

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V
BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

OPTIMALIZACE DISTRIBUCE VZDUCHU BAZÉNOVÝCH HAL

OPTIMIZATION OF AIR DISTRIBUTION IN SWIMMING POOL HALLS

TEZE K DIZERTAČNÍ PRÁCI

DOCTORAL THESIS STATEMENT

AUTOR PRÁCE

ING. PETR BLASINSKI

VEDOUČÍ PRÁCE

DOC. ING. ALEŠ RUBINA, PH.D.

STUDIJNÍ OBOR

P3607 STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ

STUDIJNÍ PROGRAM

3608V001 POZEMNÍ STAVBY

BRNO 2014

OBSAH

ÚVOD	3
1 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY	4
1.1 PROBLEMATIKA PRODUKOVANÝCH ŠKODLIVIN (TRICHLORAMIN).....	5
1.2 ODPAR Z VODNÍ HLADINY	6
1.2.1 ZJEDNODUŠENÉ METODY VÝPOČTU MNOŽSTVÍ ODPAŘENÉ VODY	8
1.3 PROUDĚNÍ VZDUCHU V BAZÉNOVÉ HALE	8
1.4 CFD SIMULACE PROUDĚNÍ VZDUCHU	9
1.4.1 PRE-PROCESSING (PŘÍPRAVA ÚLOHY).....	9
1.4.2 PROCESSING (NUMERICKÉ ŘEŠENÍ)	9
1.4.3 POST-PROCESSING (ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ)	10
2 CÍLE PRÁCE.....	10
3 METODY ŘEŠENÍ.....	11
3.1 POČÍTAČOVÉ MODELOVÁNÍ	11
3.2 EXPERIMENT.....	11
4 VÝSLEDKY	11
4.1 VÝSLEDKY ODPARU VODNÍ PÁRY (VÝPOČTEM A MĚŘENÍM)	11
4.2 SIMULACE OBRAZŮ PROUDĚNÍ V SOFTWARE STAR CCM+	16
4.2.1 GEOMETRICKÝ MODEL A OBJEMOVÁ SÍŤ	16
4.2.2 FYZIKA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY	19
4.3 VÝSLEDKY MATEMATICKÝCH SIMULACÍ	20
4.3.1 GEOMETRIE - VARIANTA 1	20
4.3.2 RYCHLOSTNÍ POLE – VARIANTA 1	21
4.3.3 GEOMETRIE - VARIANTA 2	22
4.3.4 RYCHLOSTNÍ POLE – VARIANTA 2	23
4.3.5 GEOMETRIE - VARIANTA 3	24
4.3.1 RYCHLOSTNÍ POLE – VARIANTA 3	24
4.4 VÝHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT DISTRIBUCE VZDUCHU	26
5 ZÁVĚR.....	28
5.1 POZNATKY PRO DALŠÍ VÝZKUM A TECHNICKOU PRAXI	30
6 POUŽITÉ ZDROJE	31
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ.....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.

ÚVOD

Náplní práce je řešení distribuce vzduchu v bazénových halách s ohledem na dominantní vlivy vytvářející mikroklima v těchto prostorech. Práce se snaží zohlednit proti sobě jdoucí požadavky na distribuci vzduchu a návrh optimálního průtoku v prostorech s nezakrytou vodní hladinou. Mezi hlavní požadavky při návrhu patří odvod uvolňujícího se trichloraminu(NCl_3) z bazénové vody. Toto zajistíme vytvořením vhodného typu distribuce – tzn. přívodem vzduchu nad vodní hladinu, jež by strhával uvolňující se plyn trichloraminu směrem k odvodním prvkům vzduchotechniky. Nicméně s rostoucí rychlostí nad vodní hladinou nám roste odpar vodní páry, což je z hlediska požadavku na udržování vlhkosti vzduchu pod horní hranici doporučovaných limitů zcela zásadní problém.

Podkladem pro prezentaci zjištěných výsledků a návrh optimální varianty je matematické řešení dílčích problémů s kvantifikováním množství odpařené vody a dalších škodlivin. Dále bude pro prezentaci výsledné distribuce vzduchu využito CFD modelování. Zjištěné informace povedou k získávání obrazů místnosti a posuzování celkového chování proudění, odparu vodní páry a trichloraminu vzhledem k měnícím se okrajovým podmínkám. Práce tedy řeší výchozí typ bazénové haly pro různé variace vstupních a výstupních podmínek a jejich vliv na celkový obraz proudění v místnosti.

1 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

Vzduchotechnika v bazénových halách vytváří umělé vnitřní prostředí, jež svými vlastnostmi musí odpovídat požadavkům na tepelnou pohodu člověka a zároveň musí odpovídat stavebnímu řešení objektu. Aktuální problematika bazénových hal je řešena zejména z pohledu tepelně - vlhkostní bilance vnitřního prostoru. Projektanty však bývá opomíjená problematika toxického mikroklimatu. Do interiéru bazénových hal se totiž z bazénové vody dostávají taktéž sloučeniny chlóru. Tyto negativně ovlivňují zdraví uživatelů a spolu s vysokou vlhkostí vzduchu působí degenerativně na některé běžně používané materiály.

Stavební materiály a bazénová technologie obstarávající mikroklima v bazénových halách musí být voleny tak, aby odpovídaly tomuto provozu. Vysoké koncentrace chloridů a dalších chemických látek v kombinaci s vysokou vlhkostí, způsobují až nejvyšší stupeň korozního namáhání C5 až CX (dle EN ISO 9223). V praxi to pak znamená, že konstrukce, které by v běžném provozu vydržely desítky let, v bazénovém provozu selže po několika měsících. Na obr. 1.1 je znázorněno porušení konstrukce podhledu vlnivem dlouhodobé zvýšené vlhkosti a působením korozivních látek v místnosti školního bazénu.



Obr. 1.1 Ukázka porušené konstrukce podhledu v bazénové hale

Problematika zvýšené vlhkosti a výskytu agresivních chemických látek, vypařujících se z bazénové vody je projektanty podceňována, mimo jiné i z důvodu její náročnosti (stanovení odparu z vodní hladiny), což vede k jejímu nesprávnému pochopení. Neznalost problematiky a složitost problému vede k chybám v návrhu typu a dispozice koncových elementů. Což vede k neekonomickému a neefektivnímu návrhu vzduchotechnického systému, který se následně projevuje nevyhovujícím mikroklima prostor s vodní hladinou. Tyto skutečnosti v konečném důsledku vedou k reklamacím nevhodně navržených vzduchotechnických soustav.

Vytýčeným úkolem této práce je řešení problematiky distribuce vzduchu. Tuto je nutné rozdělit do dílčích na sebe navazujících částí, jedná se zejména o:

- problematika produkováných škodlivin (trichloramin)
- odpar z vodní hladiny – určení množství vodní páry odpařující se do prostoru bazénové haly
- optimální koncepce distribuce vzduchu

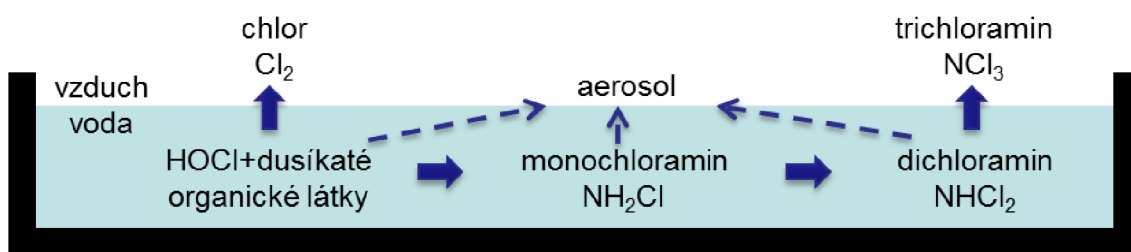
1.1 PROBLEMATIKA PRODUKOVANÝCH ŠKODLIVIN (TRICHLORAMIN)

Z důvodu znečišťování vody desítkami tisíci mikroorganismů, vnášených do vody plavci, je nutné vodu dezinfikovat. Nejpoužívanější dezinfekční látkou používanou při bazénové chemii je chlor. A to jak z důvodu cenové dostupnosti, tak z důvodu existující možnosti monitorování jeho koncentrací. Rozpouštěním chlorových přípravků vzniká ve vodě volný chlor, jež má nejvyšší dezinfekční účinek. Reakcí volného chloru s organickými nečistotami, zejména takovými, které v sobě obsahují dusík (pot, moč) vzniká chlor vázaný.

Trichloramin je plyn, jež je spolu s monochloraminem a dichloraminem produktem vázaného chloru. Nicméně vzhledem ke špatné rozpustnosti trichloraminu ve vodě se z vodní hladiny odpařuje obdobně jako vodní pára.

Hlídání jeho koncentrace je motivováno zjištěním belgických vědců, jež ohlásili možné spojení mezi trichloraminem a vzestupem počtu případů astmatu u dětí, což nazvali hypotézou bazénového chloru, jakožto alternativu k hygienické hypotéze s těsnější příčinnou vazbou [15]. Problémem s vázaným chlórem, který trápí většinu provozovatelů veřejných bazénů, je také riziko pro návštěvníky trpící astmatem, alergiemi, průduškovými záněty nebo kožními nemocemi.

Na obr. 1.2 je znázorněn proces tvorby trichloraminu, jakožto část procesu rozpadu sloučenin dezinfekčních a organických látek.



Obr. 1.2 Schéma procesu tvorby trichloraminu

Doporučená limitní hodnota trichloraminu v ovzduší je dle vyhlášky č. 238/2011 Sb.[12] 0,5 mg/m³. Pro účel ověření této koncentrace je doporučováno provádět měření za nejhorších podmínek, tj. v zimním období a na rizikových místech (vířivky, vodní atrakce, bazény s vyšší teplotou vody atd.) ve vzdálenosti 20 cm od hladiny [16].

Vznikající koncentraci plynu nad hladinou bazénu je možné technicky řešit pouze vzduchotechnikou a s tím spojenou optimální distribucí vzduchu. Optimální distribucí autor chápe jako rozumný kompromis mezi zvýšením rychlosti proudícího vzduchu nad vodní hladinou, jež vyvolá zvýšení množství odpařené vody a ředěním koncentrace trichloraminu.

1.2 ODPAR Z VODNÍ HLADINY

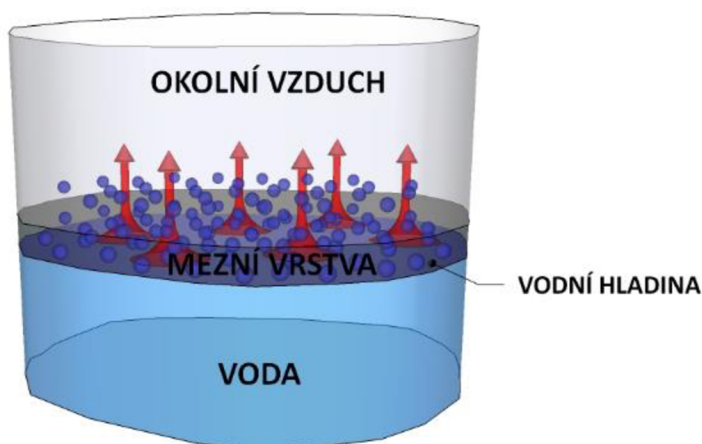
Problematika odparu z vodní hladiny spadá do kategorie přenosových jevů. Konkrétně je to přenos vlhkosti, kde je přenášená látka součástí vzduchu - většinou vodní pára, obecně plynné příměsi.

Rozdělení přenosových jevů do jednotlivých kategorií:

- přenos hybnosti, také impulsu (mechanika tekutin, aerodynamika)
- přenos tepla - energie (sdílení tepla - termokinetika jako součást termomechaniky)
- přenos hmoty - součásti vzduchu - v technice prostředí většinou vodní pára, obecně plynné příměsi.

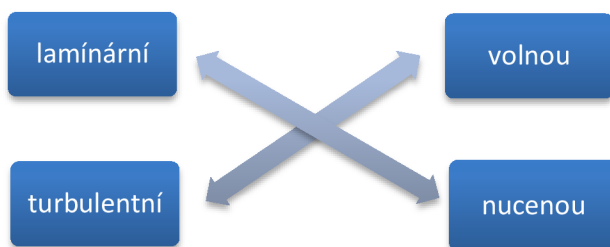
Přenos vlhkosti

Při dimenzování klimatizačních zařízení je často zapotřebí určit hmotnostní toky odpařující se vody a rovněž toky tepla z mokrých povrchů nebo z vodních hladin odkrytých nádrží (bazénů).



Obr. 1.3 Znárodnění principu odpařování vody:

Charakter mechanismu přenosu jedné složky ve směsi plynů (molekulární difúzí, konvekci):



Velmi častými případy v technice prostředí jsou vypařování a kondenzace při styku vzduchu s vodou, s vodní hladinou, aerosolem rozstřikované vody, mokrým povrchem, povrchem vlhkého porézního materiálu.

V klimatizaci je vodní pára přidávána do vzduchu nebo z něj odebírána při současném přenosu tepla a hmoty (vodní páry) mezi proudem vzduchu a vlhkým povrchem. Vlhkým povrchem mohou být vodní kapky v pračce, vlhčená náplň v chladicí věži, kondenzací zvlhčený povrch chladiče, povrch odpařovacího kondenzátoru nebo aerosol rozprášeného kapalného absorbentu vlhkosti.

1.2.1 Zjednodušené metody výpočtu množství odpařené vody

Pro výpočet odparu byly využity níže uvedené metody:

- Výpočet dle VDI 2089 (starší vydání)
- Výpočet dle VDI 2089 (nové vydání):
- Zjednodušený výpočet odpařené vody využívající empirických závislostí
- Odpařování z volné hladiny podle L. Oppla

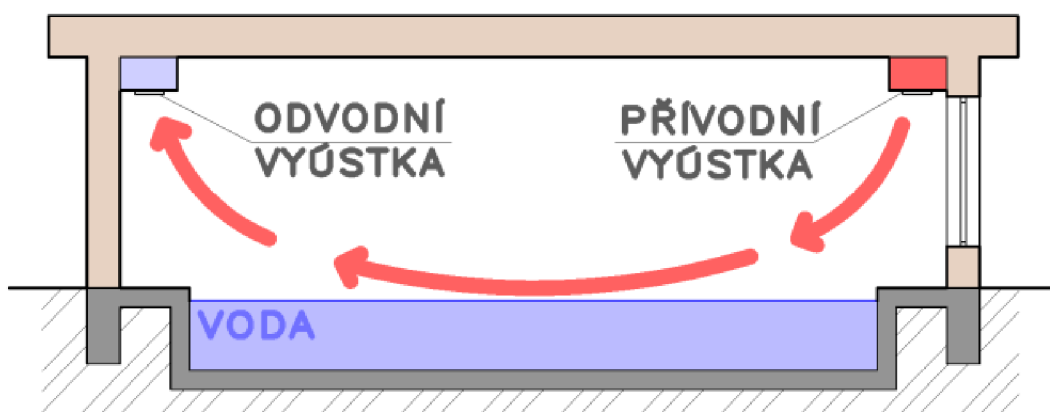
1.3 PROUDĚNÍ VZDUCHU V BAZÉNOVÉ HALE

Pohyb vzduchu v nuceně větrané místnosti je fyzikálně složitý jev, při kterém výsledný obraz proudění ovlivňuje mnoho fyzikálních a geometrických faktorů. Zásadně je obraz proudění ovlivněn tvarem a provozem místnosti.

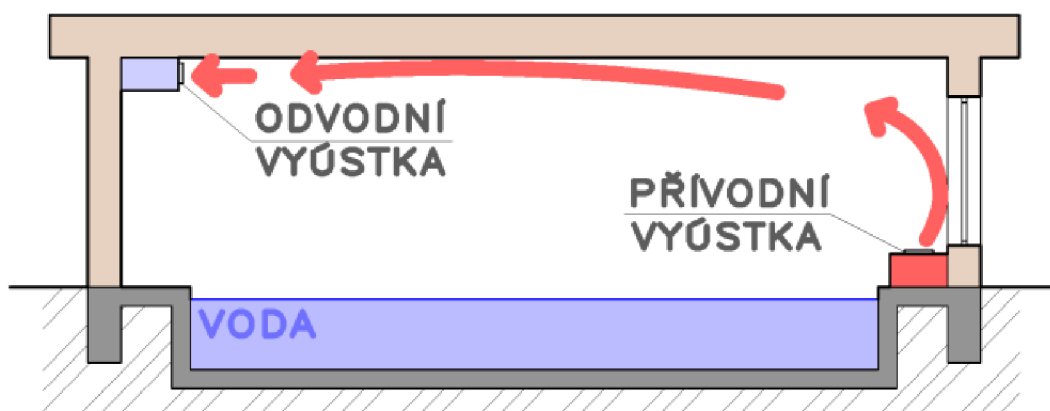
Z hlediska větrání lze rozdělit druhy bazénů do tří kategorií:

- bez hlediště
- s hledištěm
- terapeutické

Nejčastěji používané způsoby distribuce vzduchu bazénových hal:



Obr. 1.4 Příklad distribuce vzduchu v bazénové hale typu „shora-nahoru“



Obr. 1.5 Příklad distribuce vzduchu v bazénové hale typu „zdola-nahoru“

1.4 CFD SIMULACE PROUDĚNÍ VZDUCHU

Postup vytváření simulace je možné rozdělit na jednotlivé úlohy:

- pre-processing (příprava úlohy)
- processing (numerické řešení)
- post-processing (zpracování výsledků)

1.4.1 Pre-processing (příprava úlohy)

Nejdůležitějším krokem je, ujasnit si, co chci simulovat a jaké výsledky chci dosáhnout. Jestli je opravdu nutné použití CFD apod. Z přípravy pak vyplynou požadavky a limity v následujících krocích.

1.4.2 Processing (numerické řešení)

- Spuštění výpočtu

- Sledování konvergence

1.4.3 Post-processing (zpracování výsledků)

- Analýza řešení
- Test nezávislosti na objemové síti
- Vizualizace řešení

2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je na základě poznání dílčích fyzikálních jevů odehrávajících se v bazénové hale, zejména pak odparu z vodní hladiny a odvod škodlivé látky trichloraminu z oblasti nad vodní hladinou, vyvodit rozhodnutí o distribuci vzduchu v bazénové hale. Výsledky jsou prezentovány formou grafických závislostí zkoumaných veličin na měnících se okrajových podmínkách. V závislosti na rozhodujících faktorech výpočtu bude stanovena optimalizace distribuce vzduchu. V případě variantního řešení zkoumaného problému (odpar z vodní hladiny), budou porovnány výsledky různých variant principu řešení a bude nastíněna nejoptimálnější varianta.

Závěrečné ověření zjištěných údajů bude provedeno sestavením podrobného výpočtového modelu vybrané bazénové haly v programu Star CCM+. Následně budou provedeny simulace obrazů proudění za různých podmínek souvisejících s provozem vzduchotechniky.

Simulace budou řešeny pro izotermní ustálené proudění. Vnitřní tepelné zisky pohyb osob a dynamické stavy (náběh systému, výpadek systému apod.) jsou v této fázi simulací zanedbány.

Řešené simulace mají za cíl vytvořit vizualizace obrazů proudění. Tyto slouží pro posouzení rozložení, tvaru a rychlostí proudů vzduchu v místnosti (různá rychlost vzduchu nad vodní hladinou) s ohledem na ředění koncentrací trichloraminu.

Konkrétní cíle práce jsou stručně v jednotlivých bodech shrnuty níže:

- určení optimální rychlosti vzduchu nad hladinou zajišťující odvod škodlivin z prostoru bazénových hal
- optimální koncepce distribuce vzduchu zohledňující požadavek na ředění koncentrace trichloraminu a udržování nízkého odparu z vodní hladiny

3 METODY ŘEŠENÍ

3.1 Počítačové modelování

Počítačové modelování sebou nese možnost rychlého testování vlivů vybraných parametrů na chování sledované soustavy.

Zkoumání závislostí představuje jednoduchou citlivostní analýzu, která umožňuje dobře porozumět sledovaným jevům. Ve výpočtu byly zahrnuty i postupy pro určení hmotnostního toku pomocí různých metod.

3.2 Experiment

Experimentální metody představují soubor jednání a pozorování, jehož účelem je ověřit (verifikovat) nebo vyvrátit (falzifikovat) hypotézu nebo poznatek, které něco tvrdí o příčinných vztazích určitých závislostí.

„Pokus je hlavní nástroj empirického rozšiřování vědeckého poznání.“ [20]

4 VÝSLEDKY

4.1 Výsledky odparu vodní páry (výpočtem a měřením)

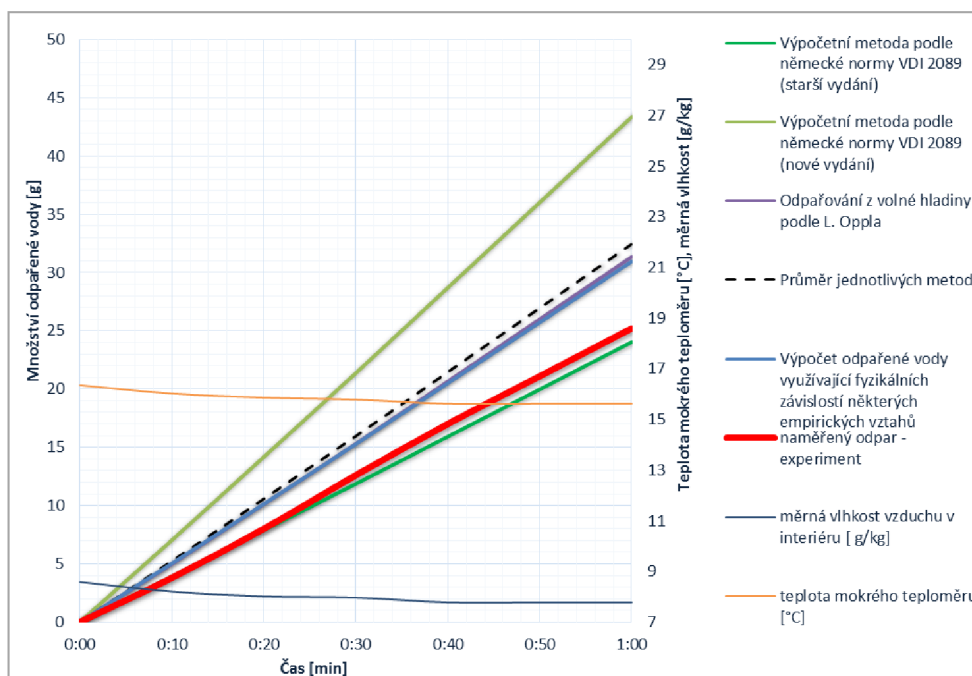
Pro ověření výpočetních vztahů na stanovení množství odpařené vodní páry bylo provedeno několik experimentů. Byla zkoumána závislost odparu na rychlosti vzduchu v mezní vrstvě pro rychlosti vzduchu 0,1 m/s, 0,3 m/s a 0,9 m/s a závislost odparu na teplotě vody.

Z okrajových podmínek nutných pro následné stanovení odparu výpočtem byla měřena teplota vzduchu v místnosti, relativní vlhkost vnitřního vzduchu v místnosti, teplota vzduchu nad hladinou, rychlost vzduchu v mezní vrstvě a množství odpařené vody.

Závislost odparu na rychlosti vzduchu v mezní vrstvě

- **měření 1 – rychlost vzduchu v mezní vrstvě $v_h = 0,1$ m/s**

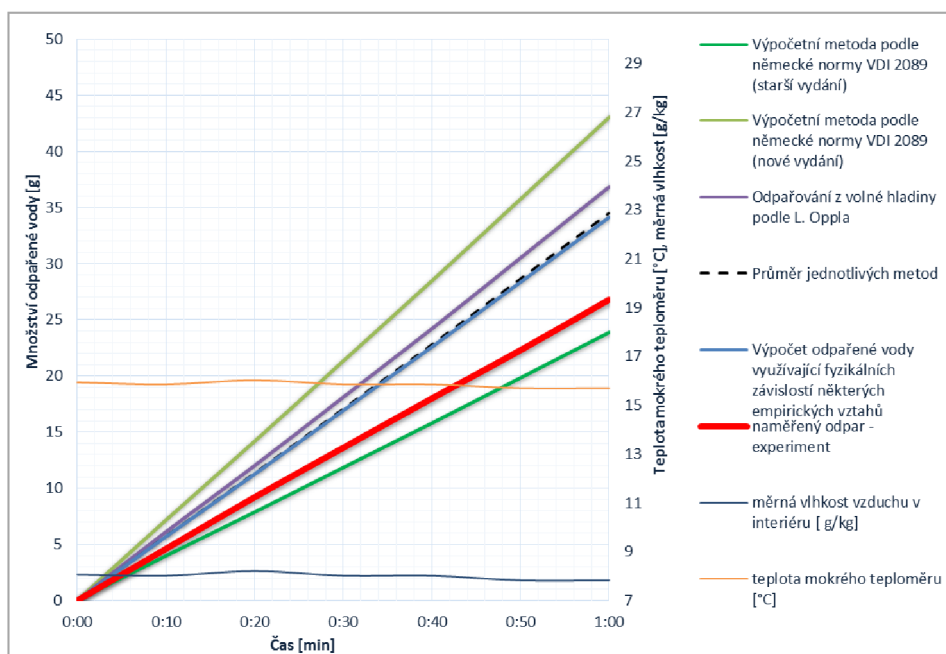
Výsledky měření a vypočtených hodnot množství odpařené vodní páry jsou prezentovány na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Výsledky měření a vypočtených hodnot množství odpařené vodní páry pro rychlost vzduchu nad hladinou vody $v_h = 0,1$ m/s

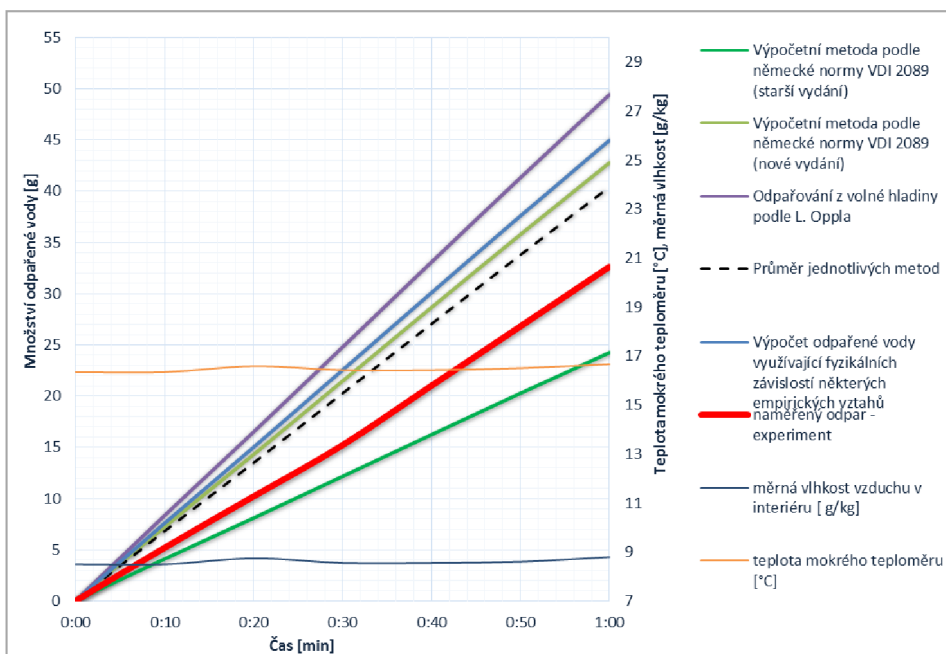
- **měření 2 – rychlost vzduchu v mezní vrstvě $v_h = 0,3$ m/s**

Výsledky měření a vypočtených hodnot množství odpařené vodní páry jsou prezentovány na obr. 4.2.



Obr. 4.2 Výsledky měření a vypočtených hodnot množství odpařené vodní páry pro rychlost vzduchu nad hladinou vody $v_h = 0,3 \text{ m/s}$

- měření 3 – rychlost vzduchu v mezní vrstvě $v_h = 0,9 \text{ m/s}$



Obr. 4.3 Výsledky měření a vypočtených hodnot množství odpařené vodní páry pro rychlost vzduchu nad hladinou vody $v_h = 0,9 \text{ m/s}$

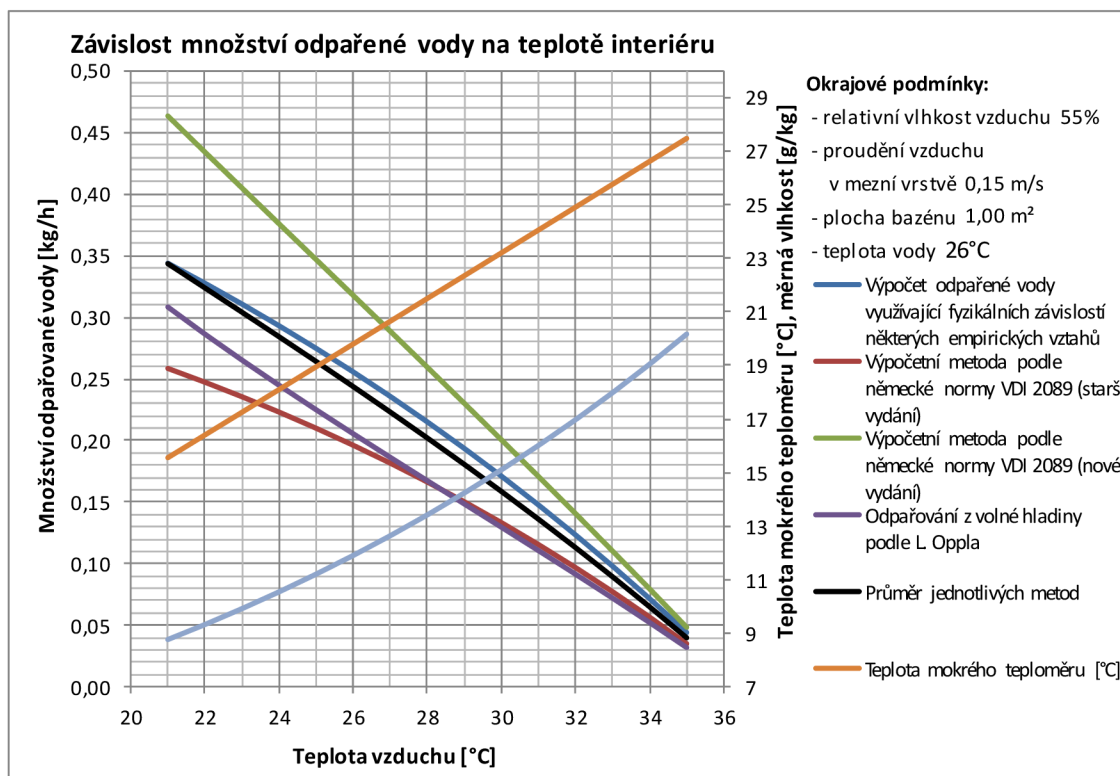
Vyhodnocení experimentálního měření odparu z vodní hladiny

Všechny uvedené metody vykazují výsledky, které se blíží naměřeným hodnotám. Jelikož každá metoda přistupuje ke změně okrajových podmínek s různou citlivostí, tak skutečně naměřeným hodnotám se proměnicí se okrajové podmínky blíží vypočtené hodnoty se střídavými výsledky. Z provedených měření je patrné, že nejčastěji se reálným výsledkům blíží metody stanovení odparu z volné hladiny dle L. Oppla a výpočet odpařené vody využívající fyzikálních závislostí některých empirických vztahů.

Dále je možno vyzorovat, že v případě německé normy VDI 2089(starší i nové vydání) se výpočet hodnoty odparu vody nemění se změnou rychlosti vzduchu v mezní vrstvě. Je to dáno tím, že součinitele přenosu hmoty jsou zde určeny pro běžné rychlosti v bazénových halách a jediná možnost, kterou výpočet nabízí, je změna tohoto součinitele v závislosti na charakteru provozu.

Závislost množství odpařené vody na teplotě interiéru

Pro modelování závislosti odparu na teplotě interiéru byly zvoleny okrajové podmínky tak, aby vyhovovaly fyziologickému vnímání tepelně vlhkostní mikroklima člověkem v uzavřeném prostoru (teplo, bez dusna). Jako relativní vlhkost interiéru byla zvolena vlhkost 55 %, proudění vzduchu nad hladinou 0,15 m/s. Teplota vody byla zvolena 26 °C. Výsledky jsou zobrazeny v grafu na obr. 4.4.



Obr. 4.4 Graf závislosti množství opařené vody na teplotě interiéru [9]

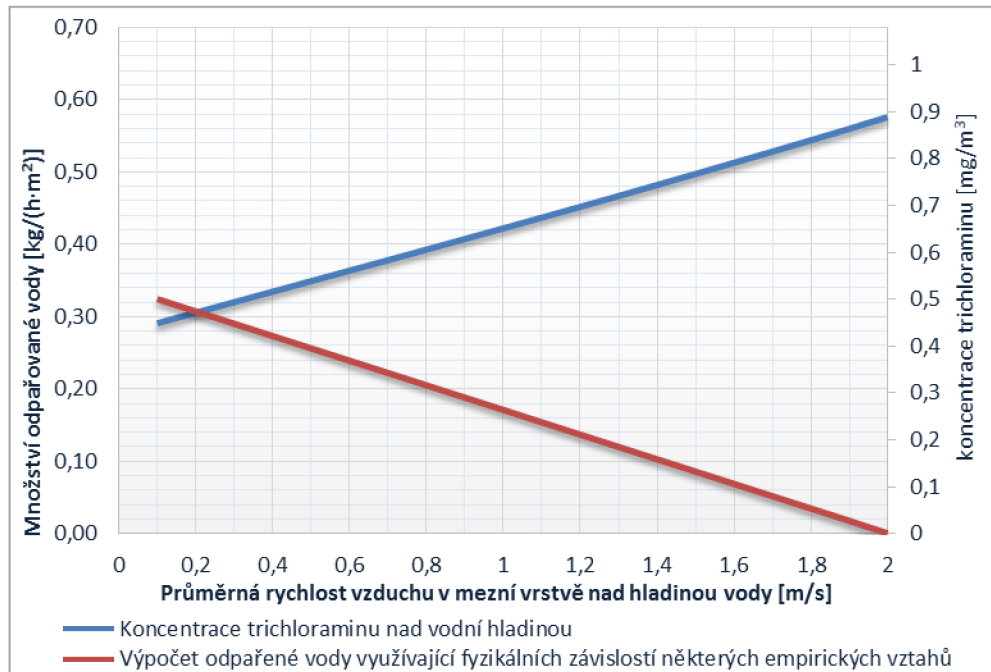
Z grafu je patrný menší odpar při vyšších teplotách vzduchu, kdy je teplota mokrého teploměru a měrná vlhkost již natolik vysoká, že difúze vodní páry neprobíhá tak intenzivně, jak při nižších teplotách, kdy je vzduch interiéru sušší a pojme větší množství vodní páry. Za předpokladu udržování konstantní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

Závislost množství odpařené vody na rychlosti vzduchu v mezní vrstvě nad vodní hladinou doplněná o koncentraci trichloraminu

Na obrázku 4.5 je uvedeno množství odpařené vodní páry v závislosti na rychlosti vzduchu v mezní vrstvě. Okrajové podmínky uvažované pro tuto závislost jsou:

- teplota vnitřního vzduchu $t_i = 30^\circ\text{C}$
- relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\varphi_i = 46\%$

- teplota vody v hlubině $t_h = 28^\circ\text{C}$
- plocha vodní hladiny $S_h = 1\text{ m}^2$



Obr. 4.5 Graf závislosti toku tepla na teplotě interiéru

Závislost rychlosti vzduchu v mezní vrstvě na odparu z vodní hladiny je důležitá zejména pro hodnocení distribuce vzduchu. Z grafu je patrné, že při zvýšení rychlosti o 0,8 m/s se odpar zvýší o 40 %.

Tyto poznatky budou dále využity pro popsání chování vzduchu nad hladinou pro různé rychlosti vzduchu v mezní vrstvě, jež se liší typem zvolené distribuce vzduchu.

4.2 Simulace obrazů proudění v softwaru STAR CCM+

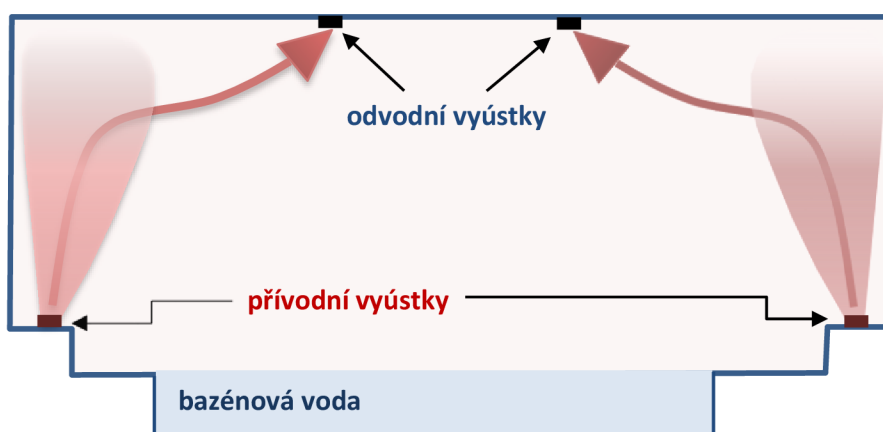
4.2.1 Geometrický model a objemová síť

Geometrický model vychází z reálných rozměrů bazénové haly na základní škole v Brně – Líšni na ulici Holzova. V modelu jsou vynechány veškeré detaily, které nemají alespoň jeden rozměr větší než 400 mm.

Volba druhu koncového elementu ovlivňuje vlastnosti primárního proudu. Především jsou to tvar proudu, dosah proudu (závisí také na výstupní

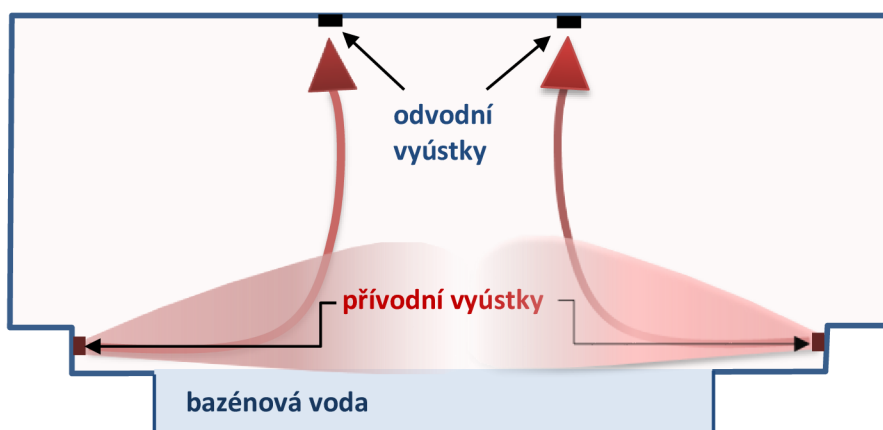
rychlosti) a indukce proudu. Umístěním a velikostí přívodního koncového elementu se tvaruje vzhled hlavního proudu vzduchu.

Pro určení vlivu koncepce distribuce vzduchu byly vytvořeny celkem tři modely. Jako rozhodující kritéria pro volbu distribuce vzduchu byl zvolen požadavek na ofukování svislých stěn bazénových hal. Tomuto požadavku byla přizpůsobena první varianta, kdy distribuce je tvořena pouze přívodními elementy, jež vyfukují vzduch do místnosti zezdola nahoru u podélných stěn konstrukce bazénu. Zjednodušené schéma této varianty je prezentováno na obr. 4.6.



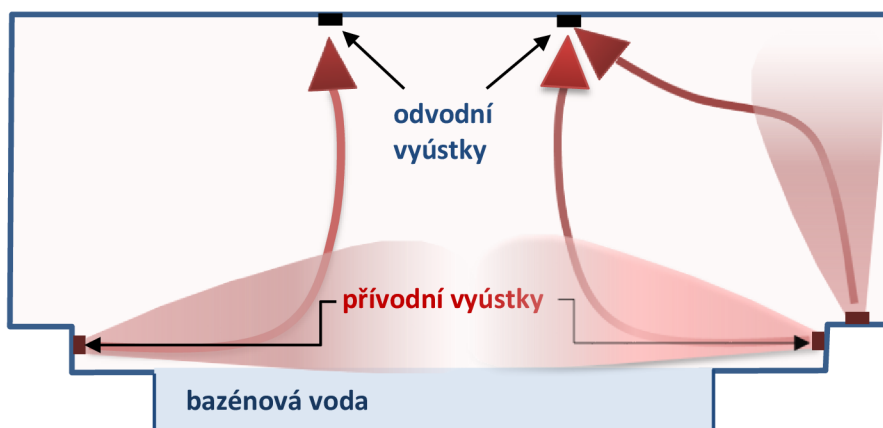
Obr. 4.6 Schéma koncepce distribuce vzduchu pro variantu 1

Dalším kritériem ovlivňující koncepci distribuce vzduchu je odvod trichloraminu a dalších škodlivých látek produkovaných z bazénové vody. V teoretické části této práce jsou uvedeny vlastnosti plynu trichloramin. Tyto vlastnosti (zejména fakt, že trichloramin má větší objemovou hustotu než vzduch), nám předurčují nejvhodnější řešení koncepce přívodních a odvodních elementů. Jedná se o případ, kdy je vzduch přiváděn nad vodní hladinu a vytlačuje trichloramin k odvodním prvkům vzduchotechniky. Tyto jsou umístěny nad zdrojem škodlivin, tedy nad vodní hladinou.



Obr. 4.7 Schéma koncepce distribuce vzduchu pro variantu 2

Třetí varianta byla volena jako kompromis mezi oběma dříve uvedenými variantami. Přivodní elementy nám vytlačují trichloramin pryč od vodní hladiny, kde se nacházejí plavci a zároveň jsou ofukovány svislé plochy, u kterých hrozí nižší teplota v zimním období a tím riziko jejich kondenzace.



Obr. 4.8 Schéma koncepce distribuce vzduchu pro variantu 3

Objemová síť

Pro vygenerování objemové sítě byl použit trimer mesher. Vlastnosti sítě jsou v tab. 4.1.

Tab. 4.1 Parametry objemové sítě základního modelu.

počet buněk	253067
počet vnitřních povrchů	754085
počet vrcholů buněk	345579
cílová velikost buňky	0,025-0,1 m

průměrná kvalita buněk	99,22 %
počet buněk s kvalitou pod 0,1	1980 = 0,78 %
face validity	1

4.2.2 Fyzika a okrajové podmínky

Nastavení fyziky a okrajových podmínek vychází z reálného stavu bazénové haly. Tyto byly nutné pro účely simulace zjednodušit.

Nastavení fyziky

- Tvorba sítě: Výsledky výpočtu silně závisí na kvalitě výpočtové sítě. Síť je tvořena rozdělením vytvořené geometrie na konečný počet buněk, neboli kontrolních objemů. V matematickém modelu je uvažovaná strukturovaná hexahedralní síť (šestistěnné buňky). Její volba byla dána tím, že je její topografie pravoúhlá, méně náročné na hardware a je tedy možno simulovat proudění v celé bazénové hale.
- Rozměrový model: Třídimenzionální model
- Časový model: Časově stacionární model
- Materiálový model: Jedno-komponentní materiálový model - plyn
- Model toku: Oddělený proud (Segregated flow)
- Model proudění: Viskózní model (Viscous) - Turbulentní proudění
- Model turbulence: k-epsilon turbulence
- Model Stavové rovnice: Ideální plyn

Okrajové podmínky

Na přívodu vzduchu přívodními výústkami byla nastavena rychlostní podmínka. Na odvodu vzduchu je nastavena záporná rychlostní podmínka. Nastavení okrajových podmínek viz tab. 4.2.

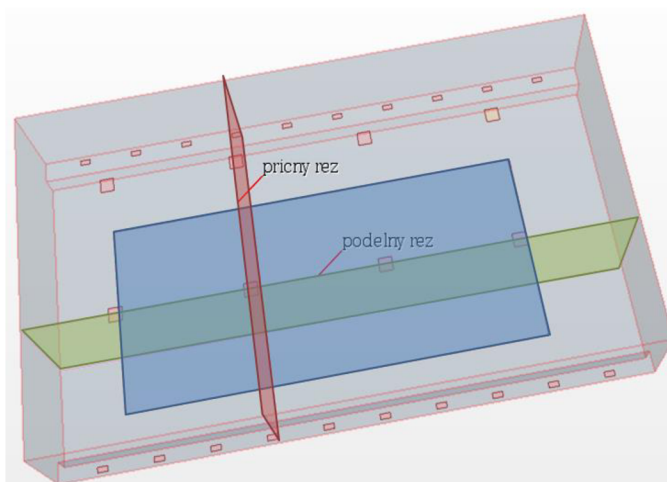
Tab. 4.2 Okrajové podmínky vstupního a výstupních elementů (uváděno na jeden element).

varianta	odvod – strop		přívod – strop		přívod – podlaha, výfuk nad hladinu		přívod – podlaha, výfuk na svislé stěny	
	V [m ³ /h]	v [m/s]	V [m ³ /h]	v [m/s]	V [m ³ /h]	v [m/s]	V [m ³ /h]	v [m/s]
1	825	0,917	-	-	-	-	330	1,528
2	825	0,917	-	-	330	1,528	-	-
3	660	0,733	460	0,51	200	0,926	50	0,347

4.3 Výsledky matematických simulací

4.3.1 Geometrie - varianta 1

Všechny výsledky, pokud není uvedeno jinak, jsou vztaženy pro roviny podélného a příčného řezu, jež jsou zobrazeny v modelu bazénové haly na obr. 4.9. Přívod vzduchu zde zajišťuje dvacet přívodních vyústek umístěných u podlahy bazénové haly s výfukem na podélné svislé konstrukce a osm odvodních vyústek situovaných na jejím stropě. Roviny podélného (podbarvená zeleně) a příčného řezu (podbarvená červeně) jsou zobrazeny na obr. 4.9. Plocha vodní hladiny je zde podbarvená modře. Poloha jednotlivých vyústek je zde zaznačena oranžovou barvou.

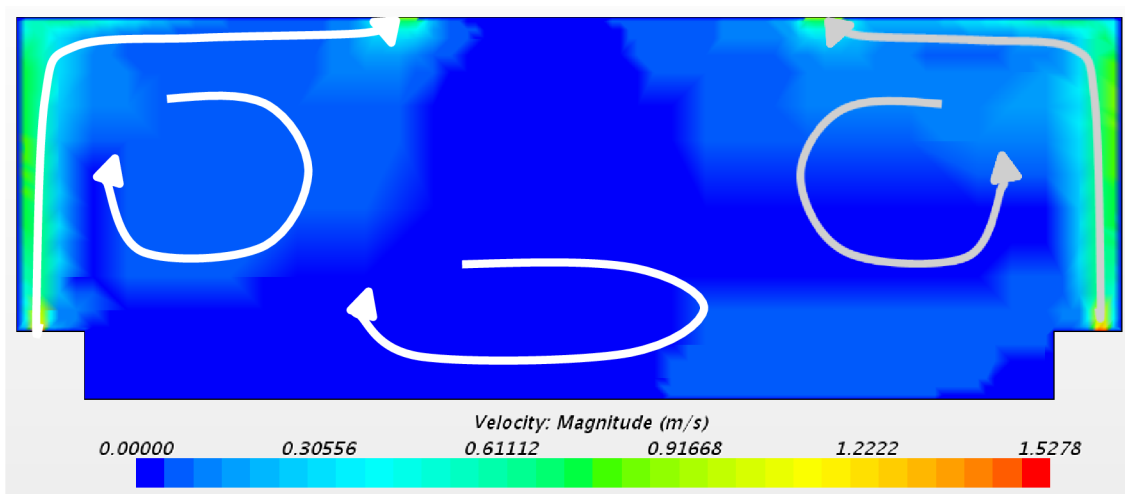


Obr. 4.9 Schéma matematického modelu bazénové haly pro variantu 1

Roviny řezu byly voleny tak, aby procházely přívodními i odvodními distribučními elementy a aby poskytovaly reprezentativní údaje o výsledcích nad vodní hladinou.

4.3.2 Rychlostní pole – varianta 1

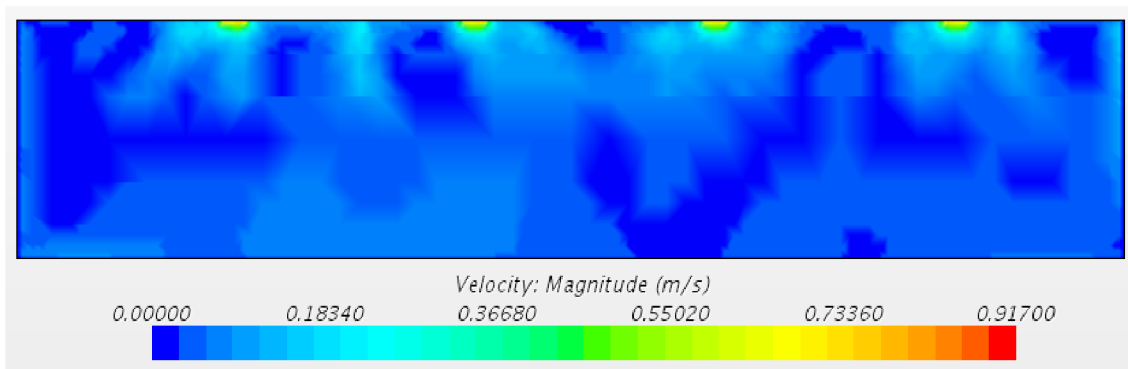
Výsledky simulací skalárního rychlostního pole jsou prezentovány pro příčný řez vedený bazénovou halou na obr. 4.10.



Obr. 4.10 Výsledné skalární rychlostní pole v příčném řezu bazénovou halou pro variantu 1

V případě výsledků skalárního vektorového pole je u varianty 1 patrná nižší rychlost vzduchu nad hladinou bazénové vody. Ta se pohybuje v rozmezí od hodnoty 0 m/s do 0,2 m/s. Charakter směru proudění a vytváření turbulencí v místnosti je na obr. 4.10 naznačen bílou barvou. Z obrazu proudění je patrné, že rychlostní pole dominuje dle očekávání u svislých konstrukcí bazénové haly, zatímco nad vodní hladinou je proudění vzduchu minimální.

Výsledky simulací skalárního rychlostního pole jsou prezentovány pro podélný řez vedený bazénovou halou na obr. 4.11.

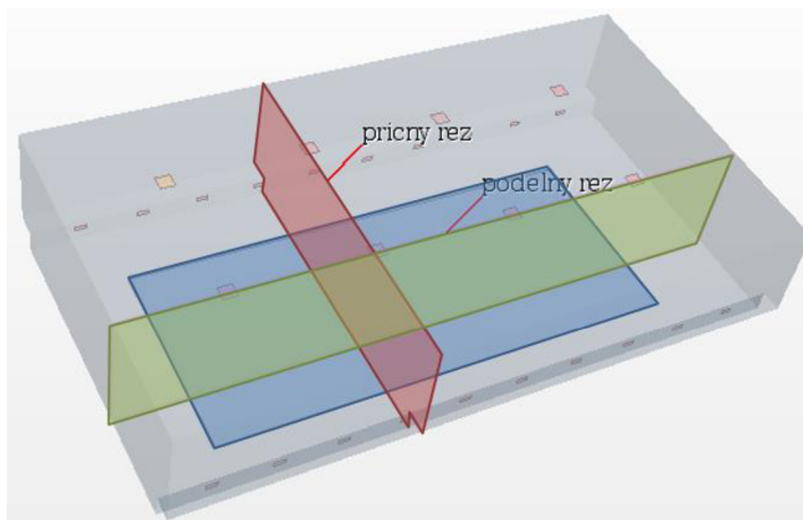


Obr. 4.11 Výsledné skalární rychlostní pole v podélném řezu bazénovou halou pro variantu 1

Tento řez nám udává představu o rovnoměrném rozložení rychlostí po délce bazénu. Na obrázku můžeme vidět, že rychlostní pole nad hladinou bazénu se pohybuje od hodnoty 0 m/s do 0,2 m/s.

4.3.3 Geometrie - varianta 2

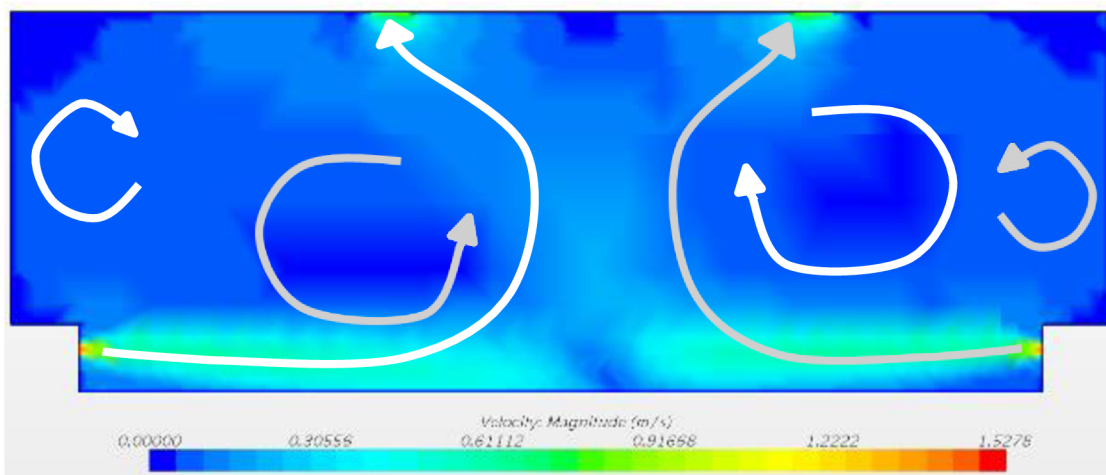
Model geometrie varianty 2 je prezentován na obr. 4.12. Přívod vzduchu zde zajišťuje dvacet přívodních vyústek rovnoměrně rozmístěných na podélných svislých konstrukcích bazénové haly a osm odvodních vyústek situovaných na jejím stropě. Všechny výsledky, jsou vztaženy pro roviny podélného (podbarvená zeleně) a příčného řezu (podbarvená červeně), jež jsou zobrazeny na obr. 4.12. Plocha vodní hladiny je zde podbarvená modře. Poloha jednotlivých vyústek je zde zaznačena oranžovou barvou.



Obr. 4.12 Schéma matematického modelu bazénové haly pro variantu 2

4.3.4 Rychlostní pole – varianta 2

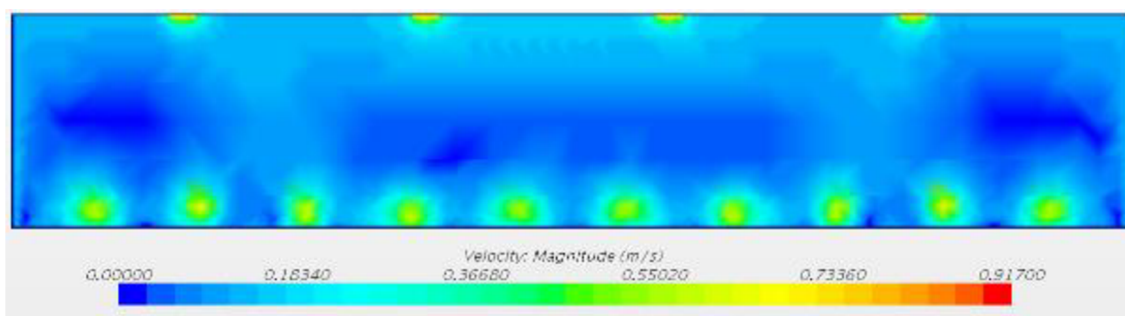
Výsledky simulací skalárního rychlostního pole jsou prezentovány pro příčný řez vedený bazénovou halou na obr. 4.13.



Obr. 4.13 Výsledné skalární rychlostní pole v příčném řezu bazénovou halou pro variantu 2

V případě výsledků skalárního vektorového pole je u varianty 2 patrná vyšší rychlost vzduchu nad hladinou bazénové vody. Ta se pohybuje v rozmezí od hodnoty 0,1 m/s do 0,7 m/s. Charakter směru proudění a vytváření turbulencí v místnosti je na obr. 4.13 naznačen bílou barvou. Ze zvolené koncepce distribuce vyplývá, že rychlostní pole bude dosahovat maximálních hodnot nad vodní hladinou. Nicméně u svislých konstrukcí je rychlost výrazně nižší a v rozích místnosti dosahuje nulových hodnot.

Výsledky simulací skalárního rychlostního pole jsou prezentovány také pro podélný řez vedený bazénovou halou na obr. 4.14.

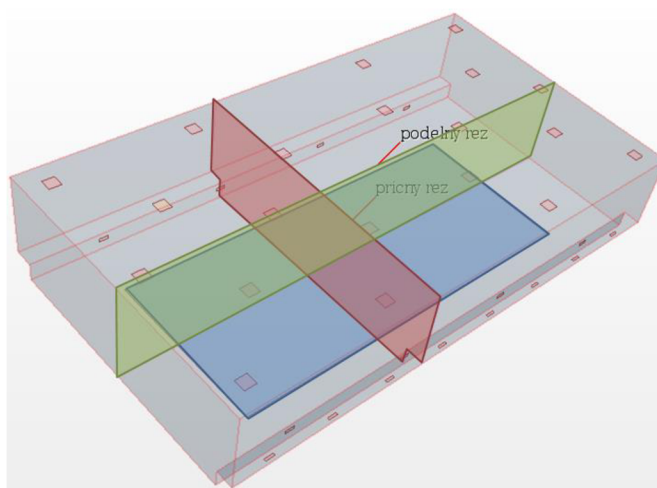


Obr. 4.14 Výsledné skalární rychlostní pole v podélném řezu bazénovou halou pro variantu 2

Z tohoto obrázku je možno pozorovat proudy vzduchu, jež přivádí do místnosti přívodní vyústky kolmo na rovinu řezu. V těchto místech nad hladinou bazénové vody dosahuje rychlost vzduchu až hodnoty 0,7 m/s. Mezi těmito proudy je rychlost vzduchu menší a nabývá hodnoty 0,1 m/s. Obraz proudění je zde bez výraznějších míst stagnace vzduchu.

4.3.5 Geometrie - varianta 3

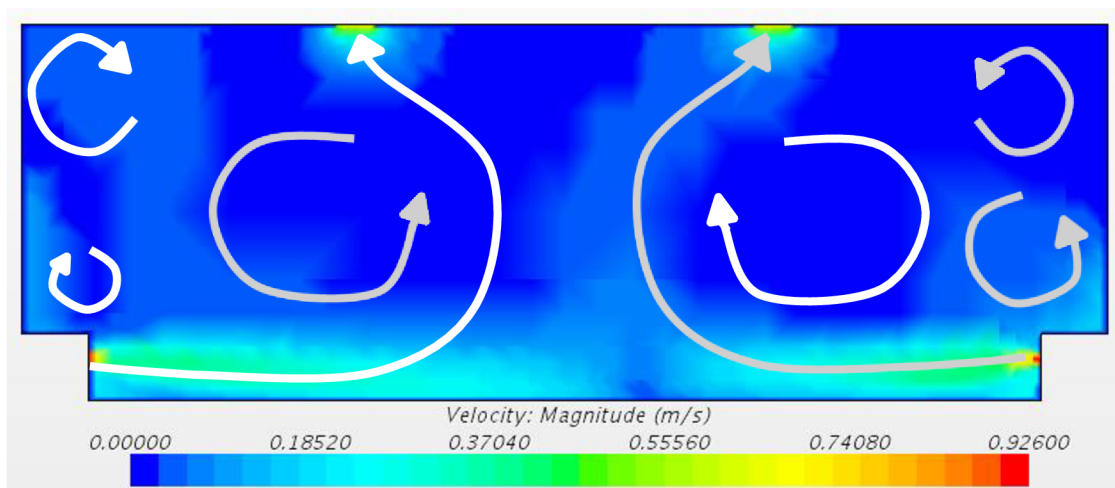
Model geometrie varianty 3 je prezentován na obr. 4.15. Přívod vzduchu zde zajišťuje osm přívodních vyústek umístěných na podélných svislých konstrukcích bazénové haly, osm přívodních vyústek umístěných u podlahy bazénové haly (tyto jsou umístěny pouze u jedné podélné stěny haly), deset přívodních vyústek a osm odvodních vyústek situovaných na jejím stropě. Všechny výsledky jsou vztaženy pro roviny podélného (podbarvená zeleně) a příčného řezu (podbarvená červeně), jež jsou zobrazeny na obr. 4.15. Plocha vodní hladiny je zde podbarvená modře. Poloha jednotlivých vyústek je zde zaznačena oranžovou barvou.



Obr. 4.15 Schéma matematického modelu bazénové haly pro variantu 3

4.3.1 Rychlostní pole – varianta 3

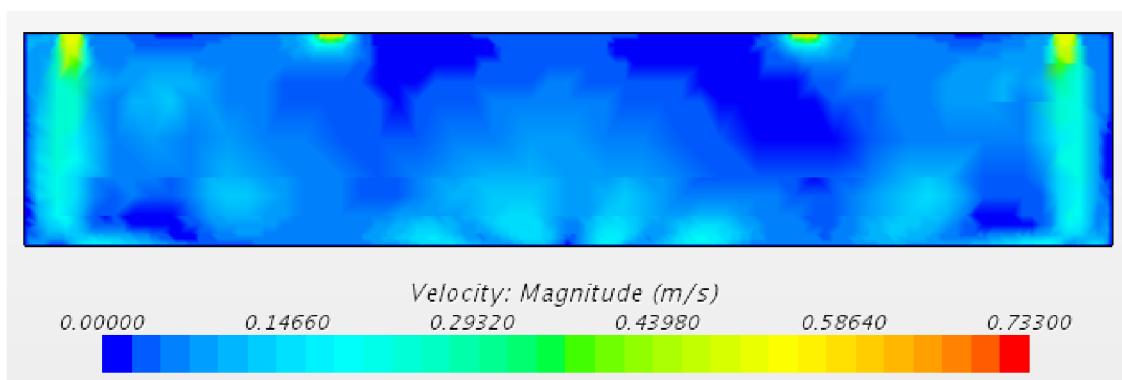
Výsledky simulací skalárního rychlostního pole jsou prezentovány pro příčný řez vedený bazénovou halou na obr. 4.16.



Obr. 4.16 Výsledné skalární rychlostní pole v příčném řezu bazénovou halou pro variantu 3

Charakter proudění je zde složitější než u předchozích variant a je zde možno vyzorovat množství sekundárních turbulencí navazujících na hlavní proud vzduchu. Směr proudění a vytváření turbulencí v místnosti je na obr. 4.16 naznačen bílou barvou. Z obrazu proudění je také patrné, že rychlostní pole dominuje nad vodní hladinou. Zde se rychlost pohybuje v intervalu od 0,15 m/s do 0,4 m/s.

Výsledky simulací skalárního rychlostního pole jsou prezentovány pro podélný řez vedený bazénovou halou na obr. 4.17.

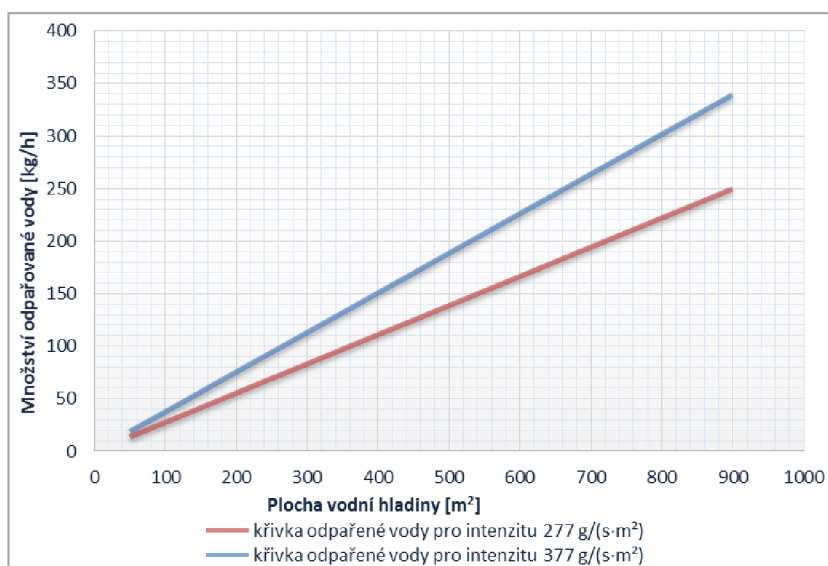


Obr. 4.17 Výsledné skalární rychlostní pole v podélném řezu bazénovou halou pro variantu 3

Rozložení rychlosti u varianty 3 je po délce vyvážené a ze všech tří variant má tato nejrovnoměrnější rozdělení rychlosti v prostoru.

4.4 Vyhodnocení a porovnání jednotlivých variant distribuce vzduchu

První dvě varianty se výrazně liší zejména ve výsledné turbulenci vzduchu nad vodní hladinou. Zatímco u varianty 1 je turbulence vzduchu nad vodní hladinou převážně nulová, u varianty 2 je tato fyzikální veličina značně vysoká. Těmto výsledkům je ekvivalentní rychlostní pole, konkrétně u varianty 1 je rychlost vzduchu nad hladinou od 0 m/s do 0,2 m/s s převažující nulovou hodnotou. Varianta 2 se pohybuje v intervalu od 0,1 m/s do 0,7 m/s. S přihlédnutím k výsledkům odparu a ředění koncentrace trichloraminu nad vodní hladinou lze konstatovat, že ani jedna z variant není pro obě dvě kritéria vhodná, pokud je budeme posuzovat současně. První varianta vyhoví na kritérium malého odparu. Pro okrajové podmínky odpovídající grafu na obr. 4.5 ($\varphi_i = 46\%$; $t_i = 30^\circ\text{C}$; $t_h = 28^\circ\text{C}$) je množství odpařené vody 277 ~ 304 g/(h·m²). Pro variantu 2 se výsledky množství odpařené vody pohybují v rozptylu 290 ~ 377 g/(h·m²). Ač se tento rozdíl zdá malý, u plošně rozměrnějších bazénů se jedná o značný rozdíl. Množství odpařené vody v závislosti na ploše vodní hladiny je pro minimální hodnotu rychlosti vzduchu u varianty 1 a maximální hodnotu rychlosti vzduchu v mezní vrstvě u varianty 2, zobrazen na obr. 4.18.



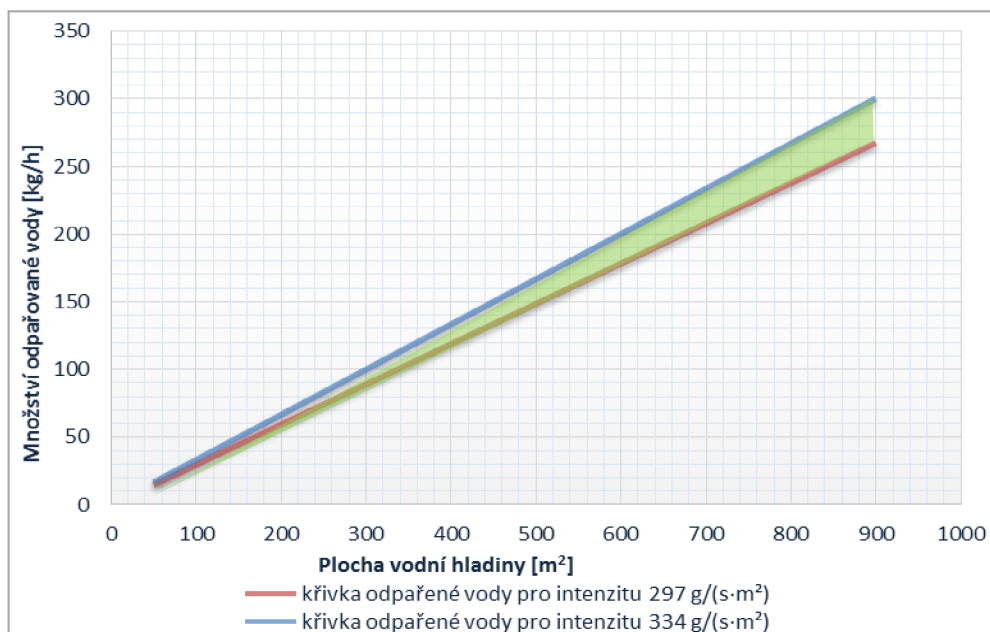
Obr. 4.18 Závislost množství odpařené vody na ploše vodní hladiny pro variantu 1 (červená křivka) a variantu 2 (modrá křivka)

Pro plochu vodní hladiny 100 m^2 je u varianty 1 množství odpařené vodní páry $27,7 \text{ kg/h}$ a u varianty 2 to je $37,7 \text{ kg/h}$. Rozdíl je tedy 10 kg/h , což tvoří téměř třetinu z hodnoty průměrného odparu obou variant.

Stáří vzduchu je analogické s polem rychlosti a vířivosti. Vyhláška č. 238/2011 Sb. [12] udává výměnu vzduchu min. 2x za hodinu (tab. Chyba! enalezen zdroj odkazů.). Tomu údaji odpovídá stáří vzduchu 1800 s . Z výsledků stáří vzduchu je vidět, že v žádném místě bazénové haly není tato hodnota překročena.

Koncepce třetí varianty byla volena s ohledem na výsledky prvních dvou tak, aby vznikla optimální rovnoměrná distribuce vzduchu, reagující na negativní výsledky varianty 1 a 2. Rychlost v mezní vrstvě se u této varianty pohybuje v rozmezí intervalu od $0,15 \text{ m/s}$ do $0,4 \text{ m/s}$.

Pro tyto rozptyly se výsledky množství odpařené vody pohybují v rozptylu $297 \sim 334 \text{ g}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Měníci se hodnotu odpařené vody v kg/h pro měnící se plochu vodní hladiny prezentují křivky na obr. 4.19.



Obr. 4.19 Závislost množství odpařené vody na ploše vodní hladiny pro variantu 3, červená křivka - rychlost vzd. v mezní vrstvě $0,15 \text{ m/s}$ a modrá křivka - rychlost vzd. v mezní vrstvě $0,4 \text{ m/s}$

Průměrná hodnota odparu z vodní hladiny se pohybuje v intervalu, který je na obr. 4.19 podbarvený zeleně.

5 ZÁVĚR

Práce poukazuje na složitost fyzikálního problému zkoumajícího tvorbu mikroklimatu v bazénových halách. Řešení odpovídající vhodným limitům mikroklimatu v těchto halách závisí na dílčích výpočtech specifických pro vyšetřovaný prostor.

Jako hlavní prvky ovlivňující návrh distribuce vzduchu pomocí vzduchotechnického systému byly určeny ředění koncentrace trichloraminu nad vodní hladinou a odpar vodní páry z odkryté vodní plochy. V hlavní části disertační práce byla věnována pozornost návrhu optimální distribuce vzduchu v závislosti na výsledcích zjištěných závislostí koncentrací trichloraminu a odparu na vybraných fyzikálních a psychrometrických veličinách.

Mezi dílčí výstupy u zkoumání odparu vody patří zjištění, že u variantního řešení odparu z vodní hladiny se jednotlivé výsledky různých metod pro jeho stanovení vzájemně značně liší. Výběr metody má tedy výrazný vliv na kvantitativní určení množství odpařené vodní páry. Například, přestože norma VDI 2089 ve svém novějším vydání nabízí nejvíce možností, jak přizpůsobit výpočet zadaným okrajovým podmínkám, v porovnání s ostatními metodami vykazuje pro navrženou situaci nejvyšší hodnoty odparu. Zatímco hodnotám blížícím se průměru všech metod se nejvíce podobají výstupy metody výpočtu fyzikální závislosti některých empirických vztahů. Za účelem vytvoření optimálního určení odpařeného množství vodní páry byla u následných hodnocení a výpočtů vybrána právě tato varianta.

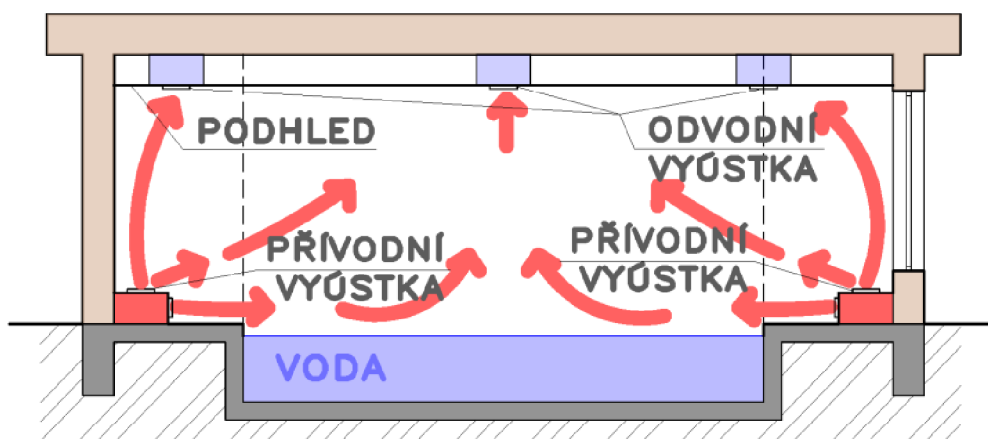
Současně používané systémy větrání a jejich distribuce vzduchu se spíše zaměřuje na sekundární projevy probíhajících fyzikálních dějů v uzavřeném prostoru bazénu. Jedná se zejména o ofukování prosklených ploch teplým vzduchem a pokrytí tepelné ztráty konstrukcí místnosti v

zimním období. Pro zajištění požadavků na udržování koncentrace trichloraminu pod horní hranicí přípustného limitu je však nutné si tuto často používanou koncepci mírně přizpůsobit a celkově se snažit řešit problém primárním přístupem, tj. eliminace vzniku kondenzace, snížením obsahu vody ve vnitřním vzduchu bazénu. V části věnující se distribuci vzduchu je reagováno na tyto poznatky a jsou zvoleny tři varianty distribuce vzduchu v bazénové hale. První varianta byla zvolena tak, aby rozmístění přívodních a odvodních prvků zajišťovalo ofukování svislých stěn bazénové haly. Druhá varianta distribuce vzduchu byla koncipována tak, aby byl zajištěn odvod trichloraminu, jež se akumuluje nad vodní hladinou. Koncepce třetí varianty byla volena s ohledem na výsledky prvních dvou tak, aby vznikla optimální rovnoměrná distribuce vzduchu.

Výsledky simulací v programu Star CCM+ ukázaly, že v případě volby distribuce dle varianty 1 dochází k dostatečnému ofukování svislých konstrukcí, nad hladinou vody však dochází ke stagnaci vzduchu nad volnou hladinou, což povede k akumulaci trichloraminu v místě pohybu plavců.

V případě výsledku varianty 2 je proudění vzduchu nad hladinou převyšující hodnotu minimální rychlosti pro odvod trichloraminu. Nicméně rychlost vzduchu u svislých konstrukcí bazénové haly je nedostatečná a její zvýšení by v případě této varianty vedlo k neúměrným odparům vodní páry z vodní hladiny.

V reakci na tyto výsledky vyplývá jako optimální řešení pouze kombinace přívodu s výfukem nad vodní hladinu a na svislé stavební konstrukce s nízkými povrchovými teplotami. Schématický je tato varianta naznačena na obr. 5.1. Přičemž rozmístění a počet vyústek ofukující volnou hladinu musí být takový, aby průměrná rychlost v mezní vrstvě nad hladinou byla $v_h = 0,2$ m/s (optimální rychlost volena dle grafu na obr. 4.5).



Obr. 5.1 Grafické zobrazení optimální varianty distribuce vzduchu v uzavřeném prostoru bazénu

Pochopením dějů probíhajících při odvodu škodlivin z vodní hladiny a navržením odpovídající distribuce vzduchu, je pak možné zajistit optimální postup při zpracování technických návrhů daných vzduchotechnických zařízení obsluhující tyto prostory.

5.1 Poznatky pro další výzkum a technickou praxi

Správný návrh systému větrání a jeho provoz výrazně ovlivňuje užitnou hodnotu objektu a jeho životnost. Návrh vzduchotechniky v bazénových halách je ztížen často opomíjeným faktorem ohrožování lidského zdraví v podobě chemikálií vznikajících jako produkty dezinfekce odpařujících se z bazénové vody. Koncepce distribuce vzduchu v bazénové hale musí být vytvořena tak, aby docházelo k neustálému ředění koncentrace trichloraminu nad vodní hladinou a aby ve výsledném obrazu proudění v bazénové hale nevznikaly místa stagnace vzduchu, tzv. stárnutí. Principiálně odpovídá optimální distribuce vzduchu variantě 3 prezentované v této práci. Jako konkrétní příklad je v části příloh uveden půdorys bazénové haly základní školy v Brně-Lišni na ulici Holzova. Tento návrh představuje reálnou distribuci vzduchotechniky v bazénové hale, jež vznikl v souladu s výstupy této práce.

V případě dalšího výzkumu je možné rozvinout téma na aquaparky a zaměřit se na vodní atrakce, jimž se tato práce věnuje pouze okrajově.

6 POUŽITÉ ZDROJE

Knihy, články v odborných časopisech a akademické práce

1. HEMZAL, K. Přenosové jevy v technice prostředí. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 100 s. ISBN 978-800-1029-244.
2. SZÉKYOVÁ, M., FERSTL, K. a NOVÝ, R. Větrání a klimatizace. 1. české vyd. Bratislava: JAGA, 2006. 359 s. ISBN 80-8076-037-3
3. JÍCHA, M. Přenos tepla a látky. 1. vyd. Brno: CERM, 2001, 160 s. ISBN 80-214-2029-4.
4. 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.
5. RUBINA, A., Vzduchotechnické systémy pro čisté prostory ve zdravotnictví - disertační práce, Brno, 2007.
6. UHER, Pavel. Modelování distribuce vzduchu v systémech vytěšňovacího větrání, Brno, 2011. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně – Fakulta stavební.
7. RUBINA, A.; TESAŘ, Z.; BLASINSKI, P., Modelování fyzikálních jevů 1 - Odpar z vodní hladiny, článek v TZB-info, ISSN 1801-4399, Topinfo s.r.o., Praha, 2011.
8. RUBINA, A.; BLASINSKI, P.; TESAŘ, Z., Metody výpočtu odparu z povrchu vodní hladiny, příspěvek na konferenci Simulace budov a techniky prostředí 7.národní konference s mezinárodní účastí, ISBN 978-80-260-3392-9, IBPSA-CZ, Praha, 2012.
9. RUBINA, A.; BLASINSKI, P.; TESAŘ, Z., Software for the Design of Swimming Pool Dehumidifiers Units, článek v Selected Scientific Papers - Journal of Civil Engineering (electronic), ISSN 1338-7278, Versita, Košice, 2013.
10. SVOBODA, Miroslav. Vnitřní prostředí bazénových hal: vzduchotechnika a rizika dráždivých plynů. ČVUT v Praze - Fakulta stavební [online]. 2006, č. 1 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z:
http://tzb.fsv.cvut.cz/files/akce/svoc2008/ukazka_prace_SVOC_2007.pdf.
11. JOCH, L.: Modelování proudění v rotačních strojích. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 55 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Normy, vyhlášky

12. Vyhláška č. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch. In: 238/2011 Sb. 2011

13. ČSN 730540-3. *Tepelná ochrana budov. Část 3: Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1994
14. VDI 2089. *Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung*. Berlin: Issue German, 2010.

Elektronické zdroje

15. Chlorid dusitý [online]. 2010, 7. 1. 2014 [cit. 2014-01-07]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Chlorid_dusit%C3%BD
16. TRICHLORAMIN V OVZDUŠÍ PLAVECKÝCH BAZÉNŮ [online]. 2012 [cit. 2014-01-07]. Dostupné z: <http://www.orlab.cz/aktuality/trichloramin-v-ovdusi-plaveckych-bazenu-i12/>
17. KRÝSL, Svatopluk a Marie ŠVECOVÁ. Trichloramin v ovzduší bazénů. [Http://www.szu.cz/](http://www.szu.cz/) [online]. 2009 [cit. 2014-08-13]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/cpl/Materily_ze_seminaru/Materialy_2009/krysl_17.9.09.ppd
18. K-omega turbulence model [online]. 2014 [cit. 2014-01-04]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/K-omega_turbulence_model
19. Vzduchotechnické systémy pro kryté bazény. *Robatherm* [online]. 2011 [cit. 2014-08-30]. Dostupné z: http://www.robatherm.com/de/system/files/robatherm_swimmingpools_cze.pdf
20. Experiment [online]. 2014 [cit. 2014-01-04]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Experiment>

Software

21. TERUNA, Technika budov, s.r.o. [počítačový program]. Ver. 1.5b. [cit. 2013-06-22]. Dostupný z: <http://www.technikabudov.cz/ASP/Downloads/setup.zip>
22. Star-CCM+, CD-adapco [počítačový program] Version 9.02.005 [cit. 2013-08-02]. Dostupný z: <http://www.cd-adapco.com/products/star-ccm%C2%AE#>

ŽIVOTOPIS

Osobní a kontaktní údaje:

Jméno: Ing. Petr Blasinski
Datum narození: 21. 05. 1987
Rodinný stav: svobodný
Adresa: Frýdecká 189, 737 01 Český Těšín
Telefon: +420 608 850 561
E-mail: blasinskip@gmail.com
Občanství: ČR

Dosažené vzdělání:

2012 – absolvent magisterského studijního programu Pozemní stavitelství na VUT v Brně, Fakultě stavební (prezentace a obhajoba)
2010 – absolvent bakalářského studijního programu Pozemní stavitelství na VUT v Brně, Fakultě stavební (prezentace a obhajoba))

Zaměstnání:

2014 – dosud
Ústav technických zařízení budov - Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební – odborný asistent, technický pracovník

Věda a výzkum:

1.1.2012-31.12.2012 – **Název projektu:**
Systémy techniky prostředí pro trvale udržitelnou
výstavbu
(FAST-S-12-17)

Jiné:

- spoluautor speciálního software pro výpočet bazénových jednotek VZT
- matematické řešení přenosu hmoty v systémech vzduchotechniky a chlazení
- řidičský průkaz skupiny B
- držitel ocenění děkana Fakulty stavební VUT v Brně za významnou tvůrčí a publikační činnost ve prospěch Fakulty- Signum prosperitatis, 2013

více na: <http://www.fce.vutbr.cz/struktura/zamestnanec.asp?id=blasinski.p>

ABSTRAKT

Náplní práce je řešení distribuce vzduchu v bazénových halách s ohledem na dominantní vlivy vytvářející mikroklima v těchto prostorách. Výstupem práce jsou pak grafy závislostí odparu vody a chemikálií na měnících se okrajových podmínkách. Dále pak návrh optimální distribuce vzduchu zohledňující rozhodující specifické vlivy bazénových hal.

ABSTRACT

The work deals with solution of air distribution in swimming pool halls with regard to the dominant influences, which are creating a microclimate in these areas. Results of this work are graphs with evaporation of water and chemicals dependents on changing boundary conditions. There is followed with optimal design of air distribution, which is reflecting the critical specific effects of swimming pool halls.

KLÍČOVÁ SLOVA

klimatizace, vlhkostní bilance, proudění vzduchu, vlhkost vzduchu, úpravy vzduchu, trichloramin, CFD

KEY WORDS

air conditioning, humidity balance, air flow, humidity, air treatment, trichloramine, CFD