

# CHALMERS



## Iskvalitet i ishallar

En tillämpningsstudie i Åby ishall

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Byggingenjör*

**PATRIK KWIATKOWSKI**

Institutionen för energi och miljö

*Avdelningen för installationsteknik*

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2011

Examensarbete E2011:06



EXAMENSARBETE E2011:06

# Iskvalitet i ishallar

En tillämpningsstudie i Åby ishall

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

PATRIK KWIATKOWSKI

Institutionen för energi och miljö  
*Avdelningen för installationsteknik*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, 2011

Iskvalitet i ishallar  
En tillämpningsstudie i Åby ishall  
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*  
*Byggingenjör*

PATRIK KWIATKOWSKI

© PATRIK KWIATKOWSKI, 2011

Examensarbete / Institutionen för energi och miljö,  
Chalmers tekniska högskola E2011:06

Institutionen för energi och miljö  
Avdelningen för installationsteknik  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:  
Huvudentrén till Åby ishall, eget foto.

Institutionen för energi och miljö  
Göteborg 2011

Iskvalitet i ishallar

En tillämpningsstudie i Åby ishall

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Byggingenjör*

PATRIK KWIATKOWSKI

Institutionen för energi och miljö

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

## SAMMANFATTNING

I en ishall ägnar man sig åt olika aktiviteter; konståkning, ishockey, curling men även ren rekreativ såkning. Vid alla dessa aktiviteter används isen på olika sätt och detta ställer därför olika krav på hur isen bör vara. Hockeyspelare och curlingspelare föredrar en hård is, medan konståkare istället föredrar en mjukare is. För vanliga fritidsåkare duger även en ännu mjukare is än för konståkare.

En litteraturstudie har genomförts för att belysa hur en bra iskvalitet på ishallen kan uppnås och hur en ishall bör utformas med dess tekniska system för att skapa bra förutsättningar för en tillfredsställande iskvalitet och vistelsemiljö. Till de tekniska systemen som beskrivits hör kylmaskinen med dess köldbärare och distributionsrör i ispisten, ventilationsaggregatet med återluftsföring och avfuktningssystemet i ishallen.

Huvudsyftet med detta examensarbete var att studera iskvaliteten i en ishall och hur denna påverkas av det omgivande lufttillståndet i hallen. Åby ishall valdes som studieobjekt. Iskvaliteten studerades ur en ishockeyspelares perspektiv där ishockeyspelare med hjälp av en enkätstudie tillfrågades om den upplevda iskvaliteten under sitt träningspass. Isen fotograferades och information om isens temperatur och omgivande lufttillstånd samlades in genom enklare mätningar i samband med träningstillfället. Mätvärdena jämfördes sedan med de krav som normalt ställs på en ishockeyis.

Studiens resultat gällande iskvaliteten ledde fram till slutsatserna att isen i Åby ishall bl.a. är för mjuk för ishockeyspel, att isen på vissa ställen var mycket ojämn och att isen på många ställen var för tjock. En logisk konsekvens av att isen är för mjuk vid ishockeyspel är att det mycket snabbt bildas ojämnheter i isen, att isen blir sträv och att stora snömassor skrapas loss från isytan vid spel, vilket tillsammans gör att isen upplevs som långsam för ishockeyspelare.

Lufttillståndet i hallen bestämdes vid flera tillfällen med olika förutsättningar och resultatet visade att den absoluta fuktigheten i hallen under tiden för mätningarna höll sig inom ramarna för vad som kan anses vara lämpligt. Avfuktningssystemet tycks dock vara inställt på att hålla luftfuktigheten inom mindre lämpliga gränser om man vill uppnå en bra kvalitet på isen.

Nyckelord: Iskvalitet, isvård, temperatur, absolut fuktighet, köldbärare, återluftssystem, vistelsemiljö, projekteringsanvisningar.



The ice quality in ice rinks  
A study at Åby ice rink  
Diploma Thesis in the Engineering Programme  
Building and Civil Engineering  
PATRIK KWIATKOWSKI  
Department of Civil and Environmental Engineering  
Division of building services  
Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

An ice rink is suitable for various activities, figure skating, ice hockey, curling, but also for recreational skating. All these activities require ice in different ways and therefore call for different demands on how the ice should be. Hockey and curling players prefer a hard ice, while figure skaters prefer a softer ice. For ordinary recreational skaters would even softer ice be rather preferably than for figure skaters.

A literature review was conducted to illustrate how the quality of the ice in the rink could be achieved and how an ice rink should be designed with its technical systems to create good conditions for a satisfactory quality and environment. In the technical systems described, there are chillers with its chilled coolant distribution pipes and the ventilation air handling unit with recirculating air and an dehumidification unit.

The main purpose of this thesis was to study the quality in an ice rink and how it is affected by the internal air condition in the hall. Åby rink was chosen as study object. The ice quality was studied from a hockey player's perspective in which the hockey player with the help of a questionnaire survey was asked about the perceived quality during a training session. The ice was photographed and the information on ice temperature and the ambient conditions were collected by simple measurements during the training session. The readings were then compared with normal requirements of a ice hockey ice.

The results regarding the ice quality led to conclusions that the ice in Åby is too soft for hockey games, the ice in some places was very irregular and that the ice in many places was too thick. Furthermore, it was decided that a logical consequence of the fact that the ice is too soft for hockey games, causes rapid formation of bumps in the ice, the ice becomes rough and the large masses of snow gets scraped off from the ice surface at the games, which together make the ice perceived as too slow by hockey players.

The air condition in the hall was determined at different times with different conditions and the results showed that the air humidity in the hall during the time of the measurements were within the limits of which could be considered appropriate. Dehumidification unit appears to be set to keep the humidity in less suitable bounds which is required to obtain a good quality on the ice.

Key words: Ice quality, resurfacing, temperature, water content in air, coolant, ventilation air handling unit with recirculating air, residence environment, directives for projectors.





# Innehåll

SAMMANFATTNING	V
DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAMME	VII
ABSTRACT	VII
INNEHÅLL	IX
FÖRORD	XII
BETECKNINGAR	XIV
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte	1
1.2 Avgränsningar	1
1.3 Metod	1
1.4 Rapportens struktur	2
2 ÅBY ISHALL	3
2.1 Luftbehandling	5
2.2 Ispisten	7
2.3 Isvård	8
3 PROJEKTERINGSANVISNINGAR OCH ISKVALITET	9
3.1 Svenska Ishockeyförbundet	9
3.2 ASHRAE	12
4 BESKRIVNING AV GENOMFÖRDA STUDIER I ÅBY ISHALL	16
4.1 Mätstudie	16
4.2 Fotografering	17
4.3 Enkätstudie	17
4.4 Jämförelsestudie och studie av istjocklek samt temperatur i isens bottenlager	18
5 RESULTAT FRÅN DE UTFÖRDA STUDIerna	19
5.1 Mätvärden	19
5.2 Sammanställning av resultat	19
5.2.1 Resultat av mätstudie med laget U16	19
5.2.2 Resultat av enkätstudie med laget U16	23
5.2.3 Resultat av mätstudie med laget J18, J20 och A-laget	28
5.2.4 Resultat av enkätstudie med laget J18, J20 och A-laget	34
5.2.5 Resultat av jämförelsestudie	39
5.2.6 Studie av istjocklek och temperatur vid isens bottenlager	44
<b>CHALMERS</b> , <i>Energi- och miljö</i> , Examensarbete E2011:06	IX

5.2.7	Jämförelse av resultat från olika mätinstrument	46
6	ANALYS AV RESULTAT	48
6.1	Luftparametrar	48
6.2	Köldbärarens returtemperatur	50
6.3	Istemperatur	50
6.4	Ojämnheter i isen	52
6.5	Isvård	53
6.6	Enkätstudien	54
7	SLUTSATSER	57
7.1	Förslag på åtgärder	58
7.2	Förslag på vidare studier	59
8	REFERENSER	60
8.1	Övrig litteratur	60

## **BILAGOR**

Bilaga 1	Mätinstrument
Bilaga 2	Enkät, iskvalitet
Bilaga 3	Mollierdiagram
Bilaga 4	Energiinnehåll i luftskikten ovanför isen

## Förord

Detta examensarbete omfattar 15 högskolepoäng och utförs som en avslutning på min högskoleingenjörsutbildning på programmet Byggt teknik med inriktningen mot installationsteknik vid Chalmers tekniska högskola.

Idén till att studera vad som är en bra is i en ishall kom från Bitr. professor Jan Gustén vid avdelningen för installationsteknik på Chalmers tekniska högskola. Examensarbetet har genomförts i samarbete med VVSmiljö i göteborg ab.

Detta examensarbete har många att tacka för allt från idén och den handledning med hjälp och stöd som erhållits under arbetets gång. Därför vill jag rikta ett oerhört stort tack till följande personer:

- Min handledare och examinator vid Chalmers tekniska högskola, Torbjörn Lindholm
- Min andra handledare och idégrundare vid Chalmers tekniska högskola, Jan Gustén.

Ett stort tack skall riktas till Håkan Larsson från Chalmers tekniska högskola som tillhandahållit de mätinstrument som använts.

Jag vill även rikta ett mycket stort tack till Claes Ronnerstedt, ingenjör på VVSmiljö i göteborg ab som hjälpt till att skapa god kontakt med driftpersonalen i Åby ishall och Hans Hagström, driftsingenjör på driftenheten i Mölndals stad.

Jag vill även tacka Mikael Högfeldt maskintekniker i Åby ishall för all den information han tillfört examensarbetet och för den praktiska hjälp som han bidragit med.

Ett tack skall även riktas till övriga maskintekniker i Åby ishall och till all den personal, coachar och spelare ingående i lagen U16, J18, J20 och A-laget i IF Mölndal Hockey som hjälpt till med det praktiska arbetet i Åby ishall men också genom att tillföra detta examensarbete värdefull kunskap.

Sist men inte minst vill jag även tacka Chistian Bylin, student vid Chalmers tekniska högskola som hjälpt till med mätningar rent praktiskt i Åby ishall och med vilken jag kunnat utbyta värdefulla tankar rörande mitt examensarbete.

Göteborg maj 2011

Patrik Kwiatkowski



## Beteckningar

Förteckning och förklaring till variabler som förekommer i rapporten.

$Q =$  Värmelast i kJ

$q =$  Effektbehov i kW

$V_v =$  Vattenvolym i m<sup>3</sup>

$t_v =$  Vattentemperatur i °C

$t_i =$  Isens temperatur i °C

$\tau =$  Önskad frysningstid i sek.







# 1 Inledning

I dagens moderna samhälle har ishallens betydelse ökat. Konståkning, ishockey, curling men även ren rekreativ åkning är de aktiviteter man ägnar sig åt i en ishall. Oberoende av väder, årstid och omgivande klimat finns det på många ställen ett tillräckligt stort intresse att ägna sig åt olika aktiviteter på is. Detta skapar allt tuffare krav på att ishallen skall fungera året om och dessutom skapa tillgång till bra iskvalitet oavsett om det råder sommar eller vinter utomhus. Bra iskvalitet oavsett årstid blir därför mer och mer en förutsättning för ishallen för att kunna behålla sina användare och dra till sig nya.

## 1.1 Syfte

Tanken med denna rapport är att belysa vad litteraturen säger om bra iskvalitet för olika ändamål samt att studera hur man på en ishall arbetar för att uppnå en för verksamheten tillfredsställande iskvalitet. Vidare är huvudsyftet att genomföra en studie där iskvaliteten på en ishall studeras samt hur den rådande iskvaliteten hänger ihop med det rådande lufttillståndet i ishallen. Syftet är också att beskriva hur man bör utforma en ishall med dess tekniska system för att skapa bra förutsättningar för en bra iskvalitet. Även frågan hur iskvaliteten hänger ihop med det rådande lufttillståndet i hallen kommer att diskuteras.

## 1.2 Avgränsningar

I och med att det finns isar för olika ändamål så begränsas studien till att studera isen ur en ishockeyspelares perspektiv. Rapporten behandlar de krav som ställs på en "bra ishockeyis" samt hur dessa krav bör uppnås. En mätstudie har genomförts på endast en ishall, Åby ishall. Vidare diskuteras det erhållna resultatet och jämförs med de projekteringsförutsättningar som finns i litteraturen. De övriga istyperna nämns endast ytligt och den rådande iskvaliteten i Åby ishall jämförs med de krav som ställs på en ishockeyis. De metoder som används för att bereda luften till ishallen beskrivs endast ytligt.

## 1.3 Metod

Examensarbetet bygger delvis på en litteraturstudie, men huvudsakligen på inventeringar och mätstudier i den valda ishallen, intervjuer med driftpersonalen samt en enkätundersökning bland aktiva och samtal med andra berörda personer.

Med hjälp av litteraturstudien identifieras de krav som ställs på en "bra is" för ishockey, vilka parametrar som är gynnsamma för att skapa en bra iskvalitet, hur dessa krav bör uppnås och hur ishallen med dess tillhörande tekniska system bör utformas.

Inventeringen och mätstudien i Åby ishall utfördes i syfte att kontrollera vilket lufttillstånd som råder i ishallen och om isen uppfyller det temperaturkrav som ställs på en riktig ishockeyis.

Vidare gjordes en enkätundersökning vid två tillfällen där medlemmar från IF Mölndal Hockey fick besvara frågor om iskvaliteten under deras ordinarie träningstillfälle. Även kortare samtal fördes med ishockeytränare, coachar och driftpersonal i syfte att samla in relevant information.

## 1.4 Rapportens struktur

I nästa kapitel, kapitel 2, beskrivs Åby ishall som objekt, hur ventilationssystemet och ispisten är uppbyggd samt hur ishallen drivs och används. I kapitel 3 beskrivs de projekterings- och -användningsanvisningar som finns i litteraturen som syftar till ishallens tillhörande tekniska system som direkt eller indirekt skall skapa en tillfredsställande iskvalitet och användarmiljö. I kapitel 4 finns en beskrivning av de genomförda studierna i Åby ishall, och i kapitel 5 redovisas resultatet av dessa studier. Vidare analyseras resultatet i kapitel 6 slutsatserna sammanställs i kapitel 7. Efter rapporten följer fyra bilagor. I Bilaga 1 finns en beskrivning av de mätinstrument som användes under mätstudierna i Åby ishall. I Bilaga 2 finns enkäten som besvarades av ett antal ishockeyspelare efter deras ordinarie träningstillfälle i sin helhet. I Bilaga 3 finns ett mollierdiagram och i Bilaga 4 ett mollierdiagram där resultatet från en av de utförda studierna fyllts i för att åskådliggöra hur luftskiktens parametrar skiljer sig åt vid olika höjder från isytan.

## 2 Åby Ishall

Åby ishall är en av Mölndals två ishallar. Ishallen byggdes 1976, men genomgick en omfattande renovering som startade under hösten 2009 och pågick under lite mer än ett år. Upprustningen kostade ca 22 miljoner kronor och innefattade en tillbyggnad av en ny huvudentré med ett café, en konferenssal och nya publika toaletter (se Figurerna 1-3 nedan). Vidare renoverades omklädningsrummen och ett gym samt en särskild danslokal för konståkarna invigdes. Det viktigaste med renoveringen var trots all visuell upprustning en rejäl uppgradering inom energi och VVS området, vilken förväntas spara stora pengar då energin från kylsystemets kondensorkyla nu återvinns och används till uppvärmning av inomhusluft och tappvarmvatten samt bassängvatten i den intilliggande simhallen. En ytterligare energibesparande åtgärd som genomförts i själva ishallen är att köldbärarpumparna byttes ut till moderna varvtalsstyrda pumpar. Detta ger en besparing för själva ishallen på ca 45 MWh/år. För att vidare nämna några upprustningsåtgärder som gjorts i Åby ishall, så har en sorptionsavfuktare installerats i ishallen vilken skapar ett torrare inomhusklimat och på så sätt minskar på kylenergibehovet samtidigt som en bättre iskvalitet erhålls. Även en ny belysning har installerats i själva ishallen. (Hansson, C 2011)



Figur 1: Huvudentrén till Åby ishall som invigdes den 13 november 2010.



Figur 3: Utsikten från kaféet / konferensrummet sträcker sig över hela isplanen.



Figur 2: Den nya entrén ger ett prydligt intryck med insyn in i ishallen.

Enligt Mikael Högfeldt, maskintekniker i Åby ishall är antalet åskådarpplatser i Åby ishall 1014 st. Vidare finns det inom servicebyggnaden 12 stycken omklädningsrum, två stycken domarrum, ett läkarrum, ett antal föreningsförråd, en tvättstuga och ett sliprum, utrymme för presskonferenser, samt en kiosk och publika toaletter för åskådarna. Hallen har även möjlighet till tv-sändning.

Den nya belysningen som monterades under upprustningen består enligt Hans Hagström (driftsingenjör för driftenheten i Mölndals kommunhus) av 128 stycken metallhalogenarmaturer vilka har tre stycken driftlägen som gör det möjligt för driftpersonalen att endast använda den belysningsmängd som behövs. Vid maximal effekt som används vid publika evenemang på ishallen skall belysningen ge 800 lux ca 1m ovanför isen. Vid maximal effekt använder varje armatur 150W eleffekt.

Med de ovan nämnda kriterierna gällande servicebyggnadens möjligheter till ovan nämnd service, samt ljusstyrkan i ishallen uppfyller Åby ishall de krav som ställs av Svenska Ishockeyförbundet för en publikhall i klass B vilken är godkänd för serieverksamhet upp till och med division 1 i ishockey, vilken är den tredje högsta divisionen i svensk ishockey för herrar.

Figureerna 4 och 5 nedan visar hur hallen ser ut inifrån. I Figur 5 syns det att tilluftskanalen har blivit isolerad och har fått ett fräschare utseende än tilluftskanalen på den motsatta läktaren som syns i Figur 4. Enligt Mikael Högfeldt beror detta på att isoleringsarbetet av tilluftskanalerna inte hunnit bli klart till säsongstart under hösten 2010. Isoleringsarbetet av tilluftskanalerna kommer dock att fortsätta under sommaren 2011 då ishallen stängs. Förutom ett fräschare utseende så hindrar isoleringen den lossnade färgen att falla ner på isplanen, vilket kan medföra en risk för dem som vistas på isen. Den främsta anledningen till att kanalerna isoleras är alltså estetisk och säkerhetsrelaterad och inte teknisk. Men fördelen är ju fortfarande att den uppvärmda luften inte förlorar sin temperatur lika snabbt under färden i tilluftskanalen.



*Figur 4: Läktaren mitt emot kafét. Tilluftskanalen ovanför denna läktare är ännu inte isolerad.*

*Figur 5: Läktaren i anslutning till kaféet i den nya tillbyggnaden. Tilluftskanalen ovanför denna läktare är i stort sätt färdigisolerad. Jämför även med Figur 8 på sidan 6.*

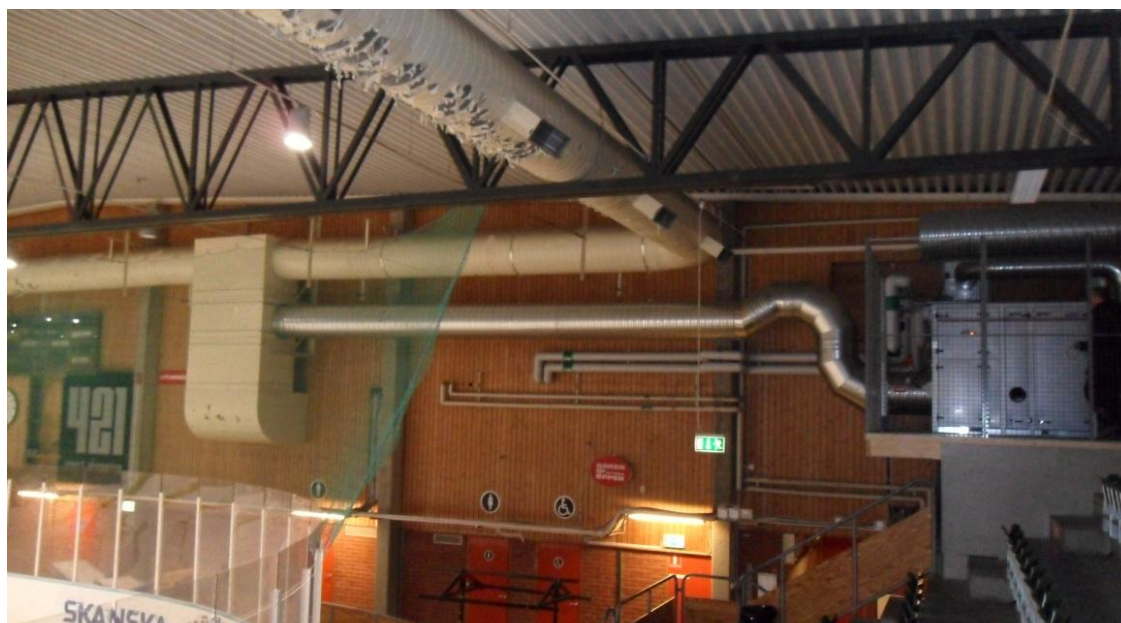




## 2.1 Luftbehandling

Luftbehandlingsaggregatet som försörjer ishallen befinner sig bakom väggen som syns på bilden i Figurerna 6 och 7. Tilluften utgår från den rektangulära vita kanalen som är böjd uppåt och övergår sedan i de två vita cirkulära tilluftskanalerna som för tilluften vidare till de två läktarna. Tilluftsdonen är riktade ner mot läktarna och inte mot isen enligt Figur 8.

Det aluminiumfärgade aggregatet som står på platån till höger i Figur 6 är det avfuktningssaggregat med en roterande sorptionsavfuktare som installerades under upprustningen av hallen som utfördes mellan 2009 och 2010. Sorptionsavfuktaren består av ett roterande hjul som är belagt med en kiselgel som är fuktabsorberande. När luften passerar genom hjulet, absorberas fukten i luften till kiselgelen. Aggregatet kan ta in uteluft via kanalen som går in genom väggen ovanför aggregatet, men tar i huvudsak in återluft från ishallen via den öppna kanalen som hänger ovanför aggregatet (med större diameter än uteluftskanalen). Luften avfuktas i aggregatet vid behov och blandas in i tilluften i den rektangulära kanalen. Avfuktningssaggregatet var enligt en teknisk bild ur styrsystemet (daterat till 2010-12-17) inställt på att starta då någon av de två fuktgivarna som finns utplacerade på väggarna i hallens kortsidor registrerar en absolut fuktighet på 6,0 g/kg och stoppas då den absoluta fuktigheten blir 5,0 g/kg.



Figur 6: Tilluftskanalen går ut genom väggen i en kvadratisk kanal, som böjs uppåt och förgrenas i två stycken cirkulära tilluftskanaler som försörjer var sin läktare. Ingen tilluft riktas ner mot isplanen. På platån till höger står avfuktningssaggregatet med en sorptionsavfuktare. Aggregatet tar in luften från hallen genom den cirkulära kanalen som hänger ovanför aggregatet och tillför den avfuktade luften till den rektangulära tilluftskanalen där den avfuktade luften blandas med tilluften.

Huvudaggregatet som befinner sig bakom väggen i Figur 6 cirkulerar i huvudsak runt återluften i hallen vilken tas in via ett luftintag som döljs bakom klockan i Figur 7. Efter återluftintaget kommer luften in i en blandningskammare där återluften kan blandas med en viss mängd uteluft. Mängden återluft och uteluft regleras med hjälp av spjäll som styrs med hjälp av ett datorsystem. Vidare förs luften genom ett filter och sedan genom ett återvinningsbatteri där luften förvärms och sist genom ett

värmebatteri. Den behandlade tilluften höll ca 25°C under perioden som mätningarna i Åby ishall pågick.



Figur 7: Återluftsintaget från hallen befinner sig bakom väggen som klockan hänger på.



Figur 8: Tilluftskanalen över en av läktarna. Luftdonen är riktade snett ner mot läktaren. En del av tilluftskanalen är här ännu oisolerad. Se även Figur 4 och 5.

Avluften förs ut ur ishallen direkt via tre stycken frånluftsdon försedda med var sin frånluftsfläkt. Donen är placerade i taket ovanför isplanen mitt emellan de två tilluftskanalerna. Frånluftsfläktarna är förmodligen vanligtvis i stort sett avstängda då frånluften inte ingår i ett värmeväxlande system och då huvudaggregatet går på återluft större delen av driftstiden. Figurerna 9 och 10 nedan visar frånluftsdonen.



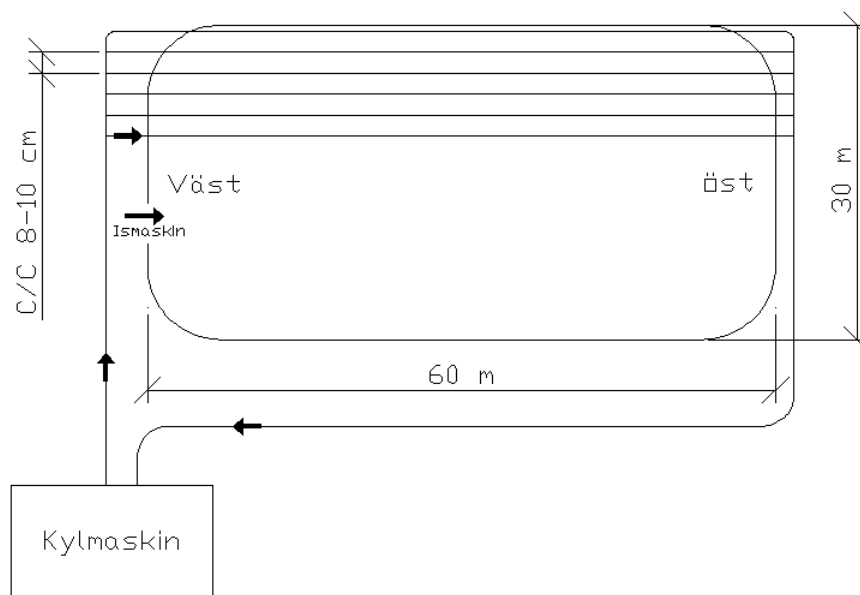
Figur 9: De tre frånluftsdonen sitter i taket ovanför isplanen mitt emellan de två tilluftskanalerna.



Figur 10: Ett av frånluftsdonen på nära håll.

## 2.2 Ispisten

Då ishallen byggdes 1976 finns det väldigt få bygghandlingar tillgängliga för att t.ex. kunna ta reda på hur ispisten är konstruerad. Enligt den information som erhållits från Mikael Högfeldt under projektets gång så är den befintliga markytan en leråker och ispisten ligger därför stödd på två stycken pålrader i pistens längdled. Förmodligen finns det ingen isolering under betongplattan på vilken isen ligger. När det gäller köldbärarnas placering under ispisten så har, enligt den information Claes Ronnerstedt (ingenjör på VVS-miljö i Göteborg) kunnat få fram, dessa sitt tillopp längs ena kortsidan på pisten och sin retur längs andra kortsidan av ispisten med ett C/C-mått på ca 8-10 cm, i enighet med Figur 11 nedan. Måttet på en ishockeybana är 30 x 60 m. Detta medför att köldbäraren i köldbärarna transporteras 60 m under ispisten, samtidigt som temperaturen i köldbäraren avtar under hela vägen.



Figur 11: Principskiss över köldbärarrörens placering på banbädden under isplanen. Ismaskinen kör in på isen genom porten i väst, där köldbäraren har sitt tillopp.

Kylsystemet i Åby ishäll som försör banbädden med kyld köldbärare är ett s.k. ”indirekt kylsystem” vilket innebär att köldbäraren, som pumpas runt under banbädden, kyls i ett vätskekylaggregat.

Köldmediet som används i Åby ishäll är  $\text{NH}_3$ , dvs. ammoniak som både är giftigt och brandfarligt om det hanteras på fel sätt. Det är därför viktigt med regelbundna kontroller av kylsystemet för att i tid upptäcka eventuella läckor. Fördelen med ammoniak är dock att det inte är ett ozonnedbrytande ämne. Ammoniak har ett GWP (Global Warming Potential) värde som är 0, jämfört med  $\text{CO}_2$  som har ett GWP värde på 1, samt med andra köldmedier vars GWP värden uppgår till över ett tusen (kap 4.2 i boken Bygga Ishäll). Nackdelen är att det skulle kunna förgifta markytan under ishallen om en läcka hade uppstått. Därför är det i fallet med Åby ishäll mycket säkrare med ett indirekt kylsystem.

Köldbäraren är i Åby ishäll en vanlig saltlösning. Det viktiga med köldbäraren är att den inte fryser under användning. Direkt på kylaggregatet kan man ställa in vilken tilloppstemperatur köldbäraren skall ha. Den tilloppstemperatur som var inställd under hela den period som mätningarna i Åby ishäll pågick var  $-9,1^\circ\text{C}$ , vilket gav en

returtemperatur på ca  $-5,5^{\circ}\text{C}$ . Pumparna som pumpar runt köldbäraren är varvtalsstyrda och styr flödet så att returtemperaturen hålls konstant inom förvalda gränser. Figur 12 nedan visar kylaggregatets apparatskåp.



Figur 12: Apparatskåpet till kylaggregatet, ett vätskekylaggregat, som försörjer ispisten med kylt köldbärare.

## 2.3 Isvård

Isvården i Åby ishall utförs med hjälp av en eldriven ismaskin. Maskinen körs av sex olika maskintekniker som också ansvarar för hallens drift. En av dessa är den tidigare nämnda maskinteknikern Mikael Högfeldt. Med ismaskinen jämnas isytan ut med skrapknivar och skrapas från gammal snö. Efter att isen skrapats läggs ett nytt vattenlager ut. Det läggvatten som läggs ut på isytan har vanligtvis en temperatur av  $7-15^{\circ}\text{C}$ . Temperaturen på läggvattnet bestäms av maskinisten som blandar varmt och kallt vatten till önskad temperatur när vattnet fylls på i maskinen. Varmare vatten används om isens yta skall smältas för att slätas ut, medan kallare vatten används senare på eftermiddagarna då full aktivitet pågår på isen för att läggvattnet snabbare skall frysa. Schemat över istiderna i Åby ishall är ofta fullt med träningspass på eftermiddagarna tills sent på kvällen. Varje träning pågår i praktiken i ca 50-80 minuter och de följande 10 minuterna reserveras för isvård mellan träningspassen. Isvården sker således ungefär 1 gång i timmen under eftermiddagarna och kvällarna.



### 3 Projekteringsanvisningar och iskvalitet

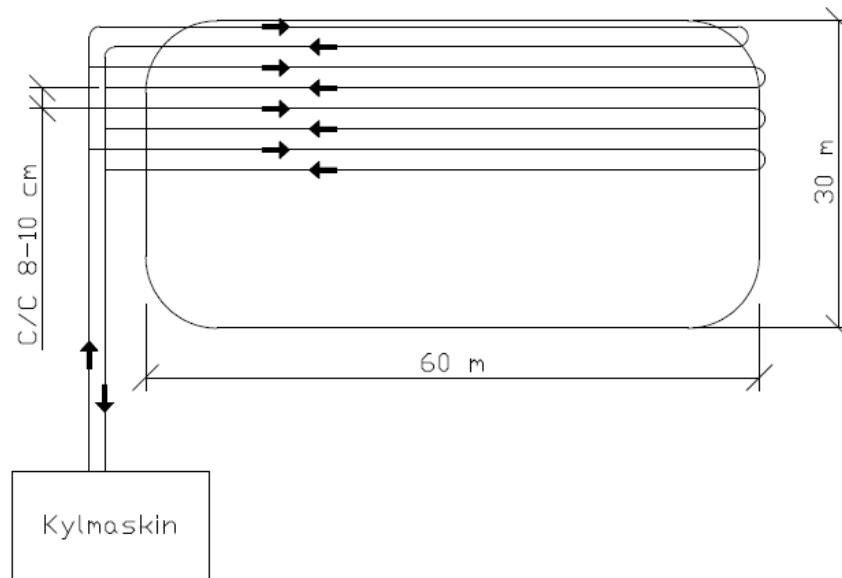
Till den litteratur som riktar sig till projektörer och driftspersonal av ishallar hör faktaboken "Bygga Ishall" utgiven av Svenska Ishockeyförbundet. Ett mer vetenskapligt alternativ är dock kapitlet "Ice Rinks" (kapitel 44) i den amerikanska handboken ASHRAE Handbook – Refrigeration från 2010 (publicerad och utgiven av American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.). I det här kapitlet kommer ett utplock ur denna litteratur att redovisas i syfte att skapa en överblick över de rekommendationer och regler som finns i litteraturen för de ingenjörer som projekterar ishallar och dess tillhörande tekniska system så att en tillfredsställande användarmiljö och iskvalitet kan skapas.

#### 3.1 Svenska Ishockeyförbundet

Bygga Ishall är en faktabok utgiven av Svenska Ishockeyförbundet som vänder sig till projektörer av ishallar och tar upp många råd och bestämmelser som syftar till byggnationen av ishallar. Boken beskriver skillnader i kapacitet, utrustningsmängder och standard mellan de bestämmelser som gäller för träningshallar, publikhallar och evenemangsarenor i olika klasser (klasserna A, B och C). Sådana skillnader är mängden omklädningsrum, tillgänglig service, åskådarplatser i hallen, höjden till taket, mängden ljus mm. Boken beskriver också hur markarbeten skall utföras under ispisten för att skydda denna mot tjäle och visar en hel del sektioner och lämpliga planlösningar för olika serviceutrymmen. Även storlekar på driftsutrymmen, energifrågor och miljöfrågor tas upp utifrån svenska normer och direktiv.

Det som nämns i boken angående kylanläggningen är att kylbehovet för banytan på en normal isbana (60 X 30 m) är ca 300kW samt att en rimlig köldbärartemperatur är ca -10°C. Det förklaras att dessa parametrar är beroende av beräknad belastning, vald frysningstid, materialval för köldbärarrör och banbädden mm. men inga beräkningsexempel ges. Boken beskriver dock en hel del köldmedier samtidigt som förordningar och direktiv för val och hantering av köldmedier presenteras för att få de sakkunniga att tänka till lite innan man väljer köldmedium.

Den beläggning av köldbärarrören på banbädden som beskrivs som vanligast är att stamledningarna för köldbärarens tillopp och retur läggs längs ena kortsidan, medan banrören läggs i U-form med en 180° böj vid den motsatta kortsidan. Se Figur 13 på nästa sida. Vanligast väljs PEM slang (polyetenrör) med dimensionen 25 X 2,3 i tryckklass PN 10, eller 25 X 2,0 i tryckklass PN 6 som banrör med ett CC –mått på 100mm, och PEH rör (polyetenrör) med dimensionen 180 X 10,7 i tryckklass PN 6 som stamledningar. Men även stålrör och kopparrör är ett dyrare alternativ som ibland väljs för att skapa bättre värmeöverföring, samt för att kunna minska mängden använt köldmedium och drivenergi i kylaggregatet. Om man väljer att använda kopparrör som invändigt är belagda med ett tunt plastskikt kan CO<sub>2</sub> användas som köldbärare. Med denna teknik sägs det att man kan minska elenergianvändningen med 150 000kWh per år.



Figur 13: Principskiss över den vanligaste beläggningen av köldbärarrören för en ispist. En kulvert med stamledningar för köldbärarens tillopp respektive retur läggs längs ena kortsidan av ispisten. Banrören vänder 180° på banbäddens motsatta kortsida. Detta gör att köldbäraren transporteras 2 X 60 m, dvs. 120 m under isplanen innan den når returledningen.

Ovanpå köldbärarna gjuts vanligtvis en betongplatta som slutligen målas vit, med blåa och röda linjemarkeringar. Plattan skall gjutas så plant som möjligt för att undvika att isen antar olika tjocklekar. Den tolerans som gäller för plattans lutning är  $\pm 8$  mm på hela ytan, och  $\pm 3$  mm buktighet på 2m mätlängd. Rekommenderad istjocklek är ca 30 mm, därav kommer de hårda kraven på underlagets plana yta.

För att skapa ett bra inomhusklimat i ishallen lägger faktaboken Bygga Ishall vikten på att skapa ett lämpligt lufttillstånd i ishallen. Detta är viktigt då de flesta ishallar används utan avbrott under säsongen september till mars. Under denna period varierar utomhusluftens temperatur och fukttinnehåll kraftigt. Varmare luft kan innehålla mer fukt än vad kall luft kan. Därför kan problem uppstå då varm luft möter en kall yta t.ex. inne i ishallen, eftersom vattenångan i luften kan kondensera på den kalla ytan. Den temperatur vid vilken vattenånga kondenserar till vatten kallas för daggtemperatur. Ett lämpligt verktyg som kan användas är därför ett Mollierdiagram där daggtemperaturer och luftens absoluta fuktighet kan utläsas med hjälp av kända luft och yt –temperaturer samt luftens relativa fuktighet. Ett Mollierdiagram har bifogats i Bilaga 3.

Ett lämpligt inomhusklimat i ishallen anses vara då lufttemperaturen ca 1-2 m över isytan antar ca  $+5^{\circ}\text{C}$  och på läktarna bör minst  $+8^{\circ}\text{C}$  eftersträvas, men gärna varmare, beroende på de komfortkrav som ställs under den aktuella aktiviteten. Större evenemangsarenor bör ha en lägsta lufttemperatur på  $+16^{\circ}\text{C}$  på läktaren under evenemang. Den absoluta fuktigheten i hallen bör hållas inom intervallet 3-4 g

vattenånga per kg luft. En lämplig relativ fuktighet anses vara ca 55-60%, men denna faktor är dock starkt kopplad till den rådande lufttemperaturen.

Då luftens vatteninnehåll hålls inom det ovan nämnda intervallet (3-4 g/kg) blir dagtemperaturen ca +1°C. Rimligtvis har då den omgivande sargen en yttemperatur på ca +4°C vilket innebär att inget kondensvatten kan bildas på sargen. Förmodligen har alla de övriga ytorna som taket, sittplatserna, väggarna m.m. i ishallen högre temperatur än +4°C vilket medför att ytorna hålls torra och inget vatten kan droppa ner från t.ex. taket.

Ännu en faktor som bör tas hänsyn till är att hög relativ fuktighet i inomhusluften och blöta ytor skapar risk för korrosions och rötskador i byggnaden och dess konstruktion. Därmed bör den relativa fuktigheten i hallen inte överstiga ca 65%. Samtidigt är det viktigt att luften inte tillåts bli stillastående någonstans i hallen då detta ökar risken för att hög luftfuktighet ansamlas i ett sådant ställe och på så sätt snabbt skapar risker för kondens, bildning av dimma eller mögel, samt rötskador och korrosionsskador.

Den kallaste ytan i ishallen är själva isytan. En lämplig temperatur på isen anses vara ca -3°C till -5°C. Boken nämner dock att istemperaturen egentligen är beroende av den aktivitet man tänkt ägna sig åt på isen. En is för ishockeyspel på högre nivå kräver hårdare is vilket medför att man måste sänka isens temperatur. Konståkare i sin tur föredrar lite mjukare is och då bör isens temperatur höjas (bli lite varmare).

Då isytan är den kallaste ytan i ishallen bör man inte rikta tilluftsdonen mot själva isplanen. Detta hade skapat onödiga energiförluster men även problem med kondensbildning och smältning av isytan. Istället bör tilluftsdonen riktas mot läktarna om tilluften tillförs uppifrån.

Eftersom utomhusluftens temperatur och fuktighet varierar starkt under årscykeln skapar detta olika krav på luftberedning innan utomhusluften kan tillföras till ishallen. Under vintern kan det räcka att endast värma den luftmängd man vill tillföra men under sensommaren och hösten tenderar utomhusluften att vara både varm och fuktig och bör därför både kylas och avfuktas. Under de motsatta årstiderna skapas olika behov i ishallen; under vintern måste hallen vanligtvis värmas så att de krav som ställs på inomhusklimatet uppfylls, medan man under sensommaren istället måste kyla anläggningen för att uppnå de krav på lämplig miljö som ställs. Det framgår i boken att själva ishallen lämpligast värms med luftburen värme. Omklädningsrummen och de övriga utrymmena bör istället ha ett golvvärme eller radiatorsystem som värmesystem.

De bör-krav och rekommendationer som ställs av Svenska Ishockeyförbundet i boken *Bygga Ishall* skapar därmed ett behov av en lämplig ventilations och avfuktningssystem. För att minska på kostnaderna rekommenderas det i boken att använda ett luftaggregat med möjligheter till både värmeväxling med frånluft och spillvärme från kylaggregatet och återluftssystem. Man bör endast byta ut den del av luften som enligt de bestämmelser som satts upp av Boverket skall bytas ut. Det lägsta uteluftsflödet som måste tillsättas i ett utrymme där människor vistas är 0,35 l/s per m<sup>2</sup> golvarea. Vidare bör tilluftsflödet i hallen vara 7 l/s och person.

Då Boverket i sina bestämmelser och regler gällande ventilation framhäver att behovsstyrning av ventilationen är ett alternativ för att spara energi på drift och uppvärmning av tilluft, riktar boken *Bygga Ishall* uppmärksamheten att i stort använda ett återluftssystem och endast ersätta den luft som måste ersättas, samt att anpassa ventilationsflödet och temperaturen i ishallen efter verksamheten som skall

bedrivs. Detta innebär att man bör styra ventilationssystemet så att endast en grundventilationsnivå används då ishallen används i tränings syfte, medan man tillför större mängd utomhusluft under evenemangsaktiviteter. Även graden av uppvärmning, avfuktning och kylning bör anpassas efter mängden besökare i ishallen.

För att underlätta projekteringen av ett lämpligt ventilationssystem förklarar boken att ren utomhusluft innehåller 21% syre, 78% kväve och ca 0,036% (360 PPM) koldioxid. Däremot innehåller en människas utandningsluft ca 18% syre och ca 1% (10000 PPM) koldioxid. Kravet som fastställs är att rumsluften maximalt får innehålla 1000 PPM koldioxid. Utandningsluften innehåller även vattenånga som man måste ta hänsyn till. En stillasittande person avger ca 40 gram vattenånga per timme, medan en hårt arbetande ishockeyspelare avger ca 240 gram vattenånga i timmen. Vidare tillförs det vattenånga i ishallen då ismaskinen lägger ut läggvatten under isvården, och genom ofrivilliga luftläckage genom byggnadens otätheter och öppna dörrar. Allt detta måste man ta hänsyn till när man skall välja avfuktare. Man räknar med att ett avfuktningsslaggregat för en normalhall avfuktar ca 24 l/h och cirkulerar ca 5000 m<sup>3</sup> luft i timmen. Detta ger ett effektbehov av ca 43 kW eleffekt.

En detalj som vidare tas upp i boken *Bygga Ishall* är angående vattenbehandlingsutrustningen som skall betjäna ismaskinen som utför isvården med läggvatten. Enligt anvisningarna bör denna dimensioneras så att man inför varje spolning kan fylla ismaskinen med 700L vatten av minst +40 °C, men att temperaturen skall gå att sänka till ca +15 °C. Behovet av detta motiverades med att man bör sträva efter att vid isvården lägga så kallt läggvatten som möjligt för att minska energianvändningen.

En slutlig kommentar om innehållet i boken "*Bygga Ishall*" blir att boken endast ger en överblick över de kvaliteter som bör skapas i byggnaden och i isens omgivning för att säkerställa en säker och komfortabel miljö för användarna och själva byggnaden. Boken nämner vilka grundläggande kvaliteter som krävs i de tekniska systemen för att skapa en godtycklig is, men beskriver tyvärr inte något om hur man skall underhålla och vårda själva isen för att erhålla en viss kvalitet på denna. De rekommendationer som gavs i boken syftar snarare till att kvalitetssäkra inomhusmiljön med avseende på fukt och kondensbildning än till att skapa en is av bra kvalitet. Men å andra sidan ger den en mycket bra överblick över hur ishallen bör byggas och vilka tekniska system som krävs i en ishall för att kunna skapa en is och en tillfredsställande inomhusmiljö.

## 3.2 ASHRAE

Kapitel 44 "Ice Rinks" i den amerikanska handboken *ASHRAE Handbook – Refrigeration* från 2010 presenterar ämnet "bygga och driva ishall" ur ett mer vetenskapligt perspektiv. Trots att kapitlet endast innehåller 11 sidor text så är innehållet väldigt brett och uppdelat i flera underrubriker.

I början av kapitlet beskrivs de olika användningsområdena som en ishall har och kan ha samt vilka krav på storleken av isytan m.m. som kan ställas. Till användningsområdena hör främst utövning av sporterna hockey, curling, konståkning, speed skating (hastighetsåkning på skridskor), rekreativ åkning men även isshower. En ishall kan tänkas omvandlas till en inomhus sporthall för t.ex. basket eller innebandyspel under viss tid av året. Det framhävs att användningsområdet verkligen kan göras brett om man vill det då det egentligen går att projektera systemen så att en ny is kan anläggas på 12-16 timmar. Man kan till och med tänka sig att låta ispisten

ligga kvar under ett lager utlagd isolering och på detta lägga ett inomhusgolv för en idrottshall.

Kapitlet fortsätter med att beskriva hur energiinnehållet i vattnet ändras när vatten fryser till is och de värmelaster i hallen som påverkar den frysta isen. Till värmelasterna hör främst en direkt värmealstring vid isvärden då varmt vatten mellan 55°C och 80°C läggs ut på isen. Vidare nämns det bl.a. att värmealstring vid konvektion från luft till is kan orsaka ca 28% av den totala värmelasten samt att värmestrålning från belysningen och omgivningen vanligtvis uppgår till ca 40% av de totala värmelasterna. Den direkta värmestrålningen från belysningen kan antas vara 60% av belysningens effektbehov (kW). Även beräkningsmodeller för dessa laster redovisas.

En intressant ekvation att nämna är hur energiinnehållet i vattnet ändras då det fryser till is. Med hjälp av konstanter för specifik värmekapacitet med enheten  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\times\text{K}}$  kan man beräkna hur mycket energiinnehållet för en viss massa vatten eller is ändras då temperaturen ändras.

Ekvation 1 nedan visar hur mycket kylenergi som måste tillföras läggvattnet efter utförd isvård så att det fryser till is med samma temperatur som isen hade innan isvärden:

$$Q = 1000V_v[4.2(t_v - 0) + 334 + 2.0(0 - t_i)] \quad (\text{ekv. 1})$$

Där:

$Q =$  Värmelast per vattenläggning i kJ

$V_v =$  Volym av vatten som läggs ut i  $\text{m}^3$ , normalt ca 0.4  
– 0.7  $\text{m}^3$  för en isrink 60 X 30 m

$t_v =$  Temperatur på läggvattnet i °C

$t_i =$  Isens temperatur i °C

Enligt ekvationen måste alltså  $4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\times\text{K}}$  ( $C_{p,\text{vatten}}$ ) kyla tillföras för att kyla vatten till 0°C, 334 kJ (isbildningsentalpi) energi tillföras för att omvandla vattnet till is och sist  $2,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\times\text{K}}$  ( $C_{p,\text{is}}$ ) för att fortsätta kyla isen från 0°C. Ekvationen kan även divideras med önskad frysningstid i sekunder se ekvation 2 nedan, för att räkna fram hur många kW kyla måste tillföras ispisten för att frysa vattnet under den önskade frysningstiden.

$$q = \frac{1000V_v[4.2(t_v - 0) + 334 + 2.0(0 - t_i)]}{\tau} \quad (\text{ekv. 2})$$

Där:

$q = \text{Effektbehov i kW}$

$V_v = \text{Volym av vatten som läggs ut i m}^3, \text{ normalt ca } 0.4$   
 $- 0.7 \text{ m}^3 \text{ för en isrink } 60 \times 30 \text{ m}$

$t_v = \text{Temperatur på läggvattnet i } ^\circ\text{C}$

$t_i = \text{Isens temperatur i } ^\circ\text{C}$

$\tau = \text{Önskad frysningstid i sek.}$

Denna ekvation kan även användas för att beräkna effektbehovet för att frysa vatten till is på isrinken under en bestämd tid.

Vidare kan man i handboken läsa om att en väl projekterad ishall bör kunna drivas året om då ett sådant behov uppstår, oberoende av rådande klimat där ishallen byggs. I tropiska klimat skall man vara extra noga med att projektera ett system som kan kontrollera den relativa fuktigheten och lufttemperaturen inom lämpliga gränser så att en komfortabel inomhusmiljö erhålls och så att dimbildning och vattendropp från tak undviks. Man måste även hela tiden ta hänsyn till energifrågan så att man projekterar energioptimerade system.

Komfortvärme i hallen bör tillföras för att skapa en lämplig vistelsemiljö för åskådare och isanvändare. Man bör dock se till så att inga luftrörelser med varm luft skapas över isytan då detta ger en negativ påverkan på isytans temperatur. Lufttemperaturen i ishallen bör hållas mellan  $5^\circ\text{C}$  och  $15^\circ\text{C}$  men kan höjas vid behov, t.ex. då många åskådare vistas i ishallen.

En lämplig dagtemperatur för stora sporthallar är  $1.7^\circ\text{C}$ , För mindre ishallar kan en dagtemperatur upp till  $7^\circ\text{C}$  vanligtvis användas utan att dimbildning sker och vattendroppar i taket bildas.

Ventilationen bör reduceras till ett så minimalt flöde som möjligt för att spara på energi. Den del av luften som byts ut mot utomhusluft bör minimeras så att inte onödigt mycket fukt tillförs till luften i hallen, men samtidigt måste luften i hallen hålla en lämplig kvalitet. Mängden utomhusluft bestäms av antalet personer som skall vistas i hallen.

Den vanligaste placeringen av köldbärarrören enligt handboken är att man lägger stamledningarna längs ena kortsidan och låter banrören löpa hela vägen fram och tillbaka längs hela planen, dvs. med samma metod som visades i figur 13. Om man använder smala banrör bör man istället placera stamledningarnas tillopp och retur längs ena långsidan och låta banrören löpa till andra långsidan och tillbaka. Banrören löper då  $2 \times 30 \text{ m}$ , dvs.  $60 \text{ m}$ .

När det gäller själva isen påpekar ASHRAEs handbok att ishallens olika användare föredrar olika hårdhet på denna. Hockeyspelare och curlingspelare föredrar en hård is, medan konståkare istället föredrar en mjukare is. För vanliga fritidsåkare duger även en ännu mjukare is än för konståkare.

Om lufttemperaturen i hallen är ca  $7^\circ\text{C}$  och istjockleken  $25\text{mm}$ , kan is med temperaturen  $-6,5^\circ\text{C}$  till  $-5,5^\circ\text{C}$  anses vara lämplig för hockeyspel, is med temperaturen  $-4^\circ\text{C}$  till  $-3^\circ\text{C}$  anses vara lämplig för konståkning och is med

temperaturen  $-3^{\circ}\text{C}$  till  $-2^{\circ}\text{C}$  anses vara lämplig för rekreativ såkning. Om man använder vatten med låg mineralhalt vid isvård kan man tänka sig att höja istemperaturen med  $0,5^{\circ}\text{C}$  utan att isen blir mjukare. Köldbärartertemperaturen bör hållas ca  $3^{\circ}\text{C}$  till  $6^{\circ}\text{C}$  lägre än den önskade istemperaturen.

För att belysa betydelsen av hur istjockleken påverkar yttemperaturen anges ett exempel i handboken. Om man tänker sig en ispist där köldbärarens temperatur är  $-9^{\circ}\text{C}$ , och isens yttemperatur är  $-6,4^{\circ}\text{C}$ , kommer isens yttemperatur att öka till ca  $-4,9^{\circ}\text{C}$  om isens tjocklek ökar från 25mm till 50mm. Om istjockleken fortsätter att öka och blir 75mm så växer yttemperaturen till  $-4,2^{\circ}\text{C}$ . Man ser här att temperaturskillnaden mellan köldbäraren och isytan efter ökningen av istjockleken har ökat från  $2,6^{\circ}\text{C}$  till  $4,8^{\circ}\text{C}$ . Exemplet visar tydligt att det blir snabbt oekonomiskt att ha en tjock ispist. Isens tjocklek bör därför hållas mellan 25-38mm för att vara både lämplig för skridskoåkning och ekonomiskt försvarbar.

Några andra faktorer som påverkar isens hårdhet är vattenkvaliteten. Mineralhalten, mängden organiskt innehåll och löst syre påverkar frystemperaturen. Man bör använda ett rent och mineralfattigt vatten för isbildning och isvård. Vid isvård bör hett vatten användas om man vill skapa en hård isyta, då det innehåller mindre mängd löst syre än kallt vatten. Nackdelen är att hett vatten måste tillföras mer kylenergi från köldbäraren och tar ev. längre tid på sig att frysa än om man hade använt ljummet eller kallt vatten.

## 4 Beskrivning av genomförda studier i Åby ishall

Tanken med studien är att dels utföra en kontroll om de rekommendationer som ställts i den tidigare nämnda facklitteraturen (i kap 3) gällande luftens temperatur och fuktighet uppfylls i Åby ishall och dels att studera den rådande iskvaliteten.

För att bestämma det rådande lufttillståndet i ishallen användes mätinstrument som mäter och registrerar lufttemperatur och luftfuktighet. Även isbanans ytemperatur skulle bestämmas och därför användes två typer av termometrar som bestämmer ytemperatur. En beskrivning av de mätinstrument som användes under mätstudierna finns i Bilaga 1.

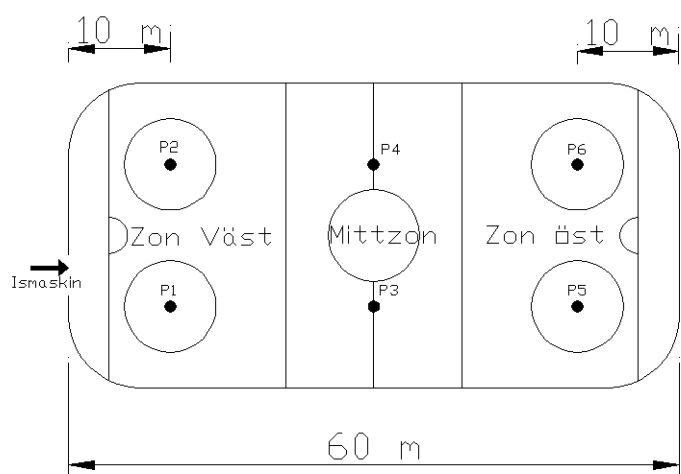
En fastställning av den rådande iskvaliteten som endast är grundad på erhållna mätvärden ger en stor osäkerhet. Därför har mätvärdena kombinerats med en enkätundersökning där ett ishockeylag efter sin träning fick uttrycka sin upplevelse av iskvaliteten under träningspasset. Målet var att samtidigt utföra mätningar under träningens början och slutskede. Även fotografering av isen skedde för att kunna ge en bild av hur isen såg ut och förändrades under den rådande aktiviteten på isen. Genom att koppla ihop de erhållna mätvärdena med bilder och en opinion om den rådande iskvaliteten möjliggjordes en kartläggning av eventuella orsaker till att isens kvalitet varit bra eller dålig under träningspasset. Studien upprepades under två tillfällen.

Även en jämförelsestudie utfördes vid ett tillfälle då ingen aktivitet pågick på isen för att kunna jämföra och studera om hur isens närmiljö förändras då aktivitet råder på isen. Eftersom facklitteraturen anger krav gällande istjocklek söktes också ett tillfälle för att kontrollera denna. Då bestämningen av istjockleken gjordes genom att borra ett hål i isen bildades det även ett tillfälle till att bestämma temperaturen vid isens bottenlager.

Studierna beskrivs mer ingående i följande underkapitel.

### 4.1 Mätstudie

Mätstudien utfördes för att som redan nämnts ovan kontrollera att lufttillståndet i hallen och isens närhet uppfyller de rekommendationer som getts i facklitteraturen. Även en kontroll av isens ytemperatur samt temperatur vid bottenlagret genomfördes



Figur 14: Isen delas in i tre zoner. I varje zon finns det två mätpunkter där mätningar skedde.

för att jämföra dessa med de rekommendationer som finns. Även information om köldbärarnas tillöpps- och returtemperatur samt tilluftstemperaturen till ishallen samlades in då tillgång till dessa erhöles.

Mätstudien utfördes i de mätpunkter som visas i Figur 14 till vänster. Isen delades in i tre zoner, "zon väst" där köldbärarna har sitt tillöpp och ismaskinen kör in, "mittzonen" på mitten av planen och "zon öst" där



köldbärarna har sin retur. Se även Figur 11 på sidan 7. På varje zon fanns det två mätpunkter på vilka mätningarna gjordes.

I varje mätpunkt gjordes (i mån av möjlighet) en mätning av isens ytemperatur samt en mätning av lufttemperatur och relativ luftfuktighet på höjderna 10 cm, 60 cm och 1,1 m över isytan. Utöver detta placerades två stycken loggrar ut på läktarna (en logger på respektive läktare) ca 2-3 m över isytan för att skapa en överblick över lufttillståndet i hallen.

Då tillgång till driftutrymmena erhöles kontrollerades även köldbärarnas tilllopps – och returtemperaturer, samt tilluftstemperaturen på de fasta termometrarna som finns utplacerade på de olika systemdelarna.

## 4.2 Fotografering

Fotografering av isen i samband med träningens början och träningens slut utfördes. Fotografierna ger en okulär överblick över hur iskvalitén förändrades under pågående spel. Foton togs även för att ge en bild av hur mätstudien har gått till och hur de olika mätinstrumenten ser ut.

## 4.3 Enkätstudie

Enkätstudien genomfördes i syfte att erhålla en opinion om den rådande iskvaliteten i samband med de mätningar som genomfördes. En kort enkät delades ut efter två genomförda träningspass för ishockey till de lagmedlemmar som under träningen vistades på isen. På så vis fick dessa ett tillfälle att yttra sin upplevelse av den rådande iskvaliteten under träningspasset. De ishockeylag som fick besvara enkäten efter sin träning i Åby ishall ingår i olika åldersgrupperade lag i IF Mölndal Hockey.

För att skapa en enkät som ger bra möjligheter för en ishockeyspelare att framföra sin upplevelse av iskvalitén togs ett antal beskrivande parametrar fram i samråd med en kunnig och ansvarig personalmedlem, Stefan Axelsson, för laget J18/J20 i IF Mölndal Hockey. De kvalitetsbeskrivande parametrar som slutligen fastslogs och tillfrågades i enkätstudien blev följande:

- Hårdhet, dvs. om isen upplevs som hård eller mjuk.
- Släthet, en parameter som syftar till om isen upplevs som jämn och slät eller som ojämn.
- Glatthet, dvs. om isen upplevs som glatt (friktionsfri) eller sträv (att man upplever en onödigt stor friktion).
- Fasthet, dvs. om isen upplevdes som fast eller sörjig (ett mått på hur frusen isen upplevdes vara, t.ex. vattensamlingar eller stora snöansamlingar skulle kunna ge en upplevelse av att isen var sörjig).
- Snabbhet, en parameter som ishockeyspelare brukar tala om. Om isen är snabb, så färdas pucken snabbt över isen och det upplevs som att man snabbt och enkelt kan färdas över isen. Motsatsen till ”snabb is” är ”långsam is”.

Spelarna fick först ge ett allmänt utlåtande om iskvaliteten på en 4-gradig skala från ”Dålig”, ”Godtagbar”, ”Bra” till ”Mycket Bra” och sedan att välja mellan de ovan nämnda parametrarna i en tvågradig skala, t.ex. mellan ”Hård och ”Mjuk”, eller mellan ”Slät” och ”Ojämn” i frågor som syftade till olika zoner på isen, först rent allmänt och sedan relaterat till träningspassets början och träningspassets slutskede. Även utrymme för egna kommentarer lämnades på varje fråga.

De zoner som frågorna syftade till var ”zon väst” och ”zon öst” enligt Figur 14 på sidan 16. Inga frågor syftade till mittzonen, då tanken var att studera eventuella skillnader rörande iskvalitén i ”zon väst” och ”zon öst” då köldbärarna under isbanan går i isens längdriktning och tekniskt sett medför olika förutsättningar för isen i de motsatta zonerna.

De två sista frågorna i enkäten gav utrymme för ishockeyspelarna att skriva ner ett svar med egna ord. I dessa tillfrågades dem efter orsaken till att iskvaliteten förändrades under träningspasset, samt hur dem upplevde iskvalitén strax efter att isvärden hade utförts samt hur lång tid det tog för isen att frysa klart efter att ismaskinen lagt ett nytt lager vatten. Enkäten i sin helhet finns i Bilaga 2.

#### **4.4 Jämförelsestudie och studie av istjocklek samt temperatur i isens bottenlager**

Jämförelsestudien utfördes enligt beskrivningen i kapitel 4.1 där mätstudien beskrevs, med den skillnaden att ingen aktivitet skedde på isen samtidigt. Tanken var att utföra mätstudien så noga som möjligt utan att behöva anpassa denna efter verksamhetens behov. Då inga skridskoåkare vistades på isen under mätningarna kunde luften lägga sig i skiktade lager på isbanan utan att någon skapade luftrörelser som orsakar luftomblandningar. Resultatet av jämförelsestudien används för att diskutera det resultat som erhållits under mätstudien som utförts i samband med ett träningspass.

Eftersom driftpersonalen i Åby ishall har berättat om att betongplattan på vilken isbanan ligger på har blivit utsatt för sättningar och blivit ojämn, samtidigt som man i facklitteraturen kan finna rekommendationer på lämpliga istjocklekar blev det aktuellt att bestämma denna. Även betydelsen av istjockleken på isytans temperatur bestämdes i en mätstudie. Istjockleken bestämdes genom att ett hål borrades i isen och sedan mättes den längd av borret som gått ner i isen. När ändå ett hål i isen var borrar mättes temperaturen vid isens bottenlager.

## 5 Resultat från de utförda studierna

Nedan i kapitel 5.1 följer en beskrivning av hur mätvärden som erhöles under mätstudien hanteras och redovisas i kommande kapitel. I kapitel 5.2 sammanställs de resultat som erhöles under studietillfällena i Åby ishall där iskvaliteten studerades. Kapitel 5.2 innehåller flera underkapitel som beskriver studiens olika delar i en kronologisk ordning. Först redovisas resultatet av mätstudien och enkätstudien som utfördes vid två tillfällen då olika lag i IF Mölndal Hockey genomförde sina ordinarie träningar. Sedan följer en redovisning av resultatet av en jämförelsestudie, en mätstudie då ingen aktivitet pågick på isen, och sist resultatet av en studie där istjockleken bestämdes på olika delar av isplanen samt en jämförelsestudie där de två mätinstrumenten som användes för att bestämma isens temperatur jämfördes.

### 5.1 Mätvärden

De mätvärden som redovisas i kapitel 5.2 har ej korrigerats för mätosäkerheter som utgörs av bl.a. instrumentfel (mätnoggrannhet m.m.), avläsningsfel metodfel eller slumpmässiga fel. Mätvärdena som redovisas i tabeller är rådata, dvs. avlästa mätvärden direkt från instrumentet. De värden som redovisar temperaturer och fuktigheter för respektive zoner på isen visar medelvärdet av två mätningar i respektive zon som stämmer överens med de mätpunkter som redovisats i Figur 14 på sidan 16. Bland mätvärdena redovisas även luftens absoluta fuktighet. Denna har avlästs ur ett mollierdiagram genom att använda den uppmätta relativa fuktigheten och temperaturen för det studerade lufttillståndet.

### 5.2 Sammanställning av resultat

Resultaten av mätstudietillfällena i Åby ishall redovisas i kronologisk ordning. Först redovisas resultatet av mätstudien och sedan de tillhörande enkätsvaren för respektive studietillfälle. Det första studietillfället utfördes med laget U16 och det andra med lagen J18/J20 och A-lag i IF mölndal Hockey. Sist redovisas resultatet av jämförelsestudierna som saknar enkät svar.

#### 5.2.1 Resultat av mätstudie med laget U16

Nedanstående resultat erhöles under mätningar som utfördes den 10 mars 2011, under träningspasset för laget U16, mellan kl 18:00 och kl 19:00. Utomhustemperaturen vid detta tillfälle uppmättes till 4,2°C och den relativa fuktigheten till 84%, se även Tabell 1 ovan. Detta ger en absolut fuktighet för utomhusluften på ca 4,2 g/kg. Köldbärens tilloppstemperatur avlästes till -9°C och returtemperatur till -5,5°C. Köldbärens temperaturer antas för enkelhetens skull vara konstanta under hela träningstillfället.

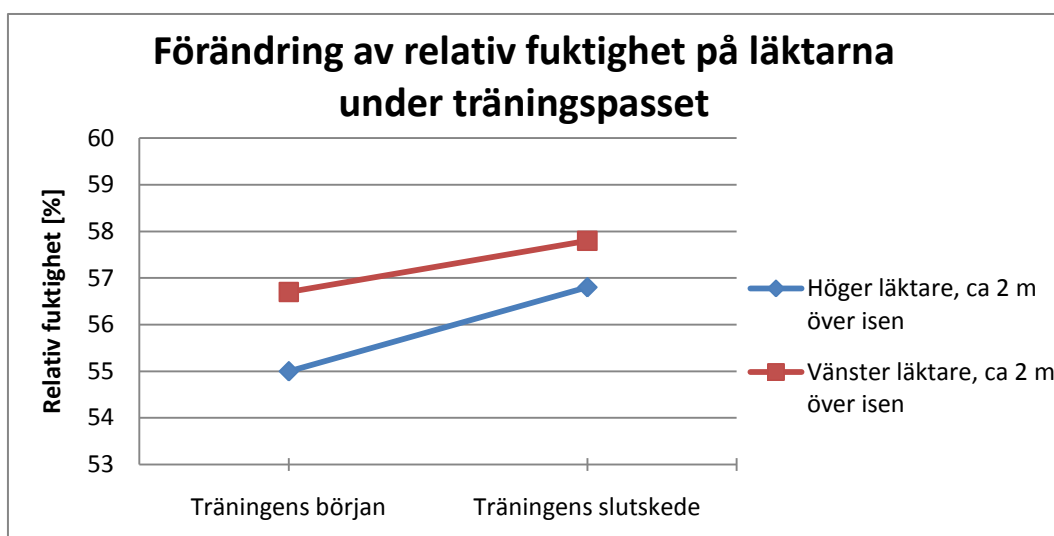
Tabell 1: Lufttillståndet utomhus före och efter mätstudien.

	Före mätstudie	Efter mätstudie
Lufttemperatur [°C]	4,2	4,3
Relativ fuktighet [%]	84,0	83,6
Absolut fuktighet [g/kg]	4,2	4,2

Under träningen registrerade de två loggrarna som var utplacerade på var sin läktare ca 2 m över isnivån i nivå med isens mittzon de värden som anges i Tabell 2 nedan. Den marginella förändringen av den relativa fuktigheten i hallen åskådliggörs i Figur 15.

Tabell 2: Lufttillståndet på läktarna under träningens början och slutskede.

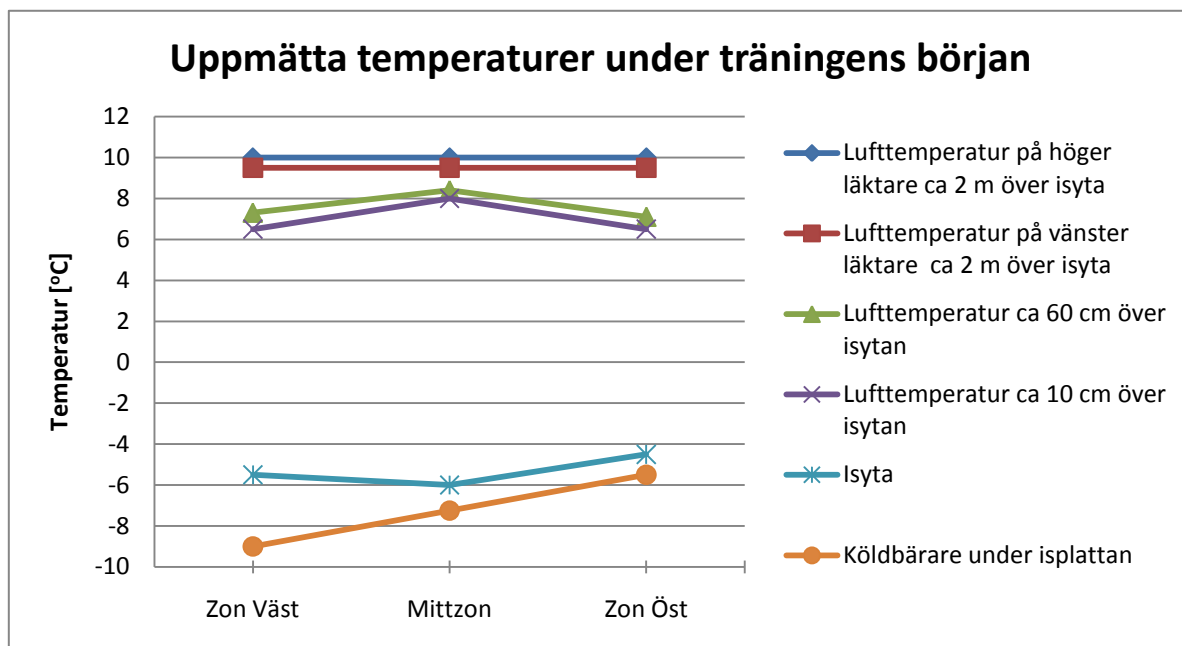
	Vänster Läktare	Höger Läktare
Temperatur [°C], vid träningens början	9,5	10
Temperatur [°C], vid träningens slutskede	9,5	9,9
Relativ fuktighet [%] vid träningens början	56,7	55,0
Relativ fuktighet [%] vid träningens slutskede	57,8	56,8
Absolut fuktighet [g/kg] vid träningens början	Ca 4,1	Ca 4,1
Absolut fuktighet [g/kg] vid träningens slutskede	Ca 4,2	Ca 4,2



Figur 15: Förändring av den relativa fuktigheten på höger och vänster läktare under träningspasset. Lägg märke till att luftens vatteninnehåll på bägge läktarna var den samma. Att den relativa fuktigheten på den vänstra läktaren var högre än på den högra läktaren beror på att temperaturen på den vänstra läktaren var lägre.

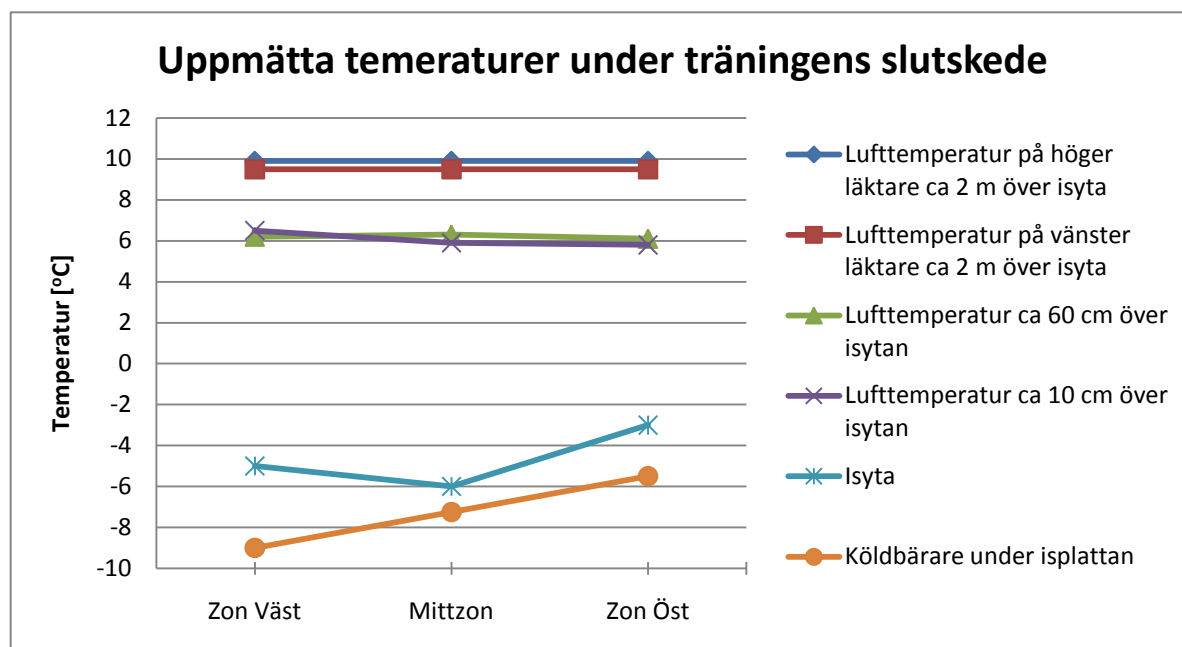
De mätningar som utfördes vid isens närmiljö påbörjades vid träningens början direkt efter att ismaskinen lämnat isbanan och pågick sedan i ca 10-15 min. Hockeylaget befann sig på andra delar av isen samtidigt. Mätningarna som gjordes under träningens slutskede påbörjades ca 15 min innan hockeylagets istid tog slut och avslutades vid samma tidpunkt som hockeylaget steg av isen. De sista 20 minuterna av hockeylagets träning utfördes endast i zon öst. Resultatet av mätningarna redovisas i Figurerna 16-19.

Figur 16 på nästa sida visar de uppmätta temperaturerna för köldbäraren, samt medelvärdet av de uppmätta temperaturerna på isytan och i luftskikten 10cm, 60 cm och 2 m över isytan för respektive zon under träningens början, dvs. mellan kl 18:00 och ca kl 18:15.



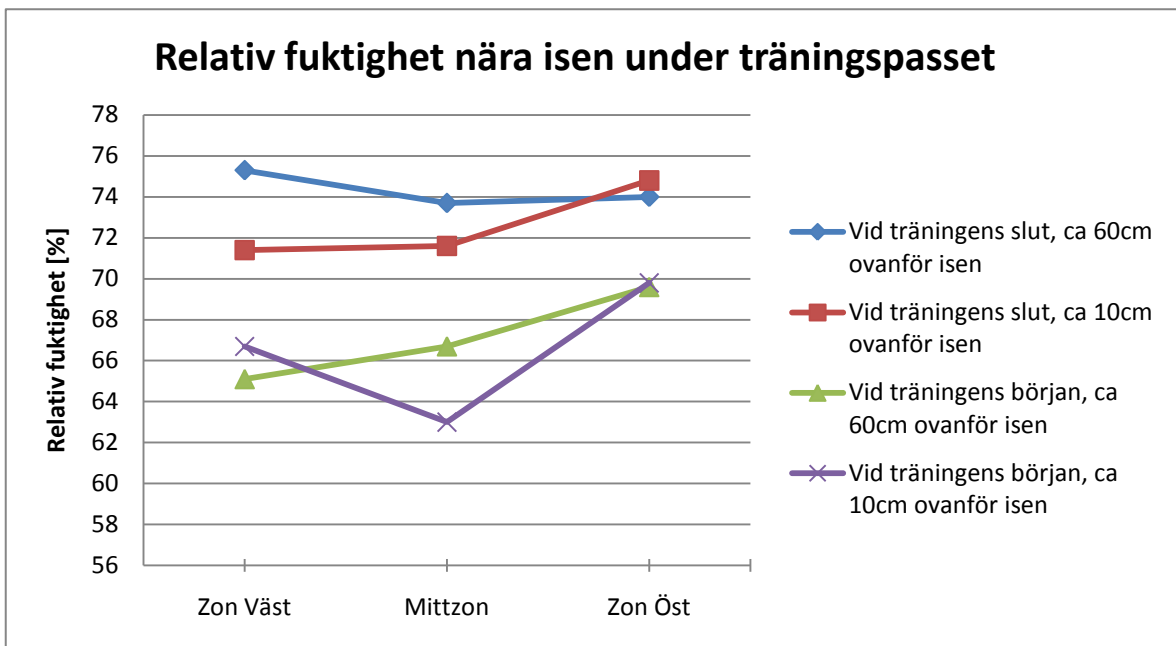
Figur 16: Uppmätta temperaturer under träningens början för respektive zon. Loggrarna placerades ca 2 m över isytan i höjd med mittzonen på isen. Loggrarnas uppmätta värden antas även gälla för zon väst och öst. Köldbärarens temperatur antas avta linjärt under ispisten.

Figur 17 nedan visar de uppmätta temperaturerna för köldbäraren, samt medelvärdet för isytans temperatur och de lufttemperaturer som uppmättes i luftskikten 10cm, 60 cm och 2 m över isytan för respektive zon under träningens slutskede, dvs. mellan kl 18:45 och ca kl 19:00.



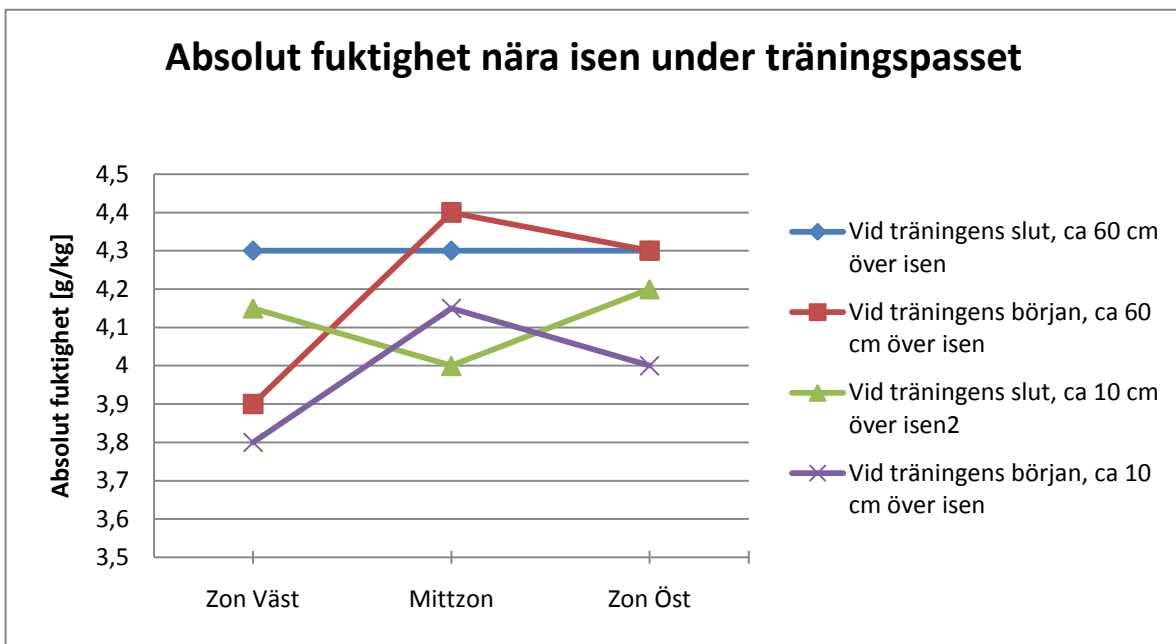
Figur 17: Uppmätta temperaturer under träningens slutskede för respektive zon. Loggrarna placerades ca 2 m över isytan i höjd med mittzonen på isen. Loggrarnas uppmätta värden antas även gälla för zon väst och zon öst. Köldbärarens temperatur antas avta linjärt under ispisten.

Figur 18 nedan visar medelvärdet av den uppmätta relativa fuktigheten för respektive zon i luftskikten 10 cm och 60 cm ovan isytan under träningens början (de två nedre kurvorna) och under träningens slutskede (de två övre kurvorna).



Figur 18: Uppmätta värden för relativ fuktighet för respektive zon och höjd över isbanan i början av träningspasset (de två undre graferna) och under slutet av träningspasset (de två övre graferna).

Figur 19 nedan visar den absoluta fuktigheten för respektive zon och höjd över isen. Observera att skalan på fuktaxeln är 0,1 g/kg.

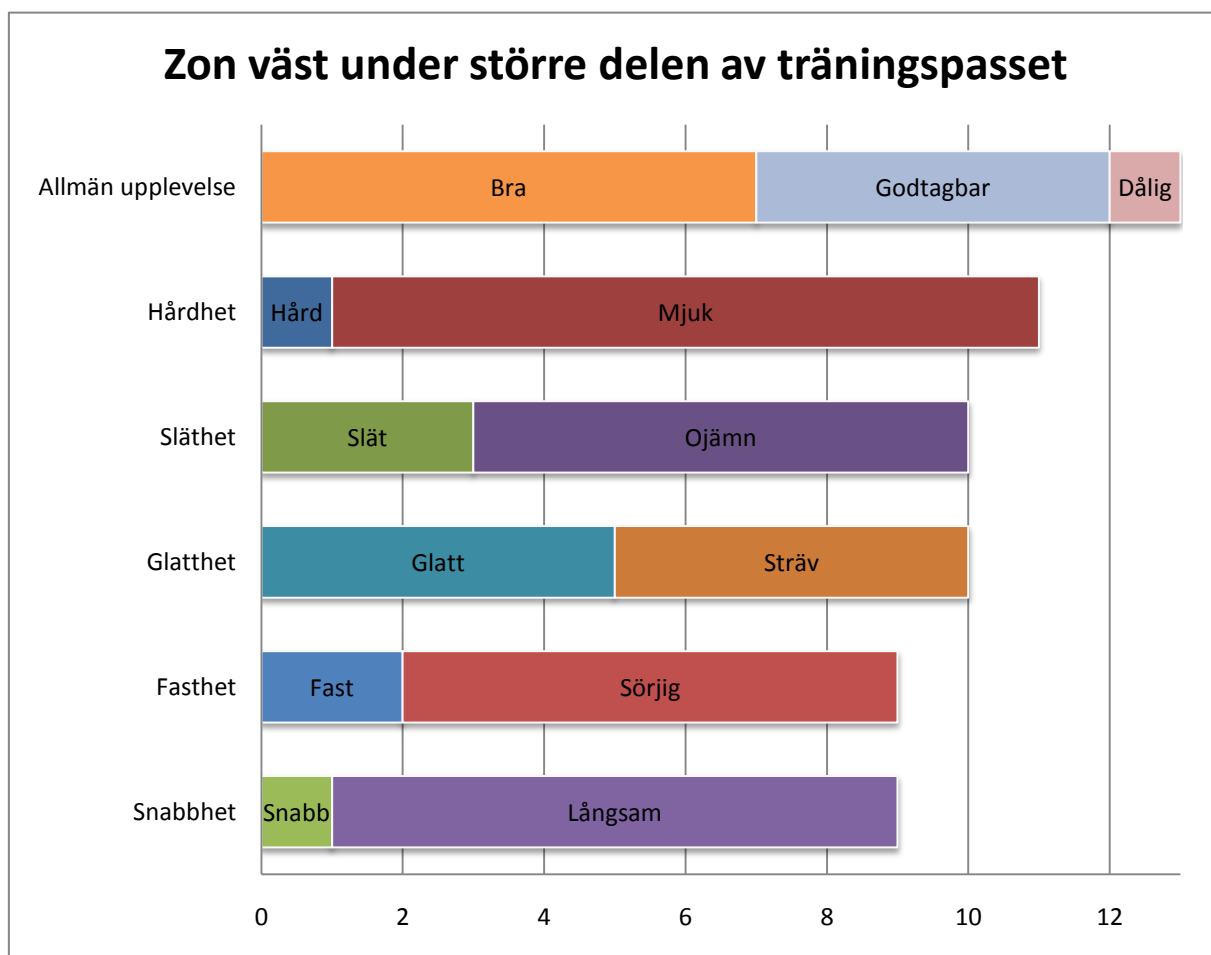


Figur 19: Luftens vatteninnehåll i luften vid isens närmiljö för respektive zon och höjd i början av träningspasset och under slutskedet av träningspasset.

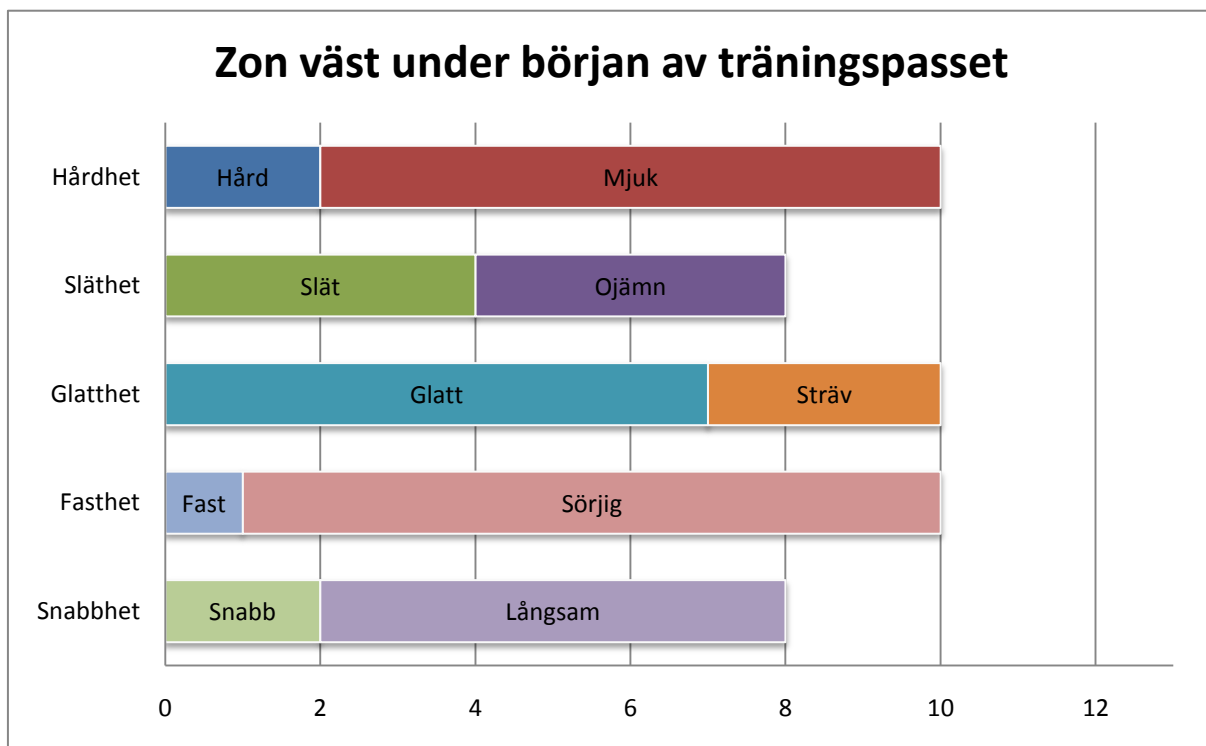
## 5.2.2 Resultat av enkätstudie med laget U16

Enkäten besvarades av 13 spelare i laget. Resultatet av enkätsvaret presenteras i Figurerna 20-25 nedan. Enkätsvaret för zon väst presenteras i Figurerna 20-22 och för zon öst i Figurerna 23-25. Lägg märke till att antalet erhållna svar för respektive parameter varierade.

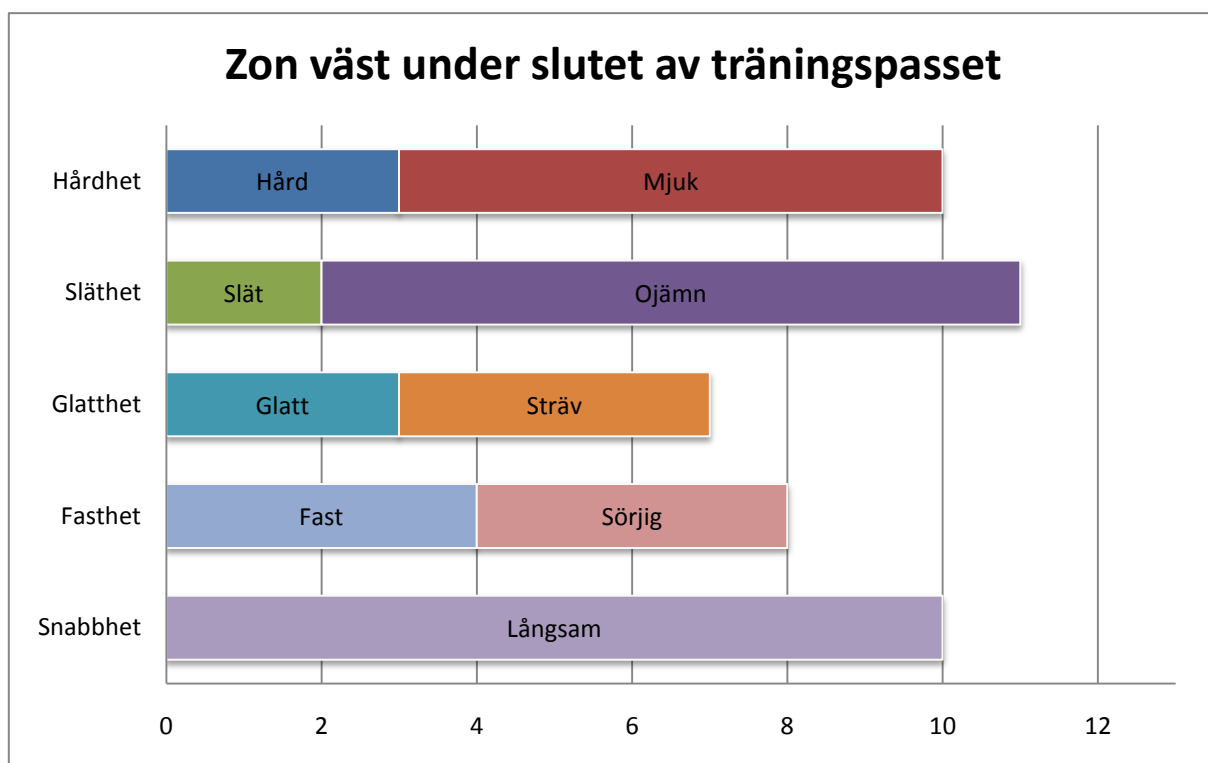
Resultatet pekar på att isen i båda zonerna i stora drag upplevdes på ett likartat sätt. Under hela träningspasset upplevdes isen snarare som mjuk än hård. Isen upplevdes allmänt som ojämn och blev allt ojämnare under spelets gång. De som upplevde att isen vara sörjig i början av träningspasset var fler än dem som upplevde isen vara sörjig i slutet av träningspasset. Vidare upplevdes isen som långsam under hela speltiden. Hur den upplevda iskvaliteten skilde sig mellan zon väst och zon öst är mycket svårt att läsa ur enkätsvaren. Den enda tydliga skillnaden mellan zon väst och zon öst tycks vara den allmänna upplevelsen i skalan ”mycket bra”, ”bra”, ”godtagbar” och ”dålig” där majoriteten valde att svara ”bra” i frågan som avsåg zon väst, jämfört med majoriteten som valt att svara ”godtagbar” i frågan som avsåg zon öst (jämför Figur 20 med Figur 23).



Figur 20: Diagrammet visar erhållna enkätsvar gällande den allmänna upplevelsen av isen för zon väst (enkätsvar över frågorna 1 och 2 i enkäten, se Bilaga 2), under träningspasset för U16 den 10 mars 2011. Majoriteten av spelarna svarade att dem allmänt upplevde isen som bra, men att den samtidigt var mjuk, ojämn, sörjig och långsam.

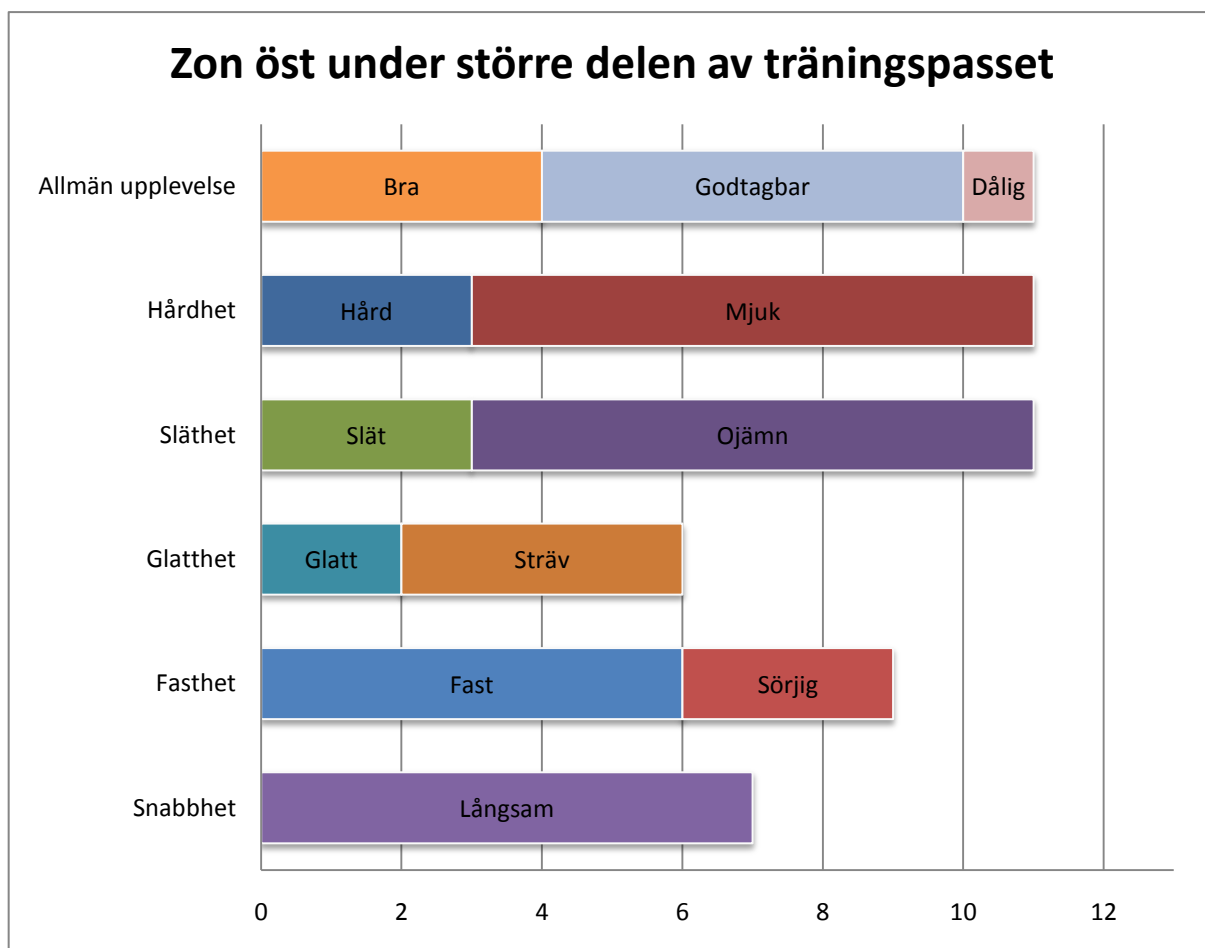


Figur 21: Erhållna enkätsvar gällande upplevelsen av isen för zon väst under början av träningspasset (enkätsvar över fråga 3 i enkäten, se Bilaga 2) under träningspasset för U16 den 10 mars 2011. Majoriteten av de 13 spelarna upplevde att isen var glatt, men sörjig och mjuk under början av träningspasset. Isen verkade också vara varken jämn eller ojämn och snarare långsam än snabb.

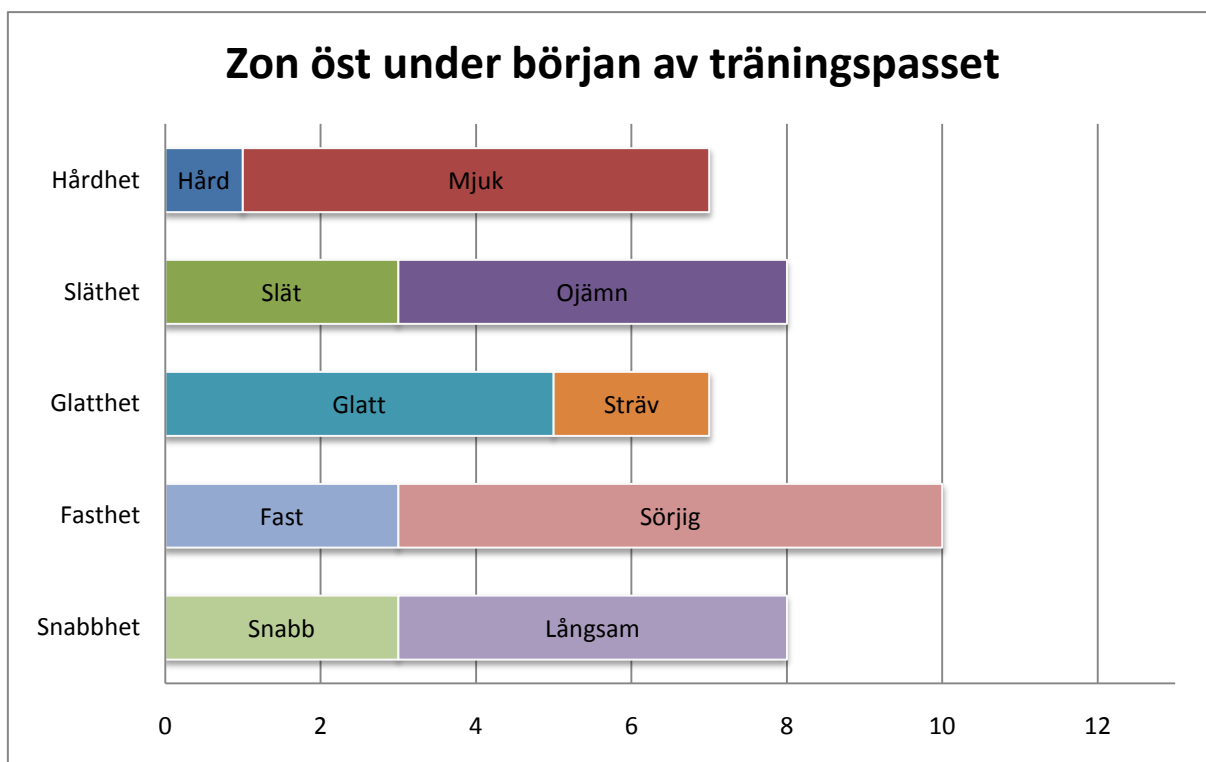


Figur 22: Erhållna enkätsvar gällande upplevelsen av isen för zon väst under slutet av träningspasset (enkätsvar över fråga 4 i enkäten, se Bilaga 2) under träningspasset för U16 den 10 mars 2011. Majoriteten av spelarna upplevde att isen i slutet av träningspasset var mjuk, ojämn och långsam. Isen tycks också ha blivit fastare, men strävare.

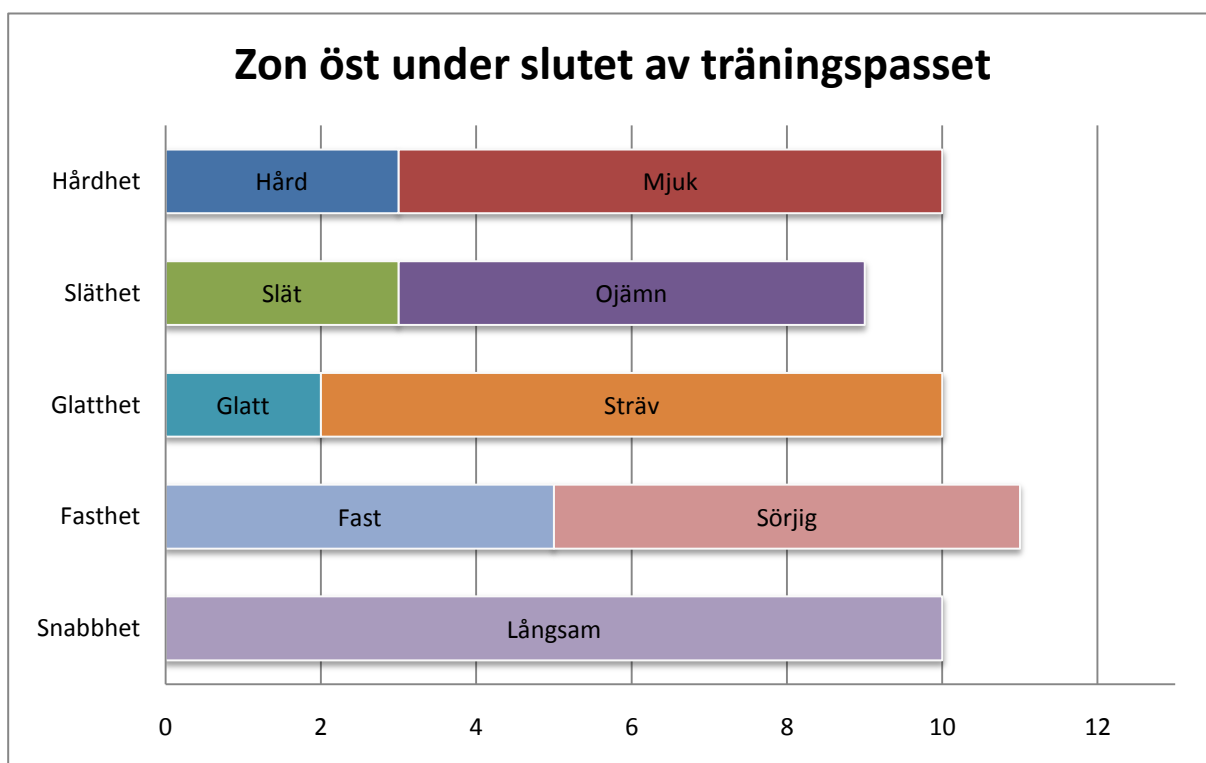




Figur 23: Erhållna enkätsvar gällande den allmänna upplevelsen av isen för zon öst (enkätsvar över frågorna 5 och 6 i enkäten, se Bilaga 2) under träningspasset för U16 den 10 mars 2011. Av de 13 spelarna svarade 6 att dem upplevde isen i zon öst vara godtagbar och 4 att dem upplevde isen vara bra. Majoriteten av de 13 spelarna upplevde isen i zon öst vara mjuk, ojämn och långsam.



Figur 24: Erhållna enkätsvar gällande upplevelsen av isen för zon öst under början av träningspasset (enkätsvar över fråga 7 i enkäten, se Bilaga 2) under träningspasset för U16 den 10 mars 2011. Diagrammet visar att majoriteten av de 13 ishockeyspelarna upplevde isen i zon öst vara sörjig i början av träningspasset. De övriga staplarna visar att de flesta som valt att svara om de upplevde isen som mjuk eller hård, valde mjuk, som slät eller ojämn, valde ojämn, som glatt eller sträv, valde glatt, och som långsam eller snabb, valde långsam.



Figur 25: Erhållna enkätsvar gällande upplevelsen av isen för zon öst under slutet av träningspasset (enkätsvar över fråga 8 i enkäten, se Bilaga 2), under träningspasset för U16 den 10 mars 2011. Majoriteten av de 13 hockeyspelarna upplevde isen i zon öst som mjuk, sträv och långsam under slutet av träningspasset. Även utfallet ojämn blev stort.

Som svar på fråga 9 som syftade till orsaken av isens förändring (se Bilaga 2) var det vanligaste svaren att isen slits på grund av spel, att ismaskinen lägger ut för mycket vatten som leder till isen blir mjuk och förstörs snabbt, och att det blev varmare i hallen. Några förändringar av isen som nämnts är att isen slits fort vilket gör att det blir sämre passningar och att isen blir mjukare.

Det vanligaste svaret på fråga 10 (se Bilaga 2), som gällde upplevelsen av isen strax efter att ismaskinen lämnat isen, var att isen var blöt och sörjig vilket ledde till att pucken bromsades av vattnet. Någon tyckte även att det kändes tungt att åka. De flesta var överens om att det tog 5-10 min för vattnet att frysa, vilket i princip var lika lång tid som det tog för laget att utföra några övningar. Många svarade att dem var ute på isen innan den hann frysa till ordentligt och en konstaterade att ”vi har inte tid att vänta här”.

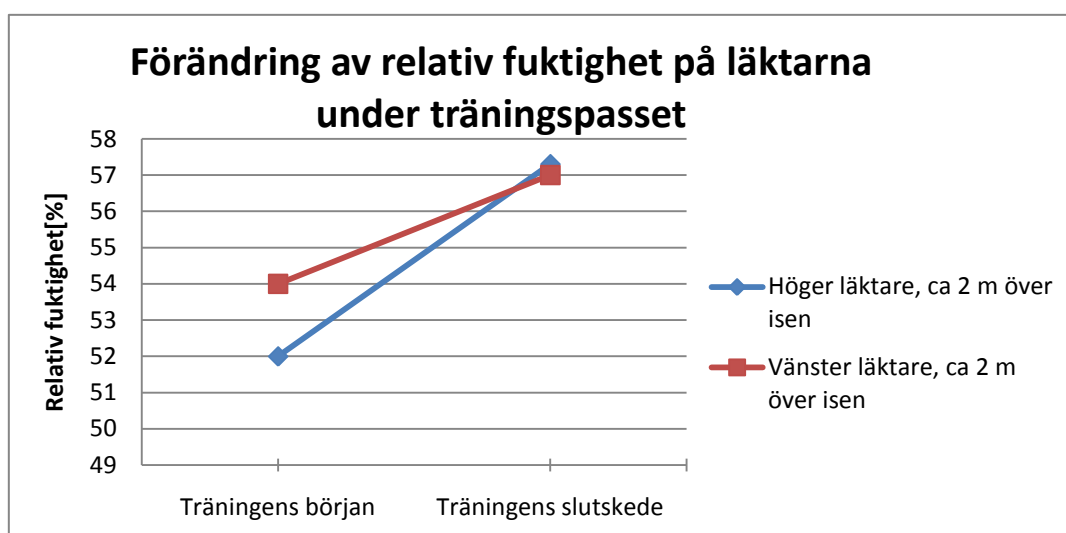
### 5.2.3 Resultat av mätstudie med lagen J18, J20 och A-laget

De mätvärden som presenteras nedan erhöles under träningspasset för J18, J20 och A-laget som är de lag som representerar de äldsta åldersgrupperna i IF Mölndal Hockey. Då träningen var tänkt att utföras på helplan under i princip hela istiden, blev en anpassning till verksamheten nödvändig och bara ett litet antal mätvärden från isen kunde erhållas. Träningspasset utfördes den 23 mars 2011 mellan kl 21:30 och kl 22:30. Efter detta tillfälle uppmättes utomhustemperaturen till 5,7°C och den relativa fuktigheten till 85% vilket ger en absolut fuktighet på ca 4,8 g/kg. Köldbärarens tilloppstemperatur avlästes till -9°C och returtemperatur till -5,0°C och antas vara konstanta under hela träningspasset.

Loggrarna var utplacerade på samma ställe som under den tidigare studien med laget U16, ca 2 m över isnivån. De mätvärden som registrerades under träningens början och slutskede presenteras i tabell 3 nedan. Vidare åskådliggörs förändringen av den relativa fuktigheten i hallen i Figur 26.

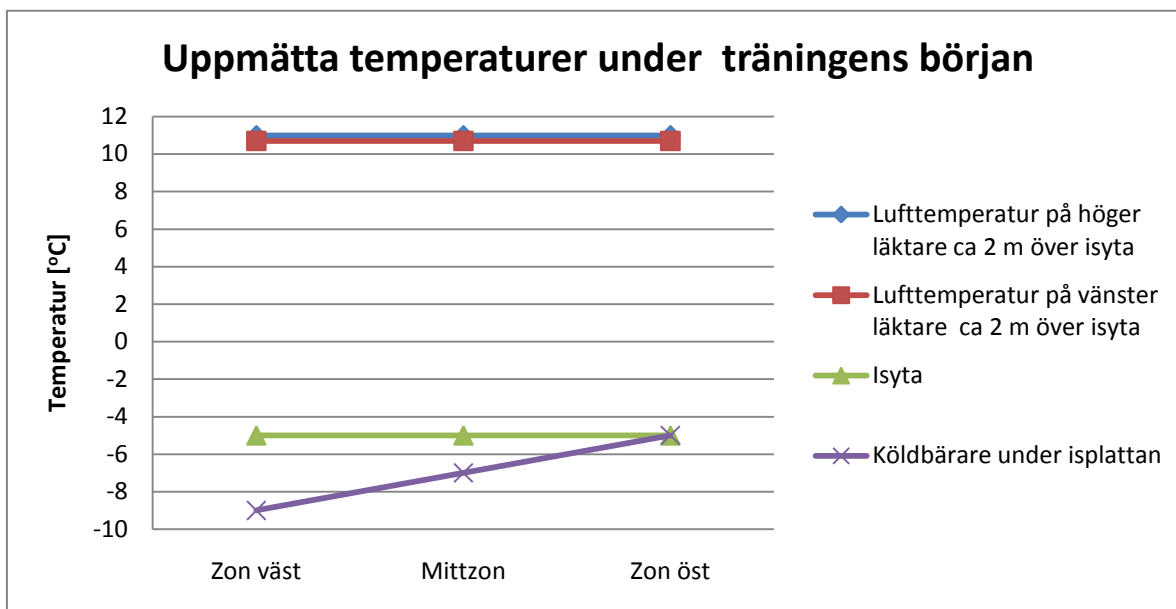
Tabell 3: Lufttillståndet på läktarna under träningens början och slutskede.

	Vänster Läktare	Höger Läktare
Temperatur [°C], vid träningens början	10,7	11,0
Temperatur [°C], vid träningens slutskede	10,1	10,3
RF [%] vid träningens början	54,0	52,0
RF [%] vid träningens slutskede	57	57,3
Absolut fuktighet [g/kg] vid träningens början	4,4	4,2
Absolut fuktighet [g/kg] vid träningens slutskede	4,3	4,3

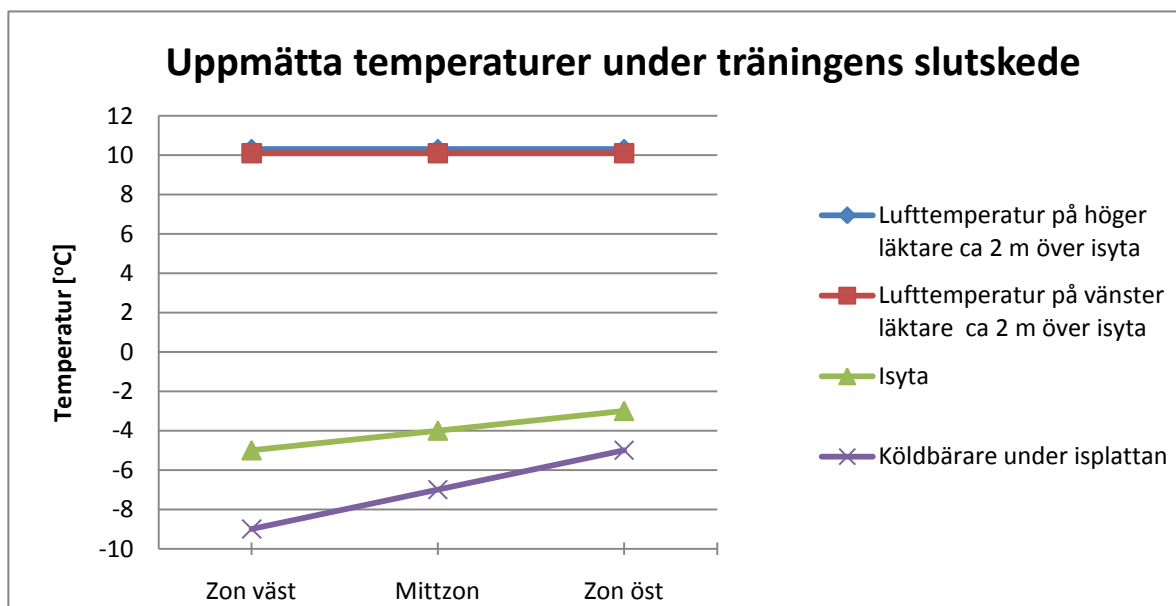


Figur 26: Förändring av den relativa fuktigheten på höger och vänster läktare under träningspasset. Den relativa fuktigheten ökade under träningspasset då temperaturen långsamt sjönk (se Tabell 3 ovan).

Vid träningens början påbörjades mätningarna på isplanen direkt efter att ismaskinen lämnat isen och pågick i ca 5 min. Hockeylaget hade sin uppvärmning på isen samtidigt. Likaså påbörjades mätningarna under träningens slutskede ca 5 min innan laget steg av isen, och avslutades i samband med avstigningen. Den här gången togs även foton på isen vid träningens början och vid träningens slut. Resultaten redovisas i Figurerna 27-34 nedanför.



Figur 27: Uppmätta temperaturer under träningens början för respektive zon. Loggrarna placerades ca 2 m över isytan i höjd med mittzonen på isen. Loggrarnas uppmätta värden antas även gälla för zon väst och zon öst. Köldbärarens temperatur antas avta linjärt under ispisten. Lägga märke till att isytans temperatur är jämn över samtliga zoner på planen och att isytans uppmätta temperatur i zon öst är densamma som köldbärarens temperatur.



Figur 28: Uppmätta temperaturer under träningens slutskede för respektive zon. Loggrarna placerades ca 2 m över isytan i höjd med mittzonen på isen. Loggrarnas uppmätta värden antas även gälla för zon väst och zon öst. Köldbärarens temperatur antas avta linjärt under ispisten. Under träningen har den uppmätta temperaturen på isytan i mittzonen sjunkit till ca  $-4^{\circ}\text{C}$  och i zon öst till ca  $-3^{\circ}\text{C}$ .



*Figur 29: Isen någon minut efter att ismaskinen lämnat isen. Djupa spår efter skridskorna bildas direkt.*



*Figur 30: Linjer och markeringar under isen syns tydligt i början av träningen.*



*Figur 31: Isen mot slutet av träningspasset. Mycket snö har skrapats loss från isen på grund av spel.*



*Figur 32: Då det bildas snöbeläggning på isytan blir linjerna och markeringarna inte riktigt lika tydliga som dem var vid början av spelet*



*Figur 33: Isen i slutet av träningspasset. De röda markeringarna syns knappt under den uppskrapade snön.*





*Figur 34: Stora mängder snö uppskrapades vid målgårdarna. Denna bild var tagen vid målgården i zon väst.*

Under träningspasset erhöles även mätvärden från aggregatrummet. Temperaturen i återluften (luften från ishallen) uppmättes till 11,4°C och den relativa fuktigheten till 52,2%. Detta ger en absolut fuktighet på ca 4,3 g/kg. Uteluftsintaget var helt stängt, och tilluftstemperaturen var enligt en fast termometer på plats ca 25°C. Se Figurerna 35-37 nedan.



*Figur 35: Återluftsintaget som vid detta tillfälle stod fullt öppet. Återluftens temperatur uppmättes till 11,4°C och den relativa fuktigheten till 52,2%.*





*Figur 36: Termometern som visade tilluftstemperaturen till ishallen.*

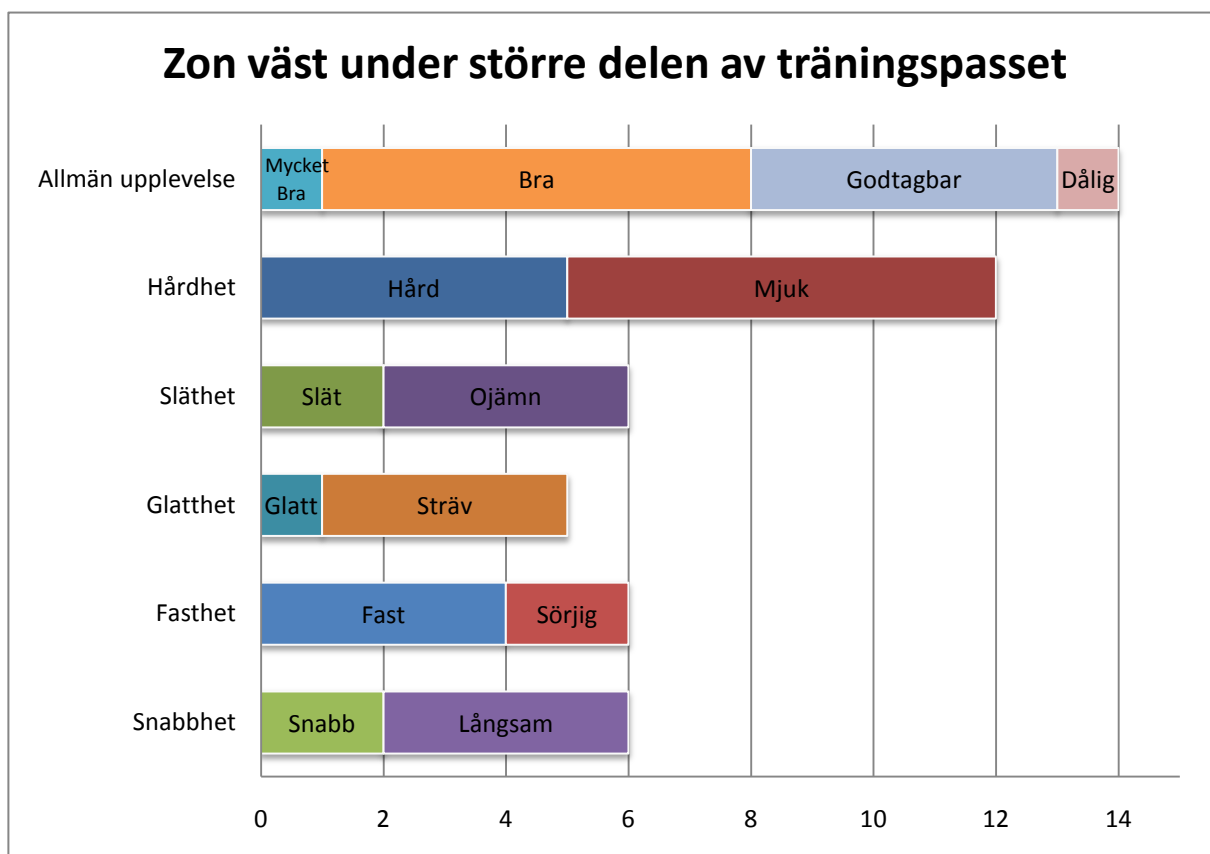


*Figur 37: Spjället från uteluftsintaget var vid detta mätillfälle helt stängt, men drag pga. luftläckage kunde kännas då spjället inte var riktigt tätt.*

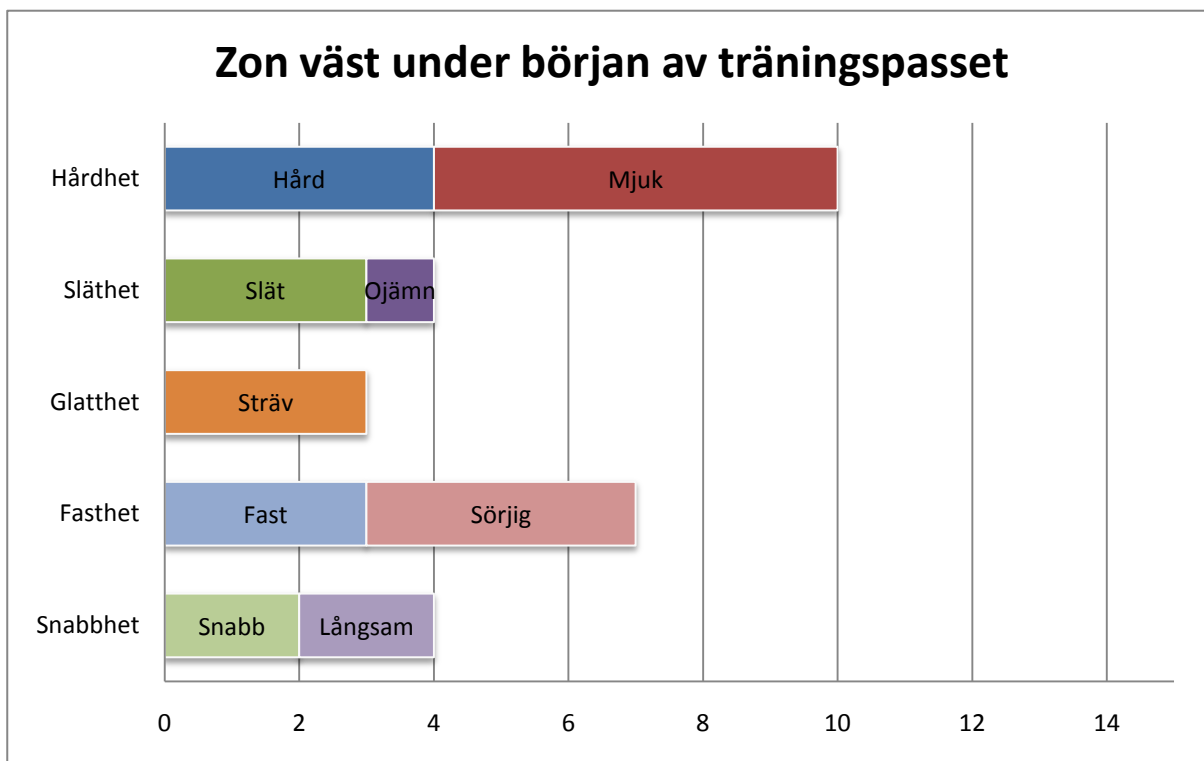
## 5.2.4 Resultat av enkätstudie med lagen J20 och A-laget

Vid detta studietillfälle besvarades enkäten av 15 spelare från lagen J20 och A-laget. Resultatet från enkätsvaret presenteras i Figurerna 38-43 nedan. Enkätsvaret som syftar till zon väst presenteras i Figurerna 38-40 och de svar som syftar till zon öst presenteras i Figurerna 41-43. Lägg märke till att antalet erhållna svar för respektive parameter varierade kraftigt den här omgången.

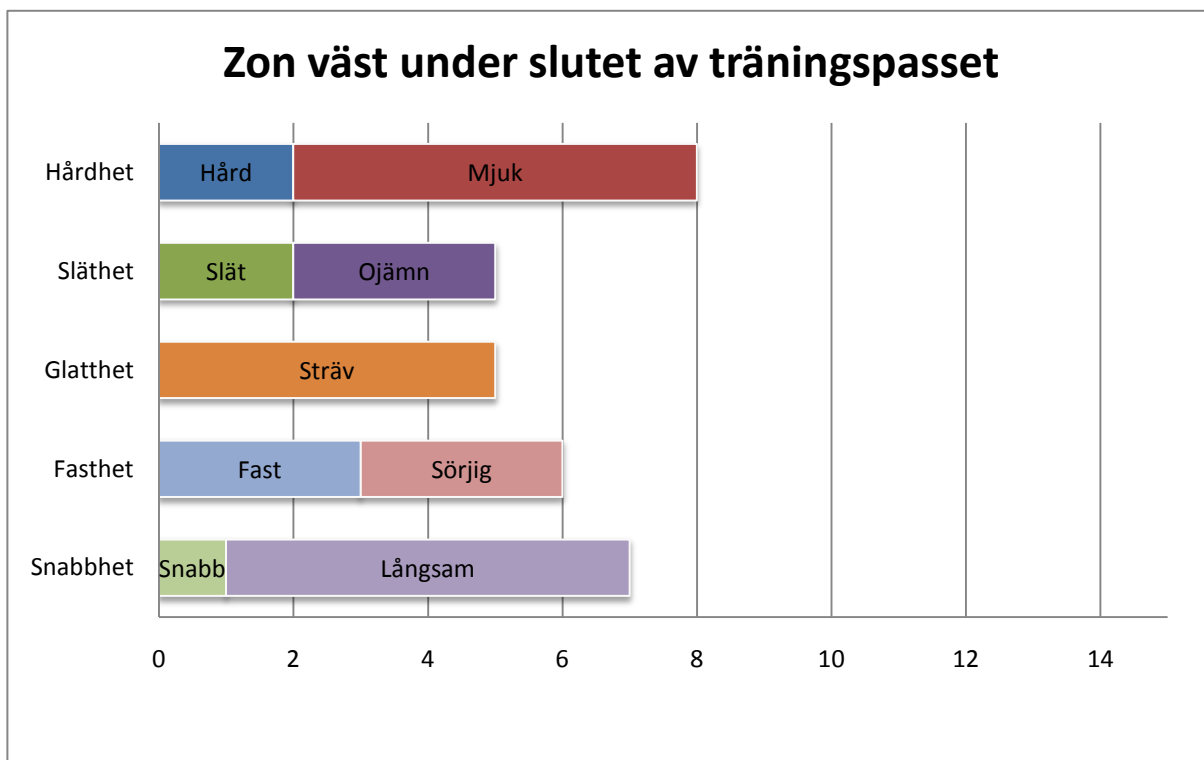
I enkätsvaret för det här träningsstillfället varierar svaren och svarsfrekvenserna för de olika parametrarna kraftigt. De parametrar som fått störst svarsfrekvens är den allmänna betygsskalan och parametern för hårdhet. Resultatet visar att majoriteten av hockeyspelarna upplevde isen som bra och varje gång var det fler som upplevde att isen var mjuk än dem som upplevde att den var hård. Detta gäller för båda zonerna. När det gäller svarsfrekvensen på de övriga parametrarna, varierar den mellan 3 och 8 svar per parameter. De hockeyspelare som yttrade sin åsikt av isens glatthet var i princip överens om att isen var sträv och detta gäller båda zonerna. Svarsfrekvensen för denna parameter ökade i frågan som avsåg slutet av träningspasset. Dem som valt att yttra sin åsikt om isens släthet tyckte att isen blev mer ojämn mot slutet av träningspasset i zon väst, medan den tydligen blev slätare i zon öst. När det gällde isens snabbhet, upplevde de flesta som svarat på denna parameter att isen blev långsam under slutet av träningspasset.



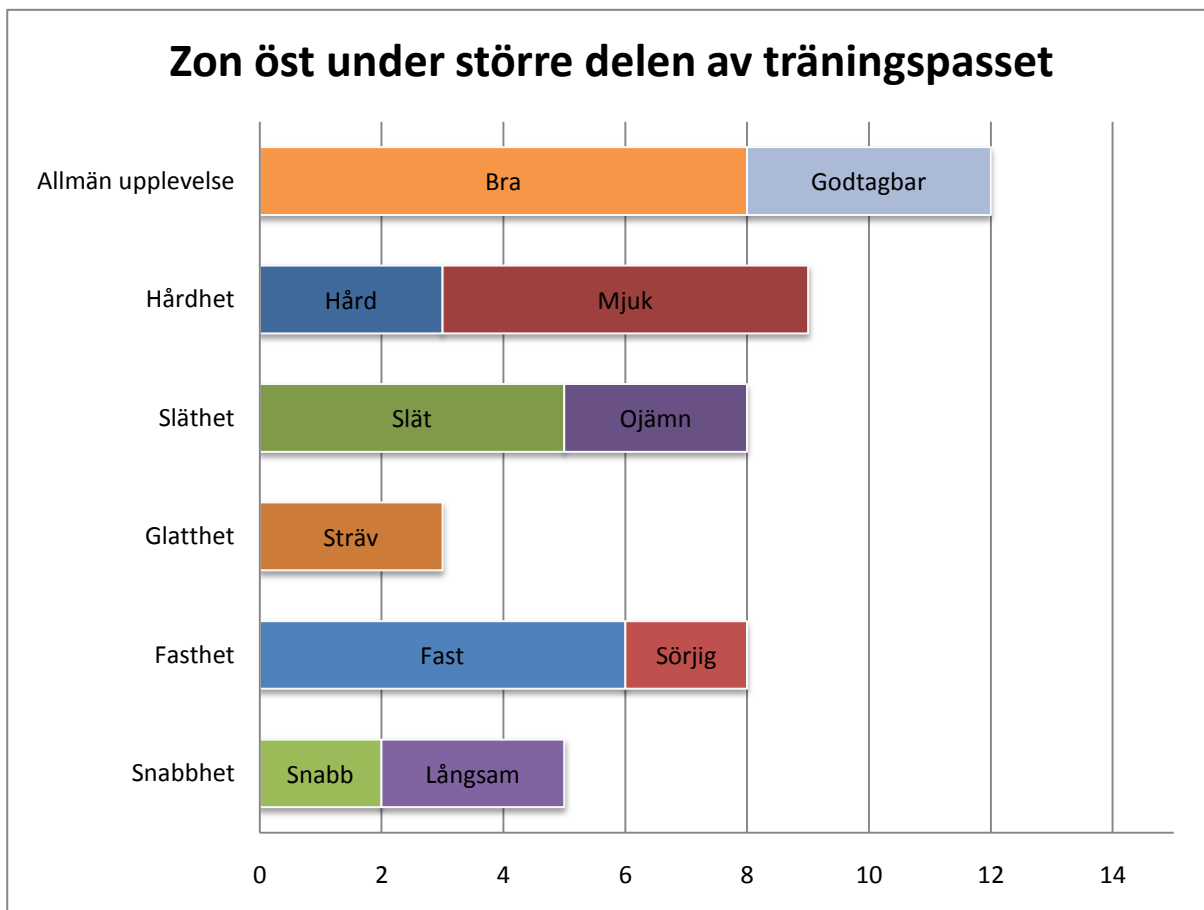
Figur 38: Erhållna enkät svar gällande den allmänna upplevelsen av isen i zon väst (svar över frågorna 1 och 2 i enkäten, se Bilaga 2) under träningspasset för J18/J20 och A-laget den 23 mars 2011. Här kan man avläsa att endast en person upplevde att isen var dålig, samtidigt som 7 personer upplevde isen som mjuk. Av alla 15 enkäter som besvarats var svarsfrekvensen 5-6 personer för parametrarna släthet, glatthet, fasthet och snabbhet.



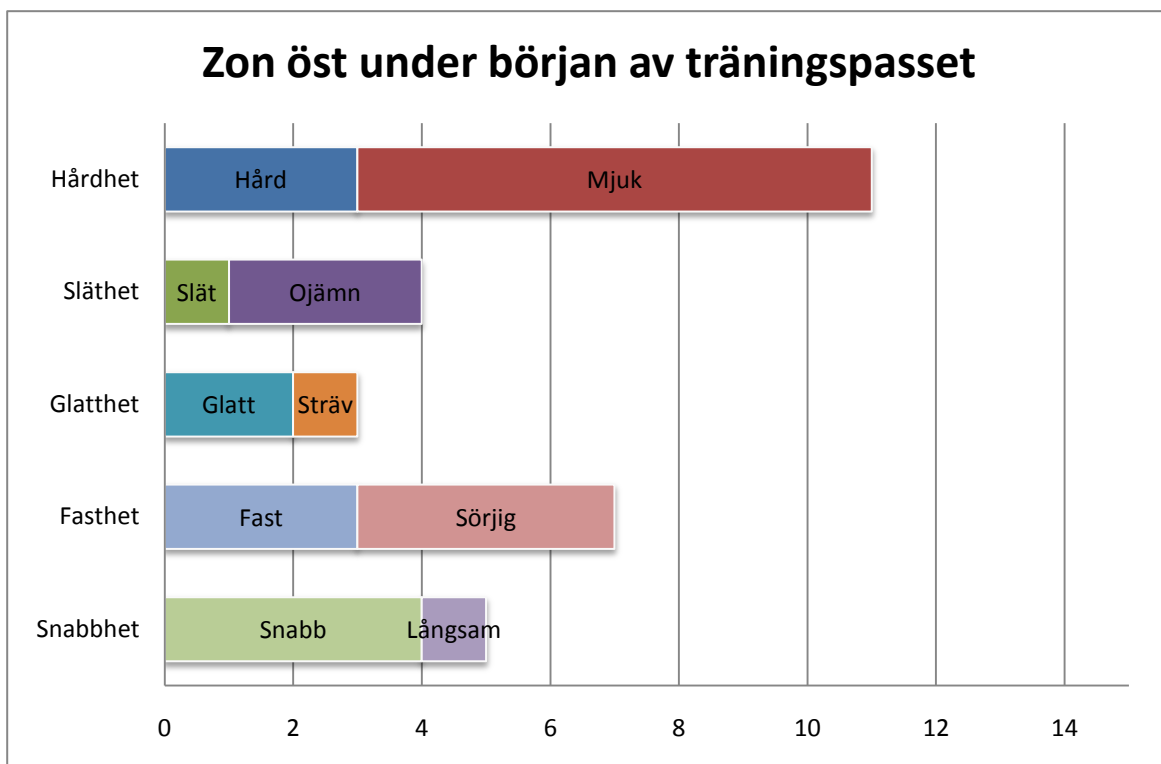
Figur 39: Erhållna enkätsvar gällande upplevelsen av isen i zon väst under början av träningspasset (svar över fråga 3 i enkäten, se Bilaga 2) under träningspasset för J18/J20 och A-laget den 23 mars 2011. Staplarna för hårdhet och fasthet har i denna fråga störst svarsfrekvens, där upplevelserna mjuk och sörjig har fått majoritet i sin stapel. I stapeln för glatthet har alla svarande varit överens om att isen var sträv.



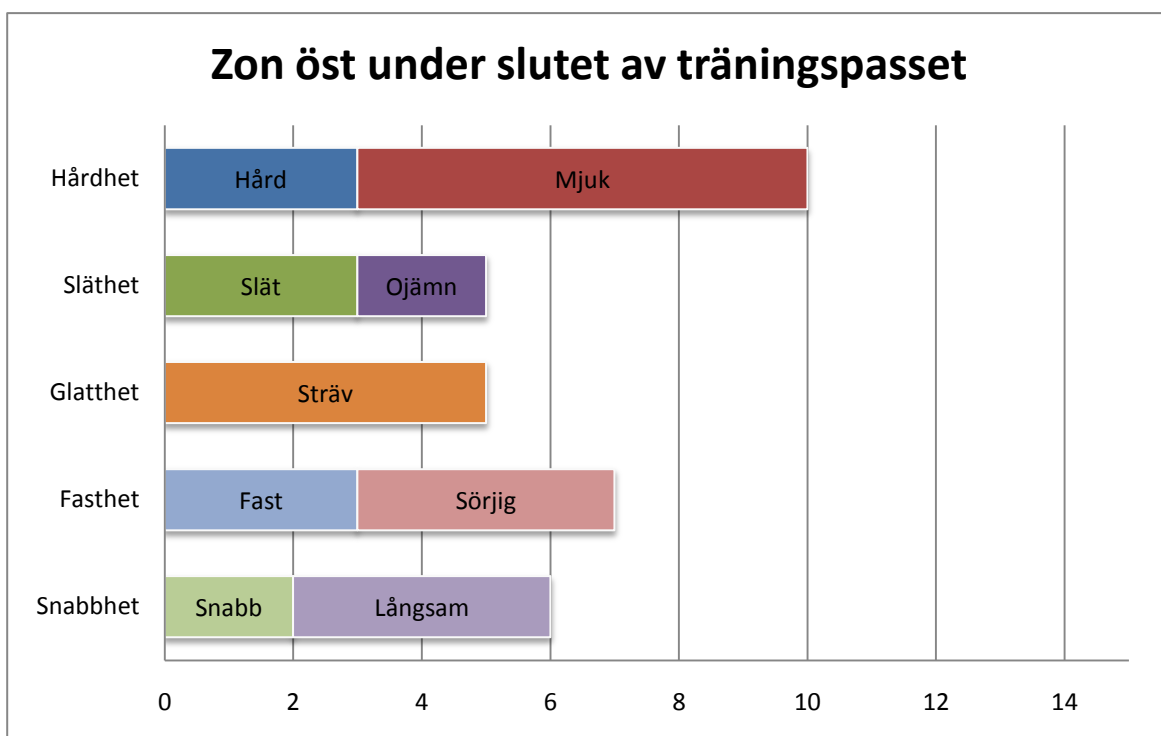
Figur 40: Erhållna enkätsvar gällande upplevelsen av isen i zon väst under slutet av träningspasset (svar över fråga 4 i enkäten, se Bilaga 2), under träningspasset för J18/J20 och A-laget den 23 mars 2011. Upplevelserna mjuk och långsam är i detta fall dominerande. Stapeln för glatthet har fått en större svarsfrekvens och alla är fortfarande överens om att isen var sträv i slutet av träningspasset.



Figur 41: Erhållna enkätsvar gällande den allmänna upplevelsen av isen i zon öst (svar över frågorna 5 och 6 i enkäten, se Bilaga 2) under träningspasset för J18/J20 och A-laget den 23 mars 2011. Staplarna för allmän upplevelse och hårdhet erhöll också i detta fall den största svarsfrekvensen, där utfallen bra och mjuk återigen har majoritet i sina staplar. Även staplarna för släthet och fasthet hade ganska stor svarsfrekvens.



Figur 42: Erhållna enkätsvar gällande upplevelsen av isen i zon öst under början av träningspasset (svar över fråga 7 i enkäten, se Bilaga 2) under träningspasset för J18/J20 och A-laget den 23 mars 2011. Utfallet mjuk har fått en majoritet bland de svarande (8 av 15 spelare upplevde isen som mjuk). Parametern fasthet visar sig också här ha den näst största svarsfrekvensen gällande iskvalitén under början av träningspasset (jämför med Figur 48).



Figur 43: Erhållna enkätsvar gällande upplevelsen av isen för zon öst under slutet av träningspasset (svar över fråga 8 i enkäten, se Bilaga 2) under träningspasset för J18/J20 och A-laget den 23 mars 2011. Staplarna för hårdhet och fasthet visar sig ha störst utfall under slutet av träningen i denna zon. Stapeln för glatthet ger här återigen ett enhetligt utfall, dvs. sträv (jämför med Figur 49).

Bland de egna beskrivningarna fanns för fråga 1 som syftade till den allmänna upplevelsen av isen i zon väst kommentarer som ”mjuk och knottrig” och ”för mycket vatten”. Vidare fanns kommentaren ”bra men knottrig” som syftade till isen i zon väst under början av träningspasset och i frågan som syftade till isen i zon väst under slutet av träningspasset fanns kommentarerna ”snöig” och ”svårt att hantera puck”. För isen i zon öst fanns kommentaren ”snöig” som syftade till isen i zon öst under slutet av träningspasset.

Bland svaren för fråga 9 (se Bilaga 2) som syftade till orsaken till att isen förändrades svarade dem flesta att isen förändrades på grund av spel. Men även kommentarer som ”vattnet fryser till först efter ett tag” och ”det tar för lång tid för isen att frysa, vilket gör att isen blir mjuk” uttryckta på olika sätt var vanliga. Vissa valde att även nämna att temperaturpåverkan vid stor publik kan vara en orsak till att isen förändras under match.

Som svar på fråga 10 (se Bilaga 2) uttryckte dem flesta att isen var vattnig, mjuk och sörjig strax efter att ismaskinen lämnat isen. Någon nämnde att det speciellt på vissa ställen, vanligtvis bakom mål ansamlas stora vattenmassor som tar lång tid på sig att torka. De flesta menade att de varit ute på isen innan den hann frysa till ordentligt och att det tog ca 5-10 min för vattnet att frysa.

## 5.2.5 Resultat av jämförelsestudie

Jämförelsestudien utfördes den 29 mars 2011 mellan kl 8:45 och 9:45. Isen hade då haft en återhämningsperiod under natten, och det enda som skett under morgonen är att ismaskinen varit ute och lagt ett nytt lager vatten ca kl 8:00. Under mätningarnas gång pågick alltså ingen aktivitet på isen. Det uppmätta utomhuslufttillståndet före och efter denna mätstudie redovisas i Tabell 4 nedan. Temperaturerna för köldbärarens tillopp och retur avlästes till  $-9^{\circ}\text{C}$  respektive  $-6^{\circ}\text{C}$ . Köldbärarens temperaturer antas vara konstanta under hela mätstudien. Tilluftstemperaturen avlästes till ca  $25^{\circ}\text{C}$ .

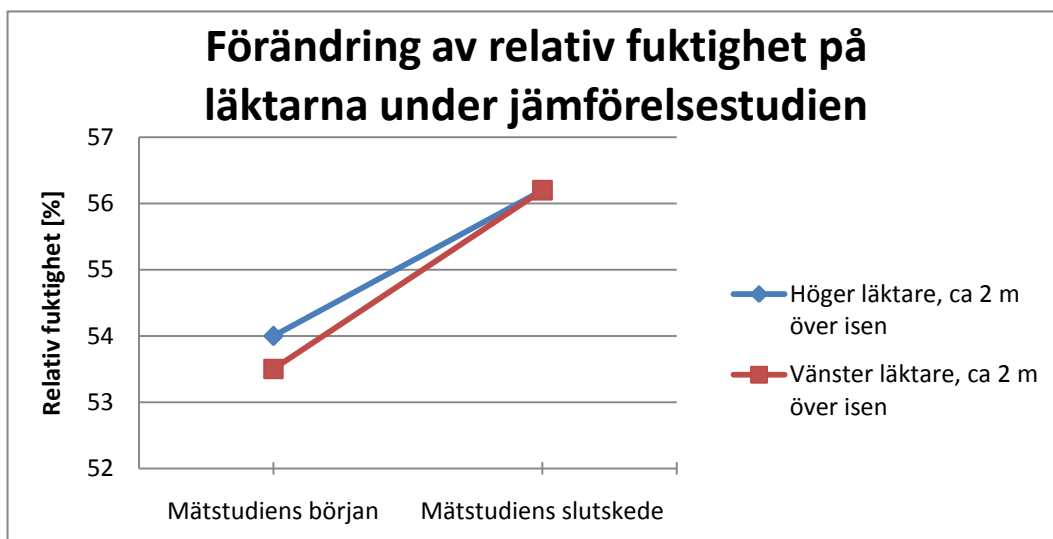
Tabell 4: Lufttillståndet utomhus före och efter jämförelsestudien.

	Före mätstudie	Efter mätstudie
Lufttemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]	4,5	5,5
Relativ fuktighet [%]	84,2	85,5
Absolut fuktighet [g/kg]	4,2	4,5

De värden som registrerades av loggrarna som var utplacerade ca 2m över isnivån, i nivå med isplanens mittzon presenteras i Tabell 5 nedan, och förändringen av den relativa fuktigheten under mätstudien åskådliggörs i Figur 44 på nästa sida.

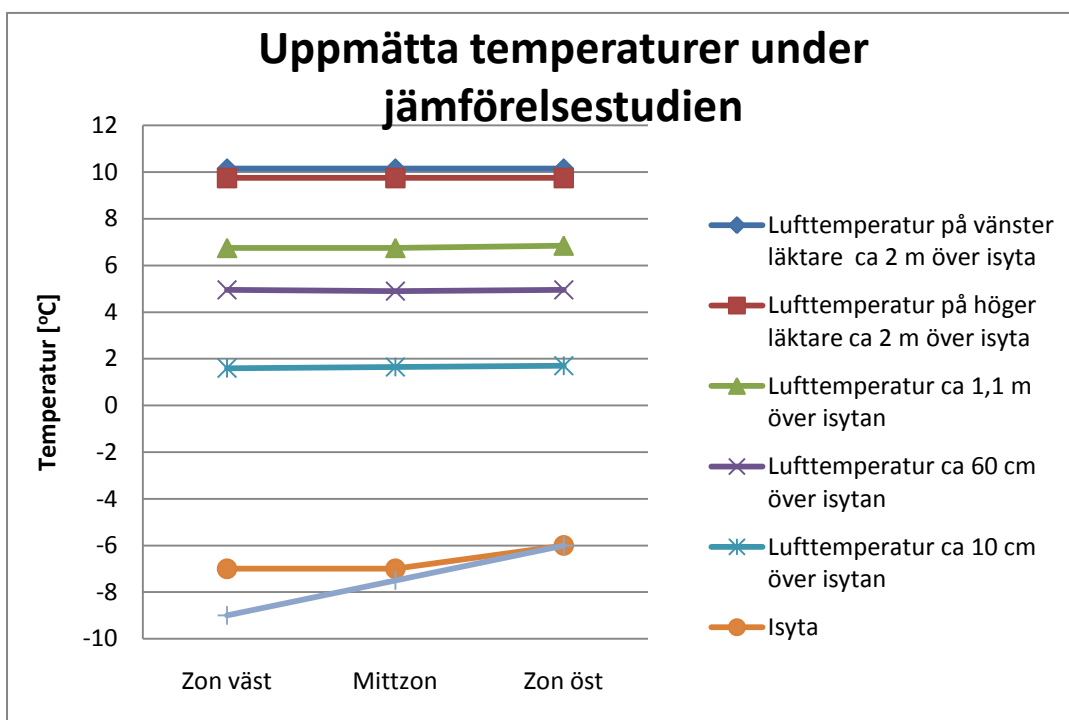
Tabell 5: Lufttillståndet på läktarna under jämförelsestudiens början och dess slutskede.

	Vänster Läktare	Höger Läktare
Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ], vid mätstudiens början	10,4	9,9
Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ], vid mätstudiens slutskede	9,9	9,6
Relativ fuktighet [%] vid mätstudiens början	53,5	54,0
Relativ fuktighet [%] vid mätstudiens slutskede	56,2	56,2
Absolut fuktighet [g/kg] vid mätstudiens början	4,0	4,0
Absolut fuktighet [g/kg] vid mätstudiens slutskede	4,1	4,0



Figur 44: Förändring av den relativa fuktigheten på höger och vänster läktare under mätstudiens gång. Även under denna mätstudie sjönk temperaturerna på läktaren långsamt.

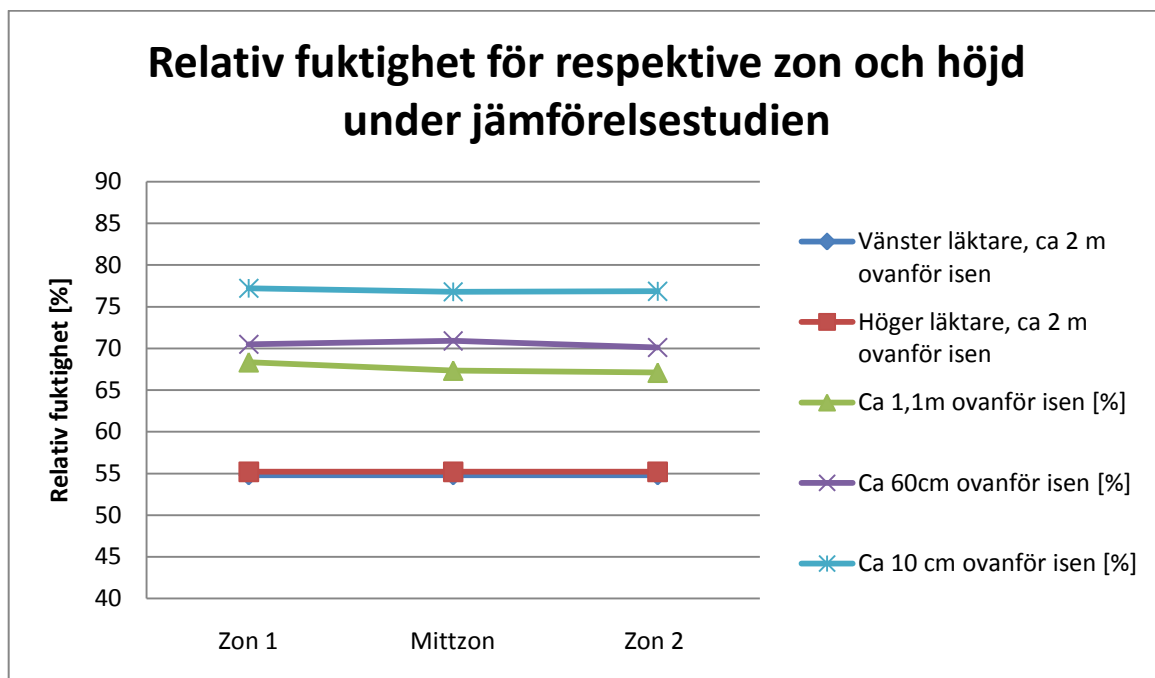
Mätningarna i isens närmiljö utfördes denna gången så noga som möjligt och pågick i ca 45 min för att säkerställa att fuktgivaren i mätinstrumentet Swema Air 300 antog rätt temperatur. Mätningarna gjordes i tre stycken höjdnivåer, 10 cm, 60 cm, och 1,1m cm över isnivån. Isens ytemperatur avlästes som vanligt, och även sargens temperatur, 60 cm över isnivån bestämdes. Sargens temperatur varierade mellan +5 och +6 °C. Figur 45 nedan visar de uppmätta temperaturerna för köldbäraren, isytan och luftskikten 10cm, 60 cm, 1,1m och 2 m över isytan för respektive zon.



Figur 45: Uppmätta temperaturer för respektive zon, för köldbärarna, isytan och lufttemperaturer i höjdnivåerna 10 cm, 60 cm, 1,1 m och 2 m över isytan under jämförelsestudien. Lufttemperaturerna över zon öst var ca 0,1°C varmare än för zon väst, vilket knappt syns i detta diagram.

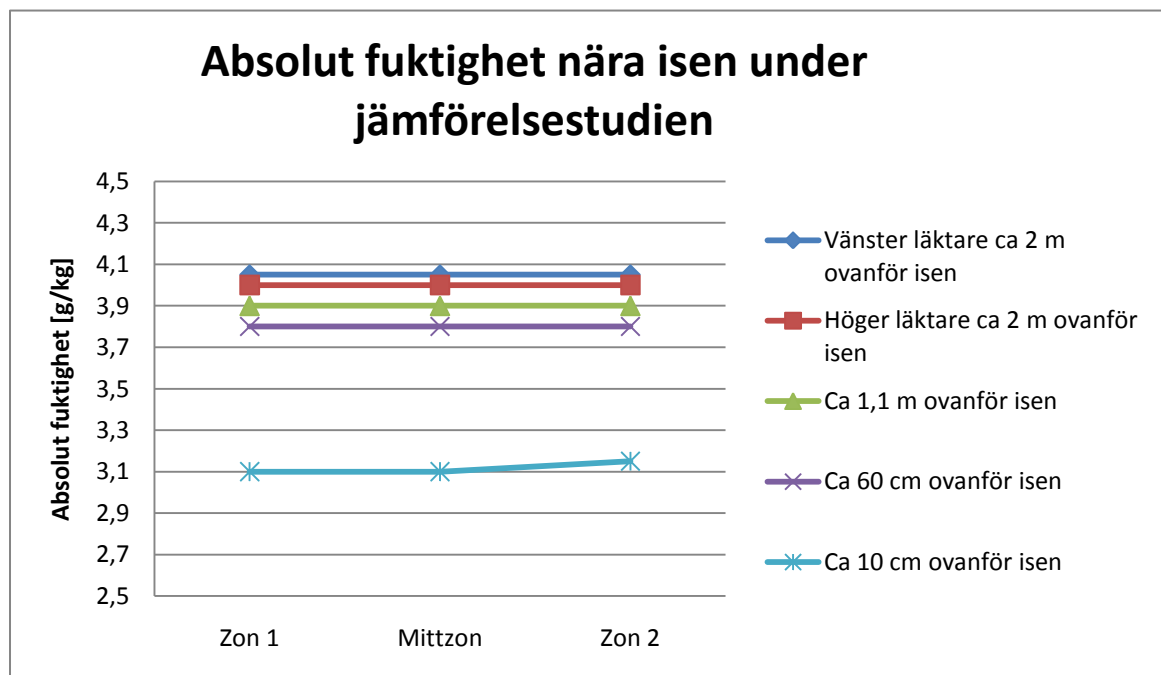


Den uppmätta relativa fuktigheten för respektive zon och höjd över isen under jämförelsestudien visas i Figur 46 nedan.



Figur 46: Medelvärdet av den uppmätta fuktigheten för respektive zon och höjd över isen under jämförelsestudien. Lägg märke till att den relativa fuktigheten är större närmare isytan.

Den omräknade absoluta fuktigheten för respektive zon och höjd över isen visas i Figur 47 nedan.



Figur 47: Medelvärdet av luftens absoluta fuktighet i de olika luftskikten, 10cm, 60cm, 1,1m och 2 m över isnivån. Lägg märke till att den absoluta fuktigheten sjunker i luftskikten närmare isen.

Under jämförelsestudien kunde kraftiga ojämnheter i isen noteras i området kring målgården i zon väst. Se Figurerna 48-51 nedan.



*Figur 48: En ungefär 2 m lång skåra/veck i isen.*



*Figur 49: En ca 10 cm i diameter stor hålliknande ojämnheter.*



*Figur 50: Flera ojämnheter intill varandra.*



*Figur 51: Några mindre ojämnheter intill varandra.*

## 5.2.6 Studie av istjocklek och temperatur vid isens bottenlager

För att bättre kunna förstå och sedan diskutera resultatet gjordes en studie där isens tjocklek bestämdes på ett antal punkter på isplanen. Studien gjordes den 4 april 2011 mellan kl 09:00 och 10:00, tillsammans med en ismaskinist. Ismaskinen hade då senast varit ute kvällen innan. Köldmediets tillloppstemperatur uppmättes till  $-9,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  och returtemperaturen till  $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

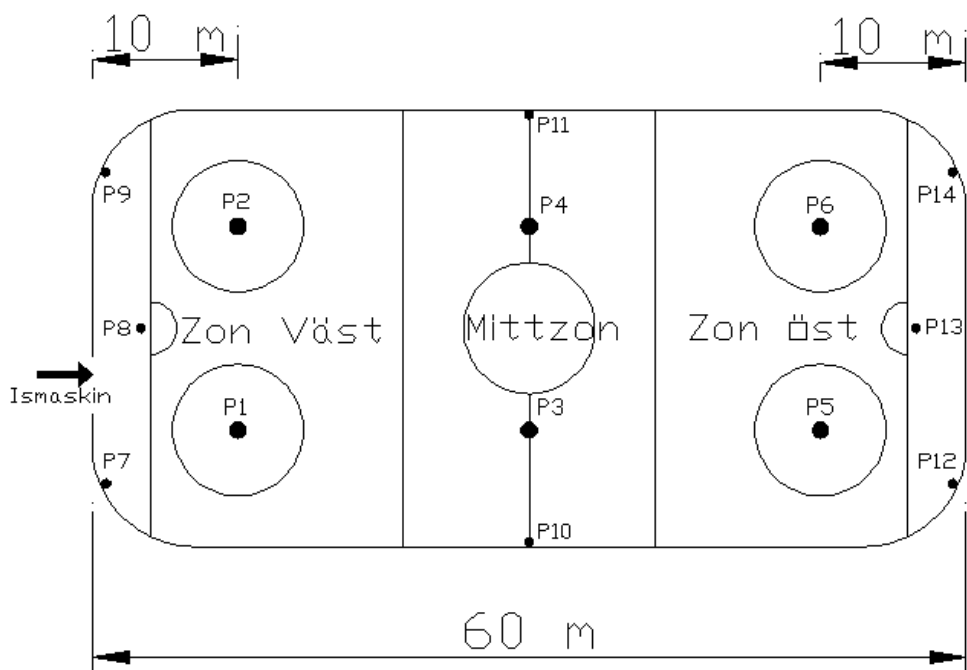
Tjockleken bestämdes genom att med en bormaskin borra ett hål i isen (se Figur 52 nedan) tills borret nådde betongplattan under isen. Sedan beräknades istjockleken genom att med en tumstock mäta den del av borret som gått ner i isen. Efter några minuter sattes mätsonden ner i hålet (se Figur 53 nedan) och temperaturen mättes. Figur 54 på nästa sida visar de punkter där istjockleken bestämdes. Temperaturen bestämdes dock bara i mätpunkterna P1-P6. Det resultat som erhöles visas i Tabell 6 på nästa sida.



Figur 52: Ett hål borras i isen med hjälp av en bormaskin.



Figur 53: Mätsonden stoppas ner till botten av hålet och temperaturen bestäms.



Figur 54: Figuren visar lokaliseringen på de punkter där hål borrades i isen i syfte att bestämma istjockleken och temperaturen.

Tabell 6: Tabellen visar istjockleken för respektive punkt och den uppmätta temperaturen vid bottenplattan. Lägg märke till att den uppmätta temperaturen vid bottenplattan är högre än de uppmätta ytemperaturerna i tidigare mätstudier.

Mätpunkt	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
Istjocklek [cm]	4,2	7,0	2,0	2,0	4,2	3,0	8,0	4,0	8,7	3,7	3,0	5,5	2,5	6,5
Temperatur vid botten av de borrade hålen [°C]	-5,0	-5,6	-3,6	-3,9	-3,4	-3,2								

Istjockleken på isbanan varierade alltså mellan 2,0 och 8,7 cm. Isen var tjockast i zon väst (P1, P2, samt P7-P9) och zon öst (P5, P6 samt P12-P14) och tunnast i mittzonen (P3, P4, samt P10 och P11). Den uppmätta temperaturen vid bottenplattan varierade mellan -3,2 och -5,6, där zon väst var kallast och zon öst varmast.

Det erhållna resultatet ger upphov till diskussion då det visar att det är varmare i isens bottenlager än på isens yta som i tidigare mätstudier blivit uppmätt till temperaturer som  $-6^{\circ}\text{C}$  och  $-7^{\circ}\text{C}$ , vilket är en omöjlighet. Därmed gjordes en jämförelseundersökning mellan mätinstrumenten Agema thermopoint 6 och Technoterm 7300. Undersökningen redovisas i kapitel 5.2.7 på nästa sida.

## 5.2.7 Jämförelse av resultat från olika mätinstrument

Då resultatet enligt Tabell 6 ovan visar att isens temperatur i bottenlagret är några grader varmare än tidigare uppmätta temperaturer på isens yta, utfördes en extra jämförelseundersökning för att jämföra de resultat som erhålls vid mätningar med mätinstrumentet Agema thermopoint 6 med de resultat som erhålls med mätinstrumentet Technoterm 7300.

Jämförelseundersökningen utfördes dagen efter studien där istjockleken och temperaturen i isens bottenlager bestämdes, dvs den 5 april 2011, mellan klockan 8:00 och 9:00. Även kontroll av emissionsfaktorn för mätinstrumentet Agema thermopoint 6 upprepades (se Bilaga 1, samt Figurerna 55 och 56 nedan).

Undersökningen genomfördes genom att hålla Technotermens mätsond mot isytan under en rimlig tid, tills mätsonden antog isytans temperatur (se Figur 57 på nästa sida). Sedan avlästes yttemperaturen med IR-instrumentet Agema thermopoint 6 precis bredvid det ställe där yttemperaturen bestämts med mätsonden. Undersökningen gjordes på de mätställen på isen som tidigare användes i mätstudien, dvs. i mätpunkterna P1-P6 enligt Figur 54 på sid 45. Resultatet av undersökningen redovisas nedan i Tabell 7 nedan.

Tabell 7: Uppmätta temperaturer för de två mätpunkterna i respektive zon. Det syns tydligt att IR-termometerns utslag "-7" skiljer sig med ca 2,8-3,5°C mot mätsondens utslag, samt att utslaget "-5" skiljer ca 1,8-2,0°C mot mätsonden.

Mätpunkt	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Yttemperatur [°C], Agema thermopoint 6	-7	-7	-7	-7	-5	-5
Yttemperatur [°C], Technoterm 7300	-3,9	-3,5	-4,2	-3,8	-3,0	-3,2



Figur 55: IR-termometerns utslag mot isen med emissionsfaktorn 0,95, intill en yta där maskeringstejp legat mot isen i ca 30 min.



Figur 56: IR-termometerns utslag mot maskeringstejpen med emissionsfaktorn 0,95.



*Figur 57: Mätsonden trycktes mot isytan under ca 5 min, varefter mätvärdet lästes av.*

## 6 Analys av resultat

Tanken med detta kapitel är att analysera och jämföra de resultat som erhållits under studietillfällena i Åby ishall. Resultaten kommer att diskuteras utifrån de beskrivna förutsättningarna som rådde i hallen och jämföras med de rekommendationer och projekteringsstandarder som beskrivits i kapitel 3. Då innehållet i rapporten är väldigt brett delas detta kapitel in i flera underrubriker som var och en behandlar en specifik del av en studie.

### 6.1 Luftparametrar

I kapitel 3.1 "Svenska Ishockeyförbundet" presenterades de bör värden för lufttillståndet som bör uppnås i en fungerande ishall. Dessa lyder i korthet:

- Lufttemperatur 1-2m över isen: ca 5°C
- Lufttemperatur på läktaren: ca 8-16°C
- Luftens absoluta fuktighet i ishallen: 3-4 g/kg
- Lämplig relativ fuktighet i hallen: 55-60%
- Den relativa fuktigheten bör ej överskrida 65% då risk för korrosionsskador och rötskador i byggnaden kan uppkomma.

Då dessa bör värden jämförs med de mätvärden som presenterats i kapitel 5 "Resultat från de utförda studierna" så kan man konstatera att alla dessa krav i stort sätt var uppfyllda under mättillfällena.

Om man först granskar mätvärdena för laget U16 (kap 5.2.1) ser man att det enda som hamnat utanför dessa gränser är luftens absoluta fuktighet som under träningspasset höll sig stabilt på ca 4,2g/kg. Den absoluta fuktigheten i hallen var egentligen den samma som för utomhusluften (jämför Tabell 1 och 2). Den relativa fuktigheten överskred 65% endast vid isens närmiljö (se Figur 18), vilket egentligen inte är så konstigt då lufttemperaturen i isens närhet är lägre. Samtidigt antar luft med 4,0 g vattenånga per kg luft den relativa fuktigheten 65% vid 7°C medan det står i förutsättningarna att lufttemperaturen 1-2m över isnivån bör vara lägre än så.

Att linjerna för lufttemperatur 10cm och 60cm ovanför isytan ligger tätt på varandra i Figur 17 och linjerna för relativ fuktighet i Figur 18 och 19 korsar varandra kan förklaras med att luften rördes om och blandades med luft ur högre luftskikt då aktivitet pågick på isen. En annan möjlig förklaring är att mätinstrumentet inte alltid fick tillräckligt med tid för att stabilisera sig och visa ett helt korrekt mätvärde, då mätningarna anpassades efter aktiviteten i närheten av mätpunkten. Hade man istället stått längre än 2-3 min på varje mätpunkt hade luften kunnat skikta sig under tiden som mätningen pågick.

Att luftens absoluta fuktighet i hallen kunde anta värden över 4,0g/kg beror på att avfuktningssystemet är inställt att starta då den absoluta fuktigheten i hallen blir 6,0 g/kg och stoppas vid 5,0 g/kg (se Kapitel 2.1). Det är alltså ett val som driftpersonalen gjort, förmodligen för att spara energi på driften i hallen. Inställningen resulterar i att dagtemperaturen höjs från 1°C (vid en absolut fuktighet på 4g/kg) till 7°C (då den absoluta fuktigheten tillåts bli 6g/kg). Dagtemperaturen 7°C nämndes som en lämplig dagtemperatur för mindre ishaller i ASHRAEs handbok (se Kapitel 3.2) och behöver inte innebära någon direkt katastrof för inomhusmiljön i ishallen, men man bör här reagera på att inställningen ligger långt ut i kanten för de ännu accepterade börvärdena och kan därför anses vara mindre lämplig för en publikhall i klass B, som ju Åby ishall är klassad som.



Om man i Figur 19 tittar på linjen som visar den absoluta fuktigheten ca 10 cm ovanför isen vid både träningens början och slut kan man se att den absoluta fuktigheten precis ovanför isnivån är något lägre än i hallen, trots att den absoluta fuktigheten i skiktet 60 cm över isen var något högre än den absoluta fuktigheten i hallen. Detta beror förmodligen på att en del av vattnet i luftskiktet närmast isen kondenserar på isen och på så sätt värmer upp isytan. Samtidigt ökar den absoluta fuktigheten i skiktet 60 cm ovanför isen då aktivitet sker på isen som både producerar fukt (se kap. 3.1) och blandar in fukt från ovanliggande luftskikt. Man bör därför eftersträva att uppfylla kravet gällande luftens absoluta fuktighet på 4g/kg för att undvika effekten av isytans uppvärmning, speciellt då man eftersträvar en hård is.

Under det andra träningstillfället med lagen J18, J20 och A-lag (se kap 5.2.3) var det något fuktigare väder utomhus och den absoluta fuktigheten utomhus uppgick till 4,8g/kg. Trots allt höll sig den absoluta fuktigheten på läktaren till 4,2-4,4 g/kg vilket är något högre än vid det första mätillfället. Detta visar att luftens absoluta fuktighet i ishallen till viss del beror på den absoluta fuktigheten utomhus, men också att den bromsas av klimatskalet (jämför även Tabellerna 4 och 5 från jämförelsestudien). Att den relativa fuktigheten på läktarna blev högre under träningspasset (se Figur 26) berodde på att läktartemperaturen sjönk ca 0,6-0,7°C under träningspassets gång. En eventuell orsak till att temperaturen på läktarna föll med 0,3-0,7°C under mätstudien med lagen J18, J20 och A-laget samt under jämförelsestudien kan bero på att loggrarna behövde mer tid på sig för att stabilisera sig kring det verkliga lufttillståndet än de hade, dvs. att de hade lite för lite tid på sig att stabilisera sig kring ett mätvärde vid tidpunkten för mätstudiens början. Därmed behöver det inte vara så att temperaturen föll ca 0,7°C under mätstudien, utan att den bara varierade med kanske  $\pm 0,2^\circ\text{C}$  på grund av luftströmmars tillfälliga utformning och temperaturavvikelser.

Den absoluta fuktigheten som uppmättes efter återluftsintaget i huvudaggregatet var 4,3g/kg och temperaturen var 11,4 (se kap 5.2.3). Detta visar oss att loggrarna som satt utplacerade på läktarna gav en nästintill korrekt bild av den omblandade luftmassan i ishallen (jämför med Tabell 3). Att det var något varmare efter återluftsintaget beror på att återluftsintaget var något högre placerat än loggrarna på läktaren.

Jämförelsestudiens resultat (se kap 5.2.5) med avseende på luftkvaliteten gav tydliga temperaturlinjer som visar hur luftskikten 10 cm, 60cm, 1,1m, och ca 2m över isnivån skiljer sig åt i temperatur och luftfuktighet då ingen aktivitet sker på isbanan (se Figurerna 45-47). I Figur 47 syns det extra tydligt att luftskiktet närmast isen (10 cm ovan isnivån) har lägst absolut fuktighet, ca 0,9g/kg lägre än luften på läktaren, ca 2 m över isnivån. Samtidigt är den relativa fuktigheten störst i skiktet närmast isen då temperaturen i detta skikt också är lägst, se Figurerna 46 respektive 45.

Om man med hjälp av mätvärdena i Figur 45 och 47 fyller i lufttillståndet för varje luftskikt i luften (dvs för skiktet 10cm, 60cm, 1,1m och 2 m över isen) i ett mollierdiagram ser man tydligt att varje skikt i luften har ett annat energiinnehåll (kJ/kg). Ju närmare isen luftskiktet är beläget, ju mindre energiinnehåll har luften. På så vis syns det att luftens energiinnehåll minskar mot isytan. Slutsatsen måste vara att luftens värmeenergi övergår till isytan och orsakar en värmelast som värmer upp denna. Isytan kan då anses bli blötare och varmare och därmed mjukare. Se Bilaga 4 där ett mollierdiagram bifogats som visar hur luftens energiinnehåll ändras i de olika luftskikten. Här måste också nämnas att drivkraften för energitransport är energiskillnader. Ju större dessa skillnader blir, ju mer energi kommer att transporteras från luften till isen.

## 6.2 Köldbärarens returtemperatur

Vid de olika studietillfällena skiljde sig köldbärarens avlästa returtemperatur, från  $-5,0^{\circ}\text{C}$  vid träningen med lagen J18, J20 och A-laget, till  $-5,5^{\circ}\text{C}$  vid träningen med laget U16 och  $-6,0^{\circ}\text{C}$  vid jämförelsestudien då ingen aktivitet pågick på isen (se kap 5.2.1, 5.2.3 resp. 5.2.5). Vid dessa tre tillfällen gjordes studien vid olika klockslag på dygnet. Lagen J18/J20 och A-laget hade sin träning sent på kvällen, mellan kl 21:30 och 22:30 och laget U16 mellan kl 18:00 och 19:00 medan jämförelsestudien gjordes på morgonen mellan kl 8:45 och 9:45. Den uppmätta skillnaden visar att isen tog upp olika mycket energi från köldbäraren vid dessa tillfällen. För att drivkraften att ta upp ytterligare energi från köldbäraren ska öka måste (om flödet var det samma vid alla dessa tre tillfällen) temperaturskillnaden mellan isen och köldbäraren öka. Isen måste därför ha varit varmare under träningstillfället med lagen J18, J20 och A-laget än vid träningstillfället med laget U16, vilket egentligen går att se vid en jämförelse av diagrammen i Figureerna 16 och 17 (för laget U16) med diagrammen i Figureerna 27 och 28 (för lagen J18/J20 och A-laget). Frågan som återstår är hur de varvtalsstyrda pumparna är inställda och när dem egentligen reglerar flödet. Teoretiskt sätt bör ju de varvtalsstyrda pumparna skapa ett större flöde i köldbäraren då belastningen på isen är större och varva ner då ingen aktivitet sker på isen, t.ex. under morgontimmarna.

## 6.3 Istemperatur

Att bestämma isens yttemperatur var inte lika enkelt som det tycktes vara. Trots att IR-mätaren har ett mätfel på  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  samt att instrumentet kan vara olämpligt att mäta med på blanka ytor, var det ändå det instrumentet som på ett snabbt och bekvämt sätt kunde användas under mätstudien. Förmodligen hade det tagit för lång tid att utföra en mätning av isens yttemperatur med ett termoelement av typen Technoterm 7300 under de träningstillfällen som mätstudien hade som avsikt att utföras. Att utföra en sådan mätning under den korta tid som fanns till förfogande hade krävt hjälp av ytterligare en eller flera personer. Förhoppningen var ändå att kunna påvisa temperaturskillnader på olika delar av isen.

Om de uppmätta istemperaturerna under mätstudierna med ishockeylagen (se Figureerna 16 och 17, samt 27 och 28) och jämförelsestudien (se Figur 45) granskas kan man ändå se att IR-instrumentet registrerade ganska stora temperaturskillnader på isens olika delar, men också i jämförelsen före och efter träningspasset. T.ex. så syns det en tydligt genomgående trend genom graferna i de ovan nämnda Figureerna att isen i zon öst tenderar att vara varmare än isen i de övriga delarna av isplanen. Samtidigt var isen i mittzonen kallast enligt Figureerna 16 och 17 och den höll sig lika kall som isen i zon väst under jämförelsestudien (enligt Figur 45) vilket egentligen är logiskt då isen i mittzonen också var tunnast (se P3 och P4 i Tabell 6).

Den egentliga istemperaturen med mätosäkerheten  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  mättes med mätinstrumentet Technoterm 7300 först i slutet av mätstudien och presenteras i kapitel 5.2.6 och 5.2.7. För att lättare kunna förstå innerbörden i resultatet sammanförs värdena med istjockleken, temperaturen vid isens bottenlager och isens temperatur vid ytan till en och samma tabell. Se tabell 8 nedan.

Tabell 8: Sammansättning av mätvärdena av isens tjocklek i cm, isens botten temperatur och isens yttemperatur, för mätpunkterna P1-P6 enligt Figur 63. Lägg märke till att yttemperaturen bestämdes dagen efter att botten temperaturen bestämdes. Därmed blev t.ex. yttemperaturen i P3 högre än den uppmätta temperaturen i bottenlagret. Orsaken är förmodligen den att mätningen inte utfördes i exakt samma mätpunkt.

Mät punkt	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Istjocklek [cm]	4,2	7,0	2,0	2,0	4,2	3,0
Temperatur vid isens bottenlager [°C]	-5,0	-5,6	-3,6	-3,9	-3,4	-3,2
Yttemperatur [°C]	-3,9	-3,5	-4,2	-3,8	-3,0	-3,2

I Tabell 8 syns det nu att yttemperaturerna i mätpunkterna P3 och P4 tillsammans representerar den kallaste zonen på isen. I dessa punkter hade isen ett djup på 2,0 cm. Mät punkterna P3 och P4 befinner sig i mittzonen och faktum är att köldbäraren i denna zon har färdats halvvägs till returen. Därmed kan man med rimlig säkerhet anta att temperaturen i köldbäraren också har ökat med hälften av den totala temperaturökningen. Då ingen aktivitet skedde på isen i samband med mätningarna och båda mätningarna utfördes på en tidig morgon kan det antas att köldbärartemperaturerna vid båda mätningarna var  $-9^{\circ}\text{C}$  vid tilloppet och  $-6^{\circ}\text{C}$  vid returen. Vid mittzonen blir köldbärartemperaturen således  $-7,5^{\circ}\text{C}$ . Temperaturskillnaden mellan köldbäraren och isytan blev således  $3,3^{\circ}\text{C}$  för P3 och  $3,7^{\circ}\text{C}$  för P4. För P1 blev samma faktor 5,1, för P2,  $5,5^{\circ}\text{C}$  och för P5,  $3,0^{\circ}\text{C}$  samt P6,  $2,8^{\circ}\text{C}$ . Detta fall visar att isytan inte nödvändigtvis är kallast i den zon där köldbäraren är som kallast, utan att det är istjockleken som har en avgörande betydelse för isytans temperatur. Logiskt sett så är det isytans temperatur som är avgörande för om isen känns mjuk eller hård för en skridskoåkare, då det är den han färdas på och påverkar med sin aktivitet.

Om en snabb tillbakablick görs till exemplet ur ASHRAEs handbok som belyste förhållandet mellan isens yttemperatur och isens tjocklek (se kap. 3.2), syns det att dem angav att köldbärarens temperatur var  $-9^{\circ}\text{C}$ , dvs. likadan som köldbärarens tilloppstemperatur i Åby ishall och att skillnaden mellan köldbärarens temperatur och isytans temperatur vid istjockleken 25mm var  $2,6^{\circ}\text{C}$ . På ingen utav mätpunkterna där isen var 2-3cm tjock erhöles en så liten temperaturdifferens mellan köldbärartemperaturen och isytan. Vid 75mm tjock is visade exemplet att temperaturdifferensen hade ökat till  $4,8^{\circ}\text{C}$ , medan våra mätpunkter fick värden uppemot  $5,1^{\circ}\text{C}$  och  $5,5^{\circ}\text{C}$  på en is som var tunnare än 75mm. Detta skulle kunna bero på att den ispist som avses i ASHRAEs exempel var bättre isolerad mot marken än vad Åbys ispist är.

Svenska Ishockeyförbundet rekommenderade en istemperatur (man bör tolka dessa som ett krav på isens yttemperatur då det är isytan som används) mellan  $-3^{\circ}\text{C}$  och  $-5^{\circ}\text{C}$  beroende på den aktivitet som skall bedrivas och gjorde anspråk på att det är den lägre temperaturen som bör eftersträvas för ishockey. ASHRAEs handbok är istället tydligare i sina rekommendationer. Enligt ASHRAEs handbok är en is med tjockleken 25mm och temperaturen mellan  $-6,5^{\circ}\text{C}$  och  $-5,5^{\circ}\text{C}$  lämplig för ishockeyspel och en is med temperaturen mellan  $-4^{\circ}\text{C}$  och  $-3^{\circ}\text{C}$  lämplig för konståkning. Om minerefattigt vatten används för isbildning och isvård kunde man tillåta sig att höja istemperaturen  $0,5^{\circ}\text{C}$  utan att isen nödvändigtvis blev mjukare.

Om den uppmätta yttemperaturen där isen under morgontimmarna efter en hel natts återhämtning antog en yttemperatur mellan  $-3^{\circ}\text{C}$  och  $-4,2^{\circ}\text{C}$  jämförs med de ovan nämnda rekommendationerna, syns det att detta temperaturintervall hamnar inom ramarna för konståkningsis. Vilken temperatur som rådde under kvällstimmarna då isen användes aktivt i flera timmar samt ismaskinen utfört isvård ungefär en gång i timmen mellan träningspassen har egentligen inte uppmätts med denna noggrannhet. Den varmaste temperaturen som uppmätts med IR-termometern är  $-3^{\circ}\text{C}$  vid två av fem mättillfällen i zon öst (se Figurerna 17 och 28). Om man nu tittar i Tabell 7 syns det att IR-termometerns utfall på  $-3^{\circ}\text{C}$  måste betyda att den verkliga istemperaturen med hög sannolikhet var varmare än  $-3^{\circ}\text{C}$ .

Att den uppmätta istemperaturen med IR-termometern kunde skilja ca  $2-3^{\circ}\text{C}$  mellan mätningarna vid träningens början och träningens slutskede beror förmodligen på att isytan vid träningens slutskede inte var så glatt (blank) som den var vid träningens början, jämför t.ex. Figur 30 med Figurerna 31-33. Den uppskrapade snön ökade förmodligen IR-termometerns noggrannhet till det normala mätfelet på  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Därmed kan man förmoda att det uppmätta värdet på  $-3^{\circ}\text{C}$  förmodligen i verkligheten hade sitt riktiga värde i intervallet  $-3^{\circ}\text{C}$  och  $-1^{\circ}\text{C}$ . Med informationen i Tabell 7 kan man beräkna att IR-instrumentets mätvärde bör korrigeras med ett värde av ca  $+2,8^{\circ}\text{C}$  till  $+3,5^{\circ}\text{C}$  vid ett utslag på  $-7^{\circ}\text{C}$  och med ca  $+1,8$  till  $+2,0$  vid ett utslag av  $-5^{\circ}\text{C}$  för att erhålla samma noggrannhet som ett termoelement om mätning görs på en glatt is. Detta visar att det egentliga mätfelet inte i alla fall behövde vara större än det som stod angivet i bruksanvisningen.

Med den fakta som presenterats ovan måste här sägas att istemperaturen i Åby ishall tyvärr inte uppfyller de krav som ställs på en ishockeyis. När isen var i toppform på morgontimmarna uppfyllde den temperaturkravet för en konståkningsis. Efter ett antal timmar med full aktivitet på isen kan man tänka sig att isen i vissa fall skulle kunna kategoriseras enligt ASHRAEs definition som en rekreationsis (se kap 3.2) där det rekommenderade temperaturintervallet är mellan  $-3^{\circ}\text{C}$  och  $-2^{\circ}\text{C}$ .

## 6.4 Ojämnheter i isen

En viktig parameter för iskvalitén som tagits fram inför enkätstudien var släthet. Parametern upplevdes vid bildandet av enkäten som näst viktigast efter isens hårdhet, därav placeringen direkt under parametern för hårdhet i enkäten (se Bilaga 2). För att professionellt kunna utöva ishockey eller konståkning på isen är det viktigt att isen hålls slät och fri från ojämnheter.

Under studietillfällena i Åby ishall togs foton på isbanan. Under träningstillfället för lagen J18, J20 och A-laget togs fotona i Figurerna 29-34. I Figurerna 29 och 30 syns det tydligt att djupa spårbildningar efter skridskoåkning bildades i isen under träningens början. Detta är ett tecken på att isen vid träningens början var för mjuk. En förklaring till isens mjukhet är att ett nytt lager vatten hade lagts ut under isvården och så fort som ismaskinen lämnat isen steg hockeyspelarna på. Vattenlagret hade inte hunnit frysa ordentligt. Vatten fryser vid  $0^{\circ}\text{C}$  och därmed kan man anta att isytan direkt efter frysning antar en temperatur i närheten av  $0^{\circ}\text{C}$  tills allt vatten på isen hunnit frysa. Därmed bildas de djupa spåren på den nya isytan. Förmodligen går skridskospåren ända ner till den "renskrapade" isytan under det utlagda vattnet. Detta gör att den nya ytan, när den fryst klart blir ojämn och full av skridskospår.

I Figurerna 31-34 syns isens slutliga utseende efter drygt 50 min träning. Isytan täcks då av ett kanske 2-4mm tjockt lager snöskrap beroende på vilket område man tittar på.

Mest snöskrap bildades kring målgårdarna, där den tyngsta aktiviteten tydligen pågick. Hur lätt snöskrap bildas på en isyta måste bero på isens hårdhet. Ju mjukare is desto lättare bör det vara att bilda snöskrap och tvärtom.

Bilderna i Figurerna 48-51 visar isen i zon väst under jämförelsestudien. Det stora, ca 2 meter långa spåret i Figur 48 har förmodligen uppkommit på grund av ismaskinens påverkan. Medan hålet i Figur 49 och de mindre ojämnheter i Figur 51 kan ha uppkommit av konståkarnas taggar på skridskon. Båda fallen visar att isen tydligen var för mjuk för att bära de laster som bildades på isen under konståkningen och isvården. För att få bort dessa ojämnheter krävs en del arbete av isvårdarna.

## 6.5 Isvård

Att använda kallt läggvatten (ca 7-15°C) som man gör i Åby ishall är med stor sannolikhet nödvändigt för att isen skall gå att använda så intensivt som den används under eftermiddagarna och kvällarna. De tigha istiderna där lag efter lag och klubb efter klubb använder isen tillsammans med den allt för varma istemperaturen har tvingat fram beteendet att allt kallare läggvatten läggs för att vattnet över huvud taget skall kunna frysa under en rimlig tid efter isvården.

Men enligt de instruktioner som givits i ASHRAEs handbok (se kapitel 3.2) bör man för att erhålla en hård isyta använda ett hett läggvatten vid isvården då detta innehåller mindre mängd löst syre än vad kallt vatten innehåller. Samtidigt som varmt vatten används smälts också den gamla isytan ner och isytan jämnas ut. För att kunna använda hett vatten vid isvården krävs i praktiken att isytan hålls kallare och att större mängd värmeenergi bortförs från isbanan.

Med utgångspunkt från Ekvation 2 för effektbehov som presenterades i kapitel 3.2 kan man beräkna hur mycket mer kyleffekt som måste tillföras för att kyla ett 60 °C varmt vatten till istemperaturen -4 °C på 10 min jämfört med om man hade lagt ut ett 7 °C varmt vatten. Ekvationen lyder:

$$q = \frac{1000V_v[4.2(t_v - 0) + 334 + 2.0(0 - t_i)]}{\tau}$$

I första fallet erhålls om man använder 0,4m<sup>3</sup> läggvatten med temperaturen t<sub>v</sub>= 60°C och istemperaturen t<sub>i</sub>=-4°C effekten :

$$q = \frac{1000 * 0,4[4.2(60 - 0) + 334 + 2.0(0 - -4)]}{10min * 60sek/min} = 396kW$$

Medan man i det andra fallet då man använder 0,4m<sup>3</sup> läggvatten med temperaturen t<sub>v</sub>=7°C och istemperaturen t<sub>i</sub> = -4°C erhåller den erforderliga kyleffekten q:

$$q = \frac{1000 * 0,4[4.2(7 - 0) + 334 + 2.0(0 - -4)]}{10min * 60sek/min} = 248kW$$

Skillnaden i erforderlig tillförd effekt blir således 396-248 kW, dvs 148kW. Om man istället tänker sig att man inte ökar den tillgängliga kyleffekten, utan istället ökar den tillgängliga frystiden kan man med effekten 248kW frysa läggvattnet under tiden  $\tau$  som blir:

$$\tau = \frac{1000 * 0,4[4.2(60 - 0) + 334 + 2.0(0 - -4)]}{248kW} = 958 \text{ sek} = \text{ca } 16 \text{ min}$$

Exemplet visar att trots att man använt ett läggvatten som är 53 °C varmare inte nödvändigtvis behöver öka den tillgängliga kyleffekten utan istället kan öka den tillgängliga frystiden. Problemet är att själva isvården i Åby ishall skall utföras under 10 min mellan träningspassen och helst skall läggvattnet ha hunnit frysa innan dessa 10 minuter är slut, vilket inte är fallet på Åby ishall då isvården varar större delen av dessa 10 min. Därmed kan man inte tillämpa en frystid på 16 min med den schemaläggning av istiderna som är gjord i Åby ishall. En frystid på 3-5 minuter blir snarare rimlig om schemat skall läggas så tight. Idag hade ett varmare läggvatten smält det underliggande islagret och en samtidig skridskoåkning hade skapat ännu djupare spår i isen. 16 minuter frystid hade motsvarat ungefär en tredjedel av träningens istid vilket innebär att träningen hade utförts i en vattenpöl och inte på en isbana.

## 6.6 Enkätstudien

Enkätstudien utfördes i syfte att kunna avgöra hur iskvalitén uppfattades under några ordinarie träningsstillfällen. För att studien fullt ut skall ge en korrekt bild av den upplevda iskvalitén måste hockeyspelarna som svarar på enkäten ge ärliga svar och vara engagerade i att noga läsa frågorna och tänka igenom vilken upplevelse dem egentligen hade.

Att kryssfrågorna i enkäten var utformade med endast två svarsalternativ och inget "mitt emellan alternativ" beror på att detta skulle öka engagemanget för de som besvarade enkäten och undvika att ge spelarna bekvämligheten att svara att allt var lagom. Spelarna skulle istället tänka i kategorierna att isen under träningen snarare var t.ex. "mjuk" än "hård", och då välja mjuk.

Den enkätstudie som utfördes med laget U16 vid det första studietillfället besvarades av 13 spelare. För att ett svar för en viss upplevelse skall erhålla klar majoritet krävs det att minst 7 av dessa spelare har samma upplevelse för en viss parameter. Något som ökar osäkerheten då man skall dra en slutsats av en viss upplevelse är då svarsfrekvensen för en viss parameter är låg, men att svaren som finns ändå är eniga om en viss upplevelse (ett visst utfall). Att en viss parameter erhållit låg svarsfrekvens måste inte betyda att engagemanget i att besvara enkäten direkt har varit dåligt, utan kan tolkas som ett svar "varken det ena eller det andra" då man bara hade två svarsalternativ att välja på eller som "ingen åsikt". En annan orsak till att vissa spelare valt att inte kryssa för så många rutor för en viss zon kan vara att dessa spelade på fasta positioner på planen och därför kanske inte alls vistades på den motsatta planhalvan under vissa delar av träningspasset.

Det som klart kan utläsas ur diagrammen med svarsfördelningen som besvarades av laget U16 (Figurerna 20-25) är följande:

- Majoriteten tyckte att isen i zon väst var "Bra" medan det största utfallet för isen i zon öst var "Godtagbar".

För zon väst gällde:

- Majoriteten upplevde att isen under alla delar av träningspasset var mjuk.
- Majoriteten upplevde isen som ojämn under större delen av passet och under träningspassets slutskede.
- Majoriteten upplevde isen som glatt under träningspassets början.
- Majoriteten upplevde isen som sörjig under träningspassets början och under större delen av träningspasset.
- Majoriteten upplevde att isen var långsam under större delen av träningspasset och under träningspassets slut.

För zon öst gällde:

- Majoriteten upplevde isen som mjuk under större delen av träningspasset och under träningspassets slut.
- Majoriteten upplevde att isen var ojämn under större delen av träningspasset.
- Majoriteten upplevde att isen blev sträv under slutet av träningspasset.
- Majoriteten upplevde att isen var sörjig under början av träningspasset.
- Majoriteten upplevde att isen var långsam under större delen av träningspasset och under träningspassets slut.

Trots att nästan alla dessa utfall ger en känsla av att isen måste ha varit dålig måste här påpekas att det allmänna betyget för isen ändå var "Bra" för zon väst respektive "Godtagbar" för zon öst. Detta betyg kommer förmodligen från att spelarna redan är vana vid att isen snabbt förändras under spel i Åby ishall och ser inte det som något märkvärdigt. Samtidigt kunde man i fälten för de egna kommentarerna utläsa att isens kvalitet utgjorde ett störmoment under spelet då t.ex. pucken hoppade och ändrade riktning eller att den bromsades av vattenmassorna på isen.

Under enkätstudien vid det andra tillfället med lagen J20 och A-laget erhöles 15 enkätsvar. Svarefrekvensen på de ingående frågorna i enkäten var dock mycket dålig. På många av frågorna var svarefrekvensen endast ca 1/4 till 1/2 av det totala antalet besvarade enkäter vilket gör att det inte går att hitta klara majoriteter där över hälften av spelarna valt ett och samma utfall. För att kunna utläsa något ur svaren måste man därför istället tänka i banorna vilket utfall som fick störst antal svar för den enskilda parametern. Däremot bör man vara mer reserverad till det resultat man tycks utläsa då många åsikter på grund av brist på engagemang kan anses ha fallit bort. Samtidigt kan man anta att brist på engagemang skulle kunna betyda att iskvalitén inte är så dålig att spelarna känner ett behov av att dela med sig av sina upplevelser i en enkätstudie.

Enkätsvaren från studien med dessa lag finns i Figurerna 38-43. Följande kan uttydas om iskvalitén ur dessa svar:

- Majoriteten upplevde isen som Bra i båda zonerna.

För zon väst gällde att parametern hårdhet hade den största svarefrekvensen bland samtliga parametrar och utfallet mjuk i denna var vanligast i alla faser av träningspasset. Isen tycktes bli allt ojämnare och strävare mot slutet av träningspasset. När det gäller parametern för snabbhet ökade svarefrekvensen på parametern i frågan som avsåg slutet av träningspasset och detta med utfallet långsam.

För zon öst fördelade sig svaren på liknande sätt som för zon väst, med den skillnaden att utfallet mjuk i frågan som avsåg början av träningspasset lyckades få en klar majoritet av svaren.

Vad som kan märkas när isen studerades med hjälp av enkätstudien är att parametern för hårdhet förmodligen är viktigast för spelarna. En logisk konsekvens av att isen är mjuk är att den snabbt blir ojämn, sträv och långsam, vilket också påvisades av enkätstudien. Parametern för fasthet kan egentligen skapa olika tankar hos ishockeyspelaren. De flesta kommer att tänka på att det ligger en massa vatten på isen efter isvården, men vissa kan också tycka att isen är sörjig då det ligger en massa snö på isytan och därför markerar utfallet sörjig även i frågan som avsåg slutet av träningspasset då vattnet hunnit frysa.



## 7 Slutsatser

I detta examensarbete har iskvalitén i Åby ishall studerats och jämförts med vad som sägs i litteraturen om en lämplig is för olika ändamål. För att skapa en bra iskvalitet och en lämplig inomhusmiljö för både isen och dess användare krävs att flera tekniska system samspelar med varandra. Ispisten måste ha ett köldbärarsystem som kan frysa vatten till is med en lämplig temperatur och hallen måste vara utrustad med ett lämpligt luftbehandlingssystem som både kan värma, kyla och avfukta luften i hallen. Ett väl fungerande luftbehandlingssystem är därmed nödvändigt för att både skapa ett lämpligt inomhusklimat för de personer som vistas i hallen, men också för själva isen.

De krav som hittas i litteraturen gällande iskvalitet riktas sällan direkt mot isen, utan snarare till de tekniska system som skall skapa isen och lufttillståndet runt isen. De enda kraven som riktades direkt mot isen var i stort sett ett temperaturkrav och ett tjocklekskrav för denna. En lämplig istjocklek, oberoende av vilken aktivitet som skall pågå på isen tycks vara ca 25-38mm. Denna istjocklek kan anses vara både funktionell och ekonomiskt försvarbar. När det gäller temperaturkravet på isen så anses is med ytemperaturen mellan  $-5,0^{\circ}\text{C}$  och  $-6,5^{\circ}\text{C}$  vara lämplig för ishockeyspel och is med ytemperaturen mellan  $-3^{\circ}\text{C}$  och  $-4^{\circ}\text{C}$  vara lämplig för konståkning. Förhållandet som gäller är att is med varmare ytemperatur blir mjukare och is med kallare ytemperatur blir hårdare.

Studien som utfördes i Åby ishall hade som mål att bestämma den rådande iskvaliteten utifrån de rekommendationer som finns i litteraturen men också genom en okulär studie samt genom en enkätstudie. Slutsatserna efter den utförda studien presenteras i punktform nedan:

- Isen i Åby ishall är för mjuk för ishockeyspel.
- Isens ytemperatur överensstämmer med de krav som ställs på en is för konståkning då isen är som bäst.
- Isen är på många ställen för tjock.
- Isen är ibland på vissa ställen mycket ojämn.

Vidare bestämdes att en logisk konsekvens av att isen är för mjuk är att iskvaliteten försämras mycket snabbt under aktivitet. En allt för mjuk is leder mycket snabbt till att det bildas ojämnheter, att isen blir sträv, att stora snömassor skrapas loss från isytan och till att isen upplevs som långsam under ishockeyspel.

Vidare kunde följande bestämmas om isen och dess omgivande miljö:

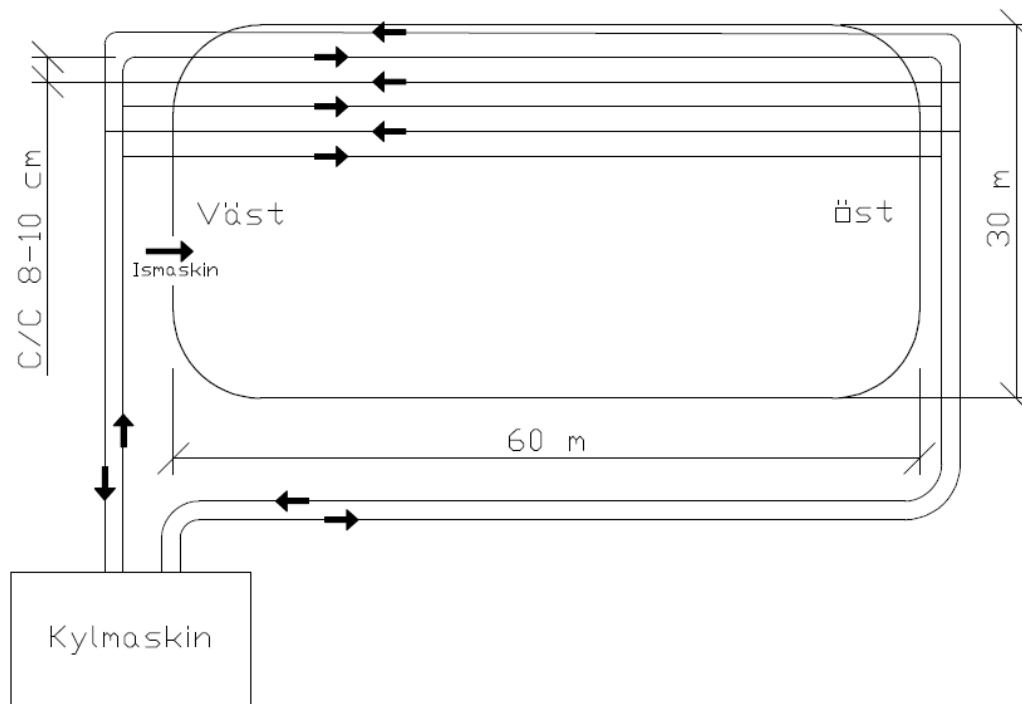
- Den absoluta fuktigheten i luften tillåts nå mindre lämpliga nivåer för en ishall. Detta har inte påvisats med mätstudien, utan slutsatsen har dragits på den information som avlästs ur hallens styrsystem.
- Mätstudien har visat att luften närmast isytan är kallare och torrare än luften i de högre belägna luftskikten. Kall och torr luft har lägre energiinnehåll än luft som är varmare och/eller fuktigare. Ju varmare och / eller fuktigare luften är desto större blir värmelasten på isytan. En värmelast gör isytan varmare och därmed mjukare.
- Schemat över istiderna är mycket tight och tillåter inte att det utlagda vattenlagret hinner frysa efter utförd isvård innan nästa aktivitet börjar.
- Isen är inte nödvändigtvis som kallast vid köldbärarens tillopp som man skulle kunna förutsätta. Istället har istjockleken ett viktigare inflytande på isytans temperatur.

- Ispisten i Åby ishall är förmodligen dåligt isolerad mot marksidan, vilket skapar energiförluster och sättningar i ispisten.

## 7.1 Förslag på åtgärder

Det största problemet tycks vara att isen är olika tjock och får därmed olika yttemperaturer. Köldbäraren tycks leverera en rimligt kall temperatur för att skapa en hård ishockeyis men så blir ändå inte fallet, även där isen var tunn. Därmed bör man överväga att göra ett omfattande ingrepp i ispistens uppbyggnad. Ett sådant ingrepp kan innebära att en helt ny ispist måste anläggas. Bilder på en lämplig konstruktion av ispisten finns i den tidigare nämnda boken Bygga Ishall utgiven av Svenska Ishockeyförbundet i Figurerna 5.2.1-5.2.4 på sidan 75. Ett alternativ till en ny ispist kan vara att fylla ut de sättningar som finns med flytspackel, men denna metod kommer inte att göra att isytan hamnar närmare köldbäraren.

En idé på ett ingrepp som man skulle kunna göra i samband med att en ny ispist anläggs är att koppla köldbärarrörerna under ispisten så att köldbärarna i vartannat rör går motströms varandra. På så sätt kan man undvika effekten av att isen ges olika förutsättningar på de två motsatta kortsidorna och isen kan då hålla en jämn temperatur på hela pisten, se Figur 58 nedan.



Figur 58: Exempel på en alternativ lösning av köldbärarnas koppling. En motströmskoppling ger en jämnare temperaturfördelning på isbanan.

Alternativet är att bygga upp den nya ispisten med en rörläggning enligt den metod som beskrivs av Svenska Ishockeyförbundet (där köldbärarens tillopps- och returledning läggs längs ena kortsidan och banrören löper hela vägen till den motsatta kortsidan och tillbaka). Men denna metod kan medföra att man kommer behöva ändra flödet i banrören för att kunna upprätthålla en rimlig temperaturdifferens mellan köldbärarens tillopp och retur. Oavsett vilken typ av ny rördragning man väljer, kan det bli ett behov av att byta ut de nya varvtalsstyrda pumparna som precis installerats i systemet under renoveringen.

Då de ovan föreslagna åtgärderna kräver en kostsam investering är det bästa man istället kan göra att minska köldbärartemperaturen tills en mer lämplig istemperatur för ishockeyspel (ca  $-5,5^{\circ}\text{C}$ ) erhålls. Detta kommer dock att medföra en ökad energianvändning. Samtidigt bör man i rimlig mån eftersträva att ha en så tunn is som möjligt för att på så sätt minska isens yttemperatur och utnyttja köldbärarens effekt på ett bättre sätt.

En annan viktig åtgärd är att försöka lägga om schemat med istiderna lite, så att isen ges en tillräcklig tid att frysa till rätt temperatur innan nästa aktivitet på isen påbörjas. Önskevärt vore också om isvården kunde utföras med varmare vatten så att isytan kunde smältas om och få en jämnare yta. Detta kräver dock större tillförsel av kylenergi och att rätt temperatur används på läggvattnet så att isen hinner frysa innan nästa aktivitet påbörjas. Åtgärden medför att mer tid måste schemaläggas för isvård och leder till att tiden då isen kan användas minskar.

En sista åtgärd kan vara att ställa in avfuktningssaggregatet enligt de rekommendationer som ges av Svenska Ishockeyförbundet. På så sätt minskas de onödiga fukt och värmelasterna mot isytan och en lägre yttemperatur kan uppnås.

## 7.2 Förslag på vidare studier

Då mätningarna av isens yttemperatur i Åby ishall inte kan anses ha utförts på bästa sätt bör man eftersträva att göra om dessa vid olika tillfällen då isen kan anses vara olika belastad, t.ex. innan aktivitet, efter aktivitet, under tiden som läggvattnet lagts ut och skall frysas samt efter en återhämningsperiod. Mätningarna bör då ske med ett lämpligt mätinstrument t.ex. med ett lämpligt utformat termoelement. På så sätt kan man göra klart för sig hur istemperaturen förändras och varierar av olika faktorer som t.ex. aktivitet och isvård.

En vidare intressant studie som skulle kunna genomföras i Åby ishall är att studera om isen är en bra konståkningsis. Hur upplever konståkarna iskvalitén i Åby ishall och hur nöjda med iskvalitén är dom?

## 8 Referenser

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE (2010) Ice Rinks. I *ASHRAE Handbook - Refrigeration*. Sid. 44.1-44.11  
ISBN 978-1-933742-81-6

Hansson, C. (2011) Upprustning och energieffektivisering på samma gång. *VVS Forum*, Nr 1 {januari} 2011, sid. 35-38.

Svenska Ishockeyförbundet (2009): *Bygga Ishall, en faktabok för byggnation av ishallar*, Svenska Ishockeyförbundet, Johanneshov, Sverige, 94 sid.

### 8.1 Övrig litteratur

Kevin V Dickens. (2003, December) HOCKEY RINK Basics. *Engineered Systems*, 20(12), sid. 52,54,56,58,60. (Document ID: 522782281).

Anonymous. (1999, May) Drying wet ice rinks. *Contracting Business*, 56(5), sid. REF11-12. (Document ID: 41724147).

Anonymous. (2000, March). Make-up air, humidity control keep dual-rink ice arena in play. *Air Conditioning, Heating & Refrigeration News*, 209(13), sid. 28. (Document ID: 52225650).

Rajeh Somrani, Jung Mun, Moncef Krarti. (2008, October) Heat transfer beneath ice-rink floors. *Building and Environment* 43(10) sid. 1687-1698.  
ISSN: 0360-1323

ScienceDaily (Feb.25, 2006) NASA Scientist Looks At Olympic Ice In A Frozen Light. *ScienceDaily*.  
<http://www.sciencedaily.com/releases/2006/02/060224193103.htm> (2011-05-26)

Munters (producent av bl.a. sorptionsavfuktare, rekommenderad av NHL), informationsblad i PDF-format.  
<http://www.eisolutions.ca/pdf/Ice%20Arenas.pdf> (2011-05-26)

## **BILAGOR**

- Bilaga 1 Mätinstrument
- Bilaga 2 Enkät, iskvalitet
- Bilaga 3 Mollierdiagram
- Bilaga 4 Energiinnehåll i luftskikten ovanför isen



## Bilaga 1: Mätinstrument

Under mätstudien användes fyra olika typer av mätinstrument men avläsningar gjordes även på termometrar som fanns i köldbärarrören och i tilluftskanalen. Nedan följer en kort beskrivning av de mätinstrument som användes under mätstudien.

### Agema Thermopoint 6

Mätinstrumentet Agema Thermopoint 6 (se Figur 1 nedan) är en berögningsfri IR-mätare som bestämmer yttemperaturer för de föremål som undersöks med hjälp av infraröd strålning. IR-mätaren användes för att bestämma isytans temperatur.

Innan man använder detta instrument var det viktigt att ställa in rätt emissionsfaktor för det föremål som skall mätas. Enligt bruksanvisningen kan emissionsfaktorn för is variera mellan 0,90 - 0,98. En provmätning mot en bit maskeringstejp (med den kända emissionsfaktorn 0,95) som var fäst på en isyta under ca 10 min gjordes. Sedan riktades instrumentet mot isytan intill maskeringstejpen och emissionsfaktorn valdes så att isytans temperatur stämde överens med maskeringstejpens yttemperatur. Emissionsfaktorn valdes därmed till 0,95 och användes därefter vid varje mättillfälle på isen.

I bruksanvisningen för Agema Thermopoint 6 anges följande specifikationer:

- Mätområde: -20...500°C
- Mätnoggrannhet:  $\pm 2\%$  av avläst värde eller  $\pm 2$  °C, störst gäller.
- IR - instrumentet är inte att rekommendera för mätning av yttemperaturen på blanka ytor, polerade eller ooxiderade metaller såsom aluminium, mässing, krom eller rostfritt stål.



Figur 1: Mätinstrumentet Agema Thermopoint 6 som användes för att läsa av yttemperaturen på isen i ishallen.

### EASY<sub>LOG</sub> 24RFT

Loggrarna EASY<sub>LOG</sub> (se Figur 2) användes för att registrera och lagra mätvärden på läktarna på en höjdnivå ca 2-3 m över isnivån. Loggrarna mätte och registrerade temperaturen och den relativa fuktigheten 1 gång i minuten. Dessa värden kunde sedan sparas till datorfil för senare användning.

I bruksanvisningen för dessa loggrar anges följande specifikationer:

#### Relativ fuktighet:

- Mätområdet för fukt: 0,0...100,0% RF
- Mätnoggrannhet vid 25°C:  $\leq \pm 3\%$  i området 11-90% RF

#### Temperatur:

- Mätområdet för temperatur: -25,0... 60,0°C
- Mätnoggrannhet för temperatur:  $\pm 0,5$  °C



Figur 2: Loggern EASY<sub>LOG</sub> 24RFT som användes för att registrera mätvärden på läktarna.

## Swema Air 300

Mätinstrumentet SwemaAir 300 (se Figurerna 3 och 4) användes med en fuktgivare (Hygroclip S) för att mäta lufttillståndet ovanför isplanen. Mätinstrumentet anger både relativ luftfuktighet i procent och temperatur i °C med en decimals noggrannhet.

I bruksanvisningen anges följande mätområden och mätosäkerheter:

### Relativ fuktighet:

- Mätområdet för fukt: 0-100% RF
- Mätnoggrannhet vid 23°C :  $\pm 1,6\%$  vid 0-90% RF, annars  $\pm 2,6\%$  av RF.

### Temperatur:

- Mätområdet för temperatur:  $-40\dots+85^{\circ}\text{C}$
- Mätnoggrannhet för temperatur :  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$

Fuktgivaren var kalibrerad den 19 januari 2011 i kalibreringscertifikatet för fuktgivaren (Hygroclip S) anges mätosäkerhetsintervallet så här:

### Relativ fuktighet:

- 0,5%RF-20%RF  $\pm 1,0\%$  RF
- 20%RF-40%RF  $\pm 1,3\%$  RF
- 40%RF-65%RF  $\pm 1,4\%$  RF
- 65%RF-98%RF  $\pm 1,8\%$  RF

### Temperatur:

- $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$

## Technoterm 7300

Technoterm 7300 (se Figur 5) är en termometer med en mätsond som egentligen är ett termoelement. Mätinstrumentet användes för att bestämma temperaturen på djupet i isen.

Bruksanvisningen anger följande mätområden och mätosäkerheter:

Mätområde för mätinstrumentet:

$-199,9\dots+600^{\circ}\text{C}$

Mätområde för använd mätsond:

$-50\dots+200^{\circ}\text{C}$

Mätosäkerhet i intervallet  $-20\dots+199,9^{\circ}\text{C}$ :

$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$



Figur 3: Mätinstrumentet Swema Air 300 med vilket den relativa fuktigheten och temperaturen i luften mäts.



Figur 4: Fukt (och temperatur) -givaren fäst med ett gummiband på en måttstock under ett måttillfälle i Åby ishall.



Figur 5: Technoterm 7300 som användes för att mäta temperaturen på djupet i isen.



## Befintliga termometrar

I köldbärarnas tilllopps- och returledning och i tilluftsaggregatets tilluftskanal fanns termometrar som avlästes. Se Figur 6 och 7 nedan.

Termometrarnas mätfel är okända, men då en digital termometer på kylaggregatet (se Figur 8) visade att köldbärarens tilloppstemperatur var  $-9,1^{\circ}\text{C}$ , kunde man på termometern i köldbärarens tilloppsledning avläsa  $-9^{\circ}\text{C}$ . När det gäller termometern i tilluftskanalen kan man anta att mätfelet tillsammans med avläsningsfelet kan bli ca  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , då skalan på denna är väldigt gles (se Figur 7).



Figur 6: Termometrar på köldbärarens tillopps- och returledningar.



Figur 7: Termometern som visade tilluftstemperaturen till ishallen.



Figur 8: Den digitala termometern på kylaggregatet bildar en del av aggregatets styrsystem.

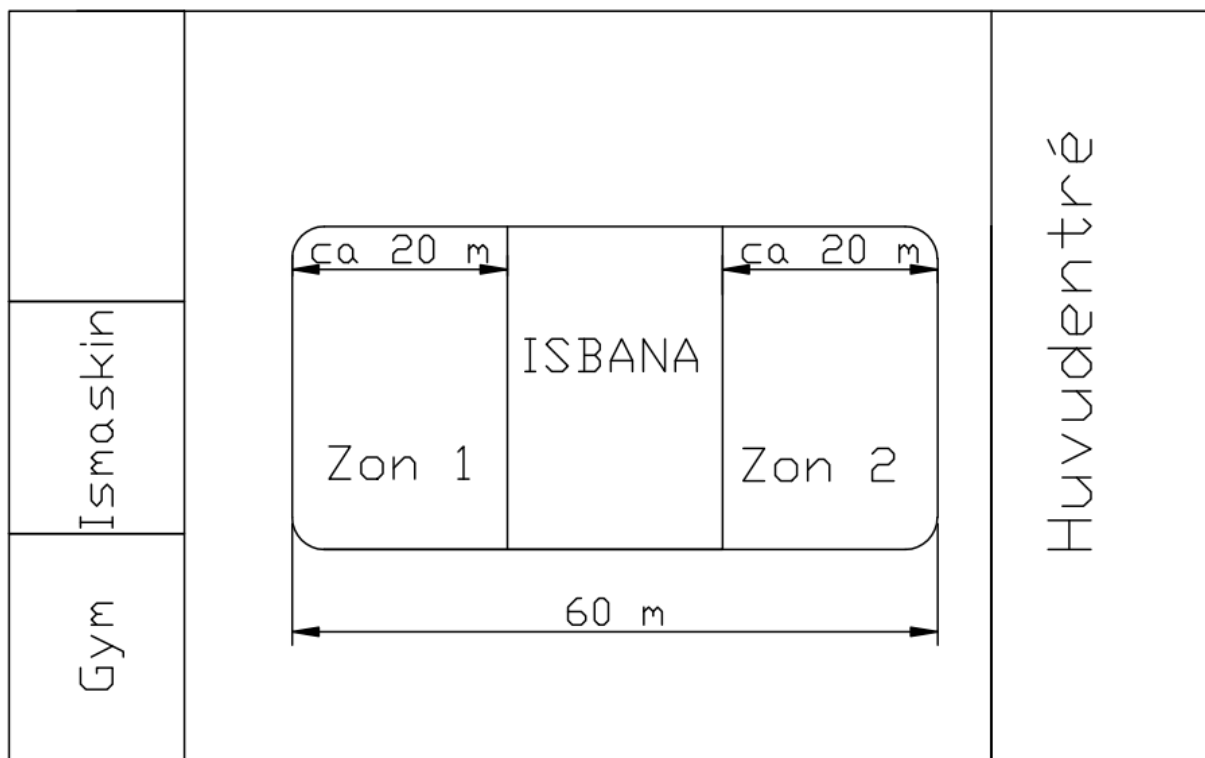
## Bilaga 2: Enkät, iskvalitet

### Enkät, iskvalitet

Enkät i samband med genomförande av examensarbete inom området iskvalitet vid Chalmers tekniska högskola.

### Instruktioner

Isbanan indelas i två zoner, "zon 1" och "zon 2" enligt figuren nedan. Tydliga rubriker anger vilken zon frågorna avser. Observera att "zon 1" syftar på isen närmast ismaskinen och att "zon 2" syftar på isen närmast den nya huvudentrén, se figur nedan.



Markera de svarsalternativ som bäst återspeglar din personliga upplevelse. Om svarsalternativen ej återspeglar dina upplevelser finns det utrymme för en egen beskrivning under varje fråga. Skriv ditt eget svar på de två sista frågorna.

Datum: \_\_\_\_\_

Lag: \_\_\_\_\_

# Iskvalitén i zon 1

## 1) Hur upplevde du iskvaliteten i zon 1 under träningspasset/matchen?

- Mycket bra       Bra       Godtagbar       Dålig

Egen beskrivning: \_\_\_\_\_

## 2) Hur upplevde du isen i zon 1 (allmänt) under större delen av träningspasset/matchen?

- |                                |                                  |
|--------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Hård  | <input type="checkbox"/> Mjuk    |
| <input type="checkbox"/> Slät  | <input type="checkbox"/> Ojämn   |
| <input type="checkbox"/> Glatt | <input type="checkbox"/> Sträv   |
| <input type="checkbox"/> Fast  | <input type="checkbox"/> Sörjig  |
| <input type="checkbox"/> Snabb | <input type="checkbox"/> Långsam |

Egen beskrivning: \_\_\_\_\_

## 3) Hur upplevde du isen i zon 1 i början av träningspasset/matchen?

- |                                |                                  |
|--------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Hård  | <input type="checkbox"/> Mjuk    |
| <input type="checkbox"/> Slät  | <input type="checkbox"/> Ojämn   |
| <input type="checkbox"/> Glatt | <input type="checkbox"/> Sträv   |
| <input type="checkbox"/> Fast  | <input type="checkbox"/> Sörjig  |
| <input type="checkbox"/> Snabb | <input type="checkbox"/> Långsam |

Egen beskrivning: \_\_\_\_\_

## 4) Hur upplevde du isen i zon 1 under slutet av träningspasset/matchen?

- |                                |                                  |
|--------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Hård  | <input type="checkbox"/> Mjuk    |
| <input type="checkbox"/> Slät  | <input type="checkbox"/> Ojämn   |
| <input type="checkbox"/> Glatt | <input type="checkbox"/> Sträv   |
| <input type="checkbox"/> Fast  | <input type="checkbox"/> Sörjig  |
| <input type="checkbox"/> Snabb | <input type="checkbox"/> Långsam |

Egen beskrivning: \_\_\_\_\_

## Iskvalitén i zon 2

### 5) Hur upplevde du iskvaliteten i zon 2 under träningspasset/matchen?

- Mycket bra       Bra       Godtagbar       Dålig

Egen beskrivning: \_\_\_\_\_

### 6) Hur upplevde du isen i zon 2 (allmänt) under större delen av träningspasset/matchen?

- |                                |                                  |
|--------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Hård  | <input type="checkbox"/> Mjuk    |
| <input type="checkbox"/> Slät  | <input type="checkbox"/> Ojämn   |
| <input type="checkbox"/> Glatt | <input type="checkbox"/> Sträv   |
| <input type="checkbox"/> Fast  | <input type="checkbox"/> Sörjig  |
| <input type="checkbox"/> Snabb | <input type="checkbox"/> Långsam |

Egen beskrivning: \_\_\_\_\_

### 7) Hur upplevde du isen i zon 2 i början av träningspasset/matchen?

- |                                |                                  |
|--------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Hård  | <input type="checkbox"/> Mjuk    |
| <input type="checkbox"/> Slät  | <input type="checkbox"/> Ojämn   |
| <input type="checkbox"/> Glatt | <input type="checkbox"/> Sträv   |
| <input type="checkbox"/> Fast  | <input type="checkbox"/> Sörjig  |
| <input type="checkbox"/> Snabb | <input type="checkbox"/> Långsam |

Egen beskrivning: \_\_\_\_\_

### 8) Hur upplevde du isen i zon 2 under slutet av träningspasset/matchen?

- |                                |                                  |
|--------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Hård  | <input type="checkbox"/> Mjuk    |
| <input type="checkbox"/> Slät  | <input type="checkbox"/> Ojämn   |
| <input type="checkbox"/> Glatt | <input type="checkbox"/> Sträv   |
| <input type="checkbox"/> Fast  | <input type="checkbox"/> Sörjig  |
| <input type="checkbox"/> Snabb | <input type="checkbox"/> Långsam |

Egen beskrivning: \_\_\_\_\_

## Allmänt på hela isbanan

9) Om du upplevde en förändring av iskvaliteten under träningspasset/matchen:

Vilken tror du var orsaken till att isen förändrades?

Svar: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

10) Om du vistades på isen inom kort efter att ismaskinen lämnat isen:

Hur upplevde du isen strax efter att ismaskinen lämnade isen?

Hur lång tid tog det för läggvattnet att frysa klart?

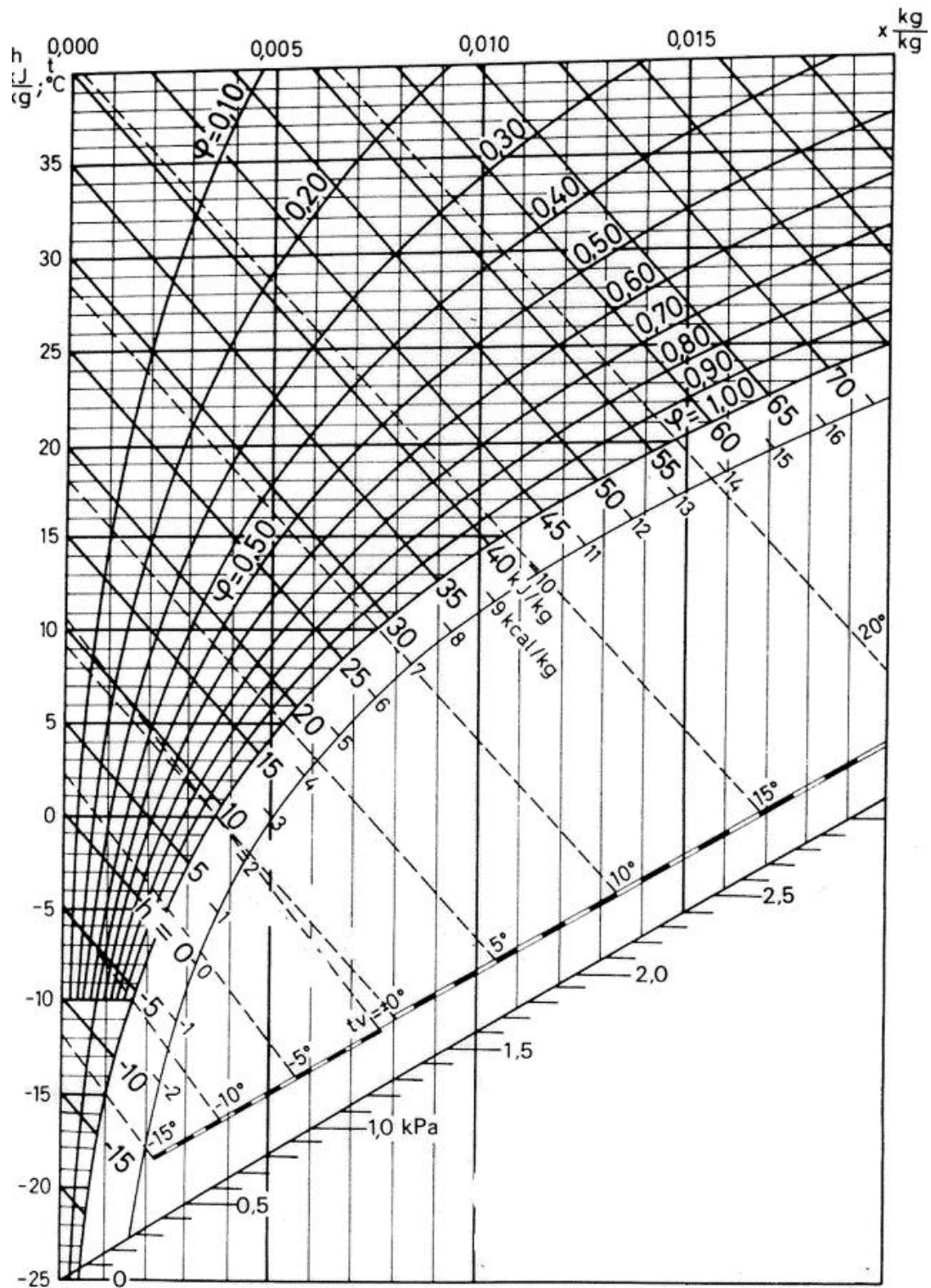
Var du ute på isen innan läggvattnet hann frysa ordentligt?

Svar: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Tack så mycket!**

**Patrik Kwiatkowski**

## Bilaga 3: Mollierdiagram

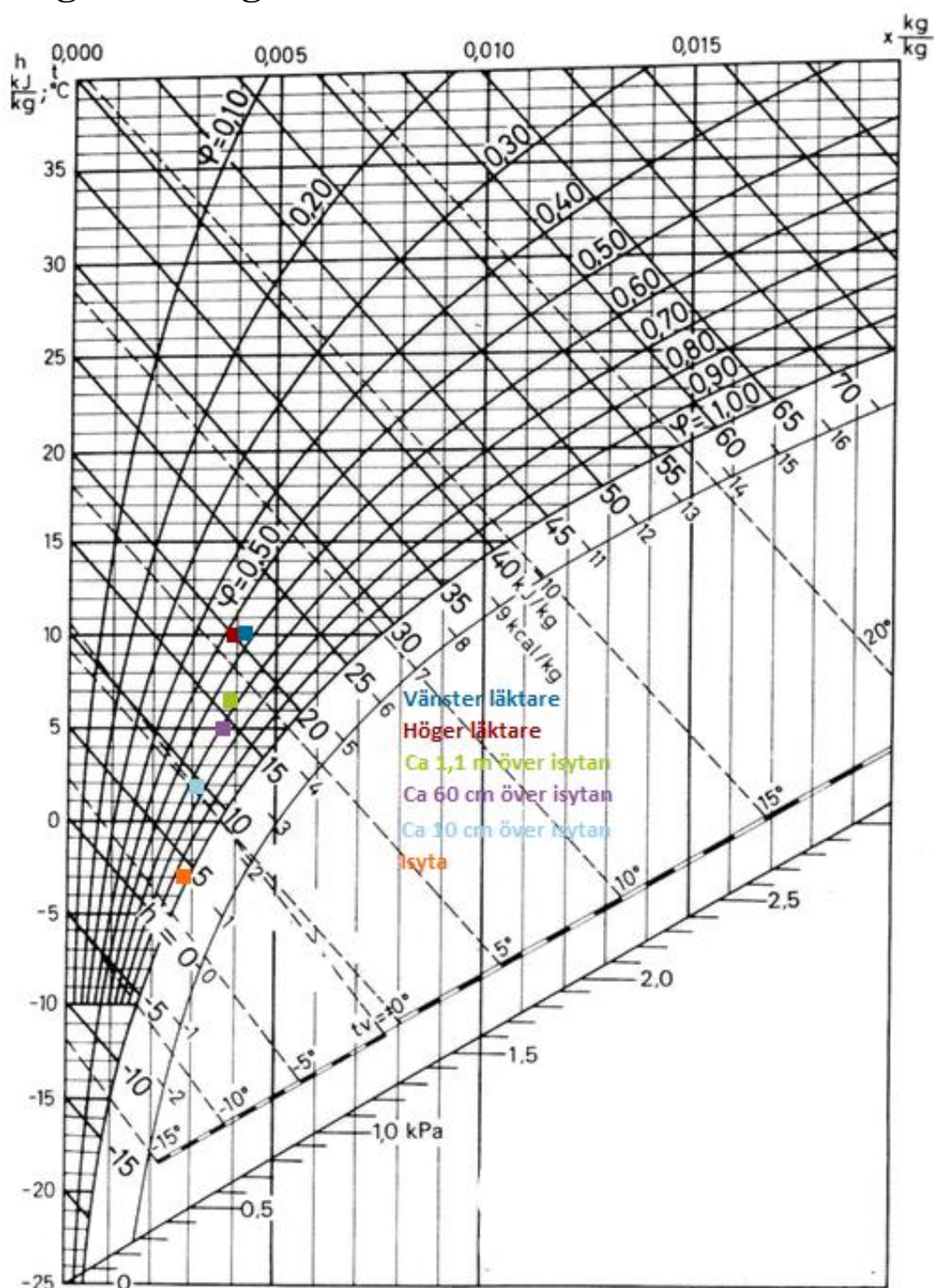


Ett mollierdiagram. Diagrammet används till att bestämma olika lufttillstånd och till att studera hur dem förändras.





## Bilaga 4: Energiinnehåll i luftskikten ovanför isen



Mollierdiagrammet visar lufttillståndet i de olika luftskikten, 10cm, 60cm, 1,1m och 2 m över isen under jämförelsestudien (kap 5.2.5). De värden som presenterades i Figurerna 45-47 i kapitel 5.2.5 representerar de kvadratiska prickarna i diagrammet, utom pricken för isytans temperatur som valts till  $-3^\circ\text{C}$  då detta värde förmodligen ligger närmare verkligheten än det uppmätta värdet på  $-6,5^\circ\text{C}$ . Där diagrammets sneddragna linjer möter energi axeln kan man läsa av energiinnehållet (entalpin) för lufttillståndet i kJ/kg. Luftens energiinnehåll för lufttillståndet 10 cm ovanför isytan är 10 kJ/kg, medan det är ca 14 kJ/kg i skiktet som ligger ca 60 cm över isytan. Luften på läktarna har ett energiinnehåll på ca 20 kJ/kg, dvs. dubbelt så mycket som luften strax ovanför isytan. Precis vid isytan kan luften tänkas anta isytans temperatur med 100% relativ fuktighet, detta ger energiinnehållet 4 kJ/kg (om isytan antas vara  $-3^\circ\text{C}$  kall).