

Ing. Václav ŠIMÁNEK
C-KLIMA s.r.o.

Vzduchotechnika v Aquaparku

Air-conditioning in Aquaparks

Recenzent
Ing. Jiří Fryba

V článku jsou uvedeny konkrétní výsledky získané měřením vnitřních parametrů mikroklimatu v již provozovaných aquaparcích a současně jsou analyzovány příčiny problémů zjištěných při provozu vzduchotechnického zařízení.

Klíčová slova: aquapark, relativní vlhkost, trichloramin, distribuce vzduchu

The author shows specific results obtained during measurements of the inside micro-climate parameters in already operated aqua-parks and he concurrently analyzes reasons of problems found out during the operation of the HVAC equipment, in his article.

Key words: aquapark (indoor pools and children swimming facilities), relative humidity tri-chloroamine, air distribution

Výstavba a provoz bazénů a aquaparků v České republice přináší řadu poznatků jak z projekční, tak z provozní činnosti. Vzájemné sdílení těchto poznatků může alespoň částečně kompenzovat legislativu a normy dosud chybějící v ČR. V současné době je v ČR provozováno okolo čtyřiceti aquaparků a další obdobné investice jsou v přípravě.

Zkušenosti získané při projekci klasických plaveckých bazénů jsou využitelné pouze částečně, v projektech vzduchotechniky určených pro aquaparky je navíc nutné vyřešit větrání v objektech nejrozmanitějších tvarů, s vodními atrakcemi, které mají vyšší teplotu vody i vyšší číselní vodní hladiny než plavecký bazén. Projektovaná denní návštěvní kapacita aquaparků se pohybuje od několika set až po několik tisíc návštěvníků, např. německý Tropical Islands má kapacitu 6600 osob/den a je otevřen 24 hodin denně.

Mezi vodní atrakce můžeme zahrnout tobogán, skluzavku, spacebowl, divokou řeku, vodní dělo, chrliče, dnovou masáž, stěnové masážní trysky, vzduchové lavice, whirlpool, lezeckou síť, vodní hřib atd. Každé toto zařízení je specifické v produkci vodní páry do vnitřního prostoru.

Atrakce už nejsou pouze prostředkem pro klidnou relaxaci, přibývá zájem o aktivity, které vyžadují od návštěvníků sportovní zdatnost. Určitá rizikovitost některých atrakcí i nebezpečí vzniku úrazů zvyšují počet pracovníků – plavčíků kontrolujících chování návštěvníků. Pro tyto pracovníky je vnitřní prostor aquaparku trvalým pracovištěm.

V příspěvku jsou uvedeny zkušenosti získané z projekční činnosti i z kontrolních měření v provozovaných zařízeních, některé výsledky byly získané měřeními při plném návštěvníckém zatížení.

PRODUKCE VLHKOSTI

Klíčovým parametrem pro návrh větrání je produkce vlhkosti uvnitř haly. Výpočty vlhkostního toku vycházejí především z velikosti vodní hladiny [m²]. Dále je nutné respektovat i teplotu vody a intenzitu víření vody. Obvyklá návrhová teplota vody je pro plavecké bazény 24 °C až 26 °C, rekreační 28 °C, dětské 30 °C, masážní 32 °C, whirlpool 35 °C atd. Vodní nádrže pod dojezdy skluzavek v důsledku rozstříku zatěžují prostor vyšším vlhkostním tokem než klidná hladina oddechového bazénu. Obdobně je nutné posuzovat různé vířivky, vlnobíjí, vodopády apod.

Poměrně vhodnou projekční pomůckou pro stanovení vlhkostního toku je v německé normě DIN 2089 [2] uvedený diagram č. 1. V závislosti na teplotě vody, teplotě vzduchu a intenzitě víření hladiny (výběr ze šesti možností) lze odečíst vlhkostní tok do ovzduší. Do hmotnostní bilance zatěžující vnitřní prostor haly je ale nutné zahrnout i další zdroje páry.

Častým zdrojem vlhkosti je odpar z podlahy, na které se voda vyskytuje při úklidu, při rozstříku způsobeném dopady plavců do vody a při odkapávání



Obr. 1 Tobogán jako chladič přiváděného vzduchu

z těl plavců. Intenzita vlhkostního toku odparem z podlahy se výrazně zvyšuje v prostorech s instalovaným podlahovým vytápěním.

Velkým rizikem při výpočtu je zanedbání vlivu vzduchu přiváděného do haly tubusem tobogánu. Do nástupního prostoru, často navrženého jako samostatná věž, je přiváděn upravený vzduch. Tento vzduch přetlakem proudí tubusem tobogánu a je vyfukován do haly v prostoru dojezdu plavců. Vzhledem k délkám tobogánů (často i více než 100 m) dochází k intenzivnímu navlhčení procházejícího vzduchu až k mezi sytosti. Vzduch vystupující z tubusu tobogánu potom svojí vlhkostí zatěžuje vnitřní prostor haly. Většinou však v projektu autor tuto skutečnost do kalkulace vlhkostního toku nezahrnuje, ale naopak, uvažuje s tímto vzduchem ve výpočtech jako s množstvím vhodným k provětrání celé haly. Význam tohoto jevu lze dokumentovat na výsledcích získaných konkrétním měřením při návštěvníckém provozu: do nástupního prostoru dvou tobogánů, průměr 1,2 m, délka 1 × 108 m, 1 × 99 m, je přiváděn upravený vzduch 7825 m³/h, o parametrech $t = 28\text{ °C}$, $rh = 51\%$, v době měření byla teplota venkovního vzduchu 29,2 °C. Interval nástupu plavců do tobogánů jsou řízeny semaforem, na pořadí se čeká. V profilu tobogánu v místě dojezdu byly naměřeny tyto hodnoty vystupujícího vzduchu: $t = 29,1\text{ °C}$, $rh = 89,5\%$. Z uvedených hodnot vyplývá, že provoz dvou tobogánů zatěžuje prostor haly produkcí páry o vydatnosti 99 kg/h.

Laminátové, tepelně neizolované tobogány jsou v převážné většině případů vedeny venkovním prostorem, a jejich povrch (např. součet povr-



Obr. 2 Nerezové potrubí pro odvod vzduchu je proděravělé intenzivní korozí

chů obou výše uvedených tobogánů má 780 m²) je poměrně výkonným výměníkem tepla ovlivňující vnitřní klima haly v zimní (obr. 1) i v letní sezóně.

VÝSKYT TRICHLORAMINU V OVZDUŠÍ

Ovzduší aquaparků je zatěžováno nejenom vodní parou, ale i vedlejšími produkty dezinfekce vody, z nichž je dominantní především trichloramin (NCl₃). Světová zdravotnická organizace zařadila v roce 2006 trichloramin vyskytující se ve vzduchu krytých bazénů mezi sledované ukazatele a doporučuje jeho limitní hodnotu 0,5 mg/m³ [1].

Trichloramin dráždí a poškozuje sliznice horních dýchacích cest, provokuje vznik astmatických potíží a vyvolává alergické reakce zejména u dětí. Zaměstnanci pracující v místech aquaparku s vyšší koncentrací trichloraminu uvádějí jako subjektivní potíže nejčastěji dušnost, pálení očí a sliznic, vysokou únavu nepřiměřenou pracovní zátěží, pocit tísně atd.

Trichloramin vzniká reakcí močoviny s chlorem (chlornanem) a je špatně rozpustný ve vodě, takže se snadno dostává do vzduchu a při nedostatečné intenzitě větrání mohou jeho koncentrace dosáhnout nadlimitních hodnot. Rozšiřuje se názor, že měření koncentrací trichloraminu v ovzduší krytých bazénů by se mělo stát součástí posouzení stavu vzduchotechniky [1].

Výskyt sloučenin chloru v ovzduší bazénů podporuje korozi kovových předmětů. Na obr. 2 je spiro potrubí vyrobené z korozivzdorné oceli AISI 316 L o tloušťce 1 mm (odpovídá materiálu 17 350 Cr-Ni-Mo) určené pro odvod vzduch z prostoru whirlpoolu. Potrubí je zevnitř napadeno intenzivní korozí, která způsobuje jeho proděravění a vytékání kondenzátu. Z materiálového složení použitého plechu usoudil znalec na nízký obsah molybdenu, pro tyto účely je vhodnější použít materiály se zvýšeným obsahem molybdenu (*Mo* větší než 3 %), případně materiály z plastu.

DISTRIBUCE VZDUCHU

Dominantní snahou projektanta je zamezit kondenzaci vlhkosti na plochách, jejichž teplota je blízká teplotě rosného bodu. Stavební konstrukce objektu by měla být navržena tak, aby těchto rizikových ploch bylo co nejméně. Nejcitlivějším stavebním prvkem jsou okna. Účinnou prevencí zabraňující kondenzaci vlhkosti na oknech je intenzivní ofukování zasklených ploch přiváděným upraveným vzduchem.

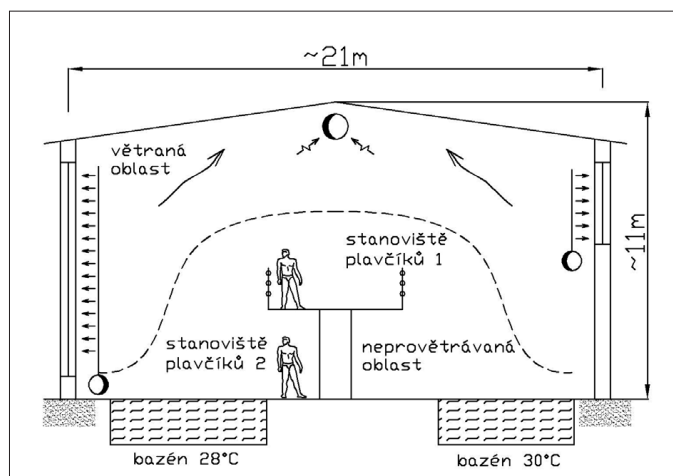


Obr. 3 Vzduch je na vysoká okna úspěšně přiváděn z vertikálního potrubí

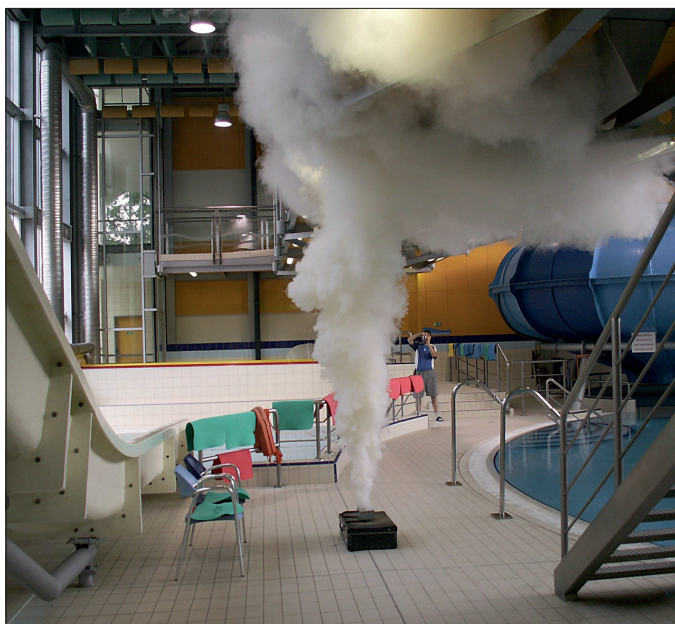
Zdařilý návrh přívodu vzduchu na okna vysoká 8 m je na obr. 3. Kouřová zkouška prokazuje oplach celé plochy zasklení, zkušenosti provozovatele potvrzují, že v zimním období nedochází ke tvorbě kondenzátu.

U malých domovních bazénů vestavěných do rodinných domů vyhovuje přívod vzduchu směřovat pouze na okna a odvod umístit nad vodní plochu nebo k protilehlé stěně. Jednoduchá aplikace tohoto modelu distribuce vzduchu na rozlehlé haly vede k velkým omylům a závadám. Haly aquaparků mají velké rozměry, protilehlé stěny jsou vzdáleny od sebe několik desítek metrů a vzduch přiváděný pouze na okna se neúčastní výměny ve střední části haly. Vzduch po vyfouknutí na okna stoupá pod střechem haly, kde je odsáván odvěděcím potrubím (obr. 4). Střed haly zůstává nevětrán a je zatížen produkcí vlhkosti, pachů a škodlivin z provozu bazénů a atrakcí. Často bývá tento středový prostor určen a využíván jako stanoviště pro plavčíky dohlížející na návštěvníkový provoz.

Na obr. 5 je kouřová zkouška dokumentující, že v tomto prostoru je i při plném výkonu instalovaného větracího zařízení minimální proudění vzduchu. Do haly bylo v době měření přiváděno 32 271 m³/h upraveného vzduchu, intenzita výměny vzduchu v hale byla 3,2 h⁻¹. V místě pobytu plavčíků



Obr. 4 Vzduch přiváděný pouze na okna nevětrává vnitřní oblasti aquaparku určené pro pobyt lidí



Obr. 5 Znárodnění chybějícího proudění vzduchu uvnitř aquaparku, zkušební kouř není rozptylován, ale stoupá vertikálně pod lávkou, kterou obtéká

vykazují měření vlhkosti a trichloraminu hodnoty výrazně překračující povolené limity. Při přívodu pouze čerstvého vzduchu má koncentrace trichloraminu hodnotu $0,94 \text{ mg/m}^3$, relativní vlhkost $77,2 \%$, při snížení podílu čerstvého vzduchu v přiváděném na 25% stoupla koncentrace trichloraminu na $1,56 \text{ mg/m}^3$, relativní vlhkost na $80,4 \%$. Je zřejmé, že toto místo nevyhovuje pro pobyt lidí.

Vhodně navržený obraz proudění by měl z prostorů pobytu lidí vytěšňovat škodliviny (nebo snižovat jejich koncentraci) a odvádět tyto nežádoucí produkty co nejlíže u jejich zdroje. Z tohoto pohledu je např. výhodné situovat odvody nad vodní plochy. Příklad jednoho nápaditého řešení odvodu vzduchu je na obr. 6.

Návrh vzduchotechniky pro provoz aquaparku většinou vychází z celkové produkce vodní páry a z předpokladu, že se na jejím odvodu podílí veškeré množství přiváděného vzduchu. V projekčních výpočtech je respektována zadaná limitní hodnota relativní vlhkosti, ale výsledky měření v reálném provozu prokazují nadlimitní hodnoty v místech pobytu lidí. Nejčastější příčinou tohoto jevu je, že vzduch směřovaný na okna se již nepodílí na celkové výměně vzduchu v obestavěném prostoru aquaparku.

VZDUCHOTECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ

Při návrhu vzduchotechnického zařízení může být konečný výsledek výrazně též ovlivněn zanedbáním zdánlivých detailů. Na obr. 7 jsou dva kruhové výfukové konce pro odvod odpadního vzduchu a vedle nich je nasávací šachta pro přívod venkovního vzduchu do vzduchotechnických jednotek. Podezření na směšování odpadního vzduchu s nasávaným venkovním vzduchem potvrdily kouřové zkoušky. Směšování výrazně podpořila orientace lamel na výfukových koncích, vystupující vzduch byl lamelami směřován k zemi.

Následné měření teplot, vlhkostí a množství přiváděného, odpadního a venkovního vzduchu přineslo zajímavé výsledky. Nasávaný venkovní vzduch je zatížen zvlhčením o cca $1,5$ až 2 g vody/kg suchého vzduchu. Při nasávaném množství vzduchu $32\,271 \text{ m}^3/\text{h}$ je zpětně přiváděno nasávaným vzduchem 58 až 77 kg/h vody. Tento vodní obsah zatěžuje vnitřní prostor a zvyšuje vnitřní relativní vlhkost, současně ale dochází i k nežádoucímu zpětnému transportu trichloraminu a pachů.



Obr. 6 Odvod vzduchu umístěný uprostřed vodní hladiny odvádí škodliviny přímo u zdroje

Je nutné se rovněž zmínit o způsobu provozu větracího zařízení. V mnoha případech je výkon a technické vybavení větracího zařízení důsledkem kompromisu mezi požadavkem projektanta a investičními možnostmi. Zařízení bez odvlhčování nemohou v letním období garantovat požadavky na nastavené limity vlhkosti vzduchu ve vnitřním prostředí a v nově připravovaných projektech se již téměř nenavrhují.

Výběr zařízení s nízkou účinností rekuperace tepla sice investorovi usnadní dodržet investiční limit, ale po první zimě provozovatel zjišťuje, že provozní náklady na ohřev vzduchu jsou rozhodujícím ukazatelem, který určuje ekonomiku provozu. Provozovatel často volí cestu snížení nákladů



Obr. 7 Dva výfuky odpadního vzduchu nevhodné konstrukce v těsné blízkosti nasávací šachty negativně ovlivňují vnitřní prostředí celého aquaparku

tak, že zvýší podíl recirkulačního vzduchu, tzn. omezí množství přiváděného venkovního vzduchu.

Výsledkem takto nastaveného provozního režimu je zhoršení podmínek uvnitř haly vlivem zvýšené relativní vlhkosti i vlivem zvýšené koncentrace trichloraminu a recirkulovaných pachů.

Kontakt na autora: vaclav.simanek@c-klima.cz

Použité zdroje :

- [1] Černý, I., Dráždivé plyny v ovzduší bazénů – mýty a skutečnost. Sborník odborné konference. Praha, SZÚ, 29. 3. 2007
- [2] DIN 2089 Wärme, Raumlufttechnik, Wasserver und entsorgung in Hallen und Freibädern. Hallenbäder, 1994
- [3] Šimánek, V., Vzduchotechnika v bazénech a minimalizace obtížných pachů. Sborník odborné konference. Praha, SZÚ, 29. 3. 2007

Poznámka recenzenta:

Autor příspěvku podrobně analyzuje vhodnost používání základních variant řešení konfigurace vzduchotechnických zařízení stavebních komplexů aquaparků s kritickým posouzením výsledků jejich funkce. Na konkrétních případech poukazuje na některá vhodná i nevhodná projekční řešení v kontextu s naměřenými hodnotami hygienických ukazatelů vnitřního prostředí v těchto objektech. Připomíná i některé rizikové momenty, které navrhování vzduchotechnických zařízení a jejich provoz v aquaparcích přinášejí. Článek rovněž zdůrazňuje specifčnost problematiky popisovaného mikroklimatu, k jehož umělému vytváření nelze využívat běžných projektových postupů. Uváděné skutečnosti a jejich posouzení mají zobecňující charakter, což je velmi přínosné jak pro projektanty, tak i pro dodavatele a provozovatele vzduchotechnických zařízení v aquaparcích zejména s ohledem na rostoucí počty těchto komplexů po celém území České republiky. ■

* Operování v čistém vzduchu

Současný stav techniky budov ve zdravotnictví je poznamenán nejasnostmi a předpoklady. Je zde napětí mezi nedostatečnými znalostmi o působení vzduchotechnických ochranných řešení – s jejich investičními a provozními náklady na jedné straně a medicínských požadavků na druhé straně. Ve Švýcarsku se v příštích letech bude více než 600 operačních sálů sanovat. Ukazuje se, že náklady, vynaložené na snížení počtu částic ve vnitřním ovzduší jsou příliš vysoké. Při optimálním využití vzduchotechniky by náklady mohly ročně poklesnout o 15 milionů švýcarských franků.

Nedávno představil tým prof. Kurta Hildebranda z Vysoké školy techniky a architektury v Lucernu pokračující výzkumný projekt „Technika budov ve zdravotnictví“. První část projektu, řešená v letech 2005 až 2008 nákladem 1,8 mil. CHF se týkala větrání operačních sálů. V následné části projektu, jehož náklady jsou 1,9 mil. CHF na tři roky, se uskuteční měření ve vzorovém operačním sále na vysoké škole v Lucernu. Budou zkoumány vlivy medicínského vybavení a operačního týmu na teplotu a proudění vzduchu (vytlačovací větrání/směšovací větrání) v oblasti operačního pole. Operace musí probíhat v prostředí zbaveném částic. Jelikož je na operační sál přiváděn čistý vzduch, jsou zdroje částic a zárodků uvnitř. Je to operační tým, ošetřující personál a pacient sám.

V dosavadních řešeních tento komplexní celistvý pohled na problematiku chyběl. Cílem je také účinně ochránit operační tým před parami anestetik. Dále by měl být vyvinut standardní zkušební postup ke zjištění účinnosti mobilních a decentrálních přístrojů k filtraci oběhového vzduchu. Třetí hlavní směr se týká zlepšení přesnosti výpočtu a uživatelské přívětivosti CFD programu k simulaci proudění vzduchu na operačních sálech. Tento nástroj bude použit u novostaveb i při sanaci stávajících operačních sálů neobvyklých rozměrů a nevhodného umístění v budově k dosažení vyšší projektové spolehlivosti.

Zdroj CCI, 2010

(Laj)