostředí, zejména vnitřní relativní vlhkosti, je třeba tuto vlhkost odvést z haly do exteriéru. Při překročení maximální dovolené vlhkosti (65 %) může docházet ke kondenzaci vodní par v místech tepelných mostů a na prosklených plochách. Tato kondenzace poté vede ke znehodnocení vnitřního prostředí a případně k tvorbě plísní, které jsou lidskému zdraví škodlivé. Kvalitu vnitřního prostředí, ale i hygienické požadavky, stanoví vyhláška č. 135/2004. [2]

Pro návrh větracího a klimatizačního zařízení se většinou výpočty provádějí na letní období a následně se provede kontrola pro zimní extrém (případně i pro přechodné období). Vnitřní vlhkost pro bazénové haly by neměla překročit 65%. Teplota vody v bazénu se navrhuje v závislosti na předpokládaném provozu využívání bazénu. Teploty vody jsou vidět v tabulce (Tabulka 6). Teplota vzduchu se volí 2-4 K nad teplotou vody, avšak ne nad 34 °C. Rychlost proudění vzduchu v pásmu pobytu plavců by neměla přesáhnout 0,2 m/s. [2]

**Tabulka 6** Teplota vody

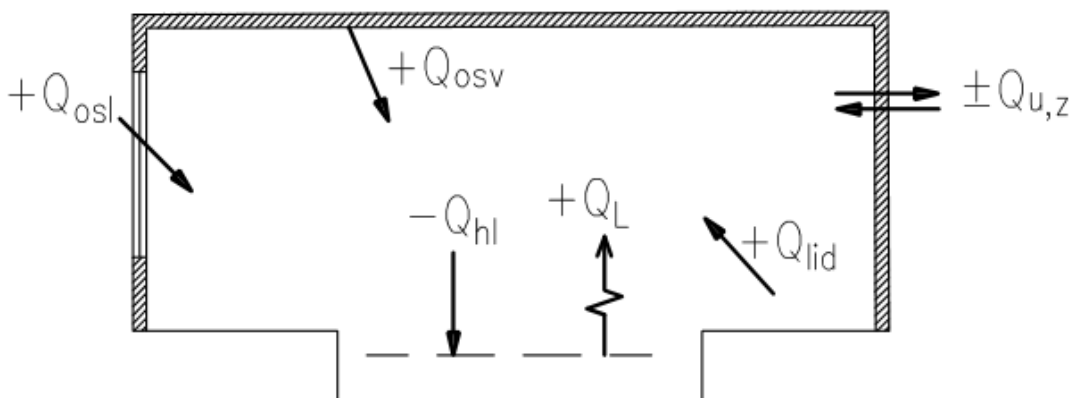
	Teplota vody $t_w$ (°C)
Závodní plavání	22 - 24
Dětský bazén	26 - 28
Terapeutické bazény	až 39

### 7.1 Tepelná bilance

Na Obrázek 16 byli zobrazené jednotlivé tepelné toky, které byly použity pro výpočet celkové tepelné bilanci bazénové haly. Vnitřní prostor ovlivní zejména následující energetické toky:

- Tepelné zisky sluneční radiací okny ( $Q_{osl}$ )
- Prostup tepla stavebními konstrukcemi ( $Q_{u,z}$ )

- Tepelné zisky od lidí ( $Q_{lid}$ )
- Přestup tepla mezi vodní hladinou a okolním vzduchem ( $Q_{hl}$ )
- Zátěž vázaným teplem, daná odparem z volné hladiny ( $Q_L$ )
- Tepelné zisky od osvětlení ( $Q_{osl}$ )



**Obrázek 16** Schéma energetických toků

Při návrhu celkové bilance byl brán v úvahu směr energetických toků. Pro prostup tepla stavebními konstrukcemi záleželo, zda byl výpočet prováděn pro letní období (zisk) nebo zimní období (ztráta).

### 7.1.1 Výpočet sluneční radiace

Tato kapitola se bude věnovat výpočtu sluneční radiace dle normy ČSN 73 0548. Sluneční radiace je závislá na několika proměnných parametrech, které se mění v průběhu roku. Jeden z parametrů je poloha slunce. Poloha slunce je závislá na sluneční deklinaci, která nám udává zeměpisnou šířku, kde je v daný den, v poledne slunce kolmo nad obzorem. Sluneční deklinace se vypočte dle vztahu 7.1. Dále je závislá na slunečním azimutu, který určuje úhel natočení od sever po směru otáčení hodinových ručiček (dle vztahu 7.3).

#### Sluneční deklinace:

$$\delta = -23,5 * \cos(30 * M)$$

7.1

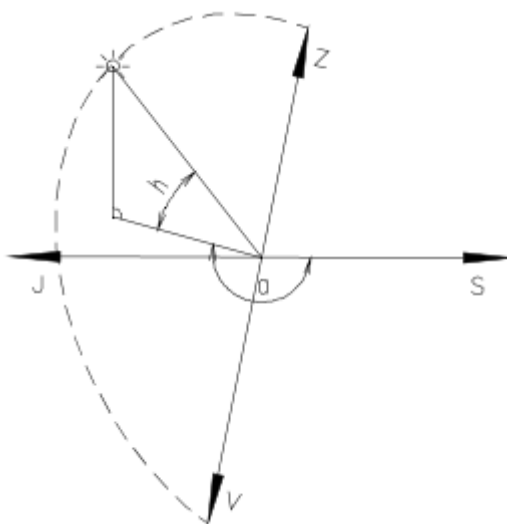
**Sluneční azimut:**

$$\sin a = \frac{\sin(15 * \tau) * \cos \delta}{\cosh} \quad 7.2$$

Pro výšku slunce nad obzorem v naší zeměpisné šířce (50°) platí vztah 7.3, který vychází z Obrázek 17

**Výška slunce nad obzorem:**

$$\sinh = 0,766 \sin \delta - 0,643 \cos \delta * \cos(15\tau) \quad 7.3$$



**Obrázek 17** Geometrické znázornění výšky slunce nad obzorem

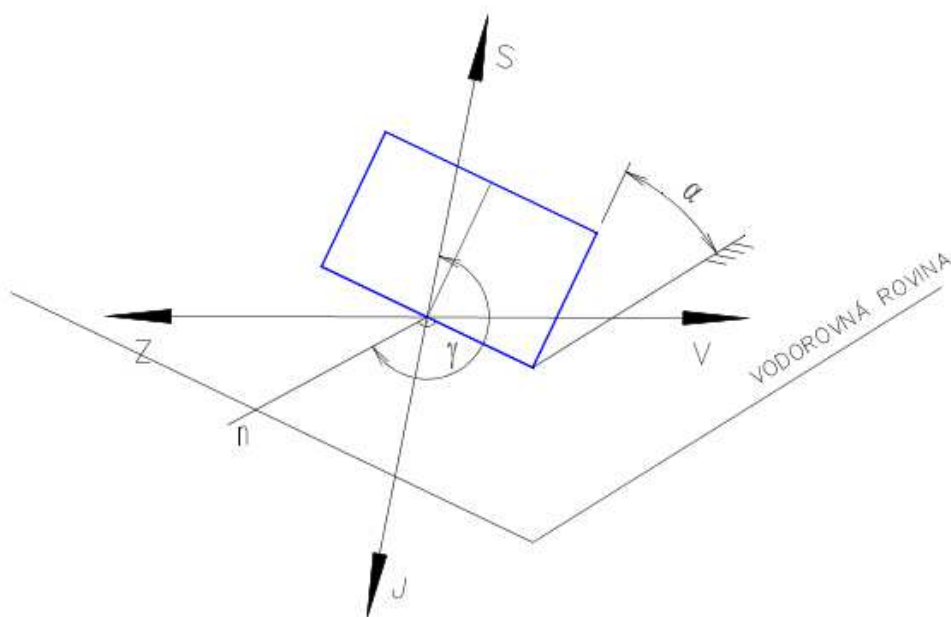
Pro výpočet intenzity slunečního záření musíme znát také orientaci stěny, na kterou počítáme dopadající sluneční radiaci. Tedy úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků  $\Theta$ .

**Obecný vzorec pro výpočet  $\Theta$ :**

$$\sin \Theta = \sinh * \cos \alpha + \cosh * \sin \alpha * \cos(a - \gamma) \quad 7.4$$

**Tabulka 7** Azimutový úhel  $\gamma$

světová strana	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
$\gamma$ [°]	0	45	90	135	180	225	270	315



**Obrázek 18** Geometrické zobrazení úhlu stěny

Po určení polohy slunce, můžeme vypočítat intenzitu sluneční radiace, která se dělí na přímou sluneční radiaci a nepřímou, tedy difuzní sluneční radiaci. Přímá sluneční radiace vzniká přímým dopadem slunečního záření a je směrová, záleží tedy na směru dopadu paprsků. Nepřímá sluneční radiace vzniká rozptylem a odrazem přímé sluneční radiace od prachových částic ve vzduchu, od větších molekul nebo od osluněných povrchů. Nepřímá sluneční radiace je všesměrová. Pro výpočet sluneční radiace přímé a nepřímé platí vztah 7.5 a 7.6.

**Intenzita přímé sluneční radiace:**

$$I_D = I_0 e^{[-0,97 * z * (\sin h)^{-0,8}]}$$
7.5

**Tabulka 8** Součinitel znečištění atmosféry

Měsíc	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen
<b>z</b>	3	4	4	5	5	4	4	3

**Intenzita difúzní sluneční radiace:**

$$I_d = \left[ 1350 - I_D - (1080 - 1,4 * I_D) * \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \frac{\sinh}{3} \quad 7.6$$

**Intenzita celkové sluneční radiace:**

$$I_C = I_D * \cos\theta + I_d \quad 7.7$$

Po určení celkové sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu, můžeme určit intenzitu sluneční radiace, která prochází standardním zasklením. Pro výpočet musíme znát poměrnou propustnost přímé sluneční radiace standardním zasklením. Poměrná propustnost přímé sluneční radiace se vypočte dle vztahu 7.8. Celková propustnost závisí i na propustnosti difúzní sluneční radiace ( $T_d$  se volí 0,85).

**Poměrná propustnost přímé sluneční radiace:**

$$T_D = 0,87 - 1,47 * \left( \frac{\theta}{100} \right)^5 \quad 7.8$$

**Celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením:**

$$I_0 = I_D * \cos\theta * T_D + I_d * T_d \quad 7.9$$

**Prostup tepla oknem radiací:**

$$Q_{osl} = [S_{os} * I_0 * c_0 * (S_0 * S_{osl}) * I_{0d}] * s * n_0 \quad 7.10$$

**Tabulka 9** Korekce na čistotu atmosféry

oblast	venkovská	průmysl
C <sub>o</sub>	1.15	0.85

## 7.1.2 Vnitřní zisky

V této kapitole budou popsány tepelné toky, které nám přímo vznikají v bazénové hale. Výparné teplo vody (zátěž vázaným teplem):

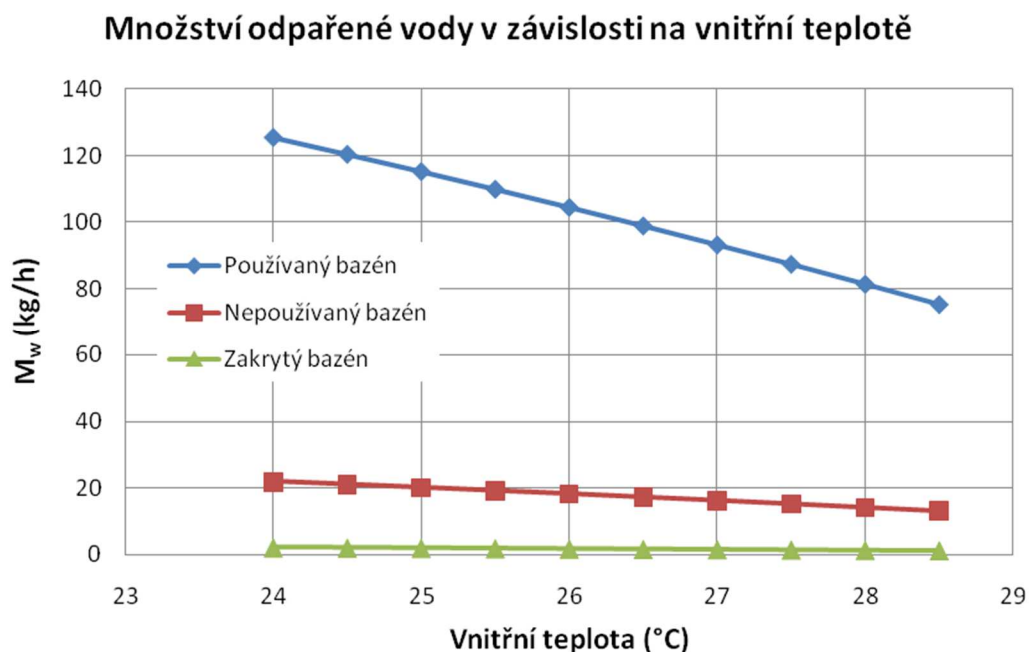
**Tepelná zátěž vázaným teplem:**

$$Q_L = \frac{M_w * l}{3,6} \quad 7.11$$

**Množství odpařené vody:**

Podle německé normy VDI 2089 se vypočítá dle vztahu 7.12:

$$M_w = \frac{\beta}{R_V * T} * S_{hl} * (p''_{v(tw)} - p_{v(ti)}) \quad 7.12$$



**Obrázek 19** Závislost množství odpařené vody na vnitřní teplotě při používaném bazénu, nepoužívaném bazénu, zakrytém bazénu

**Tabulka 10** Součinitel přenosu hmoty

charakter provozu	nepoužívaný bazén	používaný bazén
	$\beta$	$\beta$
zakrytý bazén	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

**Přestup tepla mezi vodní hladinou:**

Vzhledem ke skutečnosti, že vodní hladina má jinou teplotu než vzduch, dochází k přestupu tepla mezi vodní hladinou a okolním vzduchem. Přestup tepla je definován vztahem 7.13. V celkové bilanci bude mít tento přestup tepla zápornou hodnotu.

$$Q_{hl} = \alpha_e * S_{hl} * \Delta T \quad 7.13$$

**Tepelné zisky od lidí:**

$$Q_{lid} = 6,2 * n * (36 - T_i) \quad 7.14$$

**Tepelné zisky od osvětlení:**

$$Q_{osv} = q_{osv} * S_{osv} \quad 7.15$$

## 7.1.3 Zisky a ztráty prostupem tepla konstrukcí:

Pro výpočet tepelných zisků a ztrát prostupem tepla konstrukcí budeme vycházet ze základního vzorce 7.16. Tento vzorec počítá s rozdílem teplot  $\Delta t = t_i - t_e$ . Pro letní období bude počítáno místo venkovní výpočtové teploty s rovnocennou sluneční teplotou viz vzorec 7.17.

**Prostup tepla konstrukcí:**

$$Q_{u.z} = \sum_{i=1}^n (U_i * S_i * \Delta t) \quad 7.16$$

**Rovnocenná sluneční teplota:**

$$t_e = t_{e,max} * A[1 - \sin(15\tau - 135)] \quad 7.17$$

**Tabulka 11** Doporučené maximální teploty vzduchu v jednotlivých měsících

Měsíc	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen
$t_{e,max}$	19	22	26.5	28.5	30	30	27.5	23.5

## 7.2 Celková tepelná bilance

Celková tepelná bilance objektu byla stanovena součtem jednotlivých složek. V případě přestupu tepla mezi vodní hladinou byl tento tok brán jako záporný (teplota vody je menší než teplota vzduchu, tento tepelný tok odebírá teplo z haly). Stejná situace nastane i pro prostup tepla konstrukcí v zimním období.

Celková tepelná zátěž se stanovila součtem dílčích tepelných toků a vypočetla se dle následujícího vztahu:

**Celková tepelná bilance:**

$$Q_c = Q_{osl} \pm Q_{u,z} + Q_{osv} + Q_{lid} - Q_{hl} + Q_L \quad 7.18$$

kde:	$Q_c$	- celková tepelná zátěž
	$Q_{osl}$	- zisky od oslunění
	$Q_{u,z}$	- ztráty/zisky prostupem tepla skrz konstrukci
	$Q_{osv}$	- zisky od osvětlení
	$Q_{lid}$	- zisky od lidí
	$Q_{hl}$	- přestup tepla mezi vodní hladinou
	$Q_L$	- výparné teplo



## 8 Návrh klimatizace a větrání

Návrh větrání a klimatizace objektu bude v diplomové práci řešen s nuceným větráním při využití zpětného získání tepla a využití oběhového vzduchu viz kapitola 4.4.

Výsledné množství vzduchu, které bude přivedeno do bazénové haly, musí splnit několik následujících kategorií. Výsledné množství vzduchu bylo zvoleno dle kategorie, která nám vyjde největší.

Kategorie jsou:

- a) Průtok přiváděného vzduchu z dávky čerstvého vzduchu na osobu (8.1)
- b) Průtok přiváděného vzduchu na krytí tepelných ztrát (8.2)
- c) Průtok přiváděného vzduchu na odvod vlhkosti (8.3)
- d) Průtok přiváděného vzduchu z požadované výměny (8.4)

Jednotlivé potřeby přiváděného vzduchu byly vypočteny dle následujících vztahů:

$$V_{p,d} = n * D \quad 8.1$$

$$V_{p,zt} = \frac{Q_{cit}}{c_a * \rho * \Delta t_p} \quad 8.2$$

$$V_{p,vlh} = \frac{M_w}{(x_i - x_e) * \rho} \quad 8.3$$

$$V_{p,min} = V_M * I \quad 8.4$$

Výsledná hodnota přiváděného vzduchu do bazénové haly je tedy:

$$V_p = MAX(V_{p,d}; V_{p,zt}; V_{p,vlh}; V_{p,min}) \quad 8.5$$

A výsledná hodnota čerstvého vzduchu, který musíme přivést do haly je:

$$V_{p,e} = MAX(V_{p,d}; V_{p,vlh}; V_{p,min}) \quad 8.6$$

V případě že  $V_{p,e} < V_p$ , lze využít oběhový vzduch  $V_o$

### 8.1 Letní období

Návrhové parametry venkovního prostředí pro letní období jsou  $t_{e,v}=32^{\circ}\text{C}$ ,  $h_{e,v} = 56 \text{ kJ/kg}$ . Průběh větrání a klimatizace je znázorněn na Obrázek 20v h-x diagramu i s úpravami vzduchu.

V h-x diagramu jsou zobrazeny jednotlivé body, kde E1 je návrhový bod vnějšího prostředí. ZZT je bod kam se dostaneme po využití zpětného získání tepla. SM je bod, který dostaneme smíšením čerstvého s oběhovým vzduchem v případě, že je splněna podmínka z kapitoly 6  $V_{p,e} < V_p$ .

Pro určení změny stavu vzduchu nám poslouží směrové měřítko. Směrové měřítko je vztaženo k referenčnímu bodu, který na h-x diagramu leží v průsečíku teploty  $20^{\circ}\text{C}$  a měrné vlhkosti  $5 \text{ g/kg}$ . Směrové měřítko se určí ze vztahu 8.7:

$$\delta = \frac{Q_c}{M_w} \quad 8.7$$

Výsledná teplota za ZZT se vypočte dle vztahu 8.8 za předpokladu dodržení stejných průtoků venkovního vzduchu a odvodního vzduchu.

$$\varphi_{zzt} = \frac{t_{zzt} - t_{e,v}}{t_{od} - t_{e,v}} \rightarrow t_{zzt} = \varphi_{zzt}(t_{od} - t_{e,v}) + t_{e,v} \quad 8.8$$

Pro výslednou teplotu po smíšení:

$$t_{sm} = \frac{V_o * t_{od} - V_e * t_{e,v}}{V_o + V_e} \quad 8.9$$

Po zjištění průtoků a teplot musíme zkontrolovat polohu měrných vlhkostí.

Musí platit:

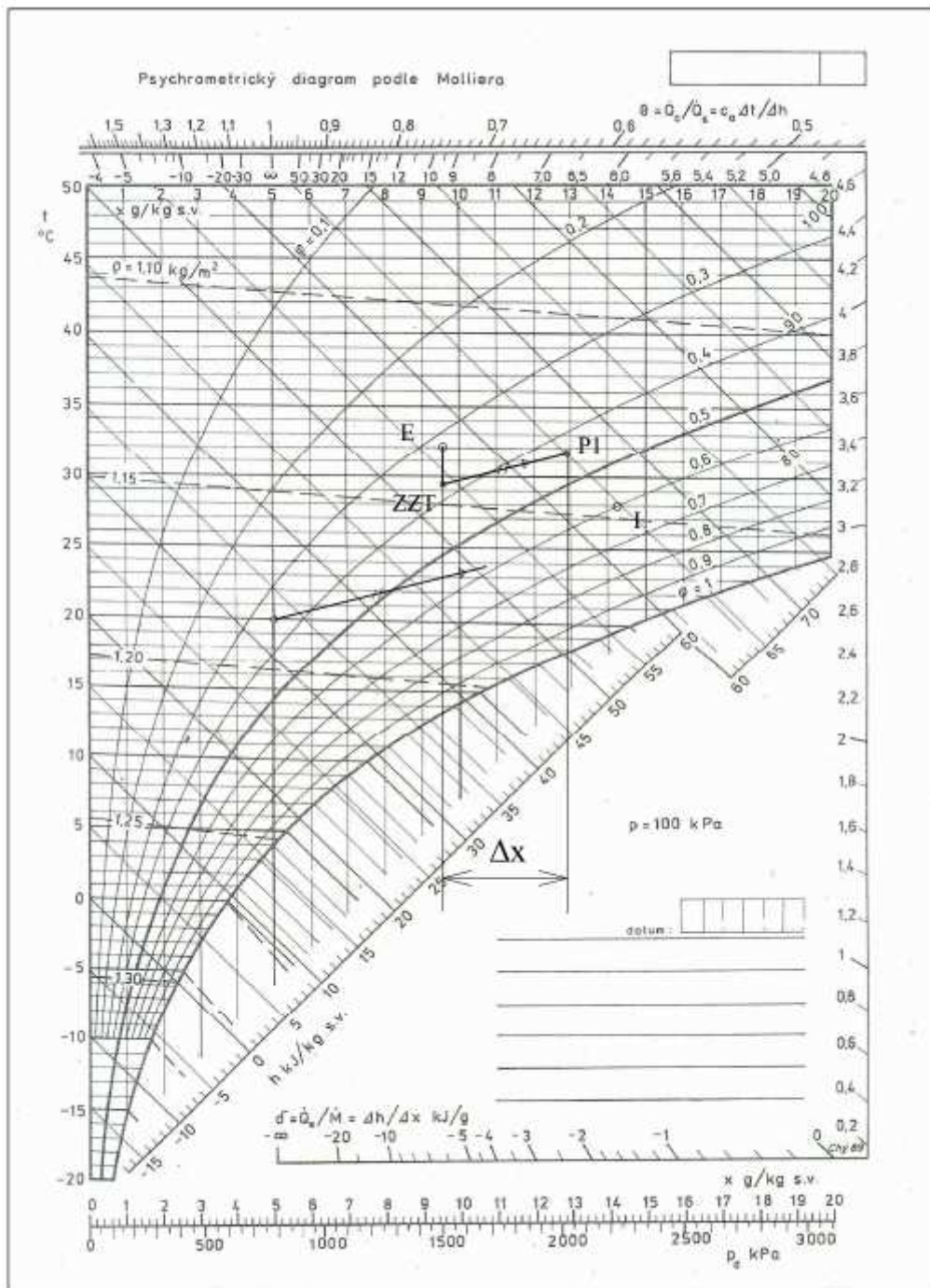
$$M_w = V_p * \rho * \Delta x \quad 8.10$$

$$\Delta x_{výp} = \frac{M_w}{V_p * \rho} \quad 8.11$$

A zkontroluje se, zda platí rovnost:

$$\Delta x_{výp} = \Delta x \quad 8.12$$

V případě, kdy rovnost neplatí, musíme změnit polohu bodu I po izotermě.



Obrázek 20 H-x diagram návrh větrání pro letní období

## 8.2 Zimní období

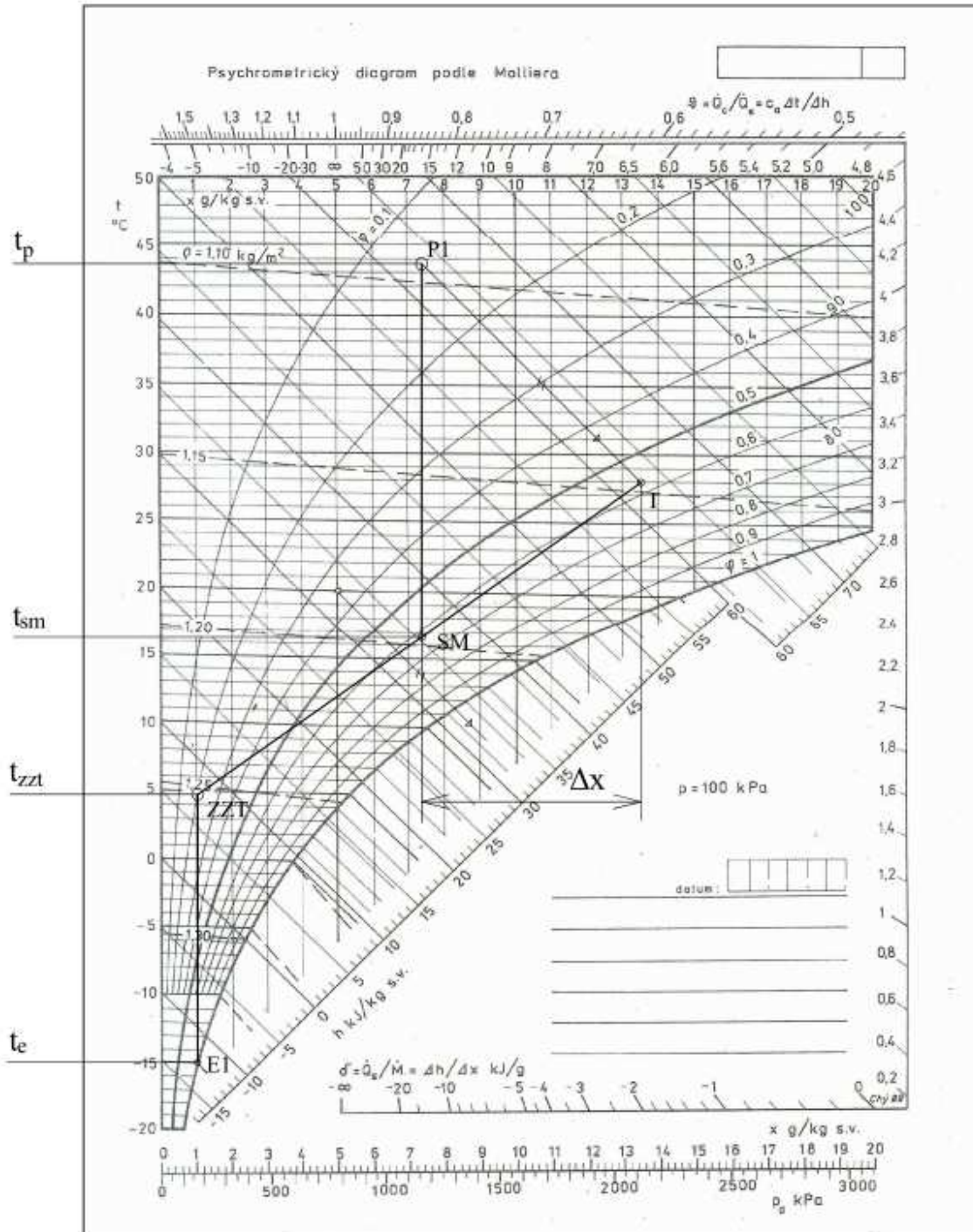
Návrhové parametry venkovního prostředí pro zimní období jsou  $t_{e,v} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_e = 100 \text{ } \%$ . Průběh větrání a klimatizace je znázorněn na Obrázek 21 v h-x diagramu i s jednotlivými kroky.

Kde jednotlivé výpočty pro teplotu za zpětným získáním tepla, teplotu po smíšení přiváděného vzduchu s oběhovým vzduchem, výpočet směrového měřítka byl proveden

stejným způsobem jako v kapitole 8.1 pouze s dosazením odpovídajících teplot pro zimní období.

Výkon ohřívače byl stanoven dle vztahu 8.14:

$$Q_{oh} = V_p * \rho * (h_{sm} - h_p) \quad 8.14$$



Obrázek 21 H-x diagram návrh větrání pro zimní období

## 9 Projektové řešení

V diplomové práci byl proveden návrh větrání a klimatizace bazénové haly.

Výpočet tepelné zátěže byl proveden podle ČSN EN 73 0548, viz kapitola 6. Jednotlivé výpočty byly zpracovány v softwarovém programu Excel.

Projekt návrhu vzduchotechniky bude řešit instalaci nuceného větrání bazénové haly s využitím zpětného získání tepla a oběhového vzduchu. Jedná se o přízemní objekt s plaveckým a koupacím bazénem. Vzduchotechnická jednotka bude hradit tepelné ztráty objektu.

K větrání bazénové haly bude využita jednotka ThermoCond 382501, která bude instalována v technické místnosti určené pro vzduchotechniku. Technická místnost se nachází v 1. podzemním podlaží.

### 9.1 Seznam výkresů:

Jednotlivé výkresy budou přiložené v na konci diplomové práce.

Příloha\_04 Půdorys vedení vzduchotechniky – 1PP

Příloha\_05 Půdorys vedení vzduchotechniky – 1NP

Příloha\_06 Rozvinuté schéma vzduchotechniky

### 9.2 Popis vzduchotechnického zařízení

Prostor bazénové haly bude větrán pomocí jednotky ThermoCond 382501. Jednotka je určená pro využití zpětného získání tepla a oběhového vzduchu. Jednotka ThermoCond 382501 je schopna předávat nevyužitelné teplo pro zpětný ohřev bazénové vody. Bazénová jednotka bude pracovat v rovnotlakém režimu při průtoku přívodního vzduchu 16 000 m<sup>3</sup>/h a odvodního vzduchu 16 000 m<sup>3</sup>/h. Výkon ohříváče bude řízen pomocí vzduchotechnické jednotky pomocí integrované řídicí a regulační jednotky.

Základní popis VZT jednotky:

- Ve skříni je vestavěn antikorozi protiproudý deskový rekuperátor z polypropylenu, aby odolal vysoké vlhkosti v odváděném vzduchu z bazénové haly.
- Ventilátor přívodního a odsávaného vzduchu s elektronickým řízením.
- Jednotka zajišťuje filtrování vzduchu v každém provozním režimu, s filtrem odváděného, čerstvého a přiváděného vzduchu.
- Plynule regulovatelná cirkulační topná klapka

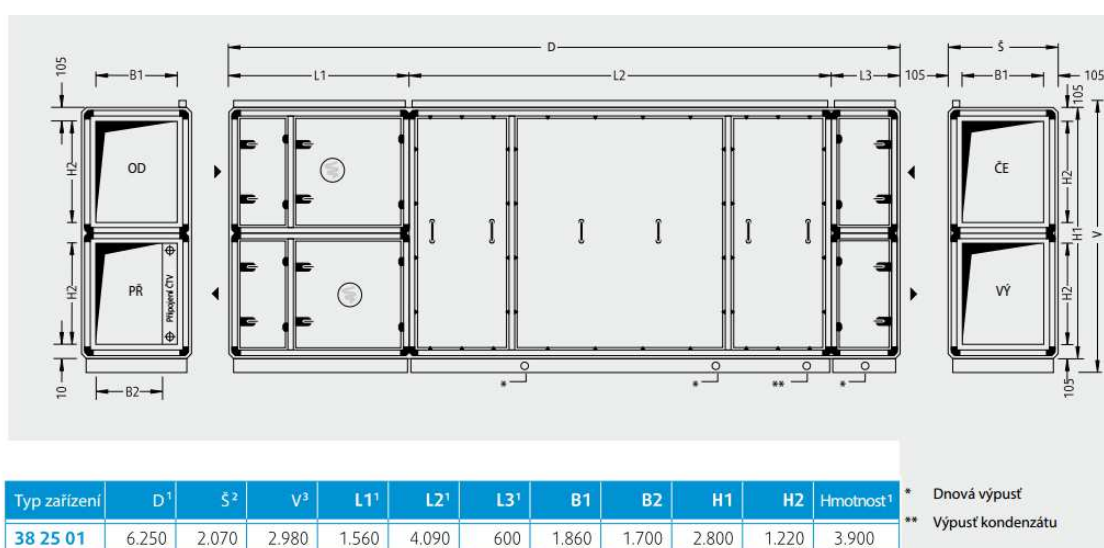
- Cirkulační rozmrazovací klapka
- Integrovaný bypass s automatickým ovládním.
- Integrovaná programovatelná řídicí a regulační jednotka
- Skříňový elektrický rozvaděč

Připojovací hrdla jednotky jsou na odvodním potrubí 1,2 x 2,8 m, přívodním potrubí 1,2 x 1,7 m, na přívodu čerstvého vzduchu 1,2 x 2,8 m, na výfukovém potrubí 1,2 x 1,7.

Jednotka disponuje připojením čerpadla teplé vody DN50, připojení regulačního ventilu čerpadla teplé vody DN40, odvodem kondenzátu DN40 a vpusť ve dně DN20.

Rozměry jednotky jsou vidět z přiloženého obrázku (Obrázek 22).

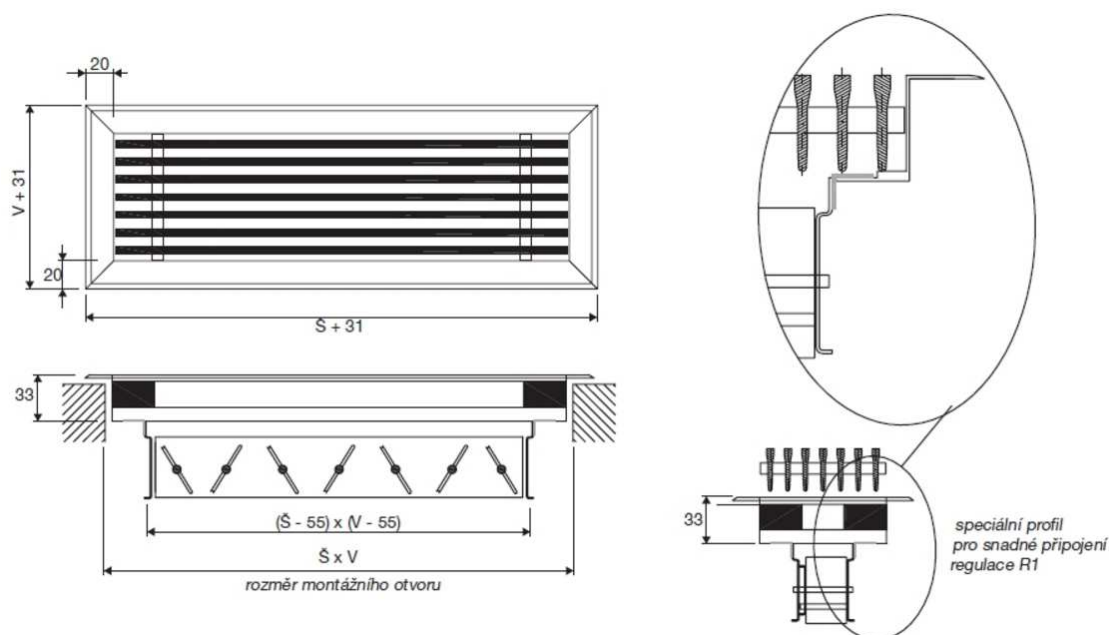
Jednotka bude instalována v 1. podzemním podlaží viz výkres D.1.3.1.



Obrázek 22 Rozměry jednotky[5]

### 9.3 Rozvod čerstvého vzduchu

Sání čerstvého vzduchu bude situováno na fasádě objektu přes protidešťovou žaluzii a tvarovkou pro přívod vzduchu s automaticky uzavíratelnou klapkou. Do VZT jednotky bude vzduch přiváděn čtyřhranným potrubím o rozměrech 1000 x 900 mm a před VZT jednotkou bude redukováno na rozměry odpovídajícímu hrdlu na přívodu čerstvého vzduchu. VZT potrubí bude izolováno minimální tloušťkou tepelné izolace 50 mm. Dále je VZT potrubí vedeno do bazénové haly. V technickém prostoru pod bazénovou halou bude potrubí rozděleno na dvě větve. 1. větev bude pokračovat technickým prostorem a dovádět vzduch k větracím mřížkám umístěných podél prosklené JZ stěny v 1NP a JVstěnu v 1NP. Větrací mřížky budou osazeny regulací R1 v instalační předstěně, aby nedocházelo k natečení vody z bazénu. Schéma použitých mřížek a jejich uchycení je vidět z následujícího obrázku (Obrázek 23). Napojení mřížek bude vedeno skrz podlahu.



**Obrázek 23** Schéma větrací mřížky[6]

Druhá větev povede do prostoru bazénové haly, kde povede příznaně podél stropu 1NP. Tato větev bude dovádět vzduch k difuzorům, které budou umístěny přímo na potrubí. Součástí difuzoru je regulační klapka.

#### 9.4 Rozvod odpadního vzduchu

Hygienickou výměnu vzduchu zajišťuje ventilátor instalovaný v jednotce, spouštěný dle režimu, nastaveném na regulátoru. K předávání tepelné energie dochází v rekuperátoru jednotky, který zabírá její největší část. Jako odváděcí vyústky jsou použity mřížky pro odvod vzduchu, které jsou instalovány ve stropě. Potrubí vede v nevytápěném prostoru střechy, proto je nutné odváděcí potrubí izolovat tepelnou izolací, o minimální tloušťce 50 mm. Potrubí je dovedeno k VZT jednotce, ze které je poté odpadní vzduch vyveden nad střechu řešeného objektu. Na odpadním potrubí je osazena protidešťová žaluzie.

#### 9.5 Protipožární opatření

Z hlediska protipožárních úprav bude instalace provedena dle normy ČSN 73 0870. Profese PBR zhodnotila prostory bazénu jako jeden požární úsek.

#### 9.6 Požadavky na související profese

##### 9.6.1 STAVBA

- před započítím montáže stavebně dokončit prostory, kde je umístěno VZT zařízení

- provést všechny nárokové prostupy konstrukcemi
- po skončení montáže dotěsnit prostupy – veškeré prostupy potrubí stěnami a příčkami musí být pružně dotěsněny
- zajistit vyčištění všech VZT šachet a kanálů od zbytků stavebního materiálu
- zajištění otvorů ve fasádě a osazení protidešťových žaluzií

#### 9.6.2 ZTI

- zajistit odkanalizování VZT stoupaček přes zápachovou uzávěru
- zajistit odkanalizování VZT jednotky přes zápachovou uzávěru
- zajistit napojení vody do jednotky

#### 9.6.3 ELEKTRO

- zajistit připojení ventilátorů
- zajistit připojení VZT jednotky
- zajistit připojení regulátorů

#### 9.6.4 MaR

- zajištění ovládní jednotlivých regulátorů průtoku
- monitoring systému přenášený do velínu
- propojení všech čidel, klapek a jejich stavu

Schéma distribuce vzduchu

### 9.7 Komplexní zkoušky

Po dokončení montáže bude provedeno komplexní vyzkoušení celé instalace v rozsahu 2 dnů. Příprava ke komplexním zkouškám bude složena z následujících bodů:

- Proveďte se kontrola jakosti a úplnosti dodávky, řádné připojení na el. síť, vč. kontroly
- Kontrola vyčištění vzduchových cest (kanálů a potrubí) od zbytků stavebních materiálů.
- Kontrola čistoty a těsnosti filtračních vložek
- Krátkodobé spuštění zařízení s kontrolou všech rotujících a pohyblivých částí



- Hrubé nastavení množství vzduchu na ventilátorech

Komplexní zkoušky:

- Vlastní KZ zahrnují uvedení zařízení do chodu na předem určenou dobu, kontrolu všech VZT elementů za chodu. Dále musí být prověřena funkce řídicího systému za všech provozních režimů.
- Kontrola teploty ložisek ventilátorů a zatížení el. motorů
- Klidný a plynulý chod všech částí zařízení, jako jsou ventilátory, regulační klapky
- Vazby ventilátorů na regulační klapky
- Funkci okruhů pro signalizaci chodu poruchy a havárie
- Účinnost pružného uložení ventilátorů a pryžových vložek na sání a výtlaku ventilátorů

## 10 Provozní parametry

V této kapitole bude podrobněji popsána referenční budova a doplněné okrajové podmínky. Referenční budova byla popsána již v kapitole 5. Provoz referenční budovy byl uvažován od 8 - 22 hodin. Mimo provozní dobu bylo počítáno s nulovými vnitřními zisky (od osvětlení, od lidí).

Vlastnosti vnitřního prostředí v tab. 12:

**Tabulka 12** Vlastnosti vnitřního prostředí

Vnitřní prostředí	Označení	Hodnota	Jednotka
měrný výkon osvětlení	$q_{osv}$	18	W/m <sup>2</sup>
objem místnosti	$V_m$	3411	m <sup>3</sup>
osvětlená plocha	$S_{osv}$	400	m <sup>2</sup>
plocha volné hladiny	$S_{hl}$	313	m <sup>2</sup>
počet lidí	$n$	50	-
vnitřní relativní vlhkost	$\varphi_i$	60	%
vnitřní teplota	$t_i$	28	°C
teplota vody	$t_w$	25	°C

Okna pro referenční budovu byla volena jako dvojitá skla se světlou reflexní folií. Pro zvolené sklo dle ČSN EN 73 0548 byl zvolen stínící součinitel, kde stínící součinitel pro dvojité sklo je  $s_1=0,9$ , stínící součinitel pro světlou reflexní folii je  $s_2=0,42$ . Celkový stínící součinitel je tedy  $s = s_1 * s_2 = 0,9 * 0,42 = 0,378$ .

**Tabulka 13** Vlastnosti okna

parametry okna	Označení	Hodnota	Jednotka
korekce stínění	$F_f$	0.378	-
plocha oken	$S_{okna}$	1.2	m <sup>2</sup>
plocha oken (JZ)	$S_{a,JZ}$	149	m <sup>2</sup>
součinitel propustnosti sluneční radiace	$g$	0.5	-
součinitel prostupu tepla oknem	$U_{okna}$	1.05	W/m <sup>2</sup> K

Stavební konstrukce referenční budovy byly zvoleny pro výpočet dle tabulky 14:

**Tabulka 14** Stavební konstrukce

stavební konstrukce	Označení	Hodnota	Jednotka
součinitel prostupu tepla vnější stěnou	$U_{stěn}$	0.2	$W/m^2K$
součinitel prostupu tepla střechou	$U_{str}$	0.16	$W/m^2K$
plocha stěn	$S_{stěn}$	250	$m^2$
plocha střechy	$S_{str}$	789	$m^2$

### 10.1 Výpočet energetické náročnosti pro daný den

Pro zhodnocení energetické náročnosti byla vypracována tabulka v softwarovém programu Excel, kde jsou zpracována hodinová data po celý rok. Jako vstupní parametry posloužili hodnoty z kapitoly 5 a 10.

Výpočet v diplomové práci byl proveden pro 8 hodinu 21. prosince:

Dané parametry pro tento den a hodinu byly: venkovní teplota  $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , relativní vlhkost 100 %, teplota rosného bodu  $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , teplota mokrého teploměru  $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a sluneční radiace  $0\text{ W/m}^2$ .

Jednotlivé psychrometrické výpočty a jejich dosazení je uvedeno níže:

Tlak syté páry (při teplotě venkovního vzduchu  $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

$$p''_{v(te)} = e^{\left(23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + te}\right)} = e^{\left(23,58 - \frac{4044,2}{235,6 - 5,5}\right)} = 405,1\text{ Pa} \quad 11.1$$

Tlak syté páry (při teplotě venkovního vzduchu  $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a dané vlhkosti 100 %)

$$p_{v(te)} = p''_{v(te)} * \varphi_e = 405,1 * \frac{100}{100} = 405,1\text{ Pa} \quad 11.2$$

Tlak syté páry (při teplotě vnitřního vzduchu  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

$$p''_{v(ti)} = e^{\left(23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + ti}\right)} = e^{\left(23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + 28}\right)} = 3781,3\text{ Pa} \quad 11.3$$

Tlak syté páry (při teplotě vnitřního vzduchu  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$  a dané vlhkosti 60 %)

$$p_{v(ti)} = p''_{v(ti)} * \varphi_i = 3781,3 * \frac{60}{100} = 2268,8\text{ Pa} \quad 11.4$$

Tlak syté páry (při teplotě vody  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

$$p''_{v(tw)} = e^{\left(23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + tw}\right)} = e^{\left(23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + 25}\right)} = 3169,1\text{ Pa} \quad 11.5$$

Měrná vlhkost venkovního prostředí:

$$x_e = 0,622 * \frac{p_{v(te)}}{p_b - p_{v(te)}} = 0,622 * \frac{405,1}{101325 - 405,1} = 2,5 \text{ g/kg} \quad 11.6$$

Měrná vlhkost vnitřního prostředí:

$$x_i = 0,622 * \frac{p_{v(ti)}}{p_b - p_{v(ti)}} = 0,622 * \frac{2268,8}{101325 - 2268,8} = 14,25 \text{ g/kg} \quad 11.7$$

Entalpie

$$h_e = c_a * t_e + x_e(l + c_w * t_e) = 1010 * (-5,5) + 2,5 * [2500 + 1840 * (-5,5)] = 0,66 \text{ kJ/kg} \quad 11.8$$

$$h_i = c_a * t_i + x_i(l + c_w * t_i) = 1010 * 28 + 2,5 * [2500 + 1840 * 28] = 64,63 \text{ kJ/kg} \quad 11.9$$

Určením psychrometrických údajů byli jednoznačně definované stavy vzduchu v h-x diagramu.

Jeden z hlavních činitelů energetické náročnosti bylo množství odpařené vody a potřebné množství vzduchu na odvod dané vlhkosti. Množství odpařené vody bylo vypočítáno dle následujícího vztahu:

$$M_w = \frac{\beta}{R_V * T} * S_{hl} * (p''_{v(tw)} - p_{v(ti)}) = \frac{40}{461,52 * 299,65} * 313 * (3169,1 - 2268,8) = 81,38 \text{ Kg/h} \quad 11.10$$

Pro dané množství odpařené vody byl určen potřebný průtok vzduchu na odvod vlhkosti:

$$V_{p,vlh} = \frac{M_w}{(x_i - x_e) * \rho} = \frac{81,38}{(14,25 - 2,5) * 1,2} = 5772 \text{ m}^3/\text{h} \quad 11.11$$

Potřebný průtok vzduchu na odvod vlhkosti byl porovnán s ostatními průtoky, aby bylo možné stanovit maximální průtok čerstvého vzduchu. Porovnávané průtoky byli: průtok čerstvého vzduchu z požadované dávky vzduchu na osobu a průtok z požadované výměny.

Průtok čerstvého vzduchu z požadované dávky vzduchu na osobu:

$$V_{p,d} = n * D = 50 * 50 = 2500 \text{ m}^3/\text{h} \quad 11.12$$

Průtok čerstvého vzduchu z požadované výměny vzduchu:

$$V_{p,min} = V_M * I = 3411 * 2 = 6822 \text{ m}^3/\text{h} \quad 11.13$$

Výpočtem bylo zjištěno, že maximální hodnota požadovaného čerstvého vzduchu byla pro průtok z požadované výměny vzduchu. Přiváděný průtok čerstvého vzduchu byl stanoven na  $6822 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Ve výpočtech bylo nutné zjistit, zda přiváděné množství čerstvého vzduchu bude hradit tepelné ztráty objektu.

Potřebné množství vzduchu na krytí tepelných ztrát bylo určeno z tepelné bilance. Jednotlivé tepla byla vypočtena pro zadané parametry a z výsledného citelného tepla byl vypočítán potřebný průtok vzduchu.

Přestup tepla mezi vodní hladinou:

$$Q_{hl} = \alpha_e * S_{hl} * \Delta T = 10 * 313 * (28 - 25) = 9375 \text{ W} \quad 11.14$$

Tepelné zisky od lidí

$$Q_{lid} = 6,2 * n * (36 - T_i) = 6,2 * 50 * (36 - 28) = 2480 \text{ W} \quad 11.15$$

Tepelné zisky od osvětlení

$$Q_{osv} = q_{osv} * S_{osv} = 18 * 400 = 7200 \text{ W} \quad 11.16$$

Tepelné zisky od sluneční radiace byly, pro výpočet energetické náročnosti, provedeny podle jiného postupu, než je popsáno v kapitole 5.1.1. Z důvodu, že byla známa intenzita sluneční radiace, která dopadá na JZ stěnu, nebylo nutné ji spočítat. V softwarovém programu Excel byly vypočteny tepelné zisky radiací, podle následujícího vzorce:

$$Q_{osl} = g * F_f * S_{a,JZ} * I = 0,5 * 0,3 * 149 * 0 = 0 \text{ W} \quad 11.17$$

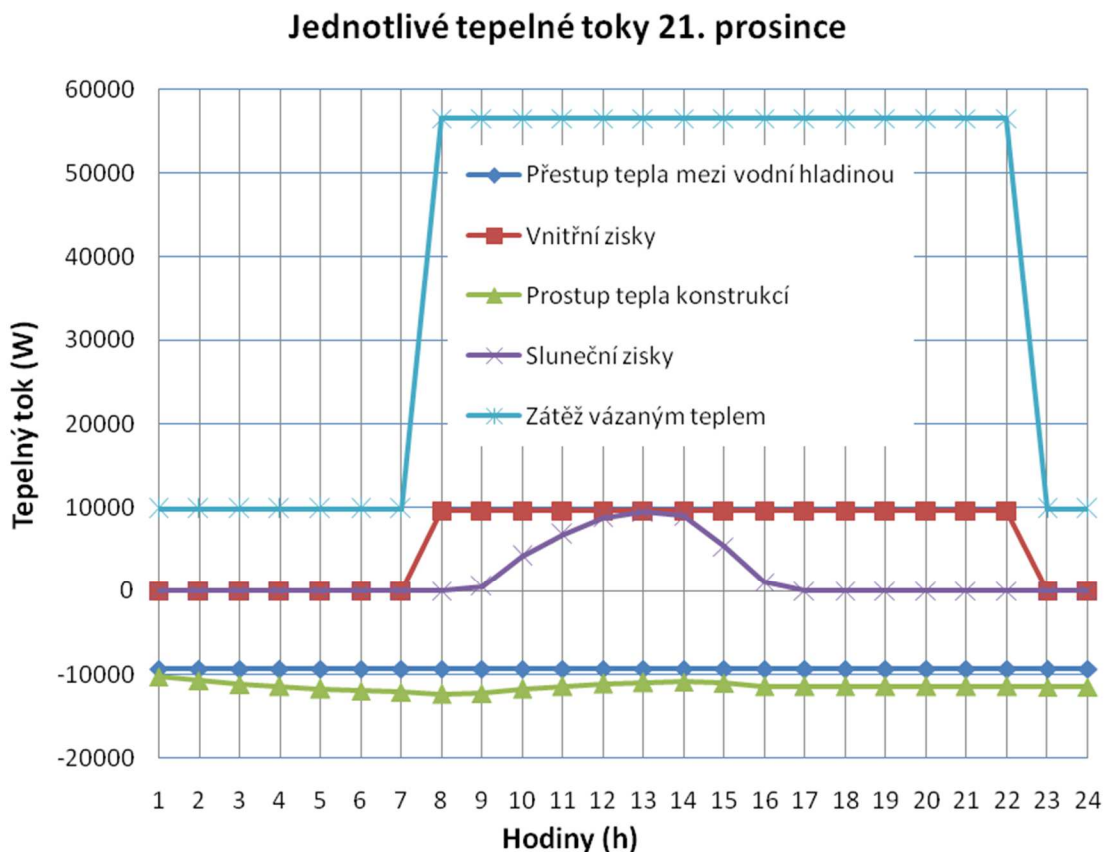
Tepelné ztráty prostupem tepla skrz konstrukci.

$$Q_{u,z} = \sum_{i=1}^n (U_i * S_i * \Delta t) = 11145 \text{ W} \quad 11.18$$

Celkové citelné teplo bylo vypočteno s ohledem na správný směr tepelných toků:

$$Q_{cit} = 7200 - 9375 + 2480 - 11145 = -10840 \text{ W} \quad 11.19$$

Jednotlivé tepelné toky 21. prosince byly zobrazeny v následujícím obrázku (Obrázek 24)



**Obrázek 24** Průběh tepelných toků dne 21. prosince

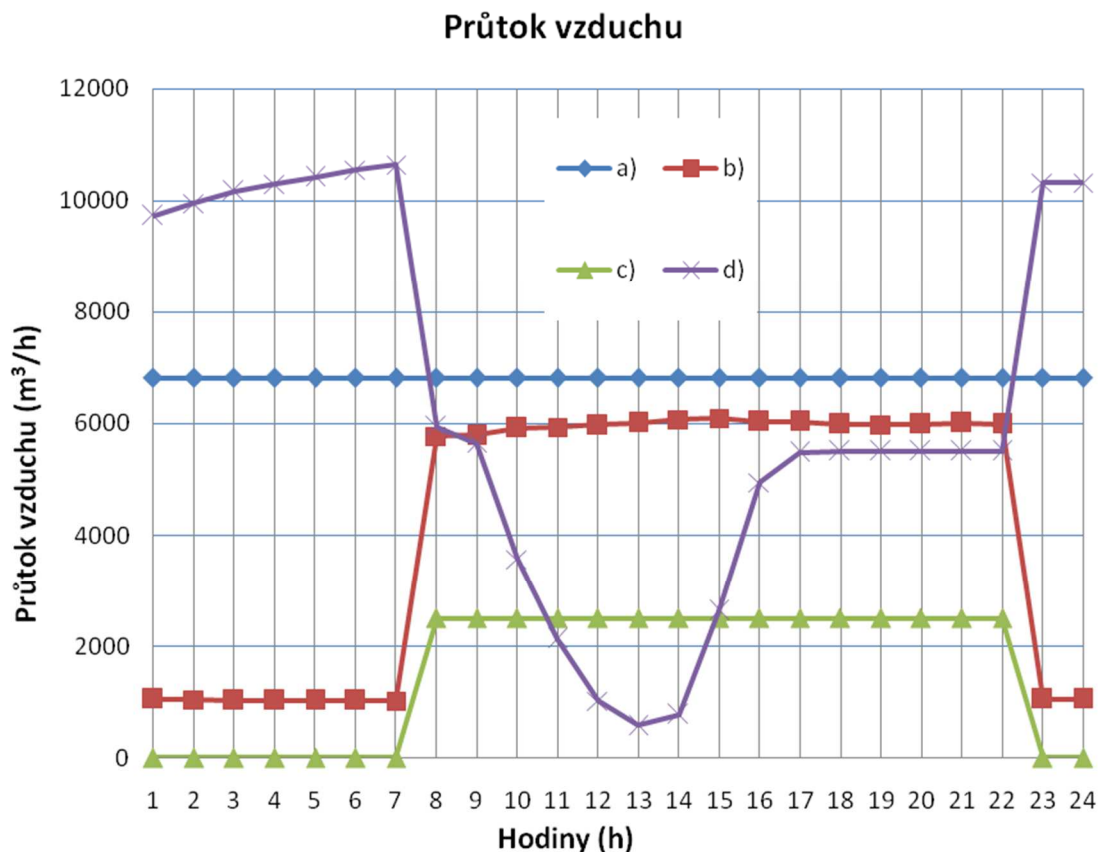
Potřebný průtok vzduchu na krytí tepelných ztrát při pracovním rozdílu teplot 6 K byl stanoven:

$$V_{p,zt} = \frac{Q_{cit}}{c_a \cdot \rho \cdot \Delta t_p} = \frac{11145}{1010 \cdot 1,2 \cdot 6} \cdot 3600 = 5366 \text{ m}^3/\text{h} \quad 11.20$$

Po určení průtoku čerstvého vzduchu a průtoku vzduchu na hrazení tepelných ztrát, byl určen průtok oběhového vzduchu. V případě, kdy průtok čerstvého vzduchu vyšel vyšší než průtok vzduchu na krytí tepelných ztrát, oběhový vzduch nebyl využit. Přiváděný vzduch do bazénové haly byl stanoven na:

$$V_{p,min} = 6822 \text{ m}^3/\text{h}. \quad 11.21$$

Jednotlivé průtoky vzduchu 21. prosince byly vyneseny do grafu (Obrázek 25).



**Obrázek 25** Průběh jednotlivých průtoků vzduchu 21. prosince: a) průtok vzduchu z požadované výměny, b) průtok vzduchu na odvod vlhkosti, c) průtok vzduchu z dávky čerstvého vzduchu na osobu, d) průtok vzduchu na krytí tepelných ztrát

Z obrázku 19 vyplývá, že teplovzdušné vytápění je nevhodné. Pro zimní období, kdy je bazén nevyužíván, je předimenzovaný přívod vzduchu, oproti normovým hodnotám pro minimální výměnu vzduchu, dále průtok vzduchu na odvod vlhkosti i průtok vzduchu z dávky čerstvého vzduchu na osobu. V případě, kdy by byly tepelné ztráty hrazené otopnou soustavou, bylo by možné snížit přiváděný vzduch o přibližně polovinu.

Pro požadovaný průtok vzduchu, který byl doveden do bazénové haly, byla určena entalpie přiváděného vzduchu. Pro určení potřebné entalpie bylo využito směrové měřítko. Směrové měřítko bylo dopočítáno:

$$\delta = \frac{Q_c}{M_w} = \frac{44504}{81,38} * \frac{3,6}{1000} = 1,97 \quad 11.22$$

Pomocí směrového měřítka byla určena požadovaná entalpie přiváděného vzduchu:

$$h_p = h_i - \delta * (x_i - x_e) = 64,63 - 1,97 * (14,25 - 2,5) = 41,5 \text{ kJ/kg} \quad 11.23$$

Potřebný výkon ohřivače se stanovil podle následujícího vzorce:

$$Q_{oh} = V_{p,min} * \rho * (h_p - h_x) = 6822 * 1,2 * (41,5 - 22,8) = 42626 \text{ W} \quad 11.24$$

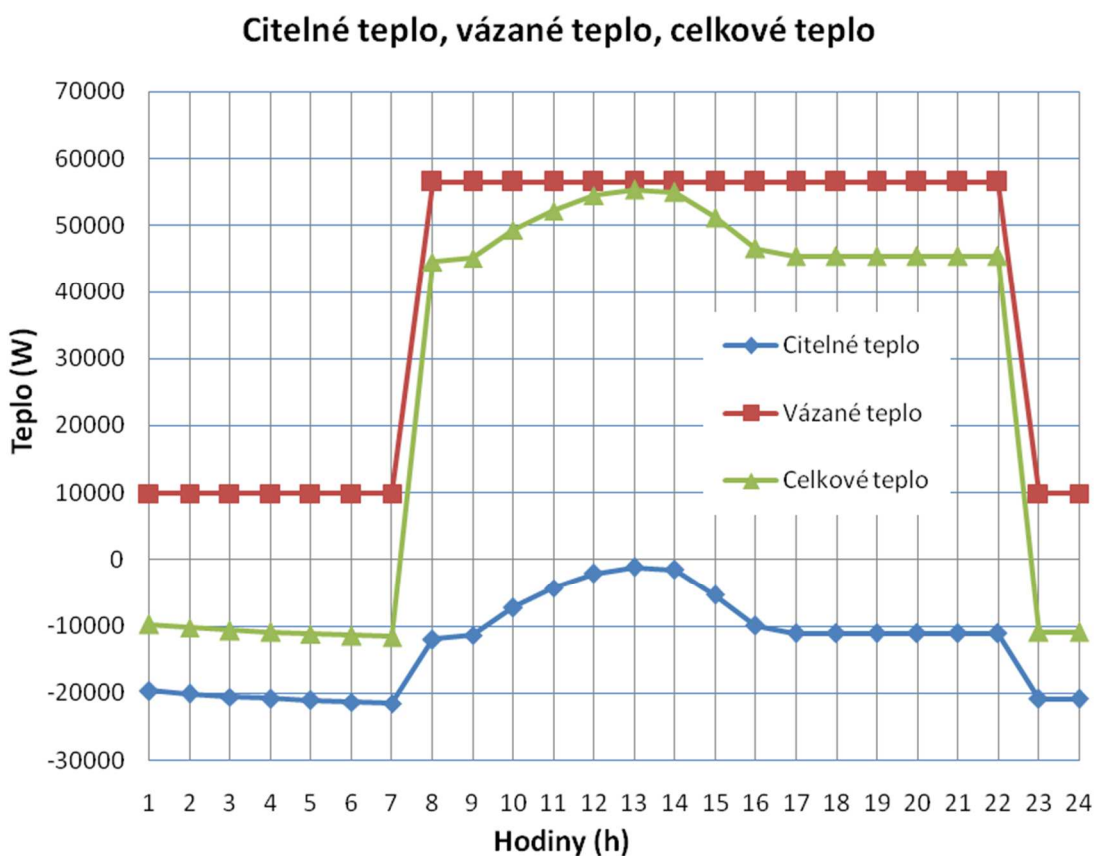
Pro vypočtený potřebný výkon, byla určena potřebná energie tepla:

$$P = Q_{oh} * t = 42626 * 1 = 42,6 \text{ kWh} \quad 11.25$$

Do celkové energetické náročnosti byl započítán i potřeba energie na dopravu vzduchu:

$$P = V_p * \Delta p * \eta_v = 6823 * 1200 * 0,8/3600 = 2,84 \text{ kWh} \quad 11.26$$

V následujícím obrázku (Obrázek 26) budou zobrazeny jednotlivá tepla. Z obrázku je patrné, že největší podíl na celkovém teple má teplo výparné.



**Obrázek 26** Průběh citelného, vázaného a celkového tepla 21 prosince

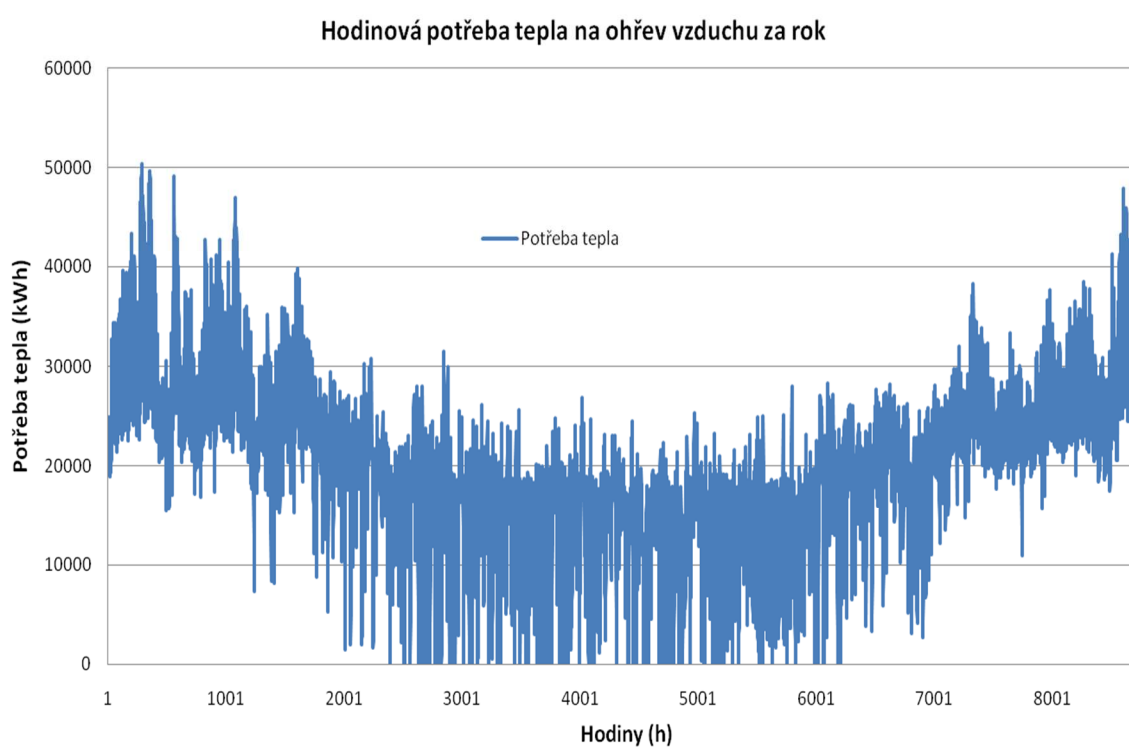
Celkové potřebné teplo, které bylo potřeba k ohřevu přívodního vzduchu, bylo zobrazeno v tabulce 15. Potřeba tepla na ohřev vzduchu pro referenční budovu za roční období byla 172 595 kWh/rok. Požadovaná potřeba energie na dopravu vzduchu za roční období byla stanovena na 31 252 kWh/rok. Průběh potřeby tepla na ohřev vzduchu byl zobrazen v grafu



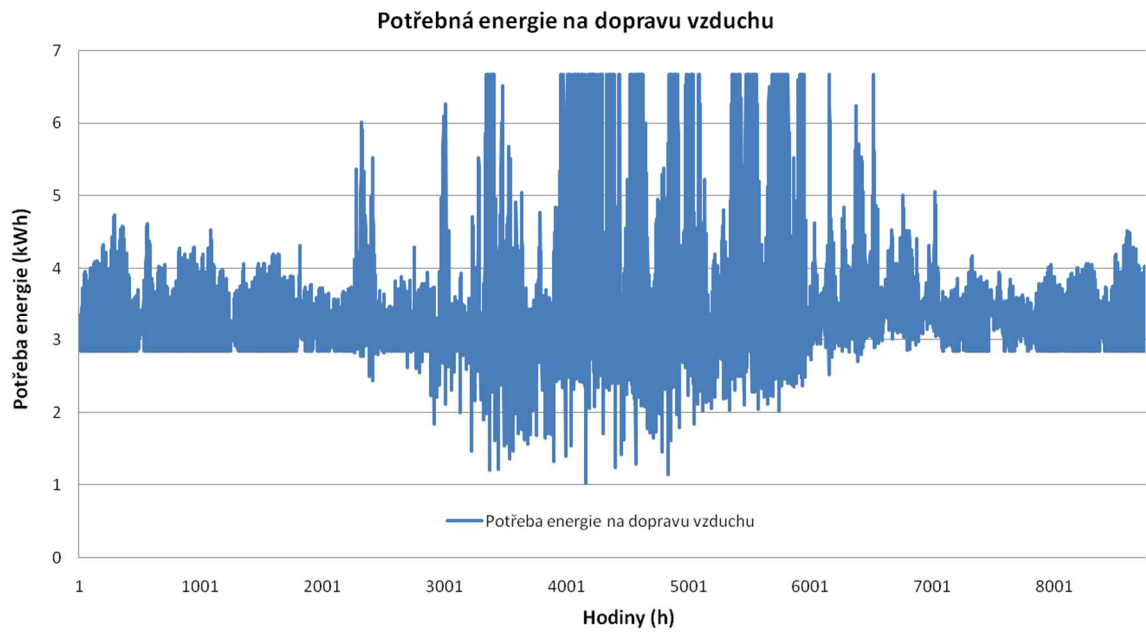
(Obrázek 27). Průběh potřeby energie na dopravu požadovaného průtoku vzduchu je zobrazen v grafu (Obrázek 28).

**Tabulka 15** Celková roční potřeba tepla na ohřev vzduchu a množství potřebované energie na dopravu vzduchu

Potřeba tepla na ohřev vzduchu (kWh/rok)	Potřeba energie na dopravu vzduchu (kWh/rok)
169147	31251



**Obrázek 27** Průběh potřeby tepla na ohřev vzduchu v průběhu roku



**Obrázek 28** Průběh potřebné energie na dopravu vzduchu

## 11 Navrhovaná opatření ke snížení energetické náročnosti

Pro dané řešení bazénové haly, budeme v diplomové práci hledat další možné úspory energie. Jednotlivé možnosti budou zobrazeny v následujících opatřeních a jejich kombinacemi bude stanovena optimální úspora.

Jednotlivá opatření jsou:

Opatření 1: zakrytí vodní hladiny mimo provozní dobu bazénu

Opatření 2: snížení vnitřní teploty mimo provozní dobu bazénu

Opatření 3: instalace venkovních žaluzií na JZ stěnu

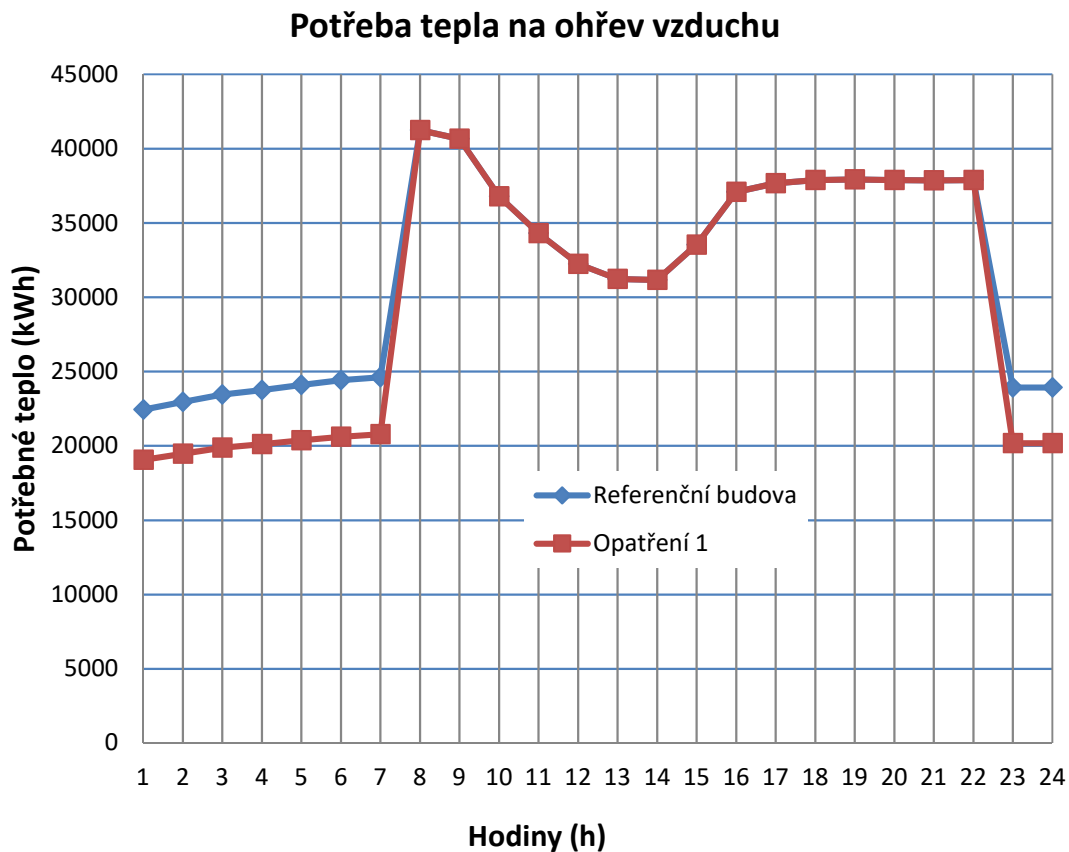
### 11.1 Opatření 1: zakrytí vodní hladiny

V následující tabulce (Tabulka 16) byla zobrazena potřeba tepla na ohřev vzduchu a potřeba energie na dopravu vzduchu pro referenční budovu a pro opatření 1.

**Tabulka 16** Celková roční potřeba tepla na ohřev vzduchu a množství potřebované energie na dopravu vzduchu u referenční budovy a s opatřením 1

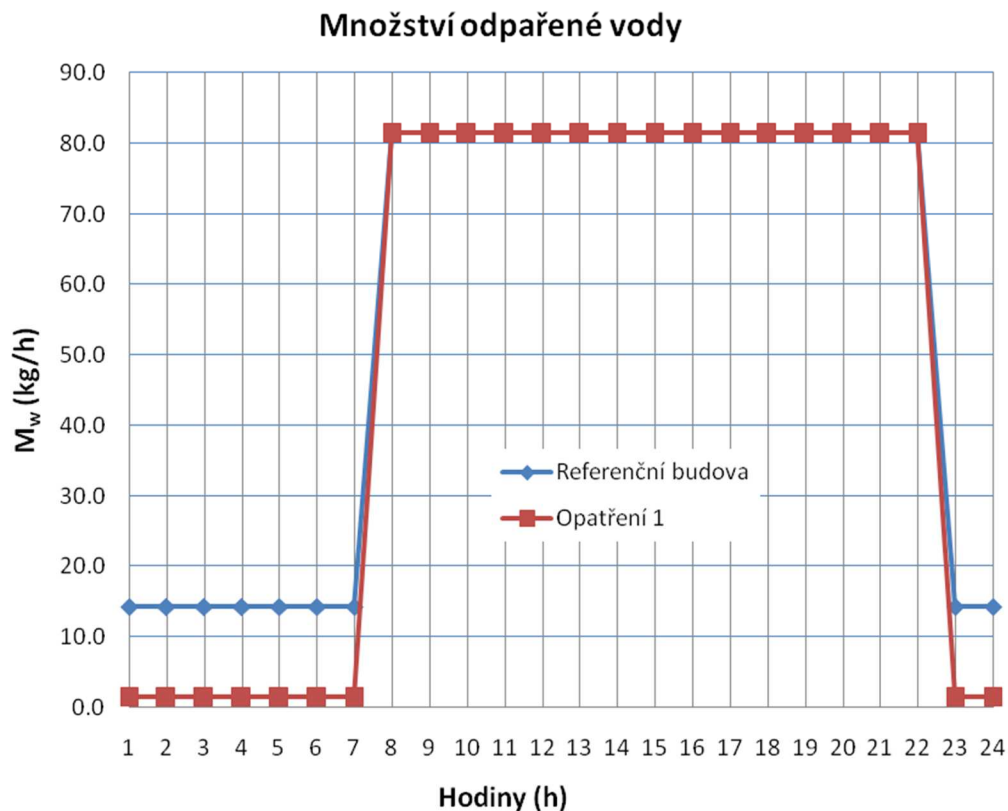
kWh/rok	Referenční budova	Opatření 1
<b>Potřeba tepla na ohřev vzduchu</b>	169147	157937
<b>Potřeba energie na dopravu vzduchu</b>	31251	31140

Na obrázku (Obrázek 29) byla zobrazena potřeba tepla na ohřev vzduchu pro referenční budovu a pro opatření 1 (zakrytí vodní hladiny mimo provozní dobu). Rozdíl mezi opatřením 1 a referenční budovou byla úspora, které za rok činila 11 210 kWh (6,5 %). Potřeba energie na dopravu vzduchu byla snížena o 111 kWh (0,4 %).



**Obrázek 29** Grafické znázornění potřeby tepla na ohřev vzduchu referenční budovy a s opatřením 1 (zakrytá vodní hladina mimo provozní dobu bazénu).

Ke zmenšení potřeby tepla došlo z důvodu, snížení množství odpařené vody, viz vzorec 7.12, které vedlo ke snížení potřebného průtoku vzduchu, viz vzorec 8.3. Snížení množství odpařené vody (Obrázek 30) vede ke snížení potřebného průtoku vzduchu. Snížený průtok vzduchu ovlivní celkový výkon ohřívače, viz vzorec 8.5 a 8.14.



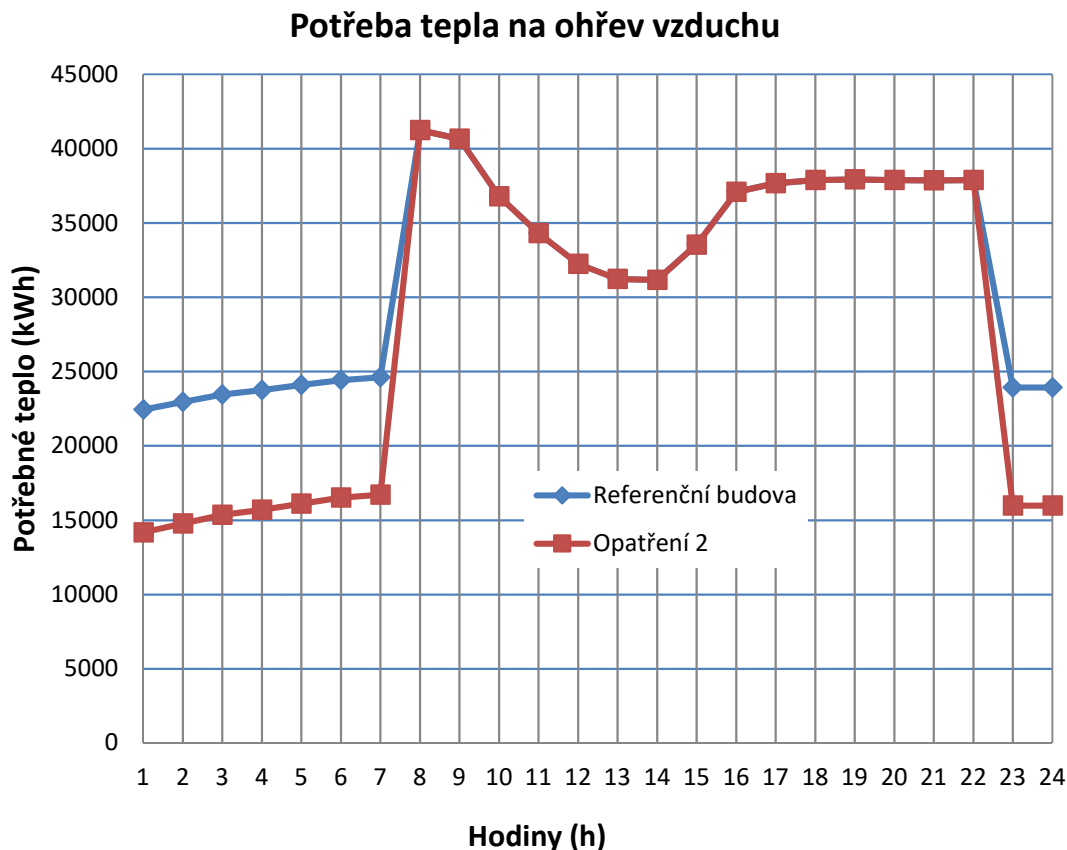
**Obrázek 30** Grafické znázornění množství odpařené vody referenční budovy a s opatřením 1 (zakrytá vodní hladina mimo provozní dobu bazénu).

### 11.2 Opatření 2: snížení vnitřní teploty po zavírací době

V následující tabulce (Tabulka 17) byla zobrazena potřeba tepla na ohřev vzduchu a potřeba energie na dopravu vzduchu pro referenční budovu a pro opatření 2.

**Tabulka 17** Celková roční potřeba tepla na ohřev vzduchu a množství potřebované energie na dopravu vzduchu referenční budovy a s opatřením 2

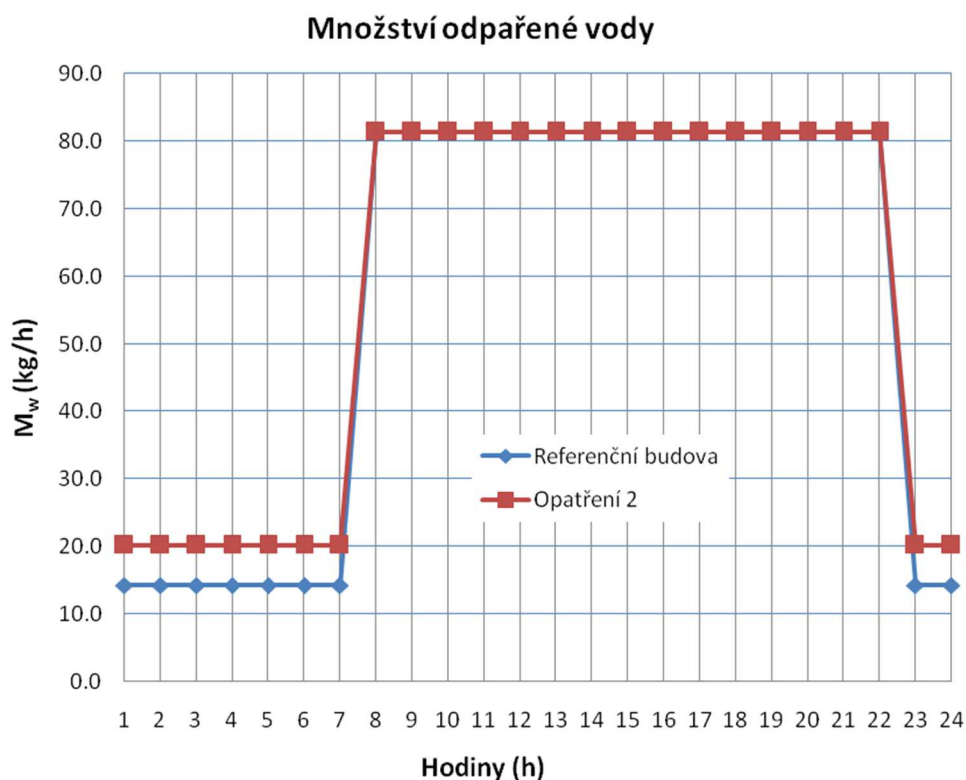
kWh/rok	Referenční budova	Opatření 2
<b>Potřeba tepla na ohřev vzduchu</b>	169147	142817
<b>Potřeba energie na dopravu vzduchu</b>	31251	26301



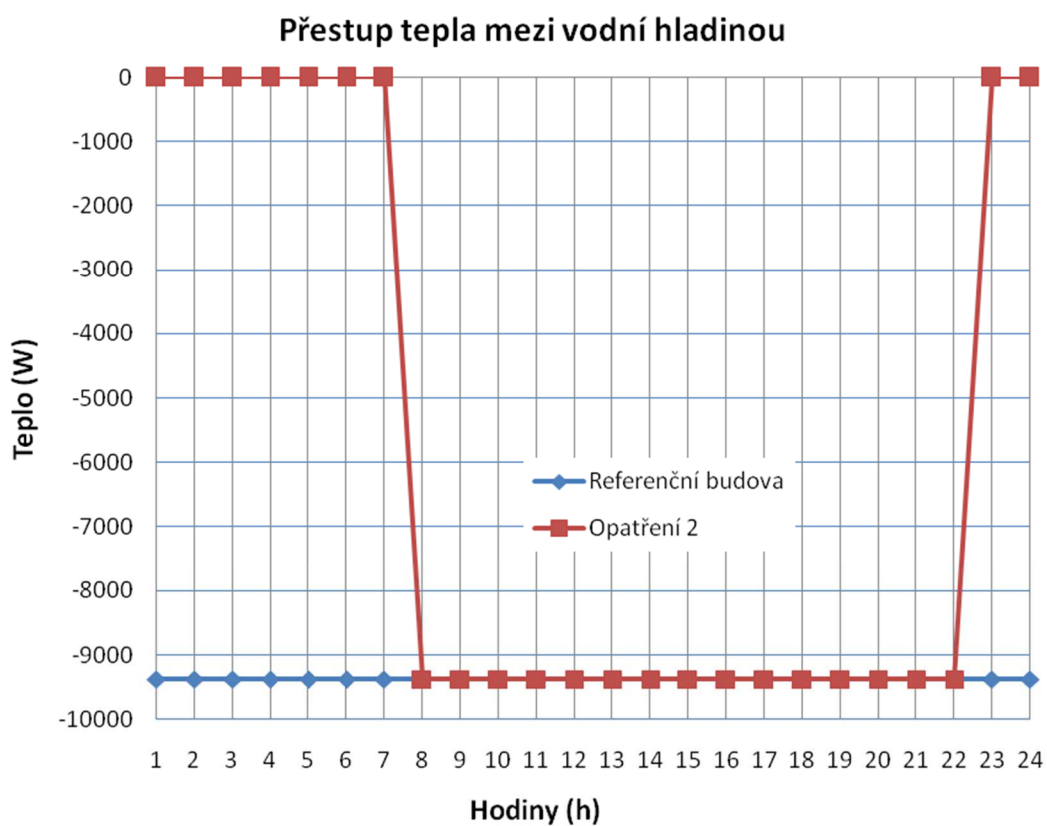
**Obrázek 31** Grafické znázornění potřeby tepla na ohřev vzduchu referenční budovy a s opatřením 2 (snížená vnitřní teplota vzduchu mimo provozní dobu bazénu).

Snížený vnitřní teploty mimo provozní dobu bazénu ovlivní množství odparu z vodní hladiny a přestup tepla mezi vodní hladinou a okolním vzduchem. Množství odparu z vodní hladiny vzroste, viz vzorec 7.12 a obrázek 20. Zvýšení odparu z vodní hladiny má za následek zvýšení vázaného tepla. Oproti zvýšení odparu z vodní hladiny a vázaného tepla se sníží přestup tepla mezi vodní hladinou a okolním vzduchem, viz vzorec 7.13.

Na obrázku (Obrázek 31Obrázek 29) byla zobrazena potřeba tepla na ohřev vzduchu pro referenční budovu a pro opatření 2 (snížení teploty vzduchu mimo provozní dobu). Rozdíl mezi opatřením 2 a referenční budovou byla úspora, které za rok činila 26 330 kWh (15,6 %). Potřeba energie na dopravu vzduchu byla snížena o 4 950 kWh (15,8 %).



**Obrázek 32** Grafické znázornění množství odpařené vody referenční budovy a s opatřením 2 (snížená vnitřní teplota vzduchu mimo provozní dobu bazénu).



**Obrázek 33** Grafické znázornění přestupu tepla mezi vodní hladinou referenční budovy a s opatřením 2 (snížená vnitřní teplota vzduchu mimo provozní dobu bazénu).

### 11.3 Opatření 3: přidání venkovních žaluzií na JZ stěnu

V následující tabulce (Tabulka 18) byla zobrazena potřeba tepla na ohřev vzduchu a potřeba energie na dopravu vzduchu pro referenční budovu a pro opatření 3.

**Tabulka 18** Celková roční potřeba tepla na ohřev vzduchu a množství potřebované energie na dopravu vzduchu referenční budovy a s opatřením 3

kWh/rok	Referenční budova	Opatření 3
<b>Potřeba tepla na ohřev vzduchu</b>	169727	172594
<b>Potřeba energie na dopravu vzduchu</b>	31251	31252

V případě instalace venkovních žaluzií se zhoršila celková tepelná bilance. V zimních měsících, kdy jsou zisky radiací prospěšné, byl zvýšen stínící součinitel, viz vzorec 7.10, a snížené zisky radiací.

V případě, kdy byli využity venkovní žaluzie, potřeba tepla na ohřev vzduchu vzrostla o 2867 kWh a potřeba energie na dopravu vzduchu vzrostla o 1 kWh.

### 11.4 Celkové zhodnocení jednotlivých opatření

V následující tabulce (Tabulka 19) byla zobrazena potřeba tepla na ohřev vzduchu a potřeba energie na dopravu vzduchu pro referenční budovu a pro opatření 1, 2 a 3.

**Tabulka 19** Celková roční potřeba tepla na ohřev vzduchu a množství potřebované energie na dopravu vzduchu referenční budovy a s opatřeními 1, 2 a 3

kWh/rok	Referenční budova	Opatření 1	Opatření 2	Opatření 3
<b>Potřeba tepla na ohřev vzduchu</b>	169727	157937	142817	172594
<b>Potřeba energie na dopravu vzduchu</b>	31251	31140	26301	31252



**Tabulka 20** Roční úspora tepla v procentech pro ohřev vzduchu a množství potřebné energie na dopravu vzduchu referenční budovy a opatření 1, 2 a 3

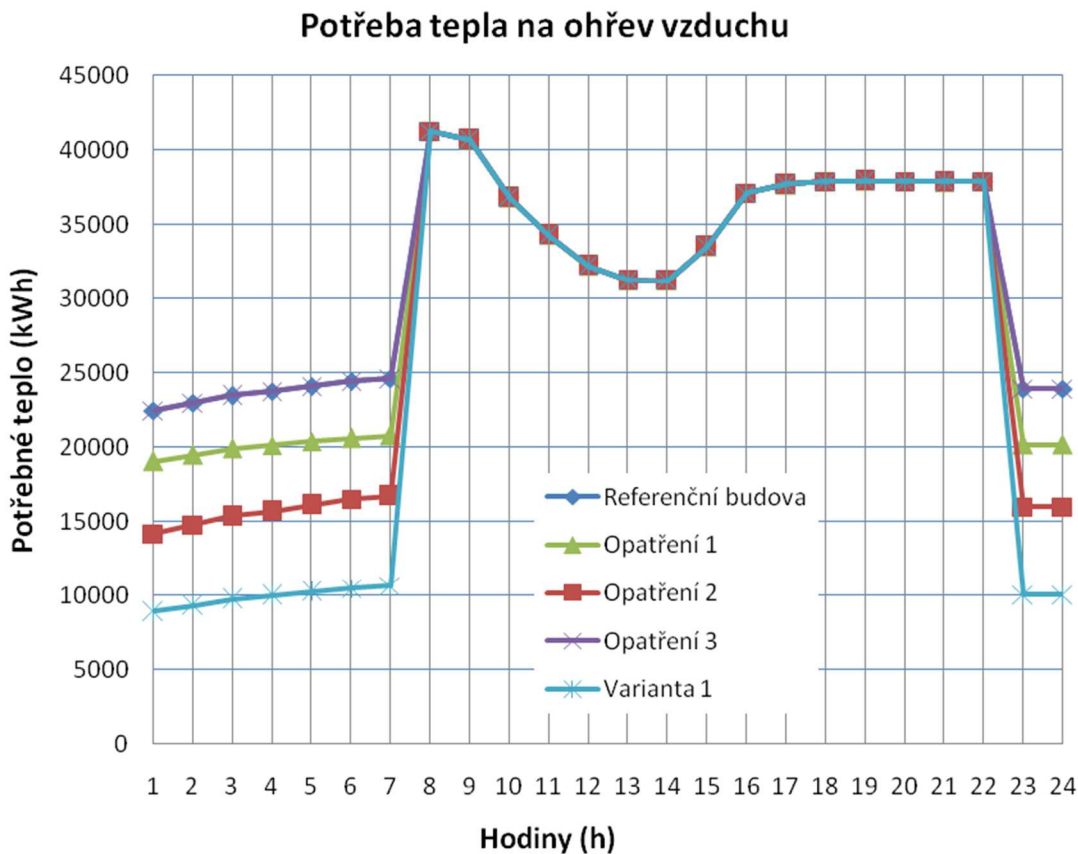
%	Referenční budova	Opatření 1	Opatření 2	Opatření 3
<b>Úspora potřebné energie na ohřev vzduchu</b>	0	6.63	15.57	-2.04
<b>Úspora energie na dopravu vzduchu</b>	0	0.36	15.84	0.00

Záporná hodnota v tabulce byla naměřena pro variantu 3, kde návrh opatření vedl ke zhoršení celkové potřeby tepla. Největší úspora byla u opatření 2, kde na dopravě vzduchu a potřebě tepla činila 15 % oproti referenční budově.

Varianta 1 byla vypočítána jako kombinace opatření 1 a 2.

**Tabulka 21** Celková roční potřeba tepla na ohřev vzduchu a množství potřebované energie na dopravu vzduchu referenční budovy a varianty 1

kWh/rok	Referenční budova	Varianta 1
<b>Potřeba tepla na ohřev vzduchu</b>	169727	125083
<b>Potřeba energie na dopravu vzduchu</b>	31251	24356



**Obrázek 34** Porovnání jednotlivých opatření, varianty a jejich potřebného tepla na ohřev vzduchu

Graf nám reprezentuje konečné zhodnocení všech opatření. Je patrné, že třetí opatření nám nepřináší tíženou úsporu primární energie. První opatření již zjevně úspory na straně vložené energie má. Druhé opatření tuto úsporu ještě navýší. Optimální úsporu vložené energie vytváří křivka varianty 1, která je kombinací opatření 1 a 2.

## 12 Závěr

Cílem diplomové práce bylo stanovit energetickou náročnost provozu bazénové haly z průměrných hodnot venkovní teploty, venkovní relativní vlhkost, teplota rosného bodu, teplota mokrého teploměru a intenzita sluneční radiace dopadající na jihozápadní stěnu řešeného objektu za období 50 let. Výpočet energetické náročnosti byl proveden pro referenční budovu, kde řešením klimatizace bylo nucené větrání se zpětným získáním tepla a oběhovým vzduchem. K referenční budově byla za pomoci softwarového programu Excel stanovena energetická náročnost. Energetická náročnost se skládala z potřeby tepla na ohřev vzduchu a potřeby energie k dopravě vzduchu. Pro referenční budovu byla vypočtena potřeba tepla k ohřátí vzduchu 169 727 kWh/rok a potřebná energie k dopravě vzduchu 31 251 kWh/rok.

Pro úsporu energie byla hledány další možná opatření. První opatření bylo zakrytí vodní hladiny mimo provozní dobu bazénové haly. Druhé opatření bylo snížení vnitřní teploty mimo provozní dobu bazénové haly. Třetí opatření byla instalace venkovních žaluzií na JZ stěnu. Jednotlivé potřeby energií k navrženým opatřením jsou v následující tabulce:

kWh/rok	Referenční budova	Opatření 1	Opatření 2	Opatření 3
Potřeba tepla na ohřev vzduchu	169727	157937	142817	172594
Potřeba energie na dopravu vzduchu	31251	31140	26301	31252

Pro opatření 1 a 2 došlo k úspoře energie a pro jejich kombinaci byla úspora energie k ohřevu vzduchu o 26 % vyšší a úspora energie k dopravě vzduchu byla 22 % vyšší nežli pro referenční budovu. Další úspory by se dalo dosáhnout pomocí dodatečného zateplení a zlepšení tepelně-technických vlastností.

Cílem diplomové práce bylo také navrhnout projektového řešení klimatizace bazénové haly. Jednotlivé výpočty k návrhu byly provedeny v softwarovém programu Excel, který je obsažen na přiloženém CD. Výkresová dokumentace k projektovému řešení je k diplomové práci přiložena ve formě příloh.

## 13 Použitá literatura

- [1] Drkal, F.; Lain M., Schwarzer, J.; Zmrhal, V. Vzduchotechnika, elektronická skripta, Praha 2009.
- [2] Drkal, F.; Lain M., Schwarzer, J.; Zmrhal, V. Klimatizace a průmyslová vzduchotechnika, elektronická skripta, Praha 2009.
- [3] Chyský, J.; Hemzal, K. a kol. Větrání a klimatizace. Technický průvodce. 3. Vyd. Brno: Bolit – B Press, 1993.
- [4] ČSN 730548 - Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů.
- [5] [http://www.menerga.cz/upload/Katalogove\\_listy/38\\_komplet\\_cz\\_2016.pdf](http://www.menerga.cz/upload/Katalogove_listy/38_komplet_cz_2016.pdf)
- [6] <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/pme-600x150-podlahova-mrizka>
- [7] ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky
- [8] Vyhláška č. 238/2011 Mikroklimatické požadavky
- [9] <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/nzl-a-110-dyza-s-dlouhym-dosahem>
- [10] Časopis českého svazu vědeckotechnických společností -komitétu pro techniku prostředí ZTV č.3 ročník 15 z roku 1972
- [11] Časopis České vědeckotechnické společnosti - komitétu pro techniku prostředí ZTV č.3 ročník 18 z roku 1975

## **14 Seznam příloh**

Příloha\_01-Průběh venkovní teploty

Příloha\_02-Průběh venkovní relativní vlhkosti

Příloha\_03-Průběh intenzity sluneční radiace dopadající na JZ stěnu

Příloha\_04-Půdorys vedení vzduchotechniky – 1PP

Příloha\_05-Půdorys vedení vzduchotechniky – 1NP

Příloha\_06-Rozvinuté schéma vzduchotechniky