

CHALMERS



Klimathållning i ishallar

Ur publikens perspektiv

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

CHRISTIAN BYLIN

Institutionen för Energi och Miljö
Avdelningen för Installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2011
Examensarbete E2011:15

EXAMENSARBETE E2011:15

Klimathållning i ishallar

Ur publikens perspektiv

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

CHRISTIAN BYLIN

Institutionen för Energi och Miljö
Avdelningen för Installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2011

Klimathållning i ishallar
Ur publikens perspektiv
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

CHRISTIAN BYLIN

© CHRISTIAN BYLIN 2011

Examensarbete / Institutionen för Energi och Miljö
Chalmers tekniska högskola E2011:15

Institutionen för Energi och Miljö
Avdelningen för Installationsteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Åby ishall framsida, Patrik Kwiatkowski 2011

Göteborg 2011

Klimathållning i ishallar

Ur publikens perspektiv

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

CHRISTIAN BYLIN

Institutionen för Energi och Miljö

Avdelningen för Installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Alla sorters isaktiviteter utövades utomhus fram till i mitten av 1900-talet. Detta kunde vara blåsigt, regnigt och kallt. Man fick helt enkelt leva med väderförhållandena som var för tillfället. Sen blev kraven högre och möjligheterna att tillgodose dessa krav större. Man byggde väderskydd och med detta följde en standardhöjning. Denna standardhöjning har fortsatt något med åren men det är fortfarande rätt kallt inne i ishallar. Detta är något som vi finner acceptabelt eftersom det är något vi förväntar oss.

Jag fick tanken att undersöka vad det skulle innebära om förväntningarna hos publiken istället skulle motsvara de krav som ställs på inomhusklimatet vid övriga inomhusaktiviteter till exempel teater. För att kunna göra detta krävs det att ta reda på vad ett bra inomhusklimat egentligen är. Studier kring bland annat luftkvalitet och vilka parametrar som påverkar vår upplevelse av klimatet utfördes.

Arbetet fortsatte sedan med en objektsstudie på Åby ishall. Detta arbete var mer krävande än väntat då det fanns väldigt lite nerskrivet och den största delen av informationen har fåtts genom upprepade besök på plats samt genom intervjuer med relevanta personer. I stort sett hela luftbehandlingssystemet är kvar sedan hallen byggdes på sjuttioalet och det finns delar av det som det helt enkelt inte går att hitta någon information om.

Därefter inleddes arbetet med att försöka hitta lösningar och möjligheter med att utveckla dagens system till ett ur publikens perspektiv mer optimalt system. Detta gjordes främst med hjälp av litteraturstudier samt hjälp av personal på Chalmers tekniska högskola.

Nyckelord: inomhusklimat, systemuppbyggnad, deplacerande ventilation, golvvärme, luftbehandlingssystem, Åby ishall

Climate control of ice rinks
From the audience's perspective
Diploma Thesis in the Engineering Program
Building and Civil Engineering
CHRISTIAN BYLIN
Department of Energy and environment
Division of Building services engineering
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

All types of ice activities were practiced outdoors until the mid-1900s. These conditions could be windy, rainy and cold. You simply had to live with the weather conditions that were present. Then the requirements got higher and the opportunities to satisfy these got better. Indoor ice rinks were built, and with this came a rise in standards. This rise in standards has continued to improve somewhat over the years but it's still pretty cold inside the ice rinks. This is something that we find acceptable because it is something we expect.

I got the idea to investigate what it would mean if the expectations of the audience instead would be equivalent to those of other indoor activities such as theater. To do this it is necessary to find out what defines a good indoor climate. Studies in air quality and other parameters that affect our experience of the climate were conducted.

The work then continued with a case study on Åby ice rink in Mölndal. This work was more demanding than expected because there was very little written down and most of the information was obtained through repeated on-site visits and interviews with relevant people. Much of the air handling system is maintained since the hall was built in the seventies and there are some parts that are simply not possible to achieve any good written or oral information about.

Then began the process of trying to find solutions and opportunities to develop the current system to a system more optimal from the spectator's views. This was done primarily by means of literature studies and input from staff at Chalmers university of technology.

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAM	II
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Metod	1
2 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ETT BRA INOMUSKLIMAT	3
2.1 Luftkvalitet (föroreningar)	3
2.2 Termiskt klimat	4
2.3 Luftfuktighet	6
2.4 Lufthastigheter	6
3 SPECIFIKA KRAV FÖR EN ISHALL	7
3.1 Iskvalitet	7
3.2 Luftfuktighet	7
3.3 Termiskt klimat	7
3.4 Klimatskal	7
4 OBJEKTSBESKRIVNING	8
4.1 Geografiskt läge	8
4.2 Geometriska data	8
4.3 Klimatskal	8
4.4 Luftbehandling	9
4.4.1 Temperatur- och fuktnivåer	9
4.4.2 Värmebatteri	10
4.4.3 Luftavfuktning	10
4.4.4 Luftfilter	12
4.4.5 Avluft	13
4.4.6 Tilluft	13
4.4.7 Luftåtervinning	15
4.4.8 Aggregat	15
4.5 Gjord energianalys	15
CHALMERS, Energi och Miljö, Examensarbete E2001:15	III

4.6	Värmeåtervinning	17
4.7	Belysning	17
5	ÅTGÄRDER FÖR ATT ÖKA STANDARDEN PÅ INOMHUSKLIMATET	18
5.1	Block 1, rimliga åtgärder	18
5.1.1	Isolering av tak	18
5.1.2	Återvinning av luft/värme	18
5.1.3	Sänkning av tillåten fukthalt	20
5.1.4	Kylning	19
5.2	Block 2, möjliga åtgärder	21
5.2.1	Ventilationslösningar	22
5.2.2	Strålningsreduktion i tak	24
5.2.3	Flödesreglering med hjälp av koldioxid	25
5.2.4	Golvvärme	25
6	SLUTSATSER	27
7	REFERENSER	28

Förord

Denna rapport ingår i ett examensarbete om 15 högskolepoäng och utförs som avslutning på utbildningen som högskoleingenjör inom byggprogrammet. Då inriktningen har varit mot installationsteknik har arbetet genomförts vid institutionen för energi och miljö på Chalmers tekniska högskola.

Det stod tidigt klart att arbetet skulle involvera ishallar och klimatet däri. Ett flertal idéer och funderingar har passerat och också kasserats på vägen. Till sist valde jag att närmare studera vad för tänkbara följder och utmaningar ett utökad krav på ett gott inomhusklimat hos publiken skulle föra med sig.

Diskussioner angående arbetets avgränsningar har varit många och långa och jag tackar för detta då arbetet lätt kunnat göras allt för omfattande från min egen sida.

För att kunna genomföra min tanke behövdes ett objekt att studera och valet föll då på Åby ishall i Mölndal främst på grund av goda relationer med företag som är involverade i denna hall. Personer på dessa företag som inkluderar Claes Ronnerstedt, ingenjör på VVS-miljö i Göteborg som främst hjälpt till med att upprätta goda kontakter med övriga inblandade. Mats Nyberg på Wikströms VVS-Kontroll har bidragit väldigt mycket med teknisk information om systemens uppbyggnad och även varit ett stöd vid funderingar.

Vid Mölndals kommun har Hans Hagström, driftsansvarig för Åby ishall ställt upp med både tid och kunnande. Även Mikael Högfeldt som är maskintekniker på Åby har bidragit med erfarenhet inom hur systemen används och hur de har använts förut.

Jörgen Rogstam på Energi och Kylanalys AB har haft viktig kunskap angående vissa frågor rörande energioptimering.

Mina kontakter på Chalmers tekniska högskola har varit min examinator och handledare Torbjörn Lindholm samt Jan Gustén som ställt upp med granskning av rapport och som ett bollplank när det varit svårt att komma vidare. Även Anders Trüschel har ställt upp för mig när det behövts.

Patrik Kwiatkowski, examensarbetare vid Chalmers har jag kunnat prata med angående funderingar kring systemen och frågor i stort. Patrik har också varit den direkta faktorn till att de mätningar som är genomförda vid Åby Ishall har kunnat göras så smidigt som de gjorts.

Alla dessa nämnda ska ha ett stort tack, detta arbete hade varit mycket svårt att genomföra utan ert stöd och kunnande.

Sist men inte minst vill jag tacka min Susanne för allt. Du är den som betyder mest både för mig själv och för detta arbete.

Göteborg juli 2011

Christian Bylin

Beteckningar

Förteckning och förklaring till variabler som förekommer i rapporten.

met =	metabolism rate eller metabolism equivalent of task, energikostnaden för diverse fysiska aktiviteter.
clo =	clothing unit, isolerande förmåga hos beklädnad
ϕ =	relativ fuktighet, kvoten mellan vattenångans partialtryck och vattenångans mättnadsångtryck vid aktuell temperatur.
x =	absolut fukthalt, gram vatten per kilogram luft
U-värde =	värmegenomgångskoefficient, Watt per m^2K , inverterat värde av värmemotståndet R.
Q =	effekt (Watt)
ρ =	densitet (luft) $1,2 \text{ kg/m}^3$
c_p =	luftens specifika värmekapacitet $\sim 1000 \text{ J/kgK}$
q =	flöde (m^3/s)

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Aktiviteter på is har utövats sedan urminnes tider, både för transport och i rena rekreationssyften. De äldsta skridskorna som hittats härstammar från 3000 år före Kristus i Schweiz. Idag är det främst i underhållningssyfte som vi åker skridskor. De första ishallarna byggdes i mitten på 1900-talet, och då för att minska utsattheten för vind, regn och kyla. Kanske den allra viktigaste egenskapen hos de nya ishallarna var att det faktiskt fanns möjligheter att åka skridskor när helst man ville det, utan att vänta på rätt väderförhållanden. En standardhöjning skapades på grund av att kraven blev högre och möjligheterna att tillgodose dessa krav blev större.

Klimatet i ishallar är något som i många fall inte upplevs som särskilt viktigt, varken för åskådare eller för utövare av isaktiviteter. I förhållande till andra inomhushallar med stillasittande publik som brukas vid konserter och många idrottsevenemang är temperaturen väsentligt mycket lägre. Detta är något de allra flesta godtar då acceptansen helt enkelt är högre vid besök på en inomhusarena för isport mot vad den är när man har betalt för att exempelvis se på opera. Vi förväntar oss helt enkelt ett kallare klimat i en ishall.

Jag har funnit en mängd skrivet material som handlar om energibesparing i ishallar, främst då i syfte att spara pengar. I de flesta av dessa rapporter eller artiklar nämns att en energibesparing kan vara att sänka temperaturen i hallen ytterligare. Jag har dock funnit väldigt lite som tar upp publikens upplevelser och det är ju faktiskt främst för deras skull som det idag finns ishallar. I denna rapport är detta något jag har valt att studera närmare, med förhoppningen att finna förbättringar som är tänkbara både för publikens skull och i energibesparingssyfte.

1.2 Syfte

Rapporten syftar till att undersöka vad det finns för möjligheter att utveckla behandlande system och klimatskal i scenariot där publikens krav på klimatet i en ishall ändrades och mer skulle likna dem vid andra typer av inomhusaktiviteter, till exempel ett teaterbesök.

1.3 Metod

Litteraturstudier genomförs för att fastställa vad som anses vara ett bra inomhusklimat. Detta ska anpassas för de förutsättningar som råder vid ett ishockeyevenemang, från publikens perspektiv.

En fältstudie genomfördes i Åby ishall i Mölndals kommun för att få ett referensobjekt att jobba mot. Nuvarande systemuppbyggnad studeras med hjälp av företag som hjälper kommunen med deras luftbehandlingssystem, samt anställda direkt av kommunen som jobbar både praktiskt och teoretiskt med ishallen.

Att finna tänkbara lösningar och möjligheter sett från Åby ishall i syfte att närma sig ett gott inomhusklimat från publikens synvinkel. Även en lösning med en optimal systemuppbyggnad går översiktligt igenom. Detta genomfördes med hjälp av litteraturstudier.

2 Förutsättningar för ett bra inomsklimat

En god miljö är en förutsättning för att verksamhet ska kunna bedrivas på ett önskvärt sätt inomhus. För att detta ska uppfyllas krävs ett bra klimatskal som skyddar mot till exempel nederbörd, vind och kyla. De olika byggnadsdelarna vägg, golv och tak måste därför uppfylla vissa kriterier.

Beroende på hur utomhusklimatet ändras så kommer också inomhusklimatet ändras, om inte diverse åtgärder tas till av olika klimatpåverkande tekniska system. Denna effekt kan dock dämpas beroende på hur bra klimatskärmen är uppbyggd. Om det utomhus är väldigt kallt kan behovet av värmeförsörjning inomhus minskas med hjälp av en god isolering. Likaså kan även en byggnad som är byggd otät öka behovet av värmeförsörjning när kall luft strömmar in på grund av tryckskillnader. En otät byggnad kan även skapa problem med fukt och då främst i konstruktionen när varm fuktig luft strömmar utåt genom byggnadsdelar vid ett övertryck inomhus. Denna fukt, som förs utåt via luften, kan då stanna i exempelvis isolering och träkonstruktioner och skapa förutsättningar för röta och mögel.

Luften inomhus ska uppfylla vissa nivåer eller krav för att vi ska känna oss nöjda med klimatet. Dessa kan delas in i:

- Syrenehåll
- Koldioxidnivå
- Föroreningar
- Lukt
- Temperatur
- Fuktighet
- Lufthastigheter

Syrenehåll är inte ett problem i de allra flesta fall där människor uppehåller sig. När klagomål framförs om för lite syre i inomhusluften brukar detta vara kopplat främst till temperaturnivåer men även koldioxidnivåer. Även akustik och ljuskvaliteter ingår i inomhusklimatet, dock kommer dessa ämnen ej att behandlas i detta arbete.

2.1 Luftkvalitet (föroreningar)

Två huvudsakliga företeelser påverkar luftkvaliteten, gasformiga föroreningar och partikelformiga föroreningar. I en ishall kan detta översättas till gasformiga föroreningar från publik och byggnadsmaterial och partikelformiga föroreningar från exempelvis kläder och hud. För att på ett enkelt sätt mäta föroreningar i luften används ofta en mätning av CO₂-halten, då denna i stort följer samma utveckling som övriga föroreningar avgivna av människor (BSS). Koldioxid är även lätt att mäta och passar därför utmärkt i detta syfte. En vuxen person avger 12-15 l/h koldioxid sittandes. (E.Abel 2008) Arbetsmiljöverket rekommenderar en gräns på 1000ppm (parts per million) koldioxid inomhus. Denna gräns är inte absolut men den bör ses som en viktig riktlinje vid utformning av ett klimatsystem och ett överskridande kan inte vara annat än tillfällig för att systemet ska ses som tillfredställande. För hög halt koldioxid i luften gör att människan hindras från att effektivt ta upp syre. Det arbetshygieniska gränsvärden är 5000ppm.

För att kunna bibehålla god kvalitet på luften inomhus när den samtidigt förorenas på olika sätt krävs ventilation. Ventilation innebär att inomhusluften tillförs ren luft

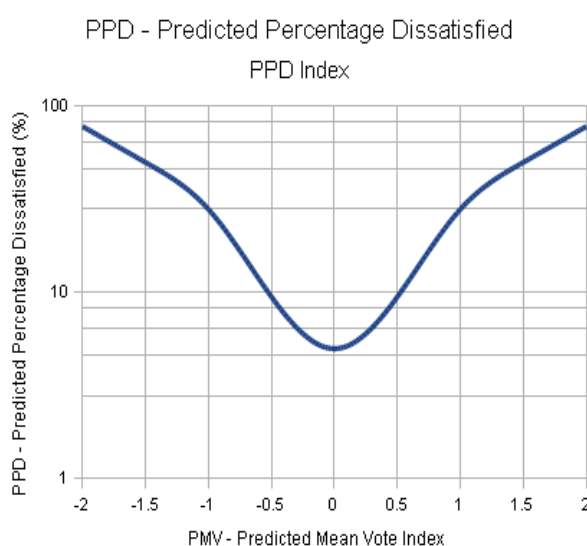
(uteluft) som över tid byter ut den förorenade luften. Detta kan ske på en mängd olika sätt. I hallar och anläggningar är det vanligast med mekanisk tillförsel av luft. Detta sker genom att en fläkt skapar en tryckökning och ett flöde av luften som ska tillföras rummet. Ett luftfilter erbjuder en funktion som kan ge en större renhet på tilluften än uteluften. Filter hindrar även försämring hos vissa aggregatdelar över tid på grund av nedsmutsning. Det vanligaste filtret är ett grovfilter vars uppgift är att rensa luften från de största partiklarna och namnet till trots kan ett grovfilter vara mycket effektivt i att skilja ut sådana partiklar. Efter hand måste filtret bytas ut för att inte orsaka för stora tryckfall i systemet som då leder till en försämrad ekonomi.

2.2 Termiskt klimat

På 1960-talet bedrev professor Povl Ove Fanger forskning angående människors upplevelser av klimatet de vistas i. Denna forskning ledde bland annat till beräkningsmodeller över lämplig temperatur i förhållande till aktivitet (met) och klädsel (clo). Syftet med detta var att utveckla metoder för att kunna förutsäga hur folk sannolikt skulle reagera vid ett givet klimat.

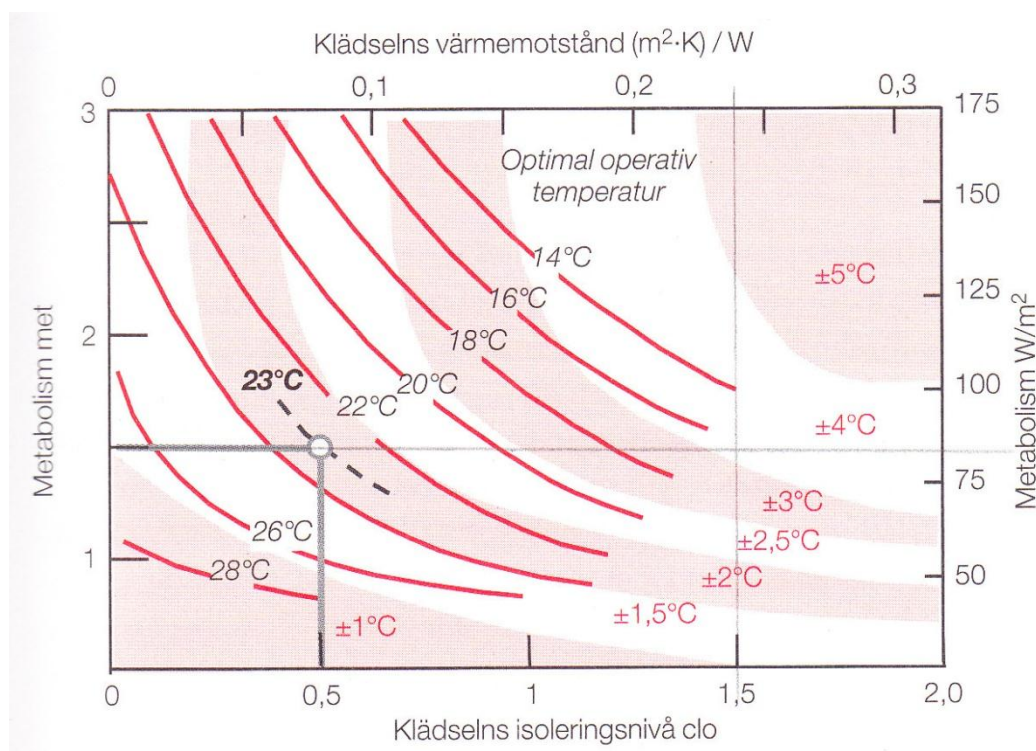
Det är viktigt att förstå att människor upplever lämplig temperatur olika. Detta betyder att det inte finns någon specifik temperatur som en stor grupp av människor tycker är optimal samtidigt. Professor Fanger skapade av denna anledning något han kallade för PPD-index. PPD står för Predicted Percentage Dissatisfied, och ger ett värde på hur många i en grupp, procentuellt sett, som förväntas bli missnöjda över klimatet de befinner sig i.

PMV står för Predicted Mean Vote och användes av Fanger för att avgöra hur kallt eller varmt försökspersonerna tyckte att det givna klimatet var. Skalan han använde bestod av sju steg, noll i mitten med tre stigande respektive sjunkande steg mellan +3 och -3. Vid 0 anses temperaturen enligt skalan neutral av testpersonen. Vid +3 anses temperaturen mycket varmt och vid -3 sålunda mycket kallt. På denna grund tog sedan Fanger fram samband mellan upplevd temperatur och faktorer såsom värmestrålning från omgivande ytor, lufthastighet, lufttemperatur, luftfuktighet, typ av kläder och aktivitetsnivåer.



Figur 1: Förhållande mellan PPD och PMV

Att besöka en ishockeymatch jämfördes i aktivitetsnivå med ett måttligt stillasittande arbete, till exempel en skräddare. Detta gav met $\sim 1,5$. För att tillgodose PPD max 10% vid riktigt varm inomhusklädsel (varma underkläder, tjock tröja och lätt jacka eller kostym) krävs enligt Fanger en temperatur omkring 16-17°C. Detta är jämförbart med en ishockeymatch där människor brukar ha liknande klädsel. Om klädseln istället ändras på grund av en ändring av förväntningar hos publiken till en långärmad skjorta och ett par jeans (clo $\sim 1,0$) stiger också temperaturen för att fortsätta tillgodose PPD 10% till cirka 20°C. Diagrammet nedan visar schematiskt sambandet mellan PMV och PPD. Det visar också att även om en "optimal" temperatur för aktivitet och klädsel används, sett till de flesta människor, så finns det ändå en grupp på 5-10% som alltid är missnöjda med klimatet.



Figur 2: Förhållande mellan clo, met och förväntad optimal temperatur

Det vi brukar syfta på när temperaturen kommer på tal är den torra temperaturen. Denna mäts enkelt med en vanlig termometer.

Om man sitter intill ett fönster kan detta upplevas som kallt. Detta kan bero på ett kallras, om man sitter väldigt nära, men kan även bero på att fönstrets yta är kall. Denna yta ger då upphov till en låg strålningstemperatur och detta tillsammans med övriga omgivande ytors temperatur ger upphov till något som kallas för medelstrålningstemperatur. Denna temperatur i sammanvägning med den vanliga torra temperaturen ger en operativ temperatur. Denna temperaturen är en mer sann bild av hur vi upplever temperaturen omkring oss. Socialstyrelsen ger ett rekommenderat värde på operativ temperatur inomhus på 20-23°C. (SOSFS 2005)

2.3 Luftfuktighet

Människan avger cirka 40g vattenånga per timme. (proj VVS s 1:21). Om luftfuktigheten blir stor blir det svårare för kroppen att avge värme genom att svettas. (smhi web). Om istället luftfuktigheten är liten kan det leda till problem med hud och luftrör samt slemhinnor. Dessa problem uppstår inte för alla och det krävs ofta långvarig exponering. Under året varierar luftfuktigheten kraftigt utomhus. Det är som mest fuktigt under sommaren och som minst fuktigt på vintern. Om inte detta regleras vid luftbehandlingen kommer fukthalten inomhus också att följa nivåerna utomhus. Beroende av verksamhet och antal människor som finns i byggnaden kan luftfuktigheten på detta sätt kraftigt påverkas. Det finns en övre mättnadsgräns där luften inte längre klarar av att hålla fukten. Denna gräns beror på luftens temperatur och när den uppnås kondenserar vattenången.

2.4 Lufthastigheter

En luftströmning kring huden skapar en nedkylning av ytan. På grund av detta anses en max lufthastighet inomhus på 0,15 m/s vara ansedd som en dragfri miljö. Drag upplevs som starkare ju lägre lufttemperaturen är (vvs-proj) och kan därför till viss del kompenseras med en högre temperatur. Vid kalla ytor såsom fönster uppstår nedåtgående luftströmningar på grund av att den kalla luften har högre densitet än den varma runt omkring och därav sjunker. Detta kallas för kallras och är mycket obekvämt att befinna sig i närheten av. Kallras kan motverkas av radiatorer under fönster som värmer upp luften ovanför men en mer fördelaktig metod är att helt enkelt använda ett fönster med bättre isolerande förmåga.

3 Specifika krav för en ishall

För att klara de grundläggande funktionerna hos en ishall måste det finnas en isrink att åka skridskor på och eventuella åskådare måste kunna se aktiviteterna som pågår på isen. Om viljan finns att utöka dessa grundläggande krav, för att underlätta både för aktiva och åskådare, kan en mängd ytterligare funktionskrav läggas till. Dessa kan vara krav på en bra iskvalitet och utökad belysning sett till de aktiva. För åskådarna är exempel på ytterligare funktionskrav förbättrade temperaturnivåer och en bra luftkvalitet.

3.1 Iskvalitet och luftfuktighet

Iskvaliteten påverkas av oönskade höga fukt mängder i luften som ger kondens. Detta kan resultera i knagglig is när kondensvatten bildas direkt på isen eller droppar ner från taket. Även temperaturer på isen spelar roll då en lägre temperatur ger en hårdare is. Detta är önskvärt för till exempel ishockey medans fritidsåkare generellt sett vill ha en mjukare is att åka på. Hög fuktighet i arenan kan leda till kondens på ytor med relaterade problem som ispåväxt, takdropp, fukt skador, dimma över isen, rostbildning och allmänna hälsorisker. För att undvika dessa problem krävs att daggpunkten ej underskrids. En luftavfuktare installeras därför som sänker den absoluta fuktigheten i tilluften och därmed sänker dagtemperaturen i hallen, förutsatt omblandande ventilation. För att förhindra för mycket ispåväxt på planen krävs ett högsta absolut fuktinnehåll på cirka 3 gram vatten per kilo luft. Detta medger att isens toppskikt lägst kan hålla en temperatur på -2°C utan att någon kondens från luften sker.

3.2 Termiskt klimat

Svenska ishockeyförbundet har en rekommenderad lägsta temperatur för publiksektioner på $+8^{\circ}\text{C}$. Denna låga temperatur kan förklaras med att publik som går på ishockey generellt sett tar på sig mer kläder än vid de flesta övriga stillasittande aktiviteter. Publiken förväntar sig att det är kyligt när de går och ser ishockey. För större arenor har Svenska ishockeyförbundet dock höjt denna lägsta rekommenderade temperatur till $+16^{\circ}\text{C}$. Detta kan delvis förklaras med en ökad förväntning på arenan av publiken. För att undvika kondens på plexiglas vid sarg bör temperaturen hållas vid ett minimum av $+5^{\circ}\text{C}$ om inte den relativa fuktigheten sänks under de förväntade nivåerna. Detta krav beräknas på en höjd av 1-2m över isytan.

Luftrörelser och strålning från omgivande ytor påverkar upplevelsen av det termiska klimatet. En lufthastighet som är lägre än 0,15-0,20 m/s upplevs inte som störande av de flesta människor och detta bör uppfyllas även för ishallar.

3.3 Klimatskal

En tät konstruktion är mycket önskvärd då ett stort luftläckage annars kan uppstå. Ett sådant läckage stora värmeförluster när kall luft sugas in i hallen. Även en relativt liten öppning kan skapa stora problem då fuktig luft inifrån passerar isolering och övriga konstruktionsdelar. Detta kan i längden leda till fuktproblem i hallen. Eftersom ishallar oftast är konstruerade utan fönster in mot hallen kan solinstrålning att bortses ifrån.

4 Objektsbeskrivning

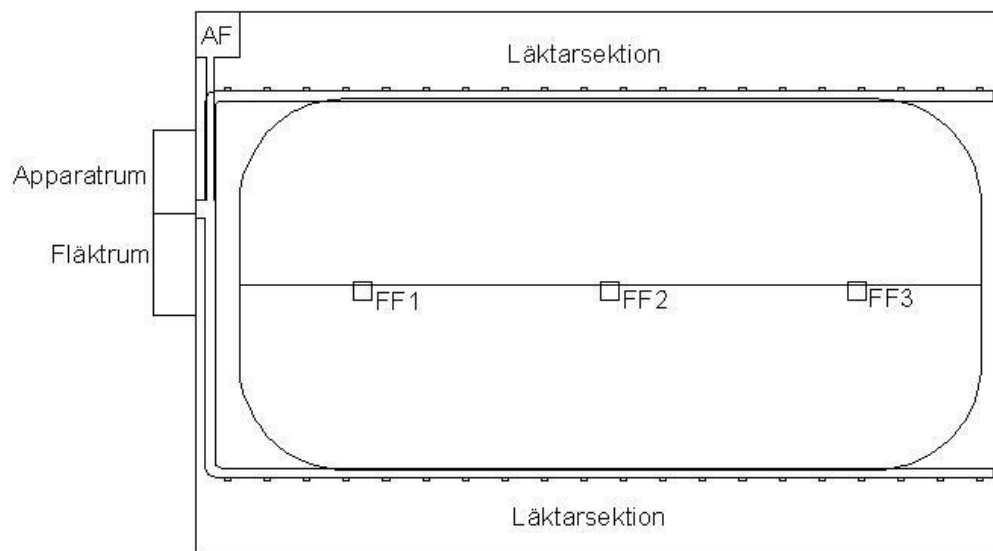
Åby ishall stod färdig 1976. Ishallen används främst för olika typer av is-sporter som ishockey och konståkning. Säsongen för ishallen är mellan augusti och mars. Båda aktiviteterna brukar börjas/avslutas någonstans i mitten på månaderna (energianalys s35). Drifttiden med is på planen blir därav ungefär 8 månader. Under sommartid utnyttjas hallen även till mässor och liknande. Antalet sittplatser har beräknats till 1014 och inga ståplatser finns. Dock förekommer det, enligt uppgift från vaktmästare, någon gång under året att en publik på upp till 1500 personer finns på plats. Vid beräkningar kommer 1100 personer att användas som data med hänsyn till spelare samt personal på plats.

4.1 Geografiskt läge

Åby ishall ligger i Mölndals kommun strax söder om Göteborg. Detta läget ger en DUT (dimensionerande utetemperatur) på -16°C (Frico pdf) och en årsmedeltemperatur på $7,9^{\circ}\text{C}$.

4.2 Geometriska data

Hallen är $66,8 \times 47,7\text{m}$ öppen yta. Isytan är europeisk standard, det vill säga $60 \times 30\text{m}$ med rundade hörn med en radie på $8,5\text{m}$. Detta ger en isyta på cirka 1740m^2 och en total hallarea på 3180m^2 . Taket är cirka 7m högt och volymen blir då $22\,300\text{m}^3$. Det finns sju rader med sittplatser på varje sida. Varje sittrad är 800mm djup och 500mm hög. Bilden nedan visar ishallen sedd uppifrån med tilluftskanaler längs långsidor. Avfuktare finns i övre vänstra hörnet markerad AF, och de tre frånluftsfläktarna sitter i taket markerade som FF.



Figur 3: Ishallen sedd ovanifrån

4.3 Klimatskal

Väggar mot omklädningsrum och driftsutrymmen är vid åsyn enkelt isolerade med ett uppskattat U-värde på cirka $0,4\text{ W/m}^2\text{K}$. Dock är alla omgivande sidor tempererade

utrymmen med temperaturer på upp mot 20°C. Detta gör att med nuvarande temperaturnivåer sker en värmetransport in i hallen genom omgivande väggar. Taket verkar genomgående vara mycket lätt isolerat eller helt oisolerat och är gjort av korrugerad plåt samt vissa förstärkningar. U-värdet uppskattas vara 2,0 W/m²K (frico pdf). Helt oisolerad plåt har 4,0 W/m²K i U-värde medans ett tunt lager isolering på 5cm medför cirka 0,8 W/m²K. Isen, med en yta av cirka 1740 m², medför en kylning som kan uppskattas till 50-60 W per m² (TL). Ingen dokumentation om isolering under ispisten och övriga golvparter har hittats. Dock brukar dessa partier antingen isoleras kraftigt eller värmas för att förhindra tjälskador på grund av kylningen runt marknivå, samt hindra värme från marken att komma isen tillgodo. Det finns ingen öppning direkt från ishallen mot uteluften annat än i taket.

4.4 Luftbehandling

För att förhindra en stor energiåtgång och att tvingas avfukta ny luft gång på gång har man valt som värmeåtervinning att använda återluft. Detta innebär att en del av frånluften återcirkuleras istället för att ledas ut från byggnaden. Av den luftmängd som mekaniskt förs in genom tilluftsdonen återförs cirka 80%. Det är oklart exakt hur uteluft kommer in i byggnaden. Utluftsspjället, som syns i överkant i bilden nedan, hålls alltid helt stängt. Dock kan man förutsätta en del läckage genom spjället då detta är gammalt. Resterande del av uteluften passerar någonstans genom otätheter i klimatskalet in i hallen.



Figur 4: Filter samt intagsspjäll

4.4.1 Temperatur- och fuktnivåer

Temperaturen i hallen ska hållas på en lägstanivå av 14°C (H. Hagström). Vid de mätningar som gjordes den 10:e mars samt den 29:e mars i år var temperaturen på läktarna mellan nio och tio grader med $\phi \approx 50\%$ oavsett sittplats i höjd eller längdled. Vid båda tillfällena var utomhustemperaturen cirka 5°C. Vid 10 cm ovanför isytan var temperaturen mellan 1,6 och 1,7°C med $\phi = 77\%$. Vid sargerna var temperaturen cirka fem grader, $\phi = 70\%$.

4.4.2 Värmebatteri

Luftvärmaren byttes 2009 och dess uppgift är att värma tilluften tillräckligt för att hålla temperaturen i hallen på en förutbestämd nivå av 14°C. Den är dimensionerad för en luftmängd på 30 000 m³/h eller 8,3 m³/s. Max effekt är 200 kW (MN) och den får sin värme dels genom återvunnen kondensorvärme från isanläggningens kylmaskiner och dels från fjärrvärme. Denna effekt innebär att luftvärmaren maximalt kan värma lufttemperaturen 20°C vid det aktuella flödet, ($Q = (\rho \cdot c_p \cdot q) \Delta t$). Värmebäraren består av 65% vatten och 35% glykol. Flödet hos värmebäraren är 9,5 l/s. Dimensionen är 2000x1900 mm. I figur 5a nedan till vänster syns luftvärmaren till vänster i bilden och filter till höger. Figur 5b till höger nedan visar tilluftstemperaturen den 29:e mars i år. Denna var då cirka 25°C.

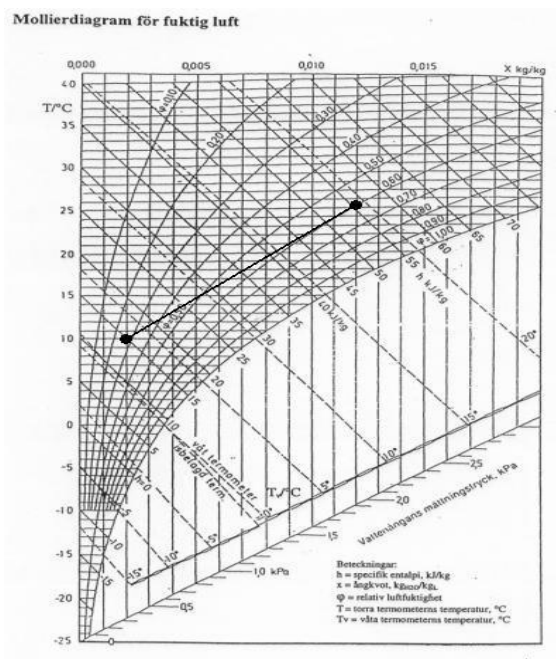


Figur 5a: Värmebatteri samt filter, Figur 5b: Tilluftstemperatur

4.4.3 Luftavfuktning

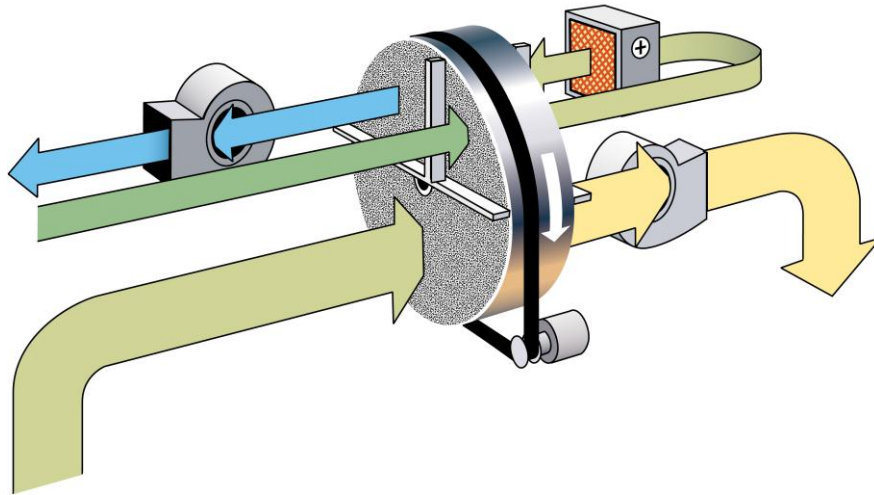
I syfte att hålla nere fukthalten i hallen installerades år 2009 en luftavfuktare. Denna är placerad inne i hallen. Avfuktning inleds vid en absolut fukthalt i luften på $x=6$ g/kg luft och avbryts när fukthalten är nere på $x=4$ g/kg luft (HH). Mätning av fukthalt sker i tilluften.

Luften tas in från en kanal strax ovanför avfuktaren och skickas efter behandling vidare för att blandas med luften som kommer från tilluftsfläkten. Denna blandning får fukthalten i hallen att sjunka. Sambandet kan enkelt visas i ett Mollierdiagram som det nedan. De två luftmängderna har sina egna egenskaper i form av temperatur och fukttinnehåll före blandning. Detta visas i form av de två markerade punkterna i diagrammet. Beroende av flödesstorlekar så kommer den färdigblandade luften att hamna någonstans längs den utmärkta linjen. Punkten med det största flödet kommer att vara dominerande och den blandade luftens egenskaper kommer hamna närmare denna längs linjen. Poängen är att fukttinnehållet per kilo luft i detta fallet sjunker i den blandade luften.



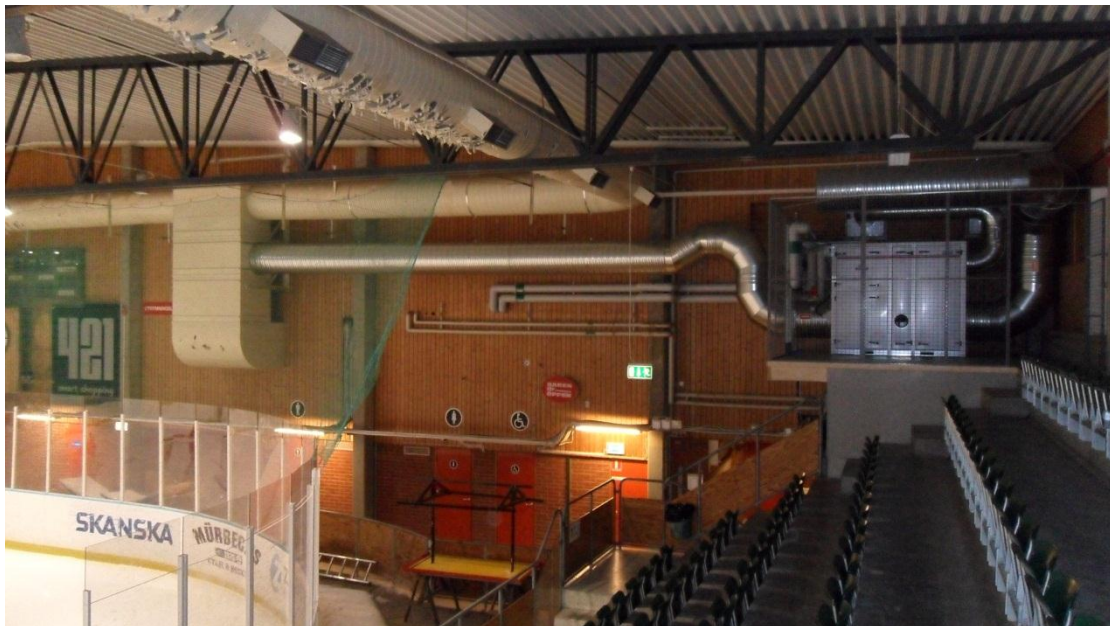
Figur 6: Mollierdiagram med skissad princip för luftavfuktaren

Luftavfuktaren är en sorptionsavfuktare. Den fuktiga luften (processluft) förs förbi ett fuktabsorberande material som i detta fallet är en kiselgel. (Ljungby fuktkontroll & sanering AB). Kiselgelen värms sedan upp och fukten som fastnat i den avges och förs sedan bort.



Figur 7: Princip för sorptionsavfuktare, Vintersportarenor, Hans Pejler

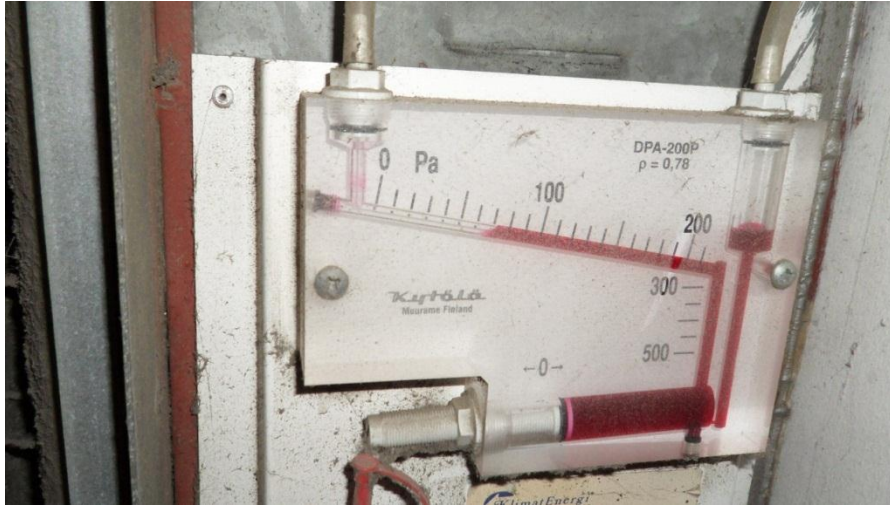
Figuren nedan visar luftavfuktarens placering till höger i bilden, samt kanalen som leder fram luft för blandning med återluften, till vänster i bilden.



Figur 8: Luftavfuktare till höger i bild, Tilluftskanaler i överkant samt tillopp av luft från fläkt till vänster

4.4.4 Luftfilter

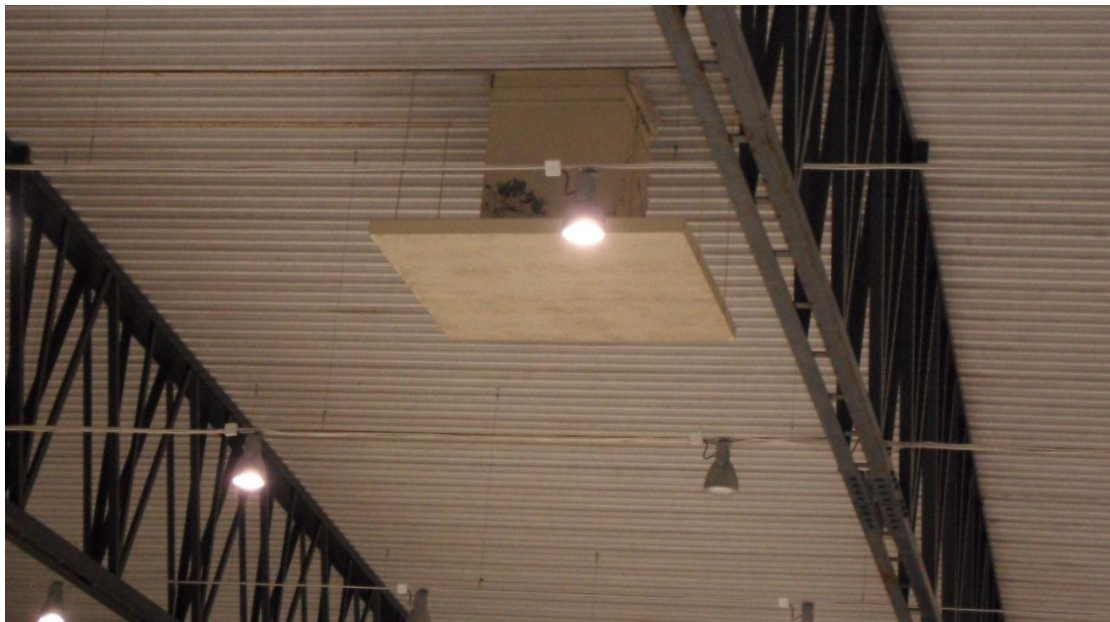
Filtret är ett grovfilter vars uppgift är att skydda värmebatteri och fläkt från nedsmutsning samt att rena luften i tilluften så gott som möjligt från partikelformiga föroreningar. Detta är utrustat med en tryckfallsmätare som ger ett mått på hur igensatt filtret är. När tryckfallet når upp till en förutbestämd gräns byts filtret ut för att förhindra att fläkten får jobba hårdare eller att flödet påverkas negativt.



Figur 9: Tryckfallsmätare över filter

4.4.5 Avluft

I hallen finns det tre stycken frånluftsfläktar installerade i taket. Dessa kan köras oberoende av varandra. I normalfallet är en av dessa igång. Vid större mängd publik används två av fläktarna. Enligt driftsansvarig Hans Hagström ska minst 20% av det totala flödet från tilluftsdonen tas ut som avluft. Detta skapar ett undertryck i hallen som leder till att samma mängd luft som tas ut från hallen också sugs in utifrån. En del av denna luft kommer antagligen in genom det stängda spjället vid tilluftsaggregatet men det mesta kommer antagligen in genom otätheter i klimatskalet. Denna luft kommer därmed in ouppvärmad och fuktig i hallen. Detta leder till försämringar i iskvalitet och en ökad belastning för avfuktare och luftvärmare. Uppgifter angående flöden för dessa fläktar har ej hittats i tillgänglig dokumentation.

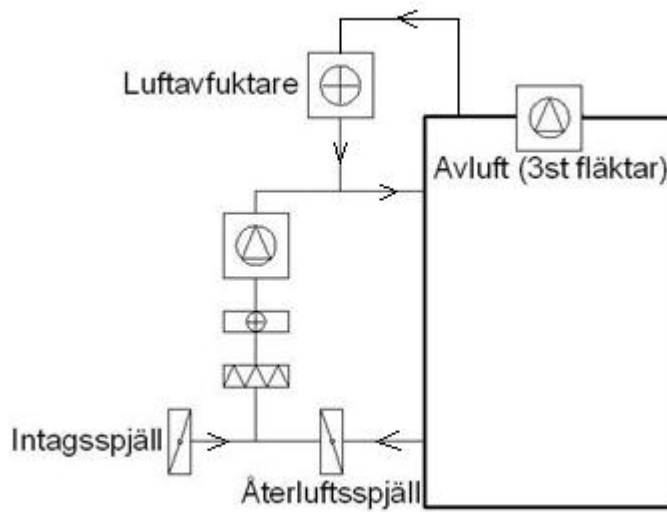


Figur 10: En av tre frånluftsfläktar i tak

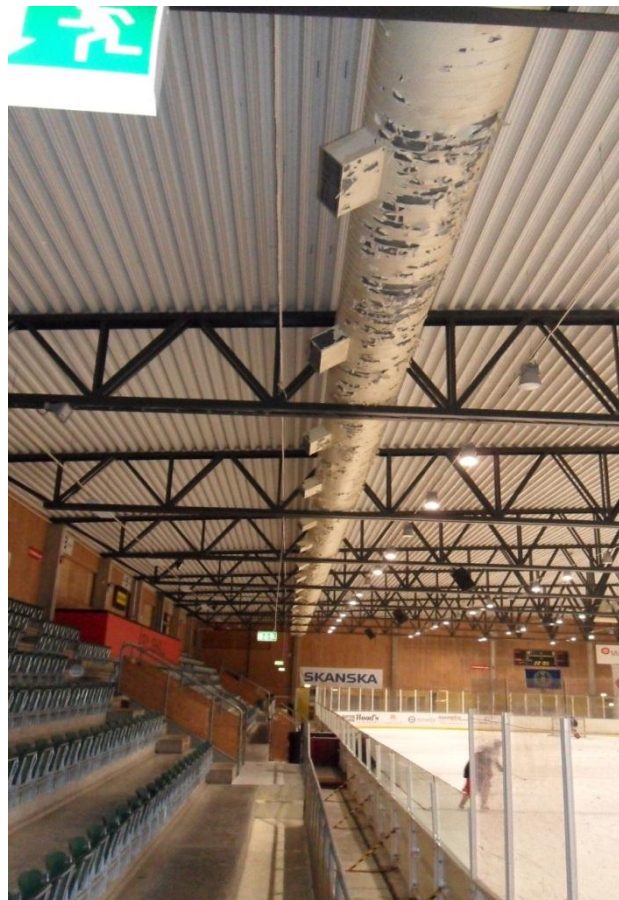
4.4.6 Tilluft

Efter att luften har passerat tilluftsfläkten och blandats med flödet som kommer från luftavfuktaren leds luften ut i två kanaler, en på varje långsida av hallen längs taket.

Dessa kanaler har \varnothing 800 mm. Varje långsida har 20 stycken tilluftsdon som är riktade neråt med cirka 45° vinkel. Uppgifter på dessa don har ej lyckats fås fram och kastlängder kan därför inte fastställas. Varje don ger ett flöde av cirka $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 11: nuvarande systemuppbyggnad för luftbehandling



Figur 12: Läktare samt tilluftskanaler och don

4.4.7 Luftåtervinning

Luften som återvinns tas in från bakom matchklockan på cirka tre meters höjd. Från år 1994 får återluft endast användas efter speciell utredning som visar att detta är lämpligt (proj vvs. 2:58). Luftåtervinningsfunktionen ska normalt kunna gå att stänga av helt. Återluft ska även renas så att den uppfyller samma krav på luftkvalitet som vanlig tilluft. Med detta menas att luften ska vara så fri från luftföroreningar som är praktiskt möjligt. En djupare innebörd av vad som är praktiskt möjligt uppges ej. Vanligtvis används lösningar med värmeåtervinning med skiljda luftflöden idag.



Figur 13: Återluftsintag bakom matchklockan

4.4.8 Aggregat

I Åby ishall finns idag tre stycken aggregatrum för luftbehandling. Det som är av intresse för detta arbete betjänar endast ishallen är även det enda aggregatet som betjänar detta utrymme. Detta aggregatrum kommer härnäst att benämnas A1. Aggregatet är mer än 30 år gammalt. A1 arbetar med konstant flöde. I nuvarande läge är det kastlängden som styr flödet på luften enligt Hans Hagström. Tilluftsflödet är $8,3 \text{ m}^3/\text{s}$ och återluftsflödet är cirka $7,0 \text{ m}^3/\text{s}$ d.v.s. ungefär 84%. Eleffekten på A1 är $7,5 \text{ kW}$ och SFP-värdet (Specific Fan Power) blir bra i detta system (ca. 900 W per m^3/s), detta beror sannolikt på stora kanaler som är symmetriskt uppbyggda tillsammans med få krökar och dimensionsändringar i kanalsystemet. Svenska Inneklimatinstitutet anger $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ som högsta värde i ett eleffektivt system.

4.5 Gjord energianalys

År 2009 gjordes en energianalys av hela Åby idrottsområde, denna kom fram till att aggregat A1 borde ha ett värmebehov på $\sim 450 \text{ MWh}$ och en maxeffekt på 200 kW för att klara minst 14°C året om. Vid en loggning av tilluften som gjordes mellan 2008-12-08 och 2009-01-15 pendlar temperaturen mellan 13°C och som mest $16,5^\circ\text{C}$. Vid mätning den 29:e mars lästes denna av till cirka 25°C . Ett byte av A1 rekommenderas i denna analys men skedde aldrig vid ombyggnaden då det ansågs för kostsamt. Vid

analysen nämdes även att en inblåsningstemperatur på upp emot 30-35°C skulle krävas för att hålla temperaturen vid minst 14°C.

4.6 Värmeåtervinning

Kylanläggningen som finns utanför ishallen producerar kyla till isrinken, av detta är en spillprodukt värme. Denna värme används idag bland annat till tilluftaggregatets (A1) värmebatteri. Även en del av uppvärmningen av tappvarmvatten, spolvatten och till radiatorsystem sker genom spillvärme från kylanläggningen. Vid full drift på kylanläggningen fås cirka 400 kW kondensorvärme från kompressorerna. Den största delen av denna värme går dock via en kulvert bort till Åbybadet som ligger granne med ishallen. Över året producerar kylanläggningen cirka 1200 MWh värme.

4.7 Belysning

Belysningen som finns i hallen består av 128 stycken armaturer med metallhalogen. Dessa har tre stycken driftlägen varav det med störst effekt används under match. Varje armatur har då en effekt på 150 W och kravet på belysningen är att den ska ge 800 lux vid 1m ovanför isen (HH).

5 Åtgärder för att öka standarden på inomhusklimatet

Ett önskvärt klimat är inte i alla avseenden möjliga på grund av ekonomiska begränsningar. Detta gäller både absoluta ekonomiska ramar (det fattas helt enkelt pengar) såväl som försvarbara ramar (investering kontra nytta/besparing). Åtgärder som leder till en lufttemperatur bland åskådare på 20°C är inte försvarbar sett ur en ekonomisk synvinkel i en ishall. Detta beror på att uppfattningen bland människor allmänt är sådan att 10-14°C för denna typ av verksamhet visserligen är i kallaste laget men ändå godkänt eftersom det finns en förväntning på denna temperatur. I denna rapport kommer förslag att ges på möjliga förbättringar utan hänsyn till dessa typer av ekonomiska ramar.

I ett första block med möjliga åtgärder syftas till att försöka öka standarden hos klimatbehandlande system och klimatskal i Åby ishall med kommunens egna krav i åtanke. Dessa är en minimitemperatur på 14°C samt en högsta tillåtna absoluta fukthalt på 6 g/kg luft. Även hygienmässiga faktorer kommer beaktas, så som partikelhalter. De åtgärder som läggs fram här anses vara rimliga och passande att genomföra för Mölndals kommun. Lönsamhetskalkyler kommer dock ej att tas fram för dessa lösningar.

Ett andra block kommer att utgå ifrån egna teorier om en tempertur på 20°C i publiksektionerna. Denna del innefattar lösningar som inte är tänkta att användas i Åby ishall specifikt, utan är tänkta att vara idéer som sedan är möjliga att utveckla vidare.

5.1 Block 1, rimliga åtgärder

5.1.1 Isolering av tak

Eftersom det åt alla fyra horisontella riktningar finns tempererade utrymmen som håller en temperatur på cirka 20°C finns det ingen anledning att isolera dessa innerväggar. Ytterväggarna ligger inte inom ramen för detta arbete och lämnas därför. Däremot för taket skulle det kunna utföras stora förbättringar i avseende på isolering. Detta skulle leda till en minskad uppvärmningskostnad och en bättre kontroll av styrning/reglering då inomhusklimatet inte kommer påverkas lika snabbt på grund av en sänkning eller höjning av utomhustemperaturen.

5.1.2 Återvinning av luft/värme

Luftbehandlingssystemet i Åby ishall arbetar med återluft. Detta är, som tidigare nämnts, ett system som vanligtvis undviks. Det kan dock finnas situationer som berättigar användandet av återluft. Möjligtvis gäller detta då ishallar med en låg publikkapacitet. Beräkning utfördes för att se hur CO₂-halten förväntas ändras vid en fullsatt hall. För att mäta föroreningshalten i ett rum används ofta utspädningsekvationen. Denna förutsätter omblandning i rummet som skall studeras. Eftersom denna rapport behandlar en ishall gjord för publik antas goda termiska drivkrafter på läktarna vilka för med sig föroreningar uppåt och därefter ut via frånluften.

$$C = C_0 \times e^{-nt} + \left(C_T + \frac{\dot{m}}{v} \right) (1 - e^{-nt})$$

C = rummets föroreningshalt	τ = tid (h)
\dot{m} = föroreningsalstring	C_T = tilluftens föroreningshalt
\dot{v} = luftflöde	C_0 = rumsluftens begynnelsehalt
n = luftomsättning per timme (h^{-1})	

När ishallen står tom utan verksamhet innebär detta att $c_0 = c_T$ om ingen hänsyn till emissioner från byggnadsmaterial tas. När sedan hallen fylls av publik får \dot{m} ett värde som beror av mängden människor samt eventuell annan övrig verksamhet som startar samtidigt. Detta värde mäts i $\mu\text{g/s}$ och sattes till 15 l/h och person CO_2 . Antal personer vid maximal kapacitet antas till 1100. Luftomsättningen beror på flödet av ren luft och volymen på rummet. Eftersom endast 20% av det totala flödet ($8,3 \text{ m}^3/\text{s}$) utgörs av uteluft användes endast denna del vid beräkningarna. \dot{v} fick då värdet $1,66 \text{ m}^3/\text{s}$ och n fick värdet $0,29 \text{ h}^{-1}$.

Resultatet av beräkningarna innebär att efter 2h i en fullsatt hall hade koldioxidhalten stigit till cirka 2000 ppm. Då det rekommenderade riktvärdet är 1000 ppm måste detta anses som klart otillräcklig ventilation. Vid jämvikt i systemet leder detta till en koncentration på cirka 3000 ppm. För att hålla 1000 ppm även vid jämvikt måste flödet av ren luft ökas till cirka $7,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

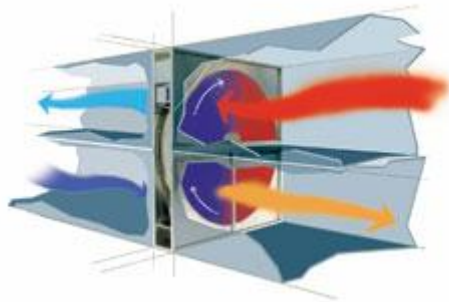
Lösningarna till detta kan antingen vara att öka mängden uteluft i det existerande systemet vilket betyder att nästan all den luft som tillförs rummet måste värmas upp helt och hållet från uteluftstemperatur. Även all den mängd fukt som finns i denna luften måste då sedan eventuellt föras bort från hallen igen. En annan lösning kan vara ett byte av systemuppbyggnad.

En värmeåtervinnare har till uppgift att använda den värme man redan har värmt upp i rummet till att förvärma uteluften innan den passerar värmebatteriet. Ett system med både till- och frånluft samt en form av värmeåtervinning kallas för ett FTX-system. Lösningen är den vanligaste för nyprojekterade lokaler och är även sedd som energieffektiv (energimyndigheten). Dagens roterande värmeväxlare är mycket effektiva och har en verkningsgrad på upp emot 80-85% under bra förutsättningar i system utanför laboratoriemiljö (proj vvs 2:54). Verkningsgraden η definieras som förhållandet mellan den aktuella temperaturändringen och den största tillgängliga temperaturskillnaden. Ett exempel på detta ges nedan.

$$\eta(0,8) = \frac{T_{\text{återvunnen}} - T_{\text{utomhus}}(-8^{\circ}\text{C})}{T_{\text{frånluft}}(20^{\circ}\text{C}) - T_{\text{utomhus}}(-8^{\circ}\text{C})}$$

Exemplet visar att vid en utetemperatur på -8°C och en inomhustemperatur på 20°C skulle värmebatteriet endast behöva värma upp luften från $14,4^{\circ}\text{C}$ till önskad tilluftstemperatur. Om frånluften tas vid taknivå i en hög byggnad så som Åby ishall kan man vänta sig en högre temperatur på frånluften än man har vid åskådarnivå. Återvunnen temperatur skulle då bli ännu högre.

Bilden nedan visar en principskiss på en roterande värmeväxlare.



Figur 14: Princip för en roterande värmeväxlare (enventus)

Fördelen med att installera en värmeväxlare istället för att använda en lösning med återluft är att luften byts ut och därmed späder ut föroreningar i inomhusluften. Vid återluftföring innehåller tilluften ökande andel föroreningar under en tidsperiod med publik i hallen. Ett FTX-system håller hela tiden samma jämna och förhoppningsvis låga föroreningshalt av tilluften. Nackdelar med ett FTX-system är främst en högre investeringskostnad i jämförelse med ett system utan värmeväxlare, en ökad komplexitet (fler rörliga delar som kan gå sönder) och att denna typ av lösning kräver att kanalerna dras till samma fläktrum på grund av att till- och frånluftskanalerna måste placeras intill varandra. På grund av att värmeväxlaren orsakar ett extra tryckfall så skapar detta även ett merarbete för fläktarna.

Vid tidsperioder då det vistas en mindre mängd människor i hallen borde det inte finnas några problem med att använda återluft i syfte att spara energi. Dock så måste denna del av luftomsättningen (återluft) minskas i takt med att antalet människor i hallen ökar. Ett högre antal personer som behöver ren luft innebär alltså att en minskning av andelen återluft måste ske. Detta skulle kunna uppnås genom en styrning av spjällen med hjälp av koldioxidhalter. Vid en fullsatt hall med närmast dimensionerande värden borde ingen del av tilluften komma från återvinning. Frånluftsflöden ska vara i samma storlek som luften som tas in genom uteluftsspjället, så att det inte uppstår oönskade tryckskillnader över klimatskalet. Detta leder antingen till oönskade luftflöden in i hallen som ej genomgått uppvärmning eller avfuktning, alternativt pressas uppvärmd luft ut genom klimatskalet utan möjligheter till värmeåtervinning. Denna balans kan vara svår att uppnå exakt (BSS s73) varför tätning av klimatskalet alltid bör ske omsorgsfullt.

Om ett FTX-system installeras är en lufttätning av klimatskalet också önskvärt då det scenario man vill se är att ingen uteluft tillåts passera in eller ut ur byggnaden obehandlad. Varje form av luftläckage utåt genom klimatskalet betyder minskad möjlighet att använda värmeåtervinning från frånluften och ett luftläckage inåt innebär att kall och obehandlad luft kommer in i rummet vilket givetvis är ofördelaktigt.

5.1.3 Sänkning av tillåten fukthalt

Gränsen för tillåten fukthalt idag är 6 g vatten per kg luft vilket motsvarar $\phi \sim 60$ vid 14°C . En relativ fukthalt på mellan 40-45% rekommenderas av flera företag som jobbar med detta, bland andra Everything ice och Eer products, samt är NHL-standard. Nivån sätts på grund av att en mjukare is kräver ett större underhåll och därmed också ökade kostnader. Även kylaggregatet behöver jobba hårdare när vattenångan som kondenserar på isen måste frysas. Vid 14°C betyder detta en ungefärlig absolut fukthalt på mellan 4 och 4,5 g/kg luft. Men den kanske främsta

anledningen är med hänsyn till de som vistas på isen. Deras upplevelse av iskvaliteten kommer antagligen förändras till det bättre när inte lika mycket fukt kondenserar på isen och därmed fås en jämnare och hårdare yta. En isyta som har mycket ispåväxt är porös och mycket ”långsam” att åka på.



Figur 15: Ispåväxt på grund av kondensering, Vintersportarenor, Hans Pejler

Dessutom kommer det inte kännas lika ”rått” i hallen och klimatet kommer upplevas som varmare.

5.1.4 Kylning

Då hallen även är tänkt att användas under sommarhalvåret för mässor och försäljning (energianalys s.35) anses jag att någon form av möjlighet till kylning av hallen behövs. I dagsläget är den enda möjligheten till detta att öppna intagsspjället fullt och att låta alla tre frånluftsfläktarna arbeta. Socialstyrelsen anser att det ”föreligger olägenhet för människors hälsa” om den operativa temperaturen varaktigt överstiger 26°C alternativt kortvarigt inte överstiger 28°C (proj-VVS). Med nuvarande lösningar finns det skäl att tro att dessa krav är svåra att möta med tanke på det höga antal människor som en mässa kan generera i hallen. Kraven ska dock inte ställas allt för högt på kylbaserade komfortsystem då vi ofta är lättklädda när temperaturen utomhus är hög och vi mår bra av en något högre temperatur inne sommartid än vintertid då upplevelsen att komma in i ett rum på 20°C när utetemperaturen är 25°C blir att vi istället börjar frysa. Ett eftersträvat värde kan vara exempelvis 23°C men inte ett absolut värde så som kraven på minst temperaturnivå vintertid. Vid projektering bör man alltså inte utgå från en absolut högsta temperatur då detta lätt leder till överdimensionering av kylbatteri. Ett vanligt sätt att lösa detta är att använda en metod som går ut på att det i ett bestämt antal timmar eller dagar får lov att vara högre temperatur än 23 grader. Detta är i förhållande till förväntade temperaturnivåer baserat på föregående år. Kravet på maximal tillåten fukthalt finns inte under sommartid då isen är borta.

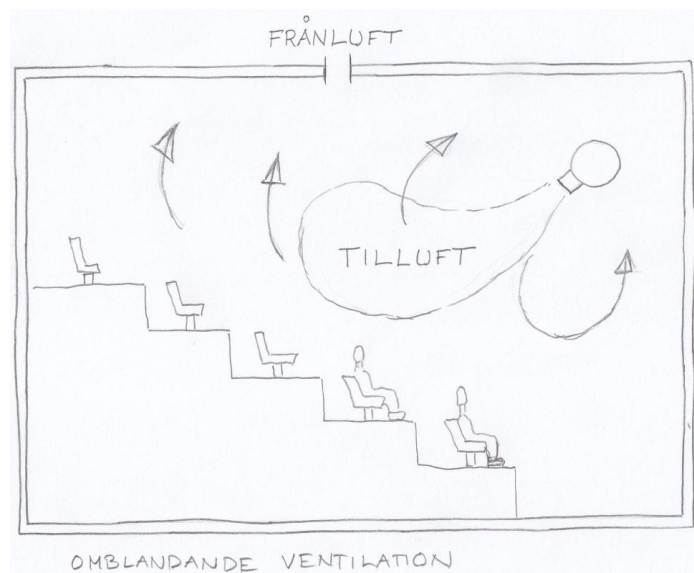
5.2 Block 2, möjliga åtgärder

Det finns olika sätt på hur man kan lösa sina klimathållningsproblem. Här redovisas ett antal alternativa lösningar som dock inte nödvändigtvis är de bästa eller ens rimliga i förhållande till de förutsättningar som Åby ishall har.

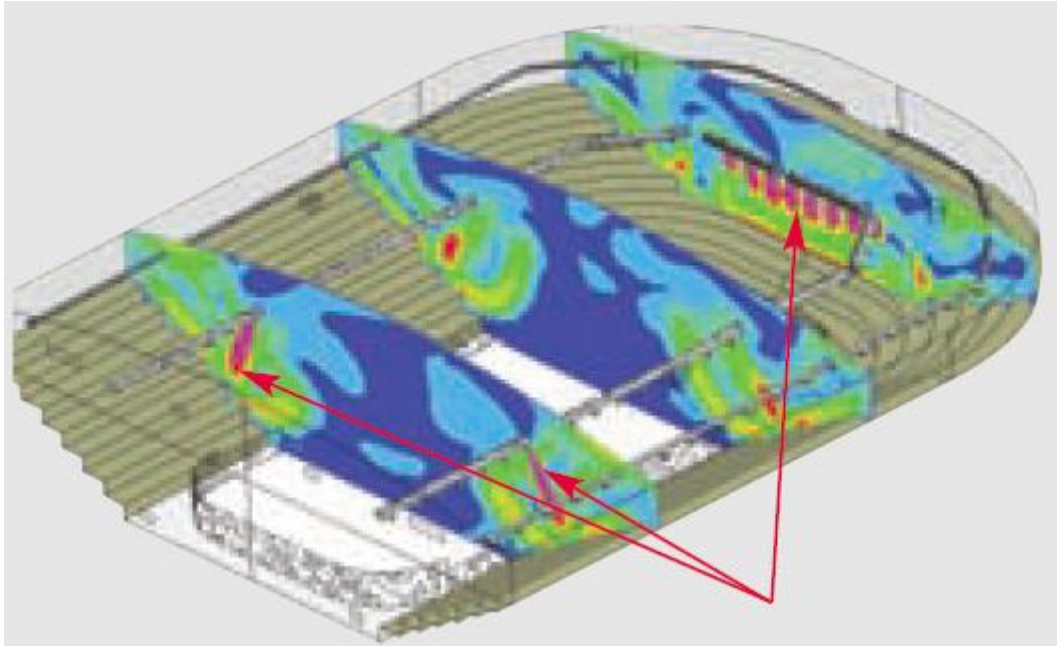
5.2.1 Ventilationslösningar

När tilluften förs in med hög fart, oftast ovanifrån, kallas detta för omblandande ventilation. Denna typ av lösning är den vanligaste och fungerar mycket bra för de allra flesta verksamheter. Metoden går ut på att rumsluften ska blandas (spädas ut) så mycket som möjligt. För att den rena tilluften ska komma vistelsezonen till godo krävs en viss hastighet så att inte ventilationen kortsluts. Detta gäller i högsta grad de fall där man även valt att använda varm luft som källa av värmeförlusten. En kortslutning av tilluften innebär att luften värms upp innan den når vistelsezonen och sedan suges ut via ett frånluftsdon direkt. Denna hastighet gör att donen måste placeras en bit ifrån vistelsezonen, oftast högt upp för att inte skapa problem med drag. Avvägningen mellan risk för drag och kortslutning har skapat ett begrepp som kallas för kastlängd. Med detta menas det avstånd från tilluftsdon där lufthastigheten har sjunkit till 0,2 m/s. Detta ska ske innan vistelsezonen. Olika don kräver olika flöden för att uppnå rätt kastlängd och i värsta fall styrs tilluftsflödet av kastlängder istället för erforderliga ventilationsflöden. I en ishall kan det diskuteras om denna lösning är den mest optimala eftersom metodens grundtanke är att så stor omblandning av luft som möjligt ska ske i rummet. Detta vill man undvika i en ishall då man inte vill pressa ner varm och fuktig luft ner mot isplanen.

Att tillföra stora mängder högt övertempererad luft från hög höjd kan innebära problem med luftomblandningen (BSS s169). Det krävs en stor mängd luft genom varje tilluftsdon för att få ner all denna varma luft till åskådarnivå utan att det bli kortslutning av luften. Detta kräver i sin tur ett högt genererat tryck och en hög belastning av fläkten eftersom det kräver ett högt flöde för att få rätt kastlängder på tilluftsdonen. I teatrar och olika typer av föreläsningssalar är det vanligt med en lösning som ger undertempererad luft under sätena. Detta är ofta i syfte att både ventilera och att kyla. I Åby ishall skulle en deplacerande ventilationskälla under bänkrader kunna vara en lösning.

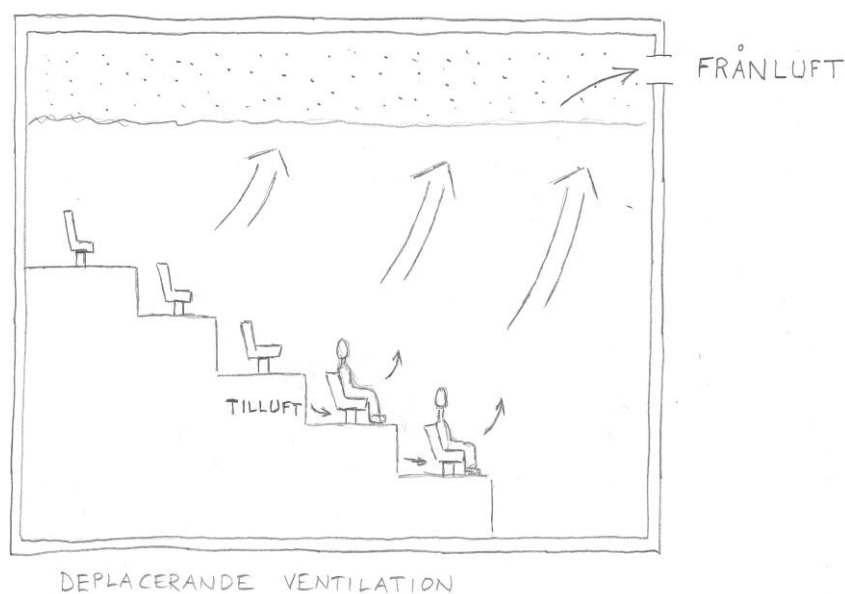


I bilden nedan syns en sammanställning av bilder gjord av värmekameror i en rysk ishall med omblandande ventilation. Pilarna markerar tilluftsdon och det syns tydligt att det sker en omblandning och en viss värmetransport med hjälp av luften ner mot isen.

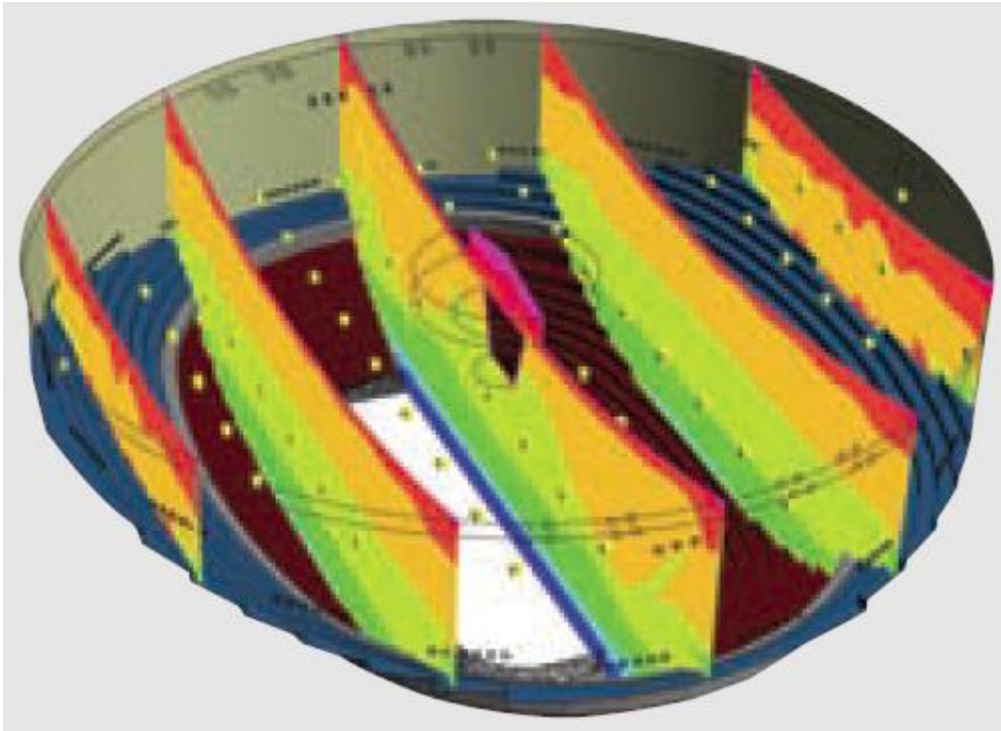


Figur 16: Värmefördelning med omblandande ventilation

Deplacerande ventilation arbetar med låg lufthastighet och temperatur. Den rena luften förs via kanaler ut vid golvnivå eller strax ovanför genom stora eller många don och flyter därefter ut längs golvet på grund av en högre densitet än den omgivande luften. Luften blir gradvis uppvärmd. Detta kan ske genom omblandning i rummets luft eller genom snabbare uppvärmning från att den träffar ett varmt objekt, exempelvis en människa. När detta inträffar för den uppvärmda luften med sig föroreningar uppåt och stiger mot taket. Två skiktningar kommer att bildas i rummet, en med högre temperatur och med högre halt av föroreningar, och den andra lägre skiktningen kommer vara kallare och med lägre halt av föroreningar. Den förorenade luften förs sedan bort ovanför läktarna genom frånluftsdon.



Det finns två fördelar med detta systemet, den ena är att transport av föroreningar från den varma luften överst i rummet inte riskerar att pressas ner igen på grund av tilluftsdon. Den andra och mer tongivande fördelen i fallet med ishallar är skiktningen som bildas av varm och kall luft. Detta är precis vad man vill försöka uppnå. Bilden nedan visar en ishall i Ryssland projekterad av Olof Granlund i Finland. Mätningen har gjorts under en pågående ishockeymatch och visar nästan perfekta skiktningar med väldigt liten transport av varm luft ner mot isen.



Figur 17: Värmefördelning med deplacerande ventilation

5.2.2 Strålningsreduktion i tak

Mängden energi som går åt till att kyla isen bestäms till stor del av hur mycket värmelaster den utsätts för. Dessa värmelaster påverkar isen underifrån i form av värmeöverföring från mark, samt ovanifrån av varm luft och fukt men också från infraröd värmestrålning från tak och läktare. Det finns studier som visar på att cirka 25-35% av energin som går åt till att kyla isen härstammar från värmestrålning från tak (ASHRAE refrigeration. 1994). Andra studier visar en mer måttlig andel på cirka 15% (Nichols, L, 2009) Oavsett vilken studie som används som måttstock är det en stor belastning på isens kylaggregat och detta kanske i onödan.

Taket blir uppvärmt av solstrålning, lufttemperaturen utomhus och från värmekällor inomhus såsom publik, lampor och luft. Denna uppvärmning strålar sedan nedåt mot den mycket kallare isytan. Mängden värmeenergi som tillförs isen beror av fyra faktorer; isytans area, temperatur på tak och på is samt på emissiviteten (emissivity). Denna sista faktor är enhetslös och har ett värde mellan noll och ett. Material som har en perfekt förmåga att utstråla värme har ett värde på ett och i motsatt förhållande material som inte utstrålar någon värme alls ett värde på noll. De flesta material som

används i tak har ett värde på cirka 0,90 (ICECO 2011). Genom att sänka emissiviteten minskar man också påfrestningen som isen utsätts för genom följande samband.

$$Q_r = 0,1713 \times A \times e \times (T_c^4 - T_i^4) \times 10^{-8} \{0,005663 \times A \times e \times (T_c^4 - T_i^4) \times 10^{-8}$$

Där Q_r = Last från värmestålning från tak

A = Isytans area

e = Emissiviteten

T_c = Takets yttemperatur

T_i = Isens yttemperatur

Det finns material tillgängliga idag som har en emissivitet ner mot 0,03. Dessa görs av en plastväv med en pålagd film av aluminium. Också ”hårda” ytskikt görs, även dessa främst av aluminium. Detta hade gjort att den aktuella lasten hade minskats med över 90% vilket hade inneburit förbättrad ekonomi och/eller en kallare isyta. Andra fördelar som har märks inkluderar en ökad ljusintensitet från redan existerande belysning ner mot is/läktare samt en förbättrad akustik i hallarna.

5.2.3 Flödesreglering med hjälp av koldioxid

Det traditionella sättet att dimensionera luftflödet till en lokal är att basera detta efter en maximal mängd människor som förväntas uppehålla sig i rummet. Detta maximala flödet används sedan dygnet runt, året runt. Sådär fungerar också Åby ishall idag med skillnaden att flödet verkar inte baserat på maximal åskådarmängd utan istället på kastlängder på de tilluftsdon som sitter i hallen. Eftersom det är oekonomiskt att använda stora luftflöden i fall då det inte är nödvändigt är detta sättet ett ganska dåligt sätt att ventilerar på. Detta är speciellt fallet vid stora variationer i belastning och det är precis vad en arena har (Schell 2002). En lösning på detta problem är att använda koldioxidhalter som styrning för ventilationsflödet. Nivån på detta kommer vara lämplig oavsett hur många personer som för tillfället belastar rummet. Vid enklare projekt som inte involverar ett flertal olika rum och belastningsnivåer räcker det ofta med en ensam CO₂-givare i frånluften. Denna kategorin verkar Åby ishall falla under. Det finns ”smarta” tilluftsdon på marknaden idag som anpassar kastlängder efter flödesmängder, detta skulle kunna vara en lösning om systemvalet med omblandad ventilation finns kvar. Dock skulle jag rekommendera en lösning med deplacerande don tillsammans med koldioxidstyrning.

5.2.4 Golvvärme

Det vanligaste sättet att tillföra värme i byggnader är via radiatorer. Denna lösning skulle fungera i Åby ishall också. Ventilationen skulle då endast utgå ifrån ett hygienflöde och uppvärmning skulle ske via ett vattenburet system i hallen. Ett annat sätt att värma stora ofta tunga lokaler är med hjälp av golvvärme. Detta skulle kunna byggas in i läktare och då tillföras exakt där värmen behövs mest. En fördel med golvvärme är att systemet jobbar med stora ytor och därför låga temperaturer. Spillvärmerna från ismaskinerna skulle då passa utmärkt till att värma med på detta sättet. Nackdelar med golvvärme är att systemet är känsligt för åverkan om någon

skulle bryta i betongen utan att veta att det ligger rör under. Även en tröghet i regleringen kommer upplevas eftersom betongen har stor värmekapacitet. Detta behöver dock inte vara endast en nackdel utan kan även fungera som en fördel vid tillfälliga temperatursänkningar utomhus. Betongen hade även behövts isoleras på undersidan av rören för att motverka att värmen transporteras neråt i den kallare betongen under.

6 Slutsatser

Denna studie har varit mycket givande för mig. En insikt om att all fakta som behövs kanske inte är lättillgänglig eller ens möjlig att få tillgång till har kommit mig tillhanda. Även rena faktakunskaper, då speciellt rörande ishallar och olika sätt att skapa ett bra klimat i dessa har inhämtats. Slutsatserna rörande detta arbete är mina egna och är högst personliga men möda har lagts vid att försöka få fram resultat som är baserade på många olika källor och fastlagd forskning inom området.

När det gäller Åby ishall så har jag, när jag läst om andra svenska ishallar, fått en känsla av att hallen efter ombyggnaden sköts på ett relativt bra sätt. I många fall används fortfarande inte spillvärmen från ismaskinerna till något alls, inte heller en luftavfuktare är något som finns i väldigt många ishallar. Dock finns det alltid utrymme för förbättringar och jag tror att jag hittat ett par som jag själv tror på och kan vara realistiska att genomföra.

Taketets isolering är något som bör tittas på, även vid 14°C är det stor temperaturdifferens till utomhustemperaturen vintertid. Detta kan ske i samband med en översikt av taket. Jag vet att färgen på tilluftskanalerna flagnar väldigt mycket, så kanske kan detta utföras i samband med en översikt av dessa eller då utsidan av taket ses över. Sedan återluft som princip har sina nackdelar, speciellt vid stora publikevenemang, som jag antar att kommunen vill att ishallen ska användas till nu speciellt efter upprustningen. Ett tredje alternativ som jag tycker kan ses över är den tillåtna fuktmängden i hallen.

Enligt syftet i denna rapport bör lufttemperaturen höjas för att åskådarna inte ska frysa. Nuvarande krav på 14°C fungerar ej i praktiken då temperaturen på läktare höll 9-10°C vid mätningar. Orsaker till detta är rimligtvis att taket är oisolerat tillsammans med en kombination av för låg inblåsningstemperatur. Enligt energianalysen som gjordes av Wikström-VVS står det i klartext att inblåsningstemperaturen bör hålla cirka 30-35°C för att kravet på 14°C ska kunna uppnås vid max effektbehov. Vid loggning som gjordes vid energianalysen höll tilluften en temperatur på cirka 15°C med en topp av 17°C, denna loggning gjordes mellan 2008-12-08 och 2009-01-05. Vid mätning den 23 mars 2011 höll tilluften en temperatur på cirka 25°C. Avfuktare var vid denna tidpunkt avstängd. För att öka temperaturen till 20 °C krävs antingen en ökning av tillförd värme i hallen eller en kombination av detta samt tilläggsisolering och tätning av klimatskal.

Som en mer långtgående lösning vill jag jag efter litteraturstudier påstå att deplacerande ventilation är överlägsen omblandande ventilation för ishallar. Detta borde innebära en högre investeringskostnad men också bättre komfort för åskådare och mindre påfrestning på isen. Koldioxidstyrning av ventilationsflöden passar dessutom utmärkt tillsammans med deplacerande ventilation. Ett strålningsreducerande material i tak är en annan lösning som de allra flesta verkar överens om sparar pengar och ger en bättre iskvalitet.

7 Referenser

- Petersson, B-Å. (2008): *Tillämpad byggnadsfysik*. Studentlitteratur, Göteborg
- Warfvinge, C. Dahlblom, M. (2010): *Projektering av VVS-installationer*. Studentlitteratur, Lund
- Abel, E. Elmroth, A. (2008): *Byggnaden som system*. Forskningsrådet Formas
- Energimyndigheten (2011): *Från- och tilluftsventilation med återvinning (FTX-system)*. <http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Din-ovriga-energianvandning-i-hemmet/Ventilation/FTX-system/> (2011-04-26)
- Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB (2011) *Sorptionsavfuktare – Effektiva avfuktare i kalla utrymmen*. <http://www.lfs-web.se/sorptionsavfuktare.htm> (2011-05-01)
- Toftum, J (2009): *Discomfort caused by air humidity*. http://www.iciee.byg.dtu.dk/Research/health+_productivity/Discomfort%20cause%20by%20air%20humidity.aspx (2011-05-11)
- SMHI (2009) *Luftfuktighet*. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/luftfuktighet-1.3910> (2011-05-01)
- ASHRAE (1994) refrigeration. 1994, kapitel 33, Ice Rinks).
- Schell, M (2002) *Assessing CO2 control in retrofits*, Energi och miljö nr 3/2003.
- ICECO (2011) *Facts about low-e ceiling*, <http://www.icecoadvanced.com>
- Nichols, L (2009) *Improving efficiency in ice hockey arena*, ASHRAE juni 2009
- International ice hockey federation (2011) *Technical guidelines of an ice rink*, www.iihf.com
- ANSYS (2011) *Innovation in building design through engineering simulation*, www.ansys.com
- ASHRAE (2006) *ASHRAE Refrigeration handbook*, Chapter 35 Ice Rinks

Muntliga källor

Hans Hagström, Driftsingenjör Mölndals stad

Mats Nyberg, Wikström VVS-Kontroll

Claes Ronnerstedt, VVS-Miljö i Göteborg AB

Mikael Högfeldt, Maskintekniker Åby ishall

Jörgen Rogstam, Energi och Kylanalys AB