

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**Vytápění a větrání tréninkové haly zimního
stadionu**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Jakub Lokajíček

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Karel Kabele, CSc.

2017/2018



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Lokajíček Jméno: Jakub Osobní číslo: 410006
Zadávací katedra: K11125 TZB
Studijní program: Budovy a prostředí - N3649
Studijní obor: Budovy a prostředí 3608T006

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vytápění a větrání tréninkové haly zimního stadionu
Název diplomové práce anglicky: Heating and ventilation of training ice arena

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte studii na téma Teorie vnitřního prostředí zimních stadionů a koncepční řešení zásobování teplem, vytápění a větrání daného objektu.

Pro navržené řešení zpracujte projektovou dokumentaci vzduchotechniky na úrovni rozšířené dokumentace pro vydání stavebního povolení dle vyhlášky 499/2006 Sb.

Seznam doporučené literatury:

Kabele a kol.: Energetické a ekologické systémy budov 1 ČVUT (2010)

Valášek a kol.: Zdravotně-technické instalace Jaga 2001

Petráš a kol.: Vytápění rodinných a bytových domů, Jaga 2005

K. Kabele a kol.: Technická zařízení budov. Vytápění - podklady pro cvičení. Nakladatelství ČVUT 2013

Kolektiv: Topenářská příručka 3, ČSTZ, 2008. Anotaci najdete zde.

D. Petráš, D. Koudelková, K. Kabele: Teplovodní a elektrické podlahové vytápění. Jaga Media s.r.o 2004, ISBN:80-88905-97-4

J. Bašta, K. Kabele: Otopné soustavy teplovodní - Sešit projektanta č.1 - Společnost pro techniku prostředí 2008

Garlík, B.: Inteligentní budovy, BEN technická literatura, Praha, 2012, ISBN 978-80-7300-440-8

Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Ing. Karel Kabele, CSc

Datum zadání diplomové práce: 2.10.2017 Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou prací vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 7. 1. 2018

Podpis

Jméno a příjmení: Bc. Jakub Lokajíček

Poděkování

Tato práce byla místy velmi náročná, proto bych tímto chtěl poděkovat především vedoucímu práce prof. Ing. Karlu Kabelemu, CSc. za pomoc a cenné rady. Poděkování rovněž patří také mé rodině a přátelům za jejich podporu.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá popisem a návrhem systémů chlazení, vytápění, přípravy teplé vody a vzduchotechniky zimního stadionu. Práce se skládá ze tří částí, z nichž první část je teoretická. Ta se zabývá vnitřním prostředím stadionů a také druhy technických systémů a způsobem jejich návrhu. Další částí je koncepční řešení, kde je nejprve popis navrženého zimního stadionu a následně návrh technických systémů. Třetí část této práce je věnována návrhu vzduchotechnických zařízení pro výměnu a úpravu vzduchu do všech prostorů stadionu. Součástí diplomové práce je také projektová dokumentace vzduchotechnických systémů a technická zpráva.

Annotation

This thesis focuses on a design of cooling and heating system, hot water preparation and air conditioning of ice-hockey stadium. The work consists of three parts. The first – theoretical - part is analysis of ice-hockey arenas indoor environment and types of building services systems. Next part is about a concept design and consists of a designed arena description and a concept design of building services systems itself. The third part of this thesis deals with a proposal of air conditioning systems for every part of the stadium. The calculations and technical drawings with a report are attached to this thesis.

Klíčová slova

zimní stadion, vnitřní prostředí, vzduchotechnické systémy, větrání, úprava vzduchu

Key words

ice-hockey arena, indoor environment, air conditioning systems, ventilation, air conditioning

Obsah

Úvod.....	9
Předmět práce	10
A Teoretická část.....	11
A.1 Vnitřní prostředí stadionů	11
A.1.1 Tepelné a vlhkostní mikroklima.....	12
A.1.2 Osvětlení.....	13
A.1.3 Akustika	15
A.2 Ledová plocha.....	15
A.2.1 Konstrukce ledové plochy	15
A.2.2 Tepelná zátěž.....	19
A.2.2.1 Proudění vzduchu	19
A.2.2.2 Sálání	20
A.2.2.3 Kondenzace	22
A.2.2.4 Osvětlení.....	23
A.2.2.5 Vedení tepla z podloží ledu	24
A.2.2.6 Rozvody chladiva	24
A.2.2.7 Práce oběhového čerpadla.....	25
A.2.2.8 Bruslaři.....	25
A.2.2.9 Úprava ledové plochy	26
A.2.3 Úprava ledu	26
A.2.3.1 Rolba.....	27
A.2.3.2 Úprava zaplavovací vody	27
A.3 Technická zařízení.....	29
A.3.1 Vzduchotechnické systémy	32
A.3.1.1 Větrání	32
A.3.1.2 Odvlhčení vzduchu	32
A.3.2 Vytápění.....	36
A.3.2.1 Využití odpadního tepla.....	36
A.3.2.2 Vytápění hlediště.....	37
A.3.2.3 Vytápění pomocí CZT.....	37
A.3.3 Příprava teplé vody.....	38
A.3.4 Chlazení	38

A.3.4.1	Chlazení přímé.....	39
A.3.4.2	Chlazení nepřímé.....	41
A.4	Zdroje tepla a chladu.....	43
A.4.1	Zdroj tepla	43
A.4.1.1	Odpadní teplo.....	43
A.4.1.2	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla	46
A.4.2	Zdroj chladu.....	51
A.4.2.1	Chladicí výkon.....	51
A.4.2.2	Chladicí jednotka	52
B	Koncepční řešení zimního stadionu	54
B.1	Návrh vlastního stadionu	54
B.2	Technická zařízení stadionu	56
B.2.1	Výroba a distribuce chladu.....	57
B.2.1.1	Chlazení ledu	58
B.2.1.2	Výpočet tepelné zátěže.....	59
B.2.1.3	Tepelný zisk prostupem obálkou zóny	62
B.2.1.4	Požadovaný chladicí výkon.....	62
B.2.2	Výroba a distribuce tepla	63
B.2.2.1	Získávání tepla.....	63
B.2.2.2	Vytápění místností	64
B.2.2.3	Ohřev podloží ledové plochy.....	66
B.2.2.4	Příprava teplé vody	66
B.2.3	Vzduchotechnické systémy	68
C	Návrh vzduchotechnických zařízení	70
C.1	Větrání haly, hlediště a technického zázemí – AHU A1.....	70
C.1.1	Výpočet množství vzduchu.....	70
C.1.1.1	Množství přiváděného vzduchu:	70
C.1.1.2	Množství odváděného vzduchu:	72
C.1.2	Množství vlhkosti vzniklé v hale	72
C.1.3	Požadovaná měrná vlhkost přiváděného venkovního vzduchu	73
C.1.4	Návrh jednotky AHU A1	74
C.1.5	Úprava vzduchu v jednotce	76
C.1.6	Distribuce vzduchu	81
C.2	Větrání šaten, sprch, ošetrovny, recepce a velínu – AHU A2.....	83

C.2.1	Výpočet množství vzduchu	83
C.2.2	Návrh jednotky AHU A2.....	84
C.2.3	Úprava vzduchu v jednotce	85
C.2.4	Distribuce vzduchu	87
C.3	Větrání skladu a WC pro diváky – AHU A3	88
C.3.1	Výpočet množství vzduchu	88
C.3.2	Návrh jednotky AHU A3.....	89
C.3.3	Úprava vzduchu v jednotce	90
C.3.4	Distribuce vzduchu	91
C.4	Větrání bufetu – AHU A4, A7.....	92
C.4.1	Výpočet množství vzduchu	92
C.4.2	Návrh jednotky AHU A4.....	92
C.4.3	Úprava vzduchu v jednotce	94
C.4.4	Distribuce vzduchu	95
C.5	Větrání broušení bruslí– A5.....	96
C.5.1	Výpočet množství vzduchu	96
C.5.2	Návrh odvodních prvků	96
C.5.3	Distribuce vzduchu	96
C.6	Větrání technického zázemí – A6	96
C.6.1	Výpočet množství vzduchu	97
C.6.2	Návrh odvodních prvků	97
C.6.3	Distribuce vzduchu	97
Závěr	.....	98
Seznam literatury a podkladů	.....	100
Seznam obrázků	.....	103
Seznam tabulek	.....	106
Seznam příloh	.....	107

Úvod

Sport je jedním z nejoblíbenějších způsobů využití volného času, díky kterému si člověk udržuje jak fyzické, tak psychické zdraví. Lidé provozují sport buďto rekreačně, závodně nebo přímo profesionálně, nicméně v každém případě je důležité vytvořit pro to vhodné podmínky.

Lední hokej se řadí mezi nejoblíbenější jak na světě, tak v České republice. V současné době se v České republice nachází přibližně 180 zimních stadionů. Co se týče poměru počtu zimních stadionů na počet obyvatel, má větší počet hal pouze Kanada, Švédsko a Finsko. Tento počet není vůbec konečný a stadiony stále přibývají. Již před 5000 lety lidé využívali ledové plochy k pohybu. To dokazuje například i nález nejstarší kostěné brusle ve Veselí u Trnavy. Tyto plochy byly samozřejmě pouze zamrzlé řeky a rybníky [3].

Díky rozvoji termomechaniky v 18. a 19. století a vývoji chladiv a chladicích systémů od konce 19. století se v dnešní době využívají uměle chlazené ledové plochy. Zpočátku byla většina zimních stadionů bez zastřešení, a tudíž bylo možné provozovat lední sporty především v závislosti na počasí. Prvním zimním stadionem v tehdejší Československu byl stadion Štvanice v Praze, který byl otevřen v roce 1931. Zastřešený byl až v roce 1956 kvůli mistrovství světa Evropy v basketbalu žen. Dnes už výstavba nezastřešených stadionů samozřejmě vůbec není, nicméně nezastřešené ledové plochy se staví stále. Jedná se například o dočasné rekreační plochy, nebo i o plochy využívané k příležitostným ligovým hokejovým zápasům tzv. „pod širým nebem“ [1].



Obr. č. 1: Zimní stadion Štvanice, Praha [5]

Dnešní moderní technologie umožnily již celkem běžné provozovat zimní stadion například i na poušti. Na udržování ledové plochy je třeba vynaložit velké množství energie, proto je velice důležitý vhodný návrh technologických systémů. Tento návrh systémů zimního stadionu není nikdy stejný, jako návrh jiného stadionu. Je závislý jak na podnebí v místě, kde se stavba nachází, tak na konstrukcích a tvaru stavby a v neposlední řadě také na finančních možnostech investora.

Výstavba zimního stadionu je finančně velice náročná, stejně jako jeho provoz. Proto je velice důležité vytvořit vhodný kompromis v technickém a stavebním řešení stadionu.

Předmět práce

Předmětem této diplomové práce je návrh technických zařízení zimního stadionu. Práce se skládá ze tří částí, kde první je teoretická část zabývající se vnitřním prostředím stadionů i obecnými principy a zásadami navrhování. Druhou částí je koncepční návrh systémů chlazení, vytápění a vzduchotechniky na vlastní navržené tréninkové hale a třetí je projektová dokumentace vzduchotechnických systémů s výpočty a návrhy jednotlivých zařízení a distribuce vzduchu.

Zimní stadion, použitý v této práci, je navržený čistě pro účely této akademické úlohy. Halu jsem navrhl od dispozičního řešení, konstrukcí až po již zmíněné řešení technických zařízení budovy.

Prvním krokem zpracování této práce byla studie zimních stadionů a jejich samotného fungování, ať z knižních nebo internetových zdrojů, tak přímo z existujících stadionů.

Dalším krokem byl návrh jednotlivých systémů chlazení, vytápění a vzduchotechniky pro navržený stadion.

Posledním krokem bylo dimenzování jednotlivých částí systémů a jejich rozvodů.

Ačkoliv je teorie systémů chlazení ledových ploch obdobná u vnitřních i venkovních ploch, náklady na provoz a způsob návrhu se liší vzhledem k působícím vlivům. Proto se tato práce týká pouze vnitřních ledových ploch.

Dále je důležité si uvědomit, že vzhledem k možnosti výstavby zimního stadionu téměř kdekoli na světě, jsou velice podstatné klimatické podmínky, ve kterých se stadion nachází. Proto návrh technických zařízení, kterým se tato práce zabývá, je vhodný pouze pro podnebí odpovídající České republice.

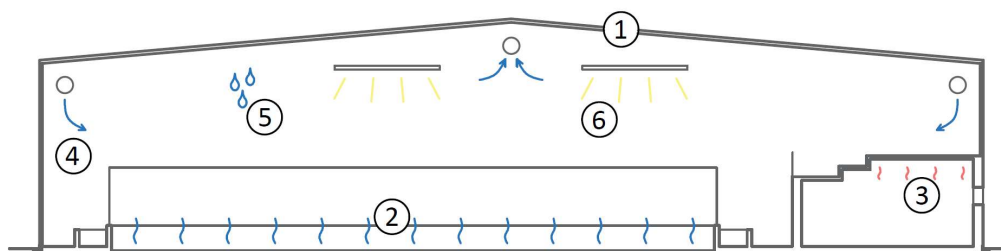
A Teoretická část

A.1 Vnitřní prostředí stadionů

Správný návrh a výstavba zimního stadionu je vůbec jedním z nejdůležitějších předpokladů pro správné provozování ledních sportů, jako je lední hokej, krasobruslení, curling a další.

Pro správné fungování stavby je tedy podstatné zajištění kvality a správné funkčnosti těchto požadavků:

- 1) tepelná izolace obálky budovy (stěny, střecha),
- 2) účinný systém chlazení ledové plochy,
- 3) účinný systém vytápění, včetně zpětného využívání tepla,
- 4) nucené větrání,
- 5) odvlhčení vnitřního vzduchu,
- 6) vhodné osvětlení.



Obr. č. 2: Schéma požadavků pro funkčnost zimního stadionu [zdroj: vlastní]

Základními kritérii zimních stadionů jsou energetické a provozní náklady a vnitřní prostředí. Návrh zimního stadionu je velice odlišný od návrhů budov s jiným provozem. Zde se vyskytují návrhové teploty od -5 °C do +10 až 20 °C. V šatnách a kancelářích jsou teploty vzduchu i vyšší než 20 °C.

A.1.1 Tepelné a vlhkostní mikroklima

Pro vytvoření kvalitního vnitřního prostředí je nezbytné nucené větrání. Zajišťuje jak ohřev, případně chlazení vnitřního vzduchu, tak i jeho odvlhčení. Důležité není jen pro halu, ale také například pro šatny a další provozy v budově. Pro udržování vhodných podmínek musí být větrání dobře kontrolováno. Velkým vlivem na správnost větrání je i provedení obálky budovy. Proto by měla být obálka co nejtěsnější, jelikož všechny netěsnosti zvyšují spotřebu energie. To se týká především teplého a vlhkého období, kdy se následně zvyšují hodnoty potřeby chladu na chlazení ledové plochy. V zimním období pak naopak vzniká větší potřeba tepla na vytápění vnitřních prostorů.

Nucené větrání rovněž ohřívá vzduch nad ledovou plochu, pro dosažení požadavku dle IIHF. Pro úsporu energie je v tomto případě vhodné využít odpadní teplo získané z chladicího procesu. Tato problematika je podrobněji popsána v kapitole č. *A.3.2.1 Využití odpadního tepla* [2].

U větších stadionů, kde se může vyskytovat více než několik set diváků, je nutné rozdělit halu na dvě zóny podle požadovaných vlastností vzduchu. Konkrétně se jedná o zónu pro diváky – tribuny a zónu pro hráče – ledová plocha.

Doporučené teploty vzduchu nad ledovou plochou, dle IIHF, se pohybují od +6 do +12 °C. Tyto hodnoty platí pro úroveň 1,5 m nad povrchem ledové plochy. V případě konání jiných akcí, kdy je ledová plocha rozpuštěna, je doporučena teplota vzduchu nad hrací plochou 18 °C. Doporučené hodnoty teploty vzduchu na tribunách se pohybují v rozmezí +6 až +15 °C. Teplota ledu se odvíjí podle konkrétní činnosti. Při ledním hokeji je vhodnější tvrdší led, tudíž se teploty pohybují kolem -3 až -5 °C. Například v případě krasobruslení je možné mít teploty o něco vyšší. Maximální relativní vlhkost vzduchu je doporučena 70 % a koncentrace oxidu uhličitého CO₂ nad ledovou plochou 1 000 ppm [2].

Všechny návrhové hodnoty vnitřního vzduchu v hale malého zimního stadionu jsou shrnuty v následující tabulce (Tab. č. 1).

Tab. č. 1: Návrhové hodnoty vzduchu na zimním stadionu [2]

Činnost	Teplota vzduchu v hale [°C]		Teplota ledu [°C]	Maximální relativní vlhkost vzduchu ϕ [%]	Minimální množství čerstvého vzduchu l/s/osoba
	ve výšce 1,5 m nad ledovou plochou	tribuny			
Hokej					
- zápas	+6	+10 - +15	-5	70	4-8 / divák
- trénink	+6	+6 - +15	-3	70	12 / hráč
Krasobruslení					
- soutěž	+12	+10 - +15	-4	70	4-8 / divák
- trénink	+6	+6 - +15	-3	70	12 / bruslař
Ostatní	+18	+18	-	-	8 / osoba

A.1.2 Osvětlení

Osvětlení je nutné jak pro vytvoření ideálních podmínek pro bruslaře, tak i pro diváky. V následující tabulce jsou uvedeny požadované hodnoty intenzity osvětlení podle IIHF.

Tab. č. 2: Požadovaná intenzita osvětlení [2]

Místo/aktivita	Intenzita osvětlení [lux]
Rekreační hokej	500
Rekreační bruslení	300
Šatny	300
Ostatní prostory (chodby, sklady, ...)	300

Nejvýhodnější typ osvětlení je s LED svítidly. Při použití LED osvětlení je možné dosáhnout 70–90% účinnosti a zvýšit kvalitu osvětlení. Tento typ osvětlení má zároveň výhody i delší životnosti, lepšímu indexu podání barev a nízkých nákladů na údržbu oproti běžným typům osvětlení. Porovnání hodnot jednotlivých typů svítidel je zobrazeno níže (Tab. č. 3).

Tab. č. 3: Typy osvětlení [2]

	Metahalidové výbojky (MH)	Sodíkové výbojky (HPS)	Zářivky fluorescent T8	Zářivky fluorescent T5	Indukční osvětlení	LED
Životnost [hod]	12 000 – 20 000	15 000 – 20 000	20 000 – 40 000	20 000 – 40 000	60 000 – 100 000	50 000 – 200 000
Okamžité rozsvícení	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano
Okamžité znovu- rozsvícení	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano
Pokles svítivosti [%]	35 – 45	40 – 50	10 – 15	5 – 10	25 – 30	5 – 30 za 100 000 hod
Účinnost [lm/W]	65 – 125	60 – 150	80 – 100	85 – 105	70 – 90	70 – 90
Podání barev CRI	65	20	>80	>80	>80	>80
Počáteční náklady	-	-	Nízké	Nízké	Střední	Střední
Náklady na údržbu	Vysoké	Vysoké	Střední	Střední	Nízké	Nízké
Energetická náročnost	Vysoká	Vysoká	Střední	Střední	Střední	Střední

Kromě volby vhodného typu svítidel je pro úsporu energie je vhodné mít systém, který kontroluje intenzitu osvětlení. Ta je přizpůsobena dané činnosti, jelikož například při volném bruslení není důležité mít hodnotu osvětlenosti tak vysokou, jako při hokejovém zápase.

Elektroinstalace jsou tvořeny distribucí a transformačním centrem, pokud je zapotřebí. Nouzové a naváděcí osvětlení musí být funkční i při výpadku energie, proto je nezbytné jejich napojení na záložní zdroj. Ten může být poháněn například naftou, nebo bateriemi [2]

A.1.3 Akustika

Na zimních stadionech je důležité zajistit dobré akustické podmínky. To se týká dobrých podmínek pro pouštění hudby, nebo komentování hlasatele, ale také zajištění akustického odizolování technických zázemí, kde je hluk tvořen kompresory a dalšími zařízeními. Zdrojem hluku je samozřejmě i vnější prostředí, jako doprava atp. Na druhou stranu je nutné akusticky izolovat zimní stadion také s ohledem na jeho okolí.

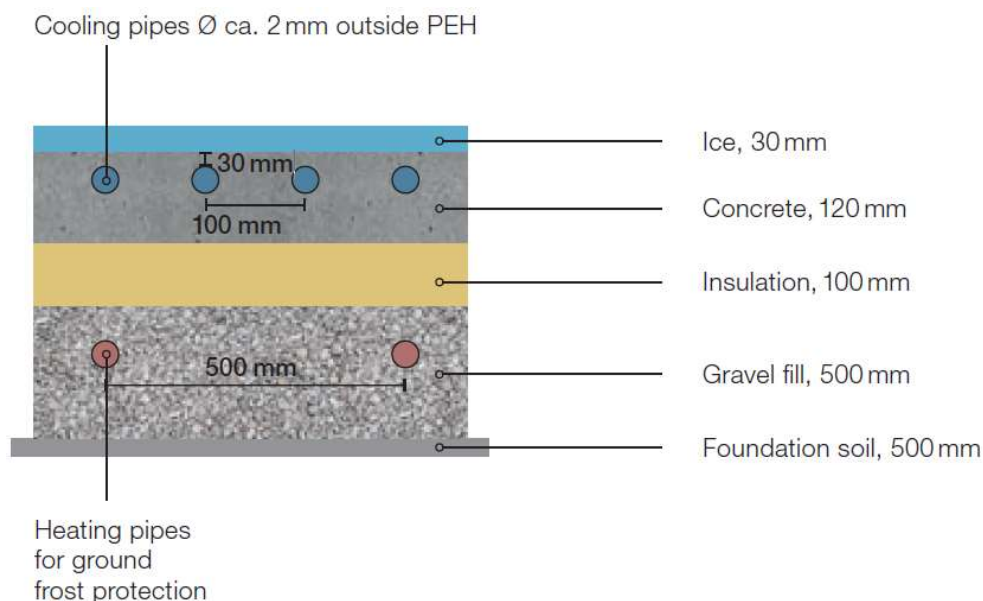
Základním parametrem, který by měla hala splnit je doba dozvuku. Ta by měla mít hodnotu menší než 3 sekundy [2].

A.2 Ledová plocha

A.2.1 Konstrukce ledové plochy

Asi nejvíce speciální konstrukcí celé stavby je podloží ledové plochy. To se skládá z několika vrstev. Pod vrstvou ledu se nejčastěji nachází vrstva betonu, ve které jsou umístěny systém rozvodů chladiva pro chlazení ledu. U některých stadionů je místo betonu použit například asfalt nebo písek. Toto je výhodné například při dalším využití plochy, kdy není potřebná ledová plocha, jako třeba tenis apod. Asfalt je levnější než beton, ale jeho nevýhodou je větší potřeba energie na chlazení. U této vrstvy je při provádění důležité dodržet dokonalou vodorovnost pro zajištění jednotné tloušťky ledové vrstvy.

Pod chladičí betonovou deskou je umístěna vrstva tepelné izolace, pro co největší eliminaci úniku tepla do podloží.



Obr. č. 3: Skladba podloží ledu [2]

(Cooling pipes – chladivové trubky, Ice – led, Concrete – beton, Insulation – izolace, Gravel fill – štěrkové podloží, Foundation soil – podkladní zemina, Heating pipes for ground frost protection – rozvody topné vody pro zamezení promrzání zeminy)

Další vrstvou je buďto betonová deska, která nese zatížení horních vrstev, nebo vrstva štěrku. V obou případech je v této úrovni umístěno potrubí s rozvodem topné vody. Tuto vrstvu je důležité ohřívat z důvodu ochrany podloží před promrzáním. V opačném případě by mohly vzniknout poruchy konstrukcí vlivem objemových změn zeminy. Tloušťka vrstvy štěrku je dle IIHF doporučena 500 mm.

Všechny tyto vrstvy leží na vrstvě písku nebo štěrku, ve které je umístěna drenáž, která zamezuje jakékoliv vodě její průsak do horních vrstev. Voda, která by případně působila na vrstvu betonu, nebo tepelné izolace by mohla tuto vrstvu narušit, případně zhoršit její vlastnosti.

V tabulce níže (Tab. č. 4) jsou ukázány doporučené hodnoty dimenzování podloží ledu dle IIHF. Zde je možné vidět, že tloušťka betonové vrstvy je doporučena 150 mm, ale rozvody chladiva je nutné umístit při horním povrchu desky, díky čemuž je samozřejmě tepelný odpor tloušťky betonové vrstvy nad trubkami menší.

Doporučená dimenze hlavního přívodního potrubí chladiva a vratného potrubí je 150–200 mm a jsou vyrobené většinou z ocele nebo PVC. Rozvody chlazení v betonové

desce mají menší dimenze, 25–30 mm, a jsou nejčastěji vyrobeny z ocele nebo polyethylenu. Rozteč jednotlivých trubek ve smyčkách je přibližně 100 mm.

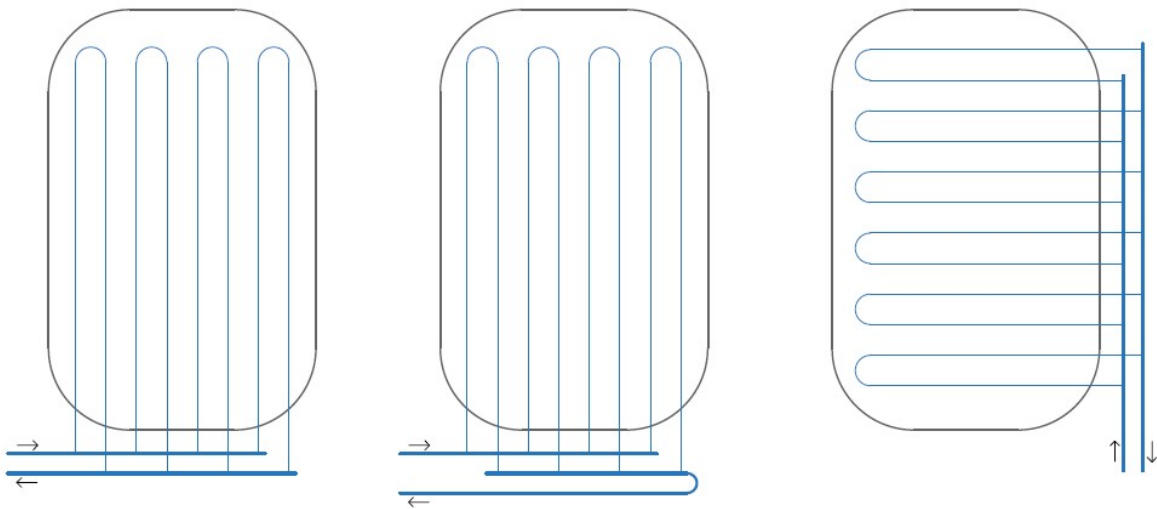
Tab. č. 4: Doporučené tloušťky vrstev podloží ledu [2]

Název	Rozměr [mm]
Tloušťka ledu	25 – 30
Tloušťka betonové desky	150
Tloušťka izolace	100
Dimenze hlavního chladivového potrubí	150 – 200
Dimenze rozvodů chladiva v betonové desce	25 – 32
Rozteč trubek v betonové desce	75 – 125 (běžně 100)
Betonová krycí vrstva trubek při horním povrchu desky	25 - 50

Nejběžnějšími materiály rozvodů chladiva pod ledovou plochou jsou plast, ocel nebo měď. Nejčastěji používaným materiálem je plast. Ovšem v případě použití chladiva CO₂ není možné tento materiál použít kvůli tlaku, který se běžně pohybuje v rozmezí 25 až 30 barů. Pro tuto variantu je vhodné použít právě ocel nebo měď. Další výhodou těchto dvou materiálů je lepší tepelná vodivost. Naopak nevýhody jsou vyšší cena materiálu a napojování trubek pomocí svařování.

Hlavní přírodní a odvodní potrubí se nejčastěji umísťuje při kratší straně ledové plochy, a to z důvodu minimalizace tepelné zátěže na toto potrubí.

Na obrázku č. 4 je znázorněn jeden z možných způsobů rozmístění chladivových rozvodů. Podél jedné strany ledové plochy jsou v konstrukci podlahy umístěné dvě hlavní potrubí, přičemž jedno je přírodní a druhé vratné. Z nich jsou rozvedeny jednotlivé smyčky, které jsou již umístěné v betonové desce. Smyčky mohou být buďto ve tvaru „U“ nebo ve tvaru „W“. V případě „W“ se smyčky částečně překrývají a účinnost tohoto uložení je vyšší. Základním principem rozmístění těchto smyček je vytvoření co nejrovnoměrnějšího přenosu chladu z chladiva do ledové vrstvy.



Obr. č. 4: Schéma hlavních chladičových rozvodů [zdroj: Vlastní]

Na obrázku č. 4 jsou znázorněny varianty návrhu hlavního přívodního potrubí. Ve druhé variantě, kde je vratné potrubí vedeno nejdříve souběžně s přívodním a následně stočeno opačným směrem, je zajištěna rovnoměrná distribuce chladiva bez ohledu na celkový průtok. V této variantě ovšem vznikají větší tlakové ztráty, a především ztráty chladu. Ve třetí variantě je výhoda kratších smyček, čímž se docílí rovnoměrnější chlazení plochy. Nicméně nevýhodou tohoto řešení jsou větší ztráty chladu vedením hlavním přívodním potrubím, které je po celé délce ledové plochy [6].

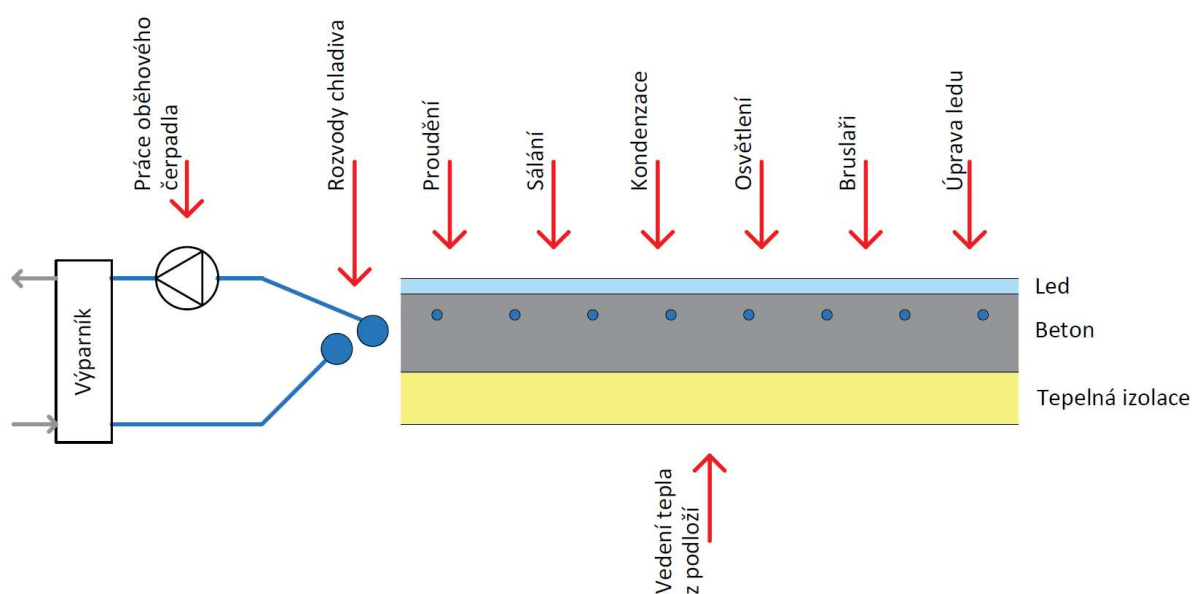
Další parametry, které ovlivňují spotřebu elektrické energie na provoz kompresorů chladičích jednotek, jsou tloušťka vrstvy ledu a její teplota. Vzhledem k velikosti ledové plochy, a tedy celkovému množství ledu, je zřejmé, že každý milimetr tloušťky a každý stupeň Celsia bude hrát roli v celkovém potřebném chladičím výkonu. V případě zvýšení teploty ledu o 1 °C, je spotřeba elektrické energie nižší o 40 až 60 MWh a spotřeba tepla o 70 až 90 MWh za jeden rok.

Doporučená tloušťka ledové vrstvy, která by měla být udržována, je 25 až 30 mm. S větší tloušťkou ledové vrstvy rovněž narůstá spotřeba elektrické energie na provoz chladičích systémů a také vzrůstá obtížnost úpravy ledu. Z hlediska teploty je dobré udržovat teplotu co nejvyšší, ovšem ne na úkor kvality ledu. Doporučené hodnoty teplot pro jednotlivé činnosti dle IIHF jsou uvedeny v tabulce č. 1. Pro větší úsporu energie je opět

možné regulovat chlazení plochy tak, aby například v noci byla udržována teplota o 2 až 3 °C vyšší [2].

A.2.2 Tepelná zátěž

Celková tepelná zátěž okolí působící na ledovou plochu se dá rozdělit do tří kategorií podle způsobu sdílení tepla. Jedná se o proudění, vedení a sálání.



Obr. č. 5: Tepelná zátěž na ledovou plochu [zdroj: vlastní]

A.2.2.1 Proudění vzduchu

Při sdílení tepla prouděním vzduchu na led jsou základními parametry teplota a rychlost vzduchu a teplota povrchu ledu. S rostoucí teplotou a rychlostí vzduchu roste i tepelná zátěž na ledovou plochu.

Množství tepla předaného prouděním je ovlivňováno rozdílem teplot mezi teplotou vzduchu a teplotou povrchu ledu a rychlostí proudění vzduchu nad ledovou plochou. Principiálně nejvýhodnějším způsobem, jak redukovat předání tepla prouděním je udržovat teplotu ledu co nejvyšší a teplotu vzduchu naopak co nejnižší.

Proudění vzduchu může být dalším, velmi značným zdrojem tepelné zátěže. Proto je nutné kontrolovat teplotu a rychlost proudícího vzduchu. Dále je třeba, aby proud vzduchu ze vzduchotechnických výustek nesměřoval přímo na ledovou plochu. Další

možnost, jak zde ušetřit energii, je aktivní řízení systémů. To znamená například vypínání, případně snížení nuceného větrání přes noc nebo v době malé návštěvnosti haly. V některých případech je ovšem možné, že kvůli znečištění vnitřního vzduchu z vnějšího prostředí, bude nutné, aby bylo nucené větrání zajištěno nepřetržitě. Tato situace by se měla samozřejmě týkat především starších stadionů, kde je velké množství netěsností v konstrukcích a podobně.

Teplota proudícího vzduchu nad ledovou plochou má vyšší teplotu než povrch ledu. Proto bude vždy vzduch odebírat chlad z ledu. Velikost tepelné zátěže prouděním je možné spočítat touto rovnicí [22]:

$$Q_{convection} = \alpha_c \cdot A_{ice} \cdot (t_{air} - t_{ice}) \quad (A.1)$$

$$\alpha_c = 3,41 + 3,55 \cdot v_{air} \quad (A.2)$$

kde:

α_c součinitel přestupu tepla prouděním [W/(m².K)],

A_{ice} plocha ledu [m²],

t_{air} teplota vzduchu nad ledovou plochou [°C],

t_{ice} teplota ledu [°C],

v_{air} rychlost proudění vzduchu nad ledem, běžně 0,4 - 0,5 [m/s].

A.2.2.2 Sálání

U některých stávajících stadionů se stává, že právě sdílení tepla sáláním je největší tepelnou zátěží pro ledovou plochu. Zapříčiňuje to konkrétně nejvíce stropní konstrukce.

Množství vyzařovaného tepla je kontrolováno měřením teplot u povrchu stropní konstrukce a ledové plochy a faktorem zvaným index emisivity. Materiály, které perfektně vyzařují teplo, mají emisivitu rovno 1 a naopak materiály, které teplo téměř nevyzařují, mají hodnotu emisivity rovnou 0.

Pro běžné materiály, které se používají na konstrukci stropu, je index emisivity roven 0,85 až 0,95. Pomocí zajištění krycí vrstvy, jako například aplikování hliníkové fólie, nebo speciálních nátěrů na bázi hliníku, se může hodnota emisivity někdy snížit až o 10 %. Tyto materiály mají emisivitu přibližně v rozmezí 0,05 – 0,2. Použití těchto druhů úprav stropu

má i vliv na osvětlení, jelikož díky lepší odrazivosti materiálu je možné použít svítidla s menší intenzitou osvětlení [10].

Pro výpočet radiace může být použita Stefan-Boltzmannova rovnice:

$$Q_{radiation} = A_{ceiling} \cdot f_{ci} \cdot \sigma \cdot (T_{ceiling}^4 - T_{ice}^4) \quad (A.3)$$

kde:

$A_{ceiling}$ plocha stropu [m²],

f_{ci} faktor šedého tělesa [-],

σ Stefan-Boltzmannova konstanta, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

$T_{ceiling}$ teplota stropu [K].

T_{ice} teplota ledu [K].

Tato rovnice je použitelná pro černé a šedé zářiče, přičemž Stefan-Boltzmannova konstanta vyjadřuje sálání dokonale černého tělesa. V případě šedého tělesa je nutné tuto konstantu vynásobit faktorem šedého tělesa, který vyjadřuje poměr zářivosti povrchu šedého tělesa k zářivosti tělesa dokonale černého při stejné teplotě. Jeho hodnota se pohybuje od 0 do 1 [7].

$$f_{ci} = \left[\frac{1}{F_{ci}} + \left(\frac{1}{\varepsilon_{ceiling}} - 1 \right) + \frac{A_{ceiling}}{A_{ice}} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{ice}} - 1 \right) \right]^{-1} \quad (A.4)$$

Kde:

F_{ci} úhlový faktor [-],

$\varepsilon_{ceiling}$ faktor emisivity stropu [-],

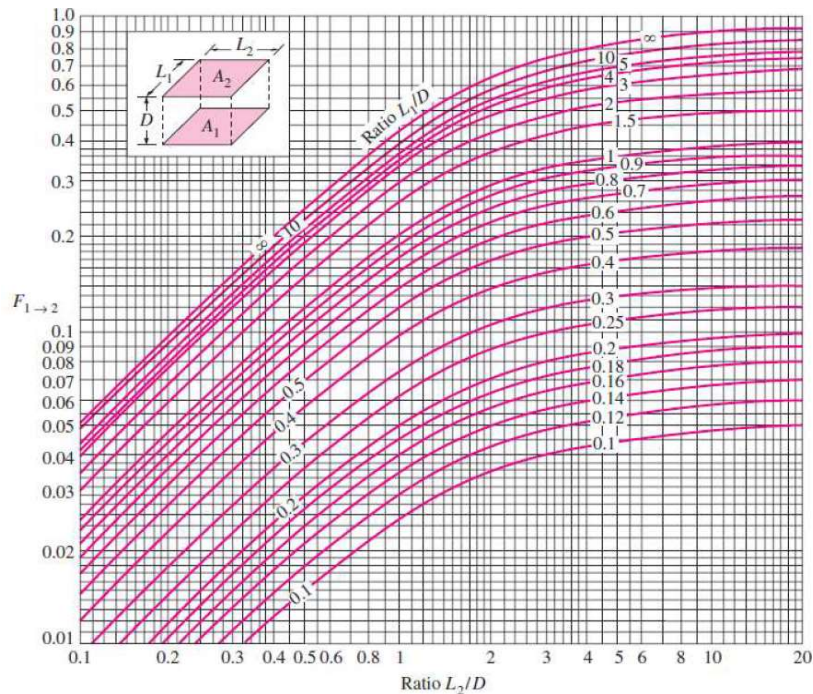
ε_{ice} faktor emisivity ledu, běžně od 0,8 do 0,95 [-],

$A_{ceiling}$ plocha stropu [m²],

A_{ice} plocha ledu [m²].

Úhlový faktor závisí na geometrických vlastnostech stropu a výšky stropu nad ledovou plochou. Jak je možné vidět na obrázku č. 6, vodorovná osa grafu značí poměr mezi šířkou jednotlivých ploch a jejich vzájemnou vzdáleností. Barevné křivky v grafu značí

poměr mezi délkou jednotlivých ploch a jejich vzájemnou vzdáleností. Na svislé ose jsou pak možné odečíst výslednou hodnotu úhlového faktoru F_{ci} [9], [10].



Obr. č. 6: Diagram úhlového faktoru [10]

A.2.2.3 Kondenzace

Kondenzace, respektive difuze vodní páry vzniká na základě rozdílu mezi parciálním tlakem vodní páry v těsné blízkosti povrchu ledu a tlakem nasycení vody na povrchu ledu. To způsobuje vznik vodního filmu na ledové ploše, který rovněž odebírá chlad. Kondenzace je rovněž závislá i na rozdílu teplot. Pro stanovení množství tepla, které je předáno tímto fyzikálním jevem, je možné použít rovnici obdobnou, jako při přestupu tepla prouděním, ovšem je nutné započítat do rovnice koeficient přestupu tepla difuzí α_d [9].

$$Q_{diffusion} = \alpha_d \cdot A \cdot (t_{air} - t_{ice}) \quad (A.5)$$

Kde:

α_d součinitel přestupu tepla difuzí [W/(m².K)],

A_{ice} plocha ledu [m²],

t_{air} teplota vzduchu nad ledovou plochou [°C],

t_{ice} teplota ledu [°C].

$$\alpha_d = 1750 \cdot \alpha_c \cdot \frac{\Delta P}{\Delta T} \quad (\text{A.6})$$

$$\Delta P = \phi \cdot P_1 - P_2 \quad (\text{A.7})$$

Kde:

α_c součinitel přestupu tepla prouděním [W/(m².K)],

ϕ relativní vlhkost [%],

P_1 tlak vodní páry ve vzduchu [Pa],

P_2 tlak vodní páry na ledu [Pa].

$$P_1 = 10^5 \cdot \exp\left(12,03 - \frac{4025}{235 + t_{air}}\right) \quad (\text{A.8})$$

$$P_2 = 10^5 \cdot \exp\left(17,391 - \frac{6142,83}{273,15 + t_{ice}}\right) \quad (\text{A.9})$$

Rovnice pro výpočet tlaku vodní páry P_1 se používá pro teploty, které jsou větší než 0 °C. Naopak rovnice pro výpočet tlaku vodní páry P_2 je vhodné používat pro teploty nižší než 0 °C.

A.2.2.4 Osvětlení

Vzhledem k účinnosti svítidel a zákonu o zachování energie je známo, že z celkové energie, která je do svítidla dodávána, je pouze určitá část přeměněna na světlo. Zbylé procento energie je přeměněno na teplo. Dle příručky ASHRAE může být až 60 % energie přeměněno na teplo, které se následně pohlcuje ledová plocha. Způsob, kterým se částečně dá tato tepelná zátěž omezit je použití řízení intenzity osvětlení, kdy bude pro daný způsob užívání stadionu nastavena příslušná intenzita osvětlení.

Díky možnosti snížení osvětlení pomocí vyšší odrazivosti stropu, jak je vysvětleno výše, je možné ušetřit dodanou energii na dvou místech. Prvním je menší spotřeba elektřiny na osvětlení a druhým je nižší potřeba chladu na pokrytí tepelných zisků z osvětlení. Nejvýhodnější typ osvětlení je s LED svítidly. Při použití LED osvětlení je možné dosáhnout úspory elektrické energie až 40 % a zvýšit kvalitu osvětlení. Dále je výhodné použít systém

osvětlení s regulátorem, který může být ovládaný luxmetrem a určuje svítivost zařízení na základně zvolené potřeby [23].

A.2.2.5 Vedení tepla z podloží ledu

Vedení tepla z podloží je dalším zdrojem zátěže. Chlazená betonová deska je oddělena 100 mm tepelné izolace, pod kterou je vrstva štěrku. V něm jsou naopak umístěny rozvody vytápění podloží, které zamezuje promrzání podkladní zeminy.

Pro výpočet vedení tepla z podloží je možné použít následující vzorec [8]:

$$Q_{conduction} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{U_f}} \cdot A_{ice} \quad (A.10)$$

kde:

T_1 průměrná teplota betonové vrstvy v horní části [K],

T_2 teplota zeminy [K],

U_f součinitel prostupu tepla podlahy na zemině [W/m².K],

A_{ice} plocha ledu [m²].

A.2.2.6 Rozvody chladiva

Hlavní přívodní a odvodní potrubí chladiva jsou umístěny většinou podél delší strany ledové plochy, ovšem mohou se nacházet i podél strany kratší. Jsou umístěny v kanálku v konstrukci podlahy a vzhledem k jejich dimenzi jsou samy o sobě velký zdroj chladu. Proto je dobré toto potrubí velmi dobře izolovat a zabránit tak ztrátám chladu.

Přívodní a odvodní chladivové potrubí, slouží jako rozdělovač-sběrač chladiva vypouštěného do jednotlivých trubních smyček pod ledovou plochou. Vzhledem k poměrně velkým dimenzím těchto trubek je celkem vhodné zajistit jejich zaizolování pro co největší eliminaci ztrát chladu.

Pro výpočet tepelné zátěže na hlavní rozvody chladu je možné použít následující vzorec [10]:

$$Q_{conduction} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot L}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \cdot (t_1 - t_2) \quad (\text{A.11})$$

kde:

λ součinitel tepelné vodivosti tepelné izolace [W/m.K]

L délka hlavního potrubí [m]

r_1 vnitřní průměr potrubí [m]

r_2 vnější průměr potrubí [m]

t_1 teplota chladiva [°C]

t_2 teplota okolního prostředí [°C]

A.2.2.7 Práce oběhového čerpadla

Systém čerpadel je rovněž tepelná zátěž na chladicí soustavu. To je zapříčiněno třením v rozvodech chladiva a ve výparníku. Práce čerpadel je ovlivněna materiálem potrubí, hydraulickým nastavením potrubní sítě a výparníku.

Typický výkon těchto čerpadel je přibližně 15 kW, a proto je můžeme uvažovat v podstatě jako ohřivač tohoto chladiva. Kvůli tomu je dobré volit do systému čerpadla s regulovatelným výkonem, aby v případě menší potřeby chladu nemusela pracovat na plný výkon a stále tak maximálně možným výkonem ohřívat chladivo.

A.2.2.8 Bruslaři

Jako dalším zdrojem sálavého tepla jsou uživatelé ledové plochy, tedy bruslaři. Ty sálají teplo svoji zvýšenou fyzickou aktivitou.

Celkové množství tepla vydaného bruslaři je závislé na jejich počtu a na konkrétní fyzické zátěži jednotlivých sportovců. Teplo vyprodukované jedním bruslařem je přibližně 370 W a při uvažovaném maximálním množství 40 bruslařů je výsledné vyprodukované teplo 14,8 kW. Toto číslo je ovšem pouze orientační.

A.2.2.9 Úprava ledové plochy

Po předáváním tepla sáláním stropní konstrukce a prouděním vzduchu je další největší tepelnou zátěží úprava ledové plochy pomocí rolby. Tyto tepelné zisky není jednoduché snížit, jelikož kvalitně upravený led je základní podmínkou provozu zimního stadionu. Podrobnější popis úpravy ledu je uveden v následující kapitole A.2.3 *Úprava ledu*.

Pro výpočet tepelné zátěže od úpravy ledové plochy je možné, dle příručky ASHRAE, použít následující rovnici [21].

$$Q_{resurfacing} = 1000 \cdot V_f [4,2 \cdot (t_f - 0) + 334 + 2 \cdot (0 - t_i)] \quad (\text{A.12})$$

V_f množství zaplavovací vody [m^3], obvykle 0,4 až 0,7 m^3 ,

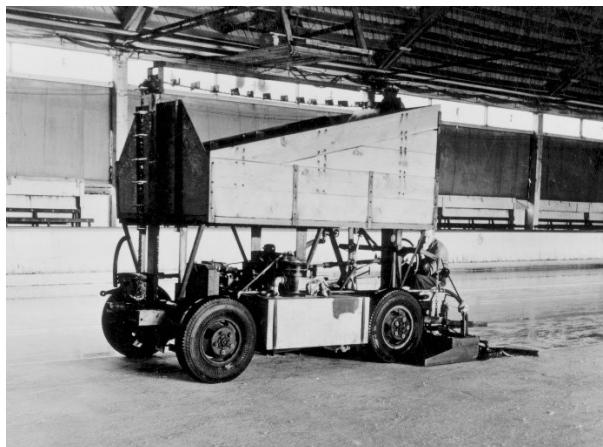
t_f teplota zaplavovací vody [$^{\circ}\text{C}$], uvažováno 35 $^{\circ}\text{C}$,

t_i teplota ledu [$^{\circ}\text{C}$], uvažováno -5 $^{\circ}\text{C}$.

A.2.3 Úprava ledu

Úprava ledu je pro jeho provoz nepostradatelnou záležitostí. I přesto, že bude zajištěno odvlhčení vzduchu a systém chlazení bude navržen správně, bude povrch ledové plochy jeho užíváním ztrácet na kvalitě. Proto je nutné, pro vytvoření vhodných podmínek hrací plochy, tento povrch udržovat pomocí rolby.

První rolba na světě byla vyrobena Frankem Zambonim již v roce 1949 v Kalifornii v USA. Dodnes je Zamboni Company největší společností na výrobu těchto strojů [11].



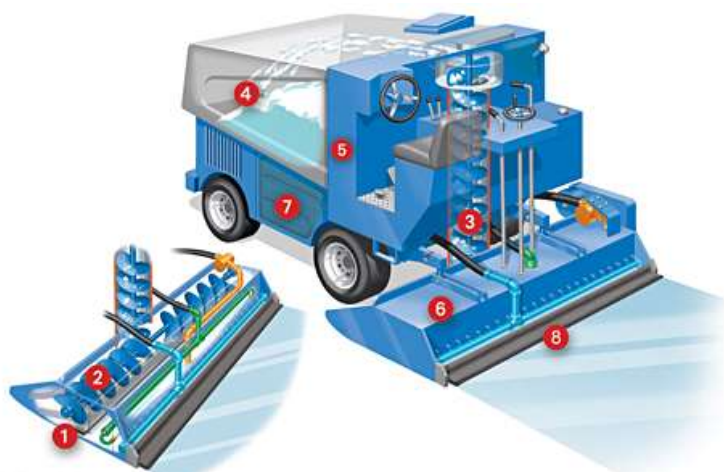
Obr. č. 7: První rolba na úpravu ledu [12]

A.2.3.1 Rolba

Rolba nejprve čepelí seřízne tenkou vrstvu ledu. Seříznutý sníh se hromadí a horizontálním a následně vertikálním šnekovým dopravníkem je dopraven do nádrže na sníh.

Před tou je umístěna nádrž na tzv. mycí vodu, kterou je kropen sníh při seřezávání. Tato voda je následně vysávána, filtrována a pouštěna zpět do nádrže.

Pod nádrží na sníh bývá umístěna nádrž se zaplavovací vodou. Tato voda má teplotu 35 °C až 55 °C a je přes textilii, která je tažena po ledové ploše, v tenké vrstvě nanášena na led. Díky vyšší teplotě vody se povolí krystalická vazba ledové vrstvy, což zajistí lepší propojení stávajícího ledu se zaplavovací vodou a zamezí se tak případnému odštěpování horní vrstvy ledové plochy. Na jeden proces úpravy plochy je spotřeba zaplavovací vody 0,4 až 0,8 m³ a probíhá obvykle pětkrát až desetkrát denně [13].



Obr. č. 8: Popis částí rolby [13]

(1 – čepel pro seřezávání ledu, 2 – horizontální šnekový dopravník, 3 – vertikální šnekový dopravník, 4 – nádrž na sníh, 5 – nádrž na mycí vodu, 6 – část pro úpravu povrchu ledu, 7 – nádrž na čistou vodu, 8 – textilie pro zarovnání ledové plochy)

A.2.3.2 Úprava zaplavovací vody

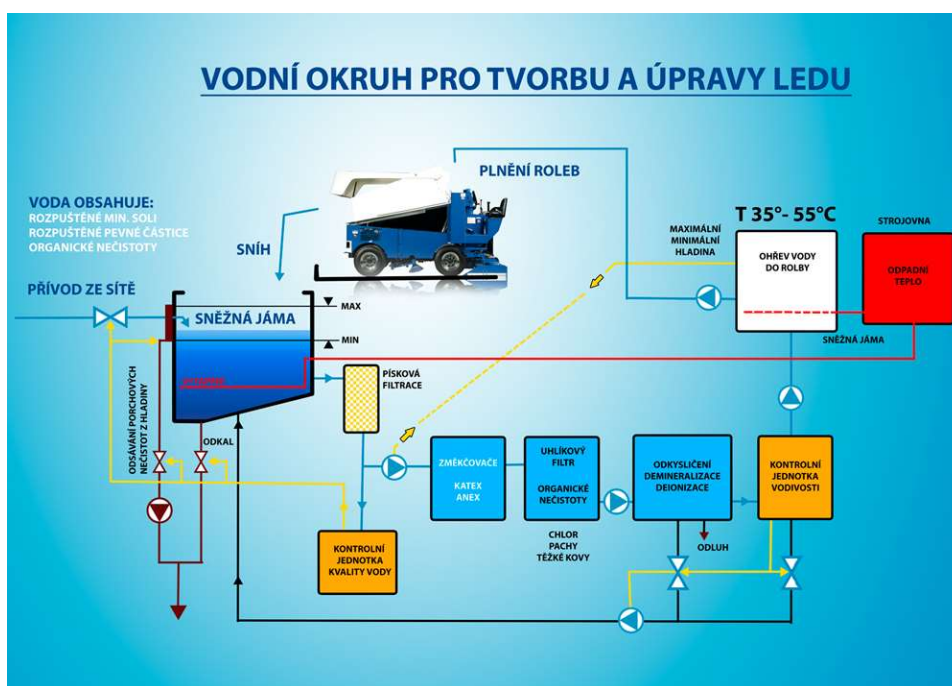
Úpravnu vody pro zaplavovací vodu je vhodné umístit v co nejmenší vzdálenosti od sněžné jámy pro co nejkratší rozvody. Celý systém úpravy musí také obsahovat přečerpávací a filtrační stanici recirkulované vody a výměníky pro ohřev zaplavovací vody, kterou je následně plněna rolba.

Kvalita, a především množství a teplota vody, která je použita na úpravu ledové plochy, mají zásadní vliv na tepelnou zátěž. Čím bude voda více upravená – vyčištěná, tím lepší tepelnou vodivost bude mít a lépe zamrzne. Neměla by tedy také obsahovat soli a pevné částice způsobující její zakalení.

Pro úpravu ledu je nutné použít demineralizovanou vodu. To se nejčastěji zajišťuje reverzní osmózou, což je úprava vody, kdy se pomocí tlaku přefiltruje voda přes membránu, čímž se odstraní i veškeré bakterie. V případě použití nezměkčené vody se při sublimaci ledu minerální látky dostanou na povrch ledové plochy a následně budou seříznuty rolbou a přeneseny do sněžné jámy. Při opakovaném procesu se tvrdost vody zvyšuje, čímž se zanáší trubky a zhoršuje se kvalita ledu.

Vhodná voda pro tvorbu ledu by tedy měla být voda destilovaná, jelikož má nejlepší vlastnosti pro zamrznání. Ta ovšem způsobuje odštěpování ledu při teplotě nižší než $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro zajištění pevného ledu je zásadní počet tzv. krystalizačních jader ve vodě. Tyto jádra jsou pevné mikroskopické částice, od kterých začíná vznikat krystal ledu. Čím více se těchto jader ve vodě vyskytuje, tím větší mají vzájemnou silovou vazbu a led je tak pevnější.

Demineralizovaná voda je agresivní vůči kovům, proto je nutné zajistit všechny rozvody, nádrže, či výměníky tepla z plastu nebo nerezů [14].



Obr. č. 9: Schéma vodního okruhu pro úpravu ledu [14]

Proces úpravy vody tedy začíná naplněním sněžné jámy vodou. Převážně se jedná o sníh z ledové plochy, který je následně rozpuštěn zkrápěním teplé vodou, na jejíž ohřev bylo v nejlepší možné využití odpadní teplo z chladicí jednotky. Pokud je vody ve sněžné jámě nedostatek, je možné ji doplnit vodou z vodovodního řádu.

Ze sněžné jámy jsou nejprve odsávacím čerpadlem odčerpávány nečistoty z hladiny. Následně je voda předčištěna v pískové filtraci, kde se zbaví nežádoucích větších částic. Poté je přečerpávána do změkčovače Katexu nebo Anexu, kde je upravována pomocí výměny iontů.

Katexový filtr je naplněný změkčovacím pryskyřicí a dochází v něm k výměně iontů vápníku a hořčíku za ionty sodíku. V anexovém filtru probíhá odstraňování dusičnanů denitrifikačním anexem, což je sloupcový denitrifikační filtr [13], [14].

Přes uhlíkový filtr, kde je voda zbavena organických nečistot, pachu, chloru a těžkých kovů je dále přečerpávána do demineralizační jednotky. Zde jsou odstraněny veškeré minerály a podle nastavené požadované vodivosti dochází k deionizaci vody a také k odkysličení.

Následně je voda přečerpávána do zásobníkové nádrže, kde je ohřívána na požadovanou teplotu. I v tomto případě je pro ohřev vody vhodné využít odpadní teplo z chladicích zařízení. Takto upravenou vodou je již plněna nádrž na zaplavovací vodu v rolně.

Celý tento proces kontroluje řídicí systém, který tak zajišťuje potřebnou kvalitu vody [13], [14].

A.3 Technická zařízení

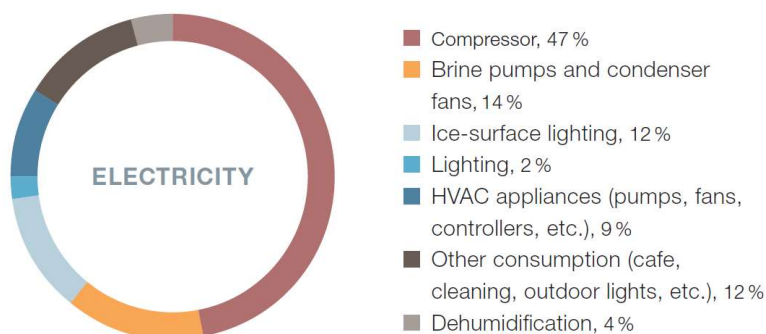
Na zimním stadionu se nachází několik systémů, které zajišťují vhodné podmínky pro provoz. Rozdíl oproti běžným stavbám je takový, že se zde nachází prostory s velice odlišnými požadavky. Konkrétně se jedná především o velké rozdíly teplot. Například ledová plocha může mít teplotu až $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplá voda může dosahovat přibližně $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Další komplikací je i to, že zóny, ve kterých jsou takto odlišné teploty, nejsou často nijak zvlášť odděleny stěnami nebo jinými konstrukcemi.

Základním systémem každého zimního stadionu je chladicí systém. Ovšem dalšími nepostradatelnými systémy, jak bylo již zmíněno v kapitole *Vnitřní prostředí stadionů* a bez kterých provoz stadionu není možný, jsou: vytápění, ohřev teplé vody, vzduchotechnické systémy, odvlhčení a osvětlení.

Ideální řešení systémů zimního stadionu by bylo takové, že potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody by byla zcela pokryta odpadním teplem z chladicích soustav. V praxi je ovšem stále třeba zakomponovat do návrhu i samostatný zdroj tepla pro pokrytí špiček v ohřevu teplé vody i vytápění. Tyto zdroje jsou rovněž nutností v případě, že jsou stadiony využívány i jiným způsobem. Například pro koncerty, různá vystoupení, nebo jiné halové sporty atp., kdy není potřebná ledová plocha a chladicí systém není tedy v provozu.

Přestože je každý zimní stadion zcela odlišný, přibližné rozdělení spotřeby tepla a elektřiny na jednotlivé systémy je:

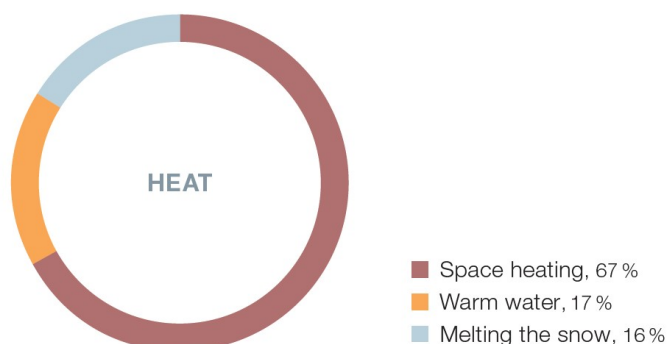


Obr. č. 10: Graf spotřeby elektřiny [2]

(Compressor – kompresor, Brine pumps and condenser fans – oběhové čerpadlo a ventilátory kondenzátoru, Ice-surface lighting – osvětlení ledové plochy, Lighting – osvětlení, HVAC appliances – jednotlivá zařízení technických systémů, Other consumption – další spotřeba, Dehumidification – odvlhčení)

Na grafu rozdělení spotřeby elektřiny je vidět, že největší část dodané elektrické energie, konkrétně 47 %, patří kompresorům. 14 % je využíváno pro pohánění chladivových čerpadel a ventilátorů kondenzátorů. 12 % energie je spotřebováno na úpravu ledové plochy, 9 % na přístroje patřící k systémům vytápění, větrání a chlazení. To jsou například

čerpadla, ventilátory, řídicí jednotky atp. Zbylé části jsou rozloženy mezi ostatní spotřeby, kam spadá úklid, venkovní osvětlení apod., vnitřní osvětlení a odvlhčení [2].



Obr. č. 11: Graf spotřeby tepla [2]

(Space heating – vytápění, Warm water – teplá voda, Melting the snow – roztávání sněhu)

Graf rozdělení spotřeby tepla ukazuje, že většinová část energie, konkrétně 67 %, je spotřebována na vytápění prostorů, jako jsou šatny, sklady, kanceláře, případně další provozy. Dále 17 % je spotřebováno na ohřev teplé vody a zbylých 16 % na roztání sněhu ve sněžné jámě.

U menšího zimního stadionu chladicí proces spotřebuje přibližně polovinu celkové dodané elektrické energie. V případě, že se stadion nachází v teplejších podmínkách, hraje velkou roli také energie spotřebovaná na odvlhčení vnitřního vzduchu. Zde ovšem záleží, jaký typ odvlhčení je použit. Při použití adsorpčního odvlhčení, které spotřebovává především tepelnou energii, je možné elektrickou energii nahradit jiným zdrojem, například plynem, ale v případě použití mechanického odvlhčení, kde je oddělené tepelné čerpadlo nebo chladicí systém, se většinou používá energie elektrická.

Při hledání vhodných řešení technických systémů zimního stadionu s co nejmenší energetickou náročností, je vhodné uvažovat možnost úspory i v jiných okruzích než jen v systému chlazení. Konkrétně může být například lepším řešením využívání odpadního tepla, což sice snižuje účinnost chladicího systému, ale ve výsledku ušetří větší množství energie. Úsporu energie je možné zajistit snížením tepelné zátěže, zlepšením chladicích systémů a distribuce chladiva, nebo úpravou požadavků na ledovou vrstvu [2].

A.3.1 Vzduchotechnické systémy

A.3.1.1 Větrání

Vzduchotechnický systém zajišťuje nejen přívod čerstvého vzduchu do budovy, čímž zvyšuje kvalitu vnitřního vzduchu, ale také například zamezuje vytváření mlhy nad ledovou plochou. Během návrhu toho systému je důležité budovu rozdělit do jednotlivých zón. Zóna ledové plocha a veřejné prostory. V případě tréninkových hal je možné uvažovat tribuny v zóně ledové plochy. V případě hokejových arén je nutné vytvořit oddělený systém, tedy zajištění vzduchotechnické jednotky zvlášť pro tribuny a zvlášť pro ledovou plochu. V zóně veřejných prostorů se uvažují šatny pro hráče, trenéry a rozhodčí, sušárny a sklady, toalety a sprchy, ošetrovna, kanceláře, restaurace a další provozy.

Při větrání haly je možné při venkovních teplotách, které jsou nižší než 0 °C nebo naopak vyšší než 26 °C, použít cirkulaci vzduchu. Ovšem je nutné zajistit, aby podíl čerstvého vzduchu neklesl pod 50 % z celkového množství přiváděného vzduchu.

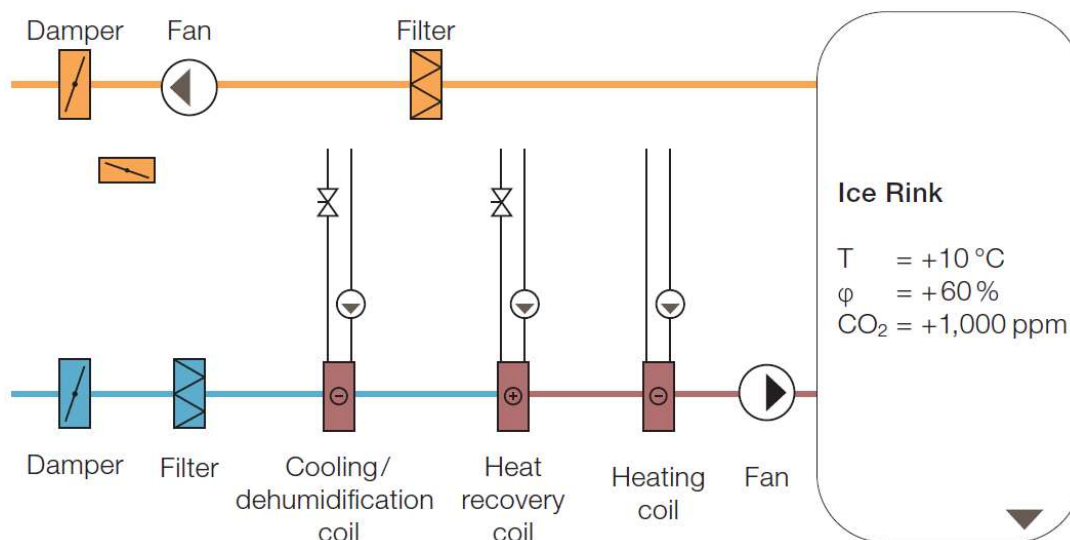
A.3.1.2 Odvlhčení vzduchu

Vlhkost je jedním z největších problémů na zimních stadionech. Vzhledem k rozdílným teplotám vnitřního a venkovního vzduchu a vysoké relativní vlhkosti vzduchu začne vodní pára kondenzovat a zhoršovat tak vnitřní podmínky stadionu. Co se týče vlhkosti vzduchu v prostorech pro veřejnost, tak zde se jedná víceméně „pouze“ o tepelný komfort. Ale vlhkost vzduchu nad ledovou plochou již představuje tepelnou zátěž pro chladič systém. Nasycený vzduch odmítá teplo z vodní páry, které následně přejímá povrch ledové plochy, čímž se led ohřívá. Proto je důležité zajistit odvlhčení vzduchu například absorpčním odvlhčením, jehož princip je popsán níže.

Vlhkost vzniká také odpařováním vody z úpravy ledu a zaplavovací vody. Největší množství vlhkosti ovšem do haly vstupuje z vnějšího prostředí. Jejím zdrojem jsou i sportovci a diváci.

Proces odvlhčení je důležitý pro odstranění vlhkosti vzduchu nad ledovou plochou, kde se nejčastěji v letním období může tvořit mlha, která zhoršuje podmínky pro provozování daných sportů. Dalším problémem způsobeným vysokou vlhkostí je

kondenzování vodní páry na konstrukcích. Jedná se jak o plexiskla mantinelů, kdy je poté zhoršena viditelnost pro diváky, tak o konstrukce stavby. Kondenzát může poškodit i nosnou konstrukci, nebo minimálně může ze střešní konstrukce skapávat na ledovou plochu a tím vytvořit poměrně velké nerovnosti [2].



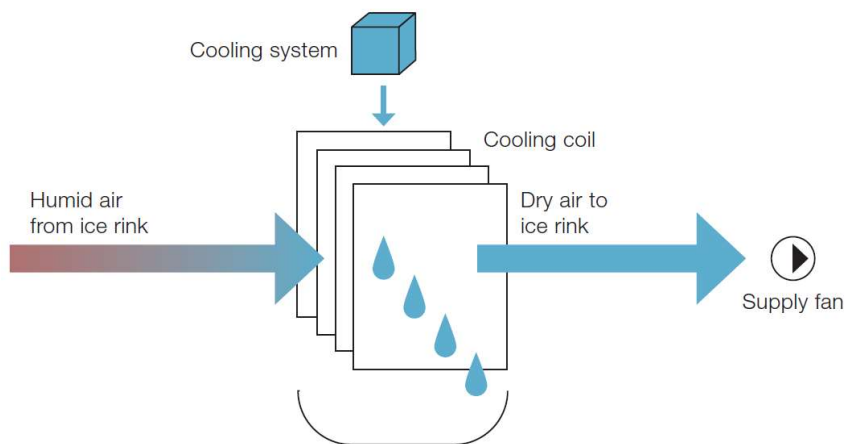
Obr. č. 12: Schéma odvlhčení vzduchu nad ledovou plochou [2]

(Damper – klapka, Filter – filter, Fan – ventilátor, Cooling/dehumidification coil – chladicí/odvlhčovací jednotka, Heat recovery – ohřev, Heating coil – ohřívací (chladicí) jednotka, Ice Rink – ledová plocha)

Odvlhčení vzduchu může být provedeno dvěma způsoby:

- řízené chlazení vzduchu pod teplotu rosného bodu
- použití adsorbčního materiálu

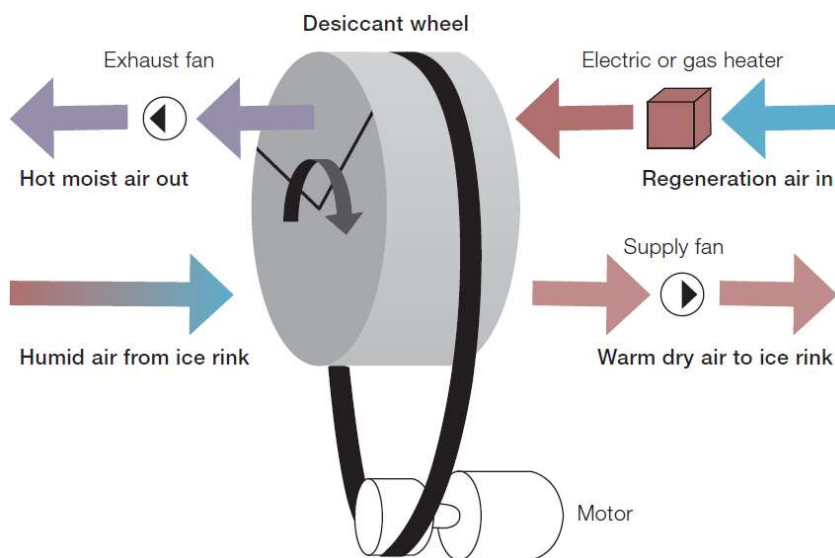
Pro chlazení vzduchu pod jeho teplotu rosného bodu je použito mechanické chlazení, kde je procházející vzduch proudícím chladivem zchlazen a vzniklý kondenzát odveden do kanalizace. Po odebrání vlhkosti je třeba vzduch opět ohřát. Tento způsob odvlhčení může být integrován do vzduchotechnické jednotky.



Obr. č. 13: Schéma kondenzačního odvlhčení [2]

(Humid air from ice rink – vlhký vzduch z ledové plochy, Cooling systém – chladicí systém, Cooling coil – chladicí jednotka, Dry air to ice rink – suchý vzduch pro ledovou plochu, Supply fan – přívodní ventilátor)

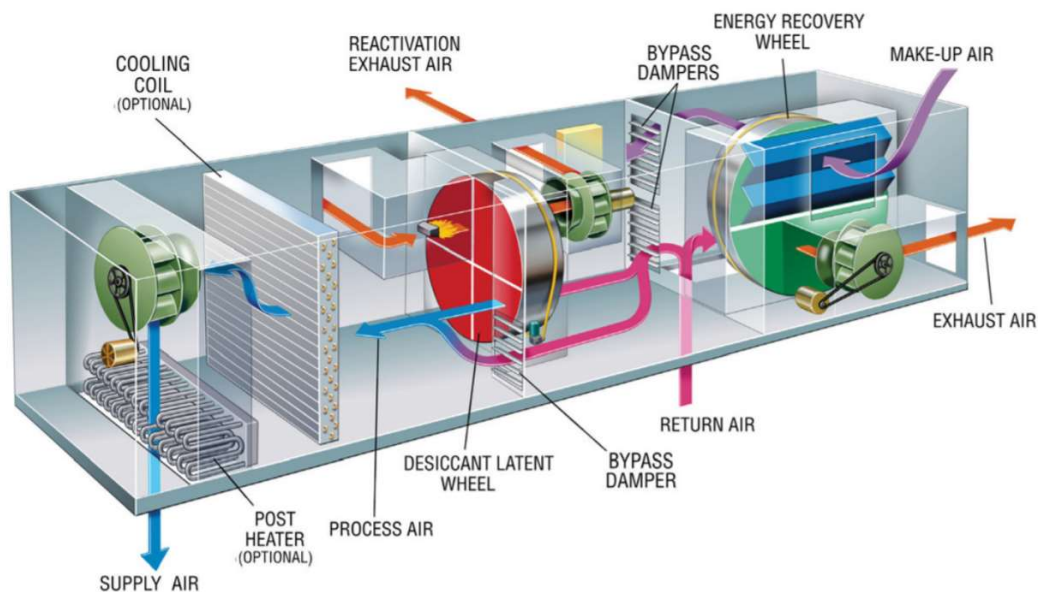
Chemické odvlhčení je tvořeno na základě absorpčních materiálů, které vlhkost zadržují. Tyto materiály mohou být jak pevného, tak kapalného skupenství. Takový materiál je například silikagel. Nejčastěji se v odvlhčovacích jednotkách používá pomalu rotující sorpční kolo, skrze které v jedné části proudí vlhký vzduch, přičemž absorpční materiál vlhkost zachytí. V druhé části kola proudí ohřátý vzduch, který z něj odebírá vlhkost a tím materiál tzv. regeneruje. Následně je tento teplý vlhký vzduch odváděn do vnějšího prostředí [2].



Obr. č. 14: Schéma adsorbčního odvlhčení [2]

(Hot moist air out – teplý vlhký vzduch ven, Regeneration air – regenerační vzduch dovnitř, Humid air from ice rink – vlhký vzduch z ledové plochy, Warm dry air to ice rink – teplý suchý vzduch pro ledovou plochu)

Jednotka absorpčního odvlhčení může být zakomponována do vzduchotechnické jednotky, jak je znázorněno na obrázku č. 15. Zde je vratný vzduch z haly rozdělen do dvou proudů, kde jeden bude odveden do exteriéru a druhý bude smíchan s čerstvým vzduchem. Smíchaný vzduch následně projde sorpčním kolem, kde se odvlhčí a poté se případně ochladí nebo ohřeje.



Obr. č. 15: Schéma klimatizační jednotky s odvlhčením [24]

Následující tabulka ukazuje maximální hodnoty relativní vlhkosti při různých teplotách vzduchu tak, aby v hale nedocházelo ke kondenzaci vodní páry.

Tab. č. 5: Maximální hodnoty relativní vlhkosti vzduchu při určitých teplotách pro eliminaci kondenzace [2]

Teplota vzduchu nad hrací plochou [°C]	Maximální relativní vlhkost vzduchu [%]
5	90
10	80
15	70
20	60

V tabulce č. 6 jsou vyznačené hraniční hodnoty pro teplotu a relativní vlhkost vzduchu, při kterých již hrozí poškození dřevěných konstrukcí hnilobou, nebo plísní.

Tab. č. 6: Maximální hodnoty relativní vlhkosti vzduchu při určitých teplotách pro eliminaci plísní a hniloby [2]

	Teplota vzduchu nad hrací plochou [°C]	Maximální relativní vlhkost vzduchu [%]
Hniloba	50-5	>90-95
Plíseň	55-0	>75-95

Tabulka č. 7 ukazuje hodnoty teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu, při kterých hrozí koroze kovových konstrukcí.

Tab. č. 7: Maximální hodnoty relativní vlhkosti vzduchu při určitých teplotách pro eliminaci kondenzace [2]

Teplota vzduchu nad hrací plochou [°C]	Maximální relativní vlhkost vzduchu [%]
>0	>80

Správnou hodnotu relativní vlhkosti vnitřního vzduchu zajišťuje řídicí systém.

Z hlediska požární bezpečnosti je nutné zajistit, aby na hranicích požárních úseků bylo vzduchotechnické potrubí opatřeno protipožárními klapkami. Ty musí být ovládány pomocí elektrické požární signalizace (EPS) [2].

A.3.2 Vytápění

Správný systém vytápění je nutný pro zajištění komfortních tepelných podmínek jak pro hráče, tak pro diváky. Teplota je rovněž důležité z hlediska vlhkosti vzduchu, kdy je důležité zamezit tvoření mlhy nad ledovou plochou. Teplo je ovšem nejdůležitější pro přípravu teplé vody (pro sprchy, úpravu ledu atd.), bez které by stadion nemohl fungovat.

A.3.2.1 Využití odpadního tepla

Odpadní teplo může být získáváno z kompresorů. Pokud se jedná o menší tréninkovou halu, mělo by jeho množství, téměř ve všech případech, teoreticky pokrýt většinu potřeby tepla. Při návrhu využívání tohoto tepla by se měly uvažovat poměrně nízké

teploty okolo 30–35 °C. Odpadní teplo může být využíváno jak pro úpravu ledové plochy, úpravu vzduchu, předehřev vody, pro rozpouštění sněhu apod.

Odpadní teplo se využívá ve dvou teplotních hladinách – vysokopotenciální a nízkopotenciální.

Vysokopotenciální teplo se získává z předehřátých par chladiva na výtlaku kompresorů. Tato hladina je vhodná pro ohřev vody pro rolbu, případně předehřev užitkové teplé vody.

Středněpotenciální teplo je do teploty 50°C. Lze například získávat z tepelných čerpadel, z chlazení palivové směsi v kogenerační jednotce, nebo třeba z vratného potrubí vysokoteplotních okruhů. Toto teplo je již možné využít například pro podlahové vytápění šaten a dalších prostorů, ohřev sněžné jámy, předehřev teplé vody a další.

Nízkopotenciální teplo se využívá například pro rozpouštění sněhu ve sněžné jámě, ohřev podloží ledové plochy, nebo předehřev vody. V této hladině se odebírá teplo kondenzační. Parametry tohoto tepla lze případně zvýšit pomocí tepelných čerpadel [15].

Způsob získávání odpadního tepla je popsán v kapitole č. *A.4.1.1 Odpadní teplo*.

A.3.2.2 Vytápění hlediště

U větších zimních stadionů, případně arén, je možné uvažovat jako další tepelnou zátěž vytápění hlediště. U menších stadionů se zóny pro diváky speciálně nevytápí a velmi často je systém větrání společný s ledovou plochou. V opačném případě by vzduchotechnické vyústky, které přivádí a odvádí ohřátý vzduch pro diváky, měly být nasměrovány tak, aby pokud možno neovlivňovaly vlastnosti vzduchu nad ledovou plochou.

A.3.2.3 Vytápění pomocí CZT

Nejčastějším způsobem zajištění potřebného tepla je dodávka tepla ze systému centrálního získávání tepla. Tímto je nutné zajistit teplo pro vytápění, úpravu vzduchu ve vzduchotechnické jednotce, ohřev vzduchu pro odvlhčení vzduchu, ohřev teplé vody, ohřev vody pro úpravu ledové plochy a další.

Nejllepší variantou je ovšem co největší využití odpadního tepla a pomocí centrálního zásobování teplem (CZT) pokrýt pouze odběry, na které odpadní odeplo nebude dostačující.

A.3.3 Příprava teplé vody

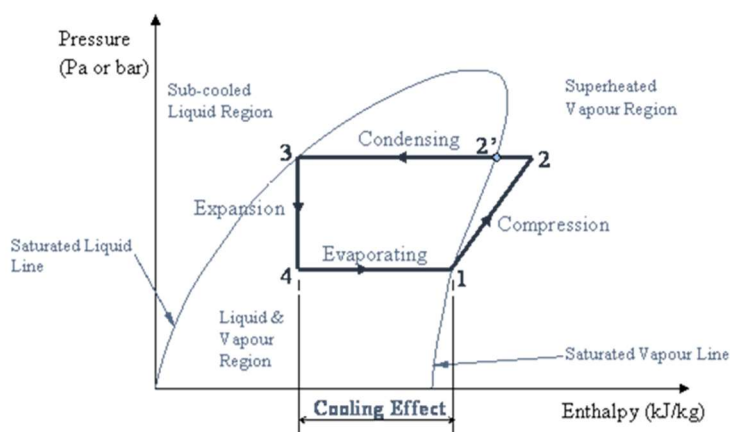
Ohřev teplé vody je vhodné zajistit jako dvoustupňový. V prvním stupni je dobré využít odpadního tepla odebraného z chladicí soustavy. V druhém stupni je nutné dohřev vody provádět topnou vodou o vyšší teplotě.

Vzhledem k užívání ledové plochy jsou odběry teplé vody nárazové, proto je nutné navrhnout akumulaci nádrž, která pokryje veškeré spotřební špičky.

Voda je potřebná ve sprchách, toaletách, kavárnách a dalších provozech, pro úklid a pro úpravu ledové plochy. V případě teplé vody musí být zajištěna recirkulace pro zamezení jejího vychladnutí a vzniku bakterií. Kvůli riziku vzniku větší koncentrace bakterie legionelly musí být voda patřičným způsobem upravena. Například ohřáta na teploty vyšší, než 55 °C [15].

A.3.4 Chlazení

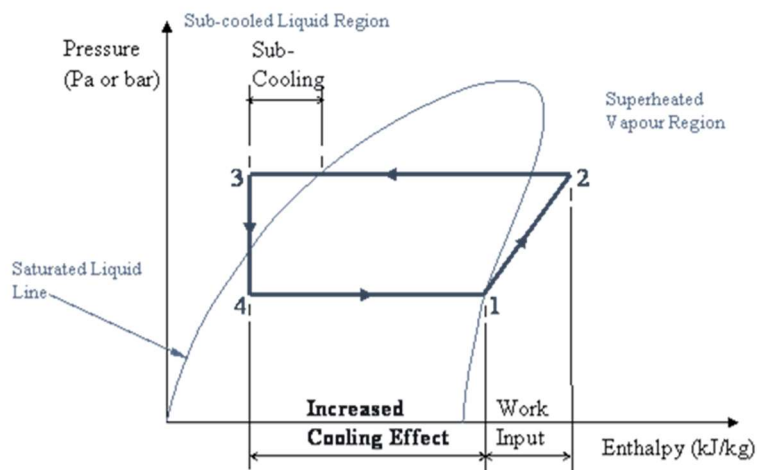
Na zimních stadionech se zpravidla používá kompresorové chlazení. Princip tohoto chlazení je možné popsat na idealizovaném diagramu Rankinova cyklu. Pro tento typ chlazení se využívá skupenská přeměna chladiva. Teplotní spád tohoto systému má hodnoty menší než 0 °C, proto je nutné používat chladiva jiného druhu, než je voda [15].



Obr. č. 16: p-h diagram chladicího cyklu [16]

- 1-2: Páry chladiva jsou stlačeny v kompresoru na hodnotu kondenzačního tlaku.
- 2-3: Přehřáté páry chladiva vstupují do kondenzátoru, kde odevzdávají teplo okolnímu prostředí a následně kondenzují. V tomto úseku je vhodné odebrat odpadní teplo pro další využití.
- 3-4: Zkondenzované páry jsou seškruceny opět na hodnotu vypařovacího tlaku.
- 4-1: Ve výparníku je při vypařování chladiva odebíráno teplo.

Úsek 2-2' značí zchlazení přehřátých par na teplotu nasycených par. Ve zbylé části, tedy 2'-3 je odebíráno vázané teplo. V případě, že je u kondenzátoru možné dochlazení, které sníží teplotu pod teplotu nasycených par, zvýší se ve výsledku chladicí výkon jednotky. Tento proces je znázorněný v následujícím diagramu [16].



Obr. č. 17: p - h diagram chladicího cyklu s dochlazováním [16]

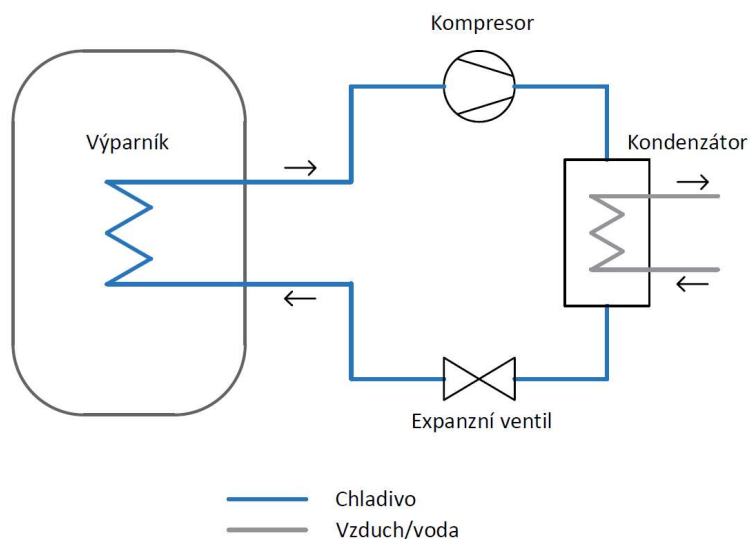
V případě každého předávání tepla platí podmínka podle 2. termodynamického zákona. Tedy že teplota látky, která teplo odevzdává, musí být vyšší než teplota látky, která ho přijímá [16].

Dále je u tohoto systému možné zvolit způsob chlazení kondenzátoru. Je možné ho chladit pomocí vody nebo vzduchu.

A.3.4.1 Chlazení přímé

Chladicí systém je možné navrhnout dvěma způsoby. Jedním je chlazení přímé a druhým je chlazení nepřímé. Případně je možné tyto systémy zkombinovat, čímž vznikne částečně nepřímý systém.

Přímé chlazení je principiálně jeden chladivový okruh, kde potrubí pod ledovou plochou slouží přímo jako výparník.



Obr. č. 18: Schéma přímého chlazení [zdroj: vlastní]

V hlavním okruhu přímého chlazení tohoto typu nasávají kompresory páry chladiva přes expanzní nádobu, která slouží jako odlučovač chladiva v kapalném stavu. V případě přerušení provozu chlazení slouží tato nádoba jako sběrač kapalného chladiva. Po stlačení kompresory bývá chladivo zaneseno olejem. Proto je vháněno přes zpětný ventil do odlučovače olejů, kde je olej odloučen.

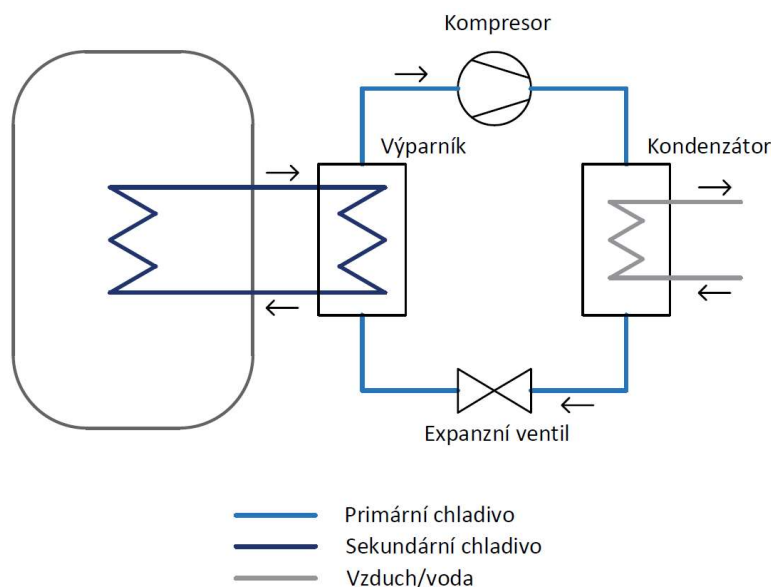
Stlačené páry jsou následně vedeny do kondenzátoru, kde odevzdávají teplo a následně kondenzují. V horní části kompresorů na výtlaku jsou instalovány uzavírací ventily. Ty slouží v případě přerušení provozu kompresoru k zabránění kondenzace, jelikož teplota ve strojně může být nižší než teplota kondenzační.

Z kondenzátoru je již zkapalněné chladivo vedeno do regulačního škrticího ventilu. Ten škrtí kapané chladivo z kondenzačního tlaku na tlak vypařovací a zároveň udržuje minimální hladinu chladiva v kondenzátoru, nebo provozní hladinu ve sběrači. V případě použití kondenzátoru, který je chlazen vzduchem, je v okruhu zapojen také sběrač chladiva.

Základní tepelná bilance tohoto systému je taková, že kondenzační teplo, které odvádí kondenzátor do okolního prostředí je rovno teplu přivedeného do výparníku, tedy ledové plochy, a teplu kompresní práce, což je zmařená elektrická energie při kompresi chladivových par [15].

A.3.4.2 Chlazení nepřímé

Nepřímé chlazení je složeno ze dvou chladivových okruhů, kde ve výparníku primárního okruhu je umístěn výměník tepla. Zde se chlad předává do sekundárního okruhu a ten následně předává, pomocí rozvodů speciálního chladiva, chlad do ledové plochy.



Obr. č. 19: Schéma nepřímého chlazení [zdroj: vlastní]

Na obrázku č. 19 je znázorněno schéma chladicí soustavy s nepřímým chlazením, kde je chladivo ochlazováno přes výměník tepla ve výparníku a následně je rozvedeno potrubím pod ledovou plochou. Primární okruh chladicího systému je okruh kompresorový, který je poháněn elektřinou. V tomto okruhu se stále často používá jako chladivo amoniak. Ovšem jako další vhodná chladiva pro tento systém jsou například R404A, R134a nebo další chladiva na bázi fluorovaných uhlovodíků HFC.

V sekundárním okruhu je funkcí chladiva přenášet teplo z ledové plochy do výparníku v chladicí jednotce. Ideální chladivo je nezávadné k životnímu prostředí, netoxické, má nízké náklady na jeho čerpání a má vysokou účinnost.

Je zde umístěno jedno nebo více čerpadel, která chladivo pohání. Chlorid vápenatý (CaCl_2) a Frezium jsou nejpoužívanějšími chladivy. V několika případech je použit i oxid uhličitý (CO_2), přičemž vázané teplo, které vzniká při zkapalnění plynného CO_2 , je využíváno a je možné zajistit menší průtok chladiva a zároveň tak snížit spotřebu energie na provoz

čerpadel. V některých případech je možné použít malou část chladiva tohoto okruhu například pro odvlhčování vzduchu. Chladivu je pod ledovou plochou odebrán chlad a následně je vedeno zpět do výparníku.

V tomto okruhu může být umístěna vyrovnávací nádrž pro zaplavení okruhu v případě teplotních změn chladiva a vypouštěcí nádrž pro případ nutnosti vypuštění chladiva z okruhu [15], [25].

Tab. č. 8: Porovnání přímého a nepřímého chlazení [zdroj: vlastní]

Přímé chlazení	Nepřímé chlazení
+ Energetická účinnost systému	+ Použití chladicích jednotek vyrobených sériově
+ Jednoduchost	+ Menší množství použitého chladiva (výhoda z hlediska životního prostředí)
+ Funkčnost systému s každým chladivem	+ Bezpečnost systému z hlediska toxikace haly (netoxická chladiva v sekundárním okruhu)
- Nevhodné použití některých chladiv (amoniak)	- Menší účinnost systému, než u přímého chlazení
- Náklady na instalaci	

Výhodou přímého chlazení je užití pouze jednoho okruhu. Tudíž není potřeba oběhových čerpadel, které spotřebovávají elektrickou energii na jejich provoz v řádech desítek kW. Použití přímého chlazení přináší menší náklady jak investiční, tak provozní.

Nevýhodou přímého chlazení je řádově větší množství chladiva primárního chladiva. Což je nejčastěji čpavek. Výkon chladicích jednotky závisí na množství odpařeného čpavku, proto je obtížnější regulace teploty ledu. Další nevýhodou je nemožnost použít plastové rozvody pod ledovou plochou. Vzhledem tedy k nutnosti použití ocelových trubek a k tomu, že jsou vedeny i pod ledovou plochou je zřejmé, že na takto dlouhou vzdálenost (přibližně 20 000 m) budou rozvody poměrně často svařované.

Účinnost přímého chlazení oproti nepřímému je sice větší, ale dnes se téměř vždy navrhuje zimní stadiony se dvěma chladivovými okruhy. Prvním důvodem jsou vyšší náklady

přímého systému a druhým, důležitějším důvodem je bezpečnost. V primárním chladivovém okruhu se často používá jako chladivo amoniak, nebo R-22. Vzhledem k jejich toxicitě mohou být v případě úniku těchto chladiv, konkrétně především v systému přímého chlazení, pro člověka velice nebezpečnými. V několika zemích je jejich použití zcela zakázáno [4], [15].

A.4 Zdroje tepla a chladu

A.4.1 Zdroj tepla

Další, neméně podstatnou záležitostí, je dodávka tepla, které je potřeba pro vytápění prostorů, ohřev teplé vody, úpravu vzduchu, vytápění podloží ledu, úpravu ledu a roztávání sněhu. Teplo je možné získávat pomocí spalování fosilních paliv, elektrické energie, nebo centrálně dodávaným teplem z tepláren. Ovšem mnohem lepší variantou, jak z ekonomického hlediska, tak z hlediska životního prostředí, je množství potřebného tepla z co největší části pokrýt odpadním teplem, které vzniká v chladicích systémech. V určitých případech je jím možné pokrýt až 100 % potřeby tepla.

A.4.1.1 Odpadní teplo

Jak bylo již popsáno v kapitole č. *A.3.4 Chlazení* v popisu Rankinova cyklu, z chladicího okruhu je možné odebírat odpadní teplo. Pro jeho využití je podstatná jeho teplotní úroveň. Ta závisí například na druhu chladiva, kondenzační teplotě, použitých kompresorech a na výtlačné teplotě předehřátých par chladiva. Tyto faktory jsou důležité již v koncepční fázi řešení projektu.

Odpadním teplem je při správném návrhu možné pokrýt z větší části potřebu tepla pro provoz stadionu. Toto teplo je možné získávat třemi způsoby:

- Teplo z předehřátých par chladiva;
- Teplo uvolněné při kondenzaci par chladiva;
- Teplo získané z podchlazení kapalného chladiva.

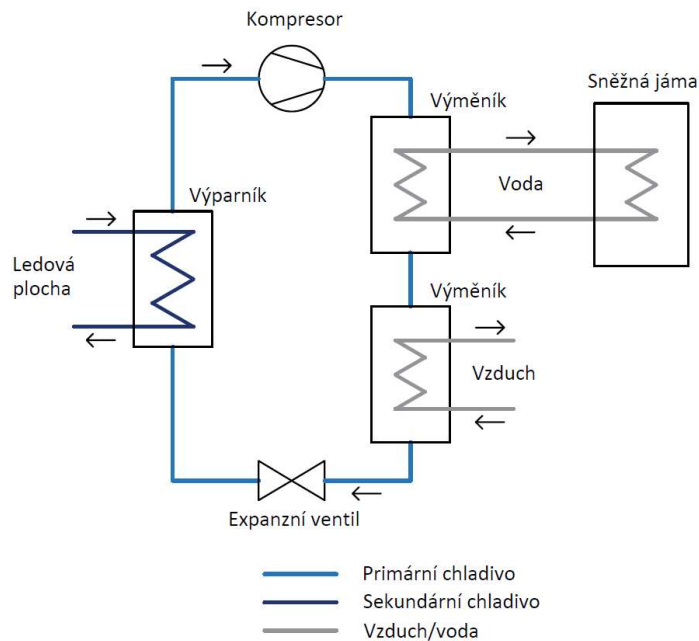
Největší množství tepla je odebíráno v místě kondenzátoru. Konkrétně se jedná o přibližně 80 %, přičemž kondenzační teplota v případě využití tepla dosahuje hodnot okolo 35 °C a chladicí faktor je přibližně 2,5. Získanou teplotou vodu o teplotě přibližně 30 °C je vhodné uchovat v zásobníku pro další využití. V případě, že se teplo nevyužívá a zásobník je tedy „nabitý“, je teplo odváděno do okolního prostředí pomocí chladicích věží [3], [17].

Dalšími místy k odběru odpadního tepla mohou být dochlazovač a chladič přehřátých par.

Z dochlazovače, což je opět výměník chladivo – voda, je možné odebírat odpadní teplo o teplotní úrovni přibližně 25 °C. To je možné využít například pro přehřev teplé vody [3].

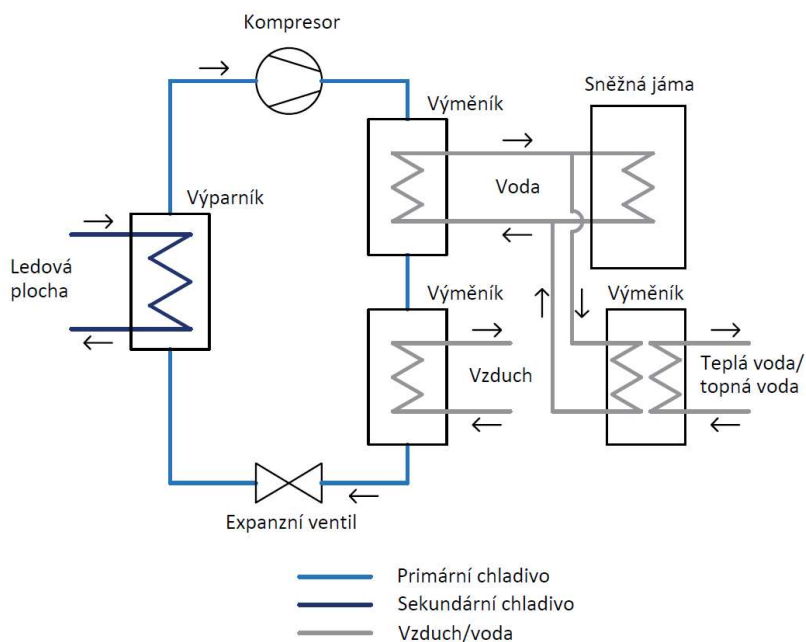
Chladič přehřátých par není v okruhu nezbytně nutný, ale teplo z přehřátých par může dosahovat teploty až 130 °C. Oproti tomu teplo uvolňované při kondenzaci par chladiva má omezenou teplotní úroveň. Ta je dána kondenzační teplotou tohoto chladiva. Tato část ovšem představuje největší množství tepla. V případě tepla získaného z podchlazení kapalného chladiva je možné využít menší množství tepla a o nižších teplotách, než je kondenzační teplota chladiva.

Odpadní teplo lze využívat například pro ohřev vody pro sněžnou jámu, která slouží k roztátí sněhu z ledové plochy. Přehřáté páry vstupují z kompresoru do výměníku, kde je teplo předáno vodě. Teplota této vody může dosahovat teploty i vyšší než 50 °C. V tomto okruhu je nevyužitě teplo odváděno dalším výměníkem do exteriéru [3], [15], [17].



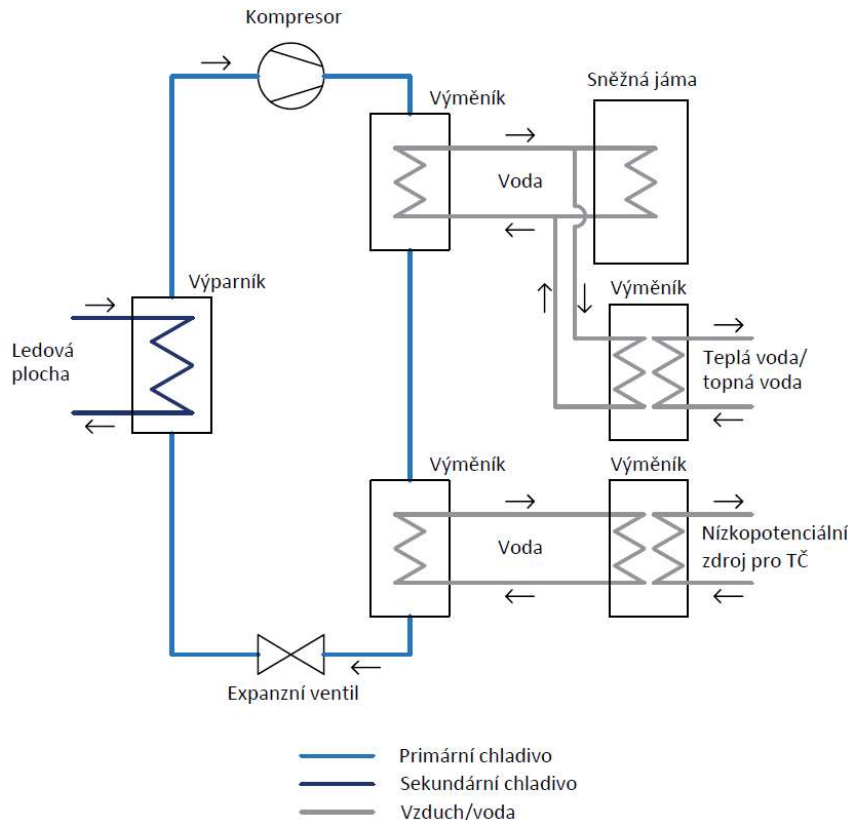
Obr. č. 20: Schéma využití odpadního tepla pro sněžnou jámu [zdroj: vlastní]

Na schématu č. 20 je znázorněna další možnost využití odpadního tepla, a to přidáním výměníku na okruh pro využití tepla pro technologii sněžné jámy. Tento výměník může být využit pro předání tepla do zásobníku pro přípravu teplé vody, případně pro otopnou soustavu. Co se týče otopné soustavy, tak záleží na teplotním potenciálu tohoto tepla. Nevyužité teplo je opět odváděno přes výměník do exteriéru [15].



Obr. č. 21: Schéma využití odpadního tepla pro sněžnou jámu, přípravu teplé vody a otopnou soustavu [zdroj: vlastní]

Jako další varianta zpětného získávání tepla je přidání dalšího výměníku, ze kterého je možné teplo využívat jako nízkopotenciální zdroj pro tepelné čerpadlo. To je možné zajistit v případě nižších kondenzačních teplot chladiva nebo při využití podchlazení kapalného chladiva. Toto teplo se akumuluje v nádržích o objemu až 300 m³ a slouží k převedení tepla na vyšší teplotní úroveň. Výsledné teplo lze využít pro vyrovnání odběrových špiček, nebo k doplnění topného výkonu pro vytápění [15], [16].



Obr. č. 22: Schéma využití odpadního tepla pro sněžnou jámu, přípravu teplé vody, otopnou soustavu a tepelné čerpadlo [zdroj: vlastní]

A.4.1.2 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

Další možností dodávky tepla je kogenerační jednotka, která zajistí kombinovanou výrobu tepla a elektřiny zároveň. V tomto případě by bylo možné využívat elektrickou energii pro pohánění chladicích zařízení a teplo využívat na vytápění. Ovšem v případě kogenerační jednotky je výroba tepla podstatně vyšší, než výroba elektřiny. Což by vedlo k produkci velkého množství tepla, které by nebylo možné využít. Proto je tato varianta výhodná především v případě, kdy je v sousedství zimního stadionu umístěn například plavecký bazén, kde by mohlo být teplo využito. Návratnost kogenerační jednotky může být

při správném návrhu přibližně 3 až 5 let, což by tento zdroj tepla a elektřiny zároveň řadilo mezi nejvýhodnější varianty.

Sportovní stavby větších rozměrů, konkrétně například hokejové arény, mají velké množství spotřebovaného tepla a elektrické energie. Z tohoto důvodu se právě nabízí možnost využití kombinované výroby elektřiny a tepla (KVET).

Princip této výroby je takový, že odpadní teplo při výrobě elektřiny je zachyceno a využito pro další účely. Celková účinnost systému může být vyjádřena podílem součtu vyrobené elektřiny a tepla k celkové energii ve spotřebovaném palivu. Účinnost kogeneračních jednotek bývá 85-90 %.

Hlavními částmi kogenerační jednotky jsou generátor a výměník tepla. Generátor přeměňuje kinetickou energii na energii elektrickou a výměník předává odpadní teplo k dalšímu využití. Tyto jednotky se mohou dělit podle pohonu a podle paliva.

Základními typy kogeneračních jednotek jsou jednotky s pístovým spalovacím motorem, s mikroturbínou, se Stirlingovým motorem a jednotky s palivovými články [15].

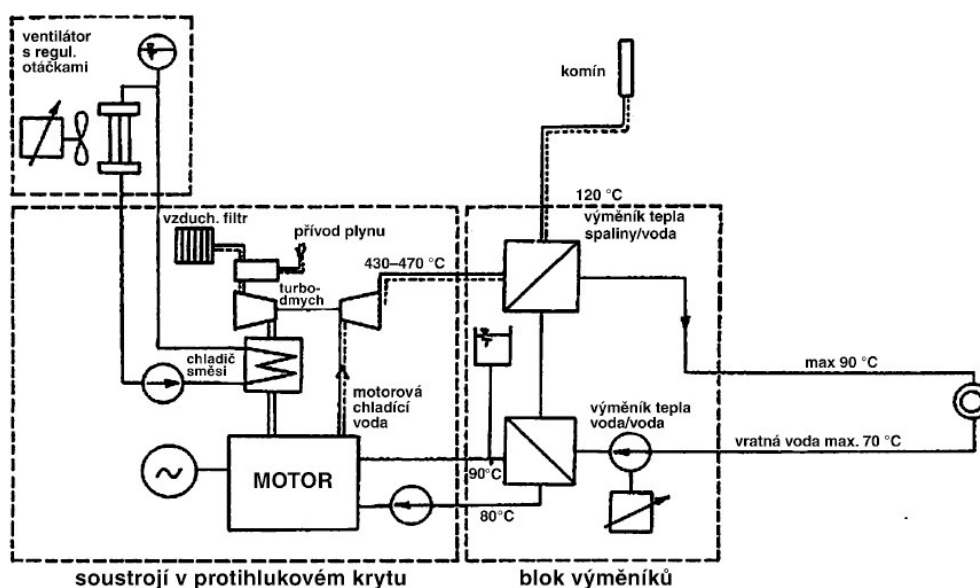
A.4.1.2.1 Kogenerační jednotka s pístovým spalovacím motorem

Tento druh jednotek může spalovat snadno dostupná paliva a má výkon ve velkém rozmezí, a to od desítek kW až po desítky MW. Ovšem je nutné dodržovat pravidelnou údržbu a servis.

Motory mohou být buďto zážehové nebo vznětové.

Vznětové motory mají chladicí systém komplexnější a teploty jsou většinou nižší. Konkrétně kolem 85 °C, což znamená určitá omezení pro využití odpadního tepla. Zážehové motory naopak mají teplotu pracovní látky až 160 °C.

Zážehové motory používají jako palivo nejčastěji zemní plyn, propan, benzín nebo bioplyn. Vznětové motory jsou poháněny naftou.



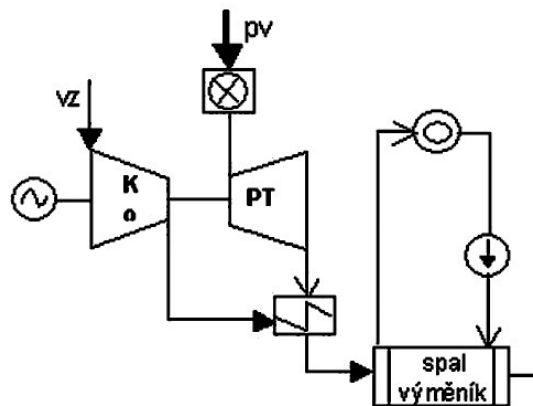
Obr. č. 23: Kogenerační jednotka se spalovacím motorem [18]

Kogenerační jednotka s pístovým spalovacím motorem se skládá z motoru, generátoru, systému zpětného získávání tepla, systému pro odvod spalin a regulace. Generátor je poháněn motorem, z jehož chladicího systému je odebíráno odpadní teplo. Dále je odebíráno také z výfukových plynů a chladicího systému mazacího oleje a z turbodmychadla [15], [18].

A.4.1.2.2 Kogenerační jednotka s mikroturbínou

V případě použití mikroturbín v kogeneračních zařízeních je možné dosáhnout celkové účinnosti i více než 80 %. Tyto mikroturbíny jsou menší verzí spalovacích turbín, které mají účinnost výroby elektřiny přibližně 30 %. Výhody oproti spalovacím motorům je například jejich kompaktní velikost, nižší hlučnost, malé množství pohyblivých částí a produkce vysoko-potenciálního tepla. Teploty spalin se pohybují mezi 500 až 800 °C a teplota vody ze spalinového výměníku dosahuje teploty 70 až 90 °C.

Základním procesem probíhajícím v mikroturbínách je spalování směsi paliva se vzduchem stlačeným kompresorem. Horký plyn tak expanduje a roztáčí turbínu, která pohání kompresor a generátor. Před vstupem do spalovací komory je stlačený vzduch předehříván v rekuperátoru. Elektřina je odebírána ze systému pomocí generátoru, který je napojen na turbínu, a na něj je následně napojen usměrňovač napětí. Odpadní teplo se odebírá pomocí spalinového výměníku tepla ze spalin.

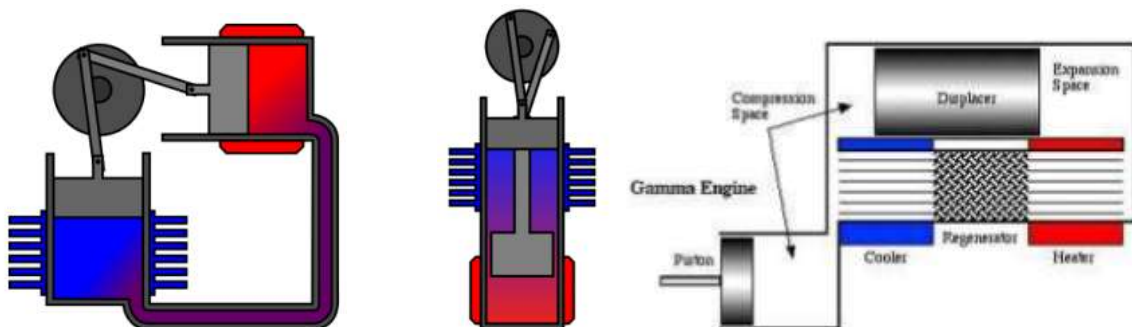


Obr. č. 24: Kogenerační jednotka se spalovacím motorem [18]
(Ko – kompresor, PT – turbína, vz – vzduch, pv – palivo)

Mikroturbíny jsou složitější zařízení než například plynové turbíny. Díky rekuperátoru má ale toto zařízení větší účinnost a menší spotřebu paliva [15], [18].

A.4.1.2.3 Kogenerační jednotka se Stirlingovým motorem

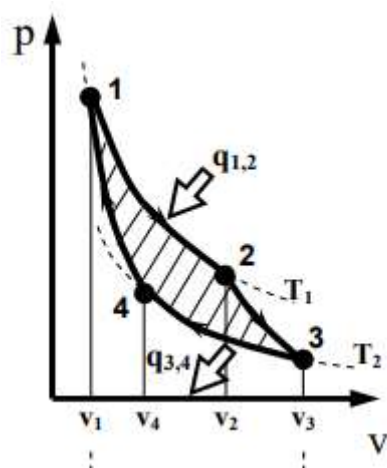
Díky vývoji moderního Stirlingova motoru s „volným“ pístem může tato technologie dosáhnout vysoké účinnosti, dobrého výkonu při částečném zatížení, nízkých emisí, nízkých hlukových úrovní a nízkému opotřebení. Další výhodou tohoto zařízení je dodávání tepla z externího zdroje, což umožňuje použití například fosilních paliv, nebo různých obnovitelných zdrojů energie.



Obr. č. 25: Stirlingův motor Alpha, Beta, Gamma [19]

Stirlingův motor pracuje na principu Stirlingova cyklu. Vzduch v části motoru je ohříván, díky čemuž se zvýší teplota a tlak ve válci. Zvýšený tlak následně posune píst a vzduch se dostává do jiné části motoru, kde je ochlazován a druhým pístem je vtačen zpět. Tyto motory se dělí na Alpha, Beta a Gamma.

Díky tomu, že tento typ motorů vyvíjí dva silové během jedné otáčky je jejich chod velmi plynulý, tichý a s malými vibracemi. Na rozdíl například od Rankinova cyklu se Stirlingův cyklus více blíží ideálnímu Carnotovu cyklu a má tak předpoklady k dosažení účinnosti při výrobě elektřiny až 50 %. V dnešní době se tato účinnost pohybuje kolem 40 %. Celková účinnost tohoto kogeneračního systému je 65 až 85 % [18].



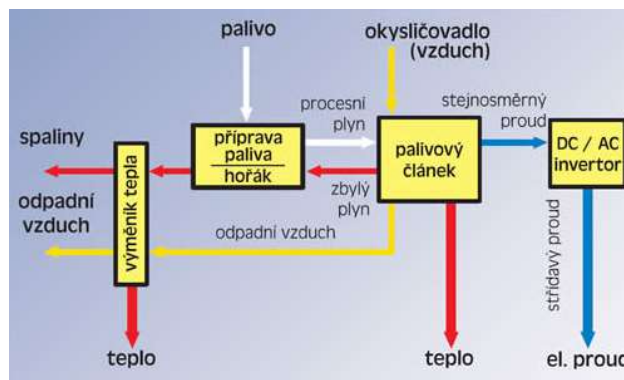
Obr. č. 26: Carnotův cyklus [19]

V případě použití plynového zdroje tepla je možné odebírat teplo především ze spalin, kde teplota spalin dosahuje 200 až 300 °C. Další možností je odběr tepla z chladicího válce motoru a mazacího oleje. Toto teplo ovšem dosahuje menších hodnot. Elektrická účinnost zařízení v případě použití plynového zdroje tepla dosahuje hodnot 22 až 24 % [15].

A.4.1.2.4 Kogenerační jednotka s palivovými články

Použití palivových článků v kogeneraci je skvělým způsobem, jak při výrobě elektrického proudu dosáhnout vysoké účinnosti při částečném zatížení, nízkých emisí, a i v případě velmi malých jednotek dosáhnout účinnosti 85 až 90 %.

Jako zdroj energie se pro stacionární palivové články se nejčastěji využívá zemní plyn. Tyto jednotky uvolňují skoro dvakrát méně škodlivin než jiné spalovací kogenerační systémy. Velkou nevýhodou jsou ovšem vysoké pořizovací náklady palivových článků a nízká životnost [15], [20].



Obr. č. 27: Schéma kogenerace s palivovým článkem na zemní plyn [20]

Technologie palivových článků spočívá v reakci kyslíku a vodíku za přítomnosti elektrolytu. Tímto procesem vzniká elektrická energie. Reakce v palivových článcích je exotermní, proto tedy mimo vody vzniká také teplo. Využívaný vodík se získává nejčastěji ze zemního plynu. Dále je možné ho získat také z propanu, uhlí a elektrolýzy vody. V dnešní době existuje několik typů palivových článků. Například alkalické, s kyselinou fosforečnou, s pevným oxidickým elektrolytem a další [20].

A.4.2 Zdroj chladu

Správný návrh zdroje chladu je klíčové pro provoz zimního stadionu, jelikož je nezbytné zajistit vhodné podmínky k jeho užívání, tedy především kvalitní ledovou plochu. Jak bylo již popsáno v předešlé kapitole, je výhodné řešení zajistit odběr odpadního tepla, kterého při výrobě chladu vzniká velké množství. Proto má správný návrh chlazení také minimálně částečný vliv na zajištění tepla.

A.4.2.1 Chladicí výkon

Chladicí výkon je navrhován podle velikosti tepelné zátěže na chladicí systém. Při návrhu maximálního výkonu se uvažuje s následujícími komponenty:

- Chlazení konstrukce podloží ledové plochy na operativní teplotu v požadovanou dobu.
- Potřebný chladicí výkon závisí na teplotě konstrukcí před počátkem samotného chlazení.
- Požadovaný výkon na - zchlazení zaplavovací vody na teplotu 0 °C,

- přeměnu skupenství,
- zchlazení ledové vrstvy z 0 °C na požadovanou teplotu.

Výkon závisí na teplotě vody, operativní teplotě ledu a požadované doby na zmrazení vody. Běžně se uvažuje 48 hodin.

- Tepelná zátěž sáláním mezi ledovou plochou a okolními konstrukcemi.
- Tepelná zátěž prouděním vzduchu nad ledovou plochou. Záleží na teplotě i na rychlosti vzduchu.
- Vázané – latentní teplo odevzdané vypařováním vodní páry z ledové plochy. Záleží na vlhkosti, povrchové teplotě ledu a rychlosti vzduchu.
- Tepelná zátěž sáláním od zařízení (např. osvětlení) [3]

A.4.2.2 Chladicí jednotka

Chladicí systém zajišťuje tvorbu ledové vrstvy na hrací ploše. Proto je tento systém v podstatě nejdůležitějším v celé budově. Skládá se z kompresorů, kondenzátorů, výparníků a rozvodů chladiva. Jeho provoz potřebuje největší množství energie ze všech systémů zimního stadionu. Vzhledem k požadavku úspory peněz je vhodné, zakomponovat do systémů zpětné využití tepla, například z kompresorů ale i jiných částí soustavy. Kompresory, čerpadla a ventilátory, které jsou využívány v systému chlazení, jsou většinou poháněny elektrickou energií. Tato zařízení spotřebují více než 50 % z celkového množství spotřebované elektrické energie. Funkce kompresoru je udržovat tlak a nízkou teplotu ve výparníku, aby se tekuté chladivo vypařilo a předalo tak teplo. V kompresoru se zvýší tlak par a tím se zvýší i teplota.

A.4.2.2.1 Chladivové čerpadlo

Elektrická energie pro čerpadlo, které pohání chladivo, může při práci 24 hodin denně tvořit až 15 % z celkové dodané elektrické energie pro chladicí systém. Část této energie je samozřejmě přetvářena na teplo, které je následně předáváno do chladiva. Proto je vhodné použít regulovatelné čerpadlo, které bude řízeno například podle teploty chladiva. Tímto je možné šetřit jak elektrickou energii pro pohon čerpadla, tak energii, která by byla nutná na pokrytí tepelné zátěže chladiva [3].

A.4.2.2.2 Kompresor

Nejpoužívanějšími typy kompresorů v chladicích jednotkách jsou pístové nebo šroubové.

Obdobně jako u chladičového čerpadla je vhodné použít regulaci kompresoru, případně kompresorů, v době, kdy není třeba chladit ledovou plochu na jejich maximální rychlost. Pro chod kompresorů na dostatečný, ne maximální, výkon jsou použity elektromotory s měniči rychlosti. Dalším vhodným způsobem řešení je zapojení více kompresorů, kdy pouze v největší špičce budou fungovat současně. Výhodou použití více kompresorů je možnost stálého provozu chlazení při poruše jednoho kompresoru, kdy práci zastane druhý.

Pístové kompresory se od šroubových liší tím, že v pístovém je skoková regulace výkonu, kde počet stupňů je roven počtu válců, zatímco ve šroubovém kompresoru je regulace plynulá v rozmezí 10 až 100 %. Pístový kompresor má vyšší účinnost při částečném výkonu bez frekvenčního měniče. Naopak šroubový kompresor má vyšší dosažitelný výkon v jednom kusu. Pořizovací náklady jsou u pístového kompresoru o 20 až 30 % nižší, ale u šroubového jsou nižší servisní náklady v běžném roce. Přibližně po 40 000 hodinách provozu jsou ovšem servisní náklady srovnatelné [3].

A.4.2.2.3 Suchý chladič

Suchý chladič je výměník tepla, kde se přebytečné teplo z chladicího okruhu odevzdává do vnějšího prostředí. Umístěn je většinou na střeše objektu a je důležité zabránit zanesení ventilátorů např. listy ze stromů, plastovými sáčky apod.

Pro samotnou činnost chladicího systému není třeba žádná obsluha. Tomuto systému je nadřazený jeho řídicí systém, který reguluje výkon a počet využívaných kompresorů, chod kondenzátorů, čerpadel apod. Dále umožňuje nastavení různých provozních režimů, které se od sebe liší požadavky na teplotu ledové plochy. Tyto stavy jsou monitorovány a archivovány a řízení chlazení je možné sledovat vzdáleně přes internet.

Základním principem většiny návrhů je zajištění dodávky energie na běžný provoz s tím, že odběrové špičky budou pokryty dodávkou energie z veřejných sítí.

B Koncepční řešení zimního stadionu

B.1 Návrh vlastního stadionu



Obr. č. 28: Vizualizace návrhu stadionu 1 [zdroj: vlastní]

V první části této práce byla shrnuta teorie technických systémů zimních stadionů spolu s aspekty, které je ovlivňují. V druhé části jsou tyto teorie doplněny o praktické koncepční návrhy jednotlivých technických systémů navrženého zimního stadionu. Součástí této práce je také podrobný návrh vzduchotechnických systémů včetně projektové dokumentace.

Prvním krokem je vypracování studie a následné navržení jednotlivých konstrukcí zimního stadionu. Dále zpracování koncepčního návrhu řešení systémů chlazení, vytápění, ohřevu teplé vody a vzduchotechniky. Dalším krokem je výpočet tepelných zátěží, které na chladicí systém působí, a stanovení potřebného chladicího výkonu. Dále určení potřeby tepla na vytápění a ohřev teplé vody. Poslední částí této diplomové práce je podrobný návrh vzduchotechnických systémů stadionu.

Navržený zimní stadion, o celkové zastavěné ploše 2 625 m², je situovaný v Plzni, v ulici Písecká a má sloužit jako tréninková hala. Jedná se o halovou stavbu se sedlovou střechou s přilehlou jednopodlažní částí s plochou střechou a venkovním parkovištěm.

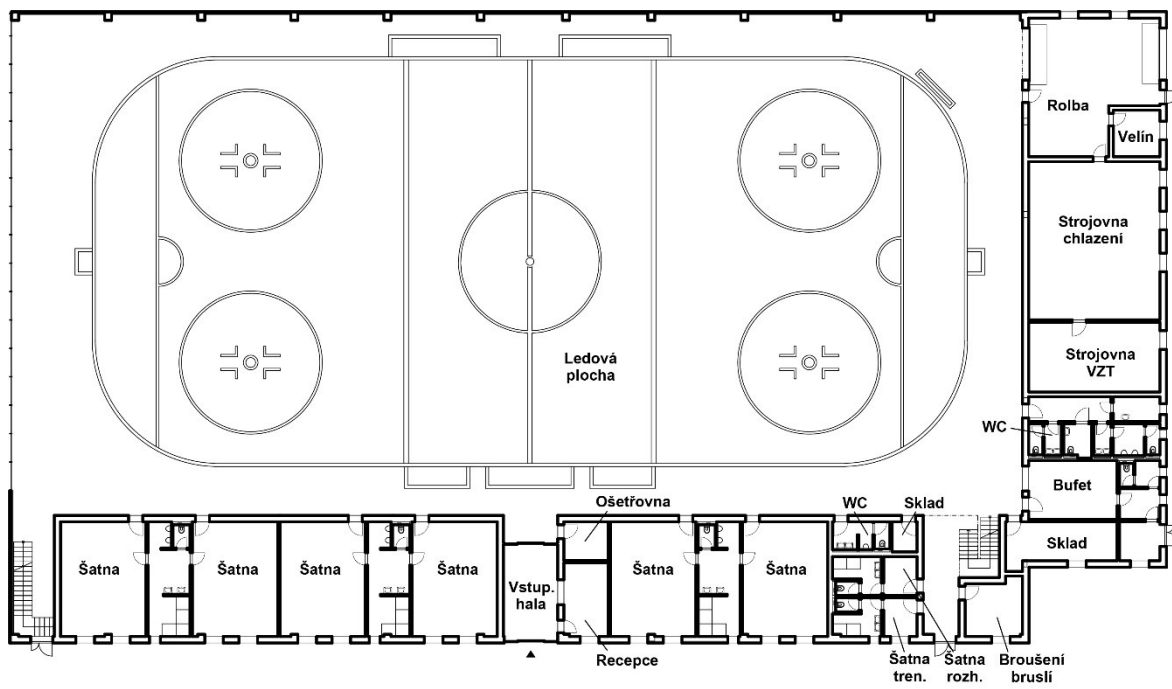


Obr. č. 29: Vizualizace návrhu stadionu 2 [zdroj: vlastní]



Obr. č. 30: Vizualizace návrhu stadionu 3 [zdroj: vlastní]

Hlavním prostorem haly je samotná ledová plocha, která má základní rozměry 56 x 26 m. Pod hledištěm, které má kapacitu 200 míst k sezení, je umístěno celkem 6 šaten. Každá šatna má kapacitu 22 hráčů a je propojena se sprchami a WC. Mimo šatny hráčů se zde nachází také šatny pro trenéry a rozhodčí. Dalšími místnostmi jsou recepce, ošetřovna, místnost pro broušení bruslí a sklady pro tréninkové náčiní, případně pro uskladnění hokejové výstroje. V další části stadionu se nachází bufet s menší kuchyní a vlastním zázemím. Na něj již navazují záchody pro veřejnost s úklidovou místností a technické zázemí stadionu, které obsahuje strojovnu vzduchotechniky, strojovnu chlazení, místnost pro rolbu se sněžnou jámou a velín.



Obr. č. 31: Půdorys přízemí [zdroj: vlastní]

Provoz zimního stadionu se uvažuje celoroční, kdy ledová plocha bude provozována i v letním období. Při výpočtech bylo uvažována každodenní provozní doba stadionu od 7:00 do 23:00.

Hlavní nosná konstrukce stavby je kombinací železobetonových sloupů a ocelových příhradových nosníků. Zděné konstrukce, kterými jsou obestavěny všechny další vnitřní prostory jsou navrženy z pálených keramických tvarovek. Obvodový plášť, který ohraničuje hlavní halu s ledovou plochou je tvořený z větší části panely Kingspan. Na západní straně stadionu je pak obvodová konstrukce tvořena lehkým obvodovým pláštěm. Střešní konstrukce je tvořena rovněž panely Kingspan. Vodorovné nosné konstrukce, například hlediště, jsou železobetonové. Střecha nad menší částí stadionu, kde se nachází technické zázemí a další provozy, je plochá s klasickou skladbou a s praným říčním kamenivem na povrchu. Konstrukce pod ledovou plochou obsahuje trubní systém jak pro systém chlazení, tak pro rozvod topné vody. Princip této konstrukce byl blíže specifikován v kapitole *A.2.1 Konstrukce ledové plochy*.

B.2 Technická zařízení stadionu

Zimní stadion je na přeměnu a spotřebu energie mnohem náročnější než běžné budovy. Základním důvodem je rozdílnost požadovaných teplot v jednotlivých prostorech. Výsledné teploty se nachází v rozmezí od -6 °C do 21 °C, přičemž se nejedná o požadavky pro zimní a letní stav budovy, ale o požadavek, který musí být splněn po dobu celého roku. Největší zátěží je výroba chladu, která je bezpodmínečně nutná především pro provoz ledové plochy.

Zimní stadion bude napojen na veřejné inženýrské sítě. Konkrétně na elektrickou síť, vodovodní řad, splaškovou a dešťovou kanalizaci, plynovodní síť a teplotní síť pro zásobování CZT.

V následujících kapitolách je popsán koncepční návrh systémů chlazení, vytápění, ohřevu teplé vody a podrobný návrh systémů VZT, který je doplněn výpočtovou a výkresovou dokumentací v další části diplomové práce.

B.2.1.1 Chlazení ledu

Jedním ze dvou základních požadavků pro návrh chladicí soustavy a výpočtu výkonu chladicí jednotky je výpočet množství chladu potřebné pro zmrazení vody, která bude následně tvořit hrací plochu. Jednotka musí být navržena tak, aby udržovala ledovou vrstvu o stálé teplotě, nicméně potřebný výkon na udržení tohoto stavu není tak velký, jako je při tvorbě ledové vrstvy, kdy je na podklad postupně přidávána voda. Vhodná celková tloušťka ledu h_{ice} je 3 cm a maximální požadovaná doba na tvorbu ledové plochy je 48 hodin.

Pomocí rovnice č. B.1 se vypočte hmotnostní množství v kg dané látky v jednotlivých fázích. Rovnice č. B.2 popisuje zchlazení vody z teploty větší než 0 °C právě na teplotu 0 °C. Následující rovnice č. B.3 popisuje přeměnu skupenství z vody na led a poslední rovnice č. B.4 vyjadřuje množství chladu potřebného na zchlazení ledu z 0 °C na požadovanou teplotu -5 °C.

Pro výpočet jsou uvažovány následující hodnoty:

$$A_{ice} = 1402,5 \text{ m}^2,$$

$$h_{ice} = 0,03 \text{ m},$$

$$t_{air} = 6 \text{ °C},$$

$$t_{water} = 15 \text{ °C},$$

$$t_{ice} = -5 \text{ °C},$$

$$c_{water} = 4180 \text{ J/kg.K},$$

$$c_{ice} = 2090 \text{ J/kg.K},$$

$$\rho_{water} = 1000 \text{ kg/m}^3,$$

$$\rho_{ice} = 917 \text{ kg/m}^3,$$

$$l_t = 334 \text{ kJ/kg}.$$

$$m_i = \rho_i \cdot A_{ice} \cdot h_{ice} \quad (\text{B.1})$$

$$Q_1 = m_{water} \cdot c_{water} \cdot (t_{water} - 0) \quad (\text{B.2})$$

$$Q_2 = m_{ice} \cdot l_t \quad (\text{B.3})$$

$$Q_3 = m_{ice} \cdot c_{ice} \cdot (0 - t_{ice}) \quad (\text{B.4})$$

$$Q_1 = 2\,638,1 \text{ MJ}$$

$$Q_2 = 12\,886,7 \text{ MJ}$$

$$Q_3 = 403,2 \text{ MJ}$$

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 15\,928,0 \text{ MJ}$$

Požadovaný výkon jednotky pro vytvoření ledové plochy za 48 hodin je **92 176,2 W**.

B.2.1.2 Výpočet tepelné zátěže

Pro návrh chladicí soustavy je nutné spočítat také tepelnou zátěž na ledovou plochu. Výpočty jsou provedeny dle postupu, který je uvedený v kapitole A.2.2 *Tepelná zátěž*. Součet jednotlivých zátěží určí požadovaný výkon chladicí jednotky.

B.2.1.2.1 Proudění vzduchu

Pro výpočet tepelné zátěže prouděním vzduchu je nedříve nutné spočítat součinitel přestupu tepla prouděním α_c . Po dosazení do rovnice č. (A.2) za $v_{air} = 0,4 \text{ m/s}$ je hodnota tohoto součinitele následující:

$$\alpha_c = 3,41 + 3,55 \cdot v_{air} = 4,83 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Celková tepelná zátěž je vypočtena z rovnice č. (A.1) po dosazení následujících hodnot:

$$A_{ice} = 1402,5 \text{ m}^2,$$

$$t_{air} = 6 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$t_{ice} = -5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$Q_{convection} = \alpha_c \cdot A_{ice} \cdot (t_{air} - t_{ice}) = 74\,515,4 \text{ W}$$

B.2.1.2.2 Sálání

Hodnota tepelné zátěže sáláním stropní konstrukce je vypočtena pomocí rovnic č. (A.3) a (A.4). Na Obr č. 6 je znázorněný graf, ze kterého byla po dosazení rozměrů $L_1 = 56 \text{ m}$, $L_2 = 26 \text{ m}$ a $D = 8 \text{ m}$ odečtena hodnota $F_{ci} = 0,55$.

Po dosazení následujících hodnot do již zmíněných rovnic vychází požadovaný faktor šedého tělesa a tepelná zátěž sáláním stropní konstrukce takto:

$$A_{\text{ceiling}} = 1402,5 \text{ m}^2,$$

$$A_{\text{ice}} = 1402,5 \text{ m}^2,$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^{-4}),$$

$$T_{\text{ceiling}} = 298,15 \text{ K},$$

$$T_{\text{ice}} = 268,15 \text{ K},$$

$$\varepsilon_{\text{ceiling}} = 0,94,$$

$$\varepsilon_{\text{ice}} = 0,8,$$

$$F_{\text{ci}} = 0,55.$$

$$f_{\text{ci}} = \left[\frac{1}{F_{\text{ci}}} + \left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{ceiling}}} - 1 \right) + \frac{A_{\text{ceiling}}}{A_{\text{ice}}} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{ice}}} - 1 \right) \right]^{-1} = 0,469$$

$$Q_{\text{radiation}} = A_{\text{ceiling}} \cdot f_{\text{ci}} \cdot \sigma \cdot (T_{\text{ceiling}}^4 - T_{\text{ice}}^4) = 101\,893,7 \text{ W}$$

B.2.1.2.3 Kondenzace

Při výpočtu tepelné zátěže od kondenzace vodní páry jsou použity rovnice č. (A.5), (A.6), (A.7), (A.8) a (A.9) s dosazením následujících hodnot:

$$A_{\text{ice}} = 1402,5 \text{ m}^2,$$

$$t_{\text{air}} = 6 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$t_{\text{ice}} = -5 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\alpha_c = 4,83 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}),$$

$$\varphi = 0,65,$$

$$P_1 = 10^5 \cdot \exp\left(12,03 - \frac{4025}{235 + t_{\text{air}}}\right) = 936,1 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 10^5 \cdot \exp\left(17,391 - \frac{6142,83}{273,15 + t_{\text{ice}}}\right) = 401,7 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = \varphi \cdot P_1 - P_2 = 206,7 \text{ Pa} = 0,002067 \text{ bar}$$

$$\alpha_d = 1750 \cdot \alpha_c \cdot \frac{\Delta P}{\Delta T} = 1,589$$

$$Q_{\text{diffusion}} = \alpha_d \cdot A \cdot (t_{\text{air}} - t_{\text{ice}}) = 24\,506,8 \text{ W}$$

B.2.1.2.4 Osvětlení

Hodnota osvětlení je spočítána hrubým odhadem, kdy je uvažovaný celkový příkon svítidel 60 kW, přičemž přibližně 40 % tohoto příkonu se přemění na teplo.

$$Q_{lighting} = 24\,000,0\text{ W}$$

B.2.1.2.5 Vedení tepla z podloží ledu

Pro tepelnou zátěž vedením tepla z podloží ledové plochy je využita rovnice č. (A.10) a po dosazení příslušných hodnot je její velikost následující:

$$T_1 = -6\text{ K},$$

$$T_2 = 5\text{ K},$$

$$U_f = 0,203\text{ W/m}^2\cdot\text{K},$$

$$A_{ice} = 1402,5\text{ m}^2.$$

$$Q_{conduction} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{U_f}} \cdot A_{ice} = 3\,131,8\text{ W}$$

B.2.1.2.6 Rozvody chladiva

Rozvody chladiva nejsou v této části diplomové práce navrženy, proto je hodnota tepelné zátěže odhadnuta.

$$Q_{brineheaders} = 7\,000,0\text{ W}$$

B.2.1.2.7 Práce oběhového čerpadla

Oběhová čerpadla nejsou rovněž v této části diplomové práce navržena, proto je hodnota tepelné zátěže od dvou oběhových čerpadel odhadnuta.

$$Q_{brinepump} = 7\,000,0\text{ W}$$

B.2.1.2.8 Bruslaři, úprava ledové plochy

Tyto dvě tepelné zátěže nepůsobí nikdy ve stejnou dobu. Proto je pro výpočet zvolena zátěž větší hodnoty, tedy úpravou ledu. Pro tento výpočet je použita rovnice č. (A.12), do které jsou dosazeny následující hodnoty:

$$V_f = 0,6\text{ m}^3,$$

$$t_f = 35\text{ }^\circ\text{C},$$

$$t_i = -5\text{ }^\circ\text{C}.$$

$$Q_{resurfacing} = 1000 \cdot V_f [4,2 \cdot (t_f - 0) + 334 + 2 \cdot (0 - t_i)] = 294\,600,0\text{ W}$$

B.2.1.2.9 Celková tepelná zátěž

$$\begin{aligned} Q_{load} &= Q_{convection} \cdot Q_{radiation} \cdot Q_{diffusion} \cdot Q_{lighting} \cdot \\ &\cdot Q_{conduction} \cdot Q_{brineheaders} \cdot Q_{brinepump} \cdot Q_{resurfacing} = \\ &= 74\,515,4 + 101\,893,7 + 24\,506,8 + 24\,000,0 + 3\,131,8 + \\ &\quad + 7\,000,0 + 15\,000 + 294\,600,0 = \mathbf{544\,647,7\,W} \end{aligned}$$

B.2.1.3 Tepelný zisk prostupem obálkou zóny

Prvním krokem ve výpočtu potřeby tepla na vytápění je výpočet tepelných ztrát všech vytápěných prostorů. Podle výpočtu ztrát v programu PROTECH jsou jejich hodnoty následující:

Tepelná ztráta prostupem $Q_p = \mathbf{28\,532,9\,W}$

Celková tepelná ztráta $Q_c = \mathbf{37\,948,9\,W}$

B.2.1.4 Požadovaný chladicí výkon

Požadovaný výkon jednotky pro tvorbu ledu = $\mathbf{92\,176,2\,W}$

Požadovaný výkon na pokrytí tepelných zátěží = $\mathbf{544\,647,7\,W}$

Požadovaný výkon na pokrytí tepelného zisku prostupem obálky = $\mathbf{37\,948,9\,W}$

Největší množství tepelné zátěže na ledovou plochu produkuje úprava ledu rolbou. Jelikož úprava ledu a tvorba samotného ledu nikdy nenastanou zároveň je možné konstatovat, že z těchto dvou situací je možné zvolit pouze jednu, a to tu vyšší. V tomto případě se tedy jedná o úpravu ledu. Návrh chladicích jednotek může tedy vycházet jen z požadovaného výkonu na pokrytí tepelných zátěží, tepelného zisku prostupem obálkou zóny. Požadovaný výkon jednotek je $\mathbf{582,6\,kW}$. Tento výkon bude v závěru navýšen o požadovaný chladicí výkon pro chlazení vzduchu ve vzduchotechnické jednotce.

B.2.2 Výroba a distribuce tepla

B.2.2.1 Získávání tepla

Celkové dodané teplo musí pokrýt potřebu tepla na vytápění, ohřev teplé vody, ohřev podloží ledové plochy, potřebu pro technologii sněžné jámy, ohřev vzduchu ve vzduchotechnice a případně odvlhčení vzduchu. Je zde několik možností, jak získávat teplo potřebné pro provoz zimního stadionu.

První je pomocí kogeneračních jednotek, jelikož v zimním stadionu je rovněž velká spotřeba elektrické energie. Tato varianta by byla vhodná za určitých podmínek. Konkrétně v případě, že by bylo možné výhodně odebírat bio palivo například z nedaleké farmy. Dalším případem by bylo spojení provozu stadionu například s plaveckým bazénem, kde je velká potřeba tepla. Kogenerační jednotka by pro pokrytí potřeby elektrické energie vyrobila takové množství tepla, které by se v samotném stadionu muselo pravděpodobně mařit, a proto by bylo výhodné ho využít v jiném provozu.

Další možností je pomocí centrálního získávání tepla (CZT) z teplárny. Tato varianta by byla vhodnější než například kogenerace, nebo výroba tepla plynovými kotli. Nicméně vzhledem ke konceptu technických zařízení stadionu je nejvýhodnější a nejekologičtější odebírat odpadní teplo z chladicích jednotek a pomocí CZT pouze pokrývat špičky v potřebě tepla, na které by odpadní teplo nestačilo.

Vzhledem k nutnosti výroby velkého množství chladu je tedy využití odpadního tepla vzniklé v chladicích jednotkách nejvhodnější. Odběr tepla probíhá pomocí výměníků ve dvou místech chladicí jednotky, jak je znázorněno na schématu na *Obr. č. 32*.

Konkrétně se jedná o chlazení kompresorů, kde vzniká teplo o nižším potenciálu, které je vhodné využít například pro technologii sněžné jámy, kde se pomocí topného registru rozpouští sníh odebraný z ledové plochy. Dále je voda z roztátého sněhu filtrována, čištěna a ohřívána na požadovanou teplotu. Tato voda je následně použita pro další úpravu ledové plochy.

Druhým místem odběru odpadního tepla jsou kondenzátory. Odtud se přes výměník odebere teplo, které je následně předáno do akumulačního zásobníku. Ze zásobníku je dále

využíváno na pokrytí potřeby tepla zbylých zařízení. Případné přebytečné teplo je mařeno v chladicích věžích, které jsou umístěné na střeše objektu.

B.2.2.2 Vytápění místností

Tab. č. 9: Teploty přiváděného vzduchu 1

Místnost	Teplota [°C]
Vstupní hala	nevytápěná
Recepce	20
Ošetřovna	20
Šatny	20
Sprchy	24
WC návštěvníci	18

Tab. č. 10: Teploty přiváděného vzduchu 1

Místnost	Teplota [°C]
Bufet	20
Sklad bufet	15
Sklady	15
Broušení bruslí	20
Velín	20
Tech. místnosti	nevytápěné

Prvním krokem ve výpočtu potřeby tepla na vytápění je výpočet tepelných ztrát všech vytápěných prostorů. Podle výpočtu ztrát v programu PROTECH jsou jejich hodnoty následující:

Tepelná ztráta prostupem - hala $Q_p = 18\ 464\ W$

Tepelná ztráta prostupem – zázemí $Q_p = 10\ 914\ W$

Celková tepelná ztráta $Q_c = 39\ 073\ W$

B.2.2.2.1 Potřeba tepla na vytápění

Potřeba tepla na vytápění byla spočítána pomocí denostupňové metody následujícím výpočtem:

Průměrná vnitřní teplota objektu:

V_i objem místnosti [m³]

t_i teplota vzduchu v místnosti [°C]

$$t_{is} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (\text{B.5})$$

$$t_{is} = 20,2\ ^\circ\text{C}$$

Součinitel nesoučasnosti přírážek pro výpočet tepelných ztrát:

$$\varepsilon = \frac{Q_p}{Q_c} \quad (\text{B.6})$$

$$\varepsilon = 0,6$$

Potřeba tepla:

počet dnů otopného období $d = 242$,

průměrná vnitřní teplota objektu $t_{is} = 20,2 \text{ }^\circ\text{C}$,

průměrná venkovní teplota za otopné období $t_{es} = 3,6 \text{ }^\circ\text{C}$,

výpočtová venkovní teplota $t_{ev} = -12 \text{ }^\circ\text{C}$,

opravný součinitel na snížení vnitřní teploty při přerušení vytápění $e_t = 0,9$,

opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy při přerušovaném vytápění $e_d = 1$,

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_c \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_{es})} \cdot \varepsilon \cdot e_t \cdot e_d \quad (\text{B.7})$$

$$Q_{VYT,teor} = 227,67 \text{ GJ/rok}$$

účinnost rozvodu tepelné energie $\eta_R = 0,96$,

účinnost regulace $\eta_o = 0,96$,

účinnost zdroje tepla $\eta_k = 0,9$.

$$Q_{VYT} = \frac{Q_{VYT,teor}}{\eta_R + \eta_o + \eta_k} \quad (\text{B.8})$$

$$Q_{VYT} = 277,4 \text{ GJ/rok} = 77,1 \text{ MWh/rok}$$

B.2.2.3 Ohřev podloží ledové plochy

Pro ohřev podloží ledové plochy se uvažuje hodnota požadovaného topného výkonu 10 W/m^2 , což při ploše ledu $1\,402,5 \text{ m}^2$ je celkem **14 025 W**.

$$Q_{VYT, \text{podloží}} = 442,3 \text{ GJ/rok} = 122,9 \text{ MWh/rok}$$

B.2.2.4 Příprava teplé vody

Teplá voda (TV) je na zimním stadionu potřebná jako užitková do sprch, umýváren, WC, bufetu a dalších místností, a také v technologii sněžné jámy, kde je rozpouštěn sníh odebraný z ledové plochy a následně je voda z něj ohřívána pro další úpravu ledu rolbou.

B.2.2.4.1 Teplá voda pro sprchy, umývárny a další provozy

Potřeba TV:

Pro výpočet potřeby teplé vody byla zvolena perioda 1,5 hodiny, což odpovídá běžnému nájmu ledové plochy. Množství vody odebrané v jednotlivých zařizovacích předmětech bylo zvoleno následovně:

umyvadlo = 2 l/per

sprcha = 24/per

Počty lidí, využívající umývárny, jsou navrženy na základě průměru rozvrhů obsazenosti ledové plochy.

počet lidí za den = 300 os

maximální počet lidí za jednu periodu = 55 os

Potřeba teplé vody je tedy $V_p = 8\,100 \text{ l/den}$ a maximální odběr vody za jednu periodu (1,5 hodiny) je $V_{\text{hod,max}} = 1\,485 \text{ l/per}$. Z těchto hodnot je možné dopočítat energii potřebnou pro její ohřev.

Potřeba tepla na ohřev TV:

Pomocí následující rovnice, ve které je započítána i ztráta tepla při ohřevu a dopravě, a dosazením následujících hodnot, vychází potřeba tepla takto:

množství vody $V_p = 8\,100 \text{ l/den} = 8,1 \text{ m}^3/\text{den}$,

měrná tepelná kapacita vody $c_{\text{water}} = 4180 \text{ J/kg.K}$,

hustota vody $\rho_{\text{water}} = 1000 \text{ kg/m}^3$,

teplota vody v zimě $t_{w,1} = 8 \text{ }^\circ\text{C}$,

teplota vody $t_{w,2} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$,

$$\begin{aligned} Q_{\text{water}} &= 1,5 \cdot V_p \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{w,2} - t_{w,1}) = 1,5 \cdot 8,3 \cdot 1000 \cdot 4180 \cdot (55 - 8) = \\ &= \mathbf{871,7 \text{ GJ/rok} = 242,2 \text{ MWh/rok}} \end{aligned}$$

B.2.2.4.2 Teplá voda pro sněžnou jámu a ohřev zaplavovací vody

Pro výpočet potřeby tepla pro roztátí sněhu ve sněžné jámě a následný ohřev vody na požadovanou teplotu $35 \text{ }^\circ\text{C}$, která je vhodná pro další úpravu ledu, je možné použít stejné vztahy, které byly již uvedeny v kapitole č. B.2.1.1 *Chlazení ledu*. Ve výpočtu se uvažuje s celkovým počtem 8 úprav ledové plochy rolbou za den, přičemž při každé úpravě se odebere $2,5 \text{ m}^3$ sněhu.

Pro výpočet jsou uvažovány následující hodnoty:

$m_{\text{ice}} = 20 \text{ m}^3/\text{den}$,

$t_{\text{water}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$,

$t_{\text{ice}} = -2 \text{ }^\circ\text{C}$,

$c_{\text{water}} = 4180 \text{ J/kg.K}$,

$c_{\text{ice}} = 2090 \text{ J/kg.K}$,

$\rho_{\text{water}} = 1000 \text{ kg/m}^3$,

$\rho_{\text{ice}} = 917 \text{ kg/m}^3$,

$l_t = 334 \text{ kJ/kg}$.

$$Q_1 = m \cdot c_{\text{ice}} \cdot (0 - t_{\text{ice}}) = 76,7 \text{ MJ}$$

$$Q_2 = m \cdot l_t = 6\,125,6 \text{ MJ}$$

$$Q_3 = m \cdot c_{\text{water}} \cdot (t_{\text{water}} - 0) = 2\,926,0 \text{ MJ}$$

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 9\,128,2 \text{ MJ}$$

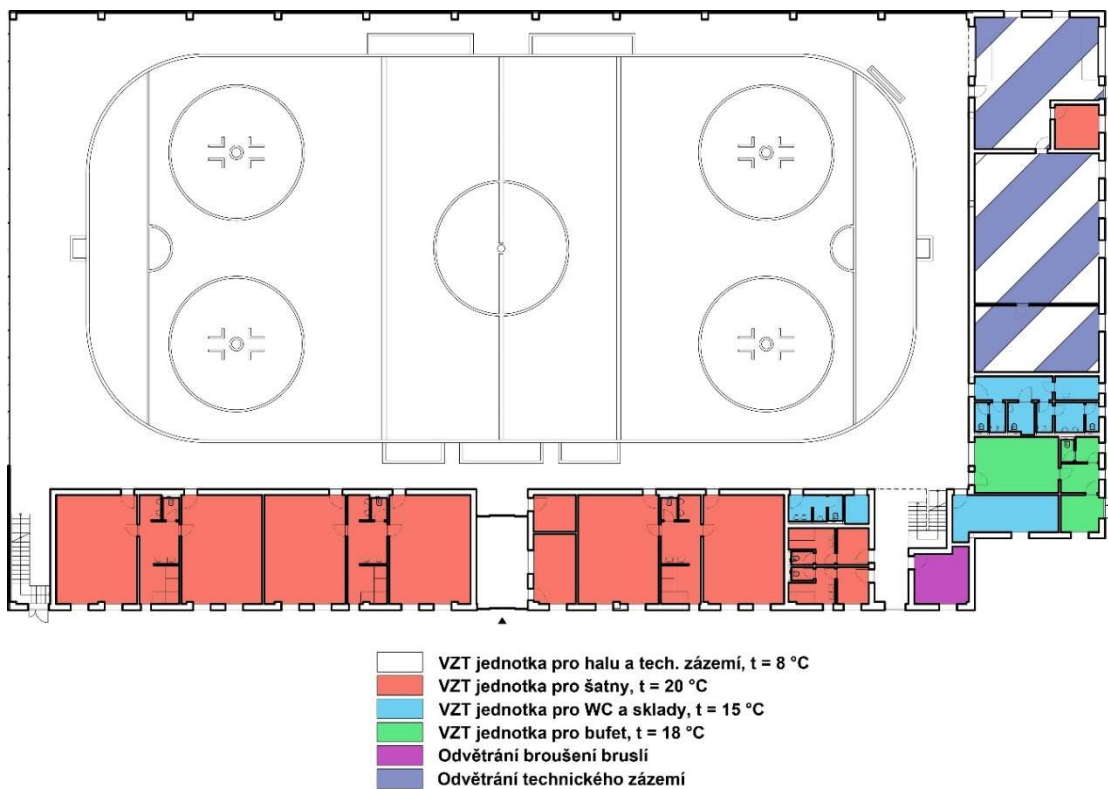
$$Q_{\text{total,+20\%}} = \mathbf{10\,953,9 \text{ MJ}}$$

$$Q_{\text{melting}} = \mathbf{166,6 \text{ GJ/rok} = 46,3 \text{ MWh/rok}}$$

B.2.3 Vzduchotechnické systémy

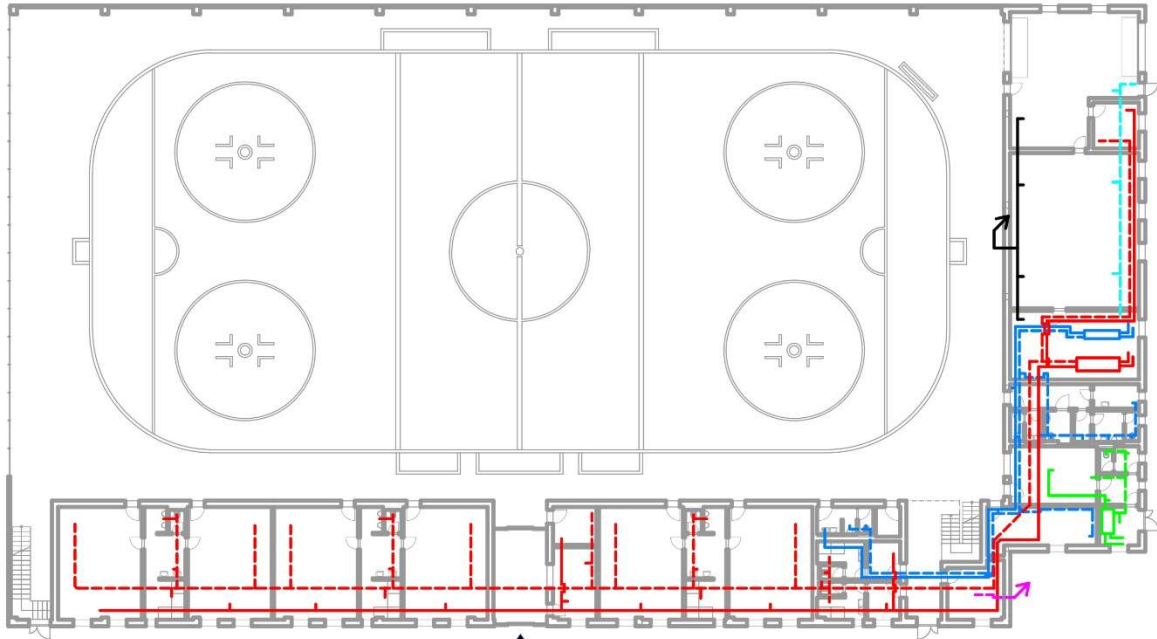
V této kapitole je popsán návrh vzduchotechnických (VZT) systémů. Podrobnější výpočty a výkresy se nachází ve výpočtové a výkresové části diplomové práce. Konkrétní popis větrání všech prostorů je uveden v technické zprávě.

Prvním krokem pro návrh těchto systémů bylo rozdělení zimního stadionu na zóny podle užívání jednotlivých místností a požadovaných teplot přiváděného vzduchu. V následujícím schématu (Obr. č. 33) je znázorněno rozdělení stadionu na části podle navrhovaných VZT jednotek a teplot přiváděného vzduchu. Větrání haly a hlediště je spojené, jelikož se jedná o menší tréninkovou halu s kapacitou hlediště 200 míst.

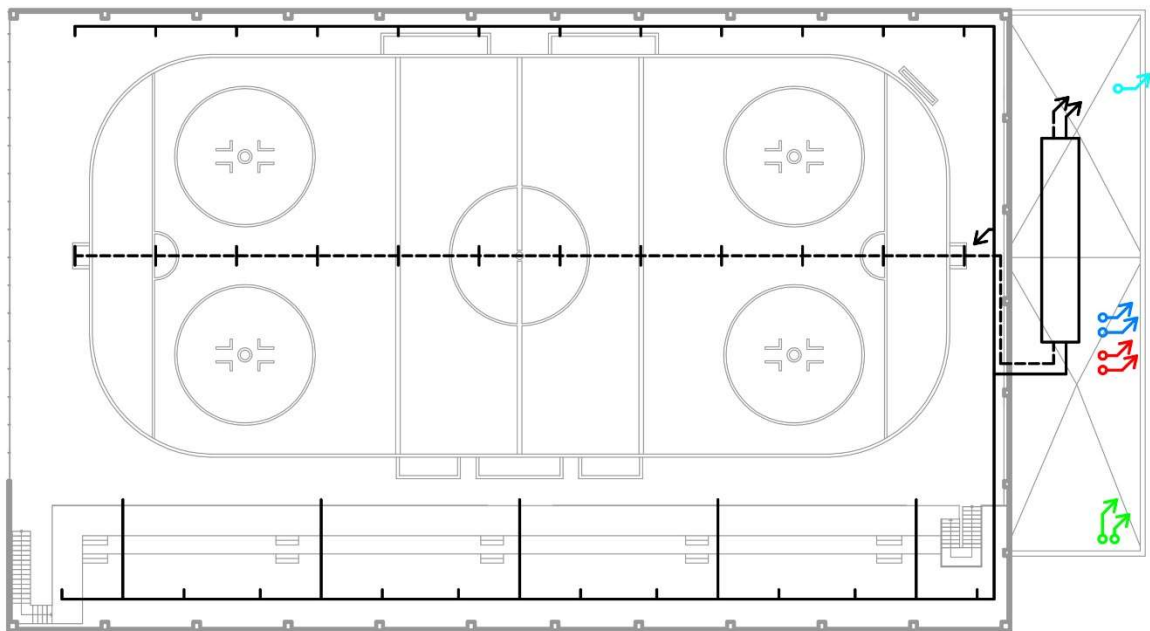


Obr. č. 33: Zónování stadionu podle příslušných VZT jednotek

1.NP



2.NP



—	Přívod vzduchu AHU A1	- - -	Odvod vzduchu AHU A1
—	Přívod vzduchu AHU A2	- - -	Odvod vzduchu AHU A2
—	Přívod vzduchu AHU A3	- - -	Odvod vzduchu AHU A3
—	Přívod vzduchu AHU A4	- - -	Odvod vzduchu AHU A4
—	Odvod vzduchu AHU A5	- - -	Odvod vzduchu AHU A6

Obr. č. 34: Koncepční schéma rozvodů VZT pro 1.NP a 2.NP

C Návrh vzduchotechnických zařízení

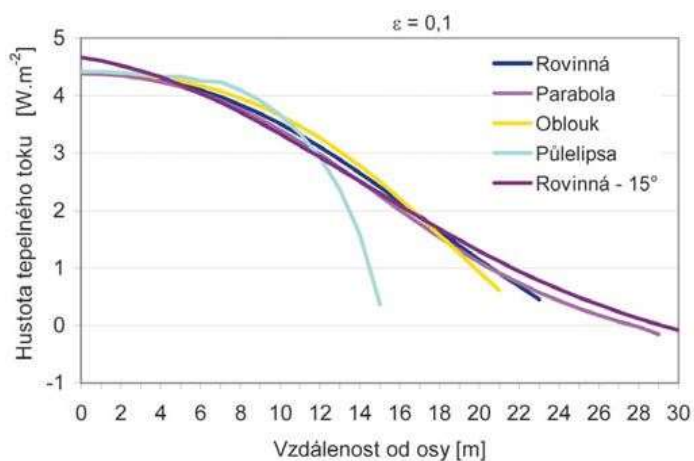
C.1 Větrání haly, hlediště a technického zázemí – AHU A1

Vzduchotechnická jednotka s označením AHU A1 zajišťuje výměnu vzduchu pro halu s ledovou plochou, hlediště a přívod vzduchu do strojovny VZT, strojovny chlazení a místnosti pro rolbu a sněžnou jámu. Tato jednotka je nejdůležitějším vzduchotechnickým zařízením na stadionu, jelikož zajišťuje kvalitu vzduchu u ledové plochy. Tento prostor má velice specifické vlastnosti, jelikož obzvláště v letním období se zde vyskytuje velké množství vlhkosti a také požadovaná teplota vzduchu je dle doporučení IIHF 6 °C v úrovni 1,5 m nad povrchem ledové plochy. Teorie k vlhkostní problematice je popsána v kapitole č. A.3.1.2 *Odvlhčení vzduchu*.

C.1.1 Výpočet množství vzduchu

C.1.1.1 Množství přiváděného vzduchu:

Přiváděný vzduch do haly není prvotně určen pro odvádění tepelné zátěže. Ty pokryje systém chlazení, kvůli menší energetické náročnosti. Nicméně teplota přiváděného vzduchu je ovlivněna chlazením ledové plochy. Proto je v první řadě potřebné zjistit, zda celkové množství přiváděného vzduchu má být navrženo právě na toto kritérium.



Obr. č. 35: Graf hustoty tepelného toku od střešní konstrukce [26]

Z grafu výše (Obr. č. 35) je třeba nejprve odečíst hodnotu hustoty tepelného toku, která je ovlivněna materiálem konstrukce střechy a jeho emisivitou, tvarem střechy. Šířka ledové plochy je 26 m, proto byla zvolena průměrná hodnota hustoty toku $3,8 \text{ W/m}^2$. Při ploše ledu $1\,402,5 \text{ m}^2$ je celková tepelná ztráta:

$$Q_{ice} = 5\,329,5 \text{ W}$$

Množství přiváděného vzduchu je tedy spočítáno následovně:

$$\rho_{air} = 1,2 \text{ kg/m}^3,$$

$$c_{air} = 1010 \text{ J/kg.K},$$

$$t_p = 8 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$t_i = 6 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$V_p = \frac{Q_{ice}}{\rho \cdot c \cdot (t_p - t_i)} = 8\,296,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Největším kritériem pro množství přiváděného vzduchu bývá odvod vlhkosti. Nicméně vzhledem k volbě VZT jednotky, která je popsána níže v části *C.1.4 Návrh jednotky AHU A1*, bylo zvoleno množství přiváděného vzduchu do haly podle minimální jednonásobné výměny vzduchu. Pro místnost pro rolbu, strojovnu VZT a strojovnu chlazení byla zvolena násobnost výměny vzduchu 0,3/hod. Výsledné množství přiváděného vzduchu pomocí VZT jednotky AHU A1 je:

$$\text{Hala} = 20\,965 \text{ m}^3/\text{hod},$$

$$\text{Místnost pro rolbu} = 65 \text{ m}^3/\text{hod},$$

$$\text{Strojovna VZT} = 40 \text{ m}^3/\text{hod},$$

$$\text{Strojovna chlazení} = 85 \text{ m}^3/\text{hod},$$

$$\text{Celkem } V_{p,A1} = 21\,155 \text{ m}^3/\text{hod}$$

V případě letního období je pro úsporu energie za chlazení a odvlhčení zajištěné směšování odváděného vzduchu se vzduchem čerstvým. Minimální množství čerstvého venkovního vzduchu bylo určeno na základě počtu lidí v hale. Tato hodnota byla stanovena na $9\,000 \text{ m}^3/\text{h}$.

Složení přiváděného vzduchu pro letní období:

$$V_{p,A1} = 21\,155 \text{ m}^3/\text{hod}$$

$$V_{e,A1} = 9\,000 \text{ m}^3/\text{hod}$$

$$V_{c,A1} = 12\,155 \text{ m}^3/\text{hod}$$

C.1.1.2 Množství odváděného vzduchu:

Odvod vzduchu z místností technického zázemí je zajištěn samostatným střešním ventilátorem, v projektové dokumentaci značeným jako jednotka A6. Takto navržené odvětrání je z důvodu bezpečnosti, aby v jednotce AHU A1 nedocházelo k míchání čistého vzduchu s případnými škodlivými látkami, které teoreticky mohou unikat v těchto místnostech.

V hale je požadavek na vytvoření podtlaku 5 %. Je to z důvodu zamezení úniku chladu prouděním vzduchu do jiných částí stadionu. Proto je odvod vzduchu o tento podíl navýšený. Celkové množství odváděného vzduchu pomocí jednotky AHU A1 je:

$$\text{Celkem } V_{o,A1} = 22\,015 \text{ m}^3/\text{hod}$$

C.1.2 Množství vlhkosti vzniklé v hale

Nejzásadnějším kritériem pro návrh VZT jednotky v hale s ledovou plochou je výpočet množství vlhkosti. Největšími zdroji je přívod venkovního vlhkého vzduchu při větrání, odpar vody z ledové plochy, produkce lidmi a produkce rolbou při úpravě ledu.

Odpařením vody z ledové plochy:

součinitel odparu $\varepsilon = 5 \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h})$ – hodnota pro klidnou vodní hladinu,

plocha ledu $A_{ice} = 1402,5 \text{ m}^2$,

tlak syté vodní páry při teplotě ledu $p_s = 0,4369 \text{ kPa}$,

tlak syté vodní páry při teplotě ledu $p_d = 0,935 \text{ kPa}$,

$$m_w = \varepsilon \cdot A_{ice} \cdot (p_s - p_d) \tag{C.1}$$

$$m_{w,ice} = 34\,929,5 \text{ g/h} = 34,9 \text{ kg/h}$$

Produkce od lidí:

Tab. č. 11: Produkce vodní páry od lidí

Osoby	Počet	Produkce vodní páry [g/h]
Hráči	44	500
Diváci	250	50
Zaměstnanci	5	80

$$m_{w,people} = 34\,900 \text{ g/h} = 34,9 \text{ kg/h}$$

Produkce od úpravy ledu rolbou:

Při jedné úpravě ledové plochy se vyprodukuje 15–25 kg vody. Pro výpočet byla zvolena nepříznivější hodnota, tedy 25 kg/rolbování.

Celkové množství vlhkosti vzniklé v hale:

Jelikož v době úpravy ledu nebývají hráči přítomni v hale, je možné uvažovat množství vodní páry pouze produkované lidmi a odparem z ledové plochy. Celkové množství vlhkosti vzniklé v hale je tedy součtem $m_{w,ice} = 34\,929,5 \text{ g/h}$ a $m_{w,people} = 34\,900 \text{ g/h}$.

$$\text{Celkové množství vodní páry od vnitřních zdrojů } G = 68\,830 \text{ g/h}$$

C.1.3 Požadovaná měrná vlhkost přiváděného venkovního vzduchu

Dalším zdrojem vlhkosti, který nebyl zahrnutý do výpočtu celkového množství vodní páry, je přiváděný venkovní vzduch. Ten je rovněž nutný do návrhu úpravy přiváděného vzduchu zahrnout. Proto následujícími výpočty bylo určeno požadované množství měrné vlhkosti přiváděného vzduchu tak, aby dokázal odebrat vlhkost vytvořenou vnitřními zdroji.

množství vodní páry od vnitřních zdrojů $G = 68\,830 \text{ m}^3/\text{h}$,

množství přiváděného vzduchu $V_p = 21\,155 \text{ m}^3/\text{h}$,

hustota vnitřního vzduchu při 6 °C $\rho_{air,i} = 1,22 \text{ kg/m}^3$,

požadovaná měrná vlhkost vzduchu v hale $x_i = 4 \text{ g/kg s.v.}$,

Teoretická měrná vlhkost vzduchu od vnitřních zdrojů:

$$x_z = \frac{G}{V_p \cdot \rho_{air,i}} \quad (C.2)$$

$$x_z = 2,7 \text{ g/kg s. v.}$$

Požadovaná měrná vlhkost přiváděného vzduchu:

$$x_p = x_i - x_z \quad (C.3)$$

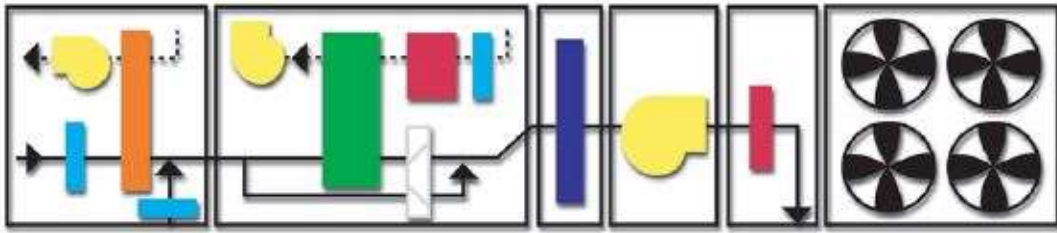
$$x_p = 1,3 \text{ g/kg s. v.}$$

C.1.4 Návrh jednotky AHU A1

Nejzásadnějším problémem v hale zimního stadionu je příliš velké množství vlhkosti, proto je důležité navrhnout jednotku, která tuto vlhkost dokáže eliminovat. Pro návrh systému odvlhčení se nabízely dvě nejvhodnější možnosti.

První možnost byla návrh klasické vzduchotechnické jednotky, kde je část vzduchu odvlhčena pomocí kondenzačního odvlhčení. V tomto případě by ovšem bylo možné odebrat pouze určité množství vlhkosti. Proto by tato jednotka byla navržena pouze na odebrání vlhkosti přiváděného vzduchu a dále by bylo nutné zajistit druhou jednotku, která by adsorbčním odvlhčením odebrala vlhkost vzniklou uvnitř haly. Konkrétně tedy vlhkost vyprodukovanou uživateli a odparem z ledové plochy. Vzhledem k množství energie potřebné pro kondenzační odvlhčení bylo výhodnější zvolit možnost druhou.

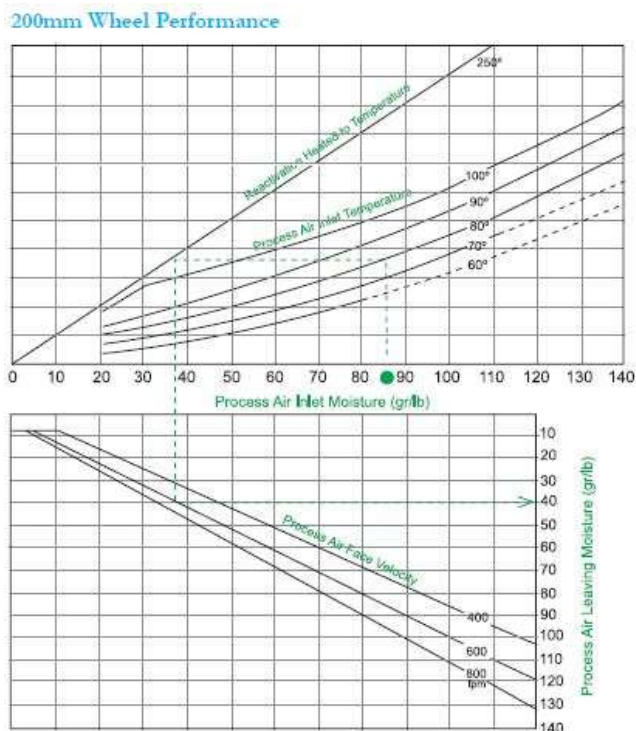
Tato možnost spočívá na použití speciální VZT jednotky, která je určena do provozů se zvýšeným množstvím vlhkosti, tedy například pro bazény, zimní stadiony a podobně. Konkrétně se jedná o jednotku DryCool DDS od společnosti Munters.



Obr. č. 36: Schéma VZT jednotky Munters DDS [24]

Jednotka je speciální tím, že je v ní zabudovaný systém adsorbčního odvlhčování. Na obrázku výše (Obr. č. 36) je znázorněno její schéma. V prvním modulu jednotky přiváděný vzduch odebere teplo, případně chlad odváděnému vzduchu pomocí regeneračního výměníku a následně se smíchá s cirkulačním vzduchem. V druhém modulu dochází k odvlhčení vzduchu pomocí již zmíněného adsorbčního odvlhčovače v podobě kola, v němž jako adsorbent je použitý Titanium Silica Gel. Reaktivací vzduch, který vysušuje toto kolo je ohříván plynovým ohříváčem. V následujících modulech je umístěno chlazení, dále ventilátor a dohřev.

Vzhledem k objemu přiváděného a odváděného vzduchu byla navržena jednotka konkrétního typu **Munters DDS-30-3 s regeneračním výměníkem 1001**. Pro návrh vhodného typu kola pro odvedení vypočteného množství vlhkosti byl použit graf uvedený níže (Obr. č. 37).



Obr. č. 37: Graf množství vlhkosti odvedené kolem o tloušťce 200 mm [24]

Pro odvod požadovaného množství vlhkosti bylo zvoleno kolo a tloušťce 200 mm. Po odečtení hodnot z grafu bylo určeno, že přiváděný vzduch je nutné ohřát na 15,6 °C (60 °F) a rychlost bude 2 m/s (400 fpm). Teplota reaktivačního vzduchu je 121,1 °C (250 °F).

C.1.5 Úprava vzduchu v jednotce

Okrajové podmínky pro úpravu vzduchu v letním a zimním období jsou následující:

teplota venkovního vzduchu v zimě $t_{e,z} = 32$ °C,

relativní vlhkost venkovního vzduchu v zimě $\varphi_{e,z} = 73$ %,

teplota venkovního vzduchu v létě $t_{e,l} = 32$ °C,

relativní vlhkost venkovního vzduchu v létě $\varphi_{e,l} = 30$ %,

teplota přiváděného vzduchu $t_p = 8$ °C,

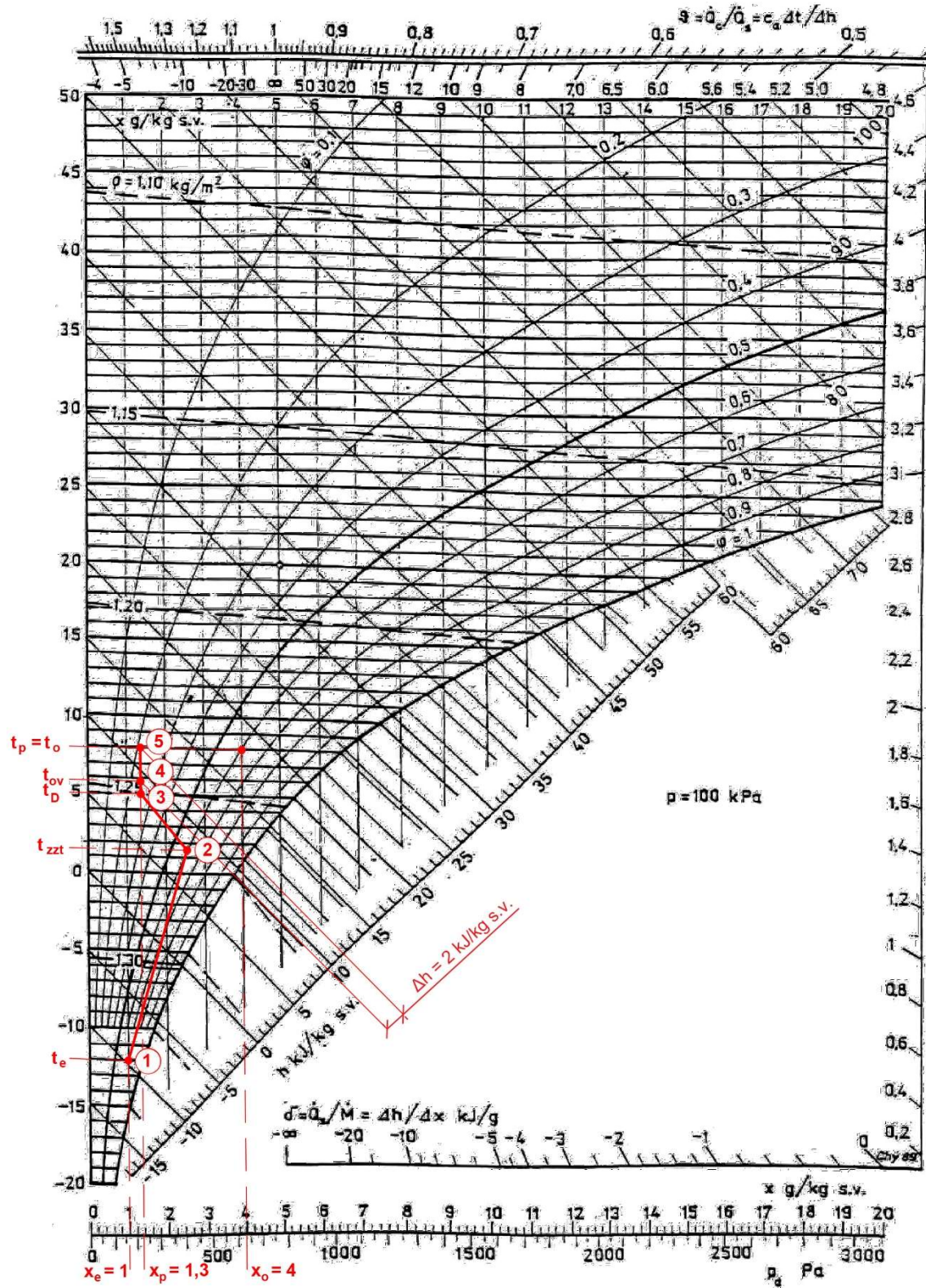
měrná vlhkost přiváděného vzduchu $x_p = 4$ g/kg s.v.,

teplota odváděného vzduchu $t_o = 8$ °C,

relativní vlhkost odváděného vzduchu $\varphi_o = 70$ %

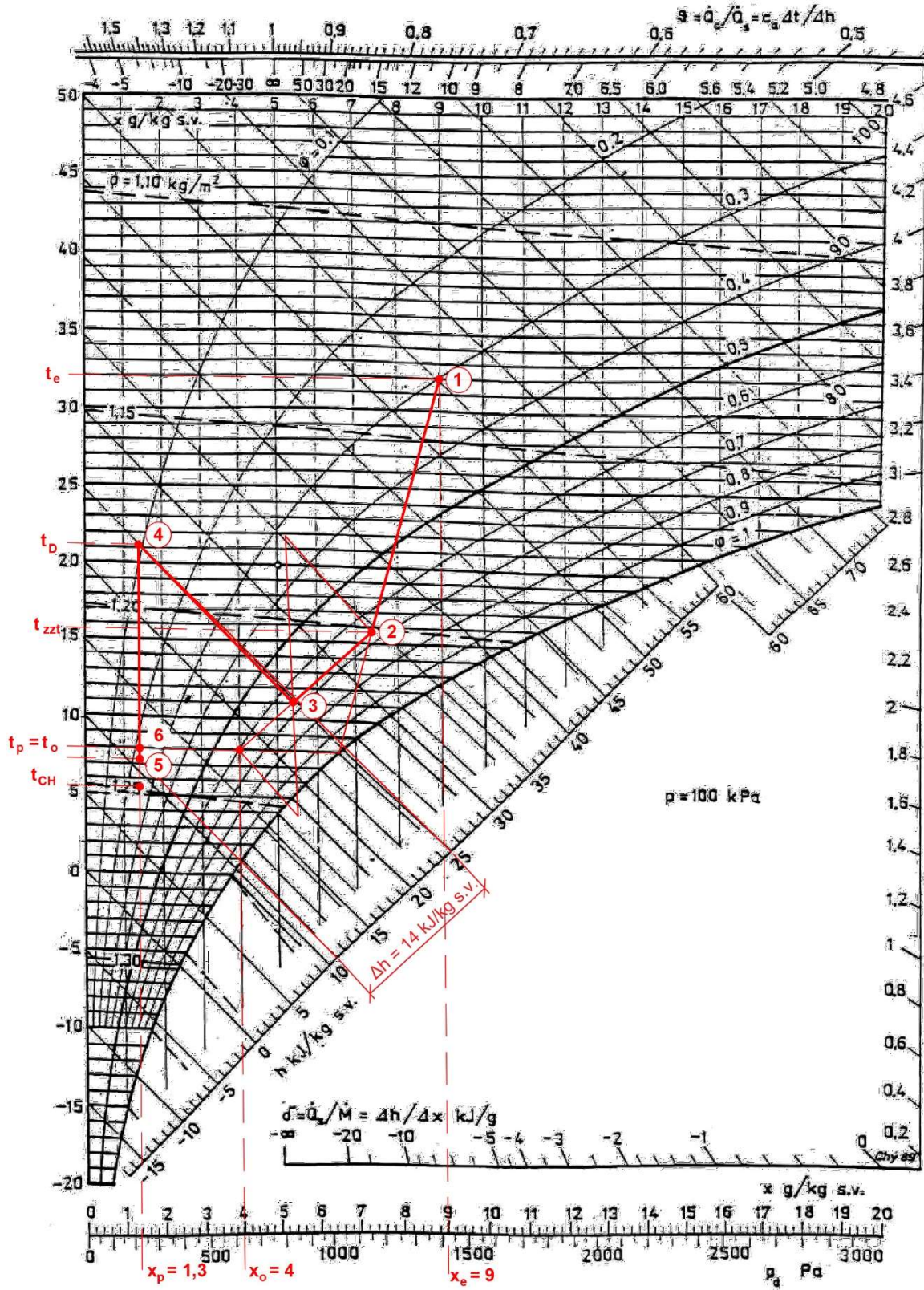
účinnost regenerace = 68 %.

Zimní stav:



Obr. č. 38 Úprava vzduchu v AHU A2 – zimní stav

Letní stav:



Obr. č. 39 Úprava vzduchu v AHU A1 – letní stav

Zimní stav:

Tab. č. 12: Vlastnosti vzduchu v jednotlivých fázích úpravy pro zimní stav

Úprava vzduchu	V bodě	Teplota t [°C]	Relativní vlhkost ρ [%]	Měrná vlhkost x [g/kg s.v.]
Venkovní vzduch →	1	-12	73	1
→ ZZT →	2	1,6	60	2,5
→ SMĚŠOVÁNÍ →	-	-	-	-
→ ODVLHČENÍ (ADS.) →	3	5,0	25	1,3
→ CHLAZENÍ →	-	-	-	-
→ OHŘEV VENTILÁTOREM →	4	5,8	22	1,3
→ DOHŘEV	5	8,0	22	1,3
Přiváděný vzduch →	-	8	22	1,3
Odváděný vzduch →	-	8	60	4

Měrná vlhkost k odvlhčení v jednotce:

$$x_D = x_2 - x_4 \quad (C.4)$$
$$x_D = 1,2 \text{ g/kg s.v.}$$

Množství vodní páry:

$$G = x_d \cdot V_p \cdot \rho_{air} \quad (C.5)$$
$$G = 31\,733 \text{ g/h}$$

Nárůst teploty adsorbčním odvlhčením:

měrná vlhkost $x_D = 1,2 \text{ g/kg s.v.} = 8,4 \text{ gr/lb}$ (dle technických listů Munters),

nárůst teploty = $0,4 \text{ °C}$ na 1 gr/lb ,

$$\Delta t_D = 3,4 \text{ °C}$$

Ohřev vzduchu ventilátorem:

$$\Delta t_F = 0,8 \text{ °C}$$

Výkon ohřivače:

$\Delta h = 2 \text{ kJ/kg s.v. (z H-X diagramu)}$,

hustota vzduchu v zimním období $\rho_{air,z} = 1,25 \text{ kg/m}^3$,

$$m = \frac{\rho_{air,z} \cdot V_p}{3600} \quad (C.6)$$

$$m = 7,3 \text{ kg/s}$$

$$Q_{heating} = \Delta h \cdot m \quad (C.7)$$

$$Q_{heating,A1} = 14,7 \text{ kW}$$

Letní stav:

Tab. č. 13: Vlastnosti vzduchu v jednotlivých fázích úpravy pro letní stav

Úprava vzduchu	V bodě	Teplota t [°C]	Relativní vlhkost ρ [%]	Měrná vlhkost x [g/kg s.v.]
Venkovní vzduch →	1	32	30	9
→ ZZT →	2	15,7	68	7,1
→ SMĚŠOVÁNÍ →	3	10,2	66	5,2
→ ODVLHČENÍ (ADS.) →	4	21,1	10	1,3
→ CHLAZENÍ →	5	7,2	28	1,3
→ OHŘEV VENTILÁTOREM →	6	8,0	22	1,3
→ DOHŘEV	-	-	-	-
Přiváděný vzduch →	-	8	22	1,3
Odváděný vzduch →	-	8	60	4

Měrná vlhkost k odvlhčení v jednotce:

$$x_D = x_3 - x_6 \quad (C.8)$$

$$x_D = 3,9 \text{ g/kg s.v.}$$

Množství vodní páry:

$$G = x_d \cdot V_p \cdot \rho_{air} \quad (C.9)$$

$$G = 90\,755 \text{ g/h}$$

Nárůst teploty adsorbčním odvlhčením:

měrná vlhkost $x_D = 3,9 \text{ g/kg s.v.} = 27,3 \text{ gr/lb}$ (dle technických listů Munters),

nárůst teploty = $0,4 \text{ °C}$ na 1 gr/lb ,

$$\Delta t_D = 10,9 \text{ °C}$$

Ohřev vzduchu ventilátorem:

$$\Delta t_F = 0,8 \text{ °C}$$

Výkon ohříváče:

$\Delta h = 2 \text{ kJ/kg s.v.}$ (z *H-X diagramu*),

hustota vzduchu v zimním období $\rho_{air,l} = 1,1 \text{ kg/m}^3$,

$$m = \frac{\rho_{air,l} \cdot V_p}{3600} \quad (\text{C.10})$$

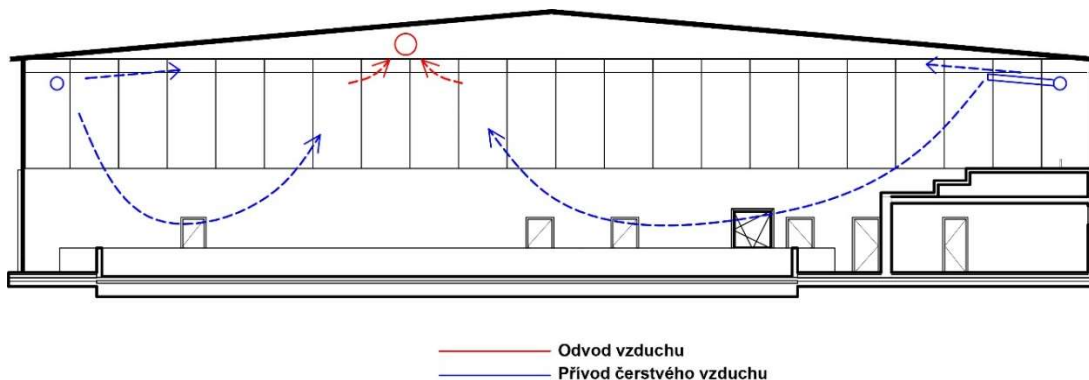
$$m = 6,5 \text{ kg/s}$$

$$Q_{cooling} = \Delta h \cdot m \quad (\text{C.11})$$

$$Q_{cooling,A1} = 90,5 \text{ kW}$$

C.1.6 Distribuce vzduchu

Vzduchotechnická jednotka pro halu a technické zázemí je umístěna na střeše. Z ní vede potrubí do haly, kde je vedeno pod střechou. Jak je vidět na obrázku níže (Obr. č. 40), přívodní potrubí je vedeno podél obou delších stran stadionu. Jedna větev potrubí je umístěna nad tribunami, kde část vzduchu je pomocí mřížek v potrubí přiváděna přímo nad tribunu a slouží k ofukování střešní konstrukce, což eliminuje kondenzaci vodní páry a případné odkapávání na ledovou plochu. Další část vzduchu je přiváděna pomocí trysek, které jsou nasměrovány přímo na ledovou plochu a odvádí tak vzniklou vlhkost. Přívodní větev na druhé straně haly je navržena stejným způsobem, pouze vzhledem k menší vzdálenosti k ledové ploše jsou jako distribuční prvky pro odvod vlhkosti od ledu navrženy rovněž přívodní mřížky. Z této větve je rovněž odvedena část vzduchu pro technické zázemí haly, kde je vzduch distribuován rovněž mřížkami. Odvod vzduchu je zajištěn potrubím nad osou ledové plochy a vzduch je odsáván opět pomocí mřížek.



Obr. č. 40: Schéma potrubí a proudění vzduchu v hale – řez

Jak na odvodním, tak na přívodním potrubí jsou navrženy tlumiče hluku. Pro jejich návrh byl použit online výpočet na webové stránce mart.cz. Oba tlumiče jsou o rozměrech 850 x 850 mm s délkou 1 000 mm se pěti kulisami o šířce 100 mm.



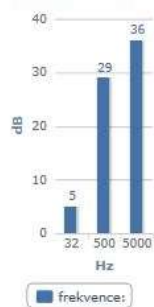
VÝSLEDNÉ HODNOTY

frekvence:	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	součtová hladina	[]
přenosový útlum	5	6	10	19	33	53	48	40	24	-	dB
vlastní hluk tlumiče	24	32	37	41	44	45	42	37	29	50	dB (A)
hl. akust. výkonu za tlumičem s váh. filt. A:	24	55	63	71	63	49	48	62	66	74	dB (A)

VÝSLEDNÉ HODNOTY

frekvence:	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	součtová hladina	[]
přenosový útlum	5	6	10	19	33	53	48	40	24	-	dB
vlastní hluk tlumiče	23	31	36	40	43	44	40	35	27	49	dB (A)
hl. akust. výkonu za tlumičem s váh. filt. A:	23	51	65	65	58	45	45	50	51	69	dB (A)

VYBRANÉ FREKVENCE:



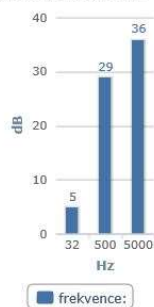
TLAKOVÁ ZTRÁTA TLUMIČE:

tlaková ztráta:	159	Pa
plocha tlumiče:	0,72	m ²

RYCHLOST PROUDĚNÍ:

v celkovém průřezu:	8,5	m/s
ve volné ploše:	20,6	m/s

VYBRANÉ FREKVENCE:



TLAKOVÁ ZTRÁTA TLUMIČE:

tlaková ztráta:	146	Pa
plocha tlumiče:	0,72	m ²

RYCHLOST PROUDĚNÍ:

v celkovém průřezu:	8,1	m/s
ve volné ploše:	19,7	m/s

Obr. č. 41: Návrh tlumiče hluku pro AHU A1 – přívodní potrubí [vygenerováno softwarem Mart.cz]

Obr. č. 42: Návrh tlumiče hluku pro AHU A1 – odvodní potrubí [vygenerováno softwarem Mart.cz]

Přesné návrhy potrubí a distribučních prvků a výpočty tlakových ztrát jsou součástí výpočtové části této diplomové práce. Výsledný externí statický tlak ventilátorů jednotky je **510 Pa** pro přívod vzduchu a **370 Pa** pro odvod vzduchu.

C.2 Větrání šaten, sprch, ošetřovny, recepce a velínu – AHU A2

Vzduchotechnická jednotka s označením AHU A2 zajišťuje přívod i odvod vzduchu pro šatny, sprchy, ošetřovnu, recepci a velín. Systém větrání pro šatny je navržen tak, že pro jednu dvojici šaten, kde je přívod vzduchu, jsou společné sprchy, umývárna, WC a pisoáry, kde je umístěn odvod vzduchu. Do těchto místností pomocí dveřních a stěnových mřížek je odváděna jen část celkového množství přiváděného vzduchu. Pro zbylou část je zajištěn odvod přímo z jednotlivých šaten. U recepce a ošetřovny je v obou případech zajištěn rovnotlaký odvod i přívod.

C.2.1 Výpočet množství vzduchu

Jednotka AHU A2 nemá za úkol pokrýt tepelné ztráty, případně zisky, proto je množství přiváděného vzduchu do šaten navrženo na počet lidí. Šatna má kapacitu 25 míst a při požadovaném množství čerstvého vzduchu na osobu 25 m³/h vychází celkové množství 625 m³/h na šatnu pro hráče. Šatna pro trenéry a šatna pro rozhodčí mají kapacitu 4 místa. Množství přiváděného a odváděného množství na šatnu je 100 m³/h. Toto množství je ovšem navýšeno na 450 m³/h na základě minimální výměny vzduchu ve sprchách a na WC.

V ošetřovně byla navržena minimální výměna vzduchu 0,5/h, což vychází na přívod a odvod vzduchu 9,3 m³/h. Nicméně přívodní prvky nejmenších rozměrů nebyly schopné zajistit takovou rychlost vzduchu, aby došlo k promíchání vzduchu v celé místnosti. Proto byl minimální přívod vzduchu navýšen na 40 m³/h.

V případě recepce nastal obdobný případ, kdy při minimální požadované výměně vzduchu 25 m³/h na jednoho člověka vychází rychlost přiváděného vzduchu příliš malá. Proto bylo množství vzduchu rovněž navýšeno na 40 m³/h.

V místnosti pro zaměstnance a řízení chodu zimního stadionu – velínu, je navrženo množství větracího vzduchu podle počtu osob. Pro dvě osoby vychází celkové množství 50 m³/h.

Tab. č. 14: Množství větracího vzduchu v jednotlivých prostorech pro AHU A2

Místnost	Množství vzduchu [m³/h]
Šatny hráčů (celkem 6)	3 750
Šatna – trenéři	450
Šatna – rozhodčí	450
Ošetřovna	40
Recepce	40
Velín	50

Celkové množství přiváděného a odváděného vzduchu:

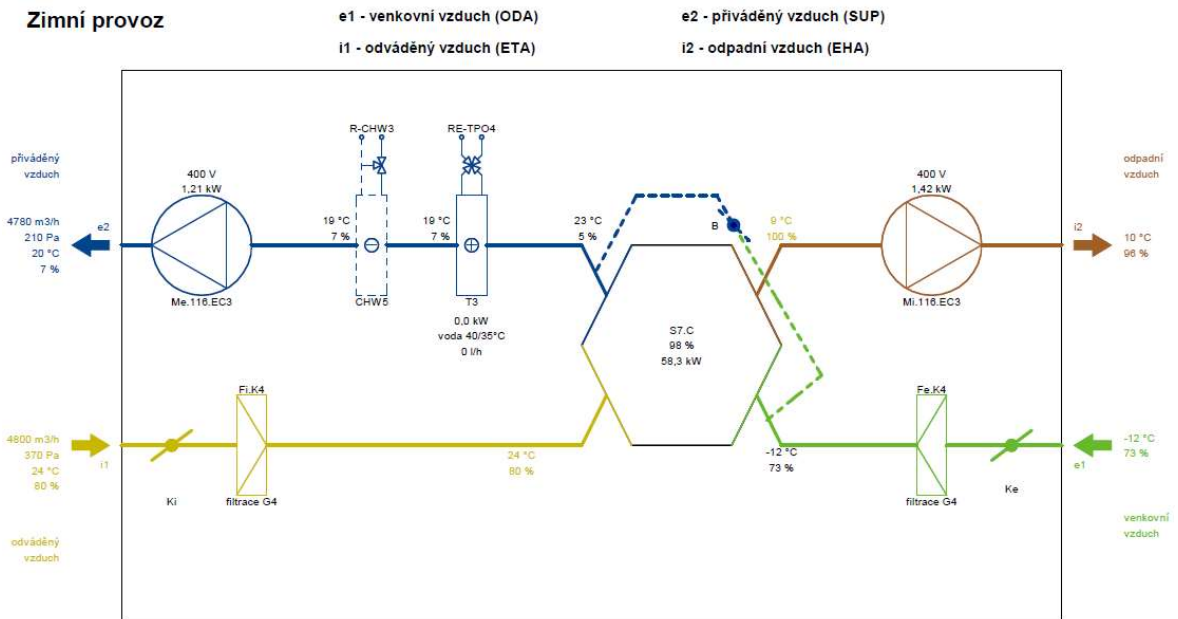
$$V_{p,A2} = V_{o,A2} = 4\,780 \text{ m}^3/\text{hod}$$

C.2.2 Návrh jednotky AHU A2

Jednotka AHU A2 má za úkol pouze výměnu vzduchu, bez pokrytí tepelných ztrát, případně zisků. V jednotce je tedy umístěn pouze deskový rekuperační výměník tepla, ohřev a chlazení. Úprava vlhkosti ve vzduchu není v těchto prostorách potřebná.

Větrací jednotka byla navržena v programu od společnosti ATREA DUPLEX. Na základě objemového množství vzduchu a požadovaných kritérií na ohřev a chlazení byla vybrána jednotka **DUPLEX 5500 MultiEco** od společnosti ATREA. Na obrázcích níže (Obr. č. 43 a Obr. č. 44) jsou znázorněna schémata jednotky pro zimní a letní provoz.

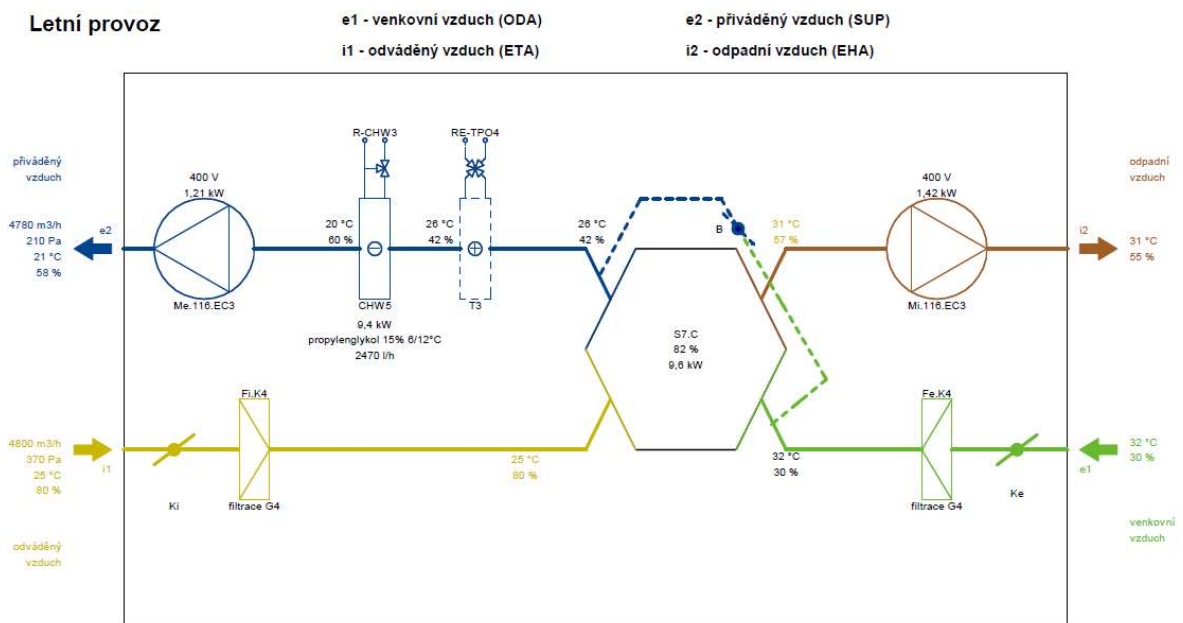
Zimní provoz



Poznámka: Schématické znázornění funkcí jednotky. Umístění vstupů a výstupů nemusí přesně souhlasit se skutečným provedením a konfigurací hrdel.

Obr. č. 43: Vzduchotechnické schéma AHU A2 – zimní provoz [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]

Letní provoz



Poznámka: Schématické znázornění funkcí jednotky. Umístění vstupů a výstupů nemusí přesně souhlasit se skutečným provedením a konfigurací hrdel.

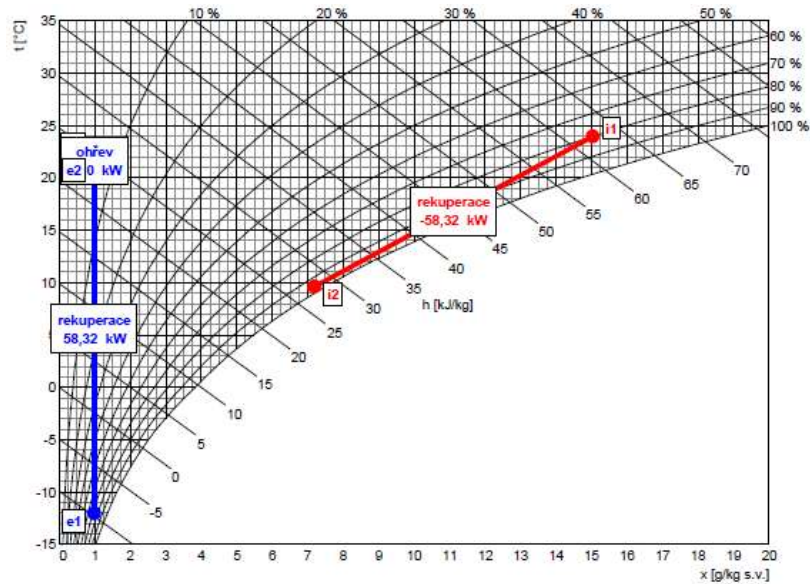
Obr. č. 44: Vzduchotechnické schéma AHU A2 – letní provoz [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]

C.2.3 Úprava vzduchu v jednotce

Okrajové podmínky pro úpravu vzduchu v letním a zimním období jsou následující:
 teplota venkovního vzduchu v zimě $t_{e,z} = 32 \text{ °C}$,
 relativní vlhkost venkovního vzduchu v zimě $\varphi_{e,z} = 73 \%$,
 teplota venkovního vzduchu v létě $t_{e,l} = 32 \text{ °C}$,

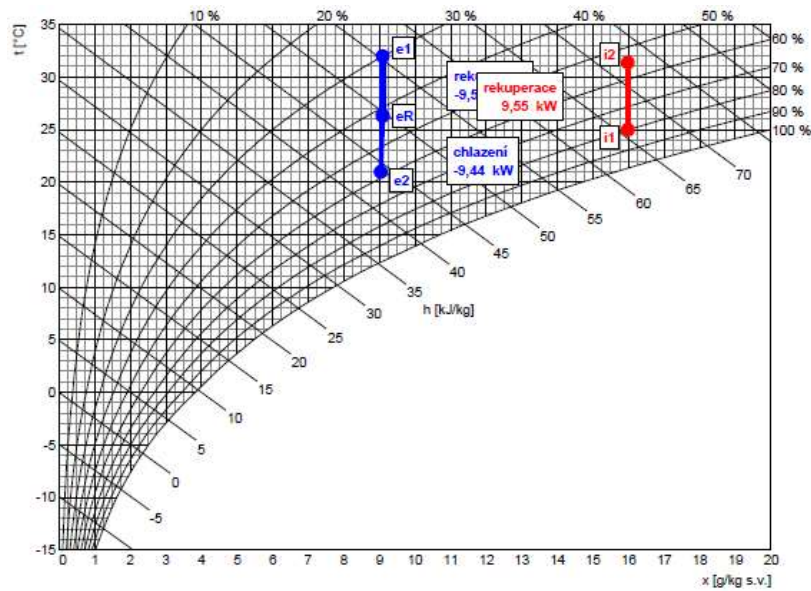
relativní vlhkost venkovního vzduchu v létě $\varphi_{e,l} = 30 \%$,
 teplota přiváděného vzduchu v zimě $t_{p,z} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$,
 teplota přiváděného vzduchu v létě $t_{p,l} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$.

Zimní stav:



Obr. č. 45: Úprava vzduchu v AHU A2 – zimní stav [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]

Letní stav:



Obr. č. 46: Úprava vzduchu v AHU A2 – letní stav [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]

Potřebný výkon ohřivače:

$$Q_{heating,A2} = 4,3 \text{ kW}$$

Potřebný výkon chladiče:

$$Q_{cooling,A2} = 10,8 \text{ kW}$$

C.2.4 Distribuce vzduchu

Vzduchotechnická jednotka AHU A2 je umístěna ve strojovně vzduchotechniky. Z ní jsou rozvedeny potrubí do jednotlivých místností pod stropem, případně v podhledu. Pro přívod vzduchu do šaten jsou navrženy difuzory s pevnými lamelami, které zajistí rozptýlení vzduchu po celé šatně. Přívod do ošetřovny, recepce a velínu jsou zajištěny pomocí přívodních talířových ventilů. Odvod vzduchu ze všech prostorů zajišťují talířové odvodní ventily. Rozvody potrubí jsou opatřeny tepelnou izolací pro menší tepelné ztráty.

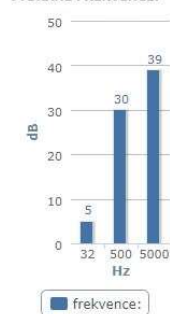
Do přívodního i odvodního potrubí bylo třeba navrhnout tlumiče hluku. Návrh byl proveden pomocí online výpočtu na webové stránce mart.cz. Oba tlumiče jsou o rozměrech 650 x 400 mm s délkou 1 000 mm se čtyřmi kulisami o šířce 100 mm.



VÝSLEDNÉ HODNOTY

frekvence:	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	součtová hladina	[]
přenosový útlum	5	6	9	17	33	58	53	44	25	-	dB
vlastní hluk tlumiče	22	29	34	37	39	40	36	31	23	45	dB(A)
hl. akust. výkonu za tlumičem s váh. filt. A:	60	37	43	44	40	40	36	31	23	60	dB(A)

VYBRANÉ FREKVENCE:



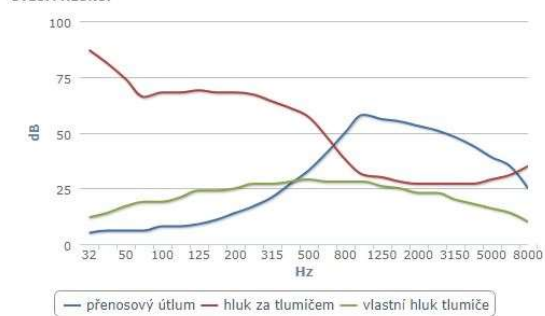
TLAKOVÁ ZTRÁTA TLUMIČE:

tlaková ztráta:	158	Pa
plocha tlumiče:	0.26	m ²

RYCHLOST PROUDĚNÍ:

v celkovém průřezu:	7.5	m/s
ve volné ploše:	19.4	m/s

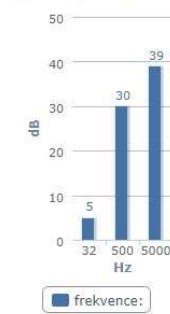
ÚTLUM HLUKU:



VÝSLEDNÉ HODNOTY

frekvence:	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	součtová hladina	[]
přenosový útlum	5	6	9	17	33	58	53	44	25	-	dB
vlastní hluk tlumiče	12	19	24	27	29	28	23	18	10	34	dB(A)
hl. akust. výkonu za tlumičem s váh. filt. A:	87	66	69	67	57	31	27	27	35	87	dB(A)

VYBRANÉ FREKVENCE:



TLAKOVÁ ZTRÁTA TLUMIČE:

tlaková ztráta:	74	Pa
plocha tlumiče:	0.26	m ²

RYCHLOST PROUDĚNÍ:

v celkovém průřezu:	5.1	m/s
ve volné ploše:	13.3	m/s

Obr. č. 47: Návrh tlumiče hluku pro AHU A2 – přívodní potrubí [vygenerováno softwarem Mart.cz]

Obr. č. 48: Návrh tlumiče hluku pro AHU A2 – odvodní potrubí [vygenerováno softwarem Mart.cz]

Přesné návrhy potrubí a distribučních prvků a výpočty tlakových ztrát jsou součástí výpočtové části této diplomové práce. Výsledný externí statický tlak ventilátorů jednotky je **190 Pa** pro přívod vzduchu a **300 Pa** pro odvod vzduchu.

C.3 Větrání skladu a WC pro diváky – AHU A3

Vzduchotechnická jednotka AHU A3 zajišťuje přívod i odvod vzduchu pro sklad a WC pro diváky. Systém větrání WC pro diváky je navržen tak, že přívod vzduchu je umístěn do chodby, odkud je do jednotlivých místností rozváděn podtlakově pomocí dveřních mřížek. Odvody vzduchu se nachází v každé místnosti s WC, s pisoáry, umývárňe a úklidové místnosti. V jednotce je stejně jako v předešlém případě umístěn deskový rekuperační výměník tepla, ohřev a chlazení. Úprava vlhkosti ve vzduchu není v těchto prostorách potřebná.

C.3.1 Výpočet množství vzduchu

Množství větracího vzduchu bylo v případě skladu navrženo na minimální násobnost výměny vzduchu 0,3/h. V případě WC, pisoárů, předsíní s umyvadly a úklidové místnosti bylo základním kritériem minimální množství čerstvého vzduchu na daný zařizovací předmět.

Tab. č. 15: Množství větracího vzduchu v jednotlivých prostorech pro AHU A3

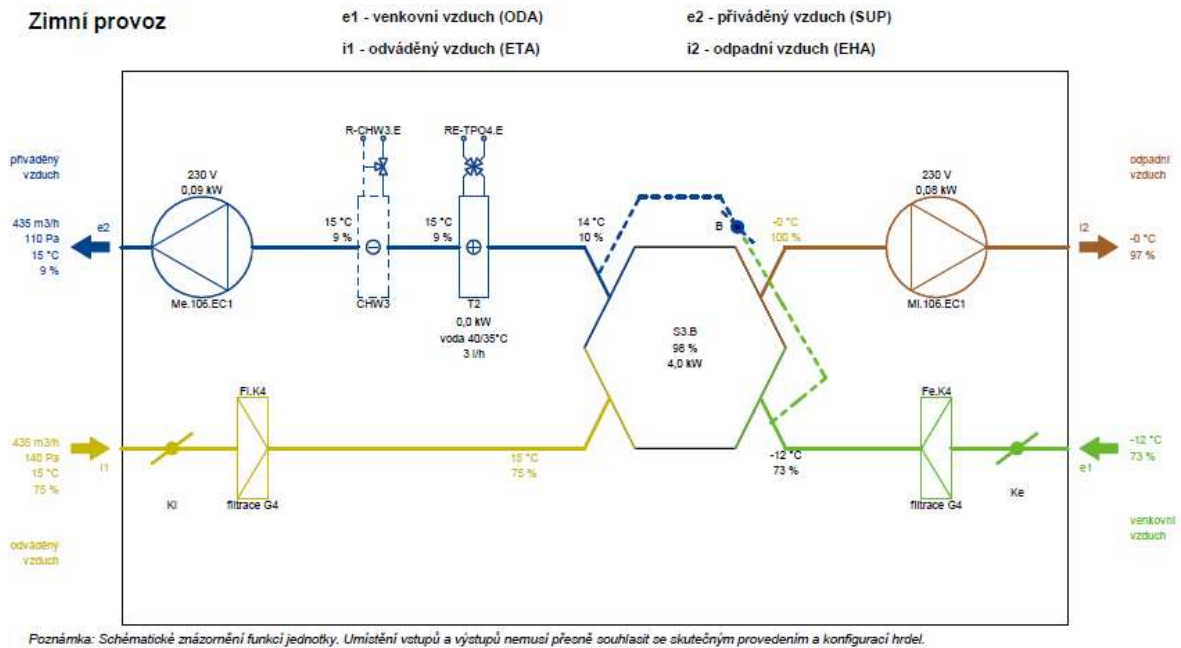
Místnost	Množství vzduchu [m³/h]
WC	50
Umyvadlo	30
Pisoár	25
Výlevka	25

Celkové množství přiváděného a odváděného vzduchu:

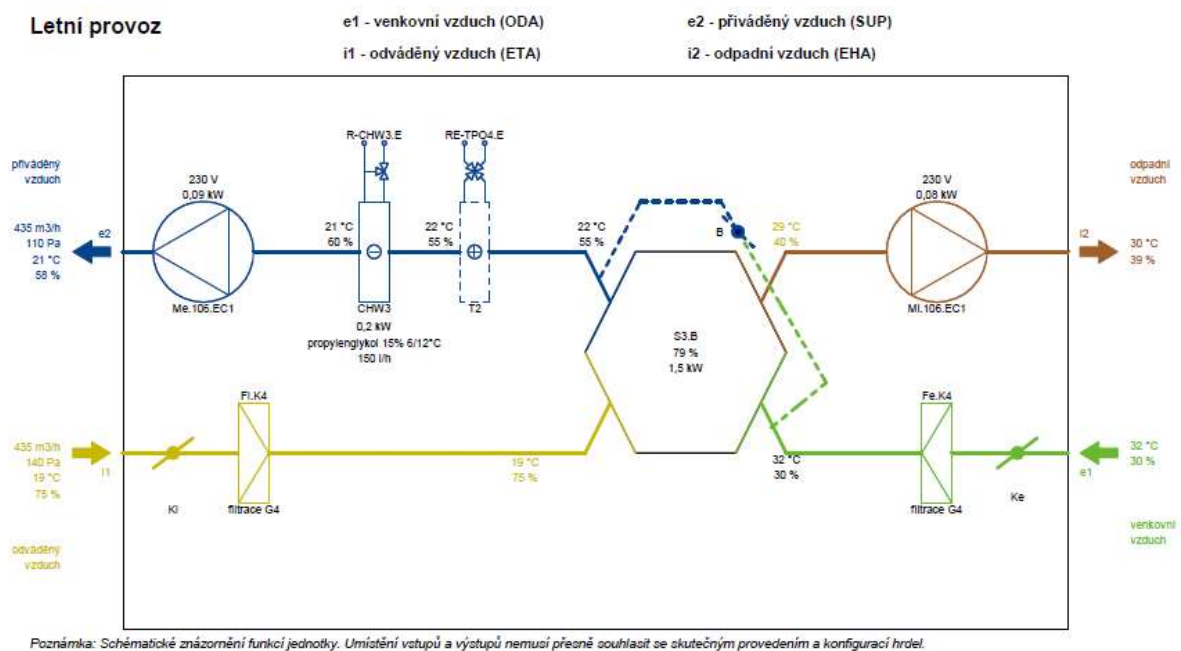
$$V_{p,A3} = V_{o,A3} = 435 \text{ m}^3/\text{hod}$$

C.3.2 Návrh jednotky AHU A3

Větrací jednotka byla opět navržena v programu od společnosti ATREA DUPLEX. Na základě objemového množství vzduchu a požadovaných kritérií na ohřev a chlazení byla vybrána jednotka **DUPLEX 500 MultiEco** od společnosti ATREA. Na obrázcích Obr. č. 49 a Obr. č. 50 jsou znázorněna schémata jednotky pro zimní a letní provoz.



Obr. č. 49 Vzduchotechnické schéma AHU A3 – zimní provoz [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]



Obr. č. 50 Vzduchotechnické schéma AHU A3 – letní provoz [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]

C.3.3 Úprava vzduchu v jednotce

Okrajové podmínky pro úpravu vzduchu v letním a zimním období jsou následující:

teplota venkovního vzduchu v zimě $t_{e,z} = 32 \text{ °C}$,

relativní vlhkost venkovního vzduchu v zimě $\varphi_{e,z} = 73 \%$,

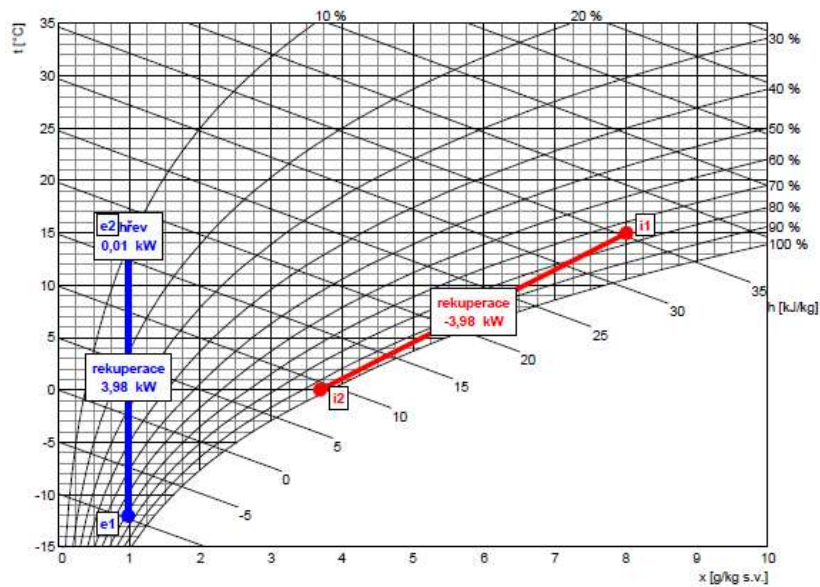
teplota venkovního vzduchu v létě $t_{e,l} = 32 \text{ °C}$,

relativní vlhkost venkovního vzduchu v létě $\varphi_{e,l} = 30 \%$,

teplota přiváděného vzduchu v zimě $t_{p,z} = 15 \text{ °C}$,

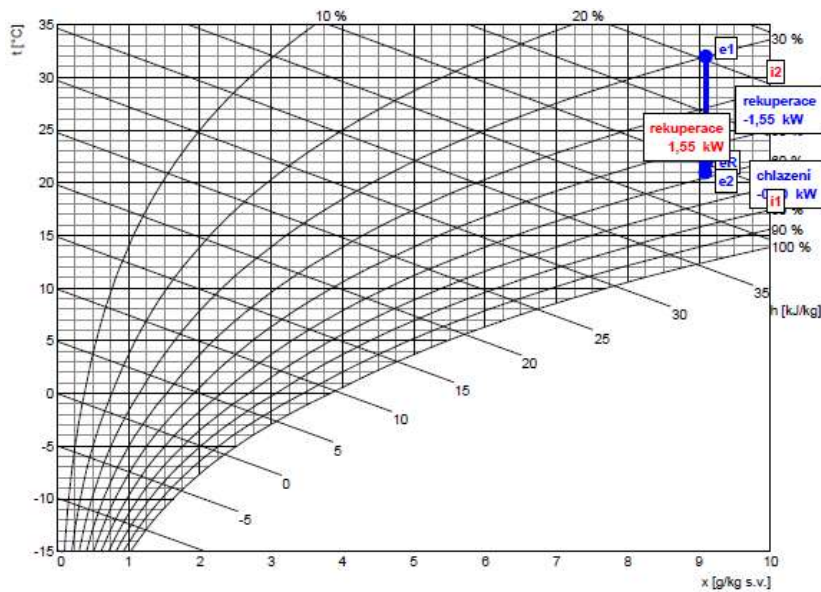
teplota přiváděného vzduchu v létě $t_{p,l} = 21 \text{ °C}$.

Zimní stav:



Obr. č. 51: Úprava vzduchu v AHU A3 – zimní stav [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]

Letní stav:



Obr. č. 52: Úprava vzduchu v AHU A3 – letní stav [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]

Potřebný výkon ohřivače:

$$Q_{heating,A3} = 0 \text{ kW}$$

Potřebný výkon chladiče:

$$Q_{cooling,A3} = 1,0 \text{ kW}$$

C.3.4 Distribuce vzduchu

Vzduchotechnická jednotka AHU A3 je umístěna rovněž umístěna ve strojovně vzduchotechniky a rozvody do jednotlivých místností jsou vedeny pod stropem, případně v podhledu. Přívodní i odvodní prvky jsou navrženy jako talířové ventily.

Přesné návrhy potrubí a distribučních prvků a výpočty tlakových ztrát jsou součástí výpočtové části této diplomové práce. Výsledný externí statický tlak ventilátorů jednotky je **110 Pa** pro přívod vzduchu a **140 Pa** pro odvod vzduchu.

C.4 Větrání bufetu – AHU A4, A7

Jednotka AHU A4 je samostatná jednotka pro větrání bufetu. Čerstvý vzduch je přiveden do hlavní části bufetu a do chodby. Odtud je pomocí dveřních mřížek a podtlaku ve vedlejších místnostech odváděn do předsíně WC, na WC a do skladu. Odvod vzduchu je zajištěn také v části přípravy jídel. Kromě této jednotky je zde umístěna i cirkulační digestoř s označením **A7** s objemem cirkulačního vzduchu **150 m³/h**.

C.4.1 Výpočet množství vzduchu

Množství větracího vzduchu v hlavní části bufetu a přípravy jídel je navrženo podle minimální násobnosti výměny 8/h. Ve skladu je zajištěna minimální násobnost výměny vzduchu 0,5/h. Množství vzduchu pro předsíně s umyvadlem a WC je navrženo na základě zařizovacích předmětů, jejichž požadavky na minimální množství větracího vzduchu byly uvedeny v *Tab. č. 15*.

Celkové množství přiváděného a odváděného vzduchu:

$$V_{p,A4} = V_{o,A4} = 360 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Celkové množství cirkulačního vzduchu:

$$V_{c,A7} = 150 \text{ m}^3/\text{hod}$$

C.4.2 Návrh jednotky AHU A4

Pomocí programu od společnosti ATREA DUPLEX byla na základě objemového množství vzduchu a požadovaných kritérií na ohřev a chlazení navržena znovu jednotka **DUPLEX 500 MultiEco** od společnosti ATREA. Na obrázcích Obr. č. 53 a Obr. č. 54 jsou znázorněna schémata jednotky pro zimní a letní provoz.

C.4.3 Úprava vzduchu v jednotce

Okrajové podmínky pro úpravu vzduchu v letním a zimním období jsou následující:

teplota venkovního vzduchu v zimě $t_{e,z} = 32\text{ °C}$,

relativní vlhkost venkovního vzduchu v zimě $\varphi_{e,z} = 73\%$,

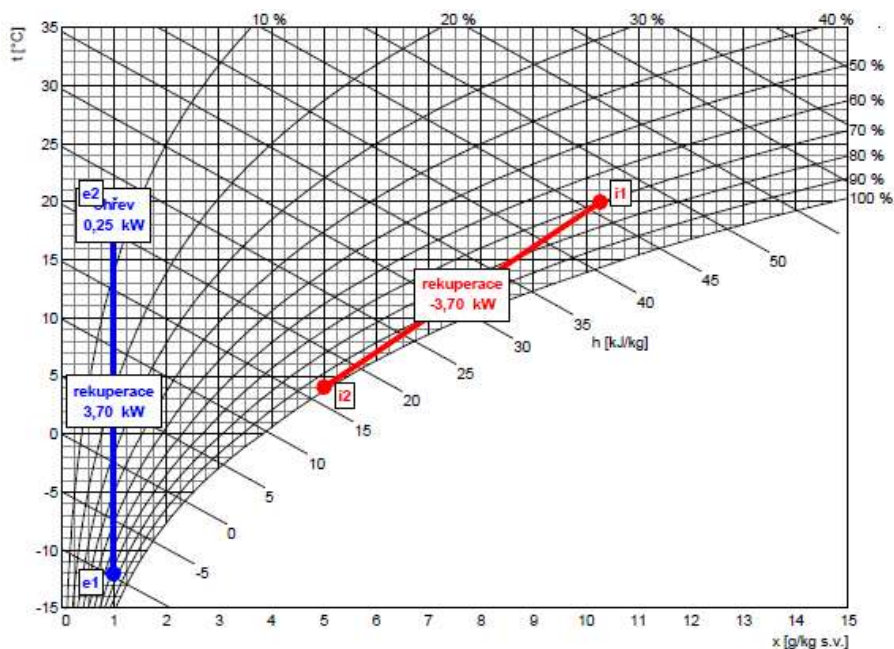
teplota venkovního vzduchu v létě $t_{e,l} = 32\text{ °C}$,

relativní vlhkost venkovního vzduchu v létě $\varphi_{e,l} = 30\%$,

teplota přiváděného vzduchu v zimě $t_{p,z} = 20\text{ °C}$,

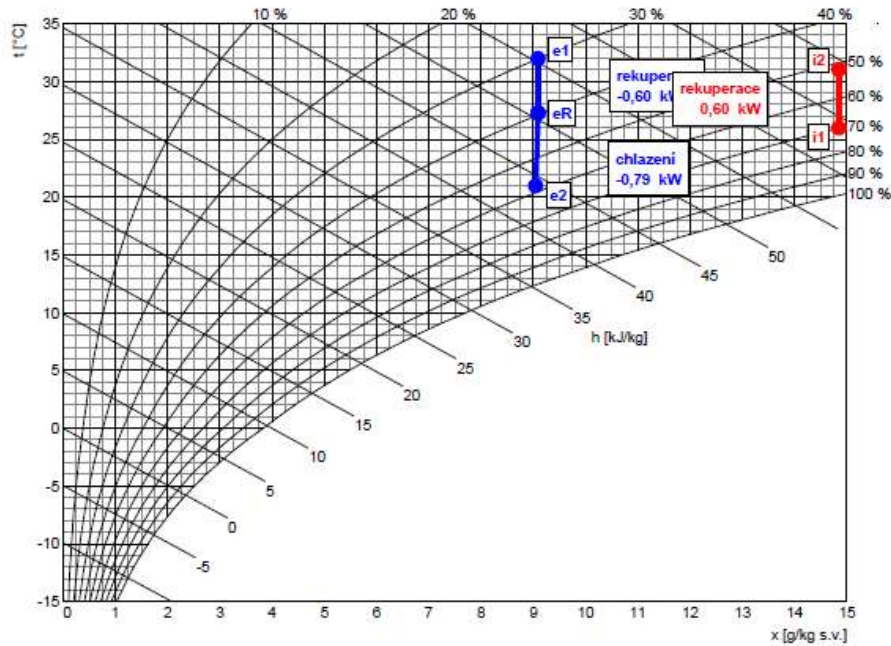
teplota přiváděného vzduchu v létě $t_{p,l} = 21\text{ °C}$.

Zimní stav:



Obr. č. 55: Úprava vzduchu v AHU A4 – zimní stav [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]

Letní stav:



Obr. č. 56: Úprava vzduchu v AHU A4 – letní stav [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]

Potřebný výkon ohříváče:

$$Q_{heating,A4} = 0,3 \text{ kW}$$

Potřebný výkon chladiče:

$$Q_{cooling,A4} = 0,8 \text{ kW}$$

C.4.4 Distribuce vzduchu

Vzduchotechnická jednotka AHU A4 je umístěna ve skladu bufetu, kde je zavěšena pod stropem. Rozvody do jednotlivých místností jsou vedeny pod stropem. Přívodní i odvodní prvky jsou navrženy jako talířové ventily. Pouze přívodní prvek v bufetu je navrženy jako vícesměrový stropní difuzor pro lepší distribuci vzduchu po celém prostoru jídelní části.

Do přívodního i odvodního potrubí byly pro snížení hladiny akustického tlaku umístěny kruhové tlumiče hluku MAA 225/600 a MAA 200/600.

Přesné návrhy potrubí a distribučních prvků a výpočty tlakových ztrát jsou součástí výpočtové části této diplomové práce. Výsledný externí statický tlak ventilátorů jednotky je **30 Pa** pro přívod vzduchu a **50 Pa** pro odvod vzduchu.

C.5 Větrání broušení bruslí– A5

C.5.1 Výpočet množství vzduchu

Větrání místnosti určené pro broušení bruslí je zajištěno pouze nárazovým odvodem vzduchu.

Celkové množství odváděného vzduchu:

$$V_{o,A5} = 150 \text{ m}^3/\text{hod}$$

C.5.2 Návrh odvodních prvků

Jako odvodní prvek, který je zavěšen ze stropní konstrukce nad pracovním stolem, je plenum box napojený na potrubí a ukončený mřížkou. Pro odvod vzduchu byl navržen potrubní ventilátor RM 100 Ecowatt IP44 ventilátor - 8V. Odváděný vzduch je vyveden skrz fasádu do exteriéru.

C.5.3 Distribuce vzduchu

Přesný návrh potrubí a odvodního prvku a výpočty tlakových ztrát jsou součástí výpočtové části této diplomové práce. Výsledný externí statický tlak ventilátoru je **150 Pa**.

C.6 Větrání technického zázemí – A6

Přívod do místností technického zázemí, tedy strojovny VZT, strojovny chlazení a místnosti pro rolbu, je zajištěn pomocí jednotky AHU A1. Odvod z těchto místností je zajištěn střešním ventilátorem s označením A6.

C.6.1 Výpočet množství vzduchu

Množství větracího vzduchu bylo stanoveno na základě minimální násobnosti výměny vzduchu pro technické místnosti 0,3/h.

Celkové množství odváděného vzduchu:

$$V_{o,A6} = 190 \text{ m}^3/\text{hod}$$

C.6.2 Návrh odvodních prvků

Vzduch je z místností nasáván přes mřížky v kruhovém potrubí pomocí střešního ventilátoru CTB/4-400/160 Ecowatt IP44 - 6V.

C.6.3 Distribuce vzduchu

Přesný návrh potrubí a odvodního prvku a výpočty tlakových ztrát jsou součástí výpočtové části této diplomové práce. Výsledný externí statický tlak ventilátoru je **45 Pa**.

Tab. č. 16: Souhrn navržených VZT jednotek

VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY, PŘÍVODNÍ/ODVODNÍ VENTILÁTORY									
Označení	Název jednotky	Popis, prostory		Množství vzduchu	Požadovaný statický tlak	Externí statický tlak ventilátorů	Potřebný výkon ohřevače	Potřebný výkon chladiče	Příkon ventilátorů
				m ³ /h	Pa	Pa	kW	kW	W
A1	Munters DDS-30-3 s regeneračním výměníkem 1001	Hala, Strojovna VZT, Strojovna chlazení,	přívod	21 155	509,3	510	14,7	90,5	6 160
			odvod	22 015	369,9	370			6 250
A2	DUPLEX 5500 MultiEco	Šatny, sprchy, recepce, ošetřovna, velín	přívod	4 780	189,8	190	4,3	10,8	1 177
			odvod	4 780	291,5	300			1 287
A3	DUPLEX 500 MultiEco	Sklad, WC	přívod	435	107,1	110	0,0	1,0	87
			odvod	435	132,8	140			81
A4	DUPLEX 500 MultiEco	Bufet	přívod	360	24,0	30	0,3	0,8	45
			odvod	360	47,5	50			41
A5	RM 100 Ecowatt IP44 ventilátor - 8V	Odvod - Broušení bruslí	odvod	150	89,7	150	-	-	20
A6	CTB/4-400/160 Ecowatt IP44 střešní ventilátor - 6V	Odvod - Strojovna chlazení, Strojovna VZT, Rolba	odvod	190	17,0	45	-	-	13
A7	Cirkulační digestoř GE-60	Přípravna - bufet	cirkulace	150	-	-	-	-	100

Celkový potřebný tepelný výkon pro úpravu vzduchu ve VZT jednotkách **19,3 kW**

Celkový potřebný chladicí výkon pro úpravu vzduchu ve VZT jednotkách **103,1 kW**

Celkový příkon ventilátorů **15,3 kW**

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zpracovat koncepční řešení systémů vytápění a chlazení, a projektovou dokumentaci systémů VZT na úrovni rozšířené dokumentace pro vydání stavebního povolení.

Pro správný návrh koncepčních řešení těchto systému jsem nejprve zpracoval teoretickou část, která se zabývá vnitřním prostředím zimních stadionů. V ní jsou uvedeny požadavky na kvalitu vnitřního prostředí, příklady technických systémů používaných na zimních stadionech, zdroje tepla a chladu, a také například popis a výpočty tepelných zátěží na ledovou plochu a další.

Další částí práce je již samotný návrh koncepčního řešení technických systémů. Prvním krokem bylo navržení menší tréninkové haly na úrovni studie. Pro tento stadion jsem následně vytvořil koncepční návrh zdroje chladu a tepla. Nejdůležitějším systémem zimního stadionu je systém chlazení. Jeho základ, v tomto návrhu, tvoří jednotky kompresorového chlazení, které produkují požadované množství chladu na chlazení ledové plochy a chlazení vzduchu ve VZT jednotkách.

Jednotky chlazení jsou zároveň také zdrojem tepla, jelikož při jejich provozu vzniká velké množství odpadního tepla, které je možné využívat. Toto řešení je pro mnohem výhodnější, než by byla například pouze dodávka CZT, nebo výroba tepla jiným způsobem. Množství odpadního tepla z chladicích jednotek je dostatečné pro pokrytí celé, případně větší části potřeby tepla. Pro případ nedostatku tohoto tepla je jako druhotný zdroj navržena dodávka CZT.

Jedním z nejdůležitějších technických systémů, obzvlášť na zimních stadionech, jsou systémy vzduchotechniky. U starších stadionů, kde nucené větrání není zajištěno vůbec, nebo při jeho špatném návrhu, dochází převážně v letním období ke zhoršení podmínek uvnitř haly. Tento problém nastává v případě vysoké vlhkosti vzduchu, kdy dochází k tvorbě mlhy nad ledovou plochou, kondenzaci vodní páry na konstrukcích a podobně. Proto je velice důležité správně navrhnout VZT jednotku, která bude schopna odstranit přílišnou vlhkost z haly. Do své práce jsem vybral jednotku od společnosti Munters, která je určena

speciálně pro vlhké provozy. Její součástí je již modul s adsorbčním odvlhčením vzduchu. Tato jednotka je určena pro větrání úpravu vzduchu haly s technickým zázemím. Pro další provozy stadionu jsou mimo jiné navrženy tři další jednotky od společnosti Atrea. Jejich návrh byl proveden pomocí softwaru Atrea Duplex. Tyto jednotky přivádí, odvádí a upravují vzduch například pro šatny se sprchami, bufet, WC pro diváky, sklady a další.

Jednotlivé návrhy VZT jednotek se skládají z výpočtu množství větracího vzduchu, v případě haly výpočtu množství vlhkosti ve vzduchu, návrhu úpravy vzduchu v jednotce a následné distribuce. Kromě dalších prvků VZT rozvodů byly navrženy také tlumiče hluku. Pro tento návrh byl použit online výpočet od společnosti Mart s.r.o.

Jako poslední částí této diplomové práce je přiložena projektová dokumentace systémů vzduchotechniky s technickou zprávou.

Seznam literatury a podkladů

- [1] Stavby a rekonstrukce ZS | Sdružení Zimních Stadionů. *Sdružení Zimních Stadionů* [online]. Dostupné z: <http://www.szs.cz/obsah/stavby-rekonstrukce-zs-0>
- [2] Ice Rink Guide. *Page Redirection* [online]. Dostupné z: <http://www.iihf.com/iihf-home/sport/ice-rink-guide/>
- [3] *Sdružení Zimních Stadionů* [online]. Copyright © [cit. 06.01.2018]. Dostupné z: http://www.szs.cz/sites/default/files/technicke_zajimavosti/graso_ruzek.pdf
- [4] H + H Technika - zimní stadiony. *H + H Technika - chladicí a tepelná technika* [online]. Copyright © Moonlake, a.s. [cit. 06.01.2018]. Dostupné z: <http://www.hhtechnika.cz/zimni-stadiony.html>
- [5] *Česká televize* [online]. Copyright © [cit. 06.01.2018]. Dostupné z: http://www.ceskatelevize.cz/ct24/sites/default/files/styles/scale_1180/public/images/1202734-259083.jpg?itok=ElwW5lsu
- [6] Sidan finns inte - Energi & Kylanalys. *HEM - Energi & Kylanalys* [online]. Dostupné z: <http://www.ekanalys.se/assets/report-evaluation-of-gimo-ice-rink-15nov15-rev-04feb16.pdf>
- [7] Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze. *Sálání tepla* [online]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/text/specialiste/1/1-4_Salani_tepla.pdf
- [8] FYZIKÁLNÍ OLYMPIÁDA :: *Aktuality* [online]. Copyright © [cit. 06.01.2018]. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/texttz.pdf>
- [9] MIT - *Massachusetts Institute of Technology* [online]. Dostupné z: <http://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node137.html>

- [10] Chapter 21 RADIATION HEAT TRANSFER Copyright © 2012 The McGraw-Hill Companies, Inc. *Permission required for reproduction or display. Fundamentals of Thermal-Fluid. - ppt download. SlidePlayer - Upload and Share your PowerPoint presentations* [online]. Copyright © 2018 SlidePlayer.com Inc. [cit. 06.01.2018]. Dostupné z: <http://slideplayer.com/slide/8771842/>
- [11] Company Profile | Zamboni. Zamboni | *Nothing else is even close* [online]. Copyright © 2018 Frank J. Zamboni [cit. 06.01.2018]. Dostupné z: <https://zamboni.com/about/company-profile/>
- [12] The Zamboni Story | Zamboni - *Part 3. Zamboni | Nothing else is even close* [online]. Copyright © 2018 Frank J. Zamboni [cit. 06.01.2018]. Dostupné z: <https://zamboni.com/about/zamboni-archives/the-zamboni-story/3/>
- [13] How It Works | Zamboni. Zamboni | *Nothing else is even close* [online]. Copyright © 2018 Frank J. Zamboni [cit. 06.01.2018]. Dostupné z: <https://zamboni.com/about/how-it-works/>
- [14] Úprava vody pro tvorbu ledu na zimním stadionu | Sdružení Zimních Stadionů. *Sdružení Zimních Stadionů* [online]. Dostupné z: <http://www.szs.cz/obsah/uprava-vody-pro-tvorbu-ledu-na-zimnim-stadionu>
- [15] Sborník přednášek .. *Letní školy TZB* .. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2003. ISBN 978-80-02-02608-2.
- [16] *Refrigeration cycle*. [online]. Dostupné z: http://www.arca53.dsl.pipex.com/index_files/phrefrig.htm
- [17] Zimní stadiony | JDK, spol. s r.o.. *301 Moved Permanently* [online]. Copyright © 1991 [cit. 06.01.2018]. Dostupné z: <http://www.jdk.cz/cs/reseni/zimni-stadiony>
- [18] Energetika info.cz. *Kogenerační jednotka* [online]. Dostupné z: https://www.energetikainfo.cz/33/kogeneracni-jednotka-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EmPk6oLAB_G1oRj8i2aK3-o/
- [19] Doubrava, P., Jelen, V. *Výroba Stirlingova motoru* [online]. Copyright © [cit. 06.01.2018]. Dostupné z: <http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/2013-2014/Zima13/proc/stirling.pdf>

- [20] Ekowatt. *EkoWATT* [online]. Dostupné z: <https://ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml>
- [21] *ASHRAE Handbook 2009 Fundamentals*. 2009, Atlanta:Ashrae. ISBN 978-1-933742-55-7
- [22] HYDROMX®USA | *Energy Saving Solution* [online]. Copyright © [cit. 06.01.2018]. Dostupné z: http://www.hydomx.us/documents/convection_coeff_calculation.pdf
- [23] Regulátory | Regulace diodového osvětlení | ERAM SERVICE. *Document Moved* [online]. Copyright © 2015 [cit. 06.01.2018]. Dostupné z: <http://eramservice.eu/regulatory/regulace-diodoveho-osvetleni/>
- [24] Desiccant Dehumidification System DDS - Products - Munters. *Start - Munters* [online]. Dostupné z: <https://www.munters.com/cs/munters/products/dehumidifiers/desiccant-dehumidification-system-dds/>
- [25] VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA V ČPAVKOVÉM CHLADÍCÍM ZAŘÍZENÍ NH 3 TEPELNÁ ČERPADLA. ČKD CHLAZENÍ, s.r.o - Využití odpadního tepla z 14 - PDF. Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 06.01.2018]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/17605327-Vyuziti-odpadniho-tepla-v-cpavkovem-chladicim-zarizeni-nh-3-tepelna-cerpadla-ckd-chlazení-s-r-o-vyuziti-odpadniho-tepla-2011-1-z-14.html>
- [26] Navrhování střech nevytápěných a neklimatizovaných zimních stadionů | atelier-dek.cz. *Specializované služby ve stavebnictví | atelier-dek.cz* [online]. Copyright © DEK, a.s. [cit. 06.01.2018]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/navrhovani-strech-nevytapanych-neklimatizovanych-zimnich-stadionu-223>

Seznam obrázků

Obr. č. 1: Zimní stadion Štvanice, Praha [5]	9
Obr. č. 2: Schéma požadavků pro funkčnost zimního stadionu [zdroj: vlastní]	11
Obr. č. 3: Skladba podloží ledu [2].....	16
Obr. č. 4: Schéma hlavních chladivových rozvodů [zdroj: Vlastní].....	18
Obr. č. 5: Tepelná zátěž na ledovou plochu [zdroj: vlastní]	19
Obr. č. 6: Diagram úhlového faktoru [10]	22
Obr. č. 7: První rolba na úpravu ledu [12]	26
Obr. č. 8: Popis částí rolby [13].....	27
Obr. č. 9: Schéma vodního okruhu pro úpravu ledu [14].....	28
Obr. č. 10: Graf spotřeby elektřiny [2].....	30
Obr. č. 11: Graf spotřeby tepla [2].....	31
Obr. č. 12: Schéma odvlhčení vzduchu nad ledovou plochou [2]	33
Obr. č. 13: Schéma kondenzačního odvlhčení [2]	34
Obr. č. 14: Schéma adsorbčního odvlhčení [2].....	34
Obr. č. 15: Schéma klimatizační jednotky s odvlhčením [24].....	35
Obr. č. 16: p–h diagram chladicího cyklu [16]	38
Obr. č. 17: p–h diagram chladicího cyklu s dochlazováním [16]	39
Obr. č. 18: Schéma přímého chlazení [zdroj: vlastní].....	40
Obr. č. 19: Schéma nepřímého chlazení [zdroj: vlastní].....	41
Obr. č. 20: Schéma využití odpadního tepla pro sněžnou jámu [zdroj: vlastní].....	45
Obr. č. 21: Schéma využití odpadního tepla pro sněžnou jámu, přípravu teplé vody a otopnou soustavu [zdroj: vlastní].....	45
Obr. č. 22: Schéma využití odpadního tepla pro sněžnou jámu, přípravu teplé vody, otopnou soustavu a tepelné čerpadlo [zdroj: vlastní]	46
Obr. č. 23: Kogenerační jednotka se spalovacím motorem [18].....	48
Obr. č. 24: Kogenerační jednotka se spalovacím motorem [18].....	49
Obr. č. 25: Stirlingův motor Alpha, Beta, Gamma [19].....	49
Obr. č. 26: Carnotův cyklus [19]	50
Obr. č. 27: Schéma kogenerace s palivovým článkem na zemní plyn [20].....	51

Obr. č. 28: Vizualizace návrhu stadionu 1 [zdroj: vlastní]	54
Obr. č. 29: Vizualizace návrhu stadionu 2 [zdroj: vlastní]	55
Obr. č. 30: Vizualizace návrhu stadionu 3 [zdroj: vlastní]	55
Obr. č. 31: Půdorys přízemí [zdroj: vlastní]	55
Obr. č. 32: Schémata výroby a distribuce tepla a chladu [zdroj: vlastní].....	57
Obr. č. 33: Zónování stadionu podle příslušných VZT jednotek.....	68
Obr. č. 34: Koncepční schéma rozvodů VZT pro 1.NP a 2.NP	69
Obr. č. 35: Graf hustoty tepelného toku od střešní konstrukce [26].....	70
Obr. č. 36: Schéma VZT jednotky Munters DDS [24]	75
Obr. č. 37: Graf množství vlhkosti odvedené kolem o tloušťce 200 mm [24]	76
Obr. č. 38 Úprava vzduchu v AHU A2 – zimní stav	77
Obr. č. 39 Úprava vzduchu v AHU A1 – letní stav	78
Obr. č. 40: Schéma potrubí a proudění vzduchu v hale – řez	82
Obr. č. 41: Návrh tlumiče hluku pro AHU A1 – přívodní potrubí [vygenerováno softwarem Mart.cz]	82
Obr. č. 42: Návrh tlumiče hluku pro AHU A1 – odvodní potrubí [vygenerováno softwarem Mart.cz]	82
Obr. č. 43: Vzduchotechnické schéma AHU A2 – zimní provoz [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]	85
Obr. č. 44: Vzduchotechnické schéma AHU A2 – letní provoz [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]	85
Obr. č. 45: Úprava vzduchu v AHU A2 – zimní stav [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]	86
Obr. č. 46: Úprava vzduchu v AHU A2 – letní stav [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]	86
Obr. č. 47: Návrh tlumiče hluku pro AHU A2 – přívodní potrubí [vygenerováno softwarem Mart.cz]	87
Obr. č. 48: Návrh tlumiče hluku pro AHU A2 – odvodní potrubí [vygenerováno softwarem Mart.cz]	87
Obr. č. 49 Vzduchotechnické schéma AHU A3 – zimní provoz [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]	89

Obr. č. 50: Vzduchotechnické schéma AHU A3 – letní provoz [vygenerováno softwarem Atrea Duplex].....	89
Obr. č. 51: Úprava vzduchu v AHU A3 – zimní stav [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]	90
Obr. č. 52: Úprava vzduchu v AHU A3 – letní stav [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]	91
Obr. č. 53: Vzduchotechnické schéma AHU A4 – zimní provoz [vygenerováno softwarem Atrea Duplex].....	93
Obr. č. 54: Vzduchotechnické schéma AHU A4 – letní provoz [vygenerováno softwarem Atrea Duplex].....	93
Obr. č. 55: Úprava vzduchu v AHU A4 – zimní stav [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]	94
Obr. č. 56: Úprava vzduchu v AHU A4 – letní stav [vygenerováno softwarem Atrea Duplex]	95

Seznam tabulek

Tab. č. 1: Návrhové hodnoty vzduchu na zimním stadionu [2].....	13
Tab. č. 2: Požadovaná intenzita osvětlení [2].....	13
Tab. č. 3: Typy osvětlení [2].....	14
Tab. č. 4: Doporučené tloušťky vrstev podloží ledu [2]	17
Tab. č. 5: Maximální hodnoty relativní vlhkosti vzduchu při určitých teplotách pro eliminaci kondenzace [2]	35
Tab. č. 6: Maximální hodnoty relativní vlhkosti vzduchu při určitých teplotách pro eliminaci plísní a hniloby [2]	36
Tab. č. 7: Maximální hodnoty relativní vlhkosti vzduchu při určitých teplotách pro eliminaci kondenzace [2]	36
Tab. č. 8: Porovnání přímého a nepřímého chlazení [zdroj: vlastní]	42
Tab. č. 9: Teploty přiváděného vzduchu 1	64
Tab. č. 10: Teploty přiváděného vzduchu 1	64
Tab. č. 11: Produkce vodní páry od lidí	73
Tab. č. 12: Vlastnosti vzduchu v jednotlivých fázích úpravy pro zimní stav	79
Tab. č. 13: Vlastnosti vzduchu v jednotlivých fázích úpravy pro letní stav.....	80
Tab. č. 14: Množství větracího vzduchu v jednotlivých prostorech pro AHU A2.....	84
Tab. č. 15: Množství větracího vzduchu v jednotlivých prostorech pro AHU A3.....	88
Tab. č. 16: Souhrn navržených VZT jednotek.....	97

Seznam příloh

Příloha č. 1: Množství přiváděného a odváděného vzduchu, rozdělení jednotek	108
Příloha č. 2: Výpočet tlakových ztrát a návrh regulace – AHU A1 - přívod	109
Příloha č. 3: Výpočet tlakových ztrát a návrh regulace – AHU A1 – odvod, AHU A2 - přívod	110
Příloha č. 4: Výpočet tlakových ztrát a návrh regulace – AHU A2 - odvod	111
Příloha č. 5: Výpočet tlakových ztrát a návrh regulace – AHU A3 – odvod, AHU A4, A5, A6	112

Příloha č. 1: Množství přiváděného a odváděného vzduchu, rozdělení jednotek

Číslo místnosti	Název	Plocha	Světelná výška	Objem	Minimální násobnost výměny vzduchu	Množství větraného vzduchu podle minimální násobnosti výměny	Měrná jednotka	Maximální počet	Minimální výměna vzduchu	Množství větraného vzduchu podle měrné jednotky	Návrhové množství větraného vzduchu	Výsledná výměna vzduchu	Návrhová vnitřní teplota	Teplota přiváděného o vzduchu	Přívod/ odvod/ přefuk	Výsledný přívod vzduchu	Výsledný odvod vzduchu	AHU
		m ²	m	m ³	h ⁻¹	m ³ /h	mj.	-	m ³ /h/mj.	m ³ /h	m ³ /h	h ⁻¹	°C	°C	-	m ³ /h	m ³ /h	-
101	Vstup. hala	20,65	2,60	53,69	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	nevytápěno	-	-	0	0	-
102	Recepce	13,49	2,60	35,07	0,5	17,54	osoba	1	25	25	40,0	1,1	20	20	Přívod + odvod	40,0	40,0	A3
103	Ošetřovna	7,13	2,60	18,54	0,5	9,27	-	-	-	-	40,0	2,2	20	20	Přívod + odvod	40,0	40,0	A3
104	Šatna	40,63	2,60	105,64	0,5	52,82	osoby	25	25	625	625,0	5,9	22	20	Přívod + odvod	625,0	245,0	A2
105	Šatna	40,63	2,60	105,64	0,5	52,82	osoby	25	25	625	625,0	5,9	22	20	Přívod + odvod	625,0	245,0	A2
106	Umývárna	7,85	2,60	20,41	0,5	10,21	umyvadla	2	30	60	60,0	2,9	24	-	Odvod	0	60,0	A2
107	Sprchy	7,13	2,60	18,54	0,5	9,27	sprcha	4	150	600	600,0	32,4	24	-	Odvod	0	600,0	A2
108	Pisoáry	2,59	2,60	6,73	0,5	3,37	pissoár	2	25	50	50,0	7,4	24	-	Odvod	0	50,0	A2
109	WC	1,87	2,60	4,86	0,5	2,43	WC	1	50	50	50,0	10,3	24	-	Odvod	0	50,0	A2
110	Šatna	40,63	2,60	105,64	0,5	52,82	osoby	25	25	625	625,0	5,9	20	20	Přívod + odvod	625,0	245,0	A2
111	Šatna	40,63	2,60	105,64	0,5	52,82	osoby	25	25	625	625,0	5,9	20	20	Přívod + odvod	625,0	245,0	A2
112	Umývárna	7,85	2,60	20,41	0,5	10,21	umyvadla	2	30	60	60,0	2,9	24	-	Odvod	0	60,0	A2
113	Sprchy	7,06	2,60	18,36	0,5	9,18	sprcha	4	150	600	600,0	32,7	24	-	Odvod	0	600,0	A2
114	Pisoáry	2,59	2,60	6,73	0,5	3,37	pissoár	2	25	50	50,0	7,4	24	-	Odvod	0	50,0	A2
115	WC	1,87	2,60	4,86	0,5	2,43	WC	1	50	50	50,0	10,3	24	-	Odvod	0	50,0	A2
116	Šatna	40,63	2,60	105,64	0,5	52,82	osoby	25	25	625	625,0	5,9	20	20	Přívod + odvod	625,0	245,0	A2
117	Šatna	40,65	2,60	105,69	0,5	52,85	osoby	25	25	625	625,0	5,9	20	20	Přívod + odvod	625,0	245,0	A2
118	Umývárna	7,85	2,60	20,41	0,5	10,21	umyvadla	2	30	60	60,0	2,9	24	-	Odvod	0	60,0	A2
119	Sprchy	7,13	2,60	18,54	0,5	9,27	sprcha	4	150	600	600,0	32,4	24	-	Odvod	0	600,0	A2
120	WC	1,87	2,60	4,86	0,5	2,43	pissoár	2	25	50	50,0	10,3	24	-	Odvod	0	50,0	A2
121	Pisoáry	2,59	2,60	6,73	0,5	3,37	WC	1	50	50	50,0	7,4	24	-	Odvod	0	50,0	A2
122	Předsíň	3,16	2,60	8,22	0,5	4,11	umyvadla	1	30	30	30,0	3,7	15	15	Přívod	75,0	0	A3
123	Pisoár	1,18	2,60	3,07	0,5	1,53	pissoár	1	25	25	25,0	8,1	15	-	Odvod	0	25,0	A3
124	WC	1,95	2,60	5,07	0,5	2,54	WC	1	50	50	50,0	9,9	15	-	Odvod	0	50,0	A3
125	Sklad	3,12	2,60	8,11	0,3	2,43	-	-	-	-	5,0	0,6	15	-	Přívod + odvod	5,0	5,0	-
126	Šatna rozh.	5,38	2,60	13,99	0,5	6,99	osoby	4	25	100	100,0	7,1	20	20	Přívod	450,0	0	A2
127	Sprchy rozh.	5,93	2,60	15,42	0,5	7,71	sprcha	2	150	300	300,0	19,5	24	-	Odvod	0	400	A2
128	WC rozh.	1,53	2,60	3,98	0,5	1,99	WC	1	50	50	50,0	12,6	24	-	Odvod	0	50	A2
129	Šatna tren.	5,38	2,60	13,99	0,5	6,99	osoby	4	25	100	100,0	7,1	20	20	Přívod	450,0	0	A2
130	Sprchy tren.	5,85	2,60	15,21	0,1	1,52	sprcha	2	150	300	300,0	19,7	24	-	Odvod	0	400	A2
131	WC tren.	1,53	2,60	3,98	0,1	0,40	WC	1	50	50	50,0	12,6	24	-	Odvod	0	50	A2
132	Broušení bruslí	13,11	2,60	34,09	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	20	20	Odvod	0	150	A5
133	Sklad	18,84	2,60	48,98	0,3	14,70	-	-	-	-	15,0	0,3	15	15	Přívod + odvod	15,0	15,0	A3
134	Sklad bufet	6,55	2,60	17,03	0,5	8,52	-	-	-	-	10,0	0,6	-	-	Odvod	0	10,0	A4
135	Chodba	5,14	2,60	13,36	2	26,73	-	-	-	-	27,0	2,0	20	18	Přívod	90,0	0	A4
136	Přípravná	8,84	2,60	22,98	8	183,87	osoby	2	25	50	185,0	8,0	20	-	Odvod	0	270,0	A4
137	Bufet	12,83	2,60	33,36	8	266,86	osoby	5	25	125	270,0	8,1	20	18	Přívod	270,0	0	A4
138	Předsíň	2,76	2,60	7,18	0,5	3,59	umyvadla	1	30	30	30,0	4,2	20	-	Odvod	0	30,0	A4
139	WC	1,55	2,60	4,03	0,5	2,02	WC	1	50	50	50,0	12,4	20	-	Odvod	0	50,0	A4
140	Chodba	8,48	2,60	22,05	0,5	11,02	-	-	-	-	11,0	0,5	18	15	Přívod	345,0	0	A3
141	WC ženy	1,98	2,60	5,15	0,5	2,57	WC	1	50	50	50,0	9,7	18	-	Odvod	0	50,0	A3
142	Předsíň	2,42	2,60	6,29	0,5	3,15	umyvadla	2	30	60	60,0	9,5	18	-	Odvod	0	60,0	A3
143	WC inv.	3,96	2,60	10,30	0,5	5,15	WC	1	50	50	50,0	4,9	18	-	Odvod	0	50,0	A3
144	Předsíň	2,42	2,60	6,29	0,5	3,15	umyvadla	2	30	60	60,0	9,5	18	-	Odvod	0	60,0	A3
145	Pisoáry	4,40	2,60	11,44	0,5	5,72	pissoár	2	25	50	50,0	4,4	18	-	Odvod	0	50	A3
146	WC muži	1,98	3,20	6,34	0,5	3,17	WC	1	50	50	50,0	7,9	18	-	Odvod	0	50,0	A3
147	Uklid. místnost	4,80	3,20	15,36	0,5	7,68	výlečka	1	25	25	25,0	1,6	18	-	Odvod	0	25,0	A3
148	Strojovna VZT	38,03	3,20	121,70	0,3	36,51	-	-	-	-	40,0	0,3	nevytápěno	10	Přívod + odvod	40,0	40,0	A1, A6
149	Strojovna chlazení	86,19	3,20	275,81	0,3	82,74	-	-	-	-	85,0	0,3	nevytápěno	10	Přívod + odvod	85,0	85,0	A1, A6
150	Roľba	64,65	3,20	206,88	0,3	62,06	-	-	-	-	65,0	0,3	nevytápěno	10	Přívod + odvod	65,0	65,0	A1, A6
151	Velín	9,00	3,20	28,80	0,5	14,40	osoby	2	25	50	50,0	1,7	20	18/20	Přívod + odvod	50,0	50,0	A2
152	Hala*	2 597,23	-	20 961,13	1	20 961,13	osoby	300	30	9000	20 965,0	1,0	6	10	Přívod + odvod	20 965,0	22 015,0	A1
152_01	Komunikace	688,91	8,80	6 062,41	0,5	-	osoby	5	30	150	-	-	6	10	Přívod + odvod	-	-	-
152_02	Ledová plocha	1 402,51	9,00	12 622,59	1	-	osoby	45	30	1350	-	-	6	10	Přívod + odvod	-	-	-
152_03	Hlediště	505,81	4,50	2 276,14	1	-	osoby	250	30	7500	-	-	6	10	Přívod + odvod	-	-	-



Celkový součet:

3 273,49

* Hala 152 je součtem Komunikace 152_01, Ledové plochy 152_02 a Hlediště 152_03.

Příloha č. 2: Výpočet tlakových ztrát a návrh regulace – AHU A1 - přívod

Jednotka	Označení úseku potrubí	Průtok vzduchu potrubím m^3/h	Průřez	a	b	DN	Rychlost vzduchu v potrubí	Typ potrubí	Délka úseku	Tlaková ztráta třením	Tlaková ztráta třením Δp_t	Místní tlakové ztráty na úseku Δp_m	Celková tlaková ztráta na úseku Δp	Požadovaný/daný tlak na začátku úseku p	Požadovaná regulace (škrčení)	Regulace (škrčení)	Výsledný tlak na konci úseku p	Regulační prvek	Nastavení prvku	
				m	m	-	m/s		m	Pa/m	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa			
AHU A1 - přívod	1	21 155,0	Obdélník	0,85	0,85	-	8,1	Čtyřhranné	6,5	0,695	4,5	155,2	159,7	494,3	-	-	334,5	-	-	
	2	10 482,5	Kruh	-	-	800	5,8	Multivac SPIRO	18,5	0,423	7,8	135,7	143,5	334,5	-	-	191,0	Regulace mřížky	35°	
	3	9 783,7	Kruh	-	-	710	6,8	Multivac SPIRO	4,0	0,651	2,6	0,0	2,6	191,0	-	-	188,4	-	-	
	4	9 084,9	Kruh	-	-	710	6,4	Multivac SPIRO	4,0	0,552	2,2	26,4	28,6	188,4	-	-	159,8	Regulace mřížky	35°	
	5	8 386,1	Kruh	-	-	710	5,9	Multivac SPIRO	5,0	0,479	2,4	20,0	22,4	159,8	-	-	137,4	Regulace mřížky	35°	
	6	7 687,3	Kruh	-	-	710	5,4	Multivac SPIRO	4,0	0,399	1,6	0,0	1,6	137,4	-	-	135,8	-	-	
	7	6 988,5	Kruh	-	-	630	6,2	Multivac SPIRO	4,0	0,603	2,4	26,8	29,2	135,8	-	-	106,6	Regulace mřížky	35°	
	8	6 289,7	Kruh	-	-	630	5,6	Multivac SPIRO	5,0	0,501	2,5	17,0	19,5	106,6	-	-	87,1	Regulace mřížky	35°	
	9	5 590,9	Kruh	-	-	630	5,0	Multivac SPIRO	4,0	0,402	1,6	0,0	1,6	87,1	-	-	85,5	-	-	
	10	4 892,1	Kruh	-	-	560	5,5	Multivac SPIRO	4,0	0,475	1,9	20,7	22,6	85,5	-	-	62,9	Regulace mřížky	35°	
	11	4 193,3	Kruh	-	-	560	4,7	Multivac SPIRO	5,0	0,418	2,1	12,0	14,1	62,9	-	-	48,8	Regulace mřížky	35°	
	12	3 494,5	Kruh	-	-	560	3,9	Multivac SPIRO	4,0	0,306	1,2	0,0	1,2	48,8	-	-	47,6	-	-	
	13	2 795,7	Kruh	-	-	500	4,0	Multivac SPIRO	4,0	0,347	1,4	9,0	10,4	47,6	-	-	37,2	Regulace mřížky	35°	
	14	2 096,9	Kruh	-	-	500	3,0	Multivac SPIRO	5,0	0,192	1,0	6,0	7,0	37,2	-	-	30,2	Regulace mřížky	35°	
	15	1 398,1	Kruh	-	-	500	2,0	Multivac SPIRO	4,0	0,091	0,4	0,0	0,4	30,2	-	-	29,9	-	-	
	16	698,8	Kruh	-	-	400	1,5	Multivac SPIRO	3,0	0,09	0,3	29,6	29,9	29,9	-	-	0	-	-	
	101	21 155,0											14,0	14,0	0,0	-	-	14,0	-	-
	4a	698,8	Kruh	-	-	400	1,5	Multivac SPIRO	3,0	0,09	0,3	38,9	39,2	188,4	149,3	145,0	4,3	Regulační klapka DTU400	60°	
	7a	698,8	Kruh	-	-	400	1,5	Multivac SPIRO	3,0	0,09	0,3	36,4	36,7	135,8	99,2	95,0	4,2	Regulační klapka DTU400	57°	
	10a	698,8	Kruh	-	-	400	1,5	Multivac SPIRO	3,0	0,09	0,3	35,3	35,6	85,5	49,9	45,0	4,9	Regulační klapka DTU400	53°	
	13a	698,8	Kruh	-	-	400	1,5	Multivac SPIRO	3,0	0,09	0,3	33,0	33,3	47,6	14,3	-	14,3	-	-	
	16a	698,8	Kruh	-	-	450	1,2	Multivac SPIRO	4,0	0,082	0,3	3,6	3,9	29,9	25,9	25,0	0,9	Regulační klapka DTU450	45°	
	2a	10 672,5	Kruh	-	-	800	5,9	Multivac SPIRO	8,0	0,113	0,9	53,3	54,2	334,5	73,4	70	210,3	Regulační klapka DTU800	25°	
	2b	10 482,5	Kruh	-	-	800	5,8	Multivac SPIRO	16,3	0,558	9,1	80,6	89,7	210,3	-	-	120,7	Regulace mřížky	35°	
	2c	9 608,9	Kruh	-	-	800	5,3	Multivac SPIRO	5,3	0,321	1,7	16,0	17,7	120,7	-	-	102,9	Regulace mřížky	35°	
	2d	8 735,4	Kruh	-	-	800	4,8	Multivac SPIRO	5,3	0,264	1,4	13,0	14,4	102,9	-	-	88,5	Regulace mřížky	35°	
	2e	7 861,9	Kruh	-	-	710	5,5	Multivac SPIRO	5,3	0,396	2,1	17,0	19,1	88,5	-	-	69,5	Regulace mřížky	35°	
	2f	6 988,3	Kruh	-	-	710	4,9	Multivac SPIRO	5,3	0,321	1,7	14,0	15,7	69,5	-	-	53,7	Regulace mřížky	35°	
	2g	6 114,8	Kruh	-	-	710	4,3	Multivac SPIRO	5,3	0,245	1,3	10,0	11,3	53,7	-	-	42,5	Regulace mřížky	35°	
	2h	5 241,2	Kruh	-	-	630	4,7	Multivac SPIRO	5,3	0,34	1,8	11,0	12,8	42,5	-	-	29,6	Regulace mřížky	35°	
	2i	4 367,7	Kruh	-	-	630	3,9	Multivac SPIRO	5,3	0,245	1,3	8,0	9,3	29,6	-	-	20,4	Regulace mřížky	35°	
	2j	3 494,2	Kruh	-	-	560	3,9	Multivac SPIRO	5,3	0,283	1,5	8,0	9,5	20,4	-	-	10,9	Regulace mřížky	15°	
	2k	2 620,6	Kruh	-	-	560	3,0	Multivac SPIRO	5,3	0,17	0,9	2,0	2,9	10,9	-	-	7,9	Regulace mřížky	10°	
	2l	1 747,1	Kruh	-	-	450	3,0	Multivac SPIRO	5,3	0,226	1,2	1,0	2,2	7,9	-	-	5,8	Regulace mřížky	5°	
	2m	873,5	Kruh	-	-	450	1,5	Multivac SPIRO	5,3	0,075	0,4	2,0	2,4	5,8	-	-	3,4	-	-	
	2ba	190,0	Kruh	-	-	150	3,0	Multivac SPIRO	3,0	0,99	3,0	34,1	37,1	210,3	170,1	170,0	3,3	Regulační klapka DTU150	50°	
	2bb	107,5	Kruh	-	-	150	1,7	Multivac SPIRO	4,0	0,374	1,5	0,0	1,5	3,3	-	-	1,8	-	-	
	2bc	65,0	Kruh	-	-	150	1,0	Multivac SPIRO	4,0	0,144	0,6	1,1	1,7	1,8	-	-	0,1	-	-	
	2bba	82,5	Kruh	-	-	150	1,3	Multivac SPIRO	2,0	0,226	0,5	0,0	0,5	3,3	-	-	2,8	-	-	
	2bbb	40,0	Kruh	-	-	150	0,7	Multivac SPIRO	2,5	0,06	0,2	1,2	1,4	2,8	-	-	1,5	-	-	

 Začátek kritické větve
 Konec kritické větve

Příloha č. 3: Výpočet tlakových ztrát a návrh regulace – AHU A1 – odvod, AHU A2 - přívod

Jednotka	Označení úseku potrubí	Průtok vzduchu potrubím m ³ /h	Průřez	a	b	DN	Rychlost vzduchu v potrubí	Typ potrubí	Délka úseku	Tlaková ztráta třením	Tlaková ztráta třením Δp_t	Místní tlakové ztráty na úseku Δp_m	Celková tlaková ztráta na úseku Δp	Požadovaný/daný tlak na začátku úseku p	Požadovaná regulace (škrtení)	Regulace (škrtení)	Výsledný tlak na konci úseku p	Regulační prvek	Nastavení prvku
				m	m	-	m/s		m	Pa/m	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa		
AHU A1 - odvod	1.1'	22 015,0	Obdélník	0,85	0,85	-	8,4	Čtyřhranné	4,5	0,781	3,5	212,5	216,0	355,9	-	-	140,0	-	-
	1.2'	22 015,0	Kruh	-	-	1000	7,8	Multivac SPIRO	13,0	0,556	7,2	109,4	116,6	140,0	-	-	23,3	Regulace mřížek	35°
	2'	20 180,4	Kruh	-	-	1000	7,1	Multivac SPIRO	5,3	0,47	2,5	0,0	2,5	23,3	-	-	20,9	Regulace mřížek	35°
	3'	18 345,8	Kruh	-	-	1000	6,5	Multivac SPIRO	5,3	0,39	2,1	0,0	2,1	20,9	-	-	18,8	Regulace mřížek	30°
	4'	16 511,2	Kruh	-	-	1000	5,8	Multivac SPIRO	5,3	0,318	1,7	0,0	1,7	18,8	-	-	17,1	Regulace mřížek	25°
	5'	14 676,6	Kruh	-	-	1000	5,2	Multivac SPIRO	5,3	0,253	1,3	0,0	1,3	17,1	-	-	15,8	Regulace mřížek	15°
	6'	12 842,1	Kruh	-	-	1000	4,5	Multivac SPIRO	5,3	0,194	1,0	0,0	1,0	15,8	-	-	14,7	Regulace mřížek	15°
	7'	11 007,5	Kruh	-	-	800	6,0	Multivac SPIRO	5,3	0,441	2,3	2,6	4,9	14,7	-	-	9,8	Regulace mřížek	10°
	8'	9 172,9	Kruh	-	-	800	5,0	Multivac SPIRO	5,3	0,311	1,6	0,0	1,6	9,8	-	-	8,2	Regulace mřížek	10°
	9'	7 338,3	Kruh	-	-	800	4,0	Multivac SPIRO	5,3	0,202	1,1	0,0	1,1	8,2	-	-	7,1	Regulace mřížek	5°
	10'	5 503,7	Kruh	-	-	630	4,9	Multivac SPIRO	5,3	0,383	2,0	0,0	2,0	7,1	-	-	5,1	Regulace mřížek	5°
	11'	3 669,2	Kruh	-	-	630	3,0	Multivac SPIRO	5,3	0,155	0,8	0,0	0,8	5,1	-	-	4,3	-	-
	12'	1 834,6	Kruh	-	-	630	1,6	Multivac SPIRO	5,3	0,052	0,3	4,0	4,3	4,3	-	-	0	-	-
101'	22 015,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,0	14,0	0,0	-	-	14,0	-	-	
AHU A2 - přívod	1	4 780,0	Obdélník	0,65	0,4	-	5,1	Čtyřhranné	1,8	0,538	1,0	84,8	85,8	175,2	-	-	89,5	-	-
	2	4 730,0	Obdélník	0,65	0,4	-	5,0	Čtyřhranné	27,4	0,539	14,8	32,9	47,7	89,5	-	-	41,8	-	-
	3	4 280,0	Kruh	-	-	630	3,8	Multivac SPIRO	3,8	0,439	1,7	2,7	4,4	41,8	-	-	37,4	-	-
	4	3 830,0	Kruh	-	-	630	3,4	Multivac SPIRO	7,6	0,19	1,4	2,7	4,1	37,4	-	-	33,3	-	-
	5	3 205,0	Kruh	-	-	560	3,6	Multivac SPIRO	8,5	0,245	2,1	0,1	2,2	33,3	-	-	31,1	-	-
	6	2 580,0	Kruh	-	-	560	2,9	Multivac SPIRO	5,2	0,165	0,9	1,9	2,8	31,1	-	-	28,3	-	-
	7	2 500,0	Kruh	-	-	560	2,8	Multivac SPIRO	7,6	0,155	1,2	4,6	5,8	28,3	-	-	22,6	-	-
	8	1 875,0	Kruh	-	-	450	3,2	Multivac SPIRO	8,5	0,268	2,3	1,4	3,7	22,6	-	-	18,9	-	-
	9	1 250,0	Kruh	-	-	450	2,2	Multivac SPIRO	5,6	0,129	0,7	1,9	2,6	18,9	-	-	16,3	-	-
	10	625,0	Kruh	-	-	315	2,2	Multivac SPIRO	8,5	0,218	1,9	14,4	16,3	16,3	-	-	0	-	-
	201	4 780,0	Obdélník	0,5	0,5	-	5,3	Čtyřhranné	5,0	0,348	1,7	12,8	14,6	0,0	-	-	14,6	-	-
	2a	50,0	Kruh	-	-	100	1,3	Multivac SPIRO	40,5	0,66	26,7	28,4	55,1	89,5	34,3	34	0,3	Regulační klapka DTU100	45°
	3a	450,0	Kruh	-	-	250	2,5	Multivac SPIRO	3,7	0,369	1,4	38,3	39,7	41,8	2,1	-	2,1	-	-
	4a	450,0	Kruh	-	-	250	2,5	Multivac SPIRO	0,2	0,369	0,1	35,2	35,3	37,4	2,1	-	2,1	-	-
	5a	625,0	Kruh	-	-	315	2,2	Multivac SPIRO	0,2	0,218	0,0	32,9	32,9	33,3	0,3	-	0,3	-	-
	6a	625,0	Kruh	-	-	315	2,2	Multivac SPIRO	0,2	0,218	0,0	30,8	30,8	31,1	0,2	-	0,2	-	-
	7a	80,0	Kruh	-	-	100	2,8	Multivac SPIRO	0,6	1,63	1,0	4,7	5,7	28,3	4,8	-	22,7	-	-
	7b	40,0	Kruh	-	-	100	1,4	Multivac SPIRO	4,0	0,432	1,7	16,1	17,8	22,7	-	-	4,8	-	-
	7ba	40,0	Kruh	-	-	100	1,4	Multivac SPIRO	0,2	0,432	0,1	17,8	17,9	22,7	-	-	4,8	-	-
8a	625,0	Kruh	-	-	315	2,2	Multivac SPIRO	0,2	0,218	0,0	20,2	20,2	22,6	2,3	-	2,3	-	-	
9a	625,0	Kruh	-	-	315	2,2	Multivac SPIRO	0,2	0,218	0,0	14,2	14,2	18,9	-	-	4,6	-	-	
10a	625,0	Kruh	-	-	315	2,2	Multivac SPIRO	0,2	0,218	0,0	11,9	11,9	16,3	-	-	4,3	-	-	

Příloha č. 4: Výpočet tlakových ztrát a návrh regulace – AHU A2 - odvod

Jednotka	Označení úseku potrubí	Průtok vzduchu potrubím m ³ /h	Průřez	a	b	DN	Rychlost vzduchu v potrubí	Typ potrubí	Délka úseku	Tlaková ztráta třením	Tlaková ztráta třením Δp _t	Místní tlakové ztráty na úseku Δp _m	Celková tlaková ztráta na úseku Δp	Požadovaný/ daný tlak na začátku úseku p	Požadovaná regulace (škrceň)	Regulace (škrceň)	Výsledný tlak na konci úseku p	Regulační prvek	Nastavení prvku	
				m	m	-	m/s		m	Pa/m	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa				
				0,65	0,4	-	5,1		Čtyřhranné	1,2	0,538	0,6	158,3	158,9	276,9	-	-			117,9
1'	4 780,0	Obdélník	0,65	0,4	-	5,1	Čtyřhranné	1,2	0,538	0,6	158,3	158,9	276,9	-	-	-	117,9	-	-	
2'	4 730,0	Obdélník	0,65	0,4	-	5,0	Čtyřhranné	29,0	0,539	15,6	31,1	46,7	117,9	-	-	-	71,2	-	-	
3'	3 880,0	Kruh	-	-	630	3,8	Multivac SPIRO	0,0	0,195	0,0	1,5	1,5	71,2	-	-	-	69,7	-	-	
4'	3 830,0	Kruh	-	-	630	3,4	Multivac SPIRO	1,7	0,19	0,3	0,8	1,1	69,7	-	-	-	68,6	-	-	
5'	3 585,0	Kruh	-	-	560	4,0	Multivac SPIRO	6,2	0,3	1,9	1,8	3,7	68,6	-	-	-	64,9	-	-	
6'	2 985,0	Kruh	-	-	560	3,9	Multivac SPIRO	0,0	0,215	0,0	1,8	1,8	64,9	-	-	-	63,1	-	-	
7'	2 825,0	Kruh	-	-	500	4,0	Multivac SPIRO	5,0	0,338	1,7	1,7	3,4	63,1	-	-	-	59,7	-	-	
8'	2 580,0	Kruh	-	-	500	3,7	Multivac SPIRO	1,5	0,287	0,4	1,7	2,1	59,7	-	-	-	57,6	-	-	
9'	2 500,0	Kruh	-	-	500	3,5	Multivac SPIRO	8,0	0,271	2,2	5	7,2	57,6	-	-	-	50,4	-	-	
10'	2 255,0	Kruh	-	-	450	3,9	Multivac SPIRO	5,1	0,377	1,9	1,7	3,6	50,4	-	-	-	46,8	-	-	
11'	2 095,0	Kruh	-	-	450	3,7	Multivac SPIRO	0,0	0,329	0,0	7,1	7,1	46,8	-	-	-	39,7	-	-	
12'	1 495,0	Kruh	-	-	355	4,2	Multivac SPIRO	6,1	0,572	3,5	2,6	6,1	39,7	-	-	-	33,6	-	-	
13'	1 250,0	Kruh	-	-	355	3,5	Multivac SPIRO	2,3	0,413	0,9	1,9	2,8	33,6	-	-	-	30,7	-	-	
14'	1 005,0	Kruh	-	-	315	3,6	Multivac SPIRO	5,1	0,499	2,5	1,5	4,0	30,7	-	-	-	26,7	-	-	
15'	845,0	Kruh	-	-	315	3,0	Multivac SPIRO	0,0	0,364	0,0	6,3	6,3	26,7	-	-	-	20,4	-	-	
16'	245,0	Kruh	-	-	200	2,2	Multivac SPIRO	10,5	0,362	3,8	16,6	20,4	20,4	-	-	-	0	-	-	
201'	4 780,0	Obdélník	0,5	0,5	-	5,3	Čtyřhranné	5,0	0,57	2,9	11,8	14,7	0,0	-	-	-	14,7	-	-	
2a'	50,0	Kruh	-	-	100	1,8	Multivac SPIRO	39,0	0,66	25,7	90,0	115,7	117,9	2,2	-	-	2,2	-	-	
3a'	450,0	Kruh	-	-	315	1,6	Multivac SPIRO	0,5	0,121	0,1	2,5	2,5	71,2	9,4	-	-	68,6	-	-	
3b'	50,0	Kruh	-	-	100	1,8	Multivac SPIRO	0,0	0,66	0,0	59,2	59,2	68,6	9,4	-	-	9,4	-	-	
3ba'	400,0	Kruh	-	-	315	1,4	Multivac SPIRO	0,6	0,096	0,1	15,3	15,4	68,6	53,3	0,3	-	0,3	Regulační klapka DTU315	57°	
3c'	400,0	Kruh	-	-	315	1,4	Multivac SPIRO	0,2	0,096	0,0	17,4	17,4	71,2	53,8	53	0,8	-	0,8	Regulační klapka DTU315	57°
4a'	50,0	Kruh	-	-	100	1,8	Multivac SPIRO	0,2	0,66	0,1	59,6	59,7	69,7	9,9	-	-	9,9	-	-	
5a'	245,0	Kruh	-	-	200	2,2	Multivac SPIRO	4,0	0,362	1,4	50,1	51,5	68,6	17,0	0	-	17,0	-	-	
6a'	600,0	Kruh	-	-	315	2,1	Multivac SPIRO	0,2	0,203	0,0	34,5	34,5	64,9	30,4	30	0,4	-	0,4	Regulační klapka DTU315	50°
7a'	160,0	Kruh	-	-	160	2,2	Multivac SPIRO	0,9	0,506	0,5	1,9	2,4	63,1	29,6	-	-	60,7	-	-	
7b'	100,0	Kruh	-	-	125	2,3	Multivac SPIRO	3,0	0,794	2,4	2,6	5,0	60,7	29,6	-	-	55,8	-	-	
7ba'	60,0	Kruh	-	-	125	1,4	Multivac SPIRO	0,2	0,299	0,1	52,8	52,9	60,7	7,9	-	-	7,9	-	-	
7c'	50,0	Kruh	-	-	125	1,1	Multivac SPIRO	0,8	0,66	0,5	25,6	26,1	55,8	29,6	29	0,6	-	0,6	Regulační klapka DTU125	50°
7ca'	50,0	Kruh	-	-	100	1,8	Multivac SPIRO	0,0	0,212	0,0	54,5	54,5	55,8	1,3	-	-	1,3	-	-	
8a'	245,0	Kruh	-	-	200	2,2	Multivac SPIRO	4,0	0,362	1,4	54,6	56,0	59,7	3,7	-	-	3,7	-	-	
9a'	80,0	Kruh	-	-	125	1,8	Multivac SPIRO	1,1	0,518	0,6	1,2	1,8	57,6	29,5	-	-	55,8	-	-	
9b'	40,0	Kruh	-	-	100	1,4	Multivac SPIRO	3,0	0,432	1,3	25	26,3	55,8	29,5	29	0,5	-	0,5	Regulační klapka DTU100	44°
9ba'	40,0	Kruh	-	-	100	1,4	Multivac SPIRO	0,2	0,432	0,1	55,6	55,7	55,8	0,1	-	-	0,1	-	-	
10a'	245,0	Kruh	-	-	200	2,2	Multivac SPIRO	4,0	0,362	1,4	47,3	48,7	50,4	1,7	-	-	1,7	-	-	
11a'	160,0	Kruh	-	-	160	2,2	Multivac SPIRO	0,9	0,506	0,5	11,2	11,7	46,8	3,0	-	-	3,0	-	-	
11b'	100,0	Kruh	-	-	125	2,3	Multivac SPIRO	3,0	0,794	2,4	2,6	5,0	35,1	3,0	-	-	3,0	-	-	
11ba'	60,0	Kruh	-	-	125	1,4	Multivac SPIRO	0,2	0,299	0,1	33,8	33,9	35,1	1,3	-	-	1,3	-	-	
11c'	50,0	Kruh	-	-	100	1,8	Multivac SPIRO	0,8	0,66	0,5	26,6	27,1	30,1	3,0	-	-	3,0	-	-	
11ca'	50,0	Kruh	-	-	125	1,1	Multivac SPIRO	0,0	0,212	0,0	25,5	25,5	30,1	4,6	-	-	4,6	-	-	
12a'	600,0	Kruh	-	-	315	2,1	Multivac SPIRO	0,2	0,203	0,0	35,2	35,2	39,7	4,4	-	-	4,4	-	-	
13a'	245,0	Kruh	-	-	200	2,2	Multivac SPIRO	4,0	0,362	1,4	28	29,4	33,6	4,1	-	-	4,1	-	-	
14a'	245,0	Kruh	-	-	200	2,2	Multivac SPIRO	4,0	0,362	1,4	27,2	28,6	30,7	2,1	-	-	2,1	-	-	
15a'	160,0	Kruh	-	-	160	2,2	Multivac SPIRO	0,9	0,506	0,5	7,2	7,7	26,7	0,2	-	-	0,2	-	-	
15b'	100,0	Kruh	-	-	125	2,3	Multivac SPIRO	3,0	0,794	2,4	2,1	4,5	19,0	0,2	-	-	0,2	-	-	
15ba'	60,0	Kruh	-	-	125	1,4	Multivac SPIRO	0,2	0,299	0,1	17,8	17,9	19,0	1,2	-	-	1,2	-	-	
15c'	50,0	Kruh	-	-	100	1,8	Multivac SPIRO	0,8	0,66	0,5	13,8	14,3	14,6	0,2	-	-	0,2	-	-	
15ca'	50,0	Kruh	-	-	125	1,1	Multivac SPIRO	0,0	0,212	0,0	13,3	13,3	14,6	1,3	-	-	1,3	-	-	
16a'	600,0	Kruh	-	-	315	2,1	Multivac SPIRO	0,2	0,203	0,0	14,6	14,6	20,4	5,8	-	-	5,8	-	-	

Příloha č. 5: Výpočet tlakových ztrát a návrh regulace – AHU A3 – odvod, AHU A4, A5, A6

Jednotka	Označení úseku potrubí	Průtok vzduchu potrubím m^3/h	Průřez	a	b	DN	Rychlost vzduchu v potrubí	Typ potrubí	Délka úseku m	Tlaková ztráta třením	Tlaková ztráta třením Δp_t	Místní tlakové ztráty na úseku Δp_m	Celková tlaková ztráta na úseku Δp	Požadovaný/ daný tlak na začátku úseku p	Požadovaná regulace (škrceň)	Regulace (škrceň)	Výsledný tlak na konci úseku p	Regulační prvek	Nastavení prvku
				m	m	-	m/s			Pa/m	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa			
AHU A3 - přívod	1	435,0	Kruh	-	-	180	4,7	Multivac SPIRO	9,1	1,77	16,1	44,3	60,4	99,8	-	-	39,4	-	-
	2	90,0	Kruh	-	-	125	2,0	Multivac SPIRO	9,0	0,659	5,9	5,6	11,5	39,4	-	-	27,9	-	-
	3	75,0	Kruh	-	-	125	1,7	Multivac SPIRO	18,1	0,464	8,4	19,5	27,9	-	-	0	-	-	
	2a	345,0	Kruh	-	-	200	3,0	Multivac SPIRO	0,0	0	0,0	37,5	37,5	39,4	1,9	-	1,9	-	-
	3a	15,0	Kruh	-	-	80	0,9	Multivac SPIRO	0,0	0	0,0	16,7	16,7	27,9	11,1	-	11,1	-	-
	301	435,0	Obdélník	0,2	0,2	-	3,0	Čtyřhranné	5,0	0,665	3,3	4,0	7,3	0,0	-	-	7,3	-	-
AHU A3 - odvod	1'	435,0	Kruh	-	-	180	4,7	Multivac SPIRO	8,2	1,77	14,5	44,0	58,5	124,5	-	-	66,0	-	-
	2'	90,0	Kruh	-	-	100	3,2	Multivac SPIRO	4,7	2,08	9,8	1,6	11,4	66,0	-	-	54,6	-	-
	3'	75,0	Kruh	-	-	100	2,7	Multivac SPIRO	17,0	1,47	25,0	1,1	26,1	54,6	-	-	28,6	-	-
	4'	25,0	Kruh	-	-	100	0,9	Multivac SPIRO	1,4	0,197	0,3	28,3	28,6	28,6	-	-	0	-	-
	301'	435,0	Obdélník	0,2	0,2	-	3,0	Čtyřhranné	5,0	0,665	3,3	5,0	8,3	0,0	-	-	8,3	-	-
	2a'	345,0	Kruh	-	-	150	5,4	Multivac SPIRO	0,0	0	0,0	18,8	18,8	66,0	-	-	47,2	-	-
	2b'	295,0	Kruh	-	-	150	4,7	Multivac SPIRO	1,0	2,14	2,1	1,2	3,3	47,2	-	-	43,9	-	-
	2ba'	50,0	Kruh	-	-	100	1,8	Multivac SPIRO	0,0	0	0,0	46,2	46,2	47,2	-	-	1,1	-	-
	2c'	235,0	Kruh	-	-	150	3,7	Multivac SPIRO	1,0	1,41	1,4	1,3	2,7	43,9	-	-	41,2	-	-
	2ca'	60,0	Kruh	-	-	100	2,1	Multivac SPIRO	0,0	0	0,0	43,1	43,1	43,9	-	-	0,8	-	-
	2d'	185,0	Kruh	-	-	150	2,9	Multivac SPIRO	2,0	0,91	1,8	1,3	3,1	41,2	-	-	38,1	-	-
	2da'	50,0	Kruh	-	-	100	1,8	Multivac SPIRO	0,0	0	0,0	35,6	35,6	41,2	-	-	5,6	-	-
	2e'	125,0	Kruh	-	-	100	4,4	Multivac SPIRO	1,7	3,47	5,9	1,6	7,5	38,1	-	-	30,6	-	-
	2ea'	60,0	Kruh	-	-	100	2,1	Multivac SPIRO	0,0	0	0,0	34,5	34,5	38,1	-	-	3,6	-	-
	2f'	75,0	Kruh	-	-	100	2,7	Multivac SPIRO	1,5	1,44	2,2	1,4	3,5	30,6	-	-	27,0	-	-
	2fa'	50,0	Kruh	-	-	100	1,8	Multivac SPIRO	0,0	0	0,0	24,9	24,9	30,6	-	-	5,7	-	-
	2g'	25,0	Kruh	-	-	100	0,9	Multivac SPIRO	2,4	0,195	0,5	20,4	20,8	27,0	-	-	6,2	-	-
	2ga'	50,0	Kruh	-	-	100	1,8	Multivac SPIRO	0,0	0	0,0	25,8	25,8	27,0	-	-	1,3	-	-
	3a'	15,0	Kruh	-	-	80	0,9	Multivac SPIRO	6,8	0,235	1,6	25,1	26,7	54,6	27,9	25	2,9	Regulační klapka DTU80	45°
	4a'	50,0	Kruh	-	-	100	1,8	Multivac SPIRO	0,2	0,67	0,1	25,4	25,5	28,6	3,0	-	3,0	-	-
AHU A4 - přívod	1	360,0	Kruh	-	-	315	1,3	Multivac SPIRO	0,1	1,24	0,1	0,0	0,1	24,0	-	-	23,9	-	-
	2	270,0	Kruh	-	-	225	1,9	Multivac SPIRO	5,2	0,246	1,3	22,6	23,9	23,9	-	-	0	-	-
	2a	90,0	Kruh	-	-	125	2,0	Multivac SPIRO	0,0	0	0,0	21,3	21,3	23,9	2,6	-	2,6	-	-
	401	360,0	Obdélník	0,2	0,2	-	2,5	Čtyřhranné	5,0	0,665	3,3	5,0	8,3	0,0	-	-	8,3	-	-
AHU A4 - odvod	1'	360,0	Kruh	-	-	200	3,2	Multivac SPIRO	0,0	0	0,0	2,2	2,2	47,5	-	-	45,3	-	-
	2'	350,0	Kruh	-	-	200	3,1	Multivac SPIRO	2,5	0,7	1,8	15,1	16,8	45,3	-	-	28,5	-	-
	3'	80,0	Kruh	-	-	100	2,8	Multivac SPIRO	1,5	1,64	2,5	1,0	3,5	28,5	2,9	0	25,0	-	-
	4'	50,0	Kruh	-	-	100	1,8	Multivac SPIRO	1,3	0,663	0,9	21,2	22,1	25,0	-	-	2,9	-	-
	401'	360,0	Obdélník	0,2	0,2	-	2,5	Čtyřhranné	5,0	0,665	3,3	5,0	8,3	0,0	-	-	8,3	-	-
	2a'	10,0	Kruh	-	-	80	1,0	Multivac SPIRO	1,0	0,113	0,1	9,3	9,4	45,3	35,9	35	0,9	Regulační klapka DTU80	46°
3a'	270,0	Kruh	-	-	200	2,4	Multivac SPIRO	2,0	0,436	0,9	27,6	28,5	28,5	-	-	0	-	-	
4a'	30,0	Kruh	-	-	100	1,0	Multivac SPIRO	0,0	0	0,0	22,9	22,9	25,0	-	-	2,1	-	-	
A5 - odvod	1	150,0	Kruh	-	-	100	5,3	Multivac SPIRO	3,0	5,02	15,06	74,63	89,69	150,0	60,3	60	0,3	Regulační klapka DTU100	25°
A6 - odvod	1'	190,0	Kruh	-	-	160	2,6	Multivac SPIRO	1,2	0,714	0,9	0,0	0,9	45,0	28,4	28	16,1	Regulační klapka DTU160	30°
	2'	125,0	Kruh	-	-	160	1,7	Multivac SPIRO	6,0	0,361	2,2	0,0	2,2	15,7	-	-	13,6	-	-
	3'	82,5	Kruh	-	-	100	2,9	Multivac SPIRO	6,0	1,8	10,8	1,5	12,3	13,6	-	-	1,2	-	-
	4'	40,0	Kruh	-	-	100	1,4	Multivac SPIRO	2,5	0,447	1,1	0,1	1,2	1,2	-	-	0	-	-