

Ing. Petr ANDRES  
Flair a.s. Praha

# Zimní stadiony z hlediska odvodu vlhkosti

## Winter Stadiums from the Point of View of Humidity Removal

Recenzent

Ing. Marcel Kadlec

Autor seznámuje s obtížně řešitelným problémem kondenzace vlhkosti u malých a středních zimních stadionů. Osvětuje hlavní zdroje vlhkosti a jejich nepříznivé účinky při kondenzaci. Zároveň seznámuje čtenáře s možností vysouzení větracího vzduchu při použití adsorpčních odvlhčovačů. Závěrem upozorňuje na možnost vhodného použití adsorpčního odvlhčování v dalších průmyslových odvětvích.

**Klíčová slova:** zimní stadiony, odvlhčování, adsorpční odvlhčovače

The author makes a presentation of the hardly solvable problem of humidity condensation at small and medium winter stadia. He clears up the main humidity sources and their unfavourable effects at condensation. At the same time he makes the reader acquainted with the possibility of ventilation air drying while using adsorption dehumidifiers. In conclusion he draws the attention to the possibility of suitable adsorption dehumidification use at further industrial branches.

**Key words:** winter stadia, dehumidification, adsorption dehumidifiers

Polemizovat o popularitě ledního hokeje v zemi šampionů, která patří tračně ke světové špičce snad od dob, kdy kanadský lední hokej zakotvil i na Starém kontinentě a kde politický podtext některých mezistátních utkání budil ze spaní funkcionáře vládnoucí garnitury, by bylo skutečným nošením dříví do lesa. Vlna popularity sebou nese zájem médií a z masového sportu se po celém světě stává lukrativní byznys, který otevírá investiční možnosti do zázemí sportovního dění. Kromě špičkově vybavených hal pro zápasy nejvyšší kategorie dochází k rozvoji kluzišť pro přípravu hráčů a pro nižší a amatérské soutěže. Nesmíme samozřejmě zapomínat ani na další sporty na ledové ploše, jako jsou krasobruslení, stále populárnější curling a dosud opomíjené rychlobruslení.

Podíváme-li se na kalendář hokejových soutěží, je dnes hokej prakticky celoročním sportem, kdy příprava na další sezónu téměř navazuje jen s krátkou přestávkou na vrchol mezinárodních soutěží, které zasahují do pozdního jara. Prodloužená provozní sezóna ledových ploch a výstavba menších hal sebou nesou i specifické problémy. Bohužel u nás stále neexistuje legislativa, která by řešila větrání ledových ploch, a tak nezbývá než vycházet ze zkušeností projektantů a provozovatelů a z doporučení výrobčů odvlhčovacích zařízení. Přejímání zahraničních norem může být inspirujícím vodítka, je však třeba zvážit místní podmínky a odlišné klimatické stavby.

Např. ANSI/ASHRAE Standard 62, který pro zimní stadiony stanoví dávku čerstvého vzduchu v přepočtu přibližně  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  na osobu nebo cca  $9 \text{ m}^3/\text{h}$  na  $1 \text{ m}^2$  ledové plochy. Při obvyklých rozměrech kluziště  $60 \times 30 \text{ m}$  by bylo podle této normy do každé haly nutno přivést vzhledem k ploše ledu bez ohledu na počet diváků minimálně  $16\,200 \text{ m}^3/\text{h}$ , což je u malých hal ekonomicky neúnosné a provozně neopodstatněné.

Paradoxně největšími problémy s výskytem vlhkosti se potýkají malé a střední stadiony s relativně nízkým stropem a s objemem okolo 20 000 až 35 000  $\text{m}^3$ . Velké víceúčelové haly s velkým počtem diváků řeší větrání vícezónově, přesto i zde je na správné odvlhčení třeba klást důraz. Jaké následky má podcenění této problematiky, bylo vidět na příkladu výdejnské sportovní haly, kde se odehrávalo mistrovství světa v roce 2005. Všem příznivcům ledního hokeje se tato hala zapsala do paměti svojí bídnou kvalitou ledu.

### NEGATIVNÍ PROJEVY NADMĚRNÉ VLHKOSTI V HALÁCH S LEDOVOU PLOCHOU

Zvýšená vlhkost vzduchu má jednoznačné projekty:

- nad povrchem ledové plochy se vytváří mlha,

- na ochranných plexisklových bariérách nad mantinely se vytváří kondenzát,
- zároveň dochází i ke kondenzaci na stropní konstrukci,
- kapající vysrážená voda na povrchu ledu vytváří tzv. „krápníkový efekt“.

Celou situaci výrazně komplikuje uzavření ledové plochy bočním hrazením a ochranným plexisklem, které vytváří „bazén studeného vzduchu“. Dalším rizikovým faktorem kvůli studenému sálání je výška stropu – čím nižší je stropní konstrukce, tím náhylnější bude k vytváření kondenzátu. Zesílená tepelná izolace střešního pláště – mnohdy pořizovaná jako prevence proti měknutí ledu v letním období – celou situaci paradoxně ještě zhoršuje, protože zabírá ohřátí stropu nad teplotou rosného bodu prostupem tepla z vnějšího prostředí.

Zhoršení kvality ledu a snížení komfortu není samozřejmě jediným negativním vlivem vysoké vlhkosti. Kondenzace na stropní konstrukci může vést k poškození statiky celé budovy. Jako příklad uvedeme zhroucení střechy zimního stadionu v bavorském Bad Reichenhalu v zimně 2006.

### ZDROJE VLHKOSTI V HALÁCH S LEDOVOU PLOCHOU

Podívejme se na možné zdroje vlhkosti v prostoru ledových ploch. Za zanedbatelné lze považovat zisky ze sublimace ledu, stejně jako vodní páru z motorů rolb či hořáků plynových ohřívaců. U malých a středních hal s počtem kolem 300 až 500 diváků nebývá zásadním problémem ani produkce vlhkosti od osob. Větší koncentrace návštěvníků je většinou krátkodobá a z hlediska celodenního průměru nemá podstatný vliv.

Větší pozornost je třeba věnovat úpravě ledové plochy, při které rolby upravují povrch horkou vodou. Orientační hodnoty odparu v závislosti na teplotě vody uvádí tab. 1.

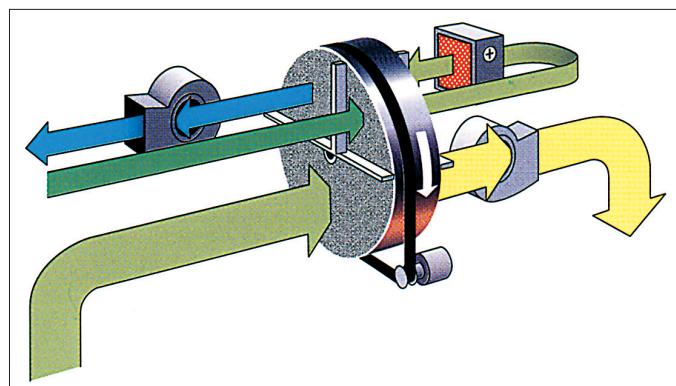
Tab. 1 Vlhkostní zisky z údržby ledu hokejového hřiště

Teplota ledu	-2 až -6 °C
Teplota / vlhkost vzduchu	10 až 12 °C
Odpar při údržbě ledu vodou o teplotě 60 °C	10 až 15 kg
Odpar při údržbě ledu vodou o teplotě 70 °C	18 až 35 kg

Podle zkušenosti provozovatelů je údržba ledu rolbami při plném využití haly 2 až 4x denně.



Obr. 1 Rozvod odvlhčeného vzduchu kruhovým potrubím se směrovatelnými tryskami



Obr. 2 Principiální schéma odvlhčovače DST řady R (Recusorb)

## INFILTRACE JAKO ZÁSADNÍ ZDROJ VLHKOSTI

Jednoznačně nejvýraznějším zdrojem vlhkosti je však infiltrace objektu. U rekonstrukcí stávajících objektů lze vycházet z měření rychlosti proudění ve stavebních prostupech (okna, dveře), u nových objektů je nutno pamatovat na orientaci objektu vůči směru převládajících větrů. Praktické zkušenosti potvrzují, u dobré zhotovených staveb, infiltraci ( $\text{v m}^3/\text{h}$ ) v rozmezí 10 až 15 % objemu haly.

Právě kvůli zásadnímu vlivu infiltrace vnějšího vzduchu a případně přívodu čerstvého větracího vzduchu je zřejmé, že z hlediska nárůstu vlhkosti bude kritické přechodné a letní období. Na intenzitu infiltrace má kromě dalších faktorů i přímo úměrný vliv rozdíl vnitřních a vnějších parametrů. Je proto z hlediska ekonomického dimenzování odvlhčovacího zařízení velmi důležité stanovit, zda provoz ledové plochy bude celoroční nebo pouze od počátku podzimu do jara. Málokterý investor je ale schopen objektivně definovat takovéto zadání.

Zkušení provozovatelé ledových ploch právě kvůli zátěži vlhkostí z vnějšího prostředí omezují infiltraci úpravou vstupů použitím zádvěří, karouselů nebo dveřních clon. Ze stejného důvodu se omezuje i větrání čerstvým vzduchem, v řadě hal není vůbec nainstalováno.

Z hlediska prevence kondenzace je zapotřebí udržovat parametry vnitřního prostředí nad hranicí teploty  $10\ ^\circ\text{C}$  a měrné vlhkosti 4 až  $4,5\ \text{g/kg s.v.}$  (cca 50 až 60 % r. v.). Tuto hodnotu je však prakticky nemožné dosáhnout kondenzačním odvlhčováním. Ideálním řešením pro tyto aplikace jsou adsorpční odvlhčovače, které poskytují skvělou účinnost právě v oblasti nízkých teplot.

## DISTRIBUCE VYSOUŠENÉHO VZDUCHU

Ještě než se blíže seznámíme s principem adsorpčních odvlhčovačů, obraťme pozornost ke způsobu distribuce vysoušeného vzduchu. Část vysoušeného vzduchu je vhodné kvůli prevenci kondenzace přivádět pod stropní konstrukci. Rozvod odvlhčeného vzduchu je např. řešen kruhovým potrubím se směrovatelnými tryskami – obr. 1.

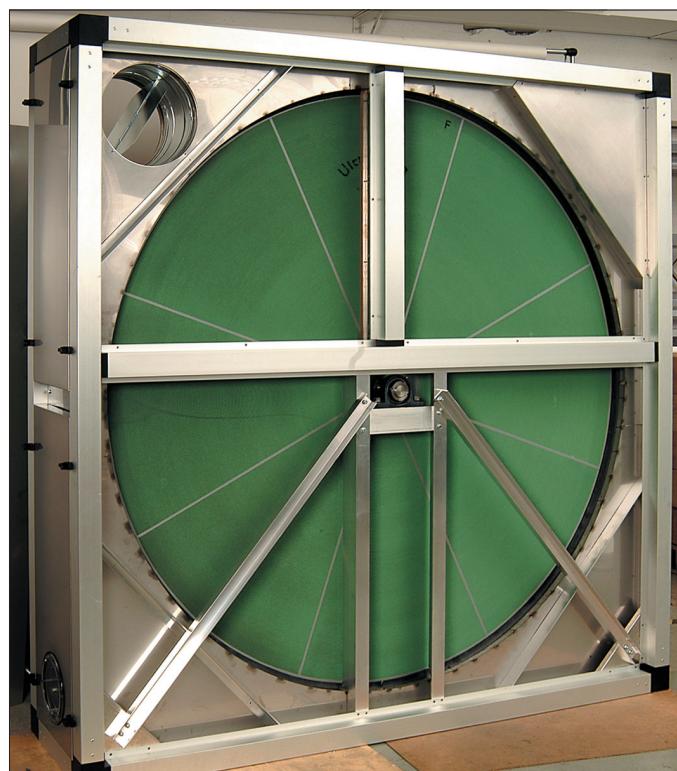
Pokud směřujeme proud vzduchu z odvlhčovače přímo nad ledovou plochu, je nutno pamatovat na ohřátí vysoušeného vzduchu při adsorpčním odvlhčování cca o 12 až 17 K. Kvůli riziku ohřevu povrchu ledu proudem vzduchu se proto doporučuje navrhovat distribuční elementy s dosahem proudu přibližně 2/3 vzdálenosti mezi ledem a výstří.

### Jak pracují adsorpční odvlhčovače DST?

Pro odložení vlhkosti ze vzduchu se používá voštinový rotační výměník s povrchem na bázi silikagelu pod označením výrobce SSCR (vysvětlení: označení výrobce, zkratka od Super SiliCa Rotor). Tento materiál se chová jako molekulové síto a zachytává vodní páry nebo při jiné konfiguraci látky se specifickou velikostí molekul (např. organické sloučeniny s nízkým bodem varu). Regenerace materiálu během pomalého otáčení je průběžná průchodem elektricky ohřívaného horkého vzduchu. Odložená vlhkost se odvádí v proudu odpadního vzduchu mimo vysoušený prostor. Principiální schéma odvlhčovačů DST řady R (Recusorb) – obr. 2.

Tento cyklus je ryze fyzikální proces (tedy „adsorpce“) na rozdíl od materiálů, které podobnou funkci plní na základě chemické vazby („absorpce“) – jako například dříve používaný litiumchlorid. Kromě nižší účinnosti a malé stálosti byla největším problémem agresivita materiálu, který vyvolával korozi a nežádoucí hygienické problémy.

Mezi největší přednosti rotorů s materiálem SSCR použitých v odvlhčovačích DST patří mimořádná účinnost, vysoká životnost, okamžitá účinnost bez nutnosti náběhu, hygienická nezávadnost, extrémní kapacita, mecha-



Obr.3 Samostatné odvlhčovací rotory DST



Obr. 4 Letňanská ICE arena může díky účinnému odvlhčování jednotkami DST nabídnout celoroční provoz ledové plochy

nická odolnost umožňující mokré čištění rotorů bez ztráty účinnosti a ko-nečně „nízká“ regenerační teplota. Samostatné odvlhčovací rotory DST se standardně dodávají až do průměru 4,2 m – obr. 3.

S ohledem na požadovanou účinnost, v poměru k energetické náročnosti, nabízí DST Seibu Giken adsorpční odvlhčovače v několika konfiguracích Consorb a Recusorb. Hybridní jednotky Frigosorb a Econosorb využívají pro regeneraci silikagelového rotoru tepelné čerpadlo a dosahují tak mini-mální energetické náročnosti. Příkladem použití jednotek DST je ICE Are-na v Praze – Letňanech – obr. 4 a 5.

#### Konstrukce odvlhčovačů DST Seibu Giken

Sortiment odvlhčovačů DST pokrývá celou škálu výkonů od malých zařízení se vzduchovým výkonem 190 m<sup>3</sup>/h až po zakázková průmyslová zařízení s výkonem přes 18.000 m<sup>3</sup>/h. Všechna zařízení jsou kromě silikagelového rotoru vybavena ventilátory pro vysoušený a regenerační vzduch. Součástí jednotek je i elektrický ohřívač regeneračního vzduchu. U velkých výkonů lze též použít alternativní ohřev regeneračního vzduchu parou nebo výměníkem s plynovým hořákem. Typu ohřívače odpovídá i varianta regulace – od dvou-polohové pro malé a střední jednotky až po plynulou pro velké jednotky.

#### Kondenzační nebo adsorpční odvlhčovače?

Adsorpční odvlhčovače rozhodně nejsou alternativou ke klasickým kondenzačním zařízením, která pracují s kompresorovým chladicím okruhem s freonovou náplní a odlučují vlhkost z proudícího vzduchu na podchlazeném povrchu výparníku. Přestože se pracovní oblast obou principů z části překrývá, největším přínosem adsorpce je schopnost dosažení velmi nízkých vlhkostí a možnost spolehlivého provozu i při nízkých teplotách.

Účinnost silikagelového materiálu stoupá při nízkých teplotách, klesá naopak při vyšších teplotách. Jedná se tedy o zcela protichůdné chování ve srovnání s kondenzačními zařízeními, jejichž účinnost končí na teplotách pod cca 16 °C. Adsorpční zařízení naopak dosahují nejvyšší účinnosti a hodnot měrné vlhkosti vystupujícího vzduchu až 0,5 g/kg s.v. při teplotách vstupujícího vlhkého vzduchu pod 10 °C.

Další předostí adsorpčního odvlhčování je provoz bez škodlivých chladiv používaných jako náplň do chladicích okruhů kondenzačních zařízení.

#### APLIKACE ADSORPČNÍHO ODVLHČOVÁNÍ

##### Potravinářský průmysl

Stále větší obliba polotovarů, instantních pokrmů a mražených potravin klade nároky i na podmínky výroby a balení těchto výrobků, kde vyšší vlh-



Obr. 5 Odvlhčovací jednotky DST RZ 102 na střeše stadionu v Letňanech

kost snižuje kvalitu a trvanlivost finálního výrobku. Zvláštní kapitolou je výroba cukrovinek a bonbónů, které se ve vlhkém vzduchu slepují. Výroba čokolády při vyšší vlhkosti přináší problémy s namrzáním dochlazovací linky a vytváří bělavý povlak na povrchu výrobků.

##### Farmaceutický a chemický průmysl

Stejně jako u výroby cukrovinek dochází při vyšší vlhkosti ke slepování kapslí. Nízká vlhkost je rozhodující pro přesné dávkování práškových farmak. Výroba šumivých tablet s vitamíny a potravinovými doplňky vyžaduje minimální úroveň vlhkosti. Podobné podmínky platí i pro chemický průmysl.

##### Výroba elektrotechniky, plastů a skla

Při výrobě kondenzátorů a některých dalších speciálních komponentů pro mikroelektroniku je výstupní kvalita přímo závislá na nízké úrovni vlhkosti, stejně jako při zpracování plastů. Také výroba lepených autoskel je možná pouze za podmínek minimální vlhkosti.

##### Skladové prostory bez temperování, vodní díla, přečerpávací stanice

Svoji schopnost účinného provozu za nízkých teplot osvědčí adsorpční odvlhčovače při aplikacích v netemperovaných skladech hygrokopických materiálů, zemědělských výrobků nebo např. v armádních skladech dlouhodobě uložené techniky a munice. Rovněž podzemní prostory vodních staveb, s nízkou teplotou a vysokou vlhkostí, vyžadují použití adsorpčních odvlhčovačů. Pro prevenci škod na armaturách v přečerpávacích stanicích, s vysokou prostorovou vlhkostí a nízkou teplotou přepravovaného média, jsou rovněž tyto jednotky vhodným zařízením.

##### Archivy, depozitáře a konzervace historických památek

Výčet možných aplikací by nebyl úplný bez využití adsorpčních odvlhčovačů pro uložení některých typů archiválí, při restaurátorských pracích a konzervaci uměleckých děl. Jako příklad může posloužit Královská hrobka v katedrále sv. Víta na Pražském hradě, kde byl použit odvlhčovač DST pro zastavení koroze měděné rakve Karla IV. ■