

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

**ODVLHČOVÁNÍ ZIMNÍHO STADIONU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hodyc** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **408631**  
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:

**Odvlhčování zimního stadionu**

Název diplomové práce anglicky:

**Dehumidification of an Ice Stadium**

Pokyny pro vypracování:

Analyzujte pravděpodobné příčiny tvorby mlhy konkrétního zimního stadionu s ohledem na příslušné roční období. Popište stávající systém vzduchotechniky a ověřte, zda je schopen zajistit požadavky na vnitřní prostředí. Navrhněte úpravy stávající vzduchotechniky případně další nezbytná opatření vedoucí ke zlepšení současného stavu. Konfrontujte řešení větrání a klimatizace na zimních stadionech se zadaným případem.

Seznam doporučené literatury:

- [1] NOVÝ, R.; PECHAČ, S. Mikroklima zimních stadionů. Vytápění, větrání, instalace. 2010, 19(1), 40-47. ISSN 1210-1389.
- [2] ANDRES, P. Zimní stadiony z hlediska odvodu vlhkosti. Vytápění, větrání, instalace. 2007, 16(4), 227-229. ISSN 1210-1389.
- [3] ASHRAE Handbook 2010 - Refrigeration. Chapter 44 - Ice Rinks.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:


**doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D., ústav techniky prostředí FS**


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

Datum zadání diplomové práce: **26.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **22.06.2018**

Platnost zadání diplomové práce:

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
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.

26.4.2018

Datum převzetí zadání

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

## **Souhrn**

Předmětem diplomové práce je analyzování příčin tvorby mlhy na zimním stadionu v Hradci Králové s ohledem na příslušné roční období. V diplomové práci je nejprve popsána problematika vnitřního prostředí zimních stadionů a metody odvlhčování vnitřního vzduchu. Dále byl popsán stávající systém vzduchotechniky a bylo vyhodnoceno měření vnitřního stavu vzduchu během utkání. Nakonec byl proveden návrh nového klimatizačního zařízení, včetně klimatizačních jednotek a distribuce vzduchu.

## **Summary**

The purpose of this diploma thesis is to analyse the cause of the mist formation at the ice hockey arena in Hradec Kralove given different seasons of the year. Firstly, this work will begin by describing the problematics of indoor environments in ice-hockey arenas and the methods of dehumidification of indoor air. This will lead to the description of the existing air conditioning system in place, followed by the evaluation of measuring the indoor air quality during ice-hockey matches. This work will conclude by designing the new air conditioning system including air conditioning units and the distribution of the air

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Odvlhčování zimního stadionu“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Vladimíra Zmrhala, Ph.D. s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 22. 6. 2018

Bc. Petr Hodyc

### **Poděkování**

Děkuji doc. Ing. Vladimíru Zmrhalovi, Ph.D., za velmi cenné připomínky a rady při vypracovávání této diplomové práce. Dále děkuji rodičům za umožnění studia na této univerzitě.

## Obsah

Značky a jednotky, indexy

1. ÚVOD	9
2. PROBLEMATIKA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ ZIMNÍCH STADIONŮ	10
2.1 Zdroje vlhkosti na zimních stadionech	10
2.2 Negativní projevy nadměrné vlhkosti	12
2.3 Požadavky na vnitřní prostředí	14
3. METODY ODVLHČENÍ VNITŘNÍHO VZDUCHU	16
3.1 Větrání venkovním vzduchem	16
3.2 Zvýšení teploty vzduchu uvnitř stadionu	16
3.3 Potlačení infiltrace	16
3.4 Snížení teploty rosného bodu v prostoru	17
3.4.1 Oblasti použití kondenzačního a adsorbčního odvlhčování	19
3.4.2 Druhy zapojení adsorpčních odvlhčovačů	20
4. PROBLÉMY NA ZIMNÍCH STADIONECH V ČR	23
5. ZIMNÍ STADION HRADEC KRÁLOVÉ	27
5.1 Popis problému s mlhou na zimním stadionu	27
5.2 Stávající vzduchotechnické zařízení	31
5.2.1 Větrací vzduchotechnická jednotka	31
5.2.2 Odvlhčovací jednotka	35
5.3 Měření na zimním stadionu	38
5.4 Výpočet produkce vodní páry od diváků	47
5.5 Analýza příčin tvorby mlhy	53
5.6 Zařízení pro úpravu vzduchu na zimních stadionech v ČR	57
5.7 Opatření pro eliminaci problémů s mlhou a vlhkostí v Hradci Králové	58
6. NÁVRH NOVÉHO VĚTRACÍHO ZAŘÍZENÍ	60
6.1 Tepelné ztráty a tepelná zátěž haly stadionu	61
6.2 Výpočet průtoku větracího vzduchu	62
6.3 Návrh klimatizačních jednotek	64
6.3.1 Návrh výkonu ohřívače vzduchu	65
6.3.2 Návrh výkonu chladiče vzduchu	68
6.4 Umístění klimatizačních jednotek a tras potrubí	70

6.5 Dimenzování potrubní sítě a distribučních prvků	71
6.6 Měření a regulace	73
7. ZÁVĚR	74
Seznam literatury	78
Seznam příloh	81
Příloha – Specifikace potrubní sítě	82

**Značky a jednotky**

$A$	plocha	$[m^2]$
$C$	součinitel sálání	$[W/m^2.K^4]$
$I$	tepelný odpor oděvu	$[clo]$
$M$	hmotnostní průtok	$[kg/h]$
$\dot{Q}$	tepelný tok, výkon	$[W]$
$S$	plocha	$[m^2]$
$U$	součinitel prostupu tepla	$[W/m^2.K]$
$\dot{V}$	objemový průtok	$[m^3/h]$
$c$	měrná tepelná kapacita	$[J/kg.K]$
$f$	povrchový faktor	$[-]$
$h$	výparné teplo	$[kJ/kg]$
	entalpie	$[kJ/kg]$
$p$	tlak	$[Pa]$
$\dot{q}$	měrný tepelný tok	$[W/m^2]$
$t$	teplota	$[^\circ C]$
$x$	měrná vlhkost	$[g/kg]$
$\alpha$	součinitel přestupu tepla	$[W/m^2.K]$
$\Delta$	rozdíl	$[-]$
$\varepsilon$	emisivita	$[-]$
$\rho$	hustota vzduchu	$[kg/m^3]$
$\varphi$	relativní vlhkost	$[\%]$
	teplotní účinnost ZZT	$[\%]$



**Indexy**

<i>l</i>	před chlazením
<i>2</i>	po chlazení
<i>a</i>	vnitřního vzduchu
<i>cit</i>	citelné
<i>cr</i>	nitrotělní
<i>č</i>	černého tělesa
<i>d,cit</i>	dýcháním, citelné
<i>Du</i>	člověka
<i>e</i>	venkovní
<i>e,výp</i>	venkovní výpočtová
<i>ch</i>	chladiče
<i>i</i>	vnitřní
<i>k</i>	konvekcí
<i>m</i>	metabolický
<i>od</i>	oděvu
<i>oh</i>	ohřívače
<i>p</i>	pokožky přiváděné
<i>r</i>	radiační
<i>rb</i>	rosného bodu
<i>re</i>	rektální
<i>s</i>	sáláním účastníci se výměny tepla sáláním
<i>spch</i>	střední povrchová chladiče
<i>v</i>	vodní pára
<i>váz</i>	vázané
<i>vyd</i>	vydechované
<i>za</i>	zátěž
<i>zt</i>	ztráta
<i>zzt</i>	zpětného získávání tepla

## 1. ÚVOD

V České republice je jedním z nejoblíbenějších sportů hokej, který je navštěvován na zimních stadionech velkým počtem diváků a je i silně medializován. Většina tuzemských hokejových soutěží začíná během začátku září a končí v půlce dubna. Právě v těchto přechodových obdobích, kdy ještě venku panují vysoké teploty a relativní vlhkosti venkovního vzduchu, může docházet na zimních stadionech k problémům s mlhou, která se drží mezi mantinely nad ledovou plochou, nebo rosením plexiskel mantinelů. Tyto problémy poté komplikují výhled jak hráčům na ledě, tak divákům z tribun na zimních stadionech a mohou být důvodem pro přerušení nebo dokonce odložení zápasů. Vysoká vlhkost má špatný vliv na stavební konstrukci zimního stadionu, tvorbu plísní apod.

Aby se těmto problémům předešlo, je nutné mít na zimních stadionech správně navržené a funkční vzduchotechnické zařízení, které dokáže zabránit vnikání venkovního vlhkého vzduchu, a zároveň bude schopné odvádět vzniklé vlhkostní zisky od diváků, hráčů nebo úpravy ledové plochy.

Diplomová práce řeší stadion v Hradci Králové, kde je v posledních letech problém s mlhou aktuální i po instalaci odvlhčovací jednotky. V této diplomové práci byla provedena analýza pravděpodobných příčin tvorby mlhy na zimním stadionu a bylo ověřeno, zda stávající zařízení je schopno zajistit požadavky na vnitřní prostředí. Dále byla navržena opatření, která by měla problémy s mlhou na zimním stadionu eliminovat.

## **2. PROBLEMATIKA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ ZIMNÍCH STADIONŮ**

Na území Československa bylo první umělé kluziště otevřeno v třicátých letech 20. století v Praze na Štvanici. První umělá kluziště se stavěla jako nekrytá, otevřená s venkovním prostředím. Až v pozdější době se začala umělá kluziště zastřešovat. První zastřešené kluziště v Československu vzniklo v roce 1955 v Ostravě, kde byl zastřešen zimní stadion Josefa Kotase z roku 1947 [1]. Zastřešení se brzy dočkalo i první kluziště v Praze na Štvanici a stalo se tak roku 1956 [2]. Zastřešením ledové plochy se vyřešilo mnoho problémů, které souvisely s venkovním klimatem, například už zápasy neovlivňoval sníh a nepříjemný chladný vítr. Bohužel ale zastřešením vznikly problémy nové a to především z hlediska vlhkosti uvnitř zimního stadionu.

Nyní je v České republice okolo 170 zimních stadionů, které mají diváckou kapacitu od pár stovek diváků, až po tisíce a desetitisíce diváků. Naším největším zimním stadionem je multiaréna v Praze Libni, která má kapacitu až 17 tisíc diváků. Převážná většina zimních stadionů v České republice byla postavena v 50. až 80. letech dvacátého století. Mnoho těchto starších zimních stadionů se potýká s problémem velké vnitřní vlhkosti a to hlavně v přechodovém období, tj. v měsících září, říjen, duben a květen. V těchto měsících jsou v plném proudu zápasy našich vyšších i nižších hokejových soutěží a právě v tomto období můžou nastat velké problémy z hlediska vysoké vlhkosti uvnitř zimních stadionů. Projevy vysoké vlhkosti jsou například mlha nad kluzištěm, kondenzace vlhkosti na konstrukcích stadionu, zhoršení kvality ledu, poničení stavebních konstrukcí a v neposlední řadě diskomfort diváků i sportovců.

### **2.1 Zdroje vlhkosti na zimních stadionech**

Zdrojů vlhkosti uvnitř zimních stadionů je několik. Prvním zdrojem je produkce vlhkosti sublimací ledové plochy a také vodní páry z motoru rolby či hořáků plynových ohříváčů. Tyto zdroje jsou velmi malé, a proto je v celkové bilanci můžeme zanedbat [3]. Druhým zdrojem vlhkosti na zimních stadionech je produkce vlhkosti od diváků a sportovců. U menších hal, které se vyznačují kapacitou hlediště okolo 100 až 200 diváků, není tento zdroj vlhkosti tak výrazným a zásadním problémem. U větších zimních stadionů, pro kapacitu diváky v řádech tisíců, jsou zisky vysoké a mají zásadní vliv na vlhkost ve vnitřním prostředí. Dalším zdrojem vlhkosti na zimních stadionech jsou vlhkostní zisky při úpravě ledové plochy. Vlhkostní zisky při úpravě ledu v závislosti na teplotě vody jsou zobrazeny v tabulce 1.

Tab. 1- Vlhkostní zisky při úpravě ledové plochy [3]

Teplota ledu	-2 až -6 °C
Teplota vzduchu	10 až 12 °C
Odpar při údržbě ledu vodou o teplotě 60 °C	10-15 kg/1 úpravu
Odpar při údržbě ledu vodou o teplotě 70 °C	18-35 kg/1 úpravu

Zásadním zdrojem vlhkosti je také infiltrace objektu. Venkovní vzduch vniká do objektu otvory a netěsnostmi konstrukcí, které jsou u starších nerekonstruovaných stadionů dosti výrazné. U většiny stadionů, jsou po celý zápas otevřeny vchodové dveře, nebo vstupní brány, kterými v přechodovém období vniká do vnitřního prostoru velké množství neupraveného vlhkého vzduchu. Proto je dobré použít například dveřní clony, které vnikání venkovního vzduchu snižují. U nových objektů je nutné brát v potaz orientaci objektu vůči směru převládajících větrů. Zkušenosti potvrzují, že u dobře zhotovených staveb je infiltrace v rozmezí 10-15 % objemu haly [3].

#### **Příklad vlhkostních zisků vnikajících na zimní stadion infiltrací: [6]**

Objem haly: 30 000 m<sup>3</sup>, vzduch 10 °C, relativní vlhkost 60 %, měrná vlhkost 4,5 g/kg.

Infiltrace: 12 % objemu haly, 30 000 x 0,12 = 3600 m<sup>3</sup>/h.

#### **Vlhkostní zisky infiltraci:**

1. Venkovní vzduch: 20 °C, 50 % relativní vlhkost, měrná vlhkost 7,5 g/kg.

$$\dot{M}_v = \dot{V} \rho \Delta x = 3600 \cdot 1,2 \cdot (7,5-4,5) / 1000 = \underline{\underline{13 \text{ kg/h}}}$$

2. Venkovní vzduch: 20 °C, 60 % relativní vlhkost, měrná vlhkost 9 g/kg.

$$\dot{M}_v = \dot{V} \rho \Delta x = 3600 \cdot 1,2 \cdot (9-4,5) / 1000 = \underline{\underline{20 \text{ kg/h}}}$$

3. Venkovní vzduch: 24 °C, 70 % relativní vlhkost, měrná vlhkost 13 g/kg.

$$\dot{M}_v = \dot{V} \rho \Delta x = 3600 \cdot 1,2 \cdot (13-4,5) / 1000 = \underline{\underline{36,7 \text{ kg/h}}}$$

kde

$\dot{M}_v$	množství vodní páry	[kg/h]
$\dot{V}$	objemový průtok vzduchu	[m <sup>3</sup> /h]
$\rho$	hustota vzduchu	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\Delta x$	rozdíl měrných vlhkostí	[g/kg].

Z výsledků je vidět, jak se mění vlhkostní zisky vzhledem k vlastnostem venkovního vzduchu. Největší problémy s vysokou vlhkostí vnitřního vzduchu je v přechodovém období, kdy jsou venkovní teploty vysoké a vzduch má vysokou relativní vlhkost, což souvisí s obsahem vodní páry ve vzduchu.

## **2.2 Negativní projevy nadměrné vlhkosti**

Negativních projevů vlivem nadměrné vlhkosti na zimních stadionech je více. Na tyto projevy má především vliv ledová plocha zimního stadionu, která má povrchovou teplotu  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a která sdílí teplo s okolím především sáláním. Prvním projevem nadměrné vlhkosti je tvorba mlhy nad ledovou plochou. Vlhký vzduch přivedený z venkovního vzduchu a vlhký vzduch od diváků se smíchá s chladným vzduchem nad ledovou plochou, tím se vlhký vzduch ochladí a zvyšuje tím svoji relativní vlhkost a také hustotu. Vlhký a chladný vzduch se drží mezi mantinely kluziště, a jakmile překročí anebo se přiblíží k mezi nasycení, vytvoří se nad ledovou plochou mlha, která zhoršuje viditelnost jak hráčů, tak i diváků a komplikuje průběhy zápasů, které mohou být i kvůli špatné viditelnosti přerušeny, nebo i předčasně ukončeny [5].

Dříve se tento problém řešil zapnutím axiálních ventilátorů, které byly umístěny nad ledovou plochou a také v rozích kluziště. Toto řešení po krátké pauze utkání sice mlhu odehnalo, ale teplý vzduch, který byl na ledovou plochu přiváděn, vytvářel mokré skvrny na ledové ploše a velmi se tím zhoršovala kvalita ledové plochy. Na obrázku 2.1 je vidět, jak velká mlha se může nad ledovou plochou vytvořit.



*Obr. 2.1. Mlha nad ledovou plochou při hokejovém zápase [4]*

Spolu s mlhou nad ledovou plochou je dalším negativním vlivem pro komfort a viditelnost diváků, ale také časoměřičů, rosení plexiskel. Na chladných plexisklech se vlhký vzduch zchladí a na povrchu plexiskla kondenzuje vodní pára. Orosené plexisklo poté neumožní divákům v prvních řadách zimních stadionů téměř žádnou viditelnost. Na některých zimních stadionech se tento problém řeší tak, že o komerčních přestávkách dobrovolníci z řad mladých hokejistů objíždějí ledovou plochu a plexiskla utírají, toto řešení ale není účinné a plexisklo se během chvíle orosí znovu.

Dalším problémem je riziko vzniku kondenzace vlhkosti a následně plísní na konstrukcích zimního stadionu a to především na konstrukci střechy. Tento problém nastává při zvyšující se měrné vlhkosti vzduchu. Konstrukce střechy sálá na chladnější ledovou plochu a tím se ochlazuje. Na chladném povrchu konstrukce střechy poté kondenzuje vodní pára tak jako na plexisklech mantinelů. Tato povrchová kondenzace poté způsobuje chemickou a biologickou korozi [5]. Zkondenzovaná voda také stéká po konstrukci až do elektronické výbavy stadionu, jako je multimediální kostka či reproduktory, které může poškodit. Další problém, který zkondenzovaná voda způsobuje je, že padá na ledovou plochu, kde se tvoří tzv. „krápníkový efekt“, kdy se na povrchu ledové plochy tvoří nerovnosti a hrboly [6]. Tyto nerovnosti jsou pak nebezpečné pro hokejisty, či návštěvníky veřejného bruslení, kterým může nečekána nerovnost na ledové ploše zapříčinit pád a nepříjemné zranění. „Krápníkový efekt“ je vidět na obrázku 2.2.



Obr. 2.2. „Krápníkový efekt“ na ledové ploše kluziště [6]

### 2.3 Požadavky na vnitřní prostředí

Jedním z hlavních požadavků na vnitřní prostředí je teplota vnitřního vzduchu, která je důležitá pro komfort a tepelnou pohodu diváku a hráčů, ta by neměla na zimním stadionu s diváky poklesnout pod 10 °C. U ledové plochy se většinou pohybuje teplota vzduchu mezi 5 až 12 °C [5]. Záleží na povrchové teplotě ledu, která se pro různé sporty liší. Například hokejisté potřebují pro hru tvrdý led a proto je povrchová teplota ledu nižší, než například pro krasobruslení, nebo pro rekreační bruslení, kde se preferuje spíše led měkký. V tabulce 2 je vidět rozmezí povrchových teplot pro různé druhy sportů.

Teplota v prostoru tribun bývá z hlediska komfortu pro diváky vyšší, záleží především na tom, je-li hala vybavena teplovzdušným vytápěním. U starších zimních stadionů bez vytápění se teplota v zimním období pohybuje v rozmezí 5 až 10 °C, ale jsou i výjimky, například na zimním stadionu v Olomouci bývá při nízkých teplotách venkovního vzduchu uvnitř stadionu teplota 0 až 5 °C. V roce 2012 bylo dokonce naměřeno na zimním stadionu okolo -5 °C, což je pro diváky velmi nekomfortní teplota [7].

V nových a rekonstruovaných halách vybavených vytápěním je teplota udržována v rozmezí 10 až 20 °C. U zimních stadionů s větší kapacitou diváku, se řeší větrání vícezónově s jednou zónou pro ledovou plochu a druhou zónou pro větrání tribun. Norma ČSN EN 12 831 - Tepelné soustavy v budovách [36] udává, že by se vnitřní výpočtová teplota na zimním stadionu s diváky měla pohybovat v rozmezí 15 až 20 °C.

Tab. 2- Povrchové teploty ledové plochy pro různé sporty [8]

Sport	Teplota ledu [°C]
Hokej	-5,5 až -6,5
Krasobruslení	-3 až -4
Rekreační bruslení	-3 až -2

Dalším důležitým parametrem pro udržení komfortního prostředí zimního stadionu a vyhnutí se problémům, které byly popisovány, je udržet vlhkost vnitřního vzduchu v přijatelných mezích. Relativní vlhkost vzduchu by se na zimním stadionu měla udržovat v rozmezí 50 až 60 %. A měrná vlhkost by se měla udržovat v rozmezí 4 až 4,5 g/kg. [9] Ashrae udává, že hodinu před zápasem by teplota rosného bodu měla mít hodnotu 1,7 °C a maximálně by během zápasu neměla překročit hranici 7 °C. Tato hodnota by měla být dostačující pro vyhnutí se problémům s mlhou [8]. V tabulce 3 jsou uvedeny doporučující hodnoty těchto parametrů z různých zdrojů.

Tab. 3- Doporučené parametry vzduchu na zimních stadionech

Zdroj	Vnitřní teplota [°C]	Měrná vlhkost [g/kg]	Relativní vlhkost [%]	Teplota rosného bodu [°C]
Grasso [L5]	10 až 20	4 až 6	50	-
Flair [L6]	10 až 12	4 až 4,5	50 až 60	2 až 4
SEN [L10]	-	-	-	1,5 až 4
ASHRAE [L8]	5 až 15	-	-	1,7 až 7

Pro dodržení hygienických požadavků a doporučení je nutné dále přivádět minimální množství čerstvého vzduchu pro diváky a hráče. V ČR neexistuje právní předpis, který by řešil větrání zimních stadionů. Minimální množství čerstvého vzduchu na osobu, které udává Ashrae je 4,0 l/s, tj. 14,4 m<sup>3</sup>/h na jednu osobu a pro jednoho hráče udává Ashrae 23 l/s tj. necelých 83 m<sup>3</sup>/h [37]. Dávku čerstvého vzduchu pro hráče můžeme také brát jako pro pracujícího člověka vykonávající práci zařazenou do tříd IVa, IVb nebo V. Pro tuto třídu práce dle nařízení vlády č.361/2017 Sb., se stanovuje dávka čerstvého vzduchu 90 m<sup>3</sup>/h na osobu [11]. Realita dnešních stadionů je ale jiná, u starších stadionů bez nuceného větrání se spoléhá na infiltraci a u hal nových, kde nucené větrání je nainstalované, se z důvodu energetické úspory většinou vypíná a nepoužívá.



### **3. METODY ODLVHČENÍ VNITŘNÍHO VZDUCHU**

Pro odvlhčení vnitřního vzduchu v prostoru existuje několik možností. Některé možnosti jsou levnější a jednoduché s nízkou účinností a naopak některé jsou dražší, komplikovanější, ale účinnější. Důležité je použít pro řešený prostor správné řešení, aby splňovalo potřebné požadavky a bylo co nejvíce účinné.

#### **3.1 Větrání venkovním vzduchem**

První metodou jak odvlhčit vnitřní vzduch je provětrání velkým množstvím venkovního vzduchu. Podmínkou pro tuto metodu je, že venkovní vzduch musí být sušší, než vzduch uvnitř prostoru, aby na sebe mohl vázat vlhkost z vnitřního prostoru. Pro použití na zimních stadionech není toto řešení použitelné, jelikož problémy s vlhkostí bývají v přechodovém období, tj. v měsících září, říjen, duben a květen, a v těchto měsících má venkovní vzduch vysokou měrnou vlhkost. V zimních měsících, kdy má venkovní vzduch nízkou měrnou vlhkost, má i nízkou teplotu a větrání takto chladným vzduchem by z hlediska komfortu bylo možné pouze s ohřívacem. Toto řešení se tudíž na zimních stadionech nevyužívá.

#### **3.2 Zvýšení teploty vzduchu uvnitř stadionu**

Druhou metodou jak snížit relativní vlhkost vnitřního vzduchu v prostoru stadionu je ohřátí vnitřního vzduchu na vyšší teplotu, vnitřní vzduch může s vyšší teplotou pojmout větší množství vodní páry. Vyšší teplotou vzduchu by se zvýšila i teplota okolních ploch a stropních konstrukcí, na kterých by už vlhký vzduch nekondenzoval. Tato možnost ale ohrožuje kvalitu ledu, který by neměl svoji požadovanou tvrdost a kvalitu. Toto řešení je také energeticky náročné, a proto se pro řešení potlačení kondenzace na zimních stadionech nepoužívá.

#### **3.3 Potlačení infiltrace**

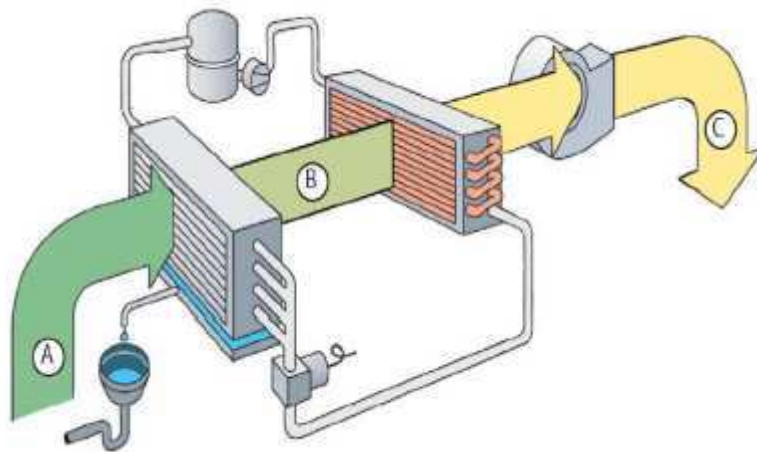
Dalším nezbytným opatřením je omezení vnikání vlhkého venkovního vzduchu do budovy. Toto opatření je pro zimní stadiony obtížné, jelikož stadiony mají mnoho vstupních dveří, které jsou otevřeny již několik hodin před utkáním kvůli předprodeji vstupenek, a i během utkání a přestávek mezi třetinami. Některé stadiony, mají otevřené po celý zápas i vjezdová vrata do venkovního prostředí pro rolbu. Všechny tyto otvory by měly být opatřeny dveřními clonami a zádveřími, aby vnikání vlhkého venkovního vzduchu bylo co nejmenší. Zimní stadiony, které jsou vybaveny nuceným větráním, se řeší jako přetlakové, což také eliminuje vnikání venkovního vzduchu do vnitřního prostoru.

### 3.4 Snížení teploty rosného bodu v prostoru

Jediným spolehlivým řešením, jak snížit vlhkost vnitřního vzduchu, je snížení teploty rosného bodu v prostoru odvlhčením vzduchu. Fyzikálně máme dva způsoby jak snížení rosného bodu docílit. Prvním způsobem je použití kondenzačních odvlhčovačů vzduchu.

Principem kondenzačního odvlhčování je ochlazení vlhkého vzduchu na chladiči (např. výparníku chladivového okruhu), což způsobuje, že vlhkost přechází z plynného skupenství na kapalné a dochází ke kondenzaci.

Jelikož má vzduch po ochlazení nízkou teplotu, lze ho dohřát kondenzačním teplem na požadovanou teplotu přiváděného vzduchu. Zařízení se skládá z výparníku, kondenzátoru, expanzního ventilu a kompresoru. Schéma kondenzačního odvlhčovače můžete vidět na obrázku 3.1.

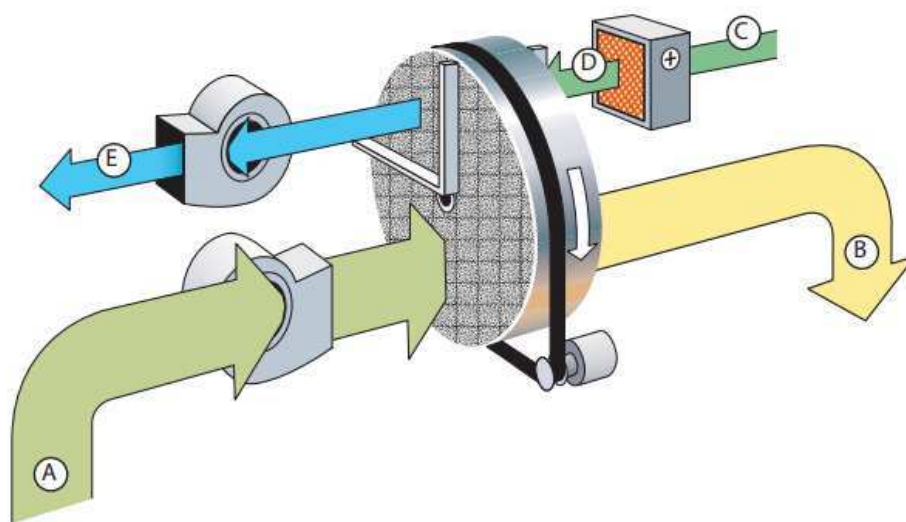


*Obr. 3.1. Schéma kondenzačního odvlhčovače [6]*

*A- Vlhký vzduch; B- Suchý vzduch; C- Dohřátí suchého vzduchu*

Druhým principem odvlhčování vnitřního vzduchu je použití adsorpčního odvlhčování. Základním prvkem adsorpčního odvlhčovače je rotační výměník, který je tvořen z hliníkových plechů nebo keramické látky a množstvím rovnoběžných kanálků, jejichž povrch je pokryt hygroskopickým materiálem, jako je například silikagel. Přívodní vlhký vzduch je nasáván přes filtr ventilátorem a je veden přes pomalu rotující výměník, kde dochází k přenosu vlhkosti.

Při průchodu rotujícím výměníkem jsou molekuly vody vázány na hygroskopickou látku a tím se přívodní vzduch vysušuje. Vlhkost, která se adsorbuje do hygroskopické látky rotujícího výměníku je v druhé části odváděná ohřátým regeneračním vzduchem, který prochází rotačním kolem a váže na sebe vodní páru, která byla odebrána od primárního vzduchu. Rotační výměník je po procesu regeneračním vzduchem schopen vázat na sebe vodní páru. Oba děje adsorpce a regenerace probíhají současně, takže proces odvlhčování může probíhat nepřetržitě. Na obrázku 3.2 je vidět schéma adsorpční odvlhčovací jednotky.



Obr. 3.2. Schéma adsorpčního odvlhčovače [12]

A- Vlhký vzduch; B- Odvlhčený vzduch; C- Regenerační vzduch; D- Ohřátý regenerační vzduch; E- Zvlhčený regenerační vzduch

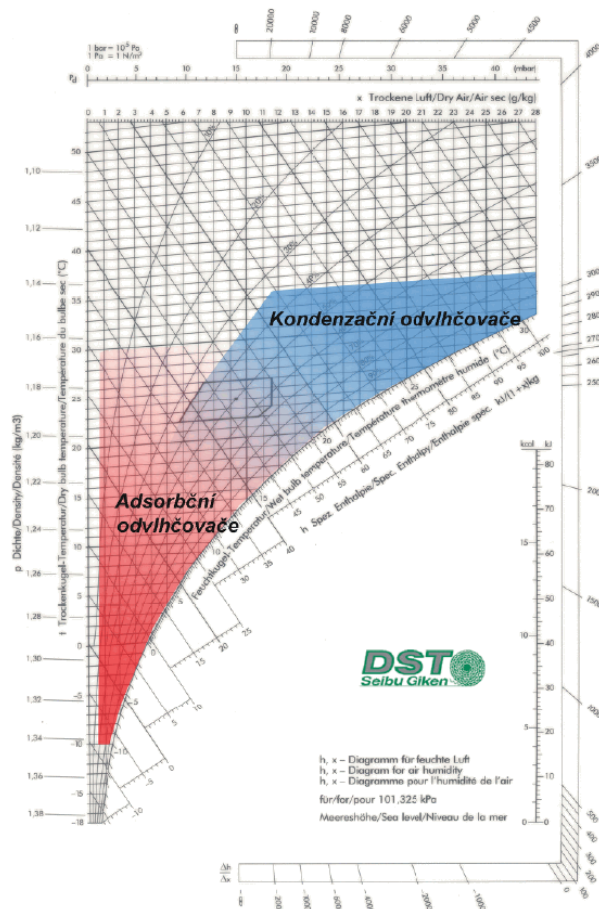
### 3.4.1 Oblasti použití kondenzačního a adsorpčního odvlhčování

Oblasti použití kondenzačních a adsorpčních odvlhčovačů se liší, nedá se říct, že jeden ze způsobů může být alternativou pro způsob druhý, ale jejich oblasti použití se doplňují a každý ze způsobů se používá v prostorech s rozdílnými hodnotami teploty vnitřního vzduchu [6].

Principy kondenzačního odvlhčovače se nejběžněji používají v prostorách, kde je teplota vstupujícího vzduchu vyšší než 16 °C a relativní vlhkost nad 35 % [9]. Při nižších teplotách vzduchu u tohoto zařízení znamená vysokou ztrátu účinnosti, dosažením nižších hodnot vlhkosti by bylo možné jen snižováním teploty chladícího média a to by postupně způsobilo namrzání výměníku [9]. Použití kondenzačních odvlhčovačů je tedy například v bazénech, lázních apod.

U principu adsorpčního odvlhčování je možný provoz odvlhčování i při nízkých teplotách s možností dosažení vlhkosti až na teplotu rosného bodu okolo -40 °C. Účinnost u adsorpčního principu odvlhčování roste s nižší teplotou vzduchu. U navrhování zařízení s trvalým provozem s teplotou nad 30 °C nemá význam použití adsorpčního odvlhčovače bez předchlazení [9]. Při teplotách nad 30 °C je účinnost odvlhčování bez použití předchlazení velmi nízká. Pro použití na zimních stadionech, kde se pohybujeme v teplotním rozsahu od 12 °C do 25 °C je použití adsorpčních odvlhčovačů vhodné.

Výhodou adsorpčních odvlhčovačů je, že zařízení nikdy nezamrzne, celá konstrukce odvlhčovače je jednodušší, spolehlivější a mají i nízké nároky na údržbu. Na obrázku 3.3 je vidět rozsah použití zakreslený v h-x diagramu pro kondenzační a adsorpční zařízení.



Obr. 3.3 Rozsah použití kondenzačních a adsorpčních odvlhčovačů [9]

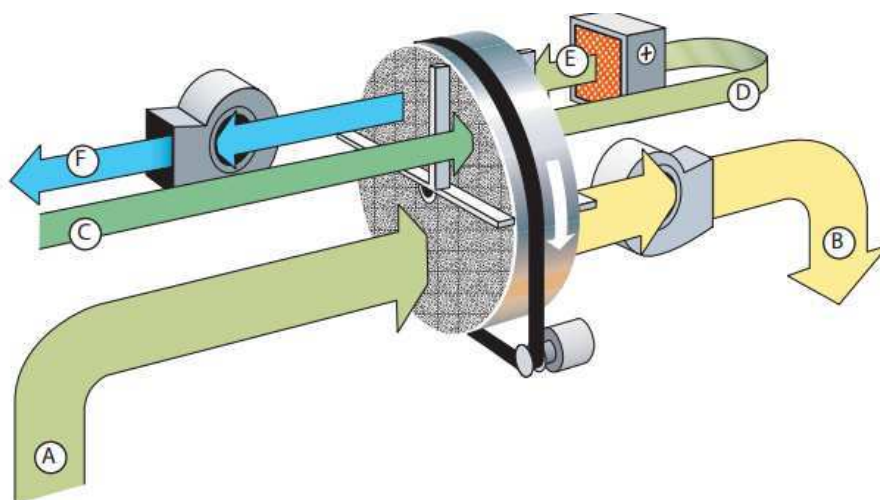
ČERVENÁ- Adsorpční ; MODRÁ- Kondenzační

### 3.4.2 Druhy zapojení adsorpčních odvlhčovačů

Adsorpční odvlhčovače mají i různá složitější zapojení, která dokážou využít odpadní teplo pro regeneraci, a tím zvýšit účinnost odvlhčení při menším ohřevu vstupního suchého vzduchu, nebo mohou být vybaveny i tepelným čerpadlem.

Na obr. 3.4 je první z kombinovaných zapojení. Regenerační vzduch je nejdříve veden do regeneračního kola, kde se přehřívá a částečně odvlhčuje, poté je dohříván na požadovanou teplotu, a regeneruje rotační výměník. Díky tomuto zapojení dochází k úspoře energie na ohřev regeneračního vzduchu a k zvýšení účinnosti.

Další zapojení adsorpčního odvlhčovače je s použitím tepelného čerpadla. Tím můžeme využít tepla z kondenzátoru. Předchlazením vstupujícího vlhkého vzduchu na výparníku se zvyšuje účinnost odvlhčování. Vlhký vzduch se „mokrým způsobem“ ochladí a částečně odvlhčí, poté prochází rotačním kolem, kde se ještě více odvlhčí. Toto zapojení zvyšuje účinnost tak, že oproti klasickému zapojení se snižují nároky na příkon o 1/4. Tento druh zapojení je vidět na obrázku 3.5.

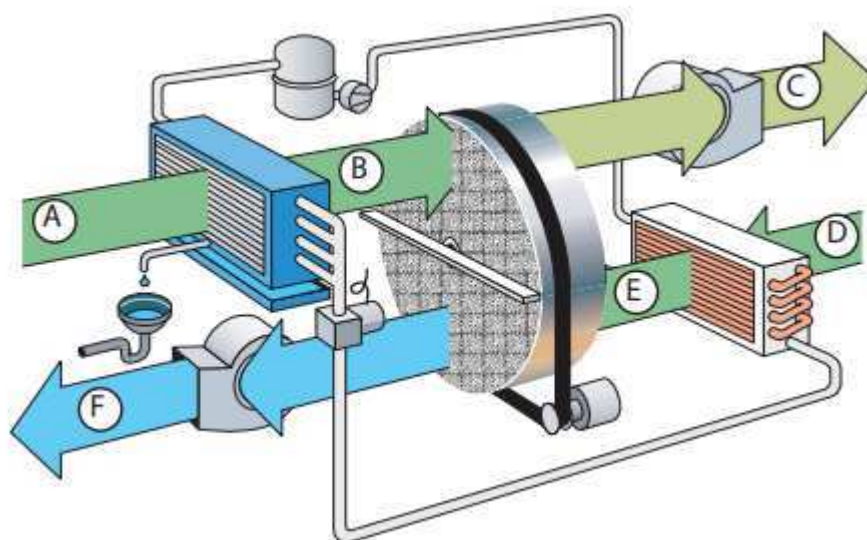


Obr. 3.4 Zapojení s předehřevem regeneračního vzduchu [12]

A- Vlhký vzduch; B- Odvlhčený vzduch; C- Regenerační vzduch před předehřátím;

D- Předehřátý regenerační vzduch; E- Dohřátý regenerační vzduch;

F- Zvlhčený regenerační vzduch



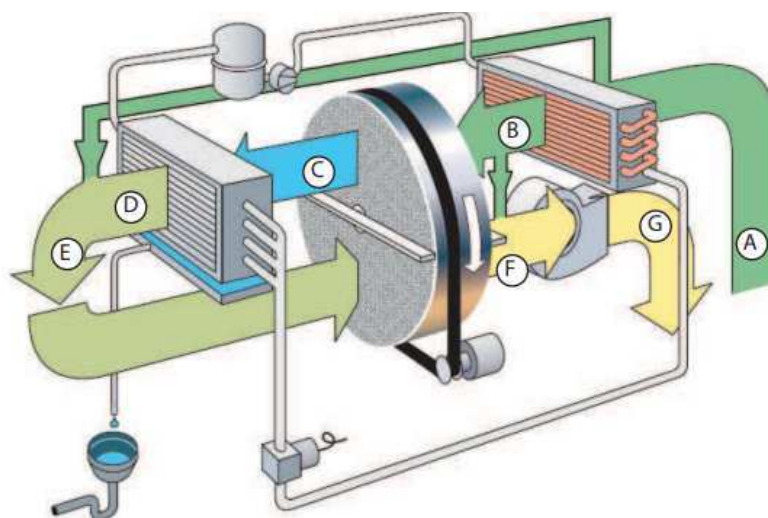
Obr. 3.5 Zapojení s využitím tepelného čerpadla [12]

A-Vlhký vzduch; B- Ochlazený vzduch; C- Odvlhčený vzduch;

D- Regenerační vzduch; E- Ohřátý regenerační vzduch;

F- Zvlhčený regenerační vzduch

Další způsob zapojení adsorpčního odvlhčovače je vidět na obr. 3.6. Vstupující vlhký vzduch je nejprve ohříván pro účel regenerace na kondenzátoru. Po vyvázání vlhkosti v regeneračním sektoru rotujícího výměníku je vzduch ochlazen na výparníku a odvlhčen kondenzačním principem před průchodem zvlhčovacím rotujícím výměníkem. Tento typ zapojení se obejde bez samostatného vstupu regeneračního vzduchu. Oproti příkonu u klasického zapojení je spotřeba energie u tohoto zařízení jen třetinová [13].



*Obr. 3.6 Zapojení bez samostatného regeneračního vzduchu [12]*

- A- Vlhký vzduch; B- Ohřátý vzduch; C- Vzduch po regeneraci oběžného kola;  
D- Kondenzační odvlhčení; E- Vzduch po kondenzačním odvlhčení a smíchání;  
F- Odvlhčený vzduch*

#### 4. PROBLÉMY NA ZIMNÍCH STADIONECH V ČR

Problémy s nadměrnou vlhkostí na zimních stadionech a následnými projevy nadměrné vlhkosti jako je mlha a rosení plexiskel nejsou v České republice při utkáních neobvyklými jevy. Tyto problémy z převážné většiny nastávají v takzvaném přechodovém období v rozmezí měsíců září-říjen a duben-květen. Právě začátkem září začínají v naší republice první kola jednotlivých vyšších i nižších hokejových soutěží. V tomto období převládají ve venkovním prostředí vysoké teploty a vlhkost vzduchu. Zájem diváků o tato utkání je po letní pauze vysoký, a tak při vysokých teplotách venkovního vzduchu a vlhkém počasí může během utkání nastat nepříjemný problém s mlhou na stadionu. V měsících duben-květen naopak v našich hokejových soutěžích probíhá play-off. V tomto období už jsou teploty a vlhkost venkovního vzduchu také vysoké a většina těchto zápasů bývá beznadějně vyprodána. Problémy s mlhou poté způsobují přerušování zápasů, pokuty od vedení hokejové ligy, nebo může dojít až k přeložení zápasu. To vše komplikuje herní řád ligy a způsobuje problémy jak pro sportovní oddíly, tak pro hráče i fanoušky.

V České republice tyto problémy častěji nastávají v nižších ligách, kde mají sportovní kluby starší stadiony, které nejsou vybaveny zařízením pro odvlhčování vzduchu, a do vnitřního prostoru vniká velké množství neupraveného vlhkého vzduchu. Například v Šumperku, který hraje naší třetí nejvyšší ligu, při zápase v září 2016 byla mlha nad ledovou plochou už dávno před zápasem. Z utkání se nakonec odehrály necelé tři minuty, a poté byl kvůli nevyhovujícím podmínkám zápas předčasně ukončen, a pro utkání se musel hledat náhradní termín. Podobné problémy s mlhou v nižších soutěžích mají i jiná města jako například Kadaň, Uničov apod.

Bohužel se ale problémy s mlhou a vysokou vnitřní vlhkostí neprojevují jen u starých zimních stadionů. Jako učebnicový příklad neznalosti tohoto problému je příklad zastřešení ledové plochy v Jičíně. Ve městě Jičín byla v roce 2011 provedena první etapa rekonstrukce jejich ledové plochy [14]. V první etapě rekonstrukce bylo plánováno zastřešení stávajícího umělého kluziště a rekonstrukcí chladicího zařízení kluziště. Celá tato rekonstrukce přišla na 110 mil. korun. Architekt navrhl řešení krásného stropu, který byl tvořen dřevěnou vazbou. Nový projekt zahrnoval i vystavění tribuny pro 544 diváků, plus tribuny pro 136 stojících diváků. Problémem návrhu architekta bylo, že ve dvou rozích byl stadion otevřen do venkovního prostředí. Architektonické řešení je vidět na obrázku 4.1.





*Obr. 4.1 Propojení haly s venkovním prostředím v rozích stadionu [15]*

Nevýhody přirozeného větrání zimních stadionů byly popsány v kapitole 1, a čtenáři diplomové práce již tuší, co nastalo. Ačkoli toto řešení zastřešení zimního stadionu bylo oceňováno odborníky na architekturu, a dokonce bylo nominováno v roce 2012 na stavbu roku. Ukázalo se, že nebylo vyřešeno ideálně.

Po slavnostním otevření se začaly projevovat první problémy. V teplejších dnech vnikalo do vnitřního prostoru velké množství neupraveného venkovního vzduchu. Nad ledem se tvořila mlha, a vlhký vzduch poté kondenzoval na povrchu dřevěné střechy, kde se poté tvořily plísňe, a na ledové ploše se tvořil krápníkový efekt. Zastupitelé města měli obavy, aby tento problém neměl vliv na statiku budovy. To se po zkoumání odborníků nepotvrdilo, ale co se s konstrukcí stane po 10 až 20 letech bylo těžké odhadovat. V chladných dnech se projevoval problém další, a to velký průvan uvnitř haly. Návštěvníci stadionu museli být pečlivě ustrojeni, jelikož průvan v hale byl citelný a to v chladnějších dnech bylo velice nepříjemné. Pro všechny návštěvníky a samotné hráče bylo v hale velmi nekomfortní prostředí.

Zastupitelé města poté v roce 2015 schválili projekt druhé etapy na úplné zakrytí stadionu s ohledem na jeho provozní problémy. Ve druhé etapě bylo schváleno pořízení odvlhčovací a větrací jednotky. Celkové náklady na tyto úpravy vyšly na dalších necelých 10 mil. korun. Jak vypadá nové zakrytí otvorů je vidět na obrázku 4.2.



*Obr. 4.2 Nově zakrytý roh stadionu [16]*

V září roku 2016 byla stavba dokončena včetně instalace větrací a odvlhčovací jednotky, a problémy s mlhou a velkým průvanem už jsou minulostí. Příklad ukazuje, jak je důležité, už při architektonickém návrhu, brát v potaz vnikání venkovního neupraveného vzduchu do prostoru zimního stadionu, a že je nezbytné řešit odvlhčení vnitřního vzduchu a tím se vyvarovat problémům s vysokou vlhkostí.

Problémy s mlhou se ale bohužel neobjevují jen na menších stadionech v nižších hokejových ligách. Tyto problémy občas nastanou i u hokejových týmů hrajících naší nejvyšší hokejovou soutěž. Problémy s mlhou během hokejového zápasu měli například v Brně, kde byla v roce 2010 dokončena velká rekonstrukce haly [17]. Součástí rekonstrukce bylo i pořízení odvlhčovacích jednotek, větracích jednotek, a také instalace dveřních clon do vstupních dveří. Po této rekonstrukci problémy s mlhou pominuly, až na výjimku, kdy v září roku 2014 v prvním kole hokejové extraligy muselo být utkání předčasně ukončeno z důvodu mlhy. Mlha se vytvořila už před utkáním a začátek utkání se musel posunout. Po začátku utkání se ale mlha ještě zhoršila a hráči neviděli ani puk. Rozhodčí poté utkání předčasně ukončili, a muselo se dohrávat v náhradním termínu. Fotografie z tohoto zápasu, je vidět na obrázku 4.3.



*Obr. 4.3 Mlha na zimním stadionu v Brně [18]*

Vedení brněnského klubu poté uvedlo, že veškeré větrací a odvlhčovací jednotky před zápasem a během zápasu pracovaly na plný výkon. Jako příčinu této mlhy uvedli změnu venkovního počasí. Před utkáním začalo silně pršet a většina diváků přišla na utkání promočená. Vedení dále uvedlo, že během zápasu se pohybovala vnitřní relativní vlhkost na 98 % a později klesla na 70 % [18]. Od roku 2010 se již tento problém neopakoval a mlha se na zimním stadionu v Brně již neobjevila.

Dalším zimním stadionem v České republice, kde je problém s mlhou v poslední době stále aktuální, je zimní stadion v Hradci Králové. Tomuto problému bude věnována zbylá část této diplomové práce.

Problém s mlhou na stadionech u organizací, které hrají naši nejvyšší hokejovou soutěž, nejsou dobrou reklamou pro náš hokejový svaz. Přerušené zápasy jsou pro nás v Evropě ostudou, a na nejvyšší úrovni by se měl tento problém objevovat co možná nejméně. Proto je důležité, abychom dbali na správné odvlhčení a větrání našich tuzemských stadionů, a tím zlepšili komfort pro diváky a hráče na stadionech.

## 5. ZIMNÍ STADION HRADEC KRÁLOVÉ

### 5.1 Popis problému na zimním stadionu

První nekrytá přírodní ledová plocha s umělým osvětlením vznikla v Hradci Králové v roce 1930 na místě dnešního zimního stadionu. Kluziště bylo v průběhu let vylepšováno, a na konci 40. let bylo kluziště chlazeno s využitím kompresorového chlazení. Až v roce 1955 byla zahájena výstavba zimního stadionu s umělým kluzištěm a dvěma nekrytými protilehlými tribunami. V roce 1968 začal vznikat na svoji dobu neobyčejný projekt kryté víceúčelové haly s kapacitou 12 000 diváků. O rok později se dle návrhu Ing. arch. Františka Křeliny začalo stavět a k úplnému dokončení stavby došlo až v roce 1976. Oproti původnímu návrhu byl ale z finančního důvodu zimní stadion skromnější s kapacitou 8 000 diváků. Celá přestavba stadionu probíhala za plného provozu ledové plochy [19]. Stadion v Hradci Králové se vyznačuje oválnými tribunami s dobrým výhledem z každého místa, a ochozem nad tribunami, po kterém se dá obcházet kolem celého stadionu. Skoro polovina stadionu v západní části je tvořena tribunou pro stojící diváky.

V roce 2007 byla na zimním stadionu provedena rozsáhlá modernizace s plánovanou cenou 270 mil. korun. Termín dokončení byl stanoven na rok 2010. Rekonstrukce měla zahrnovat celkové nové opláštění a zateplení stadionu, rekonstrukce střechy a osvětlení, vybudování skyboxů, pořízení nového chladicího agregátu, výměnu starých lavic za nové sedačky, výměna zábradlí, instalace protiskluzových podlah, a také instalaci klimatizačního zařízení. Celá rekonstrukce však nebyla dokončena kvůli sporům mezi městem a nájemcem, firmou ABD, která měla zimní stadion rekonstruovat. Městu Hradec Králové se nelíbily předražené a nekvalitně provedené práce. Celý tento spor byl dlouhá léta řešen soudně a kvalitu provedených prací mediálně kritizoval i původní architekt stadionu Ing. arch. František Křelina [19]. Během soudního řízení kde soud rozhodl, že smlouva mezi městem a firmou je neplatná, začala firma ABD provádět restrukce a před sezónou 2012 nepřipravila led v hlavní hale. Všechny věkové kategorie i s A-týmem musely svá mistrovská utkání a tréninky provozovat ve vedlejší tréninkové hale, což pro A-tým, hrající v té době první hokejovou ligu, byl velký problém. V roce 2013 po dlouhých soudních tahanicích převzalo stadion znovu město Hradec Králové.

Z plánovaných oprav nebyla provedena výměna chladicího zařízení, výměna mantinelů a instalace klimatizačních jednotek. Po výměně lavic za nová sedadla, klesla kapacita diváků na 7700. Tato kapacita byla před dvěma lety snížena na dnešních 6890 diváků, z toho 3655 k sezení a zbytek ke stání.

V Hradci Králové se dlouhá léta hrála nanejvýše první hokejová liga, tj. druhá nejvyšší tuzemská soutěž. Extraliga ledního hokeje zde byla jen jednu sezónu a to v roce 1992/1993, poté hradecký klub sestoupil a nastal jeho pád až do druhé hokejové ligy, kde nechybělo málo a nastal by sestup až do krajské soutěže.

V roce 2002, hokejový klub postoupil zpět do první hokejové ligy, kde působil až do roku 2013. V první lize se návštěvy diváků pohybovaly okolo 1500 maximálně 2500 diváků na zápas. Během působení v první hokejové lize se na zimním stadionu nevyskytl problém s mlhou a rosením plexiskel. V roce 2013 získal hradecký klub licenci pro hraní naší nejvyšší hokejové soutěže. Hned v prvním domácím zápase ale nastaly na zimním stadionu problémy s mlhou. Během prvního domácího zápasu, který se odehrál 15. 9. 2013, se během druhé třetiny objevila mlha a už během první třetiny rosení plexiskel. Na první utkání přišlo necelých 5200 diváků a ti, kteří seděli v prvních řadách měli hned v první třetině vlivem rosení plexiskel zhoršený výhled. Na obrázku 5.1 je možné vidět, jaká byla viditelnost na ledovou plochu po vytvoření mlhy [20].



*Obr. 5.1 Mlha při prvním zápase extraligy v Hradci Králové v roce 2013 [20]*

V dalších zápasech první sezony v extralize už se mlha na zimním stadionu během zápasu neobjevila. Do nové sezony 2014/15 klub nainstaloval nad ledovou plochu dva axiální ventilátory, které měly v případě opakování problému ze zářijového utkání rozptýlit mlhu nad ledem. Před sezonou 2014/15 byly také vyměněny mantinely, nainstalováno nové chladičí zařízení ledové plochy, a také vyměněno stávající osvětlení za nové. Hned v úvodním domácím kole, které se hrálo, mlha a rosení plexiskel nastali znovu. Zápas se odehrál 14. 9. 2014, tedy skoro přesně po roce, kdy se mlha a rosení plexiskel na zimním stadionu objevilo poprvé. Utkání navštívilo necelých 5400 diváků. Zápas musel být dokonce z důvodu špatné viditelnosti přerušen. Během přerušeni byly zapnuty axiální ventilátory a mlha po chvíli nad ledovou plochou zmizela. Objevil se ale další problém, teplý vzduch, který byl ventilátory vháněn na ledovou plochu, výrazně zhoršil kvalitu ledu a na ledové ploše se začaly tvořit kaluže vody. Dalším problémem bylo mlžení plexiskel, které ztěžovalo výhled divákům skoro po celý zápas. O komerčních přestávkách sice mladí hokejisté za pomoci stěrek z orosených plexiskel stírali vzniklý kondenzát, ale po krátké chvíli se na plexisklech rosení objevilo znovu. Na obrázku 5.2 je vidět, jaké vznikaly kaluže vody na ledové ploše a rovněž zamlžené plexiskla, přes která byla viditelnost na hru minimální.



*Obr. 5.2 Kaluže na ledové ploše a rosení plexiskel při zápase v roce 2014 [21]*

O týden později přišlo na hradecký zimní stadion vyprodané hlediště, tedy 6890 diváků a problémy se opakovaly znovu. Utkání bylo přerušeno, při přerušení se zapnuly axiální ventilátory nad ledovou plochou a po přestávce se znovu hrálo, ale na ledě, který svou kvalitou neodpovídal zápasu extraligového utkání.

Po opakujících se problémech s mlhou a dalšími problémy s ní spojenými se vlastníkem stadionu, město Hradec Králové, rozhodlo vypsát výběrové řízení na projekt a dodávku odvlhčovacího zařízení. Na třetí pokus byla vybrána nejnižší nabídka a v průběhu léta roku 2015 byla na zimní stadion nainstalována nová odvlhčovací jednotka. Celá instalace přišla město Hradec Králové na 3 mil. korun [22].

Do sezóny 2015/16 se vstupovalo už s instalovanou odvlhčovací jednotkou s tím, že problémům s mlhou je konec. V celé sezóně 2015/16 se problémy s mlhou neobjevily. Vše tedy nasvědčovalo tomu, že nová odvlhčovací jednotka problém vyřešila.

Bohužel hned na začátku sezóny 2016/17 ve třetím zápase, kdy na zimní stadion dorazilo 6890 diváků, tedy maximální kapacita stadionu, se mlha nad ledovou plochou objevila znovu. Mlha sice už nebyla tak extrémní jako v předešlých zápasech, ale měla vliv na hru a komfort pro hráče i diváky. Po zápase bylo pro vedení hokejového klubu a vlastníka zimního stadionu záhadou, jak je možné, že se problémy s mlhou, které v minulé sezóně po instalaci odvlhčovací jednotky nenastaly, znovu komplikovaly vyprodané utkání, a zajímala je příčina. Po opakování problému s mlhou jsem se rozhodl zanalyzovat problémy tvorby mlhy na zimním stadionu v Hradci Králové v mé předkládané diplomové práci. Snahou je nalézt řešení, které by zamezilo opakování se tohoto problému. Po kontaktování vedení hokejového klubu jsem dostal souhlas a byly mi poskytnuty informace o stávajícím vzduchotechnickém zařízení, a dále mi bylo umožněno měření stavu vnitřního vzduchu během vybraných hokejových zápasů.

## 5.2 Stávající vzduchotechnické zařízení

V roce 2007, kdy začala velká rekonstrukce zimního stadionu, se plánovalo i s celkovou rekonstrukcí klimatizačního zařízení. Po soudních tahanicích, a zrušení smlouvy s nájemcem, firmou ABD, se žádná rekonstrukce klimatizace nekonala. Současné vzduchotechnické zařízení stadionu se tedy skládá ze staré větrací jednotky a nového odvlhčovacího zařízení, které bylo instalováno v roce 2015.

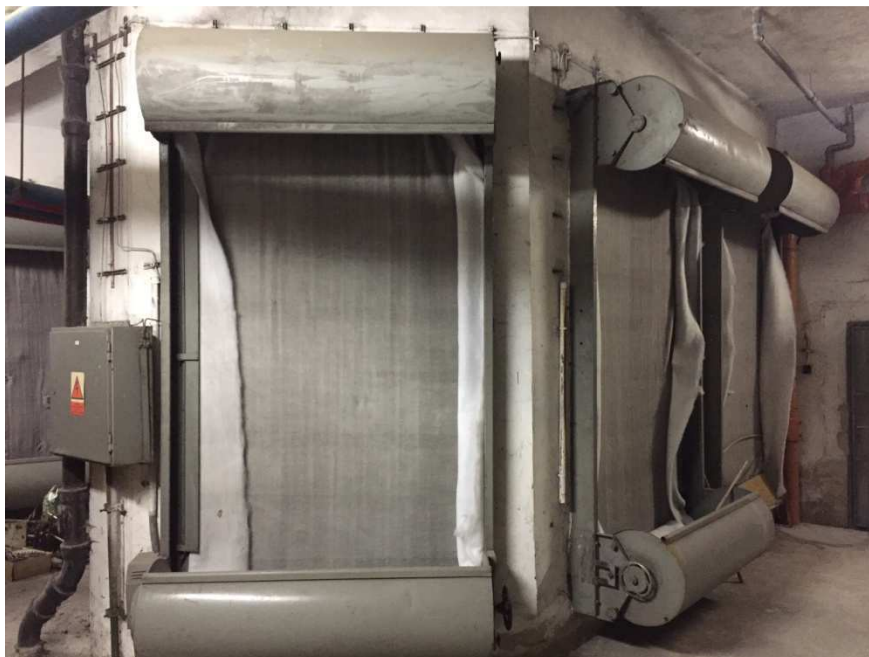
### 5.2.1 Větrací vzduchotechnická jednotka

Zimní stadion v Hradci Králové je vybaven ještě původní klimatizační jednotkou, její stáří se dá odhadovat asi na 40 až 50 let. Jedná se ještě o staré provedení klimatizační jednotky, kde jsou jednotlivé komory tvořeny stavební úpravou místností v suterénu zimního stadionu. Současná větrací jednotka je vybavena ohřívačem, chladičem, pásovými filtry, klapkami a ventilátory. Jako zdroj tepla pro ohřívač je využíváno centrálního zásobování tepla z Opatovic nad Labem. Chladič jednotky se v současné době již nevyužívá a je odpojen od zdroje chladu. Ohřívač stávající jednotky je vidět na obrázku 5.3, a na obrázku 5.4 jsou stávající pásové filtry na přívodu čerstvého vzduchu. Z důvodu stáří tohoto zařízení, neexistuje žádná projektová dokumentace a nejsou známy údaje o průtoku vzduchu a výkonu ohřívače a chladiče.



*Obr. 5.3 Ohřívač vzduchu stávající vzduchotechnické jednotky*



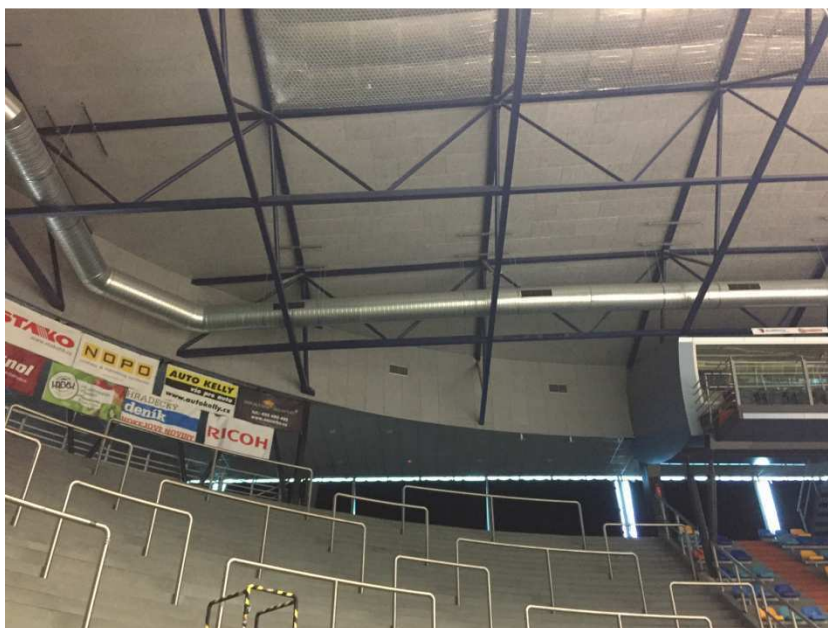


*Obr. 5.4 Pásové filtry na přívodu čerstvého vzduchu do jednotky*

Při utkáních se tato jednotka využívá jen k přitápění v zimních měsících, kdy jsou teploty venkovního vzduchu hluboko pod nulou. Důvodem je nízká účinnost a vysoké provozní náklady takto starého zařízení. Vytápění prostoru haly během zimních dnů o 4 až 5 °C trvá při trvalém zapnutí vzduchotechnické jednotky okolo 2 až 3 dnů. Náklady na provoz tohoto zařízení jsou tedy vysoké. Důvodem je vysoký elektrický příkon starých ventilátorů s nízkou účinností, ale také špatná těsnost a izolace přívodního potrubí.

Pro provětrávání vnitřního prostoru při hokejovém utkání se toto zařízení nevyužívá. Důvodem je, že by se do vnitřního prostoru haly přiváděl venkovní neupravený vlhký vzduch. Jednotka je používána jen v zimním období na přitápění.

Vzduch od vzduchotechnické jednotky je veden ze suterénu kruhovým potrubím, až do podhledu nad ochozem haly. Potrubí je vedeno kolem celého ochozu a jako distribuční prvky jsou zde využívány obdélníkové vyústky. Před rekonstrukcí v roce 2007 byly vyústky po celém ochozu haly, ale při dostavbě „sky-boxu“ byly některé neodborně ohnuty do prostoru podhledu a některé dokonce zastavěny a poničeny. Na obrázku 5.5 jsou vidět obdélníkové vyústky vystupující z podhledu nad ochozem, a dále nové „sky-boxy“, které byly dostavěny během rekonstrukce a navazují na podhled nad ochozem haly.



*Obr. 5.5 Pohled na vyústky umístěné nad ochozem a dále na nové sky-boxy. Pozinkované SPIRO potrubí je součástí zařízení pro odvlhčování*

Odvod vzduchu z haly je řešen na více místech. Jeden z odvodů vzduchu je umístěn pod sedadly v západní části stadionu. Odvod je řešen přes mřížky, které jsou nainstalovány na konstrukci tribuny. Druhý odvod je umístěn u vstupu hráčů na ledovou plochou a je řešen odvodní šachtou s ocelovou mříží. Oba způsoby odvodu vzduchu jsou vidět na obrázku 5.6 a 5.7



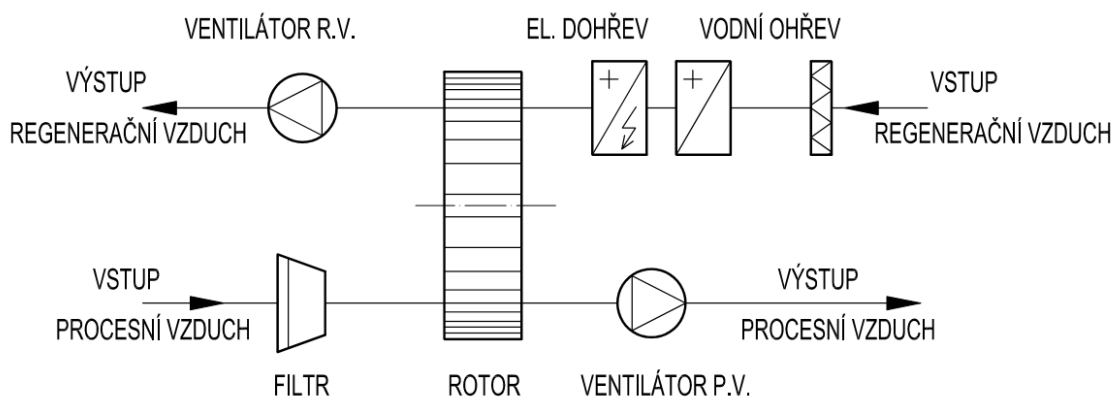
*Obr. 5.6 Odvod vzduchu z haly pod sedadly na tribuně*



*Obr. 5.7 Odvod vzduchu z haly u vstupu na ledovou plochu*

### 5.2.2 Odvlhčovací jednotka

Jak již bylo popsáno v předchozích odstavcích, v roce 2015 byla na zimním stadionu instalována nová odvlhčovací jednotka. Jedná se o odvlhčovací jednotku COTES typ CRP 8000E. Jde o klasické provedení odvlhčovací jednotky, kdy vzduch, který má být odvlhčen, je nasáván přes filtr ventilátorem, a dále je veden přes pomalu rotující odvlhčovací kolo, kde dochází k vázání vodních molekul na sorbent-silikagel a dochází k tzv. adsorpci. Dále je do jednotky přes ventilátor a filtr nasáván regenerační vzduch, který je dále předehříván přes vodní ohříváč, který je napojen na centrální zásobování teplem, a dále je regenerační vzduch dohříván na 100 až 120 °C elektrickým ohříváčem. Ohřátý regenerační vzduch dále prochází rotujícím odvlhčovacím kolem a absorbovaná vodní pára je uvolňována do regeneračního vzduchu. Schéma funkce odvlhčovací jednotky je vidět na obrázku 5.8.



Obr. 5.8 Schéma funkce odvlhčovací jednotky COTES CRP8000E

Maximální průtok odvlhčovaného (procesního) vzduchu je 9000 m<sup>3</sup>/h a průtok regeneračního vzduchu je 2600 m<sup>3</sup>/h. Výkon odvlhčovací jednotky při vstupním vzduchu o teplotě 20 °C a relativní vlhkosti 50 % je 64,8 kg/h. Odvlhčovací jednotka je vybavena elektrickými topnými tělesy o celkovém výkonu 84 kW. Externí tlak ventilátoru procesního vzduchu je 300 Pa a externí tlak ventilátoru regeneračního vzduchu je 400 Pa. Odvlhčovací kolo má průměr 1250 mm a šířku 200 mm. Rychlost otáčení rotoru je 9 ot/h. Hmotnost celé jednotky je 1500 kg, její rozměry jsou 3025 x 1722 x 2031 mm a je vyrobena ve venkovním provedení. Výstup procesního vzduchu z jednotky má průměr 560 mm a výstup regeneračního vzduchu má průměr 315 mm.

Regulace jednotky je napojena na čidlo vlhkosti, které je umístěno pod střechou zimního stadionu. Na regulaci je nastaven rosný bod vnitřního vzduchu na hodnotu 4 °C, a na relativní vlhkost vnitřního vzduchu 56 %.

Výrobce udává, že každý měsíc by se měla provádět kontrola filtrů procesního i regeneračního vzduchu, dále provést kontrolu otáčení sorpčního kola, zkontrolovat kontrolky poruch a provést kontrolu termostatu. Displej musí ukazovat hodnotu teploty regeneračního vzduchu 120 °C. Tuto kontrolu jsem provedl během jednoho utkání a teplota regeneračního vzduchu na displeji ukazovala hodnotu 121 °C. Jednou za rok by se měla provádět celková kontrola funkčnosti celé jednotky a celý stroj by se měl vyčistit. Nutností je prověřovat poškození a napnutí hnacího řemene rotoru. Odvlhčovací jednotka je umístěna ve venkovním prostředí u jihozápadní části budovy. Jednotka je vidět na obrázku 5.9.

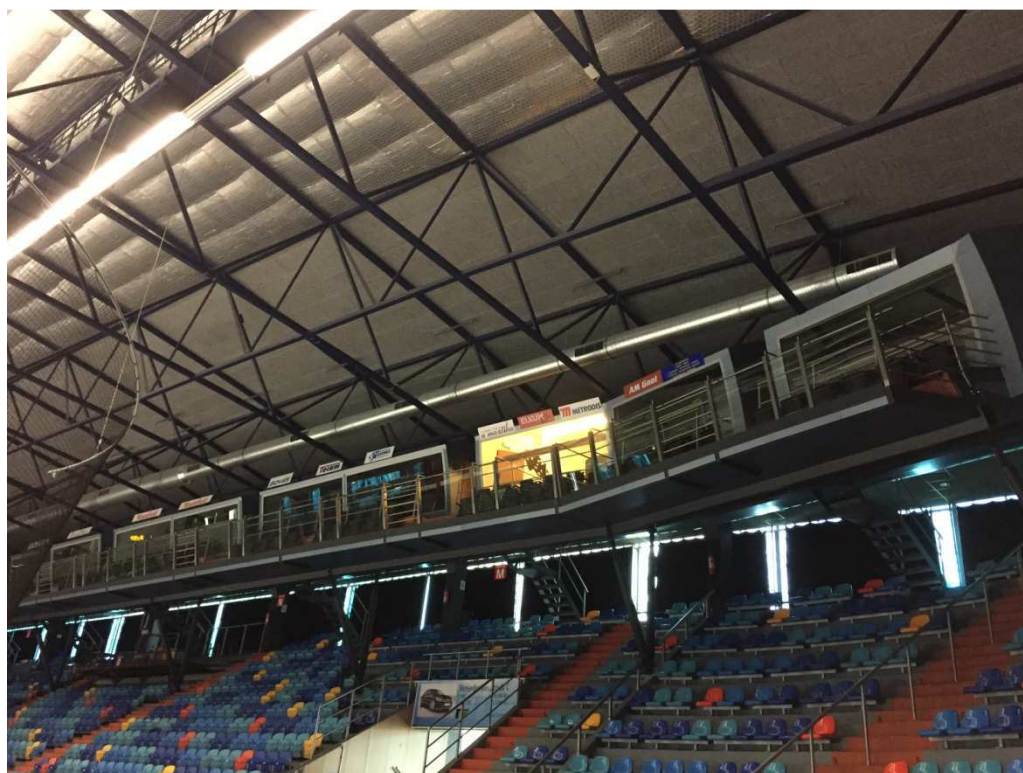


*Obr. 5.9 Odvlhčovací jednotka umístěná v jihozápadní části objektu*

Z jednotky je souběžně vedeno izolované SPIRO potrubí sání a výfuku. Potrubí je dále vedeno po fasádě stadionu až do východní horní části, kde dále projde obvodovou konstrukcí do haly. Sací potrubí je v hale umístěno v jižní části stadionu a je umístěno nad „sky-boxy“. Sání vlhkého vzduchu je realizováno přes obdélníkové vyústky. Počet obdélníkových vyústek je 12 kusů. Přívod odvlhčeného vzduchu je umístěn na protilehlé straně stadionu také nad „sky-boxy“. Jako distribuční prvky pro odvlhčený vzduch jsou navrženy trysky v počtu 12 kusů. Potrubí je z důvodu křížení s ocelovými vazníky v některých místech přechodováno na hranatý průřez. Fotografie stávajícího přívodu odvlhčeného vzduchu a odvodu vlhkého vzduchu jsou vidět na obrázcích 5.10 a 5.11.



*Obr. 5.10 Potrubí odvlhčeného přiváděného vzduchu umístěné nad sky-boxy*

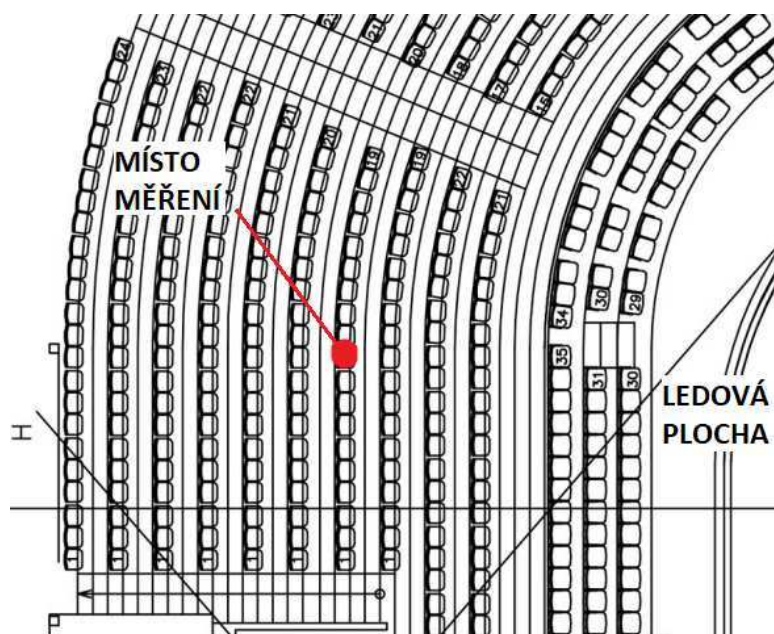


*Obr. 5.11 Potrubí odváděného vlhkého vzduchu umístěné nad sky-boxy*

### 5.3 Měření na zimním stadionu

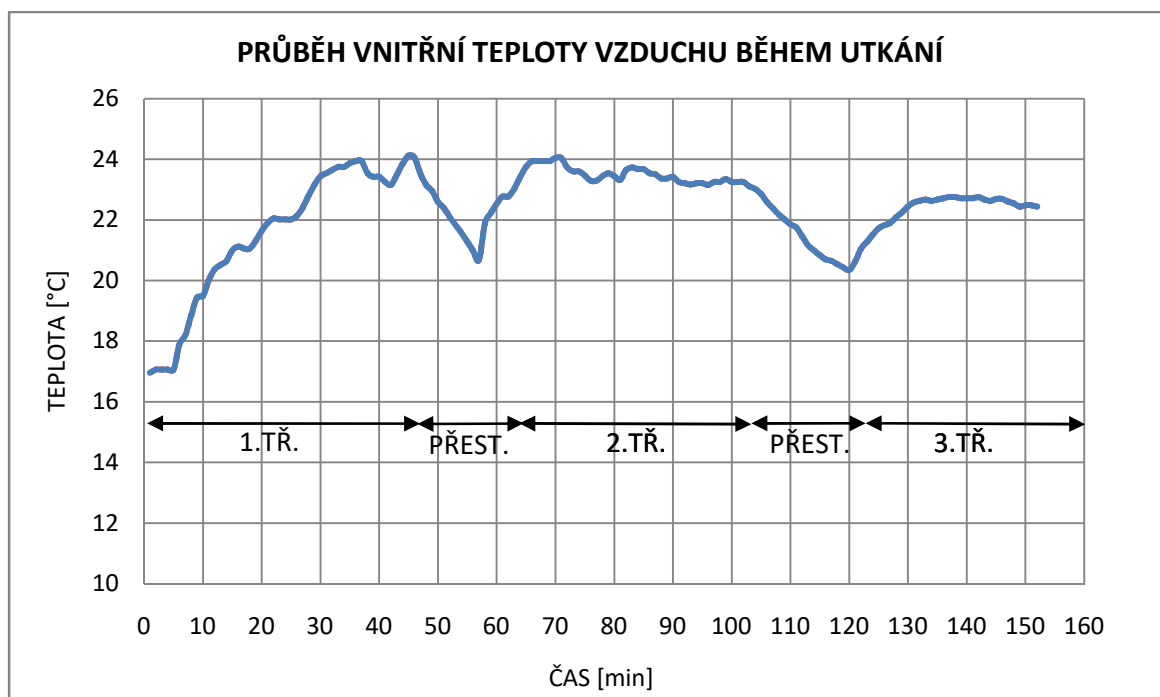
Během přechodového období jsem provedl na zimním stadionu při dvou vybraných zápasech orientační měření stavu vnitřního vzduchu a jeho změny v průběhu utkání. Pro měření jsem použil přístroj OMEGA OM-SP2000 čp. 08012219, který během celého utkání i přestávek mezi třetinami měřil průběh teploty vzduchu a relativní vlhkosti. Přístroj měřil teplotu a relativní vlhkost opakovaně po jedné minutě. Měření bylo zahájeno pět minut před začátkem hokejového utkání, a bylo ukončeno ihned po konci zápasu. Z výsledků měření, které byly graficky znázorněny, lze získat představu, jak se během utkání tyto dva parametry vzduchu mění.

První měření proběhlo dne 8. 10. 2017 od 17:00 hodin do 19:30 hodin. Během tohoto utkání přišlo na hokejový zápas 4799 diváků, což je necelých 70 % kapacity zimního stadionu. Hodinu před utkáním panovalo venku deštivé počasí. Venkovní vzduch měl teplotu 13 °C a jeho relativní vlhkost byla 89 %. Během zápasu se teplota venkovního vzduchu snižovala až na hodnotu 9,5 °C a relativní vlhkost se držela v rozmezí 88 až 92 %. Hodnoty stavu venkovního vzduchu byly použity z meteorologické stanice v Hradci Králové, která je umístěna na základní škole v Bezručově ulici [24]. Měření bylo provedeno na západní tribuně v sektoru H ve čtvrté řadě od ledové plochy. Přesné místo prvního měření je vidět na obrázku 5.12.



Obr. 5.12 Místo prvního měření na zimním stadionu během utkání 8. 10. 2017

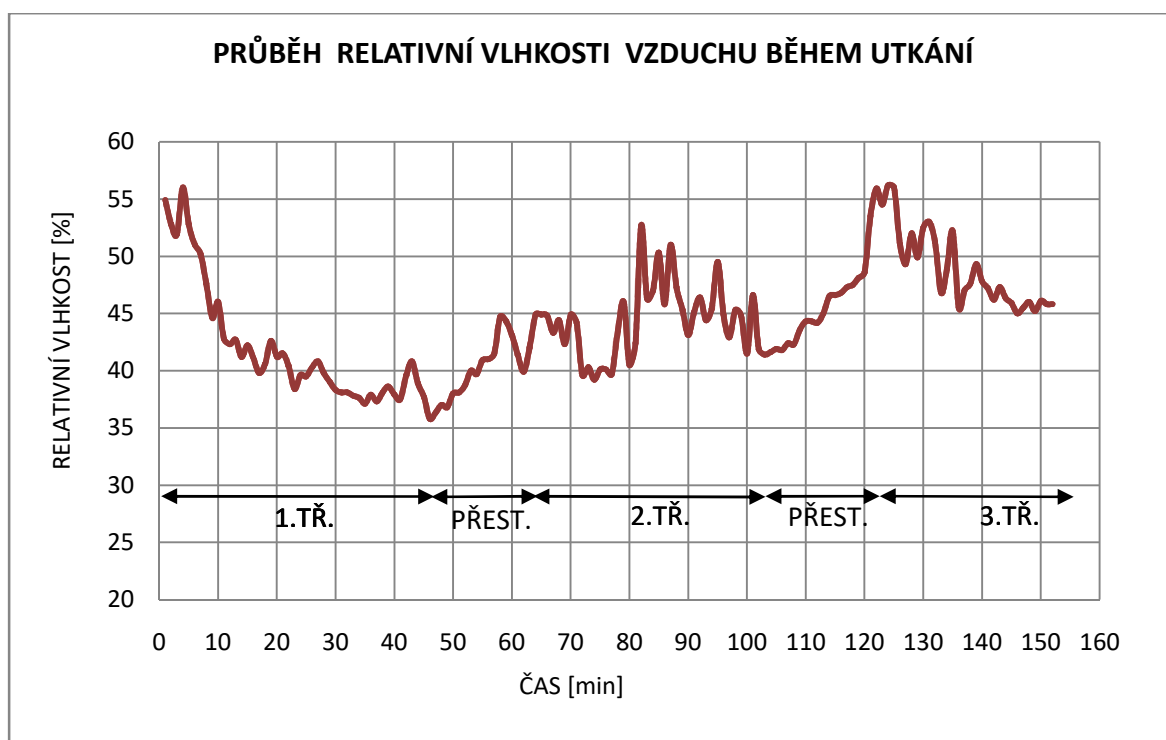
Během celého utkání i přestávek mezi třetinami byl měřicí přístroj na stejném místě. Problémy s mlhou a rosením plexiskel se během tohoto měřeného zápasu neobjevily. Průměrná hodnota teploty vzduchu na zimním stadionu během zápasu byla naměřena 22 °C a průměrná relativní vlhkost vzduchu byla 44 %. Grafický průběh teploty během zápasu je znázorněn na grafu číslo 1.



*Graf 1- Průběh vnitřní teploty vzduchu na zimním stadionu během prvního měření 8. 10. 2017*

Z grafického průběhu je vidět, jak teplota vnitřního vzduchu během první třetiny vzrostla ze 17 °C až na teplotu okolo 24 °C. Poté je vidět mírný pokles teploty, který nastal během pauzy mezi první a druhou třetinou hokejového zápasu, kdy se většina diváku šla občerstvit, a kdy probíhala úprava ledové plochy. Po skončení první přestávky se teplota opět zvyšovala až na hodnotu 24 °C. Poté byl průběh teploty mírně klesající a během druhé přestávky mezi třetinami opět teplota klesla asi na 20,5 °C. V průběhu poslední třetiny se teplota držela asi na 23 °C. V grafu číslo 2 je zobrazen průběh relativní vlhkosti během celého hokejového utkání.





*Graf 1- Průběh relativní vlhkosti vnitřního vzduchu na zimním stadionu během prvního měření 8. 10. 2017*

Z grafu číslo 2 je vidět, že hned na začátku měření relativní vlhkost vzrostla skokově z asi 38 % až na 55 %. To mohlo být způsobeno okolními diváky, kteří seděli vedle měřicího přístroje a mohli tak přístroj ovlivnit například vydechnutím přímo na přístroj. Poté relativní vlhkost prudce klesá a během prvních dvou třetin se držela v rozmezí 35 až 50 %. V průběhu třetí třetiny relativní vlhkost vzrostla až na 55 %. Ale poté až do konce zápasu klesala až na hodnotu 45 %. Dále byla z naměřených hodnot vypočítána teplota rosného bodu vnitřního vzduchu a poté vynesena do grafu. Pro stanovení teploty rosného bodu byl pro jednotlivé naměřené hodnoty vypočítán parciální tlak sytých vodních par  $p_v''$ , který závisí na teplotě, a poté byl dle vztahu (1) [25] vypočten parciální tlak vodních par  $p_v$ .

$$p_v = \varphi p_v'' \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

kde

$p_v$  parciální tlak vodních par [Pa]

$\varphi$  relativní vlhkost vzduchu [%]

$p_v''$  parciální tlak sytých vodních par [Pa].

Po vypočtení parciálního tlaku vodních par dle vztahu (1) byla dále vypočítána teplota rosného bodu. Pro výpočet teploty rosného bodu byl použit vztah (2). Tento vztah je pro teplotu vzduchu vyšší nebo rovnou 0 °C [25].

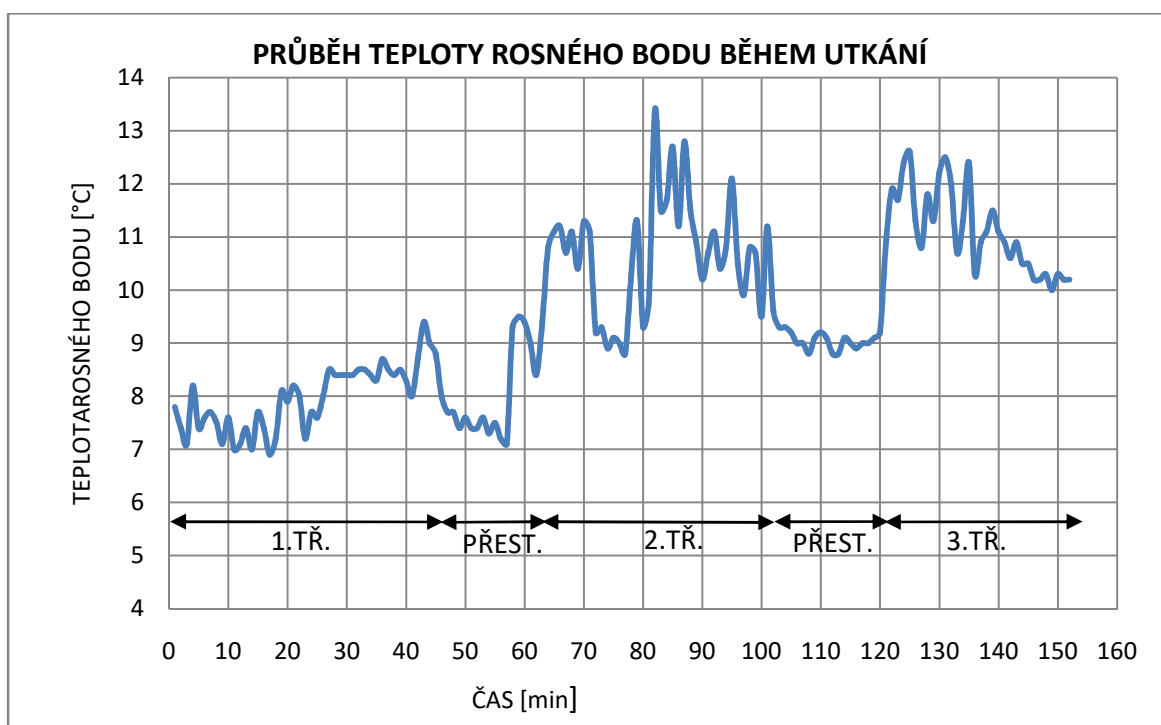
$$t_{rb} = \frac{4044,2}{23,58 - \ln p_v} - 235,6 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2)$$

kde

$t_{rb}$  teplota rosného bodu [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$p_v$  parciální tlak vodních par [Pa].

Výsledné hodnoty vypočtené teploty rosného bodu jsou zobrazeny v grafu 3.



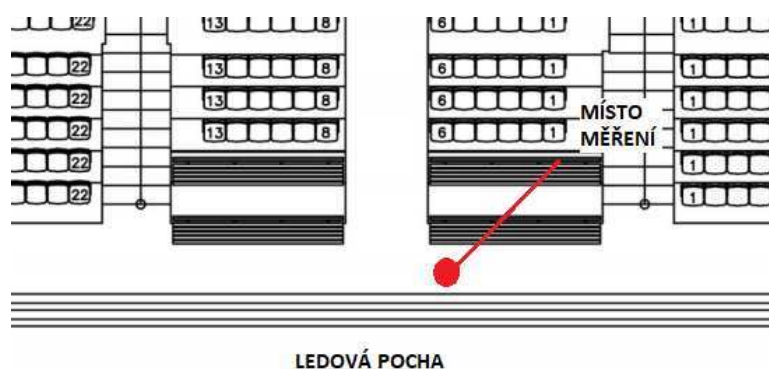
*Graf 3- Průběh teploty rosného bodu na zimním stadionu během prvního měření 8. 10. 2017*

Z výsledného grafu průběhu teploty rosného bodu je vidět, jak teplota rosného bodu během celého utkání vzrůstala. V první třetině teplota rosného bodu vzrostla ze 7 °C asi na 9,5 °C. Poté asi kolem padesáté minuty měření můžeme vidět mírný pokles asi na teplotu 7,5 °C. Tento pokles byl způsoben přestávkou mezi třetinami.

V průběhu druhé třetiny teplota rosného bodu vzrostla až na 13 °C a v průběhu pauzy, mezi druhou a třetí třetinou, je vidět znovu pokles až na teplotu 9 °C. Ve třetí třetině teplota rosného bodu znovu rostla a držela se okolo 12,5 °C. Na konci měřeného zápasu se poté teplota rosného bodu snižovala. Průměrná hodnota teploty rosného bodu během měřeného utkání byla 9,4 °C.

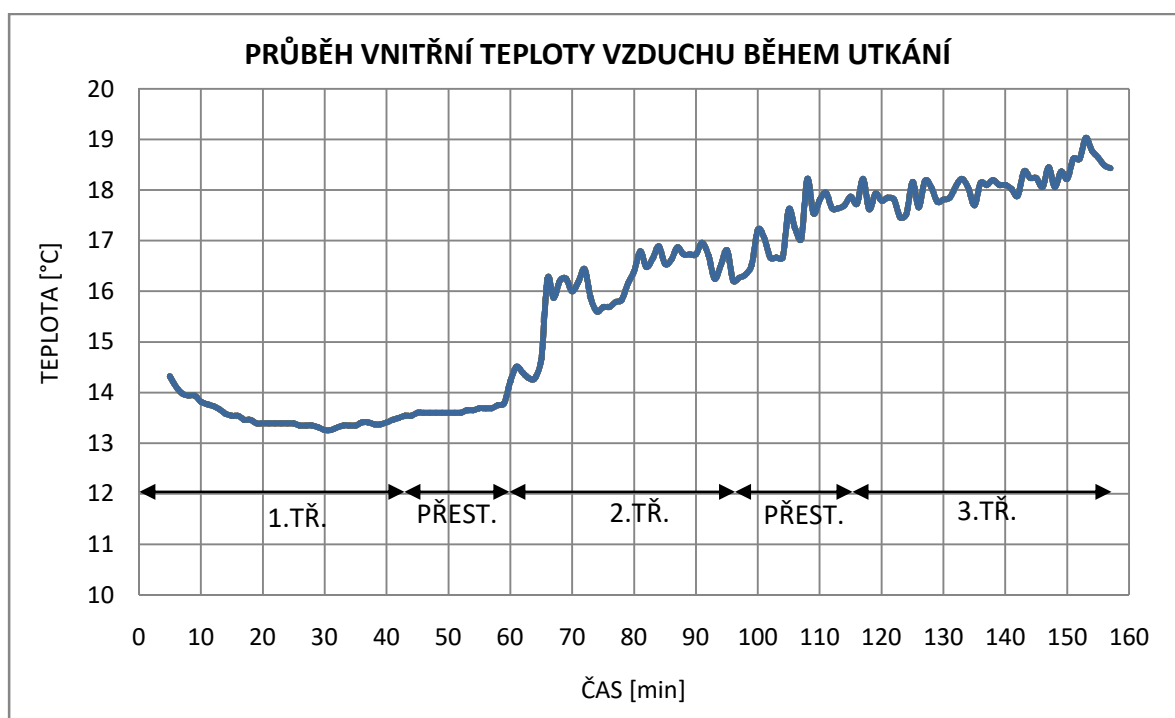
Jak již bylo psáno, během tohoto utkání se neobjevily problémy s mlhou a rosením plexiskel. Měření nám ukázalo, že parametry vnitřního vzduchu, teplota, relativní vlhkost a teplota rosného bodu se během celého utkání držely v přijatelných hodnotách. Průměrná hodnota relativní vlhkosti byla během celého zápasu okolo 50 %, což je ideální pro prostory zimních stadionů. Průměrná teplota vnitřního vzduchu byla během zápasu asi 22 °C. Pro komfort diváků na zimním stadionu je tato hodnota teploty v prostorách tribun také v pořádku. Teplota rosného bodu na zimních stadionech by se měla dle tabulky 3. držet v rozmezí 2 až 7 °C. Z výsledků měření je vidět, že během utkání byla tato teplota překročena až na 13 °C a průměrná teplota rosného bodu během měření byla 9,4 °C.

O týden později, tj. 15. 10. 2017 od 17:00 hodin do 19:30 hodin, bylo na zimním stadionu v Hradci Králové provedeno druhé měření. Jako měřicí přístroj byl znovu použit přístroj OMEGA OM-SP2000, a opět byly po jedné minutě odečítány teploty a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu. Rozdílné bylo ale místo měření. Druhé měření bylo provedeno v prostorách časoměřičů a trestných lavic v severní části objektu, kde byl přístroj umístěn na stole asi 20 cm od mantinelů. Přesné místo měření je vidět na obrázku 5.13.



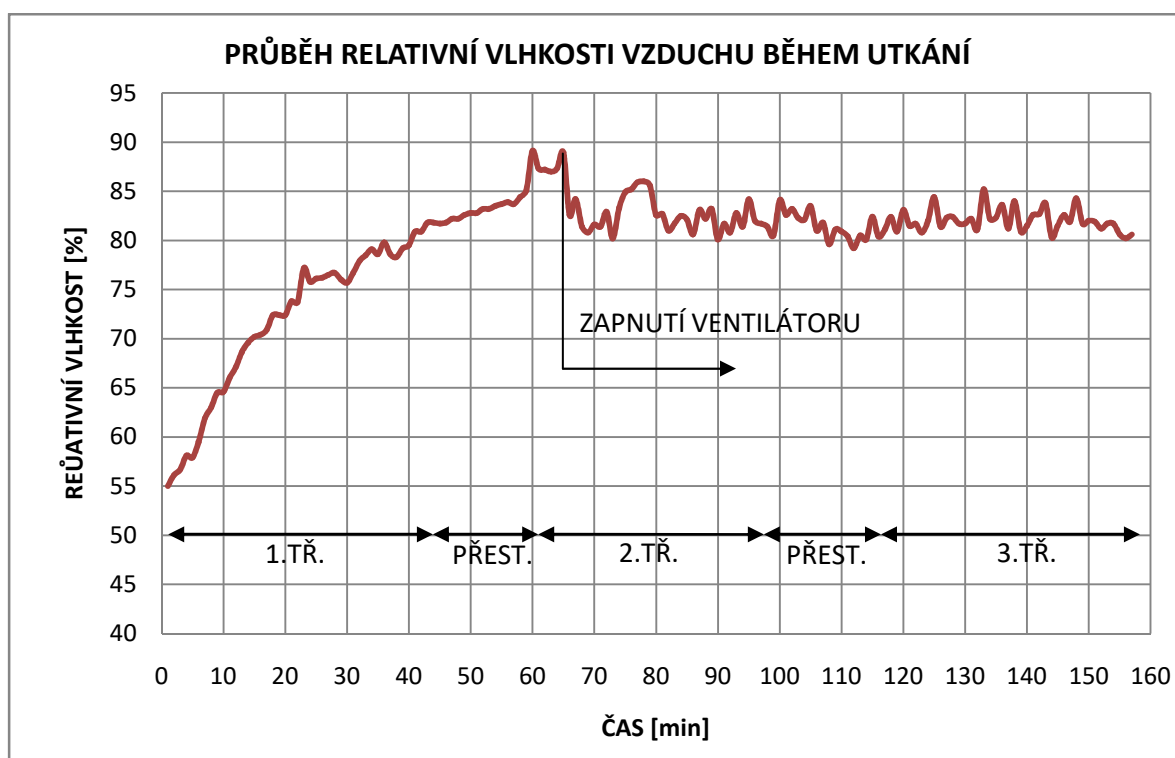
Obr. 5.13 Místo druhého měření na zimním stadionu během utkání 15. 10. 2017

Během druhého měřeného utkání přišlo na zimní stadion 6890 diváků, což odpovídá 100 % kapacitě stadionu. Během dne byla ve venkovním prostředí vysoká teplota vzduchu. Asi hodinu před utkáním, tedy v 16 h, měl venkovní vzduch teplotu 21,6 °C a jeho relativní vlhkost byla asi 67 %. Těsně před začátkem utkání se teplota venkovního vzduchu pohybovala na hodnotě 20,2 °C a jeho relativní vlhkost vzrostla na 72 %. Během zápasu teplota venkovního vzduchu klesala. Na konci utkání měl venkovní vzduch teplotu asi 14 °C a relativní vlhkost venkovního vzduchu během zápasu rostla až na hodnotu 91 %. Parametry venkovního vzduchu byly znovu použity z meteorologické stanice v Hradci Králové, která je umístěna na základní škole v Bezručově ulici [26]. Během tohoto druhého měřeného utkání se problémy s mlhou a rosením plexiskel objevily. Problémy se začaly projevovat v průběhu druhé třetiny, kdy se nad ledovou plochou objevila mlha, a poté se začala rosit i plexiskla mantinelů. Po orosení plexiskel mantinelů obsluha časomíry pustila vzduchový ventilátor a namířila ho na plexisklo směrem k měřicímu přístroji. Měření mohlo tedy být tímto ventilátorem ovlivněno. Mlha a rosení plexiskel se projevovaly až do konce utkání. Mlha ale nebyla tak hustá a zápas nemusel být přerušen tak jako v předchozích utkáních, kdy se tento problém objevil. Průběh naměřených hodnot je znovu zobrazen v jednotlivých grafech. V grafu 4 je vidět průběh vnitřní teploty vzduchu během druhého měřeného zápasu.



*Graf 4 - Průběh vnitřní teploty vzduchu na zimním stadionu během druhého měření 15. 10. 2017*

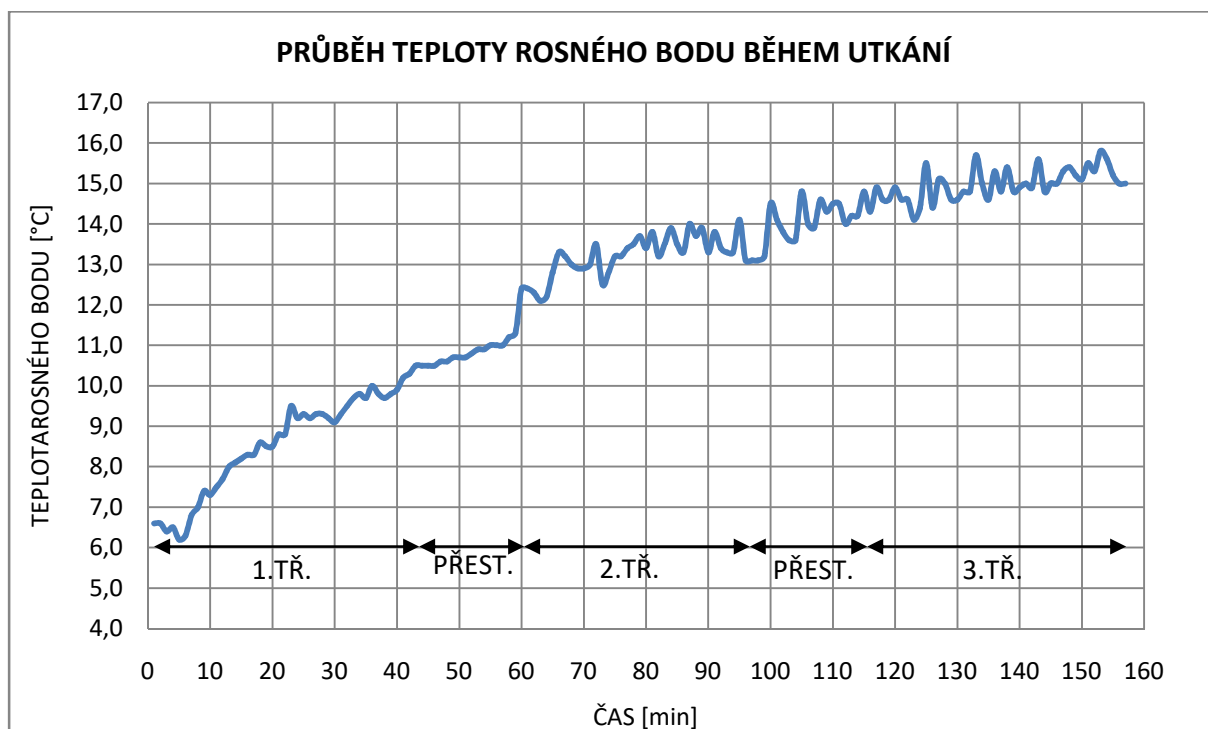
Z grafu 4 je vidět, že během první třetiny měřeného utkání se teplota vnitřního vzduchu v měřeném místě u mantinelů, blízko u ledové plochy, držela mezi 13 až 14 °C. V průběhu druhé třetiny teplota rostla až k teplotě 18 °C, a v průběhu třetí třetiny teplota dále rostla až na teplotu 19 °C. Naměřená hodnota 19 °C je pro místo, kde se měřilo, dost vysoká. V prostorách u ledu, kde nejsou sedící diváci, by se teplota vnitřního vzduchu měla pohybovat v rozmezí 5 až 12 °C. V prostorách diváků bohužel nebyla v průběhu zápasu měřena teplota vnitřního vzduchu. Během zápasu se vnitřní teplota zvýšila a v průběhu druhé třetiny bylo na zimním stadionu pocitově „horko“. Dalším měřeným parametrem byla opět relativní vlhkost vnitřního vzduchu. Průběh relativní vlhkosti během zápasu je vyobrazen v grafu 5.



Graf 5 - Průběh relativní vlhkosti vzduchu na zimním stadionu během druhého měření

Z grafického průběhu je vidět, jak se během první třetiny relativní vlhkost vzduchu prudce zvyšovala. Během prvních šedesáti minut se relativní vlhkost zvýšila z 55 % až na velmi vysokou hodnotu 90 % relativní vlhkosti. Grafický průběh zvýšení relativní vlhkosti potvrzuje i to, kdy se začala mlha a rosení plexiskel během zápasu projevovat. Bylo tomu na začátku první třetiny, tedy kolem šedesáté minuty měření. Po nárůstu relativní vlhkosti až na 90 % můžeme vidět, že se její hodnota skokově snížila a během celého zápasu se relativní vlhkost vnitřního vzduchu držela v rozmezí 80 až 85 %.

Toto skokové snížení naměřené relativní vlhkosti vzduchu bylo nejspíše způsobeno zapnutím axiálního ventilátoru obsluhou časoměřičů, která přes orosená plexiskla neviděla na ledovou plochu a hru samotnou. Měření bylo ovlivněno prouděním vzduchu od ventilátoru, který byl namířen přímo na měřicí přístroj. Z druhého měření byla dále vypočítána teplota rosného bodu dle vztahu (1) a (2). Výsledky byly poté vyneseny do grafické podoby viz graf 6.



*Graf 6 - Průběh teploty rosného bodu na zimním stadionu během druhého měření*

Z grafu 6 je vidět, že teplota rosného bodu se během průběhu celého zápasu zvyšovala. Na začátku měření byla teplota rosného bodu asi 6,5 °C a během zápasu se vyšplhala až na necelých 16 °C, což je pro provoz na zimních stadionech velmi vysoká teplota rosného bodu.

Z druhého měření je tedy patrné, že na zimním stadionu během zápasu panovaly extrémní podmínky, a parametry vzduchu překročily doporučené hodnoty, které by se v prostorách zimního stadionu měly udržovat. Například relativní vlhkost vnitřního vzduchu se doporučuje na zimních stadionech udržovat v rozmezí 50 až 60 %. Naměřená hodnota relativní vlhkosti vzduchu se pohybovala až na hranici 90 %.

Dalším parametrem vnitřního vzduchu, který by se měl udržovat na zimních stadionech v určitých mezích, je teplota rosného bodu. Zdroje [8] uvádějí, že teplota rosného bodu by se měla pohybovat v rozmezí 2 až 7 °C. Tento parametr byl splněn pouze na začátku utkání, kdy se teplota rosného bodu pohybovala okolo 7 °C. V průběhu utkání poté teplota rosného bodu v měřeném místě rostla až na hodnotu okolo 16 °C, což je vysoké překročení maximální doporučené hodnoty. Není tedy divu, že se během utkání objevily problémy s rosením plexiskel a s mlhou. Doporučené hodnoty stavu vnitřního vzduchu byly vysoce překročeny. Důvodem těchto vysokých hodnot je pravděpodobně vysoká návštěvnost, a tedy vysoké vnitřní zisky vodní páry od diváků, a dále také venkovní klimatické podmínky, kdy byl venkovní vzduch vnikající do zimního stadionu teplý a vlhký. Na obrázku 5.14 je vidět fotografie z utkání, při kterém probíhalo druhé měření, a při kterém nastal problém s mlhou a rosením plexiskel.



*Obr. 5.14 Mlha na zimním stadionu během druhého měření 15. 10. 2017 [27]*

#### 5.4 Výpočet produkce vodní páry od diváků

Po provedení měření parametrů vzduchu při utkáních na zimním stadionu byl proveden výpočet produkce vodní páry od diváků. Výpočet byl proveden pro teplotu vnitřního vzduchu na zimním stadionu, která byla naměřená během prvního měření. Průměrná hodnota vnitřní teploty v prostorách hlediště byla při prvním měření 22 °C. Pro tuto teplotu byla spočítána produkce vodní páry pro sedící a stojící diváky.

Při výpočtu tepelné zátěže od osob se zanedbává mechanická práce a předpokládá se, že veškerý energetický výdej (metabolický tok) se přemění na teplo. Tento tepelný tok poté obsahuje složku citelnou a vázanou [28]. Měrný metabolický tepelný tok pro sedící osoby v klidu pro hodnotu metabolismu 1 met je 55 W/m<sup>2</sup> [29], pro stojící diváky je hodnota metabolismu 1,1 met a měrný metabolický tok  $\dot{q}_m$  [W/m<sup>2</sup>] je 70 W/m<sup>2</sup> [29]. Celkový měrný metabolický tok  $\dot{q}_m$  [W/m<sup>2</sup>] je tedy pro stojící diváky 77 W/m<sup>2</sup>. Celkový metabolický tok sdílený do prostoru se pak vypočítá pro povrch člověka 1,8 m<sup>2</sup>.

$$\dot{Q}_m = A_{Du} \dot{q}_m \quad [\text{W}] \quad (3)$$

kde

$\dot{Q}$	celkový metabolický tok sdílený do prostoru	[W]
$A_{Du}$	povrch člověka	[m <sup>2</sup> ]
$\dot{q}_m$	měrný metabolický tepelný tok	[W/m <sup>2</sup> ].

Tepelný odpor oděvu se v normách vyjadřuje poměrnou veličinou  $I_{od}$  [clo]. Pro diváky na stadionu byla brána dle [30] poměrná veličina tepelného odporu oděvu 1 clo, což odpovídá tepelnému odporu oděvu 0,155 m<sup>2</sup>.K/W. Dále byl vypočten povrchový faktor oděvu  $f_{od}$  pro  $I_{od} > 0,5$  [clo] [28].

$$f_{od} = 1,05 + 0,1 I_{od} \quad [-] \quad (4)$$

kde

$f_{od}$	povrchový faktor oděvu	[-]
$I_{od}$	poměrná veličina tepelného odporu oděvu	[clo].



Tepelný tok sáláním a konvekcí závisí na povrchové teplotě oděvu  $t_{od}$ , která se stanoví z rovnice toku tepla oděvem ze vztahu [28].

$$t_{od} = \frac{\alpha_k f_{od} t_a + \alpha_s f_{od} t_r + \frac{1}{R_{od}} t_p}{\alpha_k f_{od} + \alpha_s f_{od} + \frac{1}{R_{od}}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (5)$$

kde

$t_{od}$	povrchová teplota oděvu	[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$\alpha_k$	součinitel přestupu tepla konvekcí	[ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]
$t_a$	teplota vnitřního vzduchu	[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$\alpha_s$	součinitel přestupu tepla sáláním	[ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]
$t_r$	střední radiační teplota	[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t_p$	teplota pokožky	[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$R_{od}$	tepelný odpor oděvu	[ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ].

Ve vztahu pro výpočet součinitele přestupu tepla při přirozené konvekcí, vztah (6), můžeme vidět, že součinitel přestupu tepla konvekcí je rovněž závislý na  $t_{od}$  a v tomto kroku musel být proveden iterační výpočet.

$$\alpha_k = 2,38(t_{od} - t_a)^{0,25} \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}] \quad (6)$$

Při výpočtu součinitele přestupu tepla sáláním, je ze vztahu (7) patrné, že součinitel přestupu tepla sáláním je závislý na povrchové teplotě oděvu  $t_{od}$ , a v tomto kroku byl znovu proveden iterační výpočet.

$$\alpha_s = \varepsilon C_\varepsilon \frac{S_s}{S} \frac{T_{od}^4 - T_r^4}{t_{od} - t_r} \cdot 10^{-8} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (7)$$

kde

$\varepsilon$	emisivita oděvu	[-]
$C_\varepsilon$	součinitel sálání černého tělesa	$[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4]$
$S_s$	plocha povrchu těla účastníci se výměny tepla sáláním	$[\text{m}^2]$
$S$	celková plocha povrchu těla	$[\text{m}^2]$ .

Pro výpočet součinitele přestupu tepla sáláním, byla brána hodnota emisivity pro běžné oděvy  $\varepsilon \approx 0,95$  [25]. Součinitel sálání černého tělesa má hodnotu  $C_\varepsilon = 5,67 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  a podíl plochy povrchu těla účastníci se výměny tepla sáláním a celkové ploše těla  $S_s/S$  byl ve výpočtu pro sedící diváky uvažován s hodnotou  $S_s/S = 0,7$  a pro stojící diváky  $S_s/S = 0,73$  [25].

Pro výpočet povrchové teploty oděvu je potřeba vypočítat dále teplotu pokožky člověka. Teplota pokožky se vypočítala dle vztahu (8) a poté byla dosazena do rovnice (5) [28].

$$t_p = 12,17 + 0,02t_a + 0,044t_r - 0,253w + 0,000194p_v + 0,005346\dot{Q}_m + 0,51274t_{re} \quad [^\circ\text{C}] \quad (8)$$

kde

$t_p$	teplot pokožky	$[\text{}^\circ\text{C}]$
$w$	rychlosti proudění vzduchu	$[\text{m/s}]$
$p_v$	parciální tlak par	$[\text{Pa}]$
$\dot{Q}_m$	celkový metabolický tok sdílený do prostoru	$[\text{W}]$
$t_{re}$	rektální teplota	$[\text{}^\circ\text{C}]$ .

Abychom mohli spočítat teplotu pokožky, potřebujeme do vztahu (8) vypočítat rektální teplotu dle vztahu (9), pro kterou musíme ještě dle vztahu (10) vypočítat teplotu nitrotělní.

$$t_{re} = \frac{2t_{cr} - 1,31}{1,962} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (9)$$

kde

$$t_{cr} \quad \text{nitrotělní teplota} \quad [^{\circ}\text{C}].$$

$$t_{cr} = 0,0036(\dot{q}_m - 55) + 36,8 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (10)$$

Na základě výpočtu všech potřebných teplot se následně stanoví povrchová teplota oděvu a iteračně součinitel přestupu tepla konvekcí a sáláním. Teplota povrchu byla vypočtena 26,9 °C. Součinitel přestupu tepla konvekcí pro sedící i stojící diváky byl vypočten  $\alpha_k = 3,54 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Součinitel přestupu tepla radiací byl vypočten  $\alpha_s = 3,98 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  pro sedící diváky a  $\alpha_s = 4,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  pro stojící diváky. Následně se stanovil tepelný tok od diváků sdílený konvekcí  $\dot{q}_k$ , vztah (11) a tepelný tok od diváků sdílený radiací  $\dot{q}_r$ , vztah (12).

$$\dot{q}_k = \alpha_k f_{od} (t_{od} - t_a) \quad [\text{W/m}^2] \quad (11)$$

$$\dot{q}_s = \alpha_s f_{od} (t_{od} - t_r) \quad [\text{W/m}^2] \quad (12)$$

Dále je potřeba stanovit tepelný tok sdílený dýcháním. Nejprve byl stanoven hmotnostní tok vydechaného vzduchu, který je funkcí metabolismu a stanoví se jako. [25]

$$\dot{M}_{vyd} = 1,43 \cdot 10^{-6} \dot{q}_m A_{Du} \quad [\text{kg/s}] \quad (13)$$

kde

$$\dot{M}_{vyd} \quad \text{hmotnostní tok vydechaného vzduchu} \quad [\text{kg/s}].$$

Stanovením hmotnostního toku sdíleného dýcháním, byl vypočítán citelný tepelný tok, který je do prostoru sdílený od diváků dýcháním. Výpočet byl proveden dle vztahu (14). Před výpočtem citelného tepelného toku dýcháním byla nejprve vypočtena teplota vydechaného vzduchu, vztah (15). Podle kterého teplota vydechaného vzduchu vyšla 34,3 °C. Pro výpočet teploty vydechaného vzduchu byla stanovena hodnota měrné vlhkosti vzduchu  $x_a = 7,3 \text{ g/kg}$ , která je funkcí teploty a relativní vlhkosti. Pro výpočet produkce vodní páry od diváků byly uvažovány průměrné naměřené hodnoty tedy  $t_a = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkost  $\varphi = 44 \text{ } \%$ .

$$\dot{q}_{d,cit} = \frac{\dot{M}_{vyd}}{A_{Du}} c(t_{vyd} - t_a) \quad [\text{W/m}^2] \quad (14)$$

kde

$$\begin{aligned} \dot{q}_{d,cit} & \text{ citelný tepelný tok sdílený dýcháním} & [\text{W/m}^2] \\ c & \text{ měrná tepelná kapacita vzduchu} & [\text{J/kg.K}] \\ t_{vyd} & \text{ teplota vydechovaného vzduchu} & [^\circ\text{C}]. \end{aligned}$$

$$t_{vyd} = 32,6 + 0,066t_a + 32x_a \quad [^\circ\text{C}] \quad (15)$$

kde

$$x_a \quad \text{měrná vlhkost vnitřního vzduchu} \quad [\text{kg/kg}].$$

Následně lze stanovit měrný vázaný tepelný tok sdílený vypařováním, jelikož platí rovnice tepelné rovnováhy, kde citelný měrný tepelný tok je součtem tepelného toku sdíleného sáláním, konvekcí a citelného tepelného toku sdíleného dýcháním [28].

$$\dot{q}_{váz} = \dot{q}_m - \dot{q}_{cit} = \dot{q}_m - (\dot{q}_s + \dot{q}_k + \dot{q}_{d,cit}) \quad [\text{W/m}^2] \quad (16)$$

kde

$$\begin{aligned} \dot{q}_{váz} & \text{ měrný tepelný tok vázaný ve vodní páře} & [\text{W/m}^2] \\ \dot{q}_m & \text{ měrný metabolický tepelný tok} & [\text{W/m}^2] \\ \dot{q}_{cit} & \text{ citelný měrný tepelný tok} & [\text{W/m}^2] \\ \dot{q}_k & \text{ tepelný tok sdílení konvekcí} & [\text{W/m}^2] \\ \dot{q}_s & \text{ tepelný tok sdílení sáláním} & [\text{W/m}^2] \\ \dot{q}_{d,cit} & \text{ citelný tepelný tok sdílený dýcháním} & [\text{W/m}^2]. \end{aligned}$$

Na základě uvedeného výpočetního postupu lze vypočítat produkci vodní páry od diváků. Výpočet byl proveden dle následujícího vztahu.

$$\dot{M}_v = \frac{\dot{q}_{váz} A_{Du}}{h_{fg}} \quad [\text{kg/s}] \quad (17)$$

kde

$$\begin{aligned} \dot{M}_v & \text{ produkce vodní páry} & [\text{kg/s}] \\ h_{fg} & \text{ výparné teplo} & [\text{kJ/kg}]. \end{aligned}$$

Výparné teplo je funkcí teploty a bylo stanoveno podle následujícího vztahu. [28]

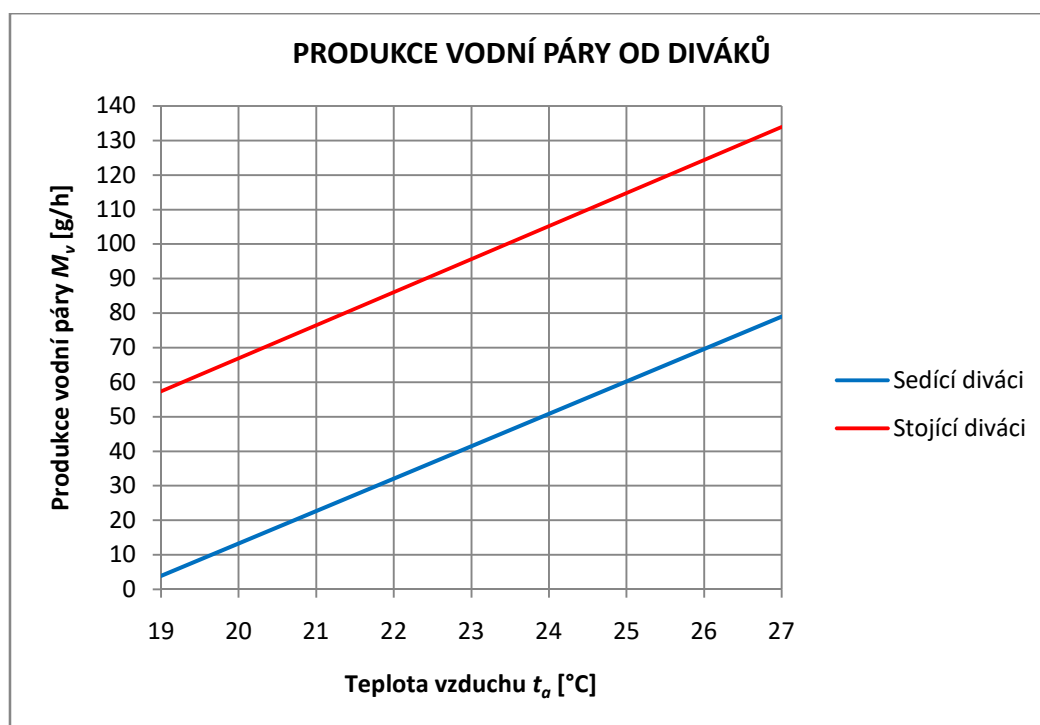
$$h_{fg} = 2501 - 2,45t_a \quad [\text{kJ/kg}] \quad (18)$$

kde

$$h_{fg} \quad \text{výparné teplo} \quad [\text{kJ/kg}].$$

Po provedení celého postupu výpočtu pro teplotu  $t_a = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ , vyšla produkce vodní páry od sedících dospělých diváku  $\dot{M}_v = 30,8 \text{ g/h}$  a od stojících dospělých diváku vyšla produkce vodní páry  $\dot{M}_v = 85,5 \text{ g/h}$ . Výpočet byl dále proveden i pro další teploty venkovního vzduchu a výsledky jsou graficky zobrazeny v grafu 7.

Když vypočtenou produkci vodní páry vynásobíme počtem diváku na zimním stadionu, dostaneme celkové zisky vodní páry od diváků. Celková kapacita zimního stadionu v Hradci Králové je 6890 diváků, z toho je 3655 míst k sezení a 3235 ke stání. Po vynásobení dostáváme, že produkce vodní páry od sedících diváků činí  $\dot{M}_v = 112,6 \text{ kg/h}$  a produkce vodní páry od stojících diváků činí  $\dot{M}_v = 277 \text{ kg/h}$ . Po sečtení je produkce vodní páry asi  $\dot{M}_v = 389 \text{ kg/h}$ .



Graf 7- Produkce vodní páry od diváků za různých teplot vnitřního vzduchu

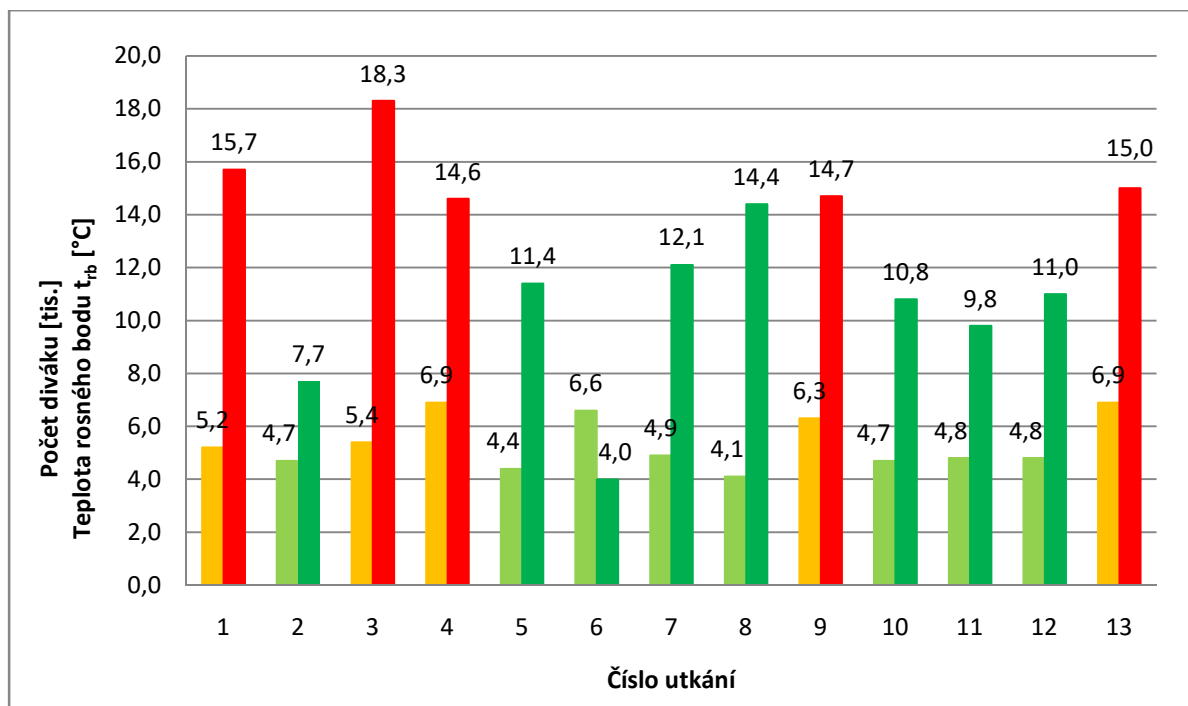
### 5.5 Analýza příčin tvorby mlhy

Následně bylo přistoupeno k analýze příčin tvorby mlhy. V přechodovém období byly náhodně vybrány některé domácí zápasy, které byly zapsány do tabulky, kde je uveden počet diváku přítomných na zápase. Dále jsou v tabulce uvedeny klimatické podmínky, které panovaly ve venkovním prostředí třicet minut před a během zápasu, a dále jestli ten den nastala, či nenastala mlha a problémy s vysokou vlhkostí vzduchu na stadionu. Touto analýzou jsem chtěl zjistit, co má větší vliv na tvorbu mlhy, jestli špatné venkovní klimatické podmínky, nebo vysoká návštěvnost diváků. Parametry venkovního vzduchu jsem použil z meteorologické stanice v Hradci Králové v Bezručově ulici, které se dají dohledat na webových stránkách. Jedná se o teplotu venkovního vzduchu  $t_e$  [°C] a relativní vlhkost venkovního vzduchu  $\varphi$  [%]. Poté byla vypočítána měrná vlhkost venkovního vzduchu  $x_e$  [g/kg]. Výsledky jsou v tabulce 4. Dále byl proveden výpočet teploty rosného bodu vzduchu  $t_{rb}$  [°C] a výsledky jsou zobrazeny pro lepší přehlednost do sloupcového grafu, kde levý sloupec udává počet diváků na daném zápase, a pravý sloupec udává teplotu rosného bodu.

Barvy sloupců poté vyznačují, zda v daný zápas problémy s mlhou nastaly nebo nenastaly. Odstíny zelené značí, že mlha nenastala a odstíny červené značí, že mlha v daný zápas nastala. Grafy byly provedeny pro stavy venkovního vzduchu před utkáním a během utkání. Grafy můžete vidět pod tabulkou vybraných zápasů a jsou označeny Graf 8. a Graf 9.

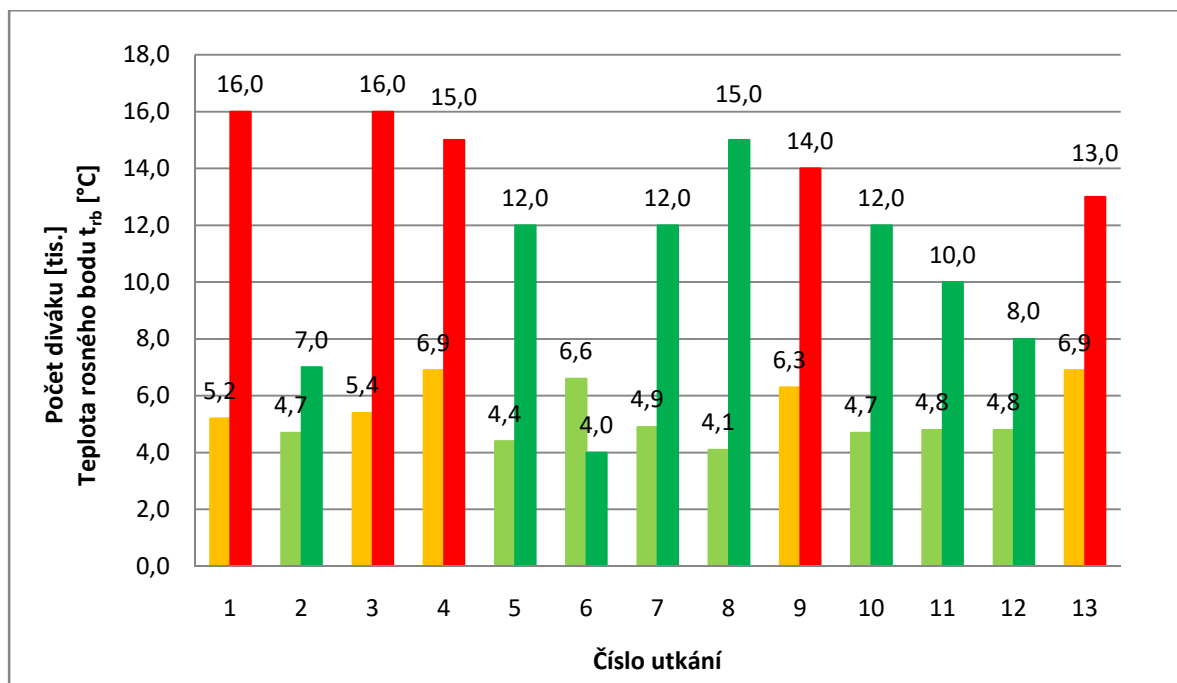
Tab. 4 - Tabulka vybraných zápasů v přechodovém období

Č.	Datum zápasu	Návštěvnost	Podmínky před utkáním	Podmínky během utkání	Problémy
1.	15. 9. 2013	<b>5173 diváků</b>	$t_e=17,7\text{ °C}; \varphi = 88\%$ $x_e = 11,29\text{ g/kg}$	$t_e=16,8\text{ °C}; \varphi = 93\%$ $x_e = 11,27\text{ g/kg}$	<b>NASTALY</b>
2.	18. 10. 2013	4721 diváků	$t_e=11\text{ °C}; \varphi = 80\%$ $x_e = 6,6\text{ g/kg}$	$t_e=10\text{ °C}; \varphi = 84\%$ $x_e = 6,5\text{ g/kg}$	NENASTALY
3.	14. 9. 2014	<b>5366 diváků</b>	$t_e=19,8\text{ °C}; \varphi = 91\%$ $x_e = 13,3\text{ g/kg}$	$t_e=17,4\text{ °C}; \varphi = 94\%$ $x_e = 11,8\text{ g/kg}$	<b>NASTALY</b>
4.	19. 9. 2014	<b>6890 diváků</b>	$t_e=21\text{ °C}; \varphi = 67\%$ $x_e = 10,5\text{ g/kg}$	$t_e=18\text{ °C}; \varphi = 83\%$ $x_e = 10,8\text{ g/kg}$	<b>NASTALY</b>
5.	26. 9. 2014	4378 diváků	$t_e=13\text{ °C}; \varphi = 90\%$ $x_e = 8,5\text{ g/kg}$	$t_e=13\text{ °C}; \varphi = 95\%$ $x_e = 9,0\text{ g/kg}$	NENASTALY
6.	15. 3. 2015	6593 diváků	$t_e=8,2\text{ °C}; \varphi = 75\%$ $x_e = 5,1\text{ g/kg}$	$t_e=7,5\text{ °C}; \varphi = 80\%$ $x_e = 5,2\text{ g/kg}$	NENASTALY
7.	11. 9. 2015	4923 diváků	$t_e=18,3\text{ °C}; \varphi = 67\%$ $x_e = 8,9\text{ g/kg}$	$t_e=16\text{ °C}; \varphi = 77\%$ $x_e = 9,0\text{ g/kg}$	NENASTALY
8.	9. 9. 2016	4145 diváků	$t_e=29,2\text{ °C}; \varphi = 41\%$ $x_e = 10,5\text{ g/kg}$	$t_e=24\text{ °C}; \varphi = 56\%$ $x_e = 10,5\text{ g/kg}$	NENASTALY
9.	18. 9. 2016	<b>6343 diváků</b>	$t_e=19\text{ °C}; \varphi = 76\%$ $x_e = 10,5\text{ g/kg}$	$t_e=16\text{ °C}; \varphi = 85\%$ $x_e = 9,8\text{ g/kg}$	<b>NASTALY</b>
10.	2. 10. 2016	4678 diváků	$t_e=17\text{ °C}; \varphi = 67\%$ $x_e = 8,2\text{ g/kg}$	$t_e=14\text{ °C}; \varphi = 89\%$ $x_e = 9,0\text{ g/kg}$	NENASTALY
11.	17. 9. 2017	4760 diváků	$t_e=15\text{ °C}; \varphi = 71\%$ $x_e = 7,6\text{ g/kg}$	$t_e=12,9\text{ °C}; \varphi = 85\%$ $x_e = 9,5\text{ g/kg}$	NENASTALY
12.	8. 10. 2017	4799 diváků	$t_e=12,8\text{ °C}; \varphi = 89\%$ $x_e = 8,29\text{ g/kg}$	$t_e=9,2\text{ °C}; \varphi = 93\%$ $x_e = 6,8\text{ g/kg}$	NENASTALY
13.	15. 10. 2017	<b>6890 diváků</b>	$t_e=20,7\text{ °C}; \varphi = 70\%$ $x_e = 10,8\text{ g/kg}$	$t_e=15\text{ °C}; \varphi = 88\%$ $x_e = 9,7\text{ g/kg}$	<b>NASTALY</b>



Graf - Teplota rosného bodu venkovního vzduchu před utkáním a počet diváku během vybraných zápasů v přechodovém období

Levý sloupec- počet diváku; Pravý sloupec teplota rosného bodu;  
Odstíny červené- mlha nastala; Odstíny zelené- mlha nenastala



Graf 9 - Teplota rosného bodu venkovního vzduchu během utkáním a počet diváku během vybraných zápasů v přechodovém období

Levý sloupec- počet diváku; Pravý sloupec teplota rosného bodu;  
Odstíny červené- mlha nastala; Odstíny zelené- mlha nenastala



Z prezentovaných grafů je vidět, kdy a při jaké teplotě rosného bodu venkovního vzduchu nastaly problémy s mlhou a vysokou vlhkostí. Z tabulky je zřejmé, že nelze jednoznačně říct, jestli příčinou je vždy vysoká návštěvnost diváků, a tedy vysoké vnitřní zisky vodní páry od osob, nebo že příčinou mlhy je vnikající vlhký vzduch z venkovního prostředí s vysokou teplotou rosného bodu. V zápasech, kdy se problémy projeví, bylo na zápase vždy mnoho diváků a venkovní vzduch vnikající do vnitřního prostředí byl vlhký a měl vysokou teplotu rosného bodu. Obě příčiny se doplňují, a abychom vyřešily problémy s mlhou, musíme co nejvíce eliminovat proudění vlhkého vzduchu do prostoru stadionu, a dále také odvádět vznikající vodní páru od diváků, nejlépe samostatným větracím zařízením.

Od roku 2015, kdy byla na zimním stadionu instalována odvlhčovací jednotka, jsou sice problémy menší a mlha se neobjevuje tak často a v tak velkém rozsahu, ale při plné kapacitě hlediště a vlhkém venkovním vzduchu, který vniká do prostor zimního stadionu, už je její výkon nedostačující a nedokáže vznikající vlhkost eliminovat. Velkým nedostatkem zimního stadionu v Hradci Králové je, že chybí funkční větrací zařízení, které by vznikající vodní páru od osob účinně odvádělo.

Příčinou vznikající mlhy je tedy vlhký neupravený venkovní vzduch, a také produkovaná vodní pára od diváků. Stávající odvlhčovací jednotka pak není schopna takto velké množství vlhkého vzduchu eliminovat. Vlhký vzduch se poté ochladí vlivem promíchání se studeným vzduchem nad ledovou plochou, tím se zvýší relativní vlhkost a současně i hustota. Vlhký vzduch tak má tendenci klesat mezi mantinely, a jakmile se tento vnitřní vzduch blíží či dosáhne stavu nasycení, vznikne nad ledovou plochou mlha [5].

## 5.6 Zařízení pro úpravu vzduchu na zimních stadionech v ČR

Na zimních stadionech, které mají vyšší kapacitu diváků, a které jsou po rekonstrukci, nebo jsou nově postaveny, jako jsou například arény v Liberci, Třinci, Chomutově, Brně nebo v Pardubicích, je větrání a odvlhčování řešeno vícezónově. Tyto hokejové arény jsou nejčastěji vybaveny odvlhčovací jednotkou, která odvádí produkovanou vlhkost od hráčů a od úpravy ledové plochy, a dále jsou vybaveny větracími jednotkami, které odvádějí vzniklou vodní páru od diváků.

Například nová aréna v Chomutově, která byla otevřena v dubnu roku 2011, má kapacitu 5250 diváků, a je vybavena odvlhčovacím zařízením. Pro větrání hlediště je zde instalováno samostatné větrací zařízení, které umožňuje zajistit komfort diváků při různých provozech arény. Ve všech režimech provozu zařízení eliminuje vlhkost vnitřního vzduchu. Odvlhčování je zajištěno vzduchotechnickými jednotkami, kde je ve směru proudění vzduchu řazen nejprve chladič a poté ohříváč. Vzduch se tedy nejdříve ochladí pod teplotu rosného bodu, kde zkondenzuje jeho vzdušná vlhkost, a poté je ohříván na požadovanou teplotu. Podíl čerstvého vzduchu na celkovém množství přiváděného vzduchu, je řízen dle obsazenosti hlediště. Například při tréninkovém režimu je v provozu pouze odvlhčovací jednotka, která je určena pouze pro ledovou plochu. Aby bylo zajištěno správného mikroklimatu v hale v závislosti na různých venkovních a vnitřních podmínkách, při různých režimech provozu, je v aréně nainstalován propracovaný řídicí systém, který upravuje chod řízení dle požadovaných parametrů. Systém umožňuje pracovat v přednastavených režimech nebo individuálních režimech [31]. Jako distribuční prvky jsou v hale navrženy velkoobjemový prostorové vyústky.

Hokejová aréna v Liberci patří rovněž mezi naše novější haly. Aréna byla otevřena v roce 2006 a má kapacitu 7500 diváku. Aréna je vybavena podobně jako v Chomutově jednotkou pro odvlhčení ledové plochy, a dále větracími jednotkami pro zónu diváků. V aréně je nainstalována odvlhčovací jednotka COTES typ CRT 12000 E, která má vzduchový výkon procesního vzduchu 12 000 m<sup>3</sup>/h a její odvlhčovací výkon je 62,6 kg/h. Jedná se o stejný typ odvlhčovací jednotky, která je instalovaná v Hradci Králové, jen odvlhčovací jednotka v liberecké aréně má vyšší odvlhčovací výkon. Rozvody větracího a odvlhčeného vzduchu jsou v hale vedeny kruhovým SPIRO potrubím pod stropem haly. Pro distribuci odvlhčeného vzduchu slouží dýzy. Pro přívod čerstvého vzduchu do hlediště slouží velkoobjemové prostorové vyústky. Odvod vzduchu je řešen obdélníkovými vyústkami.

Rozsáhlou rekonstrukcí prošla v roce 2011 hokejová aréna v Brně. Aréna v Brně má kapacitu 7700 diváku. V rámci rekonstrukce byly instalovány 4 odvlhčovací jednotky DST Seibu giken RZ 102 R ICE flair. Každá tato jednotka má průtok procesního vzduchu 8000 m<sup>3</sup>/h a odvlhčovací výkon 50 kg/h. Jednotky odvlhčují vnitřní vzduch adsorpčním způsobem. Nežádoucí vnikání venkovního vlhkého vzduchu v přechodovém období bylo vyřešeno dveřními horizontálními clonami, které mají výkon 12 kW, a celkově jich po obvodu haly u vstupů pro diváky bylo instalováno 8 kusů. Dále byly při rekonstrukci pořízeny větrací vzduchotechnické jednotky KLMV 80 Si v počtu 4 kusů. Každá jednotka má průtok vzduchu 40 000 m<sup>3</sup>/h. Přívod vzduchu je řešen přes obdélníkové vyústky a odvod vzduchu je proveden komorami v rozích hlediště pod tribunami [17].

### **5.7 Opatření pro eliminaci problému s mlhou a vlhkostí v Hradci Králové**

V předchozích kapitolách bylo popsáno, že při plné obsazenosti hlediště vzniká od diváků vysoká produkce vodní páry. Při vyprodaném hledišti a při teplotě vzduchu v hledišti 22 °C jsou vlhkostní zisky od diváků asi  $\dot{M}_v=389$  kg/h. Dalším problémem je vnikání vlhkého vzduchu do prostor zimního stadionu. Už několik hodin před utkáním jsou do haly otevřeny hlavní vstupní dveře z důvodu předprodeje vstupenek na utkání. Hodinu a půl před každým zápasem se otevírají všechny vchody pro diváky. Jedná se o hlavní vchod v severní části haly, dále západní vchod a jižní VIP vchod. Vstupní dveře jsou otevřeny i během zápasu z důvodu bezpečnosti. Dále jsou během přestávek mezi třetinami otevřeny dveře do kužárny, která se nachází v jižní části haly. Při utkáních jsou dále otevřeny vrata u vstupního tunelu pro rolbu a hráče. Všemi těmito otevřenými otvory vniká do prostoru haly v přechodovém období značné množství neupraveného venkovního (vlhkého) vzduchu. Pro snížení proudění tohoto vlhkého vzduchu by bylo dobré pořízení horizontálních vzduchových dveřních clon, které by se automaticky zapínaly při otevření těchto vstupních otvorů. Tímto opatřením by se zamezilo vnikání vlhkého neupraveného vzduchu do prostoru zimního stadionu.

Dalším potřebným opatřením pro řešení problému s mlhou a vysokou vlhkostí na zimním stadionu v Hradci Králové je celková rekonstrukce větracího zařízení haly. Stávající původní zařízení je nevyhovující. Stávající větrací jednotka má pouze funkční ohřívač vzduchu a pro vytápění v zimním období je velice neekonomická. Dalším problémem je, že při rekonstrukci zimního stadionu byly provádějící firmou poničeny stávající přívodní vyústky, a některé byly přímo zastavěny novými „sky-boxy“.

Proto by bylo vhodné pořídit do haly nové větrací zařízení, včetně kompletní distribuce přiváděného a odváděného vzduchu. Stávající odvlhčovací jednotka by zůstala v původním stavu a stadion by byl vybaven dvěma zónami pro úpravu vnitřního stavu vzduchu tak, jak se to řeší v rekonstruovaných a nových zimních stadionech. První zónu pro hráče a pro ledovou plochu by zajišťovala stávající odvlhčovací jednotka, a druhou zónu pro diváky by obsluhovalo větrací zařízení pro prostory hlediště. Vhodné by bylo navrhnout provoz větrání v mírném přetlaku. Přetlakové větrání haly by zabraňovalo nežádoucímu vnikání venkovního neupraveného vzduchu spárami a otvory v hale zimního stadionu.

V následující kapitole této diplomové práce bude proveden návrh nového větracího zařízení. Obsahem bude bilance průtoků čerstvého vzduchu, návrh nových tras potrubí v hale, návrh jednotek a jednotlivých distribučních prvků pro přívod a odvod vzduchu.

## 6. NÁVRH NOVÉHO VĚTRACÍHO ZAŘÍZENÍ

V této kapitole bude proveden návrh nového větracího zařízení pro zimní stadion v Hradci Králové. Systém zimního stadionu pro úpravu vnitřního vzduchu bude mít tedy dvě zóny. Jedna zóna bude pro diváky, pro které bude navrženo nové větrací zařízení včetně nového řešení distribuce vzduchu a navržení nových větracích jednotek. Druhou zónu bude tvořit stávající odvlhčovací jednotka COTES typ CRP 8000E o průtok procesního vzduchu 9000 m<sup>3</sup>/h a odvlhčovacím výkonu, který činí 64,8 kg/h při vstupním vzduchu o teplotě 20 °C a relativní vlhkosti 50 %. Tato jednotka bude sloužit pro zónu hřiště, kdy bude odvádět vlhkostní zisky od úpravy ledové plochy, a také od hráčů a realizačního týmu družstev. Dle postupu v kapitole 5.4 byl proveden výpočet zisků vodní páry od hráčů. Výpočet byl proveden pro těžkou fyzickou práci, pro kterou je udávána hodnota metabolismu 4 met a to odpovídá měrnému energetickému výdeji  $\dot{q}_m = 235 \text{ W/m}^2$  [25]. Druh oděvu byl pro hokejisty volen lehký, jednovrstvý a pro tento druh oděvu je v [25] udávána hodnota tepelného odporu  $R_{od} = 0,080 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ . Teplota vzduchu i střední radiační teplota byla pro výpočet uvažována 10 °C. Výsledná produkce vodní páry od hráče vyšla 258 g/h. Každý hokejový tým má na soupisce dvacet hráčů. Celkový počet hráčů během zápasu je tedy 40. Po vynásobení produkcí vodní páry dostaneme hodnotu produkce vodní páry od hráčů, která je necelých 10,5 kg/h. Dále má každý tým svůj realizační tým, který má obvykle okolo 10 lidí. Celkový počet je tedy 20 lidí, pro které bude uvažována produkce vodní páry pro stojící osoby, který byl vypočten v kapitole 5.4, a pro stojící osoby byla produkce vodní páry vypočtena 85,5 g/h. Po vynásobení dostaneme celkovou produkci od realizačního týmu, která činí 1,7 kg/h.

Dále musíme započítat produkci vodní páry od úpravy ledové plochy. V literatuře [3] se udává, že při úpravě ledové plochy vodou o teplotě 60 °C je zisk vodní páry 10-15 kg za jednu úpravu. Při teplotě vody 70 °C jsou udávány zisky 18-35 kg vodní páry za jednu úpravu. Na zimním stadionu v Hradci Králové se upravuje ledová plocha vodou o teplotě 70 °C. Úprava ledu se provádí před začátkem zápasu, a dále mezi každou třetinou. Časový interval mezi úpravami ledové plochy je přibližně jedna hodina. Pro nejnepříznivější úpravu ledové plochy tedy můžeme brát, že zisk vodní páry činí 35 kg/h.

Po sečtení zisků vodní páry od hráčů, realizačního týmu a úpravy ledové plochy, dostáváme celkovou hodnotu zisků vodní páry pro zónu kluziště a ta činí asi 47 kg/h. Odvlhčovací výkon stávající jednotku bude tedy pro tuto zónu dostačující.

## 6.1 Tepelné ztráty a tepelná zátěž zimního stadionu

Pro zimní stadion byl proveden výpočet tepelných ztrát. Výpočet byl proveden dle normy ČSN EN 12 831 [36]. Venkovní výpočtová oblastní teplota  $t_e$  je pro Hradec Králové  $t_e = -12^\circ\text{C}$ . Plášť zimního stadionu je tvořen z převážné většiny prosklenou konstrukcí. Prosklené konstrukce byly během rekonstrukce z třech stran stadionu vyměněny za nové, a jen ve východní části stadionu zůstaly konstrukce původní. U nových prosklených konstrukcí bylo počítáno se součinitelem prostupu tepla  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . U starých prosklených konstrukcí, které se nachází na východní straně objektu, bylo počítáno s hodnotou  $U = 2,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Dále je z východní strany stěna obvodové konstrukce z části tvořena zdivem. Součinitel prostupu tepla je u původního nezatepleného zdiva  $U = 1,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Střešní plášť je zateplen minerální vatou a výsledný součinitel prostupu tepla pro tuto konstrukci byl vypočten  $U = 1,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Poslední konstrukcí pro výpočet tepelných ztrát je konstrukce podlahy, pro ni byl stanoven součinitel prostupu tepla  $U = 2,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Vnitřní výpočtová teplota  $t_i$  byla zvolena dle normy ČSN EN 12 831 [36], která udává, že vnitřní výpočtová teplota na zimním stadionu s diváky by se měla pohybovat v rozmezí  $15$  až  $20^\circ\text{C}$ . Pro řešený zimní stadion byla pro výpočet tepelných ztrát uvažována teplota  $t_i = 19^\circ\text{C}$ . Výsledná tepelná ztráta prostupem byla pro halu vypočtena obálkovou metodou a celková tepelná ztráta prostupem vyšla  $293 \text{ kW}$ . Dále byla k tepelné ztrátě prostupem připočítána tepelná ztráta od ledové plochy. Pro výpočet ledové plochy byl použit maximální možný rozměr kluziště, na kterém se může dle pravidel hrát a ten činí  $61 \times 30 \text{ m}$ . Celková plocha ledové plochy je tedy  $1830 \text{ m}^2$ . Celková hustota tepelného toku, kterou je střecha a okolní stěny vychlazována činí  $35 \text{ W/m}^2$ . Po vynásobení plochou ledové plochy dostáváme ztrátu necelých  $65 \text{ kW}$ , které připočteme k tepelné ztrátě prostupem. Celková tepelná ztráta stadionu tedy činí, necelých  $360 \text{ kW}$ .

Dále byl proveden pro zimní stadion výpočet tepelné zátěže. Tepelná zátěž byla vypočtena pro přechodové období v měsíci září, ve kterém začíná hokejová liga, a v tomto měsíci jsou z celého přechodového období nejvyšší vnější zisky. Výpočet byl proveden pro 17 hodin odpoledne. V tuto dobu nejčastěji hokejová utkání začínají. Při výpočtu bylo uvažováno s maximální přípustnou vnitřní teplotou  $t_i = 27^\circ\text{C}$ . Vnější tepelná zátěž pro září 17 hodin odpoledne vyšla pro zimní stadion  $45 \text{ kW}$ . Dále byly do tepelné zátěže započítány vnitřní tepelné zisky od diváků. Na jednoho diváka byla brána hodnota vyprodukovaného tepla  $60 \text{ W}$ . Pro výpočet celkových vnitřních tepelných zisků, bylo uvažováno s návštěvou  $5000$  diváků a ne s maximální kapacitou  $6890$  diváků.

Důvodem je, že střecha stadionu je tvořena ocelovými příhradovými vazníky a pro plnou obsazenost by vycházel vysoký průtok vzduchu na odvod tepelné zátěže a následně by nastal problém s velkými průměry potrubí, které by nebylo možné na stadionu umístit. V případě plné obsazenosti hlediště a nejnepríznivějších klimatických podmínek by byla maximální projektovaná vnitřní teplota překročena. Vnitřní tepelná zátěž od diváků po vynásobení počtem vychází 300 kW. Na zimním stadionu bylo během rekonstrukce vyměněno staré osvětlení za nové úsporné zářivkové a zisky od osvětlení byly pro výpočet tepelné zátěže zanedbány. Z celkové tepelné zátěže byla dále odečtena tepelná ztráta od ledové plochy. Po sečtení vnější tepelné zátěže a vnitřní tepelné zátěže vychází celková tepelná zátěž pro září 17 h odpoledne 280 kW.

## 6.2 Výpočet průtoku přiváděného vzduchu

Následně byla provedena bilance průtoku přiváděného vzduchu. Prvním požadavkem je přívod čerstvého venkovního vzduchu dle množství vzduchu na osobu. Dávka čerstvého vzduchu pro jednu osobu, která vykonává činnost převážně vsedě, činí 25 m<sup>3</sup>/h [25]. V řešeném případě zimního stadionu byla tato dávka ponížena na 15 m<sup>3</sup>/h pro jednoho diváka v souladu s doporučením ASHRAE 62.1 [37]. Výpočet byl proveden pro kapacitu 5000 diváků a ne pro plnou obsazenost haly. Důvodem je omezený prostor pod střechou haly stadionu, která je tvořena příhradovými vazníky, kde budou vedeny nové rozvody větracího vzduchu. V případě výpočtu s plnou kapacitou a nesníženou dávkou čerstvého vzduchu by byl problém s umístěním velkých dimenzí potrubí do prostor stadionu. Průměrná návštěvnost na zimním stadionu v Hradci Králové je okolo 4900 diváků na utkání, takže toto snížení nebude mít ve většině zápasů žádný vliv na kvalitu prostředí v hale. Po vynásobení dávky čerstvého vzduchu počtem diváků, dostáváme potřebný průtok čerstvého vzduchu, který činí 75 000 m<sup>3</sup>/h.

Dále byl proveden výpočet průtoku vzduchu pro pokrytí tepelné ztráty v zimním extrému, a výpočet průtoku vzduchu pro odvod tepelné zátěže v přechodovém extrému. Zimní stadion není v letních měsících provozován, a proto byl výpočet proveden místo letního období pro přechodové období, tedy pro září. Při výpočtu pro zimní extrém byl výpočet proveden dle vztahu (19). Vnitřní výpočtová teplota pro zimní období byla zvolena  $t_i = 19 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pracovní rozdíl teplot ( $t_p - t_i$ ) byl pro zimní extrém zvolen 15 °C a vypočtená tepelná ztráta stadionu činí 360 kW. Po dosazení hodnot do vztahu (19), dostaneme potřebný průtok, pro krytí tepelné ztráty stadionu v zimním extrému [25].

$$\dot{V}_{p,zt} = \frac{\dot{Q}_{zt}}{\rho c(t_p - t_i)} = \frac{360\,000}{1,2 \cdot 1010 \cdot (34 - 19)} = 71\,200 \text{ m}^3/\text{h} \quad (19)$$

kde

$\dot{V}_{p,zt}$	potřebný průtok vzduchu na krytí tepelné ztráty	[m <sup>3</sup> /h]
$\dot{Q}_{zt}$	tepelná ztráta haly	[W]
$\rho$	hustota vzduchu	[kg/m <sup>3</sup> ]
$c$	měrná tepelná kapacita	[J/kg.K]
$t_p$	teplota přiváděného vzduchu	[°C]
$t_i$	vnitřní výpočtová teplota	[°C].

Po dosazení do vztahu (19) je potřebný průtok vzduchu na hrazení tepelné ztráty zimního stadionu v zimním období 71 200 m<sup>3</sup>/h.

Výpočet průtoku vzduchu pro odvod tepelné zátěže byl vypočten dle vztahu (20) [25]. V přechodovém období byla zvolena vnitřní výpočtová teplota vnitřního vzduchu v hale  $t_i = 21$  °C. Pracovní rozdíl teplot ( $t_i - t_p$ ), byl pro přechodové období zvolen 11 °C. Tepelná zátěž byla stanovena v předchozí kapitole a činí 280 kW.

$$\dot{V}_{p,za} = \frac{\dot{Q}_{za}}{\rho c(t_i - t_p)} = \frac{280\,000}{1,2 \cdot 1010 \cdot (11)} = 75\,600 \text{ m}^3/\text{h} \quad (20)$$

kde

$\dot{V}_{p,za}$	potřebný průtok vzduchu odvod tepelné zátěže	[m <sup>3</sup> /h]
$\dot{Q}_{za}$	tepelná zátěž haly	[W].

Dosazením do vztahu (20) dostáváme potřebný průtok vzduchu na odvod tepelné zátěže zimního stadionu v přechodovém období a potřebný průtok činí 75 600 m<sup>3</sup>/h.

Po vypočtení všech průtoků vzduchu, byla provedena bilance a návrh projektovaného průtoku vzduchu. Ve všech třech případech výpočtu, jak pro výpočet průtoku čerstvého vzduchu dle dávky na osobu, tak průtoku vzduchu na krytí tepelných ztrát a průtoku vzduchu na odvod tepelné zátěže, vycházel průtok vzduchu cca 75 000 m<sup>3</sup>/h.

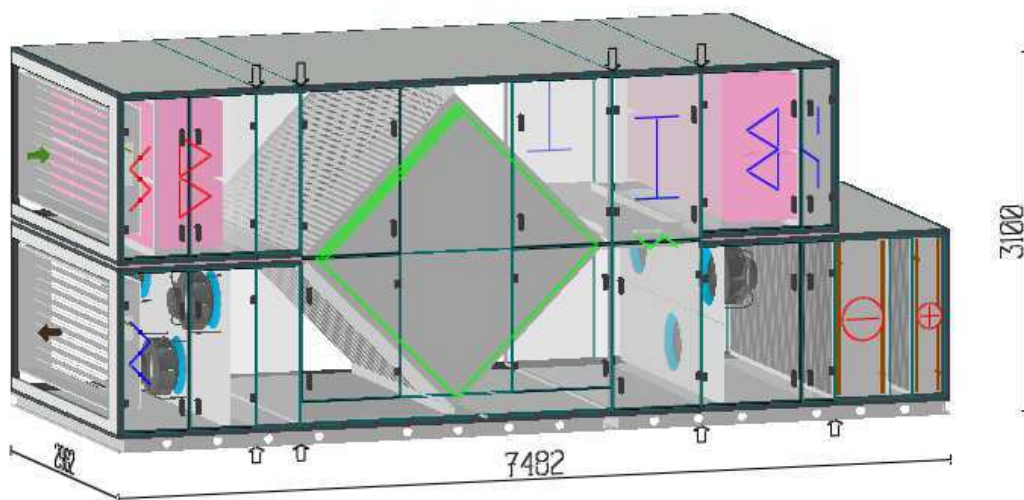


Tento průtok byl tedy zvolen jako návrhový průtok v řešeném zimním stadionu. Při plné obsazenosti stadionu bude tento průtok tvořen převážně čerstvým venkovním vzduchem, a v případě nižší návštěvnosti bude přiváděno jen potřebné množství venkovního vzduchu. Zbytek průtoku bude tvořit vzduch oběhový. Větrání bude řešeno jako přetlakové, množství odváděného vzduchu bude tedy nižší asi o 10 %. Průtok odváděného vzduchu z haly tedy bude činit  $\dot{V} = 67\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### 6.3 Návrh klimatizačních jednotek

Následně byl proveden návrh klimatizačních jednotek. Klimatizační jednotky byly navrženy od firmy System Air. Při návrhu jsem využíval jejich návrhový software SystemAir CAD.

Pro zimní stadion byly navrženy 3 klimatizační jednotky od firmy System Air typu Geniox Go 29SRL, každá o vzduchovém výkonu  $25\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Jedná se o komfortní klimatizační jednotky, které jsou navrženy ve venkovním provedení. Jednotka má rozměry  $2,98 \times 3,1 \times 7,4 \text{ m}$  (Š x V x D). Navržená jednotka se skládá z přívodních a odvodních klapek, filtrů typu F7, deskového hliníkového rekuperačního výměníku, chladiče vzduchu, vodního ohříváče vzduchu, směšovací komory a ventilátorů s EC motory. Průřezová rychlost v jednotce činí na přívodu  $1,8 \text{ m/s}$  a na odvodu vzduchu  $1,62 \text{ m/s}$ . Tlaková rezerva ventilátoru pro pokrytí tlakových ztrát přívodního vzduchu je  $400 \text{ Pa}$  a ventilátoru pro odvodní vzduch má tlakovou rezervu rovněž  $400 \text{ Pa}$ . Schéma navržené jednotky je vidět na obrázku 6.1.



Obr. 6.1 Schéma navržené klimatizační jednotky Geniox Go 29SRL

Chladič vzduchu je navržen jako přímý výparník a je řazen před ohřivač z důvodu, že v přechodovém období, kdy bude mít venkovní vzduch vysokou vlhkost, bude nejdříve ochlazen v chladiči s  $t_{ch} < t_{rb}$ , tím zkondenzuje obsažená vodní pára, a poté bude v případě potřeby dohříván na požadovanou teplotu přívodu.

### 6.3.1 Návrh výkonu ohřivače vzduchu

Pro zimní extrém byl dále navržen výkon ohřivače vzduchu pro navržené klimatizační jednotky. Venkovní výpočtová oblastní teplota pro Hradec Králové je  $t_{e,vyt} = -12$  °C, pro výpočet výkonu ohřivače vzduchu, byla tato hodnota ponížena o 3 °C. Teplota venkovního vzduchu pro výpočet výkonu ohřivače vzduchu tedy činí  $t_e = -15$  °C. Požadovaná vnitřní výpočtová teplota  $t_i$  je pro zimní extrém navržena  $t_i = 19$  °C a měrná vlhkost vzduchu by se měla pohybovat v rozmezí 4 až 6 g/kg . Průtok vzduchu jednou jednotkou je 25 000 m<sup>3</sup>/h a výrobce udává teplotní účinnost zpětného získávání tepla  $\varphi = 78,5$  % . Před zakreslením do diagramu byla nejprve vypočtena teplota za zpětným získáváním tepla dle vztahu

$$\varphi = \frac{t_{zzt} - t_e}{t_i - t_e} \quad [-] \quad (21)$$

kde

$\varphi$	teplotní účinnost zpětného získávání tepla	[-]
$t_{zzt}$	teplota za zpětným získáváním tepla	[°C]
$t_e$	teplota venkovního vzduchu	[°C]
$t_i$	vnitřní výpočtová teplota vzduchu	[°C].

Pro výpočet teploty za výměníkem zpětného získávání tepla je nutné vztah (21) upravit a poté dosadit parametry vzduchu

$$t_{zzt} = \varphi(t_i - t_e) + t_e = 0,785 \cdot (19 + 15) - 15 = 11,7$$
 °C (22)

Teplota za výměníkem zpětného získávání tepla za extrémních zimních podmínek bude 11,7 °C. Ohřivač tedy při extrémních venkovních podmínkách bude muset být schopen ohřát venkovní vzduch z teploty  $t_{zzt} = 11,7$  °C na teplotu  $t_p = 34$  °C. Výkon ohřivače  $\dot{Q}_{oh}$  vzduchu se vypočítá dle vztahu (23)

$$\dot{Q}_{oh} = \dot{V} \rho c (t_p - t_{zst}) = 6,94 \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot (34 - 11,7) = 188 \text{ kW} \quad (23)$$

kde

$\dot{Q}_{oh}$	výkon ohřívače	[W]
$\dot{V}$	průtok vzduchu	[m <sup>3</sup> /s]
$t_p$	teplota přiváděného vzduchu	[°C].

Potřebný výkon ohřívače pro jednu klimatizační jednotku činí 188 kW. Ohřívače jsou navrženy vodní s teplotním spádem na straně vody 80/60 °C.

Před zakreslení úprav vzduchu do h-x diagramu je nutné stanovit  $\Delta x$  [g/kg] tj. o kolik se vzduch navlhčí od diváků. Dle postupu výpočtu zisků vodní páry od diváků v kapitole 5.4, byl proveden výpočet pro vnitřní výpočtovou teplotu  $t_i = 21$  °C a pro plnou obsazenost hlediště, tedy pro 6890 diváků (3655 sedících, 3235 stojících). Celkové vlhkostní zisky od diváků na zimním stadionu činí  $M_w = 330,0$  kg/h. Dle následujícího vztahu [25] se stanoví navlhčení vzduchu v prostoru  $\Delta x$  [g/kg].

$$\dot{M}_v = \dot{V} \rho \Delta x \quad (24)$$

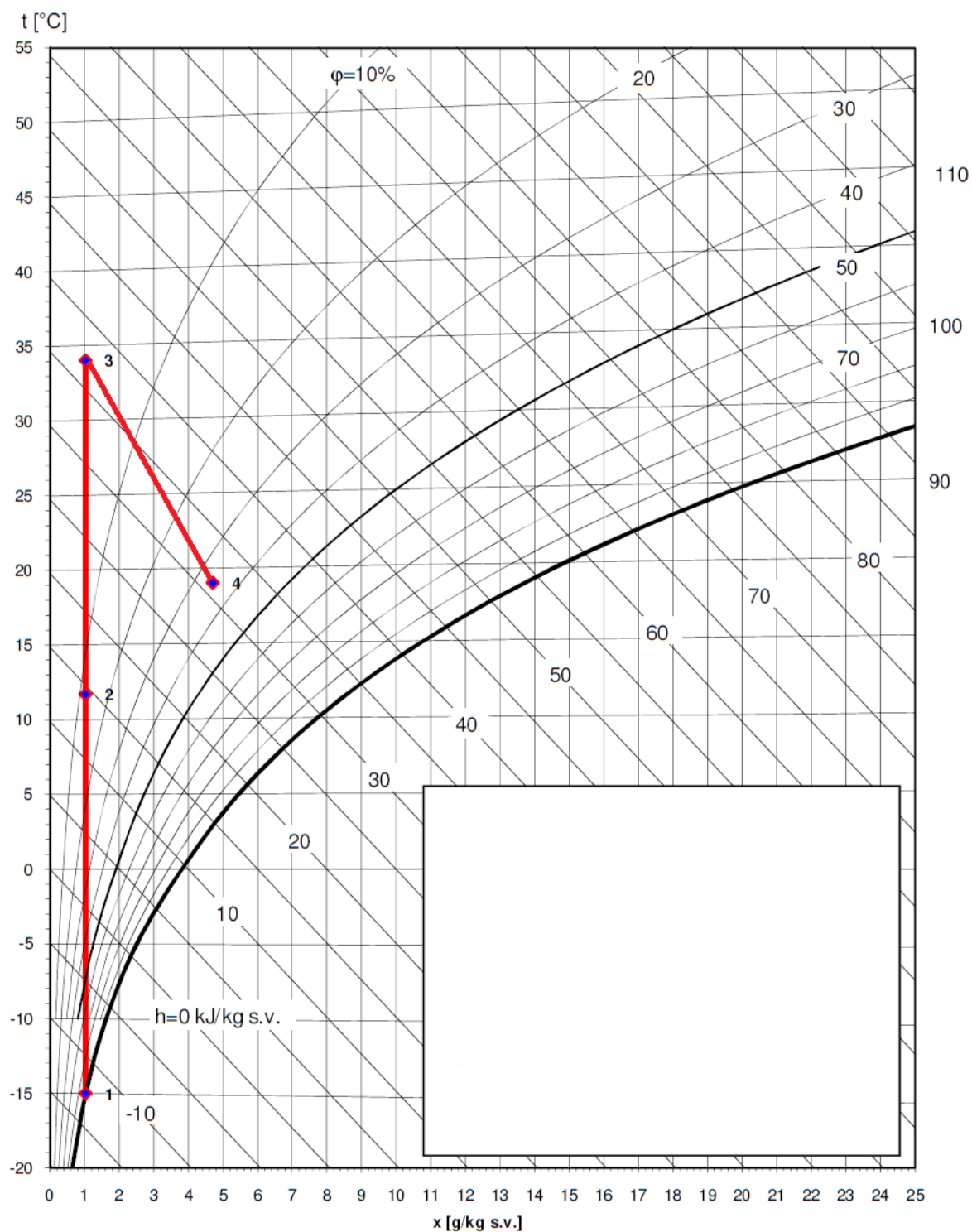
kde

$\dot{M}_v$	hmotnostní tok vlhkosti	[g/h]
$\dot{V}$	průtok vzduchu	[m <sup>3</sup> /h]
$\rho$	hustota vzduchu	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\Delta x$	rozdíl měrných vlhkostí	[g/kg].

Po úpravě:

$$\Delta x = \frac{\dot{M}_v}{\dot{V} \rho} = \frac{330\,000}{75\,000 \cdot 1,2} = 3,7 \text{ g/kg}$$

Zvlhčení vnitřního vzduchu od diváků činí  $\Delta x = 3,7$  g/kg. Úpravy vzduchu v zimním extrému jsou zobrazeny v h-x diagramu, který je vidět na obrázku 6.4.



Obr. 6.4 Úpravy vzduchu v  $h$ - $x$  diagramu pro zimní provoz

1. Stav venkovního vzduchu-  $t_e = -15^\circ\text{C}$ ;  $\varphi = 100\%$
2. Stav po ZZT -  $t_{zzt} = 11,7^\circ\text{C}$ ;  $\varphi = 12\%$
3. Stav po ohřevu vzduchu -  $t_p = 34^\circ\text{C}$ ;  $\varphi = 3\%$ .
4. Stav vnitřního vzduchu-  $t_i = 19^\circ\text{C}$ ;  $x_i = 4,7 \text{ g/kg}$ .

Výsledný stav vnitřního prostředí pro zimní provoz je  $t_i = 19 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $x_i = 4,7 \text{ g/kg}$ ,  $t_{rb} = 4^\circ\text{C}$  což jsou parametry, které jsou pro provoz zimního stadionu doporučovány.

### 6.3.2 Návrh výkonu chladiče vzduchu

Pro výpočet výkonu chladiče vzduchu v přechodovém období, je počítáno s parametry venkovního vzduchu  $t_e = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $\varphi = 85 \%$ . Hodnoty stavu venkovního vzduchu byly zvoleny dle předchozí analýzy příčin tvorby mlhy v kapitole 5.5, ze stavů venkovního vzduchu, při kterých nastaly problémy s mlhou a vysokou vlhkostí. Chladič přívodního vzduchu bude navržen jako přímý výparník a jeho střední povrchová teplota chladiče činí  $t_{spch} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$  [32]. Venkovní vzduch bude při těchto extrémních podmínkách nejprve ochlazen na co nejnižší teplotu, tím zkondenzuje obsažená vodní pára a poté bude případně dohříván na požadovanou teplotu přívodu. Ve výpočtu je uvažováno, že vlhký venkovní vzduch, se při těchto extrémních podmínkách ochladí na teplotu  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Při těchto extrémních podmínkách tedy nebude muset být vzduch dohříván, jelikož teplota přívodu je  $t_p = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vnitřní teplota  $t_i$  je navržena pro přechodové období  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ . Úpravy vzduchu byly zakresleny do h-x diagramu a poté byl proveden výpočet výkonu chladiče. Zvlhčení vnitřního vzduchu od diváků bude znovu činit  $\Delta x = 3,7 \text{ g/kg}$ . Výsledná úprava v h-x diagramu je vidět na obrázku 6.5.

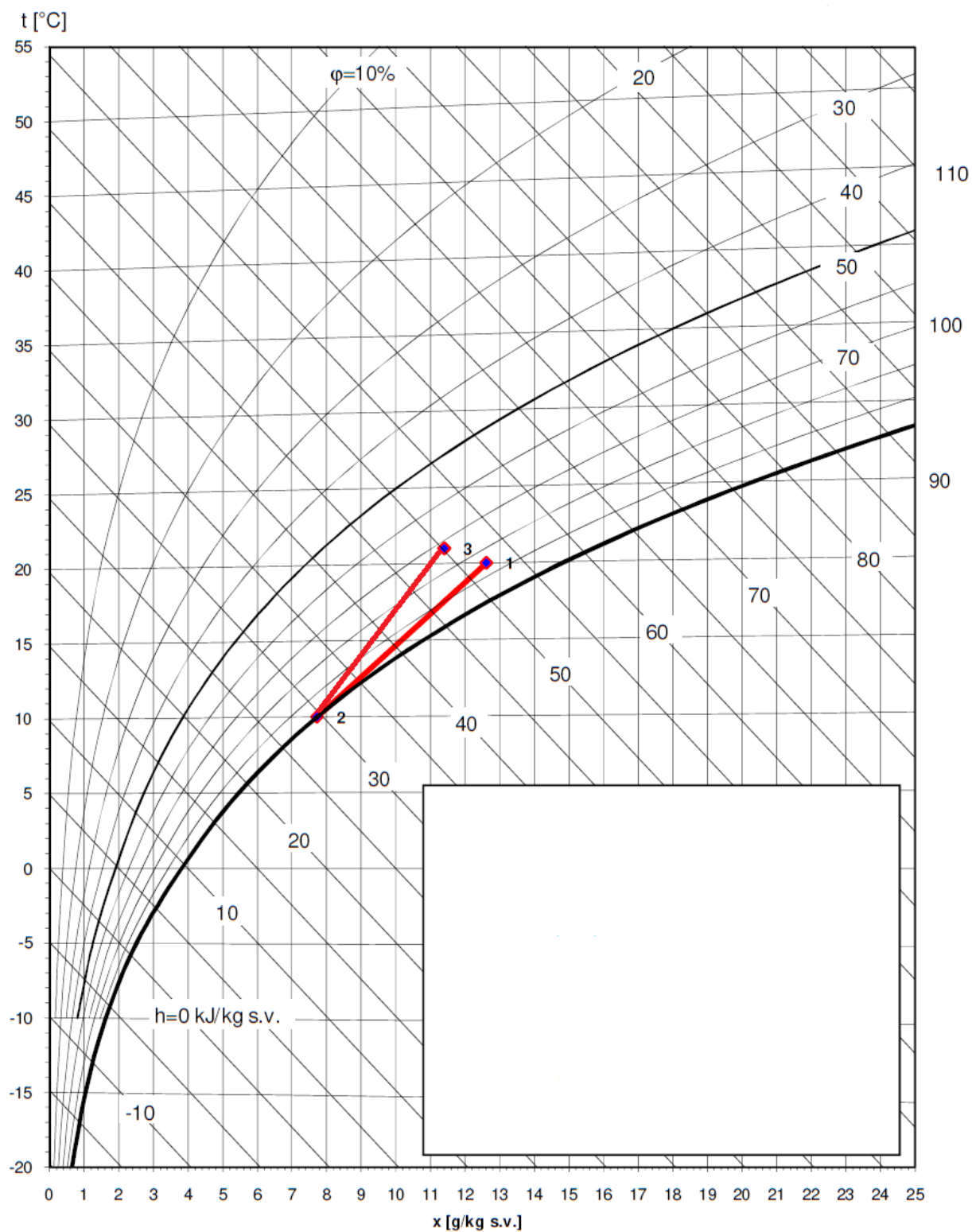
Výpočet výkonu chladiče vzduchu byl proveden dle vztahu (25). Při výpočtu výkonu chladiče pro mokré chlazení, již nemůžeme počítat jen s rozdílem teplot, jako to bylo u výpočtu výkonu ohříváče vzduchu. Ve výpočtu musíme brát v potaz i vázanou složku tepla, která je dána kondenzací vodní páry obsažené ve vzduchu. Výkon chladiče  $\dot{Q}_{ch}$  tedy musí být vypočten z rozdílů entalpií.

$$\dot{Q}_{chl} = \dot{V} \rho (h_1 - h_2) = 6,94 \cdot 1,2 \cdot (52,2 - 29,6) = 188 \text{ kW} \quad (25)$$

kde

$\dot{Q}_{ch}$	výkon chladiče vzduchu	[kW]
$h_1$	entalpie vlhkého vzduchu před chlazením	[kJ/kg]
$h_2$	entalpie vlhkého vzduchu po chlazení	[kJ/kg].

Po odečtení entalpií vlhkého vzduchu před a po chlazení a následně dosazení do vztahu (23), vyšel výkon chladiče vzduchu pro jednu klimatizační jednotku 188 kW.



Obr. 6.5 Úpravy vzduchu v  $h$ - $x$  diagramu pro přechodový provoz

1. Stav venkovního vzduchu-  $t_e = 20^\circ\text{C}$ ;  $\varphi = 85\%$
2. Mokrý chlazení-  $t_{ch} = 10^\circ\text{C}$ ;  $\varphi = 100\%$ ;  $x = 7,7 \text{ g/kg}$
3. Stav vnitřního vzduchu-  $t_i = 21^\circ\text{C}$ ;  $x_i = 11,4 \text{ g/kg}$ ;  $\varphi = 70\%$

Výsledný stav vnitřního vzduchu po všech úpravách a zvlhčení od diváků je  $t_i=21$  °C;  $x_i = 11,4$  g/kg;  $\varphi = 70$  %,  $t_{rb}= 15$ °C. V tomto přechodovém období tedy bude přiváděn vzduch do hlediště o parametrech vzduchu  $t_p = 10$  °C a  $x = 7,7$  g/kg oproti stávajícímu stavu, kdy se do haly stadionu dostával přímo venkovní neupravený vzduch o vysoké měrné vlhkosti o extrémních parametrech v přechodovém období  $t_e = 20$  °C a  $x_e = 12,6$  g/kg.

#### **6.4 Umístění klimatizačních jednotek a tras potrubí**

Pro řešený zimní stadion byly navrženy tři stejné klimatizační jednotky. První z jednotek bude umístěna ve venkovním prostoru u jihozápadní části stadionu. Tato jednotka bude upravovat vnitřní vzduch v sektorech pro sedící diváky v západní části. Jednotka bude umístěna na betonovém základu, vedle obvodové konstrukce zimního stadionu. Přívodní i odvodní potrubí od jednotky bude vedeno podél stěny stadionu až do výšky podhledu, kde projde přes obvodovou konstrukci, a dále bude v prostorách haly vedeno v podhledu. Přívodní potrubí poté z podhledu projde do prostor nad sedící diváky, kde bude dále přiváděný vzduch distribuován. Odvodní potrubí bude vedeno podhledem haly podél západní strany stadionu, kde vyústkami bude odváděn odpadní vzduch. Sání čerstvého vzduchu do jednotky bude provedeno přes protidešťovou žaluzii, a výfuk odpadního vzduchu bude proveden přes větrací hlavici nad klimatizační jednotku.

Zbylé dvě klimatizační jednotky budou umístěny na střeše sousední budovy na východní straně stadionu. Sousední budova je součástí zimního stadionu a slouží pro obsluhu stadionu, a také pro technologické vybavení stadionu. Klimatizační jednotky budou umístěny vedle sebe, a budou sloužit pro přívod čerstvého vzduchu pro východní sektory pro stojící diváky a pro střední část zimního stadionu pro sektory na sezení. Jednotka číslo 2.01 bude provětrávat jihovýchodní část a jednotka 3.01 bude provětrávat část severovýchodní. Přívodní a odvodní potrubí od klimatizačních jednotek bude také vedeno podél stěny stadionu až do výšky podhledu a v místech, kde prostupuje stávající potrubí od odvlhčovací jednotky, prostoupí potrubí obvodovou konstrukcí do vnitřních prostor podhledu stadionu. Potrubí bude poté dále vedeno jako u jednotky 1.01. Přívodní potrubí od jednotek projde přes podhled až do prostor nad sedící a stojící diváky, kde se rozdělí na dvě paralelní větve a vzduch bude distribuován do prostoru diváků. Odvodní potrubí bude vedeno v prostorách podhledu podél obvodové konstrukce a odvodními vyústkami bude odvádět v prostorách ochozu odpadní vzduch.

Trasy potrubí klimatizačních jednotek 2.1 a 3.1 budou zrcadlově symetrické. Řešení sání venkovního vzduchu a výfuku vzduchu odpadního bude u obou jednotek řešen stejným způsobem, jako u jednotky pro západní část zimního stadionu.

Součástí příloh je kompletní výkresová dokumentace včetně půdorysů, řezů, pohledů, a také specifikace použitých tvarovek a zařízení.

### **6.5 Dimenzování potrubní sítě a distribučních prvků**

Navržená potrubní síť byla dimenzována dle metody rychlosti, která spočívá ve volbě rychlosti proudění v hlavních a vedlejších větvích vzduchovodu na základě doporučených hodnot [25]. Z důvodu omezeného prostoru v prostorách stadionu, byla při dimenzování potrubí volena nejvyšší rychlost okolo 11 m/s v páteřních rozvodech. Ve vedlejších větvích potrubní sítě, již byla volena rychlost v potrubí okolo 9 m/s. Potrubí od klimatizačních jednotek je navrženo jako čtyřhranné, a za tlumiči hluku je zpřechodováno na kruhové SPIRO potrubí. V celém objektu zimního stadionu je poté potrubí vedeno jen ve SPIRO potrubí a to o průměru 900, 710 a 500 mm. Potrubí vedoucí ve venkovním prostředí bude opatřeno izolací tloušťky 50 mm a bude oplechováno hliníkovým plechem. V některých místech venkovního prostředí, kde se potrubí vyhýbá stávajícímu potrubí od odvlhčovací jednotky, bude muset být potrubí podepřeno.

Jako přívodní distribuční prvky byly navrženy velkoobjemové vyústky od firmy SystémAir typ BURE T-C o typové velikosti 500. Jedná se o velkoobjemovou přívodní vyústku, která je určena pro distribuci tepelně upraveného vzduchu, jak při vytápění, tak i chlazení. Vyústky mají konstrukci vzájemně propojených posuvných lamel, díky kterým jde měnit obraz proudění z horizontálního (chlazení), na vertikální (vytápění). Rozsah volby je v rozmezí 1-5 na stupnici mechanismů. Pozice 1 odpovídá plně horizontálnímu proudění a pozice 5 odpovídá plně vertikálnímu proudění. Pozice se dají měnit ručně nebo servopohonem. V projektu je navržena varianta s tepelnou patronou, kde se obraz proudění mění plynule dle teploty přiváděného vzduchu. Vyústky jsou konstruovány z ocelového pozinkovaného plechu. V projektu je navržena velikostní varianta 500, která odpovídá přípojovacímu rozměru hrdla 500 mm. Každá přívodní vyústka bude přivádět 1667 m<sup>3</sup>/h upraveného vzduchu. Navrženou vyústku je vidět na obrázku 6.6.





*Obr. 6.6 Navržená přívodní vyústka BURE 500 [35]*

Jako odvodní vyústky byly navrženy obdélníkové vyústky do kruhového potrubí NOVA C-1-R1. Jedná se o čtyřhranné vyústky vyrobené z pozinkovaného plechu s nastavitelnými lamelami. Vyústka je vhodná pro přívod i odvod přiváděného vzduchu. Vyústka je navržena s rozměry 1025x225 mm a má volnou plochu 0,163 m<sup>2</sup>. Každou vyústkou bude odváděno 1500 m<sup>3</sup>/h vzduchu.

Pro každou jednotku byly dále navrženy tlumiče hluku. Tlumiče hluku byly navrženy pro přívodní potrubí do stadionu a pro odvodní potrubí ze stadionu. Typ a rozměry tlumiče byly pro přívodní i odvodní potrubí navrženy stejné. Navržené tlumiče jsou od firmy Lindab a jedná se o kulisové tlumiče typu DLD. Jedná se o tlumiče hluku, které splňují požadavky třídy těsnosti C a tlakové řady 2 [34]. Navržený tlumič výrobce označuje DLD-1000-2000-2000-10-16 a jde o tlumič hluku rozměru 1000x2000 mm a délky 2000 mm. Hodnoty útlumů navržených tlumičů jsou uvedeny v příloze 4.

Dále byl proveden výpočet tlakových ztrát hlavních větví potrubní sítě. Hodnoty vypočtených tlakových ztrát jednotlivých přívodních a odvodních větví jsou uvedeny v tabulce 5. Výpočty tlakových ztrát jsou uvedeny v příloze 5,6,7,8,9.

*Tab. 5- Hodnoty tlakových ztrát hlavních větví*

<b>Jednotka</b>	<b>Tlaková ztráta přívodní větve [Pa]</b>	<b>Tlaková ztráta odvodní větve [Pa]</b>
1.01	255	310
2.01	280	300
3.01	265	300

## 6.6 Měření a regulace

Navržené klimatizační jednotky Geniox Go 29SRL jsou navrženy s vlastním integrovaným regulačním systémem. Na panelu řídicího systému se dají funkce a nastavení jednoduše měnit přímo na displeji [34]. Klimatizační jednotky budou spouštěny až před plánovanými zápasy, aby bylo dosaženo požadovaných parametrů vnitřního vzduchu. Například v zimě, aby bylo před příchodem diváků dosaženo teploty vnitřního vzduchu  $t_i = 19 \text{ °C}$ . Mimo hokejové zápasy bude stav vnitřního prostředí upravovat jen stávající odvlhčovací jednotka a klimatizační jednotky budou vypnuty.

Na regulační systém nových navržených klimatizačních jednotek bude napojeno čidlo teploty, které bude umístěno v hale v prostorách pod „sky-boxy“. Toto čidlo bude dávat informaci řídicímu systému o stavu vnitřní teploty v hale a bude se podle něj řídit ohřev přiváděného vzduchu. Dále na řídicí systém bude napojeno čidlo  $\text{CO}_2$ . Čidlo  $\text{CO}_2$  bude umístěno v potrubí odváděného vzduchu z haly. Pokud se v hale zvýší koncentrace  $\text{CO}_2$  pod určitou mez, dá systém signál klapkám jednotek, a bude přiváděno více venkovního vzduchu. V opačném případě, kdy by byla koncentrace  $\text{CO}_2$  nízká, bylo by využito více oběhového vzduchu z důvodu úspory energie. Nově navržené jednotky budou dále propojeny se stávající regulací od odvlhčovací jednotky, které je vybaveno čidlem vlhkosti.

Přívodní distribuční elementy BURE T-C budou dále regulovány tepelnou patronou, která je součástí vyústky. Tato patrona bude plynule měnit obraz proudu vlivem změny teploty přívodního vzduchu. V systému vytápění budou obraz proudění vertikální a při systému chlazení bude obraz proudění horizontální [35].

## 7. ZÁVĚR

V diplomové práci bylo řešeno téma odvlhčování zimních stadionů, a hlavním tématem byl návrh větrání na zimní stadion v Hradci Králové. Nejprve byla popsána problematika vnitřního mikroklimatu na zimních stadionech a požadavky na vnitřní prostředí stadionů. Dále byly popsány zdroje vlhkosti na zimních stadionech a projevy nadměrné vlhkosti. Dále jsou v práci uvedeny způsoby odvlhčení vnitřního vzduchu zimního stadionu a popsány způsoby odvlhčování vzduchu kondenzačními a adsorpčními jednotkami s ukázkou jejich provedení.

Byly analyzovány problémy s mlhou a vysokou vlhkostí na zimních stadionech v ČR. Byly zmíněny problémy s mlhou na nově postaveném zimním stadionu v Jičíně, který byl ze dvou stran stadionu otevřen a vnikající vlhký vzduch způsoboval mlhu a také kondenzaci na dřevěné konstrukci střechy. Dalším problémem byl velký průvan, který v hale panoval.

Diplomová práce, se věnuje zimnímu stadionu v Hradci Králové. Byly popsány základní informace o stadionu a o rekonstrukci, která na zimním stadionu proběhla. Byly ukázány problémy, které zimní stadion provázejí od postupu do nejvyšší hokejové ligy, kdy se zvýšila návštěvnost diváku na 6-7 násobek. V diplomové práci byl popsán stávající vzduchotechnický systém, který je složen z odvlhčovací jednotky COTES typ CRP 8000E, která byla instalována v roce 2015 a také ze staré větrací jednotky, která se již v dnešní době využívala jen pro možnost přitápění v zimním období.

Na zimním stadionu bylo provedeno měření parametrů vnitřního stavu vzduchu během náhodně vybraných zápasů. Měření bylo provedeno přístrojem OMEGA OM-SP2000, který po jedné minutě měřil stav vnitřní teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Výsledky měření byly poté vyobrazeny v grafické podobě a z naměřených hodnot teploty a relativní vlhkosti byly vypočteny hodnoty teploty rosného bodu vnitřního vzduchu. Měření bylo provedeno při dvou zápasech. Při prvním měření bylo měřící místo na tribuně mezi diváky, a při tomto měření se problémy s mlhou neobjevily.

Druhé měření bylo provedeno o týden déle a měřící místo bylo v prostorách časoměřičů v blízkosti ledové plochy. V tomto zápase se problémy s mlhou objevily a naměřené stavy vnitřního vzduchu byly také graficky vyobrazeny v grafech.

Po měření na zimním stadionu při hokejových zápasech, byly vypočteny zisky vodní páry od diváků na stadionu. Pro teplotu  $t_i = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ , která byla naměřena v prostorách hlediště při prvním měření, byla vypočtena produkce vodní páry od sedících a stojících diváků na stadionu. Po výpočtech vyšla pro sedící diváky produkce vodní páry  $\dot{M}_v = 30,8 \text{ g/h}$  a od stojících diváků vyšla produkce vodní páry  $\dot{M}_v = 85,5 \text{ g/h}$ . Po vynásobení celkovou kapacitou stadionu, která činí 3655 míst k sezení a 3235 ke stání, dostáváme celkovou produkci vodní páry od osob, která činí  $\dot{M}_v = 389 \text{ kg/h}$ .

Byla provedena analýza příčin tvorby mlhy na zimním stadionu. Z přechodového období byly náhodně vybrány hokejové zápasy, pro které byly z meteostanice v Hradci Králové zjištěny venkovní stavy vzduchu před a během zápasu a dále byly dohledány počty diváků, které na daný zápas dorazili a zda problémy s mlhou nastaly, či nenastaly. Všechny tyto hodnoty byly zapsány do tabulky a dále z důvodu lepší přehlednosti vyneseny do sloupcového grafu. Z analýzy vyplynulo, že nelze jasně říct, jestli za problémy můžou špatné parametry venkovního vzduchu, který se infiltrací dostává do prostor zimního stadionu nebo jestli jsou příčinou velké vlhkostní zisky od diváků. Analýza ukázala, že příčiny se doplňují a aby se vyřešily problémy s mlhou, musíme co nejvíce eliminovat vnikající vlhký vzduch do prostoru stadionu a dále také odvádět vznikající vodní páru od diváků.

Byla věnována pozornost konfrontaci větracího zařízení s jinými stadiony v ČR. Bylo zjištěno, že novější zimní stadiony, nebo rekonstruované stadiony s vyšší kapacitou diváků jsou řešeny vícezónově. S jednou zónou pro úpravu vzduchu nad hokejovým kluzištem a druhou zónou pro diváky v hledišti. Další opatření, kterým jsou vybaveny ostatní zimní stadiony, jsou vzduchové clony nad vstupními otvory do haly, které brání vnikání vlhkého venkovního vzduchu do prostor zimního stadionu. Obě tyto opatření na zimním stadionu v Hradci Králové chybí, a proto občas vznikají v přechodových obdobích při zápasech, kdy na zimní stadion přijde velký počet diváků a venkovní vzduch vnikající do haly je teplý a vlhký problémy s mlhou.

Stávající odvlhčovací zařízení, které je na zimním stadionu instalováno od roku 2015, není schopné tak velké množství vlhkého vzduchu eliminovat a vlhký vzduch se poté ochladí vlivem promíchání se studeným vzduchem nad ledovou plochou, tím se zvýší relativní vlhkost a současně i hustota. Tím má vlhký vzduch tendenci klesat mezi mantinely, a jakmile se tento vnitřní vzduch blíží či dosáhne stavu nasycení, vznikne nad ledovou plochou mlha. [5]

Bylo dosaženo závěru, že by se na zimním stadionu v Hradci Králové měly instalovat horizontální vzduchové dveřní clony, které by se automaticky zapínaly při otevření vstupních otvorů, které jsou otevřeny již několik hodin před utkáním. Tímto opatřením by se zamezilo vnikání vlhkého neupraveného vzduchu do prostoru zimního stadionu. Dalším opatřením je instalace nového větracího zařízení, které by odvádělo vodní páru produkovanou od diváků. Zařízení by bylo navrženo v mírném přetlaku, a tím by přiváděný upravený čerstvý vzduch zamezil dalšímu vnikání venkovního neupraveného vzduchu otvory a spárami v plášti budovy stadionu.

Byl proveden návrh nového vzduchotechnického zařízení. Nejprve byl proveden výpočet tepelných ztrát zimního stadionu a tepelná ztráta byla stanovena na necelých 360 kW. Byl proveden výpočet tepelné zátěže, která činí 280 kW. Po výpočtu tepelných ztrát a tepelné zátěže byl vypočten potřebný průtok přiváděného vzduchu, který činí 75 000 m<sup>3</sup>/h. Průtok byl rozdělen na tři části a byly navrženy tři klimatizační jednotky typu Geniox Go 29SRL, každá o vzduchovém výkonu 25 000 m<sup>3</sup>/h. Pro navržené jednotky byl vypočten výkon chladiče a ohříváče vzduchu. Pro jednu klimatizační jednotku je potřebný výkon ohříváče asi 188 kW a výkon chladiče, který byl navržen jako přímý výparník, je potřebný chladicí výkon také 188 kW. Dvě jednotky budou umístěny na střeše sousední budovy, která je součástí prostor zimního stadionu. Třetí jednotka bude umístěna ve venkovním prostoru v jižní části zimního stadionu.

Byla navržena nová potrubní síť a distribuční prvky. Potrubí od jednotek je navrženo jako čtyřhranné, a poté je přechodováno na kruhové SPIRO potrubí. Za klimatizační jednotky na přívodním a odvodním vzduchu byly navrženy tlumiče hluku. Jedná se o kulisové tlumiče a každý byl navržen o délce 2000 mm. Trasa potrubí od klimatizačních jednotek vedoucí ve venkovním prostoru, bude izolována izolací tloušťky 100 mm a potrubí bude dále opatřeno oplechováním. Potrubí v hale je vedeno v podhledech, ze kterých poté vede dále do prostor tribun, kam je přiváděn upravený vzduch.

Jako distribuční prvky pro přívod vzduchu byly zvoleny velkoobjemové vyústky od firmy SystemAir typ BURE T-C o typové velikosti 500. Přívodní vyústky jsou vybaveny tepelnou patronou, která bude měnit plynule obraz proudění dle přívodu chladného či teplého vzduchu. Jako odvodní vyústky byly navrženy klasické obdélníkové vyústky do kruhového potrubí NOVA C-1-R1, každá o rozměrech 1025x225 mm.

Byla vypočtena tlaková ztráta jednotlivých hlavních větví navržených vzduchovodů a tlakové ztráty byly zobrazeny v tabulce .

Navržené klimatizační jednotky budou řízeny vlastním integrovaným regulačním systémem, který je součástí klimatizačních jednotek. Na tento systém budou připojeny čidla teploty a CO<sub>2</sub> a dále bude regulace propojena se stávající regulací od odvlhčovací jednotky.

Veškeré navržené trasy vzduchovodů a umístění jednotek je zakresleno ve výkresové dokumentaci, která se skládá z půdorysů, řezů a jednotlivých pohledů. Dále byla také zhotovena specifikace tvarovek a navrženého zařízení. Veškerá výkresová dokumentace a specifikace je součástí příloh této diplomové práce.

## Seznam literatury

- [1] *Zimní stadion Josefa Kotase* [Online]. Wikipedie. 2018 [cit. 16. 1. 2018] Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Zimn%C3%AD\\_stadion\\_Josefa\\_Kotase](https://cs.wikipedia.org/wiki/Zimn%C3%AD_stadion_Josefa_Kotase)
- [2] *Historie zimního stadionu Štvanice-* [Online]. 2005 [cit. 16. 1. 2018]. Dostupné z: <http://www.stvanice.cz/historie.htm>
- [3] ANDRES, Petr. Zimní stadiony z hlediska odvodu vlhkosti. *Vytápění větrání instalace*, 2007, roč. 16, č. 4, s. 227-229. ISSN 1210-1389.
- [4] *Bez mlhy a za stavu 1:0 pro draky, rozhodl svaz po protestu Vsetína* [Online]. BPA SPORT MARKETING A.S. 2016 [cit. 20. 1. 2018]. Dostupné z: <http://www.hokej.cz/bez-mlhy-a-za-stavu-1-0-pro-draky-rozhodl-svaz-po-protestu-vsetina/5018500>
- [5] *Mikroklima zimních stadionu*. PECHÁČ, Stanislav a NOVÝ, Richard [Online]. TZB-info.cz. 2011 [cit. 20. 1. 2018]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/7341-mikroklima-zimnich-stadionu>
- [6] ANDRES, Petr: *Odvhlčování zimních stadionů, bazénů a speciálních aplikací* [přednáška]. Praha: ČVUT, březen 2017
- [7] *Na olomouckém zimáku je pod nulou, diváky odrazuje od hokeje i lékař* [Online]. MAFRA, a. s. 2012 [cit. 22. 1. 2018]. Dostupné z: [https://olomouc.idnes.cz/na-olomouckem-zimaku-je-pod-nulou-divaky-odrazuje-od-hokeje-i-lekar-1do-/olomouc-zpravy.aspx?c=A120210\\_1731084\\_olomouc-zpravy\\_stk](https://olomouc.idnes.cz/na-olomouckem-zimaku-je-pod-nulou-divaky-odrazuje-od-hokeje-i-lekar-1do-/olomouc-zpravy.aspx?c=A120210_1731084_olomouc-zpravy_stk)
- [8] ASHRAE Handbook 2010 - *Refrigeration*. Chapter 44 - Ice Rinks
- [9] *Odvhlčování pomocí adsorbční technologie DST Seibu Giken*. ANDRES, Petr [Online]. TZB-info.cz. 2008 [cit. 25. 1. 2018]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/4918-odvlhcovani-pomoci-adsorbncni-technologie-dst-seibu-giken>
- [10] *Odvhlčování vzduchu pro zimní stadiony* [Online]. SEN - vysoušecí technika, s.r.o. [cit. 2. 2. 2018]. Dostupné z: <http://www.odvlhcovani.cz/odvlhcovace-vzduchu-pro-zimni-stadiony.p53.html>
- [11] *Nová česká legislativa a normy pro větrání a klimatizaci*. LAIN, Miloš [Online]. TZB-info.cz. 2013 [cit. 5. 2. 2018]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vetrani-klimatizace/10199-nova-ceska-legislativa-a-normy-pro-vetrani-a-klimatizaci>
- [12] *Adsorbční odvlhčovače DST seibu giken*. [Online]. Flair a.s. [cit. 5. 2. 2018]. Dostupné z: <http://www.flair.cz/admin/downloads/24>

- [13] *Adsorbční odvlhčovače DST seibu giken* [Online]. Flair a.s. [cit. 5. 2. 2018]. Dostupné z: <http://www.flair.cz/adsorbncni-odvlhcovace-dst-seibu-giken>
- [14] *Nekonečný příběh stadionu se blíží ke konci* [Online]. Dobré zprávy z Českého ráje [cit. 15. 2. 2018]. Dostupné z: <http://zpravyceskyraj.cz/nekonecny-pribeh-zimniho-stadionu-se-blizi-ke-konci/>
- [15] *Oceňovaný stadion v Jičíně trápí průvan a vlhkost* [Online]. Česká televize [cit. 18. 2. 2018]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/regiony/1495820-ocenovany-stadion-v-jicine-trapi-pruvan-a-vlhkost>
- [16] *Nekonečný příběh stadionu se blíží ke konci* [Online]. Dobré zprávy z Českého ráje [cit. 22. 2. 2018]. Dostupné z: <http://zpravyceskyraj.cz/nekonecny-pribeh-zimniho-stadionu-se-blizi-ke-konci/>
- [17] *Rekonstrukce víceúčelové haly Rondo – Brno* [Online]. Sdružení Zimních Stadionů České republiky [cit. 22. 2. 2018]. Dostupné z: <http://www.szs.cz/obsah/rekonstrukce-viceucelove-haly-rondo-brno>
- [18] *Mlha v Brně: reprízu hokejového finále ukončily neregulérní podmínky* [Online]. MAFRA, a. s. 2014 [cit. 28. 2. 2018]. Dostupné z: [https://hokej.idnes.cz/hokejova-extraliga-kometa-brno-zlin-mlha-na-stadionu-pci-/hokej.aspx?c=A140914\\_175907\\_hokej\\_bem](https://hokej.idnes.cz/hokejova-extraliga-kometa-brno-zlin-mlha-na-stadionu-pci-/hokej.aspx?c=A140914_175907_hokej_bem)
- [19] *Fortuna aréna* [Online]. Wikipedie [cit. 28. 2. 2018]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Fortuna\\_ar%C3%A9na](https://cs.wikipedia.org/wiki/Fortuna_ar%C3%A9na)
- [20] KRAUS, Petr: *Zápas- Hradec Králové: Třinec* [osobní album fotografií 2013].
- [21] *Fotogalerie 14/15 A tým - 2.kolo - HK vs Sparta Praha 3:1* [Online]. Mountfield HK [cit. 3. 3. 2018]. Dostupné z: [http://www.mountfieldhk.cz/fotogalerie.asp?id\\_zapas=7003&zobraz=sezona\\_typ&kategorie=928&slovo=&typ=1&sezona=2015&poslano=true](http://www.mountfieldhk.cz/fotogalerie.asp?id_zapas=7003&zobraz=sezona_typ&kategorie=928&slovo=&typ=1&sezona=2015&poslano=true)
- [22] *540: Zimní stadion - odvlhčení ledové plochy* [Online]. Statutární město Hradec Králové [cit. 5. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.tenderarena.cz/profil/zakazka/detail.jsf?id=77892>
- [23] *Návod pro provoz, instalaci, údržbu a servis- Adsorbční odvlhčovač CRP 8000E* [Technický list firmy]. Cotes A/S [cit. 15. 3. 2018].
- [24] *Meteostanice - Hradec Králové, aktuální teplota, vítr, tlak, srážky* [Online]. In-počasí [cit. 28. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=hradec&historie=10-08-2017>
- [25] DRKAL, František a ZMRHAL, Vladimír. *Větrání*. Nakladatelství ČVUT v Praze 6, 2015. 157s. ISBN 978-80-01-05181-8



- [26] *Meteostanice - Hradec Králové, aktuální teplota, vítr, tlak, srážky* [Online]. In-počasí [cit. 1. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice-historie.php?stanice=hradec&historie=10-15-2017>
- [27] *17/18 - A tým - 13.kolo: HK vs Pardubice 6:0* [Online]. Mountfield HK [cit. 3. 3. 2018]. Dostupné z: [http://www.mountfieldhk.cz/fotogalerie.asp?id\\_zapas=7032&zobraz=sezona&kategorie=1253&slovo=&typ=&sezona=2018&poslano=true](http://www.mountfieldhk.cz/fotogalerie.asp?id_zapas=7032&zobraz=sezona&kategorie=1253&slovo=&typ=&sezona=2018&poslano=true)
- [28] ZMRHAL, Vladimír. *Produkce tepla osob jako podklad pro energetické simulační výpočty. Vytápění větrání instalace*, 2017, roč. 26, č. 4, s. 234-239. ISSN 1210-1389.
- [29] ČSN EN ISO 8996 *Ergonomie tepelného prostředí - Určování metabolismu*. Praha ÚNMZ: květen 2005
- [30] ČSN EN ISO 7730 *Ergonomie tepelného prostředí - analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu*. Praha ÚNMZ: říjen 2006
- [31] *Zimní stadion v Chomutově* [Online]. JAGA GROUP, s. r. o. [cit. 2. 5. 2018]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/vetrani-a-klimatizace/zimni-stadion-v-chomutove>
- [32] *Návrh chladiče venkovního vzduchu*. ZMRHAL, Vladimír [Online]. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí [cit. 20. 5. 2018]. Dostupné z: <http://www.fsid.cvut.cz/~zmrhavl/Publikace/Zmrhal%20KaV2014.pdf>
- [33] DRKAL, František, LAIN, Miloš a ZMRHAL, Vladimír. *Klimatizace*. Nakladatelství ČVUT v Praze 6, 2017. 134s. ISBN 978-80-01-05652-3
- [34] *Geniox, nová generace jednotek* [Online]. SystemAir [cit. 25. 5. 2018]. Dostupné z: [https://www.systemair.com/globalassets/websites/cz/katalogy/geniox\\_quickguide\\_08\\_2017\\_cz\\_web.pdf](https://www.systemair.com/globalassets/websites/cz/katalogy/geniox_quickguide_08_2017_cz_web.pdf)
- [35] *Bure, velkoobjemové vyústí* [Online]. SystemAir [cit. 25. 5. 2018]. Dostupné z: <https://www.systemair.com/globalassets/websites/cz/katalogy/bure.pdf>
- [36] ČSN EN 12831 – *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu* Praha ÚNMZ: březen 2005
- [37] ASHRAE Standard 62.1-2010, Atlanta: Ashrae. ISSN 1041-2336

**Přílohy na přiloženém CD**

Příloha 1 – Naměřené hodnoty teploty a relativní vlhkosti na zimním stadionu	(xls)
Příloha 2 – Výpočet produkce vodní páry od diváků	(xls)
Příloha 3 – Výpočet průtoku přiváděného vzduchu	(xls)
Příloha 4 – Navržené tlumiče hluku	(pdf)
Příloha 5 – Výpočet tlakových ztrát hlavní větve- přívod 1.01	(xls)
Příloha 6 – Výpočet tlakových ztrát hlavní větve- odvod 1.01	(xls)
Příloha 7 – Výpočet tlakových ztrát hlavní větve- přívod 2.01	(xls)
Příloha 8 – Výpočet tlakových ztrát hlavní větve- přívod 3.01	(xls)
Příloha 9 – Výpočet tlakových ztrát hlavní větve- odvod 2.01; 3.01	(xls)
Příloha 10 – Specifikace potrubní sítě	(xls)
Příloha 11 – Výkresová dokumentace	(dwg)
Příloha 12 – Diplomová práce- elektronická podoba	(pdf)

**Seznam výkresové dokumentace:**

01-2018-01	Půdorys haly	(1:100)
01-2018-02	Řez A-A	(1:100)
01-2018-03	Řez B-B	(1:100)
01-2018-04	Pohled- jednotka 1.01	(1:50)
01-2018-05	Pohled- jednotky 2.01; 3.01	(1:50)
01-2018-06	Pohled- jednotka 2.01	(1:50)

**Příloha- Specifikace potrubní sítě:**

č. pol.	popis položky	výměra	měr. jedn.
<b>Stavba : ZIMNÍ STADION HRADEC KRÁLOVÉ</b>			
<b>Profese: KLIMATIZACE</b>			
<b>1</b>	<b>ZAŘÍZENÍ 1- Jednotka jihozápad stadionu</b>		
1.01	Klimatizační jednotka Geniox Go 29SRL , 25 000 m <sup>3</sup> /h průtok, výkon ohříváče 188 kW, výkon chladiče 188 kW	1	ks
1.02	Protidešťová žaluzie 2700x1200 mm	1	ks
1.03	Průžná manžeta 2700x1200 mm	3	ks
1.04	Redukce 2700x1200/2000x1200 délky 500 mm	2	ks
1.05	Koleno čtyřhranné 90°- VxŠ 2000x1000 mm	2	ks
1.06	Tlumič hluku DLD-1000-2000-2000-10-1	2	ks
1.07	Přechod 2000x1000/Ø900 délky 1500 mm	2	ks
1.08	Koleno 90°- Ø900	6	ks
1.09	Přechod 2700x1200/Ø1000 délky 400 mm	1	ks
1.10	Koleno 90°- Ø1000	3	ks
1.11	Výfuková hlavice Ø1000	1	ks
1.12	Koleno 45°- Ø900	6	ks
1.13	T-kus 90°- ØD1-ØD2-délka-900/500/724	1	ks
1.14	Redukce soustředná Ø900/ Ø710	1	ks
1.15	Redukce soustředná Ø710/ Ø500	1	ks
1.16	Koleno 90°- Ø500	3	ks
1.17	Redukce tangenciální Ø900/ Ø710	1	ks
1.18	Redukce tangenciální Ø710/ Ø500	1	ks
1.19	T-kus 90°- ØD1-ØD2-délka-500/500/670	4	ks
1.20	T-kus 90°- ØD1-ØD2-délka-710/500/730	5	ks
1.21	T-kus 90°- ØD1-ØD2-délka-900/500/724	4	ks
1.22	Velkoobjemová vyústka BURE 500 s tepelnou patronou	15	ks
1.23	Obdelníková vyústka do kruhového potrubí 1025x225mm	15	ks
	SPIRO potrubí Ø1000	6	m
	SPIRO potrubí Ø900	70	m
	SPIRO potrubí Ø710	42	m
	SPIRO potrubí Ø500	54	m
	Potrubí 2000x1000 mm	1,5	m
	Izolace tepelná + oplechování	185	m <sup>2</sup>

2	ZAŘÍZENÍ 2- Jednotka střecha pro jihovýchod stadionu		
2.01	Klimatizační jednotka Geniox Go 29SRL , 25 000 m <sup>3</sup> /h průtok, výkon ohřívače 188 kW, výkon chladiče 188 kW	1	ks
2.02	Protidešťová žaluzie 2700x1200 mm	1	ks
2.03	Průžná manžeta 2700x1200 mm	3	ks
2.04	Redukce 2700x1200/2000x1200 délky 500 mm	1	ks
2.05	Koleno čtyřhranné 90°- VxŠ 2000x1000 mm	1	ks
2.06	Tlumič hluku DLD-1000-2000-2000-10-1	2	ks
2.07	Přechod 2000x1000/Ø900 délky 1500 mm	2	ks
2.08	Koleno 90°- Ø900	7	ks
2.09	Koleno čtyřhranné 90°- VxŠ 1000x2000 mm	1	ks
2.10	Redukce 1000x1000/2000x1000 délky 500 mm	1	ks
2.11	Koleno 90°- 1000x1000	1	ks
2.12	Redukce 2700x1200/1000x1000 délky 500 mm	1	ks
2.13	Přechod 2700x1200/Ø1000 délky 500 mm	1	ks
2.14	Koleno 90°- Ø1000	3	ks
2.15	Výfuková hlavice Ø1000	1	ks
2.16	Koleno 45°- Ø900	6	ks
2.17	T-kus 90°- ØD1-ØD2-délka-900/500/724	1	ks
2.18	Redukce soustředná Ø900/ Ø710	2	ks
2.19	Redukce soustředná Ø710/ Ø500	2	ks
2.20	Redukce tangenciální Ø900/ Ø710	1	ks
2.21	Koleno 90°- Ø710	1	ks
2.22	Redukce tangenciální Ø710/ Ø500	1	ks
2.23	Koleno 90°- Ø500	2	ks
2.24	T-kus 90°- ØD1-ØD2-délka-500/500/670	3	ks
2.25	T-kus 90°- ØD1-ØD2-délka-710/500/730	5	ks
2.26	T-kus 90°- ØD1-ØD2-délka-900/500/724	5	ks
2.27	Velkoobjemová vyústka BURE 500 s tepelnou patronou	15	ks
2.28	Obdelníková vyústka do kruhového potrubí 1025x225mm	15	ks
	SPIRO potrubí Ø1000	6	m
	SPIRO potrubí Ø900	92	m
	SPIRO potrubí Ø710	38	m
	SPIRO potrubí Ø500	29	m
	Potrubí 2000x1000 mm	1	m
	Potrubí 1000x1000 mm	2,5	m
	Izolace tepelná + oplechování	110	m <sup>2</sup>

<b>3</b>	<b>ZARÍZENÍ 3- Jednotka střecha pro severovýchod stadionu</b>		
3.01	Klimatizační jednotka Geniox Go 29SRL , 25 000 m <sup>3</sup> /h průtok, výkon ohřívače 188 kW, výkon chladiče 188 kW	1	ks
3.02	Protidešťová žaluzie 2700x1200 mm	1	ks
3.03	Průžná manžeta 2700x1200 mm	3	ks
3.04	Redukce 2700x1200/2000x1200 délky 500 mm	2	ks
3.05	Koleno čtyřhranné 90°- VxŠ 2000x1000 mm	2	ks
3.06	Tlumič hluku DLD-1000-2000-2000-10-1	2	ks
3.07	Přechod 2000x1000/Ø900 délky 1500 mm	2	ks
3.08	Koleno 90°- Ø900	7	ks
3.09	Přechod 2700x1200/Ø1000 délky 500 mm	1	ks
3.10	Koleno 90°- Ø1000	3	ks
3.11	Výfuková hlavice Ø1000	1	ks
3.12	Koleno 45°- Ø900	6	ks
3.13	T-kus 90°- ØD1-ØD2-délka-900/500/724	1	ks
3.14	Redukce soustředná Ø900/ Ø710	2	ks
3.15	Redukce soustředná Ø710/ Ø500	2	ks
3.16	Redukce tangenciální Ø900/ Ø710	1	ks
3.17	Koleno 90°- Ø710	1	ks
3.18	Redukce tangenciální Ø710/ Ø500	1	ks
3.19	Koleno 90°- Ø500	2	ks
3.20	T-kus 90°- ØD1-ØD2-délka-500/500/670	3	ks
3.21	T-kus 90°- ØD1-ØD2-délka-710/500/730	5	ks
3.22	T-kus 90°- ØD1-ØD2-délka-900/500/724	5	ks
3.23	Velkoobjemová vyústka BURE 500 s tepelnou patronou	15	ks
3.24	Obdelníková vyústka do kruhového potrubí 1025x225mm	15	ks
	SPIRO potrubí Ø1000	6	m
	SPIRO potrubí Ø900	92	m
	SPIRO potrubí Ø710	38	m
	SPIRO potrubí Ø500	29	m
	Potrubí 2000x1000 mm	1,5	m
	Izolace tepelná + oplechování	120	m <sup>2</sup>