

# Rashladna postrojenja klizališta

---

Suša, Veselko

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:635375>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-19**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
SPECIJALISTIČKI STUDIJ STROJARSTVA**

**Veselko Suša**

**RASHLADNA POSTROJENJA KLIZALIŠTA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Mentor:**

**Marijan Brozović , dipl.ing.**

**Karlovac, 2018. Godina**

## SAŽETAK

U ovom završnom radu ćemo opisati izgled i način rada klizališta.

Nakon općenitog opisa napraviti će se opis i način rada tri različite vrste klizališta obzirom na vrstu rashladnih agregata koji se koriste za hlađenje betonske piste klizališta i stvaranje leda na istoj.

Tako će u radu biti opisani amonijačni rashladni agregat koji u sekundarnom dijelu koristi radnu tvar amonijak kao rashladni medij. Amonijak direktnim isparavanjem u cijevima hladi betonsku pistu klizališta i stvara ledenu plohu na pisti.

Nadalje, biti će opisani amonijačni rashladni agregat koji u sekundarnom dijelu koristi amonijak, dok je u primarnom dijelu i u cjevovodu piste glikol. Ohlađeni glikol je osnova za hlađenje betonske piste i stvaranje ledene plohe na istoj.

Kao posljednji biti će opisan CO<sub>2</sub> rashladni agregat koji u sekundarnom dijelu koristi plin CO<sub>2</sub> (ugljičkov dioksid) dok je u primarnom dijelu glikol, koji se kao i u ranijem slučaju nalazi u cijevnom razvodu betonske plohe.

Nakon opisa ove tri vrste rashladnih agregata i principa rada takvih postrojenja napraviti će se analiza i usporedba svakoga od njih na način da će se iskazati prednosti i nedostaci.

Posebna pozornost kod analize obratiti će se na energetske učinak te potrošnju energenata kod rada svakog od navedenih postrojenja kao i sigurnosni aspekt te udovoljavanje svim zakonskim odredbama.

Pored navedenoga napraviti će se usporedba predmetnih postrojenja obzirom na njihovo upravljanje i održavanje.

Isto tako, analizirati će se štetnosti i opasnosti svakog od navedenih postrojenja na radnike i korisnike koji rukuju i održavaju postrojenjem, odnosno borave u prostorima objekta.

Po ovoj osnovi biti će navedeni zakoni i zakonske norme kojih se treba pridržavati u izgradnji i upravljanju rashladnih postrojenja klizališta.

## **SUMMARY**

In this final paper will be described the appearance and the way of the ice skating rink. After the general description, the three different types of skating rink will be described with regard to the type of cooling aggregates used for cooling the concrete runway and creating ice for skating rinks.

In this paper, an ammoniacal refrigerant aggregate will be described, which in the secondary part uses ammonia as a refrigerant medium. Ammonia by direct evaporation in the pipes cools the concrete runway of the skating rink and creates an ice surface on the runway.

Further, there will be described the ammonia refrigerant aggregate which is used in the secondary part of ammonia, while glycol is in the primary part of the pipeline. Chilled glycol is the basis for cooling concrete runway and creating an ice sheet on the runway. As a last one, will be described a CO<sub>2</sub> refrigerant unit which in the secondary part uses CO<sub>2</sub> gas (carbon dioxide) while in the primary part is glycol, as in the previous case is located in the tubular distribution of concrete surfaces.

After describing these three types of refrigeration aggregates and the principles of operation of such plants, an analysis and comparison of each of them will be carried out in such a way as to demonstrate advantages and disadvantages.

Particular attention will be paid to the energy performance and energy consumption of each plant, as well as the safety aspect and compliance with all legal requirements.

Along with the above, it will be done a comparison of the plants concerned with regard to their management and maintenance.

Likewise, will be done the analysis noxiousness and dangers of each of these plants on workers and users who handle and maintain the facility or stay in the premises of the facility.

On this basis, the laws and legal norms to be followed in the construction and management of cooling ice rink facilities will be listed.

## IZJAVA

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija te stručnu literaturu uz konzultacije sa mentorom Marijanom Brozovićem, dipl.ing.*

---

## ZAHVALA

*Zahvaljujem se mentoru Marijanu Brozoviću, dipl.ing. na odabiru zanimljive teme i pruženoj stručnoj pomoći tijekom izrade završnog rada.*

*Posebno bih se zahvalio svojoj obitelji te kolegama na velikom strpljenju, odricanju i potpori koju su mi pružili tijekom mog studiranja.*



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni / **specijalistički studij: Strojарstva**  
(označiti)

Usmjerenje: **Proizvodno strojarstvo**

Karlovac, 18.10.2017.

## ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: **Veselko Suša**

Matični broj:0111415043

Naslov: **RASHLADNA POSTROJENJA KLIZALIŠTA**

Opis zadatka:

U ovom završnom radu potrebno je opisati izgled i način rada klizališta i to za tri različite vrste klizališta obzirom na vrstu rashladnih agregata koji se koriste za hlađenje betonske piste klizališta i stvaranje leda na istoj i to:

- za amonijačni rashladni agregat koji u sekundarnom dijelu koristi radnu tvar amonijak kao rashladni medij.
- za amonijačni rashladni agregat koji u sekundarnom dijelu koristi amonijak, dok je u primarnom dijelu i u cjevovodu piste glikol. Ohlađeni glikol je osnova za hlađenje betonske piste i stvaranje ledene plohe na istoj.
- za CO<sub>2</sub> rashladni agregat koji u sekundarnom dijelu koristi plin CO<sub>2</sub> (ugljikov dioksid) dok je u primarnom dijelu glikol, koji se kao i u ranijem slučaju nalazi u cijevnom razvodu betonske plohe.

Napraviti analizu i usporedbu svakoga od njih na način da se iskažu prednosti i nedostaci.

Posebna pozornost kod analize staviti na energetske učinak te potrošnju energenata kod rada svakog od navedenih postrojenja kao i sigurnosni aspekt te udovoljavanje svim zakonskim odredbama.

Napraviti usporedbu predmetnih postrojenja obzirom na njihovo upravljanje i održavanje.

Isto tako, analizirati štetnosti i opasnosti svakog od navedenih postrojenja na radnike i korisnike koji rukuju i održavaju postrojenjem, odnosno borave u prostorima objekta.

Zadatak izraditi i opremiti sukladno Pravilniku o završnom radu VUK-a.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

18.10.2017.

20.02.2018.

28.02.2018.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Marijan Brozović, dipl.ing., v.p.

# SADRŽAJ

SAŽETAK.....	1
SUMMARY .....	2
IZJAVA .....	3
ZAHVALA.....	4
PROJEKTNI ZADATAK.....	5
POPIS SLIKA .....	8
1. UVOD .....	9
1.1. Klizalište .....	11
1.2. Standardna oprema i uređaji za sve vrste klizališta .....	17
1.2.1. Rolba – bruslač površine leda .....	17
1.2.2. Jama za led / snijeg.....	18
1.2.3. Omekšivač vode .....	19
1.2.4. Ionski izmjenjivač.....	20
1.2.5. Bojler – spremnik sanitarne vode.....	21
1.2.6. Betonska pista klizališta.....	23
1.3. Mjere zaštite na radu.....	26
2. KLIZALIŠTE NA BAZI AMONIJAČNOG RASHLADNOG AGREGATA I AMONIJAKA U CIJEVNOM RAZVODU.....	28
2.1. Primjer proračuna opterećenja po Europskoj literaturi.....	33
2.2. Proračun i odabir opreme .....	36
2.3. Svojstva amonijaka i njegova toksičnost.....	39
2.4. Opis amonijačnog kružnog procesa .....	40
2.5. Zbrinjavanje amonijaka.....	41
3. KLIZALIŠTE NA BAZI AMONIJAČNOG RASHLADNOG AGREGATA I GLIKOLA U CJEVNOM RAZVODU KLIZALIŠTA.....	42
3.1. Opis rashladnog postrojenja – strojarnice .....	42
3.2. Ledena pista.....	44
3.3. Rad postrojenja.....	45
3.4. Usporedbe rashladnih medija .....	51
3.4.1. Primarni krug – amonijak.....	51
3.4.2. Sekundarni krug – smjesa etilen glikola 35 % i vode.....	52
3.5. Cirkulacijske crpke.....	53



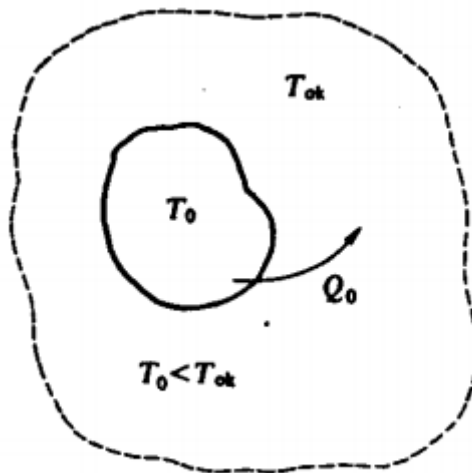
4.	POSTROJENJE SA CO <sub>2</sub> RASHLADNIM AGREGATOM I GLIKOLOM U CJEVNOM RAZVODU KLIZALIŠTA.....	54
4.1.	CO <sub>2</sub> – ugljikov dioksid .....	58
4.2.	Akumulacija banke leda te analiza isplativosti .....	59
4.3.	Dizalica topline .....	60
4.4.	Centralna rashladna stanica .....	61
5.	ODRŽAVANJE .....	62
5.1.	Tekuće održavanje rashladnog postrojenja.....	64
5.2.	Preventivno održavanje postrojenja.....	66
5.3.	Servis rashladnog postrojenja .....	67
6.	ZAKLJUČAK.....	69
7.	LITERATURA.....	72

## POPIS SLIKA

Slika 1: Hlađenje [1] .....	9
Slika 2: Otvoreno klizalište .....	11
Slika 3: Zatvoreno klizalište.....	12
Slika 4: Bazen u sklopu klizališta .....	13
Slika 5: Rashladni tornjevi .....	14
Slika 6: Dnevna potrošnja energije na zatvorenom tipu klizališta .....	15
Slika 7: Glavne komponente potrošnje električne i toplinske energije .....	15
Slika 8: Primjer nacrtu klizališta za hokej na ledu.....	16
Slika 9: Rolba .....	17
Slika 10: Jama za snijeg / led .....	18
Slika 11: Primjer ionskoh omekšivača s dva ionska filtera [2] .....	19
Slika 12: Stojeća izvedba bojlera [3].....	21
Slika 13: Ležeća izvedba bojlera [3] .....	22
Slika 14: Vodovodni i instalacijski kanal.....	25
Slika 15: Neutralizator amonijaka.....	30
Slika 16: Tlocrt strojarnice .....	43
Slika 17: Shema rashladne opreme.....	43
Slika 18: Strojarnica .....	56
Slika 19: Free cooling model rada.....	57
Slika 20: Shematski prikaz djelatnosti održavanja .....	62

## 1. UVOD

Rashladna postrojenja su kompleksni i zahtjevni termoenergetski sustavi koji služe za hlađenje određenih prostora pri čemu treba zadovoljiti zadane tehnološke parametre uz ekonomsku prihvatljivost. Hlađenje se vrši uz pomoć rashladnih uređaja koji snižavaju temperaturu nekoj tvari, materiji ili pak prostoru onda kada je potrebno postignuti nižu temperaturu od trenutne, odnosno nižu temperaturu od temperature okoliša  $T_{ok}$ . Hlađenje vršimo na način da odvodimo toplinu  $Q_0$  hlađenog tijela kako bismo postigli željenu temperaturu  $T_0$  te je predajemo okolini.



Slika 1: Hlađenje [1]

U ovom završnom radu ćemo opisati izgled i način rada rashladnog postrojenja tri različite vrste klizališta obzirom na vrstu rashladnih agregata koji se koriste za hlađenje betonske piste klizališta i stvaranje leda na istoj.

Svaka vrsta klizališta zahtjeva konstantno održavanje.

Održavanje rashladnih postrojenja podrazumijeva postupak pregleda, popravka ili poboljšanja nekog uređaja. Cilj svega navedenoga je da se produlji radni vijek, poboljša postojeće stanje ili otkloni kvar na opremi uređajima, objektima i slično.

Kod teorije održavanja postoje suprotnosti u zahtjevima održavanja:

- trošak održavanja potrebno je da bude što manji
- uređaji i oprema koji se održavaju moraju biti što pouzdaniji, što za sobom povlači da održavanje mora biti što bolje i češće.

Obzirom da je teško pomiriti ova dva zahtjeva cijela teorija održavanja zasniva se na kompromisu ova dva zahtjeva. Cilj je da se postigne što veća sigurnost uz što manju

cijenu pri čemu treba voditi računa da se ne smanji kvaliteta proizvoda ili kvaliteta usluge. Sve predmetno potrebno je uskladiti sa zakonima i pravilnicima koja propisuju minimume standarda koji moraju biti zadovoljeni pri radu pojedinog uređaja ili opreme, odnosno za pojedinu granu tehnike.

Kroz povijest su se razvijala ne samo tehnološki, nego i po sigurnosnom aspektu. Uvođenjem novih tehnologija zahtjeva se kvalitetnije pravdanje raznih parametara postrojenja. Iz svega navedenoga u svakoj strojarnici rashladnog postrojenja klizališta nužno je projektom predvidjeti kontrolnu sobu. Posebice je važno kontrolnu sobu pravilno projektirati i isplanirati za rashladno postrojenje sa amonijačnim kompresorom i amonijakom u sekundaru.

Kontrolna soba je zapravo nadzorna soba iz koje se vrši kontrola, upravljanje i nadzor cjelovitim sustavom rashladnog postrojenja.

Kod postrojenja amonijak – amonijak iz razloga zastarjele tehnologije i lošeg signalnog sustava dojavljivanja nužna je konstantna prisutnost obučениh radnika.

## 1.1. Klizalište

U ovom završnom radu objasniti ćemo tri različite vrste klizališta prema načinu rada obzirom na vrstu rashladnih agregata koji se koriste za hlađenje betonske piste klizališta i stvaranje leda na istoj. Tako će u radu biti opisani amonijačni rashladni agregat koji u sekundarnom dijelu koristi radnu tvar amonijak kao rashladni medij. Amonijak direktnim isparavanjem u cijevima hladi betonsku pistu klizališta i stvara ledenu plohu na pisti. Nadalje, biti će opisani amonijačni rashladni agregat koji u sekundarnom dijelu koristi amonijak, dok je u primarnom dijelu i u cjevovodu piste glikol. Ohlađeni glikol je osnova za hlađenje betonske piste i stvaranje ledene plohe na istoj. Kao posljednji biti će opisan CO<sub>2</sub> rashladni agregat koji u sekundarnom dijelu koristi plin CO<sub>2</sub> (ugljičkov dioksid) dok je u primarnom dijelu glikol, koji se kao i u ranijem slučaju nalazi u cijevnom razvodu betonske plohe. Standardna dimenzija klizališta je 60 x 30 metara. Prakticira se debljina leda 4 centimetra zbog ekonomičnosti, no debljina se regulira ovisno o sportu za koji se klizalište priprema. U daljnjem dijelu rada biti će navedene debljine leda obzirom na sport koji se održava na klizalištu.

Osim podjele klizališta prema načinu rada obzirom na vrstu rashladnih agregata klizališta dijelimo i na otvorena i zatvorena klizališta.



Slika 2: Otvoreno klizalište

Otvoreno klizalište na našim područjima je maksimalno u uporabi 5 do 6 mjeseci godišnje iz razloga nepovoljnih vremenskih uvjeta. Ostatak godine pista klizališta se koristi za druge sportove i namjene.

Zatvorena klizališta su u opticaju 10 do 11 mjeseci ovisno o potrebi sporta. Ostali dio godine pista klizališta se koristi za druge namjene i redovnu godišnju sanaciju i servis kako same piste tako i opreme na njoj.

Problem kod zatvorenih klizališta je velika potrošnja energenata iz razloga što na dnevnim temperaturama koje su nerijetko i do 30 °C potrebno je opteretiti postrojenje gotovo punim kapacitetom kako bi zadovoljili tražene uvjete korisnika.



*Slika 3: Zatvoreno klizalište*

Klizališta koristimo za niz sportova kao što su:

- Umjetničko klizanje
- Sinkronizirano klizanje
- Brzo klizanje
- Brzo klizanje na kratkim stazama
- Hokej na ledu.

Obzirom na vrstu sporta izrađuje se i kvaliteta leda.

Površina leda:

- Povećanje temperature leda za 1-2 °C smanjuje godišnju potrebnu energiju
- Led se održava konstantno na minimalno -4 °C
- Temperatura leda za hokej je od -6,5 do -5,5 °C
- Temperatura leda za umjetničko klizanje je od -4 do -3 °C
- Temperatura leda za slobodno klizanje je od -3 do -2 °C
- Pothlađivanje leda na niže temperature i na veće debljine povećati će potrošnju energije
- Temperatura vode Rolbe za izravnavanje bi trebala biti u rangu 30-40 °C da se smanji toplinsko opterećenje na površinu leda kod izravnavanja ledene površine
- Tijekom noći se povećava temperatura leda do -2 °C, a zatim se postepeno snižava do -4 °C odnosno za potrebe treninga do -6 °C
- Tijekom noći temperatura leda se održava na minimalnom iznosu da se održi čvrstoća leda i smanji potrošnja energije
- Toplinski tok održavanja klizališta tijekom dana se kreće u rangu 95-115 W/m<sup>2</sup>

Radi ekonomičnosti se kod izgradnje klizališta prakticira uz klizališta izgradnja i bazena. Bazenska voda se koristi za hlađenje postrojenja, a nakon toga preko dizalica topline voda se zagrijava na traženu temperaturu vode u bazenu.



*Slika 4: Bazen u sklopu klizališta*

Prilikom izgradnje bazena uz klizalište ne postoji potreba za korištenjem rashladnih tornjeva.

Rashladni toranj koristimo u sustavima hlađenja, klimatizacije i sustavima u procesnoj industriji. Potrošnja rashladne vode u tornju je oko 5 % potrošnje u sustavima s jednim prolazom što ga čini najjeftinijim za rad s vodom koja se plaća. Gubici zagrijane vode su jako mali, čime se znatno smanjuju negativne posljedice za okoliš. Rashladni tornjevi mogu ohladiti vodu i do oko 20 °C niže od zrakom hlađenih sustava prihvatljivih dimenzija. Koristimo ih i kod zatvorenog i kod otvorenog tipa klizališta.

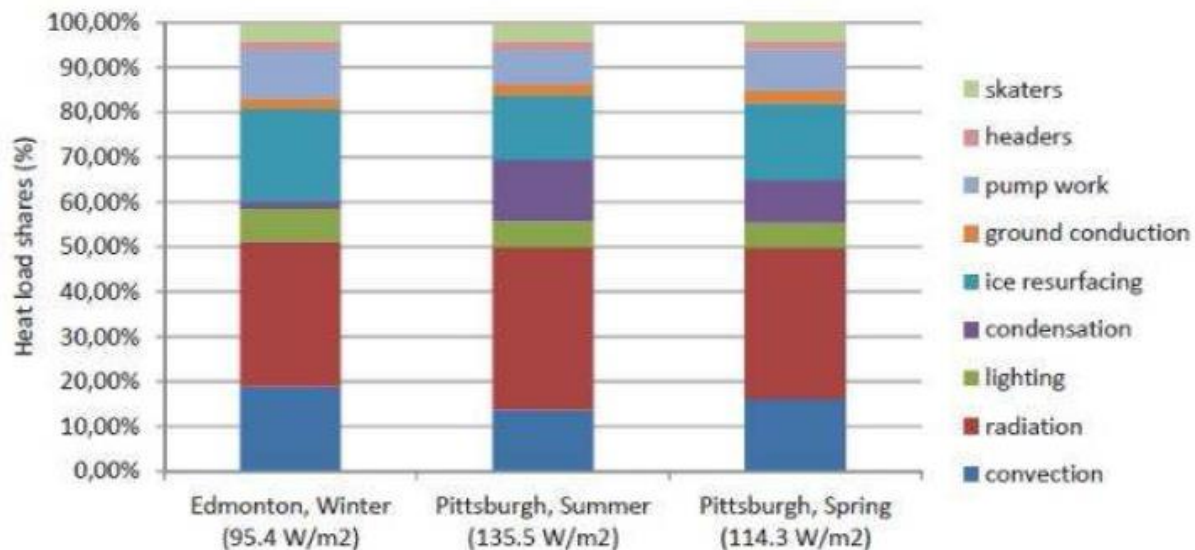


*Slika 5: Rashladni tornjevi*

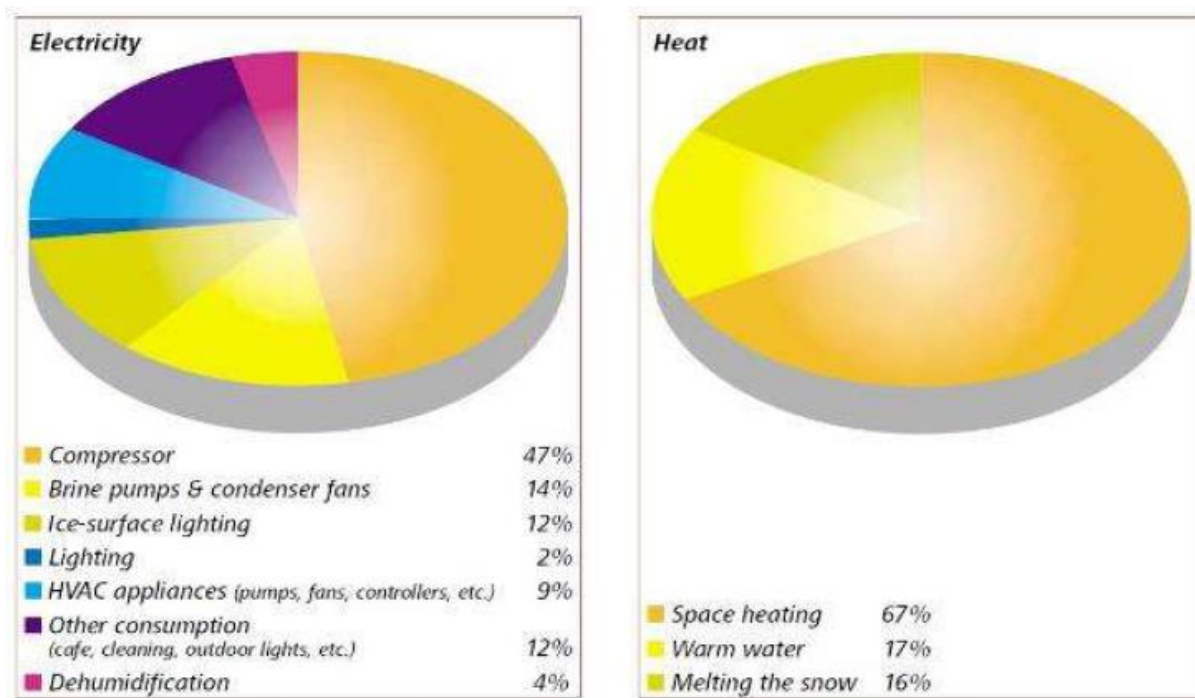
Primjer omjera potrošnje električne energije na jednom klizalištu koje godišnje potroši 1185 MWh/god energije raznih oblika:

- 43% potrošnje energije pripada održavanju površine leda
- 26% pripada grijanju zgrade
- 10% pripada rasvjeti
- 9% pripada ventilaciji
- 6% pripada odvlaživanju
- 5% razno
- 1% pumpe i pogoni

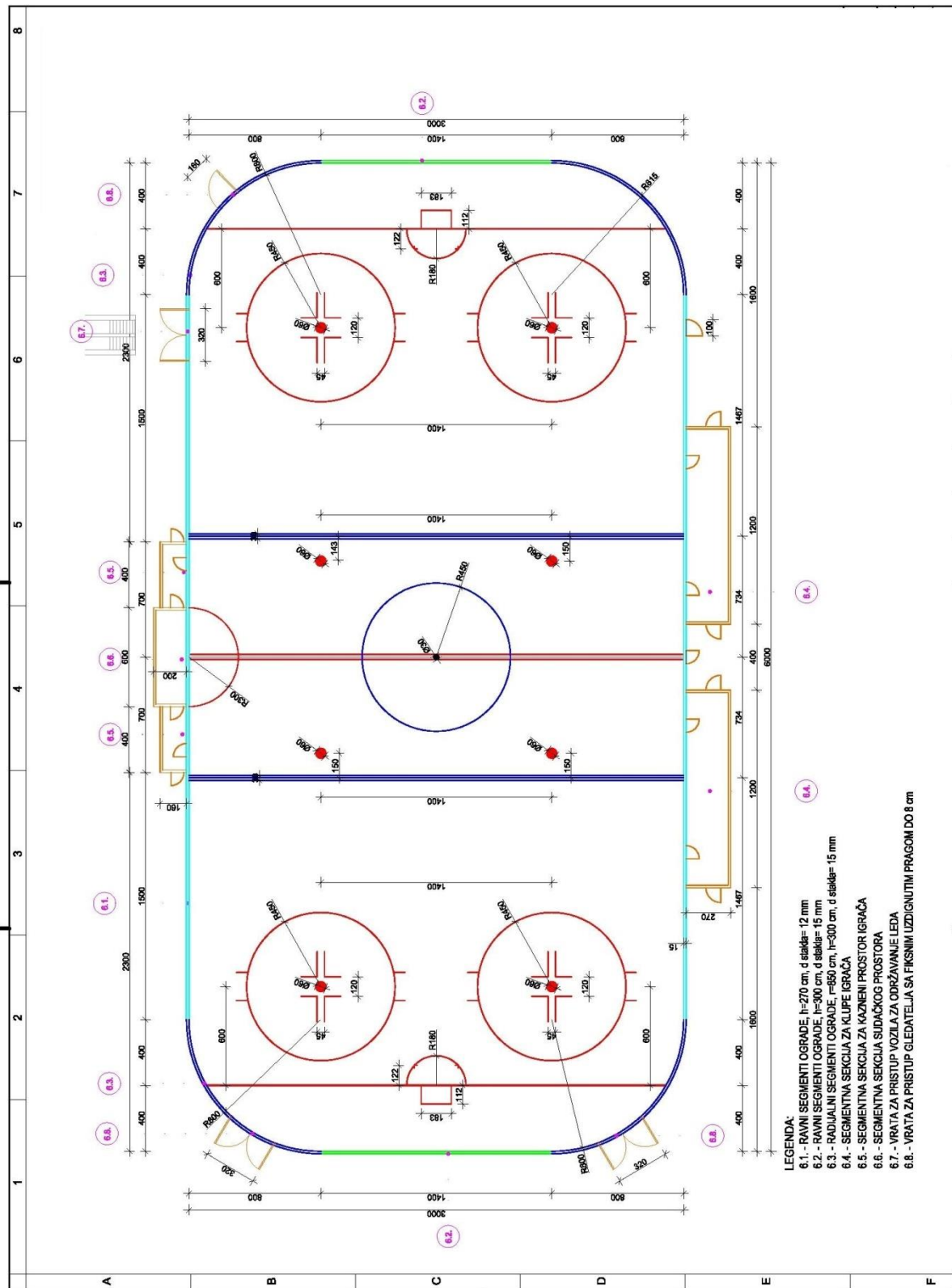




Slika 6: Dnevna potrošnja energije na zatvorenom tipu klizališta



Slika 7: Glavne komponente potrošnje električne i toplinske energije



Slika 8: Primjer nacrtu klizališta za hokej na ledu

## 1.2. Standardna oprema i uređaji za sve vrste klizališta

### 1.2.1. Rolba – brusač površine leda

Površina klizališta se održava glatkom pomoću uređaja Rolbe koji periodički ulazi u prostor klizališta te pri tome brusi površinu leda. Istovremeno prska površinu leda vodom temperature do +60 °C, na ovaj način se površina leda zagrijava te je potrebno u kratkom vremenu ponovno zalediti površinu tako da se snaga hlađenja trenutno povećava sa 300 kW na 450 kW do maksimalno moguće snage agregata od 600 kW.

Rolba je jedan od najvećih potrošača toplinske energije koja se priprema u spremniku potrošne tople vode iz navedenih razloga potrebno je imati spremnike PTV zadovoljavajućeg kapaciteta tako da se može zadovoljiti pored ROLBE i ostale potrebe objekta. Ponekada su to spremnici i do 70 000 litara PTV.

Preporuka za zatvoreni tip klizališta je Rolba koja ide na plinski ili benzinski pogon. Dimni plinovi se ispuštaju u prostor klizališta što nije u skladu s idejom o zatvorenom sustavu ventilacije i klimatizacije preko novih komora.

Kod otvorenog tipa klizališta preporuča se Rolba koja ide na dizel pogon zbog veće snage motora. Stroj sa povećanom snagom potreban je iz razloga utjecaja vremenskih uvjeta kiša odnosno snijega koji direktno utječu na kvalitetu leda pa ih je potrebno ukloniti.



Slika 9: Rolba



### 1.2.3. Omekšivač vode

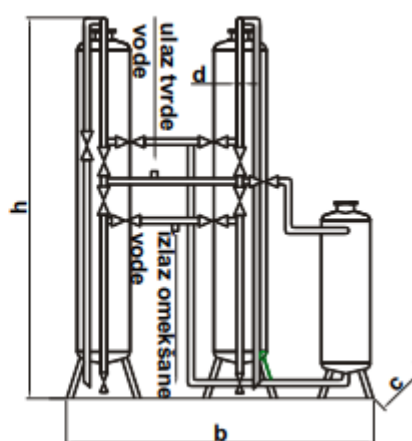
Ionski omekšivač vode odvaja kalcijev i magnezijev hidrokarbonat koji prelazi u natrijev hidrokarbonat koji se ne taloži kao kamenac. Količina vode koju je uređaj obradio se očitava na vodomjeru. Prilikom postizanja nominalne vrijednosti potrebno je izvršiti regeneraciju uređaja.

Sastoji se od jednog ili dva ionska filtera, posude za sol, cjevovoda s armaturom, vodomjera, ionske mase, kvarcnog pijeska i indikatora za ispitivanje ostatne tvrdoće omekšane vode. Filteri se isporučuju s punjenjem ionske mase, a dimenzionirani su tako da se postigne optimum između količine obrađene vode i vremena između dvije regeneracije. U standardnoj izvedbi filter je izveden od čeličnog lima u potpuno zavarenoj izvedbi. Na zahtjev naručitelja kompletna izvedba može biti od nehrđajućeg čelika. Cjevovod je izveden iz pocinčanih cijevi. Izvedba s dva filtera omogućava kontinuirani pogon. Faze rada uređaja za omekšavanje su: radni ciklus, rahljenje ionske mase, regeneracija ionske mase, ispiranje ionske mase. Filteri mogu imati posebnu posudu za sol ili se posuda može nalaziti u samom filteru.

S obzirom da uređaji rade u području od 10-100% maksimalnog kapaciteta vremenski je nemoguće odrediti kada izvršiti regeneraciju pa se ista vrši prema količini vode koju je filter obradio, a ona se očitava na ugrađenom vodomjeru. Potpuno nov uređaj za omekšavanje je napunjen ionskom masom koja na tržište dolazi u nezasićenom stanju, stoga je omekšivač odmah spreman za radni ciklus.

Uređaj s dva ionska filtera

Tip	Q m <sup>3</sup> /h	K m <sup>3</sup> ·dH	a mm	b mm	h mm	c mm	d R
OV-2-D	2-3	400	1075	1700	2200	650	1"
OV-3-D	3-5	600	1150	2100	2200	700	5/4"
OV-5-D	5-7	1000	1350	2500	2500	870	6/4"
OV-7-D	7-9	1400	1450	2650	2500	960	6/4"
OV-9-D	9-11	1600	1550	2850	2500	1050	2"
OV-11-D	11-15	2000	1650	2950	2500	1100	2"



Slika 11: Primjer ionskog omekšivača s dva ionska filtera [2]

#### 1.2.4. Ionski izmjenjivač

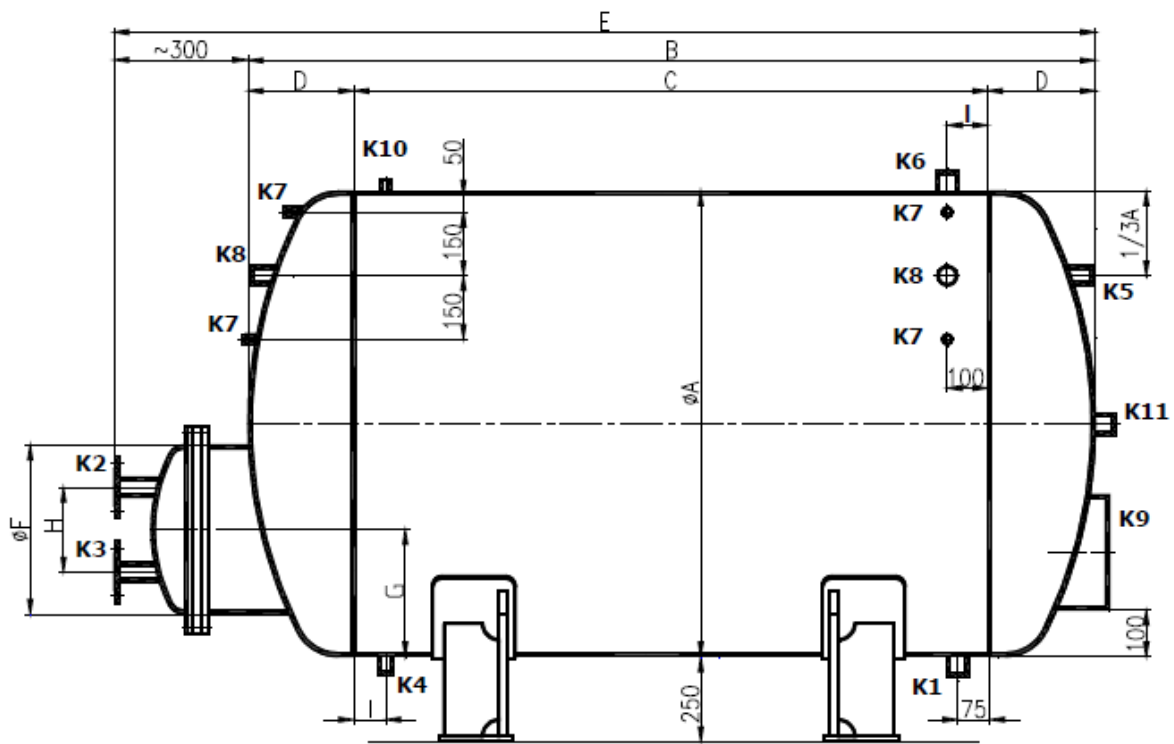
Minerali otopljeni u vodi sastoje se iz električki nabijenih čestica iona pa se tako i kalcijev karbonat sastoji od pozitivno nabijenog iona (kationa) kalcija i negativno nabijenog iona (aniona) bikarbonata. Neki prirodni i sintetički materijali imaju svojstvo uklanjanja iona iz mineralne vode te ih mijenjaju s drugim ionima. Postoje dvije vrste ionskih masa, a to su kationske i anionske mase.

Kationska masa za ionske izmjenjivače reagira s kationima kalcija i magnezija. Iako postoji više tipova kationskih masa, one najčešće rade u ciklusu s vodikom. To znači da se nakon zasićenja njihova regeneracija, odnosno obrnuti proces od odvajanja kationa iz vode, vrši pomoću klorovodične ili sumporne kiseline.

Anionska masa reagira samo s anionima bikarbonata i anionima sulfata. Osim što na sebe vežu, oni iz vode i uklanjaju anione kiselina. Jako bazične anionske mase imaju svojstvo da iz vode uklanjaju također i ugljikov dioksid i silicij. Anionska masa radi u ciklusu s hidroksidom pa se nakon zasićenja regeneriraju u obrnutom procesu s natrijevom lužinom ili s amonijevim hidroksidom.

Za vodu koja prolazi kroz kationski i anionski izmjenjivač kažemo da je prošla kroz proces demineralizacije, a tako obrađena voda se sastoji samo od iona vodika i iona hidroksida, dakle od čiste vode.





Slika 13: Ležeća izvedba bojlera [3]



## 1.2.6. Betonska pista klizališta

Za sve radove kod izgradnje klizališta treba primjenjivati postojeće tehničke propise, građevinske norme, a upotrijebljeni materijal koji izvođač dobavlja i ugrađuje mora odgovarati važećim standardima koje RH primjenjuje prema članku 2 Zakona o preuzimanju prije važećih propisa (NN 53/91), odnosno Hrvatskim normama.

Betone treba miješati u propisanim omjerima. Sav beton se miješa strojem. Naročitu pažnju treba posvetiti zrnatosti šljunka te čistoći šljunka i vode. Beton treba pripremati s malim vodocementnim faktorom, a kod ugradnje dobro ga je zbijati. Ugradba betona vrši se pri temperaturama između +5 do +30°C. U konstruktivne elemente mora se ugrađivati beton projektom predviđene marke. Ukoliko se ugrađuje gotov beton kod transporta i ugrađivanja treba spriječiti segregaciju betona. Kod većih ploha obavezna je izvedba dilatacija. Kod betoniranja u ljetnim mjesecima beton zaštititi od sunca, a zimi od smrzavanja. Ispitivanje betona treba izvršiti prema tehničkim propisima i normativima. Kod nastavljanja betoniranja spojeve treba dobro očistiti, površinu ohrapaviti i isprati, a tek potom betonirati. Vidljive površine trebaju biti glatke i bez dorađivanja.

Materijal za betoniranje mora biti propisane čistoće. Kod izrade betona voditi računa o zrnatosti šljunka te količini vode i cementa. Kod betoniranja jedne cjelovite konstrukcije upotrijebiti isključivo jednu vrstu cementa. Beton se ugrađuje u slojevima i dobro sabija, a prekidi se izvode stepenasto. Armaturu treba dobro očistiti, pravilno položiti i dobro učvrstiti.

Prije betoniranja klizališne piste potrebno je izvršiti određene pregradnje:

- cijelu površine piste podijeliti na kvadrate veličine cca. 1,0×1,0 m i izvršiti snimanje visina u svakom kutu kvadrata. Ova visinska mreža služi za postavu betonskih češljeva tj. nosača cijevi za hlađenje na potrebnu visinu za tolerancijom od  $\pm 1,0$  mm
- po završnom snimanju na podlogu treba postaviti betonskih češljeva koji su prethodno izrađeni prema detaljnom radioničkom nacrtu. Češljeve treba postaviti prema tlocrtnom rasporedu na nacrtu i podacima prethodnog visinskog snimanja plohe. Češljevi se visinski podešavaju betonskim podmetačima. Visinska tolerancija može biti maksimalno 1,0 mm
- nakon postave betonskih češljeva treba prema shemi postaviti repere za visinska betoniranja završnog sloja ledene piste s tim da „vrat“ repera (donji dio) koji se postavlja u ovoj fazi biti će postavljen između dva ležišta za cijevi

- po završetku gore opisanih radova može se pristupiti polaganju cijevi za hlađenje nakon montaže svih cijevi za hlađenje i ispitivanje na nepropusnost može se pristupiti nastavku radova

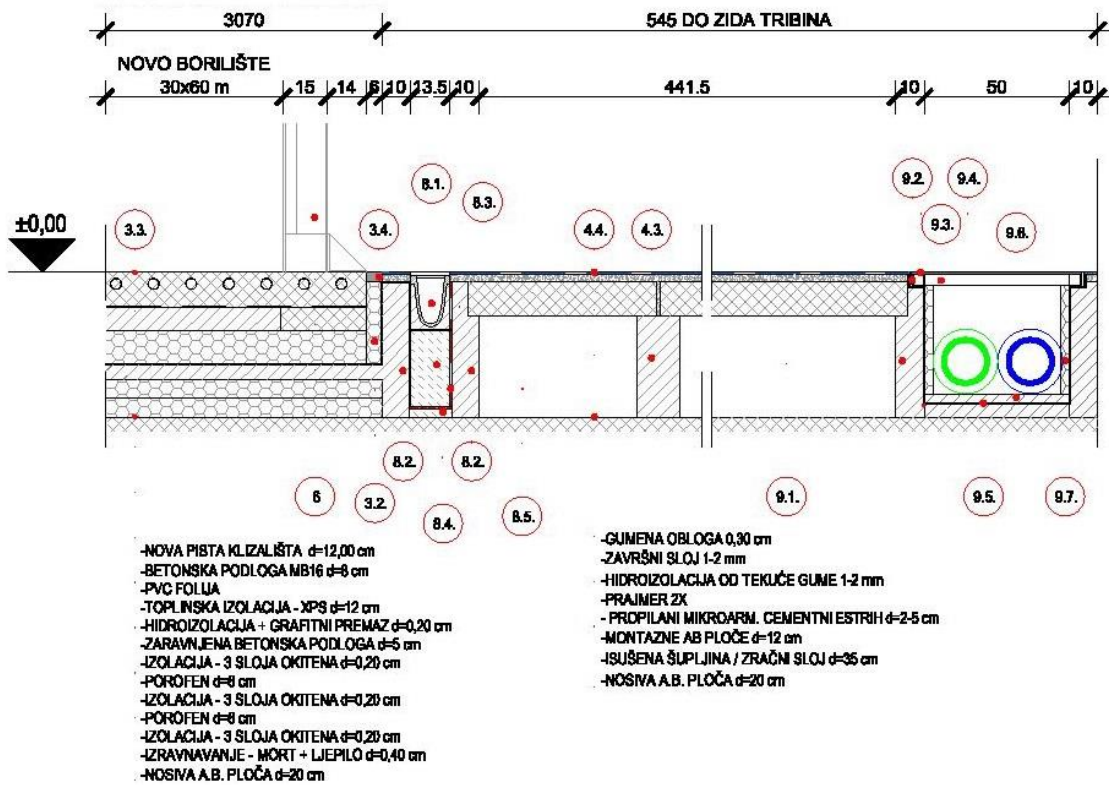
- prije početka betoniranja ledene piste treba prilagoditi odvođe vode sa ledene plohe kao i temeljenje čeličnih ploča sa sidrima stupova „bande“. Kod postave tem. ploča stupova „bande“ visinu treba osigurati geodetskim snimanjem

- betoniranje ploče ledene piste vrši se betonom MB-30 nakon svih navedenih radnji. Beton je armiran poliuretanskim vlaknima prema recepturi IGH. Ploča se betonira bez dilatacija

Ograda piste klizališta sastoji se od masivnih čeličnih profila stupova na koji se učvršćuje poliesterska ploča ukrućena čeličnim okvirom. Na tako postavljenu ogradu postavljaju se kaljena stakla u visini 1m sa bočnih strana te u visini 2 m na zaobljenim dijelovima klizališta. Predmetna stakla služe kao zaštita gledatelja.

Cjevovod postavljen u pistu izrađuje se od čeličnih, inox ili od cijevi umreženog polietilena XLPE. Ukupna duljina cijevi ugrađenih u pistu klizališta iznosi preko 23 000 metara. Najčešće korišteni razmak između cijevi je 7,5 centimetara i on mora biti strogo definiran iz razloga ujednačenog hlađenja piste.

Zbog otpornosti na koroziju i lake montaže u novije vrijeme se najčešće koriste cijevi od umreženog polietilena XLPE. Inox cijevi su zbog svoje cijene manje primjenjive.



Slika 14: Vodovodni i instalacijski kanal

### 1.3. Mjere zaštite na radu

Projekte klizališta treba izraditi sukladno važećim Zakonskom regulativom, pravilnicima, normama i standardima koji se primjenjuju na građenje i održavanje postojećih građevina, a osobito sa:

- Zakonom o gradnji (NN 153/13)
- Pravilnikom o jednostavnim i drugim građevinama (NN 79/14, 41/15, 75/15)
- Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 128/15)
- Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi borave i rade (NN 145/04 i 46/08)
- Tehničkim propisom o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacijama u zgradama (NN 03/07)
- HRN EN 378-1 – Rashladni sustavi i dizalice topline

Sve tehničke specifikacije moraju biti sukladne Zakonu i javnoj nabavi (NN 90/11, 83/13, 143/13 i 13/14).

Projekte mora izraditi ovlaštena fizička osoba u pravnoj osobi s dokazom ovlaštenja kao sastavnim dijelom projekta.

Projekti moraju biti opremljeni sukladno Zakonu o izmjenama i dopunama Zakona o zaštiti na radu (NN 75/09), Pravilniku o zaštiti na radu na privremenim ili pokretnim gradilištima (NN 51/08) te sadržavati Plan izvođenja radova iz kojeg je razvidna eventualna potreba imenovanja Koordinatora I tijekom projektiranja odnosno Koordinatora II tijekom izvođenja.

Potreban je i projektantski nadzor.

Također je potrebno izvršiti sve radnje prema:

- Zakonu o zaštiti od požara (NN 92/10)
- Zakonu o vatrogastvu (NN 106/99, 117/01, 36/02, 96/03, 139/04, 174/04, 38/09, 80/10)
- Zakonu o eksplozivnim tvarima (NN 178/04, 109/07, 67/08, 144/10)
- Zakonu o zapaljivim tekućinama i plinovima (NN 108/95, 56/10)
- Zakonu o prijevozu opasnih tvari (NN 79/07)

Osim već spomenutih zakona koje je potrebno poštivati potrebno je primjenjivati i stanje zaštite dokumentacije propisane evidencije i to:

- Radnicima osposobljenim za rad na siguran način sa programima osposobljavanja te o osposobljavanju prije početka rada

- Radnicima raspoređenim na poslove s posebnim uvjetima rada
- Odgovarajućim ispravama o ispunjavanju uvjeta radnika raspoređenih na mjesta s posebnim uvjetima rada
- Strojovima i uređajima s povećanim opasnostima koje koristi te dokaze o provedenim ispitivanjima
- Provedenim ispitivanjima strojeva i uređaja
- Provedenim ispitivanjima građevina namijenjenih za rad i instalacijama
- Provedenim ispitivanjima radnog prostora
- Opasnim tvarima koje proizvodi, prerađuje ili koristi
- Ozljedama na radu
- Slučajevima profesionalnih bolesti
- Poremećajima u tehnološkom procesu koji su izazvali ili su mogli izazvati štetne posljedice po sigurnosti i zdravlje radnika
- Radnicima osposobljenim za evakuaciju i spašavanje
- Radnicima osposobljenim za pružanje prve pomoći i potrebnom opremom
- Planovima evakuacije i spašavanja te voditeljima evakuacije i spašavanja
- O izvršenim vježbama evakuacije i spašavanja
- Upute o načinu korištenja strojeva i uređaja s povećim opasnostima dok te strojeve i uređaje koristi
- Isprave o obavljenim ispitivanjima
- Dokaze o ispravnosti instalacije

## 2. KLIZALIŠTE NA BAZI AMONIJAČNOG RASHLADNOG AGREGATA I AMONIJAKA U CIJEVNOM RAZVODU

Medij rashladne naprave je amonijak koji je svrstan u rashladna sredstva sa toksičnim ili nagrizajućim djelovanjem, odnosno u ona sredstva čija je smjesa sa zrakom zapaljiva ili eksplozivna samo u užim granicama (3,5 %). Rashladno postrojenje prema načinu hlađenja je sa direktnim hlađenjem te strojnica mora biti opremljena vratima koja u svakom slučaju osiguravaju nesmetano povlačenje te ne smiju postojati nikakvi otvori koji bi omogućili prijelaz rashladnog sredstva u bilo koju drugu susjednu prostoriju.

Rashladno postrojenje mora biti osigurano sigurnosnom opremom. Odvod rashladnog sustava mora biti izveden izvan zgrade i opasnih zona.

Parametri za izradu ovakvog tipa umjetnog klizališta su:

- Rashladni učin  $\text{NH}_3$  – 600 000 kcal/h pri temperaturi od  $-9\text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura isparavanja iznosi:  $-9\text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura kondenzacije iznosi:  $+30\text{ }^\circ\text{C}$

Rashladni učin dobiva se pomoću tri amonijačna kompresorska agregata. Svaki agregat je opremljen jednim trofaznim – kaveznim (kratko spojenim rotorom) snage 110 kW, broja okretaja 1450 o / min. Također, postoji i rezervni kompresor snage električnog motora 132 kW.

Rashladni agregati rade na principu direktnog isparivanja amonijaka te se time postiže odvođenje topline sa površine klizališne staze uz isparavanje tekućeg amonijaka u cijevnom sustavu koji je uliven u beton. Ukupna količina amonijaka korištena u procesu hlađenja iznosi preko 7,5 do 8 tona.

Uz kompresorske agregate rashladnom uređaju pripadaju još amonijačni: kondenzatori sa cijevima u plaštu, separator tekućine, pumpe, ocijevljene staze, ulazni – izlazni kolektori, ventilatori i pumpe, potrebni cjevovodi za spajanje pojedinih dijelova uređaja te tornjevi za hlađenje kondenzirane vode.

Potrebna rashladna oprema za ovakav vid postrojenja:

- Amonijačni kompresori
- Kondenzatori – cijevni protočni izvedbe shell and tube
- Sabirnik
- Separator zraka
- Pumpni agregat – kondenzirani amonijak sustava
- Elektrogrijač amonijaka

- Rashladni toranj
- Elektrogrijač rashladnih tornjeva
- Dobava vode – filtracija i priprema nove rashladne vode
- Pumpni agregati – optočna voda rashladnog tornja
- Isparivač – voda za klimatizaciju
- Separator tekućeg amonijaka
- Pumpni agregat – proizvodnja hladne vode klimatizacije
- Akumulator vode – međuspremnik rashladne vode
- Ekspanzijska posuda – ekspanzija rashladne vode
- Pumpni agregat – potrošnja hladne vode klimatizacija
- Ostala armatura – ventili, zasuni, priрубnice, vijci itd.
- Ostali cjevovodi – cjevovodi amonijaka, rashladnog ulja, kompresorskog ulja, radne vode, napojne vode.
- Izolacija
- Upravljanje – elektroarmari, elektro-motorni razvodi, elektro-automatika, spojni kablovi

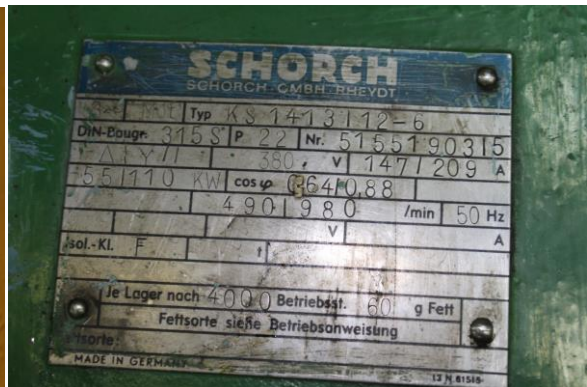
Važno je spomenuti neutralizator amonijaka koji se sukladno zakonskim obavezama mora postaviti na ventilacijski otvor kako u slučaju nekontroliranog istjecanja amonijaka ne bi došlo do zagađenja okoliša i opasnosti po radnike i građane.

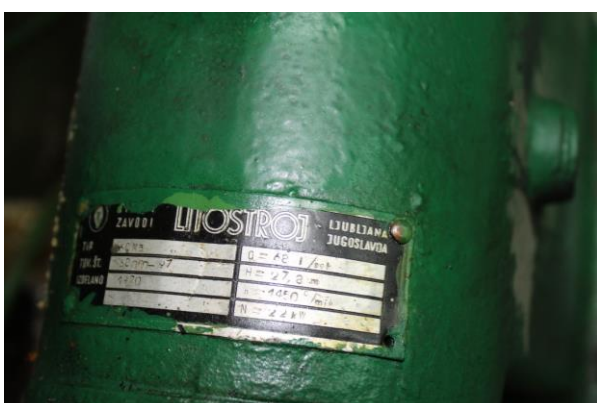


*Slika 15: Neutralizator amonijaka*



Na slijedećim fotografijama prikazana je oprema rashladnog postrojenja te njihove tvorničke pločice:





Potrebna rashladna snaga za ovakav tip klizališta s vremenom zaleđivanja površine 8h do debljine 1/2" iznosi oko 640 kW.

## 2.1. Primjer proračuna opterećenja po Europskoj literaturi

Potrebni rashladni učinak klizališta ovisi o čitavom nizu faktora, kao i o namjeni (hockey, javno klizanje i dr.), o samom intenzitetu upotrebe, o duljini sezone klizanja, o nadmorskoj visini, o načinu ograđivanja i svakako posebno veoma mnogo o mjesnim klimatskim uvjetima (temperaturi, vlažnosti zraka, djelovanju magle itd.) te je izuzetno teško i upravo nemoguće doći do potrebnog rashladnog učinka na čisto teoretskoj osnovi.

W. Köninger je u Njemačkoj vršio ispitivanja utjecaja kretanja zraka, temperature i vlažnosti zraka, kao i prolaza topline kroz tlo na potrebni rashladni učinak.

Koristeći vrijednosti naprijed navedenih opisa W. Köningera u Njemačkoj, a na osnovu meteoroloških podataka za zimske mjesece, načinjeni su daljnji proračuni.

Ukupno satno toplinsko opterećenje

$$Q = F \times \sum_{i=1}^n \times q_i \quad (W)$$

Ukupno specifično toplinsko opterećenje

$$q_i = q_{oz} + q_{tr} + q_{ius} + q_k + q_p + q_1$$

Specifični rashladni teret od vanjskog zraka

$$q_{oz} = k(t_z - t_1) \quad W/m^2$$

Koeficijent prijelaza topline od zraka na led

$$k = 4,5 \div 10,5 \quad W/m^2h^\circ C$$

Temperatura zraka iznad površine leda

$$t_z = 15^\circ C$$

Temperatura leda na površini klizališta

$$q_{oz} = 4,5 \times (15 - (-2)) = 79 \quad W/m^2h$$

Prema dijagramu Köeninger uz

$$q_{oz} = 76 \quad W/m^2h$$

- temperatura okoline: 15 °C
- relativna vlažnost okoline: 85%
- temperatura leda: -2 °C
- brzina zraka: 1 m / sek

### **Specifično opterećenje od prijelaza topline sa donje strane konstruktivnog sloja piste**

Specifični rashladni teret od zraka sa donje strane konstruktivnog sloja piste

$$q_{tr} = k(t - t_o) \quad \text{W/m}^2\text{h}$$

Koeficijent prolaza topline izolacije osnove klizališta

$$k = 0,47 - 0,58 \text{ W/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Temperatura zraka u prostoru

$$t = 15^\circ\text{C}$$

Temperatura betona istovjetna srednjoj temperaturi isparavanja rashladnog medija

$$t_o = -2 \times -6^\circ\text{C}$$

$$q_{tr} = 0,47 \times (15 - (-6)) = 9,9 \quad \text{W/m}^2\text{h}$$

### **Specifično opterećenje od izolacije**

Specifični rashladni teret izolacije

$$q_{ius} = 0 - \text{zatvorena hala i zimski rad}$$

### **Specifično opterećenje od zraka kondenzacija i smrzavanje vlage**

Specifični rashladni teret od kondenzacije i smrzavanje vlage iz zraka

$$q_k = (x - x'') \times r \quad \text{W/m}^2\text{h}$$

Koeficijent obrnuto proporcionalan koeficijentu isparavanja

$$q_k = 25 \times 30 \text{ kg/m}^2\text{h}$$

Sadržaj vlage u zraku iznad površine leda

$$x = 0,009 \text{ kg/kg}$$

Sadržaj vlage u zraku u graničnom sloju kod srednje temperature površine leda

$$x'' = 0,003 \text{ kg/kg}$$

Toplina kondenzacije vodene pare s dodatkom smrzavanja vlage na površini leda

$$r = 791 \text{ W/kg}$$

$$q_k = 25 (0,009 - 0,003) \times 791 = 118,6 \text{ W/m}^2\text{h}$$

### **Specifično opterećenje od klizača i klizanja**

Specifični rashladni teret korištenja klizališta (trenje klizaljki, klizači)

$$q_p = 23,3 \text{ W/m}^2\text{h}$$

### Specifično opterećenje stvaranja leda

Specifični rashladni teret stvaranja leda

$$q_1 = f \times \Delta \times y \times q_0 \frac{1}{T} \text{ W/m}^2\text{h}$$

- Površina:  $t = 1 \text{ m}^2$
- Debljina ledene plohe:  $\Delta = 0,012 \text{ m}$
- Specifična težina leda:  $y = 910 \text{ kg / m}^3$
- Latentna toplina smrzavanja vode + hlađenje  
vode sa  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  na  $0 \text{ }^\circ\text{C}$   $q_0 = 104,6 \text{ W}$
- Vrijeme smrzavanja:  $T: 8 \text{ h}$   
(uobičajeni normativ za formiranje ledene piste  
je postizanje debljine leda od  $1/2''$  u vremenu od:  $8 \text{ h}$

$$q_1 = 1,0 \times 0,012 \times 910 \times 104,6 \times \frac{1}{8} = 370,6 \text{ W/m}^2\text{h}$$

Ukupno specifično opterećenje

$$q = \sum q = 370,6 \text{ W/m}^2\text{h}$$

Ukupni rashladni teret

$$Q = F \times q \text{ W/h}$$

Satno opterećenje

- Klizalište hockey

$$Q_h = 61 \times 30,5 \times 370,6 = 689,500 \text{ W}$$

Ukupni rashladni teret ledenih površina za vrijeme stvaranja leda iznosi

$$Q = Q_h + Q_c = 689,500$$

## 2.2. Proračun i odabir opreme

### Proračun i odabiranje odjeljivača tekućeg amonijaka

Minimalni potrebni presjek odjeljivača određuje se na osnovu potrebnog rashladnog kapaciteta, radnih uvjeta, načina odsisavanja, povrata i napajanja potrošača.

Za dvostruko odsisavanje separatora potrebni presjek možemo odrediti prema jednadžbi:

$$d = \left( \frac{4 \times Q \times v''}{0,7 \times 3,14 \times w \times 3600 \times q} \right)^{1/2} \text{ (m)}$$

Q (W)	- potrebni rashladni kapacitet
w (m/s)	- dozvoljena brzina strujanja
q (W/kg)	- rashladni kapacitet mase
v'' (m <sup>3</sup> /kg)	- specifični volumen para rashladnog medija

Obzirom na potrebni učinak i ugrađene kapacitete potrebno je ugraditi odjeljivač okvirnih dimenzija  $\varnothing 1600 \times 6000$  mm, volumena cca. 11 m<sup>3</sup>, odnosno potrebno je zbog dotrajalosti zamijeniti postojeći separator tekućeg amonijaka novim istih dimenzija.

### Proračun i odabiranje pumpnih agregata

Karakteristike pumpnih agregata određuju se prema potrebnom kapacitetu, radnim karakteristikama potrošača te prema padu pritiska po principu kritičnog puta rashladnog medija.

Potrebni protočni kapacitet se određuje prema jednadžbi:

$$V = \frac{(3 \text{ do } 5) \times Q \times v'}{q} \text{ (m}^3\text{h)}$$

Q (kcal/h)	- rashladni učinak
v' (m <sup>3</sup> /kg)	- specifični volumen tekućeg rashladnog medija
q (kcal/kg)	- rashladni kapacitet mase

Uvrštavanjem vrijednosti proizlazi da je satni protok tekućeg amonijaka

$$V = 17.300 \text{ lit/h}$$

Prema proračunu proizlazi da je potreban agregat ima sljedeće karakteristike:

- broj agregata kom 1
- protočni kapacitet m<sup>3</sup>/h 6
- manometarska visina dobave m SV 30
- instalirana snaga elektromotora k W 3

### Dimenzioniranje cjevovoda

Dimenzije cjevovoda određene su na osnovu dozvoljenih brzina strujanja kroz cjevovod, prema tabeli:

Rashladni medij	Sadržaj parne faze	Brzina usis	strujanja tlak
NH <sub>3</sub>	1	15	20
NH <sub>3</sub>	0	0,5	2
NH <sub>3</sub>	0,25	5	7
H <sub>2</sub> O	0	0,5	1,7

Specifični volumen pri  $x = 0,25$  je:

$$Vx = v' + x(v'' - v')$$

Ciklus - 10°C

$$Vx = 0,106 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Dobivene dimenzije na osnovu dane tabele mogu se vidjeti u shemi rashladnog uređaja.

## Dimenzioniranje izolacije

Debljina izolacije ovisna je o temperaturi i vlažnosti zraka, temperaturnoj razlici između medija i okoline, promjera cijevi kroz koju protječe medij te koeficijenta toplinske vodljivosti izolacionog materijala.

Potrebna minimalna debljina izolacije za sprečavanje kondenzacije određena je prema jednadžbi:

$$S = \frac{q_v}{q_p} \left( \frac{t_a - t_i}{t_a - t_k} - 1 \right) \quad (\text{m})$$

$t_a$  (°C) - temperatura okoline

$t_i$  (°C) - temperatura medija

$t_k$  (°C) - temperatura kondenzacije

$q_v$  (W/Mk) - toplinska vodljivost

$q_p$  (W/m<sup>2</sup>K) - koeficijent prijelaza topline sa stjenke na okolinu

Koeficijent prijelaza topline određen je prema jednadžbi:

$$q_p = 9,42 + 0,218 (t_o - t_a) \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

$t_o$  (°C) - temperatura na vanjskoj strani izolacije

Temperatura površine, kontrolirana je prema jednadžbi:

$$t_o = \frac{1}{1 + \frac{q_p}{2 \times q_v} \times \ln \frac{d_a}{d_i}} (t_i - t_a) \quad (\text{°C})$$

$d_a$  (°C) - vanjski promjer izolacije

$d_i$  (°C) - vanjski promjer cijevi

Toplinski tok je određen prema jednadžbi:

$$Qk = \frac{d_t \times 3,14}{\frac{1}{q_i \times d_i} + \frac{1}{2 \times q_v} \ln \frac{d_a}{d_i} + \frac{1}{q_p \times d_a}}$$

$q_i$  (W/m<sup>2</sup>K) - koeficijent prijelaza topline sa stjenke na medij

Toplinski tok držan je u području između 10 i 25 W/m, okoline, odnosno o dimenzijama cjevovoda.



## 2.3. Svojstva amonijaka i njegova toksičnost

Amonijak je bezbojni plin s karakterističnim mirisom, lakši je od zraka, njegova gustoća je 0,589 puta manja od gustoće zraka. Lako se prevodi u tekuće agregatno stanje, amonijak ključa na  $-33,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a stvrdnjava se na  $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$  formirajući pritom bijele kristale. Njegov kritični tlak je oko 11,3 MPa odnosno 112 atmosfera, a kritična temperatura  $132,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tekući amonijak posjeduje jaka ionizirajuća svojstva, njegova dielektrična konstanta je 22, a topljivosti soli u tekućem amonijaku je mnogo proučavana. Tekući amonijak ima veliku standardnu entalpiju isparavanja od 23,35 kJ/mol i zbog toga se koristi u laboratorijima u neizoliranim posudama na sobnoj temperaturi, iako je to znatno iznad njegove točke ključanja.

Amonijak je topljiv u vodi. Sav amonijak koji se nalazi u vodenoj otopini može biti dobiven ključanjem. Vodena otopina amonijaka je baza. Maksimalna koncentracija amonijaka u vodi ima gustoću od  $0,88\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Vodena otopina amonijaka reagira alkalično, a uz amonijak sadrži i adicijom vode nastalu bazu amonijev hidroksid.

Amonijak ne podržava sagorijevanje i ne gori lako osim kada je pomiješan s kisikom, tada gori razvijajući slab žutozeleni plamen. Klor se pali kada se propušta kroz amonijak, formirajući dušik i klorovodičnu kiselinu, osim kada je amonijak prisutan u višku i kada se formira visoko eksplozivan dušik-triklorid. Molekula amonijaka je podložna dušičnoj invaziji na sobnoj temperaturi, odnosno atom dušika prolazi kroz ravninu simetrije tri vodikova atoma. To se može usporediti s kišobranom koji se pri jakom vjetru okreće iznutra prema van. Energetska barijera ove invazije je 24,7 kJ/mol kod amonijaka, a rezonantna frekvencija je 23,79 GHz, što odgovara mikrovalnom zračenju valne dužine 1,26 cm.

Toksičnost:

- Amonijak je otrovan i nagriza sve dijelove tijela
- Granica osjeta mirisa je 5-25 ppm
- Koncentracija od 50-100 ppm uzrokuje slabu nadraženost tijekom duljeg izlaganja
- Trenutna nadraženost očiju, nosa i ždrijela nastupa kod 400-700 ppm sa simptomima slabog nadraživanja gornjih dišnih organa koji traju samo tijekom izlaganja
- Iznad 1000 ppm i nakon kratkog izlaganja, nastaje teško nadraživanje očiju i gornjeg dišnog sustava

- Izlaganje iznad 2000 ppm, čak i za kratko vrijeme, stvara teške plućne ozljede i može biti kobno. Plućni endem se može pojaviti do 48 sati nakon udisanja s mogućim smrtnim ishodom. Izlaganje koncentracijama osjetno iznad MDK dovodi do trajnog oštećenja dišnih organa
- Amonijak je otrovan za vodene organizme

Amonijakom se treba rukovati samo u prostorijama s osiguranom ventilacijom.

## **2.4. Opis amonijačnog kružnog procesa**

Tekući amonijak se tlači pomoću 3 amonijačne pumpe iz separatora tekućina. Tlačenje se vrši kroz klizališnu pistu.

Jedan dio tekućeg amonijaka ispari za vrijeme strujanja kroz pistu zbog okolišne topline. Amonijačna para koja nastane zajedno sa preostalom tekućinom struji natrag prema separatoru tekućine, gdje se onda te dvije faze odvoje. Pare se potom odvoje i tlače uz pomoć separatora ulja u kondenzator sa cijevima u plaštu. U kondenzatoru se ukaplji pregrijani amonijak uz pomoć rashladne vode te takvo ukapljeno sredstvo struji prema regulacijskom ventilu. Od regulacijskog ventila dopijeva rashladno sredstvo u zajednički separator – sakupljač te iz njega amonijačne pumpe tlače tekući amonijak ponovno na pistu i tu započinje novi kružni proces.

Potrebna količina svježje vode za vrijeme normalnog pogona je 700 – 1400 l/h, a za vrijeme izrade ledene površine potrebno je 3000 l/h.

## 2.5. Zbrinjavanje amonijaka

- Generalna rješenja za zbrinjavanje ne postoje i u svakoj državi ona moraju biti u skladu s važećim zakonima. Preporučamo kontaktirati nadležnu ustanovu koja se bavi problematikom odlaganja i uništavanja kemijskog otpada.
- Zbog brzo isparavanja tekućeg amonijaka ne može ostati otpadni amonijak. Pod otpadom se mogu podrazumijevati spremnici, oštećeni ili ispravni, koji se vraćaju dobavljaču.
- Zbrinuti sukladno relevantnim nacionalnim i regionalnim propisima. Izbor metode obrade otpada sukladno nacionalnim, regionalnim i europskim propisima. Odgovornost s mogućnostima prilagodbe lokalnim uvjetima naslovljena je na ovlaštenu tvrtku za zbrinjavanje opasnog otpada.
- Dobra higijena na radnom mjestu i mjere za nadzor izloženosti provode se kako bi se potencijalno izlaganje radnika svelo na najmanju moguću mjeru. Radnici koji sudjeluju u proizvodnji, uzrokovanju i prijenosu amonijak anhidrida do autocisterni dobro su izvučeni za te postupke i za korištenje odgovarajuće zaštitne opreme.
- Ventilacija s isisavanjem osigurana je na otvorima i točkama gdje može doći do emisije. U slučaju da dobra prirodna ventilacija nije dovoljna, osigurava se mehanička (opća) ventilacija ili lokalna odsisna ventilacija. Autocisterne opremljene su s ventilacijskim sustavima (npr. zatvorena hauba).
- Osobna zaštitna odjeća (npr. zaštita za lice / oči, kaciga, rukavice, čizme i zaštitno radno odijelo) nosi se uvijek kada postoji mogućnost kontakta s amonijakom. Dišne maske s filterom nose se ako dođe do slučajnog ispuštanja amonijaka.
- Eliminacija amonijaka iz sustava hlađenja i njegova sanacija na siguran način. Osiguranje prostora, pražnjenje sustava hlađenja od prisutnog amonijaka.
- Tvrtka mora posjedovati ovlaštenje za čišćenje, sakupljanje i zbrinjavanje amonijaka.

### **3. KLIZALIŠTE NA BAZI AMONIJAČNOG RASHLADNOG AGREGATA I GLIKOLA U CJEVNOM RAZVODU KLIZALIŠTA**

Za stvaranje i hlađenje ledene piste u indirektnom sistemu hlađenja kao primarno rashladno sredstvo u rashladnom agregatu upotrebljava se amonijak u količini cca. 130 kg pomoću kojeg se hladi smjesa etilen glikola 35 % i vode s kojom se dalje u sekundarnom krugu pomoću pumpi preko sistema razdjelnika odnosno sabirnika i cijevi hladi ledena pista.

Razvod smjese etilen glikola 35 % i vode izvodi se u plastičnim cijevima, dok se razvod vode za pločaste kondenzatore izvodi u čeličnim cjevovodima.

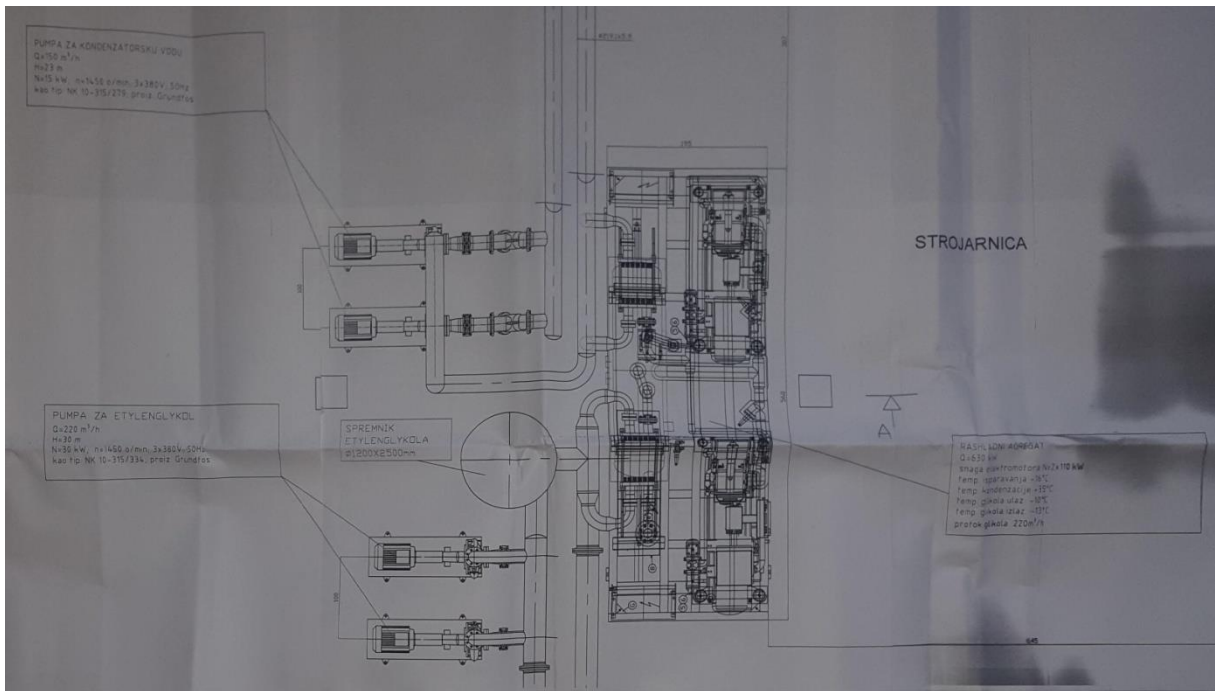
Za kondenzaciju amonijaka u pločastim kondenzatorima koristi se voda iz bazena ili iz rashladnih tornjeva.

Postrojenje se izvodi prema propisima i normama za tu vrstu postrojenja uz poštivanje svih mjera zaštite na radu i zaštite od požara.

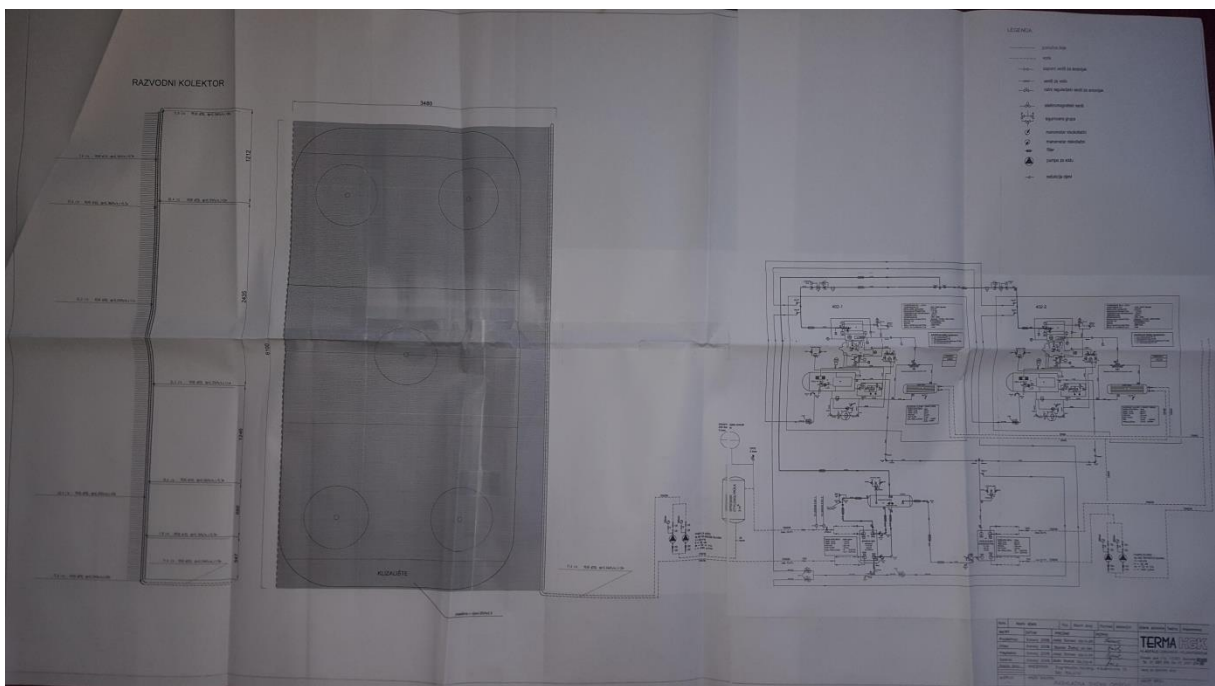
Postrojenje radi automatski uz mogućnost ručnog pogona.

#### **3.1. Opis rashladnog postrojenja – strojnice**

U strojnici smješten je rashladni agregat za hlađenje smjese etilen glikola 35 % i vode, rashladnog učina  $Q = 632 \text{ kW}$  kod  $t_o/t_k = -16 / +35 \text{ °C}$ . Rashladni agregat se sastoji od 2 vijčana kompresora, pločastog izmjenjivača, pločastog kondenzatora, hladnjaka ulja, elektrokomandnih ormara za pogon rashladnog agregata (sve je smješteno na čeličnom postolju). Rashladni agregat je kompletiran sa svom potrebnom zaštitnom i regulacijskom automatikom. Hlađenje ulja na kompresorskim agregatima je izvedeno sa vodom. Kao primarni rashladni medij koristi se amonijak. Uz agregat su smještene dvije pumpe za transport smjese etilen glikola 35 % i vode za ledenu pistu te dvije pumpe za kondenzatorsku vodu. Također je smješten i akumulacijski spremnik hladnoće.



Slika 16: Tlocrt strojarnice



Slika 17: Shema rashladne opreme

### 3.2. Ledena pista

Za potrebe izrade zaleđene površine s ledom potrebne kvalitete za hokejaške utakmice dovoljna je temperatura leda od  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Prijenos topline se izvodi preko pločastog izmjenjivača na rashladnom agregatu koji se nalazi u strojarnici.

Pista je prekrivena cijevima iz umreženog polietilena XLPE, izrađene silan postupkom testirane prema standardima DIN 53 453 i 53 455, mekane i fleksibilne, posebno rađene za primjenu kod odleđivanja vanjskih površina i izradu klizališta.

Cijevi su položene u beton. U betonu se nalazi čelična mreža za koje su pričvršćene cijevi.

Cijevi su otporne na radne temperature od  $-50$  do  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Raspodjela i sakupljanje rashladnog medija odvija se preko razdjelnika odnosno sabirnika koji se izrađuju od inoxa.

Maksimalni dozvoljeni tlak sustava je u ovisnosti o radnoj temperaturi. Tlačna proba se izvodi sa dvostruko višim tlakom od radnog. Natlačene cijevi se drže 30 minuta pod tlakom uz vizualnu inspekciju cijevi i spojeva. Ukoliko tlak sustava ostane nepromijenjen kroz 24 sata cijevi se mogu pokrivati betonom.

Debljina betona ispod cijevi iznosi minimalno 25 do 50 milimetara dok debljina iznad cijevi uz ugrađenu armaturu ne bi smjela biti manja od 30, niti veća od 40 milimetara. Prevelika debljina betona iznad cijevi smanjuje rashladni učinak dok manja od 30 milimetara povećava opasnost od pucanja cijevi kod opterećenja piste strojem ili uslijed drugih korištenja piste.

Ispod betonskog dijela piste obično se postavlja na tlak otporna toplinska izolacija kako bi rashladni učinak usmjerila u površinu piste koju treba zalediti.

### 3.3. Rad postrojenja

#### 1. Primarni krug:

Kompresori odsisavaju ispareni amonijak iz separatora tekućine te ga komprimiraju i šalju preko sustava kolektora i cjevovoda u pločasti kondenzator, gdje se prilikom visokog tlaka preko struje vode ukapljuje i odlazi prema pločastom hladnjaku. Prije pločastog hladnjaka ugrađeni su prigušni ventili u kojima se prigušuje amonijak na niži tlak i temperaturu te se u pločastom hladnjaku oduzima toplina smjesi etilen glikola 35 % i vode. U pločastom hladnjaku – izmjenjivaču tekući amonijak niskog tlaka isparava primajući toplinu od smjese etilen glikola 35 % i vode te se vraća natrag u separator. S istim je krug amonijaka završen. Za kondenzaciju amonijaka u pločastim kondenzatorima koristi se voda iz postojećeg bazena.

#### 2. Sekundarni krug:

Ohlađena smjesa etilen glikola 35 % i vode se pomoću ugrađenih pumpi putem cjevovoda uzima iz pločastog hladnjaka i spremnika te šalje prema razdjelniku i cijevima na ledenoj pisti. Smjesa etilen glikola 35 % i vode oduzima toplinu ledenoj pisti te se vraća natrag zagrijana preko sistema cijevi i sabirnika u pločasti hladnjak na rashladni agregat. Količina etilen glikola 35% i vode koji se nalaze u spremniku i cijevnim razvodima iznosi preko 22 000 litara.

S time je krug smjese etilen glikola 35 % i vode završen

#### 3. Zaštita postrojenja:

Sve posude su zaštićene sigurnosnim ventilima radi sigurnosti osoblja.

Dijelovi postrojenja su zaštićeni automatskim električnim uređajima protiv visokih odnosno niskih tlakova te nestanka ulja da ne dođe do štete vitalnih elemenata.

Svi elementi instalacija na rashladnom agregatu su međusobno povezani sa kvalitetnim čeličnim cjevovodima i kvalitetnom automatikom i armaturom.

Postrojenje je napravljeno na automatski rad, uključujući uvijek samo onoliko jedinica kompresora koliko zahtijeva opterećenje.

Postrojenje djeluje potpuno automatsko kao zasebna cjelina provodeći postavljene

zadatke te poštujući sve mjere zaštite.

Cjevovodi su opremljeni potrebnom armaturom za blokade te odzrakama i ispuštima.

Slike opreme te njihove tvorničke pločice:





**Grasso GmbH**  
**Refrigeration Technology**

Holzhauser Str. 165 D-13509 Berlin  
 Telefon: +049 (0)30/43 592-6 Fax: +049 (0)30/43 592-777  
 E-Mail: info@grasso.de

0035

Typ: FX PP 2 x 650 Duo Serien-Nr./Serial-No./N° de série: 1024

Einstr./str.: 2009 Leergewicht/Weight empty/Poids à vide: 9130 kg

Refrigerant: NH<sub>3</sub> Kältemittel-Füllmenge/Filling with Refrigerant/Rempl. avec fluide frigor.: 137 kg

Hochdruckseite/High pressure side/Côté refoulement: 23 bar  
 Niederdruckseite/Low pressure side/Côté aspiration: 16 bar



**LOWARA** CE

VIA LOMBARDI 14 - 36075 MONTECCHIO MAGGIORE (VI) ITALY

ITT

Motor 3~ P<sub>nom</sub> 508 45 / 3 85  
 Cod. 5 025VP00

Hz	50	50	50	50
kW	8,5	8,5	8,5	20,4
V <sub>Δ</sub>	400	380	440	400
V <sub>Y</sub>	690	660	770	690
A <sub>Δ</sub>	33,2	33,3	29,6	36,0
A <sub>Y</sub>	9,2	9,2	8,0	20,8
cosφ	0,88	0,91	0,89	0,89
min <sup>-1</sup>	2950	3000	3550	2945
η	0,82	0,84	0,82	0,89

CI IP 55

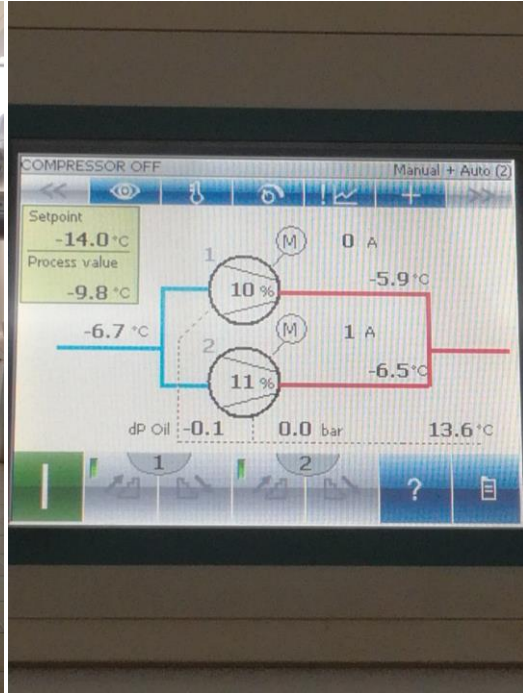
Date 20030421 kg

No 00 80 Tamb 0 °C

IEC 60034 MADE IN POLAND 568230030

Jastrebarsko  
 091/62 84 638





<b>MarelliMotori</b>		EN 60034-1	<b>EFF 2</b>	<b>CE</b>
MADE IN ITALY - ARZIGNANO (VI)		IEC 60034-1		
MOT.3~ A4C 200 LB2 B3		COD. A4C2071A00016		
N° V016194 03-08		I.CI. F	IP55	
S 1			kg	150
6312-Z-C3		6210-Z-C3		
- h -		g		
Δ V	Hz	Δ A	kW	min <sup>-1</sup> cos. φ
400	50	65	37	2950 0,88
460	60	66	43	3550 0,88
380-420 VΔ- 50HZ- I max. 70 A 440 VΔ - 60HZ - 66 A - 40 KW				
AD OGNI ASSIEM. RIPRIST. IL GRASSO SUI GIUNTI - BEFORE ASSEMBLY RENEW GREASE ON SHOULDERS				



Potrebna rashladna snaga za ovakav tip klizališta s vremenom zaleđivanja površine 8h do debljine 1/2" iznosi oko 670 kW.

### **3.4. Usporedbe rashladnih medija**

U projektiranom rashladnom postrojenju primijenjen je rashladni medij R 717 (amonijak) u primarnom krugu (rashladni agregat), dok se smjesa etilen glikola 35 % i vode koristi u sekundarnom krugu (rashladni agregat – ledena pista).

#### **3.4.1. Primarni krug – amonijak**

Prema stupnju opasnosti anhidrirani amonijak spada u II grupu prema HRN M.E7.101.

U ovu grupu spadaju sva rashladna sredstva sa toksičnim i nagrznim djelovanjem, odnosno sva ona sredstva čija je smjesa sa zrakom zapaljiva ili eksplozivna u užim granicama (donja granica zapaljivosti kod 3,5 % i više). Kritični tlak anhidriranog amonijaka je 112,97 bar, dok je kritična temperatura +132,4 °C.

Iznad ovih parametara amonijak je u plinovitom stanju i ne može se kondenzirati. U rashladnoj instalaciji temperatura amonijaka može biti iznad kritične, ali tlak daleko niži. Ova pojava se može dogoditi samo na potisnoj strani kompresora. Temperatura isparavanja amonijaka pri atmosferskom tlaku je -33,4 °C.

Temperatura zamrzavanja kada amonijak prelazi iz tekućeg u čvrsto stanje je -77,7 °C.

Zbog niskog vrenja na atmosferskom tlaku transport i čuvanje amonijaka se mora obavljati u zatvorenim bocama ili posudama. U rashladnoj instalaciji promjenu temperature uglavnom prati i promjena tlaka.

Temperatura kondenzacije može u najnepovoljnijem slučaju porasti i do +40 °C na tlaku od 15,544 bar, ali to se mora uzeti u obzir kao izniman slučaj.

Rad sa amonijačnom rashladnom instalacijom može prouzročiti niz opasnosti i šteta kao što su:

- Opasnost za zdravlje rukovatelja i osoblja koji rade sa rashladnom instalacijom
- Opasnost od gušenja uslijed visoke koncentracije:
  - ukoliko je koncentracija amonijaka u zraku samo 0,5 % zadržavanje u toj koncentraciji izaziva vrlo brzu smrt
  - ukoliko je koncentracija amonijaka 0,25 % zadržavanje u toj koncentraciji u trajanju

od 30 – 60 minuta izaziva smrt

- ukoliko je koncentracija 0,03 % čovjek se može zadržavati u ovoj sredini maksimalno 1 sat bez većih posljedica

- Opasnost od povreda uslijed nagriznog djelovanja amonijaka
- Pored toga što je otrovan amonijak može izazvati i opekotine (promrzline) ukoliko tekućina dođe u dodir s kožom čovjeka
- Amonijak ima i nagrizno djelovanje. Nagrizno djelovanje se naročito ogleda kod otvorenih rana pa se ne preporučuje ljudima koji ih imaju da uopće imaju dodira sa amonijakom.
- Opasnosti od požara i eksplozije
- Anhidrirani amonijak kojim je napunjena rashladna instalacija zapaljiv je i eksplozivan kada je pomiješan sa zrakom u koncentraciji od 13,1 % do 26,8 %. Koncentracija u zraku manja od 13,1 % i već od 26,8 % nije zapaljiva i eksplozivna.

### **3.4.2. Sekundarni krug – smjesa etilen glikola 35 % i vode**

Rashladna mješavina je smjesa vode sa dodatkom 35 % antifrizna na osnovi etilen glikola kako bi se spriječilo smrzavanje vode do cca. -20 °C.

Osobine „Antifriz AL – Super“ su:

- Biološki razgradiva tekućina koja se dobro miješa s vodom
- Kod konzumacije količine veće od 0,1 litre može biti opasan za život
- Štetnost u kontaktu s očima, kožom ili inhalacijom hlapova je minimalna
- Direktno puštanje u kanalizaciju nije dozvoljeno, kod razgradnje uvažavati uputstva proizvođača
- Nagriza cink
- Kod visoke koncentracije klora u vodi povisuje se točka smrzavanja.

### **3.5. Cirkulacijske crpke**

Cirkulacijske elektronske crpke imaju upravljanje preko razlike pada tlaka, visokoučinkovite s niskom potrošnjom električne energije. Elektronske regulirane cirkulacijske crpke s integriranom kontrolom diferencijskog tlaka. S lijevano željeznim kućištem i rotorom iz nehrđajućeg čelika, komplet sa spojnim i brtvenim materijalom.

U području grijanja, hlađenje i klimatizacije mogu se postići uštede na električnoj energiji do čak 90% ako se ugrade visokoučinkovite crpke s malom potrošnjom.

Osnovne značajke elektronskih crpki je iznimno mala potrošnja električne energije zbog inovativne tehnologije elektronički komutiranog motora (tzv. EC motor) i napredne elektroničke regulacije. Elektroničke regulirane cirkulacijske crpke s mokrim rotorom s frekvencijskim pretvaračem automatski namještaju rad u skladu s promjenama u radu sustava grijanja. Osobito velike uštede u usporedbi s nereguliranim crpkama postižu se pri radu s djelomičnim opterećenjem (što čini i do 94% radnog vremena crpke). Tehnologija EC motora predstavlja najsuvremeniju izvedbu motora na istosmjernu struju (tzv. DC motor) i njezina glavna značajka je vrlo velika energetska učinkovitost. To omogućava dvostruko veću učinkovitost u usporedbi s elektronički reguliranim crpkama s uobičajenim pogonom.

#### **4. POSTROJENJE SA CO<sub>2</sub> RASHLADNIM AGREGATOM I GLIKOLOM U CJEVNOM RAZVODU KLIZALIŠTA**

Prilikom izgradnje ovog tipa klizališta prvo se postavlja sloj XPS (ekstrudirani polistiren) izolacije na koji se potom slažu cijevi te zalijevaju betonom koji je otporan na toplinske dilatacije hladne podloge tijekom cijele godine. Površina klizališta se hladi indirektnim sistemom pomoću rashlađenog glikola do temperature od -15 °C u cjevovodu radi pokrivanja povećanih toplinskih gubitaka. U površinu klizališta se smještaju plastične cijevi koje se isto vode dužom stranom klizališta odnosno kroz 60 metara s razlogom da onemogući spajanje cijevi ispod betonske površine što će olakšati održavanje klizališta.

Primijenjen je dvostruki Tichelmann sustav distribucije hladnog glikola sa ciljem da se stabilizira temperaturno polje cijelom površinom klizališta na način da polovica cijevi ulazi na jednoj strani i izlazi na drugoj strani. Druga polovica cijevi ima suprotan tok kroz površinu klizališta. Primjenom ovakvog modela strujanja stvoriti će se stabilna distribucija temperature leda te će led na svim točkama biti podjednake gustoće i tvrdoće.

Cijevi se postavljaju na originalne tvorničke distance i nosače s razlogom da se održi traženi razmak od 75 milimetara cijelom dužinom cijevi od 60 metara čime će se istovremeno omogućiti savijanje cijevi zbog toplinskih dilatacija.

Iznad cijevi se postavlja armaturna mreža koja se također postavlja na udaljenosti od 1 centimetar od cijevi na stabilnim distancerima. Nakon postavljanja ukupne armature pristupa se zalijevanju površine betonom koji je ojačan poliuretanskim vlaknima. Beton u dubini oko cijevi može imati najnižu temperaturu od -15 °C dok na površini može imati temperaturu od -12 °C. Temperatura nije konstantna već se smanjuje ovisno o traženoj temperaturi i tvrdoći leda koja se razlikuje prema zahtjevima.

Potrebna rashladna snaga održavanja klizališta je oko 307 kW.

Beton mora imati sljedeći sastav:

- Beton marke MB-35 mikroarmiran poliuretanskim vlaknima
- Beton otporan na djelovanje zamrzavanja i odmrzavanja, marka M-200
- Beton s najvećim zrnom agregata 16 milimetara

Slojevi klizališta:

- Cijevi glikola se postavljaju vrhom 25-50 milimetara od poda piste
- Debljina betona bi se trebala kretati 125-150 milimetara da se smanji



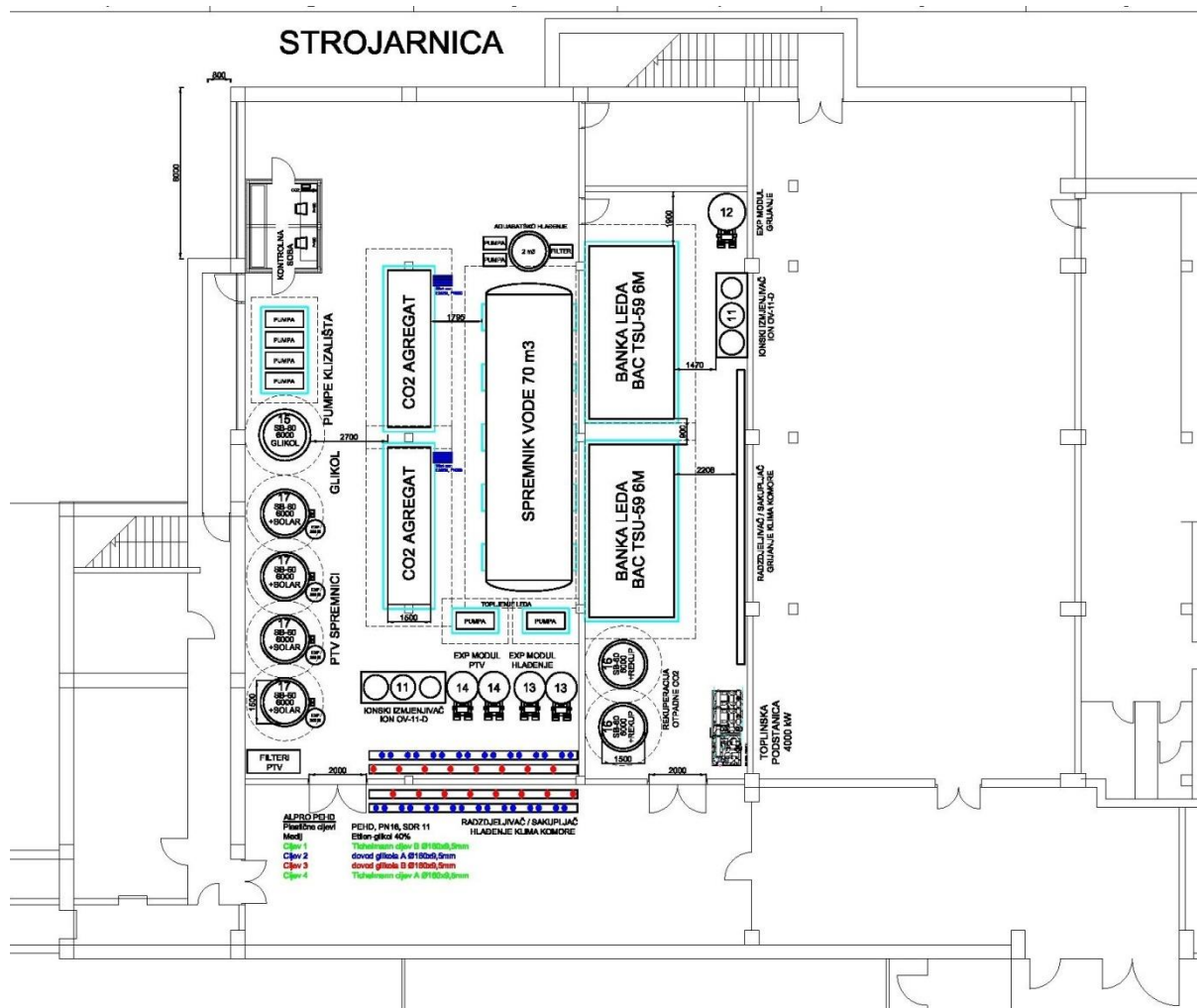
rashladno opterećenje

- Debljina podne izolacije je minimalno 100 milimetara
- Preporučena debljina leda je 25-30 milimetara
- Razmak cijevi glikola je 75-125 milimetara
- Dimenzija cijevi glikola je 25-32 milimetra
- U cijevima se nalazi otopina propilen-glikola 35-40% s inhibitorima korozije
- Temperatura glikola se održava 3-6 °C niže od željene temperature leda

Strojarnica klizališta:

- Srednja rashladna snaga klizališta 60x30 metara je 300-350 kW
- Standardno klizalište ima instalirano 2 x 300-400 kW rashladni agregat
- Dnevna snaga održavanja leda se kreće u rangu 150-200 kW
- Rekuperacija otpadne topline može pokriti 100% potrebe za grijanja pomoćnih prostorija
- Crpke su frekventne varijabilno vođene s ciljem održavanja stabilnih temperatura
- Regulacija rada kompresora je višestupanjska i frekventno vođena
- Za odleđivanje klizališta koriste se električne grijače snage oko 30-40 kW
- Nužno je ispravno dimenzionirani isparivač jer je najveći toplinski otpor upravo u dijelu prijelaza topline sa glikola na kompresorski CO<sub>2</sub> medij

Strojarnica ovakvog tipa postrojenja se sastoji i od: CO<sub>2</sub> rashladnog agregata, desuperheatera pregrijane CO<sub>2</sub> pare – izmjenjivača za toplu vodu, hladnjaka pare, isparivača ukapljenog CO<sub>2</sub> te visokotlačnog CO<sub>2</sub> voda.

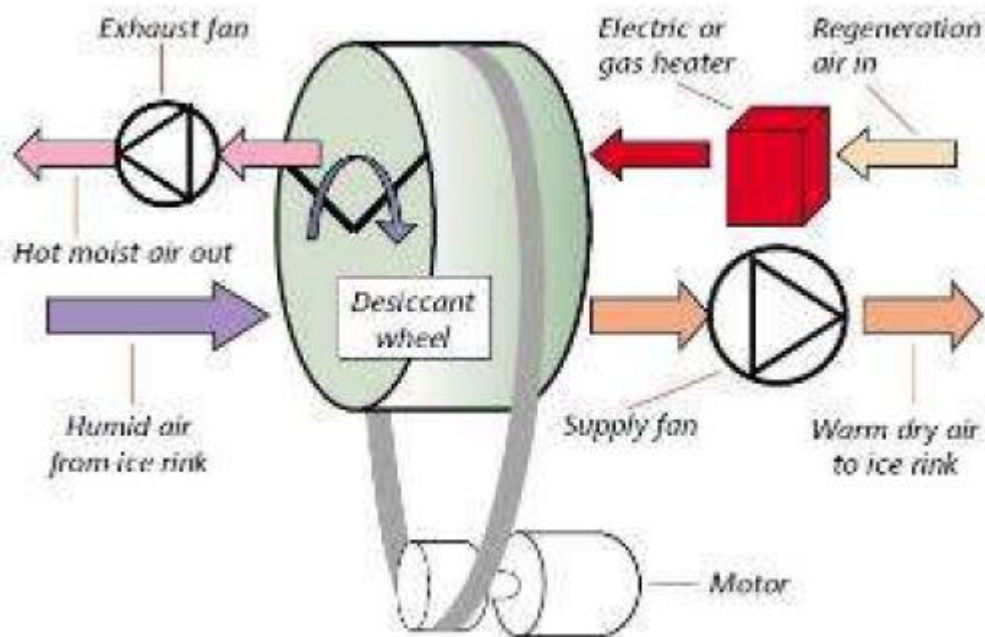


Slika 18: Strojarnica

Potrebno je pratiti temperaturu i relativnu vlažnost zraka unutar klizališta i vanjskog zraka i sve povezati na centralno upravljanje da se optimizira sustav. Također je potrebno postaviti temperaturne osjetnike u površinu leda na nekoliko pozicija i pratiti promjene temperaturnog polja da se optimizira potrošnja energije.

#### Ventilacija klizališta:

- Sustav prisilne ventilacije odvlažuje prostor klizališta i smanjuje kondenzaciju
- Odvlaživanje se provodi primjenom silica gela koji na sebe prima vlagu zraka
- Relativna vlažnost zraka se mora održavati u granici 45-50% pri stropu klizališta i 50-60% pri podu klizališta da se smanji pojava magle u zraku te da se smanji kondenzacija vlage na površini leda
- Relativna vlažnost zraka se mora mjeriti u prostoru klizališta
- Free cooling model rada tijekom zime kod niskih temperatura vanjskog zraka



Slika 19: Free cooling model rada

- Temperatura zraka dvorane bi se trebala održati u intervalu +5 do +10 °C
- +10 °C je u zoni gledišta i tribina
- +20 °C je u ostalim pomoćnim i servisnim prostorijama klizališta
- Količina zraka je definirana 4-8 l/sec osobi tijekom utakmice, a tijekom treninga je 12 l/sec po osobi
- Potrebno je održati relativnu vlažnost i temperaturu da se izbjegne kondenzacija
- Izdvajanje vlage iz zrake ovisi o vanjskim uvjetima zraka

## 4.1. CO<sub>2</sub> – ugljikov dioksid

Ugljikov dioksid je bez boje. Kod malih koncentracija je bez mirisa, dok kod većih koncentracija ima oštar i kiselkast miris. Može izazvati osjećaj gušenja i razdraženosti. Kada se udahne veća količina stvara gorak okus u ustima i osjećaj peckanje u grlu i nosu zbog otapanja plina u slini, odnosno sluznici stvarajući slabu otopinu ugljične kiseline. Sličan osjećaj se javlja kod ispijanja gaziranih pića i mjehurići izlaze kroz usta i nos. Koncentracija iznad 0,5 % se smatra jako nezdravo, a iznad 5 % opasnom po život.

Prilikom standardnog tlaka i temperature, gustoća ugljičnog dioksida je oko 1,98 kg/m<sup>3</sup>, što znači da je oko 1,5 puta gušći od zraka. Kada oksidira, srednje je kemijski reaktivan i nezapaljiv, ali podržava gorenje metala poput magnezija.

Njegova koncentracija u zraku je između 0,036 % i 0,039 %, ovisno o položaju i godišnjem dobu. Predugo izlaganje većoj koncentraciji ugljikovog dioksida može dovesti do povećanja kiselosti u krvi te nepovoljno utjecati na metabolizam kalcija i fosfora, povećavajući taloženje kalcija u mekom tkivu. Također može doći i do otežanog rada srca.

Prilikom većih postotaka koncentracije CO<sub>2</sub> može dovesti do:

- 1 % do pospanosti prilikom dužeg izlaganja
- 2 % djeluje kao blago opojno sredstvo, povećava krvni pritisak i raste broj otkucaja srca te slabi sluh
- 5 % utječe na smetnje kod dišnog sustava, nesvjesticu, zbunjenost, glavobolje, smanjen udisaj, a može se javiti i panika
- 8 % uzrokuje glavobolje, znojenje, slabljenje vida, drhtanje i gubitak svijesti

Preporuka za radno mjesto gdje se radi 8 sati je da koncentracija CO<sub>2</sub> ne smije preći 0,5 %.

Proučavanja su pokazala da u zatvorenim prostorima koncentracija ugljikovog dioksida koja je veća od 0,1 % izaziva neugodu kod 20 % prisutnih. Ukoliko je koncentracija veća od 0,2 % neugodu će osjetiti svi prisutni, a mnogi će osjetiti mučninu i glavobolju.

CO<sub>2</sub> sustav detekcije je osiguran primjenom CO<sub>2</sub> detektorima koji su vezani na upravljačku jedinicu koja šalje signal na ventilatore kako bi se uključili i osigurali strujanje zraka kroz strojarnicu. Dodatna mjera opreza osigurana je ugradnjom sigurnosnih lampi koje se upale i signaliziraju povećani udio CO<sub>2</sub> u radnom prostoru.

## **4.2. Akumulacija banke leda te analiza isplativosti**

Banka leda je akumulator rashladne energije koji se veže na sustav klimatizacije zgrade tako da je temperatura banke leda oko 0 °C sasvim dovoljna da se akumulira dovoljna razlika u energiji kWh sa ciljem da se pokrije potreba za hlađenje dvorane u trajanju od 2 do 3 sata intenzivno. Planiranjem korištenja dvorana može se izbjegavati aktiviranje pojedinih podsustava u isto vrijeme.

Banka leda se puni tehnološki pripremljenom vodom bez kamenca i vezanih minerala na početku uporabe akumulatora hladne vode s razlogom da se produži vijek trajanja izmjenjivača te da se održi stalna moguća rashladna snaga sustava. Mora biti isključivo napunjena vodom jer je regulacija kalibrirana na sustav čiste vode.

Svrha ugradnje banke leda je da se iskoristi noćna tarifa električne energije za generiranje hladne energije u obliku ledene vode i samog leda. Dodatni efekt je smanjenje dnevne vršne električne snage sustava jer se neće aktivirati drugi rashladni agregat tako da će biti moguće samo preko jednog agregata pokriti ukupne rashladne potrebe zgrade. Drugi agregat je rezervni uređaj u slučaju kvara prvog ili potrebom za remontom. Oba agregata upravljaju se preko CNUS regulacije i mjere im se sati odnosno dani rada tako da na kraju godine imaju isti broj radnih sati.

### 4.3. Dizalica topline

Klimatski uvjeti koji vladaju u Hrvatskoj omogućavaju primjenu dizalica topline sa svrhom hlađenja zgrade i sustava. Pomoću CO<sub>2</sub> uređaja se može pouzdano hladiti i kod najnižih temperatura vanjskog zraka koje se mogu pojaviti na mikrolokaciji odnosno do -20 °C prvenstveno zbog toga što će uređaj raditi kao rashladnih odnosno kondenzator će uvijek biti topliji od okolišnog zraka. Dodatno se može pouzdano hladiti i kod najviših ljetnih temperatura +35 °C jer će biti ugrađeno dodatno adijabatsko hlađenje vodenom parom vanjskog kondenzatora čime će se lokalno smanjiti temperatura lokalnog zraka.

Dizalice topline su uređaji koji svoj rad baziraju na kompresorskom ciklusu u kojem se određenom mediju oduzima ili predaje toplina. Proces toplinskih izmjena u sebi uključuje vanjski zrak te zrak i ledeni pod dvorane. Ovisno o lokaciji zgrade odabire se koji će izvor energije biti najprikladniji za traženje uvjete primjene.

Temperatura zraka tijekom godine oscilira te je zrak idealan energetski izvor u sredinama s blagom primorskom klimom. Predviđen je centraliziran sustav koji tijekom cijele godine održava tražene mikroklimatske uvjete.

#### **4.4. Centralna rashladna stanica**

Centralni uređaj za hlađenje je CO<sub>2</sub> rashladni agregat koji je odabran snage 600 kW odnosno oko 70 % potrebne snage hlađenja na temperaturi dvorane +20 °C te sustava klimatizacije. Predviđena su dva jednaka agregata sa ciljem da inicijalno jedan ima funkciju radnog dok je drugi rezervni agregat. Nakon što se izradi cijeli sustav klimatizacije predviđeno je da će oba agregata raditi u isto vrijeme punom radnom snagom.

Kako bi se smanjilo dnevno rashladno opterećenje rashladnih agregata zamišljeno je da se osiguraju akumulacijski spremnici dovoljnog kapaciteta za banke leda koje bi se hladile tijekom noći te bi se na taj način samo jedan agregat koristio cijeli dan. Sustav akumulacije rashladne energije je predviđen da na sebe primi dovoljno rashladne energije za potrebe hlađenja od 3 do 4 sata što je dovoljno za potrebe jednog sportskog događanja.

Proračunom i digitalnom simulacijom toplinskih tokova UPONOR dobivena je potrebna snaga za održavanje klizališta od 300 kW što je 50 % instalirane snage jednog CO<sub>2</sub> agregata od 600 kW. Maksimalna snaga od 300 kW će se pojaviti u trenutku održavanja ledene površine što je dugotrajno stalno opterećenje.

Najveća količina rashladne energije se koristi u inicijalnoj fazi zaleđivanja površine leda kada će se aktivirati puna snaga agregata. Što je duže vrijeme zaleđivanja to će trebati manja rashladna snaga, a kontaktom s korisnicima dolazi se do podataka da se zaleđivanje provodi nekoliko dana i noći sa ciljem da se dostigne debljina leda od 5 do 6 centimetara.

## 5. ODRŽAVANJE

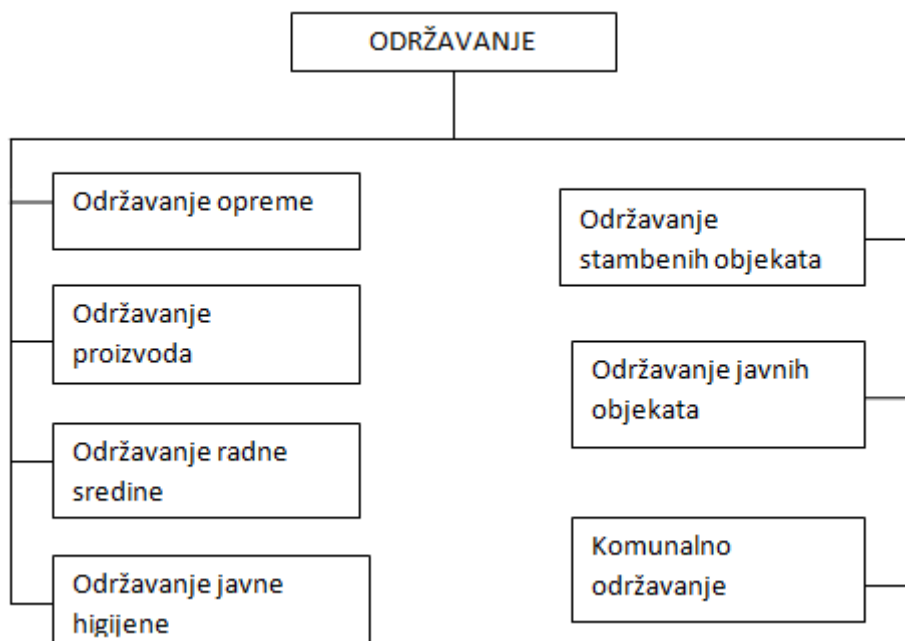
Općenito govoreći održavanje je postupak kojim se nastoji održati istim neko stanje ili neka sposobnost uređaja, objekta, oprema i slično. Kao takvo, održavanje ima najveću primjenu u tehničkim znanostima.

Održavanje u tehnici podrazumijeva postupak pregleda, popravka ili poboljšanja nekog uređaja. Cilj svega navedenoga je da se produlji radni vijek, poboljša postojeće stanje ili otkloni kvar na opremi uređajima, objektima i slično.

Kod teorije održavanja postoje suprotnosti u zahtjevima održavanja

- trošak održavanja potrebno je da bude što manji
- uređaji i oprema koji se održavaju moraju biti što pouzdaniji, što za sobom povlači da održavanje mora biti što bolje i češće

Obzirom da je teško pomiriti ova dva zahtjeva cijela teorija održavanja zasniva se na kompromisu ova dva zahtjeva. Cilj je da se postigne što veća sigurnost uz što manju cijenu pri čemu treba voditi računa da se ne smanji kvaliteta proizvoda ili kvaliteta usluge. Sve predmetno potrebno je uskladiti sa zakonima i pravilnicima koja propisuju minimume standarda koji moraju biti zadovoljeni pri radu pojedinog uređaja ili opreme, odnosno za pojedinu granu tehnike.



Slika 20: Shematski prikaz djelatnosti održavanja



Održavanje uključuje ispitivanja, mjerenja, zamjenu, prilagođenje, popravke i poboljšanje opreme. Ne postoji jedinstvena metoda održavanja nekoga sustava. Postoje metode pojedinih kompanija nastale na temelju pogonskih iskustava za pojedinu opremu kao i preporuke proizvođača opreme. Svim metodama je cilj minimiziranje troškova održavanja (eksploatacije) i povećanje raspoloživosti opreme (100%), tj. povećanje produktivnosti. Osnovni zadatak stručne ekipe održavanja je smanjenje zastoja instalirane opreme. Zastoje bi trebalo po mogućnosti eliminirati. Zastoji su najčešće uzrokovani kvarovima i oštećenjima.

Kvar je promjena stanja opreme ili njezinih sastavnih dijelova koje smeta ili onemogućava funkciju opreme ili je opasan za okoliš.

Kvar možemo podijeliti na :

- kritičan kvar (potpuno onemogućava funkciju ili je opasan za okoliš)
- nekritičan kvar (smanjuje učinak ili kvalitetu rada u dopuštenim granicama).

Oštećenje je promjena stanja opreme ili njezinih sastavnih dijelova koja još ne smeta funkciji, ali se može razviti kvar ili na drugi način smeta okolišu. Za definiranje strategije i kasnije tehnologije održavanja za neku opremu potrebno je dobro poznavati strukturu kvarova koji se pojavljuju za vrijeme eksploatacije opreme.

Zastoje u pogonu pored kvara može uzrokovati i pad radne sposobnosti opreme.

Za vrijeme vijeka eksploatacije opremi kao i svakomu drugom tehničkom sustavu u određenoj zakonitosti s vremenom pada ispravnost dijelova i cjeline. Tijekom vremena opremi pada i radna sposobnost za koju je projektirana.

## 5.1. Tekuće održavanje rashladnog postrojenja

### Dnevno

- Obavezno prisustvo strojara
- Vođenje evidencijske liste strojarnice sa upisivanjem svih parametara rada kompresora i temperaturnih režima rashladnog postrojenja
- Vođenje dnevnika rada
- Provjera količine ulja u kompresorima, dodavanje po potrebi kao i ispuštanje ulja iz postrojenja
- Kontrola tvrdoće rashladne vode
- Čišćenje sita na tornjevima, kontrola rada istih
- Prilagođavanje rada postrojenja prema trenutnim potrebama korisnika
- Dotezanje brtvenih kompleta vodenih crpki
- Obrada leda prema potrebama korisnika i održavanje debljine leda prema podacima dobivenim mjerenjem
- Pregled stroja za obradu leda
- Redovno čišćenje postrojenja
- Ostali poslovi održavanja po nalogu nadređenog

### Tjedno

- Regeneracija rashladne vode
- Kontrola ispravnosti automatike rashladnog postrojenja
- Kontrola rada plinodjavne centrale i odsisne ventilacije
- Kontrola nivoa ulja u amonijačnim i vodenim crpkama, dolijevanje po potrebi
- Kontrola nivoa motornog ulja i rashladne tekućine na stroju za obradu leda
- Zamjena noža na stroju za obradu leda

## Mjesečno

- Podmazivanje ležajeva el. motora kompresora
- Kontrola nivoa ulja u reduktorima rashladnih tornjeva, dolijevanje po potrebi
- Čišćenje rešetki odsisne ventilacije
- Kontrola rada elektromagnetskih ventila za hlađenje glava kompresora kao i za nadopunjavanje prihvatnog bazena rashladne vode, čišćenje po potrebi
- Kontrola rada mlaznica rashladnih tornjeva, čišćenje po potrebi
- Podmazivanje stroja za obradu leda
- Skidanje kamenca sa stroja za obradu leda
- Niveliranje ledene površine

## 5.2. Preventivno održavanje postrojenja

### Remont postrojenja za rashladnu tehniku

U ovaj remont ulaze slijedeći radovi:

- servis kompresora podrazumijeva otvaranje istog, izmjenu neispravnih elemenata, čišćenje rashladnog sistema, izmjenu ulja, izmjenu brtvi, zatvaranje kompresora i probni rad,
- servis pumpi za vodu podrazumijeva izmjenu brtvenih pakunga, izmjenu neispravnih dijelova, kontrolu ulja, čišćenje i probni rad,
- servis pumpi za NH<sub>3</sub> podrazumijeva otvaranje istih, izmjenu neispravnih dijelova, nadolijevanje ulja, zatvaranje i probni rad,
- servis rashladnih tornjeva podrazumijeva čišćenje kada za vodu, izmjenu pokidanih žaluzina, čišćenje filtera, podmazivanje ležaja ventilatora, izmjenu dotrajalih dijelova i po potrebi ličenje,
- otvaranje kondenzatora, čišćenja i propuhivanje cijevi u kondenzatoru, te zatvaranje istih,
- otvaranje isparivača, čišćenje i propuhivanje cijevi, podešavanje nivoa regulatora i zatvaranje istog.

### Remont postrojenja za centralno grijanje i ventilaciju

U ovaj remont ulaze slijedeći radovi:

- servis toplinskog postrojenja podrazumijeva podmazivanje, brtvljenje i regulaciju ventila. Pregled i po potrebi izmjena neispravnih dijelova cirkulacionih pumpi. Izmjena pokidanih toplomjera i eventualno ticala. Otvaranje i čišćenje od kamenca grijača tople vode. Pregled, te po potrebi izmjena neispravnih ventila na radijatorima, učvršćivanje cjevovoda. Kontrola i podešavanje automatike za regulaciju temperature medija,
- servis ventilacije podrazumijeva čišćenje ventilacione instalacije, izmjenu neispravnih dijelova ventila blokova, izmjenu filtera, podmazivanje pokretnih žaluzina, pregled i po potrebi izmjena ticala, kontrola klinastih remena i podmazivanje osovina i ležaja

## 5.3. Servis rashladnog postrojenja

### Servis vodenog dijela postrojenja

- Ispuštanje vode iz postrojenja
- Otvaranje nepovratnih ventila i sita na usisu pumpi, čišćenja, izrada novih brtvi, zatvaranje
- Skidanje starih brtvi, te montaža novih na pumpi
- Otvaranje kondenzatora radi kontrole prohodnosti rashladnih cijevi, izrada nove brtve, čišćenje, zatvaranje
- Demontaža dizni na tornjevima, čišćenje, izrada brtvi, montaža sa silikonom.
- Čišćenje kada tornjeva i sita
- Kontrola ulja u reduktorima ventilatora
- Otvaranje izmjenjivača, ispiranje ionske mase te kontrola nivoa i dizni
- Ispiranje cijevnog sistema tekućinom za otapanje kamenca
- Punjenje vode u postrojenju

### Servis amonijačnog dijela postrojenja

#### Kompresor 1

- Ispuštanje vode, ulja i amonijaka iz kompresora
- Demontaža rashladnog cjevovoda (krutog i fleksibilnog)
- Demontaža rashladnih glava, poklopaca kartera, uljnog sita, uljnog filtera, usisnih sita NH<sub>3</sub>
- Grubo čišćenje zaostalog ulja
- Demontaža usisnih i tlačnih ventila
- Rastavljanje ventila, zamjena dotrajalih elemenata, sastavljanje
- Demontaža klipova, kontrola ležaja, karika, čišćenje
- Detaljno čišćenje svih demontiranih dijelova i kućišta kompresora
- Izrada novih brtvi (prema potrebi)
- Montaža klipova
- Montaža usisnih i tlačnih ventila
- Montaža rashladnih glava, poklopaca kartera, uljnog sita, uljnog filtera i usisnih sita NH<sub>3</sub>
- Montaža rashladnog cjevovoda

- Otvaranje poklopca ležaja elektromotora, čišćenje stare masti i ponovno podmazivanje
- Otvaranje magnetskog ventila za vodu, čišćenje, zatvaranje te otvaranje i čišćenje PENN-ovog prekidača za protok vode i punjenje kompresora uljem.

Niti i najbolje održavanje ne može zaustaviti pojavu korozije na cjevovodu i opremi kao i istrošenost pojedinih dijelova postrojenja uslijed dugotrajne eksploatacije. Pojava korozije najintenzivnija je na cjevovodu i opremi koja je pod izolacijom jer je na niskom režimu rada. Na površini opreme kroz izolaciju tokom vremena prodre vlaga i kondenzira, ovaj kondenzat veoma je agresivan, nagriza zaštitu i najčešće izaziva pojavu točkaste korozije koja je pogubna za instalacije naročito obzirom na brzo širenje i nemogućnosti kontrole površina pod izolacijom. Isti je slučaj sa cijevnim razvodom piste. Ova pojava je intenzivnija što se češće vrši prenamjena klizališta, odnosno otapanje u toku sezone jer kada se cijevni razvod ohladi, a kondenzat smrzne, proces korozije se smanjuje na minimum jer kroz led ne prodire kisik potreban za koroziju.

## 6. ZAKLJUČAK

U našem prvom postrojenju amonijak – amonijek vidjeli smo da cijevni razvodi klizališta kao i kolektori izvedeni od čeličnih cijevi. Tijekom uporabe dolazilo je do začepjenja cijevi radnim uljem kompresora koje je bježalo iz sustava i koaguliralo se u cijevima. Rezanjem cijevi na mjestu sakupljača i vakumiranjem bi se ulje čistilo iz instalacije. Tijekom vremena došlo je i do korozije cijevi na mjestu zavara te postepenog gubitka amonijaka iz instalacije.

Zbog svoje toksičnosti amonijačna postrojenja podliježu posebnim zakonskim normama i pravilima koja se iz godine u godinu mijenjaju pa su nužna i značajna ulaganja u opremu kako bi zadovoljili tražene zakonske osnove. Pored opasnosti za radnike i korisnike te okolinu ovo postrojenje ima zastarjelu tehnologiju i poluautomatski sustav nadzora. Iziskuje stalni nadzor i prisustvo stručne osobe. Nedostupnost rezervnih dijelova na tržištu i sve manje stručnih radnika koji su u stanju servisirati ovakvo postrojenje dodatan je problem.

Pored svega gore navedenoga ogromni su gubitci u energentima kako kroz električnu, tako i kroz neiskoristivost otpadne toplinske energije.

Drugo postrojenje koje u primarnom dijelu ima 130 kg amonijaka, a u sekundarnom cca. 23 000 litara glikola 35% je znatno učinkovitije i sigurnije postrojenje. Postrojenje je u potpunosti automatizirano tako da u dijelu postrojenja i u nadzornoj sobi možemo u svakom trenutku očitati sve parametre koji nas zanimaju, odnosno i detektirati eventualni kvar postrojenja. Jednostavno je za rukovanje, manja je cijena godišnjeg servisa i održavanja, dostupnost rezervnih dijelova i stručnog osoblja. Cijevni razvod ovog postrojenja napravljen je od polietilenskih cijevi XLPE koje se lako ugrađuju i u potpunosti udovoljavaju svim zahtjevima klizališta. Njihova otpornost na koroziju daje veliku prednost ovom tipu klizališta u odnosu na prethodno. Nedostatak ovog tipa klizališta je u tome što se u cijevnom razvodu nalazi velika količina glikola koji je zbog svojih karakteristika štetan za okolinu. Pored navedenoga nedostatak je i u dijelu spoja između cijevnog razvoda piste XLPE cijevi i kolektorskih inox cijevi. Naime različiti materijali imaju i različiti koeficijent širenja odnosno skupljanja kod promjene temperature. Ovo za posljedicu ima to da dolazi do pucanja sponica na spomenutim spojevima kojih u dijelu klizališta ima preko 800 komada. Predmetno zahtijeva konstantan nadzor i povećanje tlaka u cjevovodu piste.

Prethodne dvije instalacije su bile, dakle, izrađene od čeličnih cijevi koje su imale

veliki nedostatak kod uporabe jer je kroz izolaciju prodirala vlaga. Nakon što bi vlaga došla u kontakt sa cijevima djelovao bi kisik iz atmosfere pri čemu bi došlo do pojave cijevne korozije, a s vremenom i do proboja zavarenih spojeva te curenja medija iz instalacija.

Klizalište sa CO<sub>2</sub> rashladnim agregatom i glikolom u cijevnom razvodu piste je po svom načinu projektiranja i izgradnje ekološki, ekonomski i sigurnosno najprihvatljiviji tip klizališta u odnosu na do sada spomenuta klizališta.

Kod izgradnje ovoga klizališta najprije se postavlja toplinska izolacija XPS (estrudirani poliesteri) na temeljni dio piste klizališta. Ovime se zaustavlja nepotrební širenje rashladne energije u temeljima klizališta odnosno rashladna energija usmjerava se prema samom vrhu betonske piste na kojoj dolazi dostvaranja leda. Kod izrade leda u led se postavljaju temperaturni osjetnici koji su povezani sa centralnom komandnom sobom. Putem mjernih uređaja na ovakav način omogućeno je precizno praćenje temperature pojedinih polja klizališta što kao rezultat daje optimalizaciju potrošnje energije. Dodatno ujednačavanju hlađenja doprinosi dvostruki Tichelmannov sustav distribucije hladnoga glikola.

Otpadna toplina koju dobivamo hlađenjem sustava iskorištava se putem dizalica topline i koriti za zagrijavanje PTV ili za rad stroja za održavanje i glačanje leda. Nadalje, kod ovoga tipa klizališta projektirane su banke leda koje koriste jeftiniju noćnu tarifu električne energije za dobivanje i generiranje hladne energije u obliku ledene vode i leda. Projektiranjem i ugradnjom svega navedenoga potrebna rashladna snaga za održavanje ovakvog klizališta je cca 300 kW dok je za prethodna dva klizališta 350-400 kW. Postrojenje je u potpunosti automatizirano i vrlo jednostavno za rukovanje. Rezervni dijelovi i servisi za ovo postrojenje su lako dostupni. Kao i kod ranijih postrojenja potrebna je stručna osposobljenost radnika koji upravljaju postrojenjem no opasnosti pri radu sa istim su daleko manje nego kod prethodnih iz razloga postajanja ekološki prihvatljivog plina u sustavu.

Provedena istraživanja, iskustva i nova tehnička rješenja u posljednjem desetljeću dokazuju da je ugljični dioksid učinkovita i ekološki prihvatljiva radna tvar za primjenu u rashladnim sustavima. Zamjenom postojećih konvencionalnih radnih tvari otvara se mogućnost njegove široke primjene u rashladnoj tehnici. Ako gledamo sa tehničke strane, rashladni sustavi s CO<sub>2</sub> tvari više nemaju nepremostive tehničke probleme kao što je na primjer radni tlak viši od 100 bar u ljetnim mjesecima kada je temperatura vanjskoga zraka iznimno visoka. Velika specifična gustoća, veći



volumetrički stupanj iskoristivosti u odnosu na postojeće radne tvari, bolji stupanj prijenosa topline, razmjerno jeftina proizvodnja, neotrovnost i nezapaljivost te najbolja svojstva u prijenosu topline u odnosu na druge radne tvari čine CO<sub>2</sub> sustav najprihvatljivijim sustavom hlađenja.

## 7. LITERATURA

- [1] [http://www.riteh.uniri.hr/zav\\_katd\\_sluz/zvd\\_teh\\_term\\_energ/nas/tehnika\\_hladjenja\\_07/03\\_Plinski\\_procesi.pdf](http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/nas/tehnika_hladjenja_07/03_Plinski_procesi.pdf)
- [2] <http://www.pireko.hr/pdf/iov.pdf>
- [3] <http://www.pireko.hr/pdf/bojleri.pdf>
- [4] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Ugljikov\(IV\)\\_oksid](https://hr.wikipedia.org/wiki/Ugljikov(IV)_oksid)
- [5] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Rashladni\\_toranj](https://hr.wikipedia.org/wiki/Rashladni_toranj)
- [6] [http://www.iihf.com/fileadmin/user\\_upload/PDF/Rink\\_Guide/IIHF\\_Ice\\_Rink\\_Guide\\_web\\_pdf.pdf](http://www.iihf.com/fileadmin/user_upload/PDF/Rink_Guide/IIHF_Ice_Rink_Guide_web_pdf.pdf)
- [7] „Održavanje pogona EES-a“ – Prof.dr.sc. Tomislav Tomiša, Doc.dr.sc. Igor Kuzle