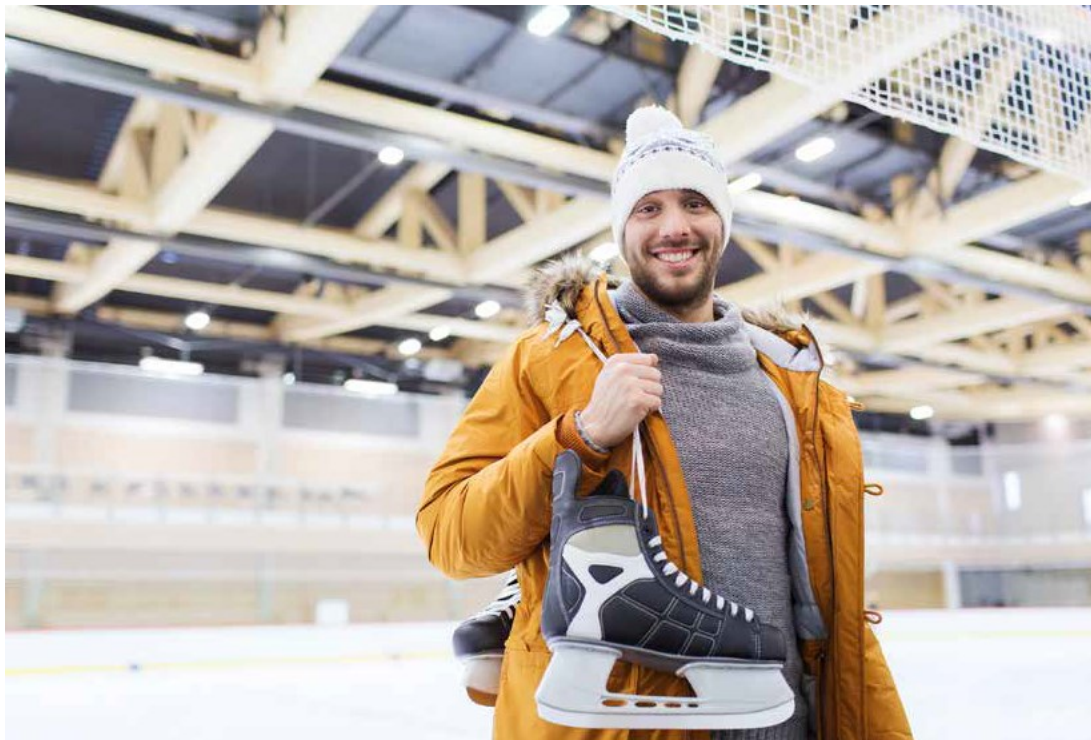




NERIS – del 4

Fuktsäkra ishallar – konstruktion och dimensionering

15 maj 2018

Jörgen Rogstam, Juris Pomerancevs, Simon Bolteau och Cajus Grönqvist

EKA - Energi & Kylanalys AB

TRITA-ABE-RPT-1831

ISBN: 978-91-7873-012-4

Sammanfattning

Denna rapport är den 4:e och sista delrapporten inom ramen för projektet NERIS som behandlar fuktproblematiken i ishallar. Denna kunskap är mycket grundläggande dels för att kunna dimensionera avfuktningssystemen men även för hur man konstruerar klimatskalet och väljer dess ingående material. På basis av de tidigare delrapporterna redovisar denna sista delrapport kraven på en ishalls struktur och avfuktningssystem för att resultatet ska bli en funktionsduglig och energieffektiv anläggning ur fuktsynvinkel.

Klimatskalets huvudsakliga syfte är att separera inneklimatet från omgivningens växlande. Det betyder att värme- och fukttransporter ska kunna ske kontrollerat genom klimatskalet. Stödsystem som värme, ventilation och avfuktning ska inte behöva arbeta mer än nödvändigt för att upprätthålla det önskade klimatet. För att undvika fukt- eller mögelskador i en klimatskiljande struktur är en allmän regel att ångtransportmotståndet på den varmare och fuktigare sidan av väggkärnan ska vara högre än på den kallare och torrare. Allmänt kan man säga att i norra Sverige ska ångtransportmotståndet vara större på insidan av klimatskalet, medan i mellersta och södra Sverige ska ångtransportmotståndet vara större på dess utsida.

När det gäller minimering av fukt- och värmebelastning på ishallens inneklimat, bör stort fokus läggas på att förhindra luftläckage genom klimatskalet. En luftspärr kan i princip placeras var som helst i väggkärnan ifall den har lågt ångtransportmotstånd. Speciellt viktigt är det vid installation att se till att luftspärren hålls kontinuerlig vid anslutningspunkterna mellan olika strukturer, t.ex. väggar och tak.

Förutom omgivningsklimatet är det även viktigt att ishallens arenarum isoleras väl från andra klimatzoner i ishallen. Klimatskiljande dörrar, portar mm. ska kunna hållas stängda för att förhindra luftläckage, och dessutom vara isolerade och lufttäta för att minimera risken för fuktproblem.

Arenarummets ventilationsfunktion rekommenderas att normalt användas med endast luftåtercirkulation, d.v.s. friskluftens tillöpp ska vara stängt. Detta minskar fuktbelastningen i ishallen, medan naturligt luftläckage genom ishallens struktur ofta räcker för att respektera CO₂-nivån. I den bästa av världar är eventuell tilluft styrd på arenarummets CO₂-halt så att friskluft endast tas in om det behövs.

Distributionen av ishallens ventilationsluft och avfuktning ska ske i separata system. Den allmänna principen gällande ventilation är att man vill undvika att varm luft blåser mot isen, vilket innebär att ventilationskanaler ska placeras utanför isytan och riktas mot åskådare m.fl. som behöver den, inte isen. Avfuktningssystemet bör ha distribution i en mittkanal i taknock ovanför isen som ger en jämnare distribution av torrluften ovanför isen. Kanalen ska ge ett jämnt flöde över hela längden och ytan.

Vid val av avfuktare till en ishall så rekommenderas sorptionsavfuktare med erforderlig avfuktningsskapacitet vilket för flertalet svenska ishallar betyder cirka 20 kg/timme. Vad gäller värmekälla för regenerering av avfuktaren så finns flera möjligheter men det energieffektivaste är alltid att använda återvunnen värme från kylsystemet. Detta kan potentiellt stå för upp till 100 % av regenereringsvärmens och sen tillkommer fläktarbete för distributionen.

Korrekt styrning av fuktnivån är viktigt för att kunna åstadkomma god iskvalitet och ett hälsosamt inneklimat i byggnaden. Avfuktare ska styras för att hålla en specifik absolut fukt alternativt dagpunkt, där

den senare bör vara mellan 0°C och cirka 2°C. Är daggpunkten lägre än 0°C så driver det på fuktbelastningen och är den högre än ca 2°C så ökar risken för oönskad kondens.

Summary

The project name NERIS is an acronym for Nordicbuilt: Evaluation and Renovation of Ice halls and Swimming halls. NERIS is led by the department of Civil Engineering at the Royal Institute of Technology (KTH) in Stockholm, Sweden.

This report is the last part in a series of four, which will address moisture handling in ice rinks. Together these reports will not only provide with fundamental knowledge on how to design the dehumidification function, but they will also give general recommendations regarding the structures that separate the indoor climate from the outdoor as well as the choice of proper materials for the building envelope. Based on the previous reports of the NERIS-project, this last part gives requirements on how the structures of an ice rink and its dehumidification system should be designed and operated in order to have a well-functioning and energy efficient facility from the moisture perspective.

The main function of the building envelope is to separate the indoor climate from the alternating outdoor weather. This implies that heat and moisture transport should be controlled through the building envelope. Support systems such as heating, ventilation and dehumidification should not work more than necessary in order to maintain the desired climate. To avoid moisture or mold damages in climate separating structures a rule of a thumb is to have a higher vapor resistance on the warmer and more humid side of the structure than on the cooler and drier side. In general, it can be said that in the northern part of Sweden the vapor resistance should be higher on the inner part while in mid- and south- Sweden the vapor resistance should be higher on the outer side of the building envelope.

When the aim is to minimize moisture and heat transport into the arena room, focus should be put on eliminating air leakages through the building envelope. An air barrier can be placed basically anywhere in the envelope structure if it has a low vapor resistance. It is especially important that the installation is done so that the air barrier is continuous at joints between different structures, e.g. walls and ceiling.

Besides from the outdoor climate it is also important that the arena room is well insulated from other climate zones within the ice rink. Climate separating doors should be kept closed to prevent air leakage and moreover be insulated and airtight in order to minimize the risk for moisture related issues.

It is recommended that the ventilation function in the arena room is normally operated only by recirculation, i.e. fresh air is not brought in. As a result, the moisture load is reduced while fresh air still enters the ice rink through the building envelope as air leakage which is often enough to maintain appropriate CO₂-levels. Best practice would be to have the supply system controlled by a CO₂-sensor, so that necessary fresh air would only be supplied on demand.

The ventilation and dehumidification distribution systems of an ice rink should be separated. The general rule is that warm ventilation air should not be blown towards the ice, meaning that the ventilation ducts should be placed away from the ice slab and directed towards spectators instead, i.e. where the heating demand is really located. The dehumidification supply air should be distributed in a channel centered above the ice, as high to the ceiling as possible, which allows to have a more uniform dry air distribution over the ice. The channel should provide an even flow over the whole length and surface area of the ice.

Sorption type dehumidifiers are recommended to be used in ice rinks and have a suitable capacity, which in the case of many ice rinks in Sweden implies around 20 kg/hour. Regarding the heat source for the dehumidifier regeneration, there are several choices but the most energy efficient way is to always use

recovered heat from the refrigeration system as much as possible. Recovered heat has the potential to cover up to 100% of the regeneration demand and after that electrical energy is only needed for the distribution fans.

Correct control of humidity level is important to achieve good ice quality and a healthy indoor climate. The dehumidifier should be controlled to maintain a specific absolute humidity or alternatively a dew point, where the latter should be kept between 0°C and ca 2°C. If it is lower than 0°C it intensifies the moisture loads and if it is higher than 2°C there is an increased risk of problems related to condensation.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary.....	5
Innehållsförteckning.....	7
Figurförteckning	8
1 Introduktion.....	9
1.1 Bakgrund och omfattning av NERIS-projektet.....	9
1.2 Omfattning av NERIS – Del 4: Fuktsäkra ishallar – konstruktion och dimensionering	9
2 Krav på ishallens byggnadsstruktur	10
2.1 Klimatskalet – tak och väggar	10
2.1.1 Värmeisolering.....	10
2.1.2 Luftspärr	11
2.1.3 Ångspärr	13
2.1.4 Typiska väggstrukturer	13
2.2 Ispisten.....	17
2.2.1 Täckt ispist	17
2.2.2 Icke täckt ispist	17
2.3 Klimatzoner.....	19
3 Krav på ventilationsfunktionen	21
4 Krav på avfuktningssystemets funktion.....	24
4.1 Kapacitet.....	24
4.2 Regenereringsluftens värmekälla	26
4.2.1 Återvunnen värme från kylsystemet	27
4.2.2 Fjärrvärme	27
4.2.3 Direktel	27
4.2.4 Hybrid	27
4.3 Avfuktningssystemets styr- och reglerstrategi.....	28
4.4 Avfuktningssystemets distribution	28
4.4.1 Placering	28
4.4.2 Kanaltyper.....	30
5 Diskussion	32
6 Referenser	33

Figurförteckning

Figur 1. En nybyggd ishall med stora inslag av trä samt perforerad plåt i väggarna.....	10
Figur 2. Spår av luftläckage mellan vägg och tak.....	11
Figur 3. Skorstenseffekten kan i en ishall byta riktning beroende på årstid. (Rakennustieto, 2007)	12
Figur 4. Exempel på väggstruktur som lämpar sig för Stockholms klimat. (Yousif & Dougla, 2017).....	14
Figur 5. Exempel på väggstruktur som lämpar sig för Kirunas klimat. (Yousif & Dougla, 2017)	14
Figur 6. Sandwichpanel med polyuretan som isoleringsmaterial.	15
Figur 7. Luftspärr/vindduk som en del av en väggs konstruktion (www.isola.se).	16
Figur 8. Dräneringsränna utanför ipisten för att hantera smältvatten.	17
Figur 9. Gruspist där även omgivande ytor i ishallen helt eller delvis är ”öppna”, dvs de har inget täckskikt.	18
Figur 10. Avfuktarens energianvändning i en ishall med gruspist.....	18
Figur 11. T.V. Öppna toalettdörrar mot ishallens arenarum. T.H. Oisolerade dörrar lämpar sig inte för att separera klimatzoner.....	19
Figur 12. Exempel på ett ismaskinsgarage med rullportar i båda ändar, vilka båda står öppna!	20
Figur 13. Ventilationsfunktionens distributionssystem i en ishall.....	21
Figur 14. CO ₂ -koncentrationen mätt under 24 timmar i en större arena vid ett matchtillfälle.	22
Figur 15. CO ₂ -halten i typisk ishall utan kontrollerat friskluftsintag under en sex dagar lång period.....	23
Figur 16. Aktivitet i en mellansvensk ishall.....	25
Figur 17. Befintlig avfuktarkapacitet i en ishall och uppskattat kapacitetsbehov för att kunna upprätthålla dimensionerat inneklimat.	26
Figur 18. Distributionsprincipen för en typisk ishalls ventilations- och avfuktningssystem.	29
Figur 19. Principlösning gällande placering av ventilations- och avfuktningsskanaler i en ishall.....	30
Figur 20. Textilkanal för både ventilation och avfuktning i en ishall.	31

1 Introduktion

1.1 Bakgrund och omfattning av NERIS-projektet

Projektnamnet NERIS är en initialförkortning på Nordicbuilt: Evaluation and Renovation of Ice halls and Swimming halls. NERIS leds av Institutionen för Bygghälsa på Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) i Stockholm, Sverige. Finansiellt stöd har fått från Formas (Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande) och Energimyndigheten. Projektets syfte är att "föreslå metoder för att kunna inspektera och utvärdera funktionsdugligheten i dessa typer av byggnader samt redovisa olika renoveringsåtgärder som kan förbättra prestandan". Detta betyder att man önskar uppnå en informationsbank gällande fukthantering i ishallar och simhallar. NERIS-projektet gick av stapeln 2014 och kommer att slutföras under 2018.

Denna rapport är den sista delen i en serie av fyra vars uppgift är att behandla fukt i ishallar. Tillsammans kommer de fyra rapporterna att analysera och förklara fuktens mekanismer i ishallsanläggningar. Inledningsvis kommer ishallstekniken att redogöras samt hur fuktproblematiken i en byggnad kan uppstå vid denna typ av applikation. Tanken är att därefter bygga en logisk ordning av rapporter i vilka fuktrelaterade utmaningar som fuktkällor och andra byggnadsfysikaliska egenskaper tillsammans med avfuktningssystemer samt deras energianvändningspåverkan beskrivs i ishallapplikationer. Målet är att de olika delarna i denna rapportserie ska kunna komplettera varandra samt kunna ge praktiska råd och instruktioner gällande dimensionering och planering av avfuktningssystem i ishallar.

1.2 Omfattning av NERIS – Del 4: Fuktsäkra ishallar – konstruktion och dimensionering

Denna rapport är den 4:e och sista delrapporten inom ramen för projektet NERIS som behandlar fuktproblematiken i ishallar. Denna kunskap är mycket grundläggande dels för att kunna dimensionera avfuktningssystemet men även för hur man konstruerar klimatskalet och väljer dess ingående material.

Grundat på innehållet i de tidigare delrapporterna redovisar denna sista rapport kraven på en ishallskonstruktion och avfuktningssystem m.a.p. fukthantering. Målet är att kunna skapa en så funktionsduglig och energieffektiv anläggning ur fuktsynvinkel som möjligt. Informationen ska kunna tillämpas både vid renovering och nyanläggning av ishallar.

2 Krav på ishallens byggnadsstruktur

2.1 Klimatskalet – tak och väggar

Förutom att kunna uppfylla de krav som ställs på dess bärkraft, är klimatskalets huvudsakliga syfte att separera inneklimatet från växlande förhållanden i omgivningen på ett energieffektivt sätt. Detta betyder att värme- och fukttransporter ska kunna ske kontrollerat och att mekanisk utrustning inte ska behöva arbeta i onödan för att upprätthålla de klimatförhållanden som är nödvändiga för den avsedda applikationen. Nedan redogörs kraven på de skikt i klimatskalet som anses vara viktigast vad gäller värme- och fukttransportmotstånd från omgivningsluften till ishallens inneklimat.

2.1.1 Värmeisolering

Skillnader i lufttemperatur är den drivande kraften bakom värmeöverföringen mellan två olika klimatzoner. Vid varmt uteklimat försöker värme ta sig in i den kallare ishallen, vilket ökar värmebelastningen på isen med ökat kylbehov som resultat. Vid kallare uteklimat kan det omvända ske, dvs. den relativt sett varmare ishallen avger värme till den kallare omgivningen. I dessa fall ökar värmebehovet i ishallen, då man oftast i arenarummet försöker upprätthålla en konstant temperaturnivå med luftvärmesystem.



Figur 1. En nybyggd ishall med stora inslag av trä samt perforerad plåt i väggarna.

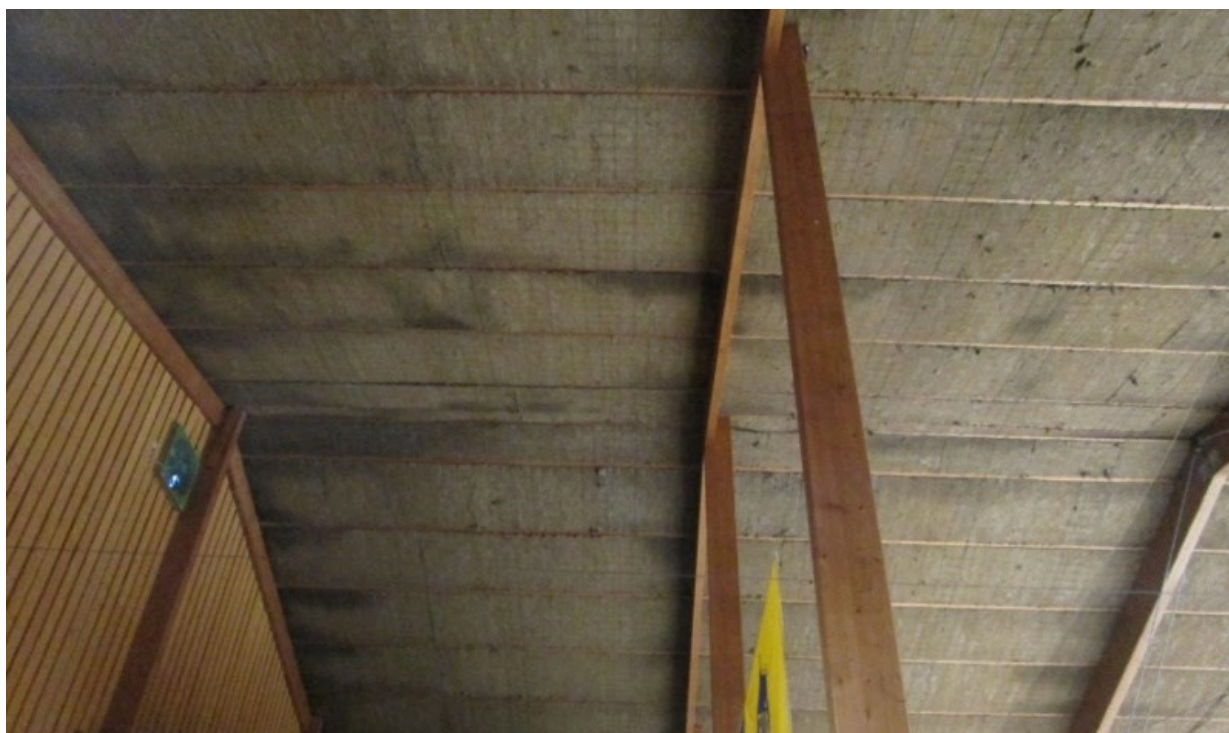
För att minimera kyl- och värmebehoven i en ishall p.g.a. det omgivande klimatet brukar man värmeisolera dess klimatskal. Isoleringsmaterialet fungerar som en termisk barriär mellan inne- och uteklimatet, där man strävar till att minimera oönskad värmeöverföring mellan klimatzonerna så att termisk komfort kan upprätthållas energieffektivt under hela året.

Material som kan användas till värmeisolering måste kunna tillföra tillräckligt höga värmemotstånd vid givna förhållanden. Det finns flera olika typer av lösningar, där valet av isoleringsmaterial inte sällan hänger på lokala priser och tillgänglighet. Ishallar i Sverige brukar i allmänhet värmeisoleras med mineralull eller polyuretan. Tjockleken på isoleringsskiktet dimensioneras så att det totala värmemotståndet kan försäkra anläggningens funktionsduglighet på ett kostnadseffektivt sätt, dvs. marginalnyttan i energieffektivitet ska vara värd dess investering.

2.1.2 Luftspärr

Luftläckage kan orsaka stora belastningar på ishallens inneklimat, och därför vill man ofta att dess förekomst i klimatskalet minimeras. Beroende på årstid kan det vara frågan om belastningar som ökar kyl-, värme-, eller avfuktningens behoven i anläggningen. Speciellt under varma perioder kan en ishalls funktionsduglighet bli en kritisk fråga ifall oönskade mängder varm och fuktig luft infiltrerar in i anläggningen och avfuktarens kapacitet inte räcker till.

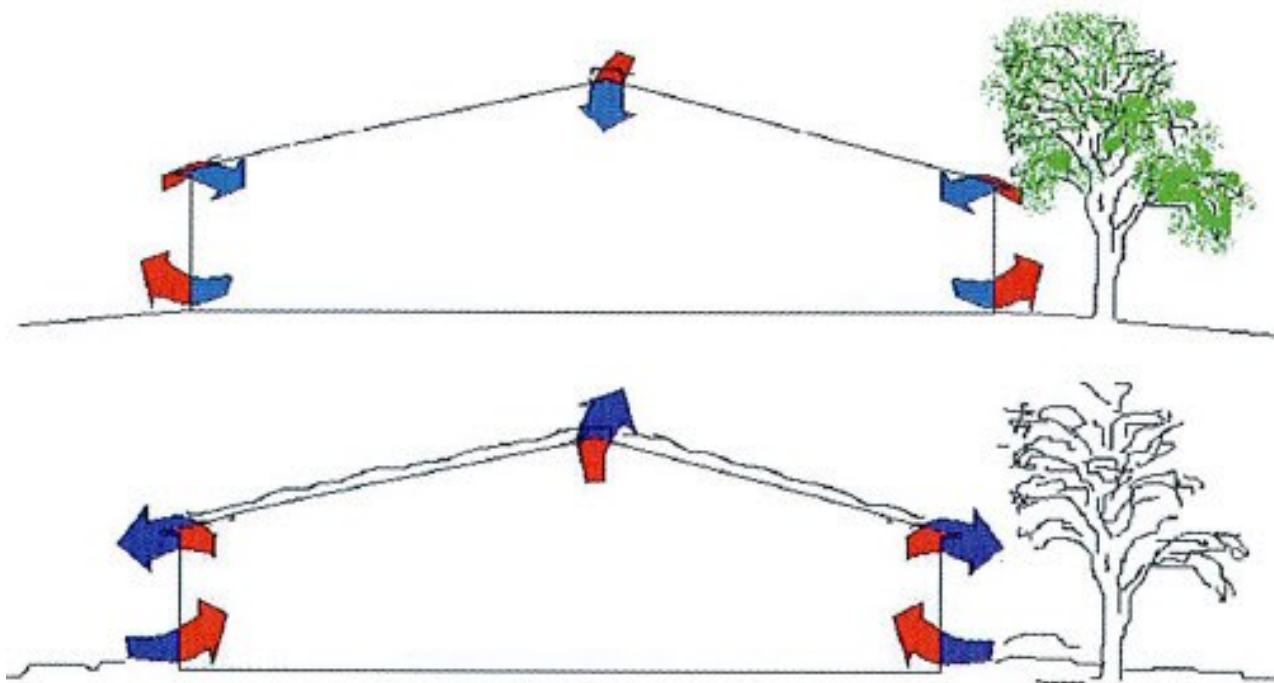
Olika materialtyper har olika egenskaper vad gäller luftpermeabilitet, dvs. hur lätt luft kan genomtränga materialet. Då flera materialsnitt slås ihop till en struktur i klimatskalet blir luftens dimensionerade genomträngningsförmåga genom samtliga skikt ofta låg. Icke önskat luftläckage uppstår dock huvudsakligen vid springor, fogar etc. i klimatavskiljande strukturer som inte är tillräckligt tättslutande. För att motverka denna typ av luftläckage installeras en luftspärr som ska hindra luft från att passera de små öppningarna i strukturen.



Figur 2. Spår av luftläckage mellan vägg och tak.

Vid installation av luftspärr är det viktigt att se till att den är kontinuerlig, speciellt där olika strukturer möts (till exempel väggar och tak). Brister i luftspärrens installation upptäcks ofta senare, eftersom det resulterande luftläckaget ökar fuktbelastningen på läckageöppningens omgivande materialsnitt och brukar med tiden lämna synliga spår. Figur 2 visar ett typiskt fall av luftläckage i en ishall där de mörka områdena avslöjar att luft läcker in i skarven mellan vägg och tak. Frånluftfläkten som ofta är ett är en kvarlämning

från tiden då ismaskiner hade förbränningsmotorer bidrar till läckaget. Missfärgningen är sannolikt en kombination av deponerade partiklar och eventuellt mögel. Ishallens insida är ofta relativt kall och när under säsongens början varm och fuktig luft läcker in så kommer den att fälla ut fukt på de ytor som är kallare än luftens daggpunkt. Detta är grunden till missfärgningarna som ofta uppträder i ishallars övre delar såsom tak och väggar.



Figur 3. Skorstenseffekten kan i en ishall byta riktning beroende på årstid. (Rakennustieto, 2007)

Under varma perioder råder en negativ tryckskillnad mellan inne- och uteluften i ishallens övre del, ovanför den neutrala trycklinjen som diskuterades i Del 3 av NERIS-projektet. Figur 3 visar konsekvenserna av dessa tryckskillnader, där varm och fuktig luft infiltrerar genom den övre delen av ishallens klimatskal. Detta tyder på att spår av luftläckage ofta brukar observeras i ishallens övre del där fukt har kondenserat på ytor som är kallare än den infiltrerade luftens daggpunkt.

På basis av det som konstaterats ovan kan man dra slutsatsen att det inte räcker med att bara använda sig av lufttäta material, utan man måste även tänka på helheten med alla detaljer och speciellt fokusera på anslutningspunkterna.

Allmänna krav på en byggnads täthet brukar bestämmas av lokala normer. I Sverige finns inga specifika täthetskrav på en ishall eller publik byggnad, dock nämns det i Boverkets byggregler att "Byggnadens klimatskärm ska vara så tät att krav på byggnadens specifika energianvändning och installerad eleffekt för uppvärmning uppfylls". Vidare konstateras det i samma regelverk att "För att undvika skador på grund av fuktkonvektion bör byggnadens klimatskiljande delar ha så god lufttäthet som möjligt. Särskild omsorg att åstadkomma lufttäthet bör iakttas vid höga fuktbelastningar som i badhus eller vid särskilt stora temperaturskillnader."

Ifall krav på en byggnads lufttäthet har ställts vid dess projektering, bör det verifieras att ställda krav har uppfyllts vid överlåtelse efter byggnation. Detta görs i form av ett tryckprov enligt Europastandard, där man med mekanisk utrustning skapar 50 Pa högt övertryck inne i byggnaden i förhållande till omgivningen.

Mätta luftflöden används sedan för att utvärdera klimatskalets prestanda. Det bör noteras att metoden endast fungerar som ett diagnostiseringsverktyg, och mäter inte det verkliga luftläckaget under normala tryckförhållanden. Del 3 i NERIS-projektet redogör två metoder för att estimerar det verkliga luftläckaget i en ishall.

Då en luftspärr hindrar luft från att passera genom ett klimatskal, kommer det att utsättas för tryck p.g.a. skorstenseffekten, ventilationssystem och vind. Vid materialval och installation måste man därför även ta i beaktan hållfasthetskraven på luftspärren.

2.1.3 Ångspärr

Diffusion av vattenmolekyler genom en struktur drivs av skillnaderna i de partiella ångtrycken i luften på var sida om strukturen. Diffusion är en mycket långsammare process för fukt att förflytta sig än konvektion, vilket gör det till en relativt liten fuktkälla i en ishall. Däremot kan diffusion av fukt ha allvarliga konsekvenser på ishallens struktur såsom väggar och tak under verkliga förhållanden. Vid diffusion av fukt genom strukturens skikt och då den relativa fuktigheten och temperaturen blir tillräckligt höga i någon punkt finns risken att mikroskador kan uppstå. Mikroskador kräver dock även tid för att kunna utvecklas, och i flera fall räknar man med att torra perioder i omgivningsklimatet kan naturligt torka bort denna from av fuktbelastning innan märkbara skador hinner ske.

Likt luftpermeabilitet har olika materialtyper även olika egenskaper vad gäller ångpermeabilitet, dvs. hur lätt vattenånga kan genomtränga materialet. För att förhindra diffusion av fukt genom en struktur installerar man ofta ett material med låg ångpermeabilitet en s.k. ångspärr. Medan en ångspärr och en luftspärr ska ses som separata funktioner, är det inte sällan som dessa uppfylls av samma materialsikt i strukturen där ångspärren även kan vara en luftspärr.

Ifall man väljer att installera en ångspärr är det viktigt att den placeras korrekt i ishallens klimatskal med hänsyn till klimatförhållandena på respektive sida om strukturen och materialvalen. Klassiskt brukar man i vanliga byggnader i Sverige placera ångspärren på insidan av strukturen, eftersom inneklimate brukar vara varmare och fuktigare än uteklimatet och fukt strävar då till att diffundera utåt genom klimatskalet. I fallet ishallar är dock det motsatta normalt aktuellt, dvs. om man har en ångspärr så ska den placeras på utsidan av strukturen. I ett svenskt perspektiv så finns ishallarna i olika klimatområden – från norr till söder – där omgivningsklimatet varierar mellan att vara både betydligt fuktigare till att vara torrare. Detta gör att fuktvandringen kan gå åt båda håll under en säsong.

Sammanfattningsvis kan man säga att en ångspärr absolut inte ska placeras på en ishalls insida! Om man kan visa att ånghalten alltid är högre på utsidan vilket i princip är fallet i södra Sverige så skulle man kunna tänka sig en ångspärr på utsidan. I praktiken rekommenderas att inte ha någon ångspärr och att man använder väggmaterial i väggen konstruktion som inte kan absorbera fukt. Materialens betydelse diskuteras vidare nedan.

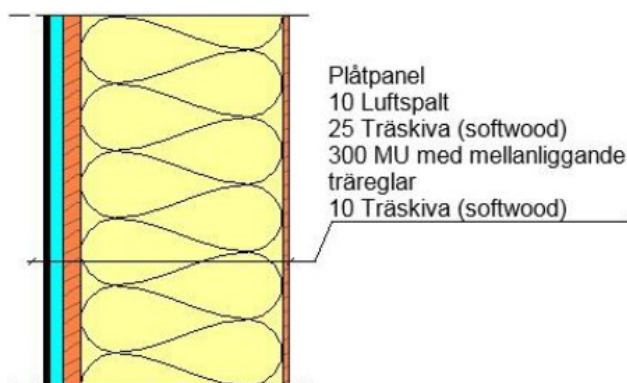
2.1.4 Typiska väggstrukturer

Typiska väggstrukturer i ishallar har analyserats i en studie utförd på KTH vad gäller prestanda i olika klimatområden och årstider i Sverige (Yousif & Douglass 2017). Det huvudsakliga syftet har varit att bedöma risken för fuktskador och mögelpåväxt i dessa strukturlösningar.

En allmän regel gällande ångtransportmotstånd i en klimatskiljande struktur är att motståndet på den varmare och fuktigare sidan av väggkärnan ska vara högre än på den kallare och torrare.

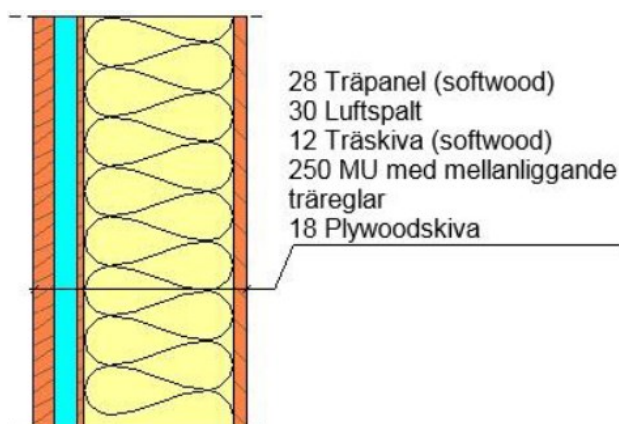
Ångtransportmotståndet i ett materialskikt bestäms av materialets ångpermeabilitet och skiktets tjocklek. I de fall man i strukturen placerar en ångspärr bör det göras på den varma och fuktiga sidan om värmeisoleringsmaterialet. Dock måste strukturlösningen alltid analyseras noggrant för att man ska kunna försäkra dess funktionsduglighet i de lokala klimatförhållandena.

Figur 4 visar en enligt analyserna lämplig vägglösning för en typisk ishall i Stockholms klimat. I denna lösning fungerar plåtpanelen som väderskydd med en ventilerad luftspalt till omgivningsklimatet. Väggekärnan består av en träskiva som fungerar som vindskydd, mineralull som värmeisoleringsskikt, och en träskiva på insidan. Eftersom fuktnivån i omgivningsklimatet ofta är högre än inne i ishallen under större delen av året i Stockholms klimatområde bör ångtransportmotståndet på utsidan om värmeisoleringen vara högre än på insidan, vilket i denna vägglösning har åstadkommits med en tjockare träskiva på utsidan än på insidan i väggekärnan.



Figur 4. Exempel på väggstruktur som lämpar sig för Stockholms klimat. (Yousif & Dougla, 2017)

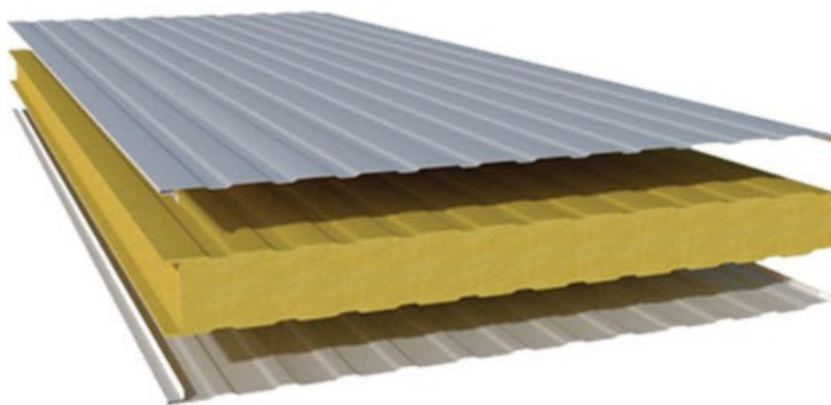
Figur 5 visar en enligt analyserna lämplig vägglösning för en typisk ishall i Kirunas klimat. I denna lösning fungerar träpanelen som väderskydd med en ventilerad luftspalt till omgivningsklimatet. Väggekärnan består av en träskiva som fungerar som vindskydd, mineralull som värmeisoleringsskikt, och en plywoodskiva på insidan. Kiruna har under en stor del av året ett klimat som är torrare än i ishallen, vilket betyder att ångtransportmotståndet på insidan om värmeisoleringen ska vara högre än på utsidan för att förhindra diffusion av fukt genom väggen utåt. I detta fall har man valt en tjockare plywoodskiva till insidan eftersom materialet är mer resistent mot ångtransport än den smalare träskivan på väggekärnans yttre sida.



Figur 5. Exempel på väggstruktur som lämpar sig för Kirunas klimat. (Yousif & Dougla, 2017)

I de analyserade vägglösningarna har det antagits att fuktlagring är en nödvändig och viktig funktion i en klimatskiljande struktur. Orsaken är att det antas kunna utnyttjas som en buffert mellan fuktiga och torra perioder, och därför har mineralull använts exklusivt som värmeisoleringsmaterial i den analyserade vägglösningarna. I fallet ishallar råder dock inte full enighet om huruvida fuktlagring är nödvändigt, bra, eller dåligt. Därför ska man inte utesluta andra alternativ till isoleringsmaterial som har låga fuktlagringsegenskaper, t.ex. polyuretan.

Plast- eller plåttäckta sandwichpaneler har under den senaste tiden blivit allt vanligare lösningar till klimatskal i ishallar p.g.a. deras goda värme- och fuktisoleringssegenskaper samt att de är praktiska att installera. Figur 6 visar ett exempel på en panel där isoleringsmaterialet packas mellan två skikt av plast eller plåt. Eftersom plast och plåt är impermeabla material vad gäller luft och fukt, fungerar de som respektive luft- och ångspärrar och gör sandwichpanelerna på så sätt luft- och diffusionstäta. Risken finns dock att fukt kan börja lagras i isoleringsmaterialet ifall det via konvektion lyckas ta sig in i strukturen genom öppningar, vilket ökar kraven på panelernas installation där man bör se till att de ansluts väl till varandra och att fogarna tätas till så att varken luft eller fukt kan ta sig igenom. Vidare rekommenderas det att isoleringsmaterialet inte är av en typ som absorberar fukt, t.ex. mineralull. Till t.ex. kyl- och fryslager brukar ofta isoleringsmaterial baserade på polyuretan eller polyisocyanurat användas.



Figur 6. Sandwichpanel med polyuretan som isoleringsmaterial.

Huruvida en ångspärr bör användas i en ishalls klimatskal förblir en något öppen fråga. Som fuktkälla är diffusion av fukt genom en ishalls klimatskiljande strukturer närmast oväsentlig, dock bör man försäkra att strukturerna i sig är funktionsdugliga och att diffunderande fukt inte kan leda till fuktskador och mögelpåväxt. P.g.a. av det speciella inneklimatet i en ishall och dess förhållande till det varierande utomhusklimatet kan det konstateras att fukt antingen inte borde kunna diffundera genom klimatskalet alls eller så bör strukturen göras så att eventuell fukt som tar sig in i strukturen även kan ta sig ur den. I de fall man i strukturen väljer att placera en ångspärr, bör det göras på den varma och fuktiga sidan om värmeisoleringsmaterialet i strukturen vilket kan bero på i vilket klimatområde ishallen befinner sig. Exakt placering av ångspärr hänger även på val av andra material i strukturen, och bör analyseras noggrant för att försäkra att risk för fuktskador inte föreligger.

Allmänt kan det dock konstateras att en ångspärr inte borde vara nödvändig i Sveriges klimat, utan det räcker med att fukttransportmotståndet i klimatskalets skikt har dimensionerats rätt så att eventuell fukt som diffunderat in i strukturen även kan ta sig ut på andra sidan. Ifall klimatskalet består av diffusionstäta

sandwichpaneler bör man se till att fogarna är tättslutande, eller försäkra att eventuell fukt som konvektivt tar sig in i strukturen via öppningar, springor etc. även kan ta sig ut så att skadlig fuktbelastning förhindras.

När det gäller minimering av fukt- och värmebelastning på ishallens inneklimat, bör största fokus läggas på att förhindra luftläckage genom klimatskalet. En luftspärr kan i princip placeras var som helst i väggkärnan ifall den har lågt ångtransportmotstånd. Ur installationssynvinkel brukar det vara lättare att placera luftspärren på väggkärnans yttre sida, då insidan oftare kommer i kontakt med andra strukturella element.



Figur 7. Luftspärr/vindduk som en del av en väggs konstruktion (www.isola.se).

Ångtransportmotståndet bör i en luftspärr vara så låg som möjligt för att inte påverka strukturens fuktbalans vad gäller diffusion. Tabell 1 jämför en luftspärrens ångtransportmotstånd med andra typiska byggmaterial. För ett material med given tjocklek anges ett Sd-värde som representerar ångtransportmotståndet i jämförelse med luft, dvs. 0,4 mm plåt har samma ångtransportmotstånd som 1500 m luft. Man kan med denna information dra slutsatsen att plåt och polyeten är effektiva ångspärrar, medan bl.a. plywoodens effekt på ångtransportmotståndet även kan tillämpas i strukturer. Luftspärrsmaterialet kan väljas så att det har ett så pass lågt Sd-värde att det inte påverkar fuktbalansen i en struktur vad gäller diffusion, och kan därför placeras var som helst i klimatskalet. Versioner av luftspärrsmaterial finns där ångtransportmotståndet är högre, och då måste dess effekt på fuktbalansen beaktas.

Tabell 1. Ångtransportmotstånd i typiska väggkonstruktionsmaterial.

Material	Tjocklek (mm)	Sd-värde (m)
Metallplåt	0.4	1500
Polyeten	0.2	70
Plywood	18	12.6
Trä	28	5.6
Mineralull	200	0.26
Gipsskiva	13	0.11
Luftspärr/vindduk	0.2 – 0.3	0.05 – 0.7

2.2 Ispisten

Ispisten spelar en viktig roll i ishallens energianvändning då den ska användas till att föra bort värme från isen under hela issäsongen. Eftersom en köldbärare cirkulerar i banrören som ligger i pisten, bör ispistens värmeöverföringsegenskaper vara optimerade för att få en så funktionsduglig och energieffektiv anläggning som möjligt. Ytlagret som banrören ligger i ska ha den högsta möjliga värmekonduktiviteten för att främja värmeöverföringen mellan is och köldbärare, medan lagret under banrören ska vara så värmeisolerat som möjligt för att minimera onödiga värmebelastningar och risken för problem med tjäle. I praktiken kan en ispist indelas i två typer: täckt och icke täckt.

2.2.1 Täckt ispist

Den vanligaste typen av ispist är täckt med ett lager av betong eller asfalt i vilket banrören ligger. Denna lösning anses vara fördelaktig då det är praktiskt att lägga is och pistytan förorenar inte isen. För att förhindra okontrollerad spridning av smältvatten vid säsongens slut kräver lösningen ett dräneringssystem som placeras runtom pisten för att samla det smältvattnet och sedan leda det till avloppssystemet. Själva ispisten absorberar mycket lite fukt, som naturligt torkar utanför issäsong.



Figur 8. Dräneringsränna utanför ispisten för att hantera smältvatten.

På grund av sin funktion kommer ispisten att ha olika temperaturnivåer under året som dessutom skiljer sig från omkringliggande strukturer. Detta resulterar i att betong- eller asfaltlagret krymper och expanderar vilket orsakar tryckförhållanden som i värsta fall kan orsaka skador i omkringliggande strukturer eller själva ispisten. Den täckta ispisten ska därför separeras från omkringliggande golvstrukturer genom en sk dilatationsfog för att förhindra detta.

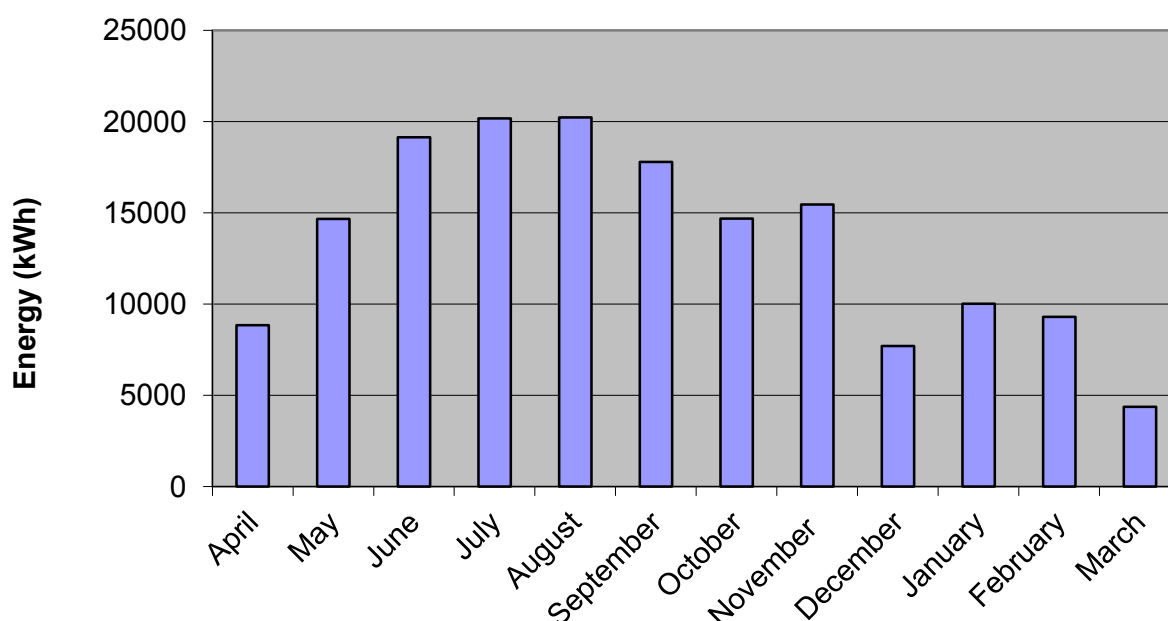
2.2.2 Icke täckt ispist

En billigare investeringslösning är att lägga banrören i ett gruslager, se exempel i Figur 9 där även rören kan ses i gruset. I denna pistlösning ligger rören fritt i gruslagret vilket underlättar installationen i jämförelse med en täckt pist. Dock blir pistens underhåll något besvärligare och gruspistar kan även bidra till att smutsa ned ishallens övriga utrymmen.



Figur 9. Gruspist där även omgivande ytor i ishallen helt eller delvis är "öppna", dvs de har inget täckskikt.

En aspekt som påverkar drift och skötsel av en gruspist är att den absorberar och avger fukt. När issäsongen är över och isen smälter, sjunker vattnet ned genom grusytan. Denna fuktmängd lagras i någon mån i gruset och börjar sedan avges (förångas) till ishallens inneklimat när det blir varmare i hallen. Detta skapar en betydlig fuktbelastning. Figur 10 visar ett exempel där avfuktaren i en ishall med gruspist hade lämnats i drift även efter issäsong. Den höga energianvändningen under sommarmånaderna (april – augusti) – trots att hallen inte är i drift - visar på att avfuktaren måste arbeta "hårt" för att avfukta inneklimatet. Fuktkällan är både fukt som hade lagrats i ispisten men även inläckande omgivningsluft. Konsekvensen är en skyhög elräkning till ingen nytta!



Figur 10. Avfuktarens energianvändning i en ishall med gruspist.

Fukten i en ishall måste hanteras under ickesäsong men att köra avfuktaren är förmodligen den bästa lösningen. Framförallt fuktavgivningen från ispisten och övriga delar av golvet som inte är täckt måste vädras ut så att den relativa fukten nominellt hålls under 70% där gränsen för mögeltillväxt ligger. Annars kan fuktskador i ishallen uppstå. Detta visar att gruspister ur fuktsynvinkel kommer att öka belastningen utanför säsong. Har man sedan golvytor av grus som inte är täckta, dvs öppet grus eller motsvarande, så kommer det att bidra till fuktbelastningen både under och utanför säsong. Det rekommenderas därför att man åtminstone täcker golvytor runt pisten med asfalt eller motsvarande för att undvika marken som fuktkälla i hallen.

2.3 Klimatzoner

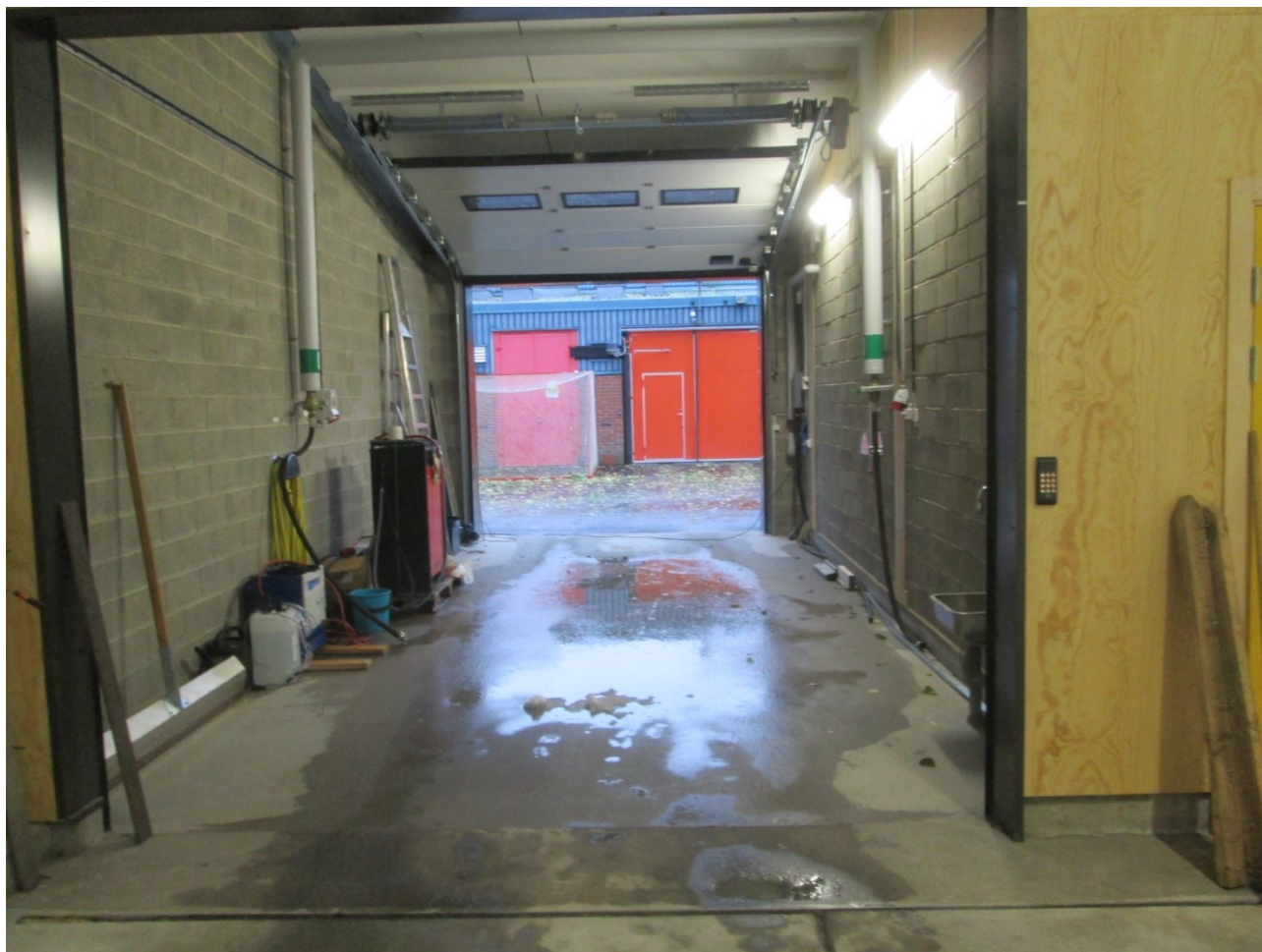
Luftläckage genom en ishalls klimatskal anses vara den största fuktkällan och har därför legat i fokus i NERIS-projektet. Dock finns det inom ishallen utrymmen vars inneklimate är märkbart annorlunda än i arenarummet som t.ex. omklädningsrum, duschar, kafeteria mm. Dessa utrymmen har högre temperaturer och fuktnivåer och bör därför behandlas som separata klimatzoner från arenarummet i ishallens byggnaden. Detta innebär att arenarummet bör hållas avskilt från de övriga klimatzonerna med isolerade väggar och portar, ha separata luftbehandlingssystem, och att luftläckage utrymmena emellan ska vara så lågt som möjligt. Figur 11 visar ett exempel på oönskat luftläckage genom avsiktliga öppningar, där toalettdörrar har lämnats öppna så att varmare och fuktigare luft kan ta sig in i ishallens arenarum. För att förhindra dessa typer av scenarion bör dörrar och portar förses med stängningsfunktioner, dörrpumpar. Vidare rekommenderas det att minimera antalet avsiktliga öppningar till övriga klimatzoner, t.ex. genom att tillämpa s.k. luftslussar som diskuterades i den 3:e delrapporten.

Ett viktigt tillägg angående separation av klimatzoner är att även de avskiljande dörrarna måste vara tillräckligt isolerade, annars ökar risken för onödiga värmebelastningar och kondensproblem. I exemplet nedan med de öppna toalettdörrarna visar det sig att själva dörrarna är av enkel och oisolerad variant, vilket inte är gynnsamt.



Figur 11. T.V. Öppna toalettdörrar mot ishallens arenarum. T.H. Oisolerade dörrar lämpar sig inte för att separera klimatzoner.

Ett annat fall är ismaskinsgaraget som ofta brukar vara i anslutning till både arenarummet och omgivningsklimatet. Detta för att kunna behandla isen med läggvatten samt köra bort isskrap som dumpas utanför ishallen. Detta sker flera gånger under dagen för att kunna upprätthålla iskvaliteten och risken finns då att portarna mellan arenarummet, ismaskinsgaraget och det fria hålls öppna samtidigt vilket skapar direkt luftläckage från omgivningen in i ishallens arenarum. Garaget bör därför förses med automatiska portar som kan manövreras av ismaskinsföraren så att dessa aldrig är öppna samtidigt.



Figur 12. Exempel på ett ismaskinsgarage med rullportar i båda ändar, vilka båda står öppna!

På bilden ovan ses en transportgång/ismaskinsgarage där båda portarna är utförda som rullportar vilka dessutom kan fjärrmanövreras. Detta är en bra lösning där utrymmet i fråga kan fungera som en sluss. Tyvärr var vid detta tillfälle båda portarna öppna!

3 Krav på ventilationsfunktionen

Friskluft är en förutsättning för att kunna upprätthålla ett tillfredsställande inneklimat, vilket gör dess tillgång obligatoriskt i byggnader. Utan tillgång till friskluft höjs nivåerna på CO₂-halten och andra föroreningar i inneluften vilka bevisligen har negativa följder för människans prestationsförmåga och i värre fall även för hälsan. Därför föreskriver lokala byggnormer ett minimum på friskluftsflöde, vilket i Sverige är 0,35 l/s/m² i ett utrymme som även normalt kompletteras med 7 l/s/person beroende på utrymmets användningssyfte (t.ex. , skolor, kontorsmiljöer, mm).



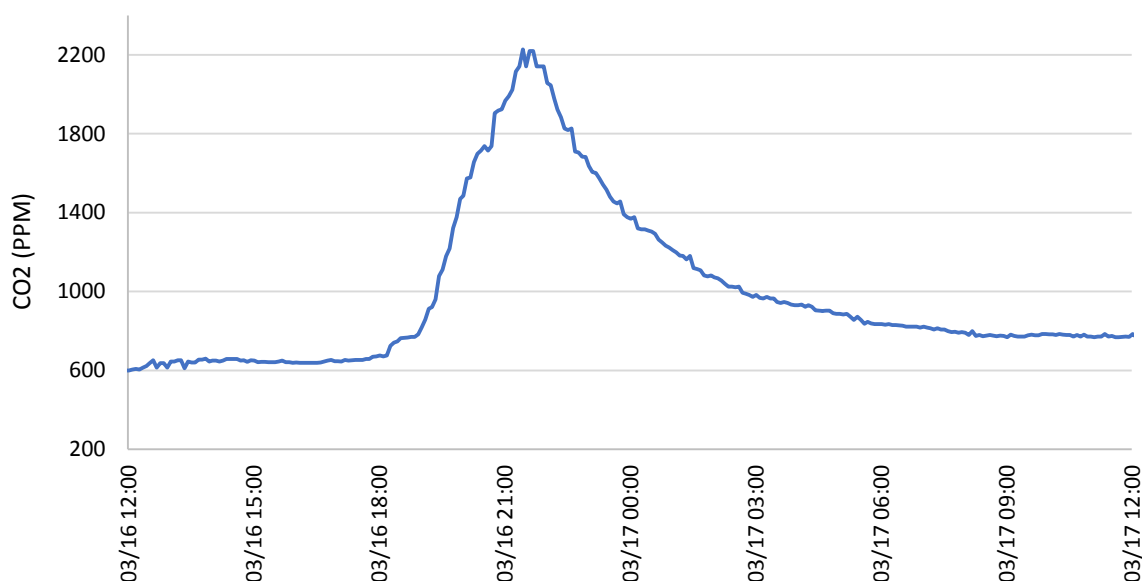
Figur 13. Ventilationsfunktionens distributionssystem i en ishall.

En mera avancerad metod som nuförtiden appliceras är behovsstyrd ventilation, dvs. kapacitetsreglerat friskluftflöde för att upprätthålla luftkvaliteten på en bestämd nivå. Som indikator används ofta CO₂-halten, vars nivå även brukar korrelera med koncentrationerna av andra föroreningar i inneluften. För en 8-timmar lång arbetsdag har man i flera länder satt 5000 ppm som gränsvärde på CO₂-halten för att undvika negativ fysiologisk inverkan. Detta är dock en hög nivå i sig som sällan uppnås under normala omständigheter i ishallar.

Ett aktuellt gränsvärde som används i Sverige för kontor, skolor och liknande är det som anses vara komfortgränsen, dvs. då luftkvaliteten duger och inte borde påverka en människas välmående eller mentala prestationsförmåga. Enligt flera standarder är denna gräns 1000 ppm, dock verkar det inte finnas något uppenbart skäl varför det är på just denna nivå och det finns argument som pekar på att man istället borde ha flexibla gränsvärden som tar i beaktan byggnadstypen och dess användningsprofiler (Persily, 2015). Som ett exempel kan det nämnas att skolor i Storbritannien har satt ett gränsvärde på 1500 ppm på CO₂-medelvärdet under skoldagen (Department of Education and Skills, 2006). Samma gränsvärde kan också påträffas i skolor i bl.a. Tyskland och Schweiz (Deutsches Institut für Normung, 1994), (Schweizerische Normen Vereinigung, 1992).

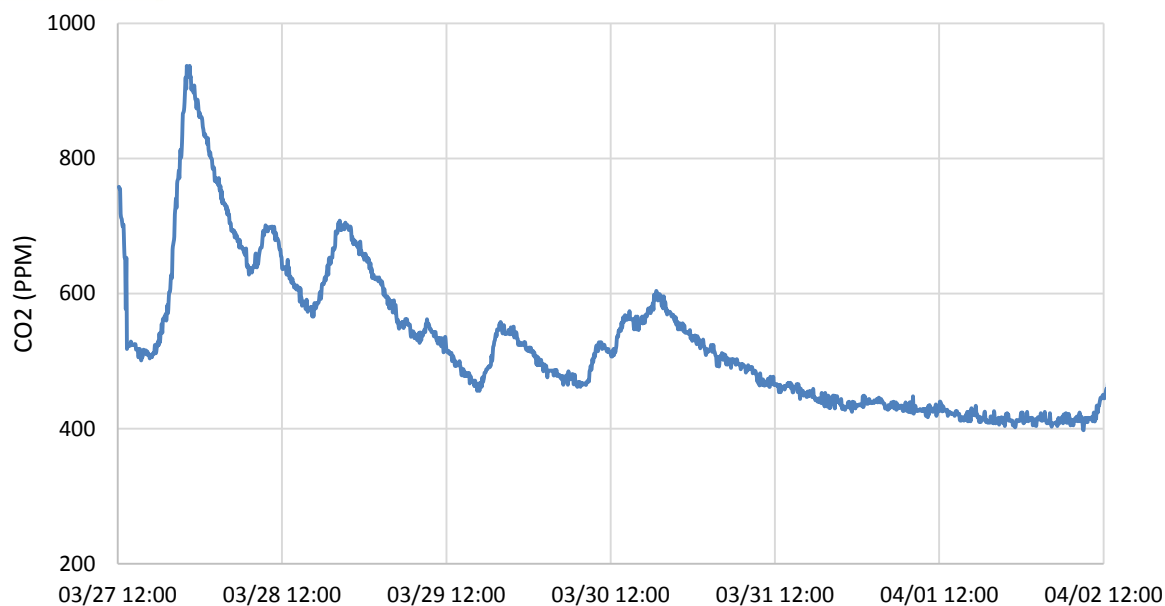
I jämförelse med skolor, kontor och andra publika byggnader är en ishall naturligtvis ett helt annat fall. Denna typ av anläggning är sällan i full användning, dvs. så att den maximala personbelastningen uppnås, och för de fall den är fullsatt är det oftast frågan om exponering under relativt korta tidsperioder - normalt 2–3 timmar. Aktiviteten i en ishall skiljer sig också väsentligen från andra byggnader såsom kontor och skolor. Det kan argumenteras att den typen av användare som spelare och åskådare utgör i anläggningen är mindre beroende av CO₂-nivåer än vad t.ex. kontorsarbetare eller skolelever då de exponeras för inneklimatet under 8-timmar per dag.

CO₂-mätningar har utförts i en större ishall med ca 4000 åskådare och resultaten kan ses i Figur 14. Komfortgränsen på 1000 ppm överskrids under matchperioden om ca 2,5 timmar, dock hålls den med god marginal under 5000 ppm. Vidare kan det observeras att efter dess användning så sjunker CO₂-halten ner under natten till den normala nivån p.g.a. luftläckage. Eftersom denna form av användning inte sker så ofta i en ishall, kan det diskuteras huruvida det är nödvändigt för en sådan anläggningen investera i ett luftbehandlingssystem som ska kunna täcka det maximala behovet av friskluft (för att hålla CO₂-nivån under 1000 ppm). Personerna/åskådarna kommer knappast att uppleva några komfortproblem under denna kortvariga exponering så friskluftsbehovet är i praktiken betydligt mindre än man i många fall dimensionerar för. Detta gör att man i många anläggningar skulle klara sig med lägre kapacitet på ventilationen än vad som faktiskt installeras.



Figur 14. CO₂-koncentrationen mätt under 24 timmar i en större arena vid ett matchtillfälle.

Figur 15 visar den uppmätta CO₂-halten i en ishall av genomsnittlig storlek i Sverige under en sex dagar lång period. Här ser man att komfortgränsen på 1000 ppm aldrig överskrids, trots att man i anläggningen inte aktivt tar in friskluft. Mätningar i andra anläggningar av samma typ och storlek visar max-värden på ca 1200 ppm, vilket tyder på att aktivt intag av friskluft i dessa befintliga anläggningar inte verkar medföra någon egentlig nytta utan endast orsakar onödig belastning på anläggningens energisystem. De flesta anläggningar har så stor oavsiktlig friskluftsventilation så de behöver ingen aktiv ventilering, dvs friskluftsintag. Ifall dessa anläggningar däremot vore lufttätare, dvs hade mindre ofrivillig ventilation, så kunde behovsstyrda friskluftsintag vara mer aktuellt.



Figur 15. CO₂-halten i typisk ishall utan kontrollerat friskluftsintag under en sex dagar lång period.

Ventilationssystemets huvudsakliga uppgift i ishallar brukar ofta snarare vara att distribuera värme, då ventilationsaggregatet typiskt är anslutet till en värmekälla. Ur energibesparingssynvinkel är återvunnen värme från kylsystemet en utmärkt värmekälla, då det är frågan om "gratis" värme vars temperaturnivå i flera kylsystemstyper tillfredsställer kraven för att kunna användas i denna form av uppvärmning av arenarummet.

Uppvärmning av ishallens arenarum ska dock inte användas som metod för att motarbeta fuktproblematiken, det sköts av ishallens avfuktningssystem. För att undvika onödig värmebelastning på isen är det därför viktigt att varm luft distribueras korrekt i arenarummet. Krav på distribution av varm luft behandlas i samband med distributionen av avfuktad luft i sektion 4.4.

4 Krav på avfuktningsfunktionen

Avfuktningsbehovet i en ishall beror på hur stora fuktkällorna (fuktlaster) är. Fuktblastningen styrs av mängden fukt som tar sig in i en ishall genom klimatskalets luft- och fukttransportmotstånd samt ventilationens minimering av friskluftsintag. Krav på dessa och övriga metoder för att minimera luftläckage har redogjorts tidigare i denna delrapport.

För att ytterligare minska fuktnivån i en ishall så att den blir funktionsduglig krävs aktiv avfuktning, dvs. ett avfuktningssystem. De tidigare delrapporterna i NERIS-projektet har visat starka argument för behovet av aktiv avfuktning i en ishall, och i denna sista delrapport kommer allmänna krav på ett avfuktningssystem att redogöras bl.a. vad gäller design, storlek och användning.

4.1 Kapacitet

Avfuktarens kapacitetskrav är en rätt komplex fråga som hänger på flera faktorer. De viktigaste är:

- Ishallens volym
- Ishallens användning och publikmängd
- Issäsongens längd och tid på året
- Geografisk placering, dvs lokala klimatförhållanden
- Klimatskalets lufttäthet

Ishallar kan variera i storlek beroende på publikbehovet, vilket i det fall det är högt ökar ishallens volym betydligt. Ishallens volym påverkar i sig inte fuktnivån, men eftersom klimatskalets area blir större finns det fler möjligheter för luftläckage vilket ökar fuktblastningen. Även ishallar som täcker mer eller mindre lika stora ytor och har lika hög publikkapacitet kan ha mycket olika volymer p.g.a. skillnader i takhöjd. De vanligaste ishallarna i Sverige har en publikkapacitet som rör sig mellan 500–1000. Dessa anläggningars arenarum täcker en markyta på omkring 2200–2800 m² och har en volym på ca 16 000 till 25 000 m³. Avfuktningsbehovet kommer att variera stort i olika ishallar, och varje ishall måste därför analyseras separat.

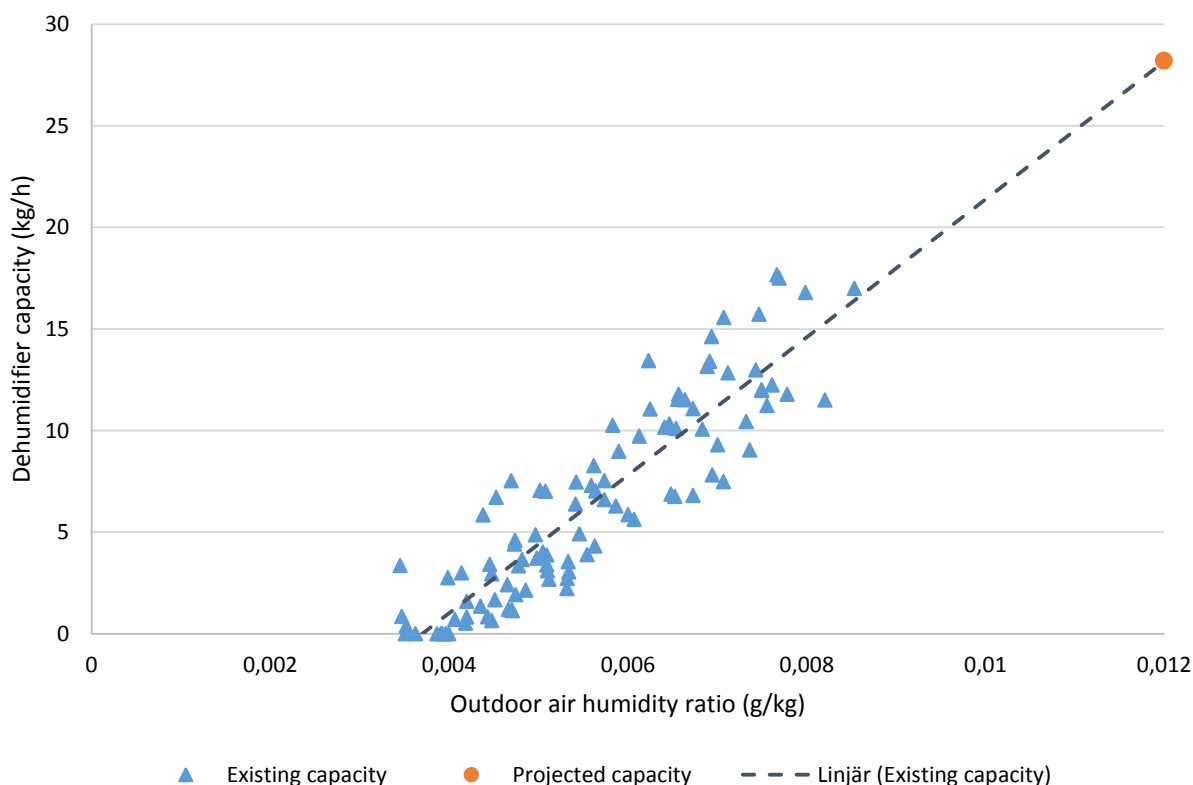


Figur 16. Aktivitet i en mellansvensk ishall.

Förutom ishallens storlek spelar även issäsongens längd och när den infaller på året stor roll. Avfuktningsbehovet ökar markant ifall issäsongen börjar i augusti jämfört med oktober, och ytterligare ifall man vill driva ishallen hela året. Det lokala klimatet spelar också en märkbar roll i avfuktningsbehovet och analyserades i den 1:a delrapporten av NERIS-projektet. I Sverige kunde det speciellt noteras att avfuktningsbehovet sjunker märkbart i norra delen av landet, då tre olika klimatområden jämfördes.

För att ge allmän indikation på avfuktningsbehovet i en typisk ishall i mellersta- och södra Sverige, kan beräkningar utföras baserat på tillgängliga data från en befintlig anläggning som har issäsong från slutet av juli till mitten av mars. Avfuktarens kapacitet är 20 kg/h vid ett processluftintag med 2°C daggpunkt (8°C varm luft med relativ luftfuktighet på 65%). Då inneklimatet analyserades kunde det observeras att avfuktarens kapacitet inte räckte till för att kunna täcka avfuktningsbehovet under den fuktigaste perioden av säsongen. Den dimensionerade daggpunktsnivån 2°C överskreds under 10% av säsongens dagar, vilket ändå indikerar att kapaciteten räckte till under den största delen av säsongen.

Figur 17 visar samlade data på avfuktarens kapacitetsnivå i ishallen då den dimensionerade daggpunktsnivån i inneklimatet kunde upprätthållas. Baserat på dessa data kunde en linjär trendlinje beräknas som indikerar avfuktarens kapacitetskrav i förhållande till fuktnivån i omgivningsklimatet. Enligt denna beräkningsmodell skulle avfuktarens kapacitet i denna ishall ökas från 20 till 28 kg/h för att kunna upprätthålla daggpunktsnivån i ishallen under 100% av säsongens dagar, istället för de 90% som är läget idag. Det antas här att den högsta möjliga fukthalten i omgivningsluften skulle kunna uppgå till 12 gH₂O/kg,luft, vilket är mycket högt med svenska mått mätt men ändå möjligt. Detta är ganska stor ökning i kapacitet, och huruvida det verkligen är nödvändigt är något som även måste utredas från fall till fall. Långt ifrån alla tekniska system dimensioneras för "värsta fallet" och avfuktare i en ishall är sannolikt en av dessa applikationer.



Figur 17. Befintlig avfuktarkapacitet i en ishall och uppskattat kapacitetsbehov för att kunna upprätthålla dimensionerat inneklimat.

Sammanfattningsvis visar Tabell 2 specifikationerna på en sorptionsavfuktare som borde kunna uppfylla avfuktningsbehovet under största delen av säsongen i en typisk ishall i Sverige. Dock måste dessa specifikationer ses snarare som en allmän tumregel, och det verkliga avfuktningsbehovet behöver i specifika fall analyseras vidare.

Tabell 2. Dimensionering av avfuktare för en typisk ishall i Sverige.

Avfuktningskapacitet	20 kg/h
Processluft, in	4.3 g H ₂ O per kg luft (ex. temperatur = +7°C och RH = 70%)
Omgivningsklimat	10 g H ₂ O per kg luft (ex. temperatur = +20°C och RH = 65%)

4.2 Regenereringsluftens värmekälla

Största delen av en sorptionsavfuktarens energianvändning går till uppvärmningen av dess regenereringsluft som används för att skapa torr luft. Värmekällan kan variera, det viktiga är att kapaciteten räcker till och finns på tillräckligt hög temperaturnivå för att kunna täcka avfuktningsbehovet. För att uppnå energieffektiv och lönsam drift rekommenderas det att välja värmekälla enligt prioritetslistan nedan:

1. Återvunnen värme från kylsystemet
2. Fjärrvärme
3. Direktel

där återvunnen värme i allmänhet är det billigaste alternativet och fjärrvärme i de flesta fall brukar vara billigare än el. Man kan också tänka sig kombinationer av dessa där t ex el eller fjärrvärme kan användas

som komplement eller back-up till återvunnen värme. Dessa lösningar och vad de innebär energimässigt behandlades i Neris delrapport 2 varför vi hänvisar till den för ytterligare detaljer. Nedan följer en kort repetition.

4.2.1 Återvunnen värme från kylsystemet

En lösning är att använda sig av avgiven värme från ishallens kylsystem, som annars släpps ut i omgivningen ifall den inte återanvänds som värmekälla till något annat. Dock måste värmen vara av tillräckligt hög temperaturnivå för att kunna användas i avfuktningsprocessen, vilket gör det till en utmaning att värma regenereringsluften endast med återvunnen värme från kylsystemet. Det flesta traditionella avfuktare kräver upp till 120°C varm regenereringsluft, men under senare år har man med anpassningar kunnat sänka kraven. Idag finns det sorptionsavfuktare som kan klarar sig med cirka 55°C, vilket öppnar möjligheten för att kunna täcka hela värmebehovet i avfuktningsprocessen med återvunnen värme från kylsystemet. Nackdelen med dessa modeller är att fläkteffekten ofta ökar något då regenereringsluftflödet ökar, vilket i sammanhanget ofta är acceptabelt eftersom det är frågan om att använda "gratis" värme som ändå gör lösningen till ett lönsamt alternativ.

Kylsystemet behöver kunna leverera 30-50 kW värme vid cirka 60°C för att kunna täcka sorptionsavfuktarens behov. Under senare tid har kylsystem baserade på CO₂ som köldmedium blivit mer populära, och dessa kan avge värme som uppfyller just dessa krav. En annan lösning är att ansluta en värmepump till värmebärarsidan i kylsystemet som kan höja temperaturen på avgiven värme från kylsystemet till den nivå som krävs.

4.2.2 Fjärrvärme

Många ishallar i Sverige använder sig av kylsystem vars avgivna värme inte uppnår de temperaturnivåer som krävs i avfuktningen. T.ex. ammoniaksystem avger största delen av värmen på temperaturnivåer upp till 35°C, vilket inte räcker till.

Fjärrvärme är en mycket vanlig värmekälla i många applikationer i Sverige. Fördelen brukar i många fall vara dess tillgänglighet och pris. I ishallar är avfuktningens behovet som högst under den varma perioden av året, vilket är optimalt då priset på fjärrvärme under denna tid på året ofta brukar vara lägst.

4.2.3 Direktel

Direktel anses ofta vara energislöseri för att producera värme då det finns effektivare lösningar. Dock är det i Sverige ofta ansett som en acceptabel lösning, eftersom elpriserna är relativt låga i landet, men borde endast användas ifall de lönsammare alternativen som tidigare nämndes inte finns tillgängliga.

Ifall man väljer att använda direktel som värmekälla i en sorptionsavfuktare, ökar betydelsen för att optimera själva avfuktarens drift. Aggregat med låga fläkteffekter, gärna EC-fläktar, rekommenderas och helst ska fläktarna även kapacitetsregleras t ex med frekvenskontroll. Det finns ytterligare funktioner såsom intern återvinning sk purge som också hjälper till att effektivisera driften.

4.2.4 Hybrid

Ifall återvunnen värme från kylsystemet inte till sin temperaturnivå och kapacitet räcker till för att täcka avfuktningssystemets värmebehov, kan man fortfarande applicera det i en hybridlösning med en annan

värmekälla som spets. Detta innebär att regenereringsluften förvärms i återvinningsvärmeväxlaren och sedan slutvärms i en värmeväxlare ansluten till den kompletterade värmekällan. På detta sätt har man åtminstone utnyttjat gratisvärme som avges från kylsystemet och kan spara i energikostnaderna. Som spets rekommenderas fjärrvärme eller direktel.

4.3 Avfuktningssystemets styr- och reglerstrategi

Korrekt styrning av fuktnivån är som konstaterats i Neris del 3 viktigt för att kunna åstadkomma god iskvalitet och ett hälsosamt inneklimat i byggnaden. När luftens fuktighet i ishallar diskuteras så utgår man, som tidigare konstaterats, ofta från att den relativa luftfuktigheten. Problemet är att den varierar med lufttemperaturen, som i sin tur ofta varierar under säsongen i ishallar. Därför bör luftfuktigheten diskuteras i "absoluta termer" för att få rätt bild. Detta kan också göras genom att använda begreppet "daggpunkt".

Det visar sig att daggpunkten i en ishall bör vara någonstans mellan 0°C och ca 2°C. Är daggpunkten lägre än 0°C så ökar fuktbelastningen av att t ex läggvattnet förångas i större utsträckning. Om å andra sidan daggpunkten är högre än ca 2°C så ökar risken för oönskad kondens på sarg och andra byggnadsdelar som framförallt kyla av isen. Kondensen på sargen skapar ispåväxt som i sin tur gör att isen måste "knackas" bort vilket skapar mycket extraarbete.

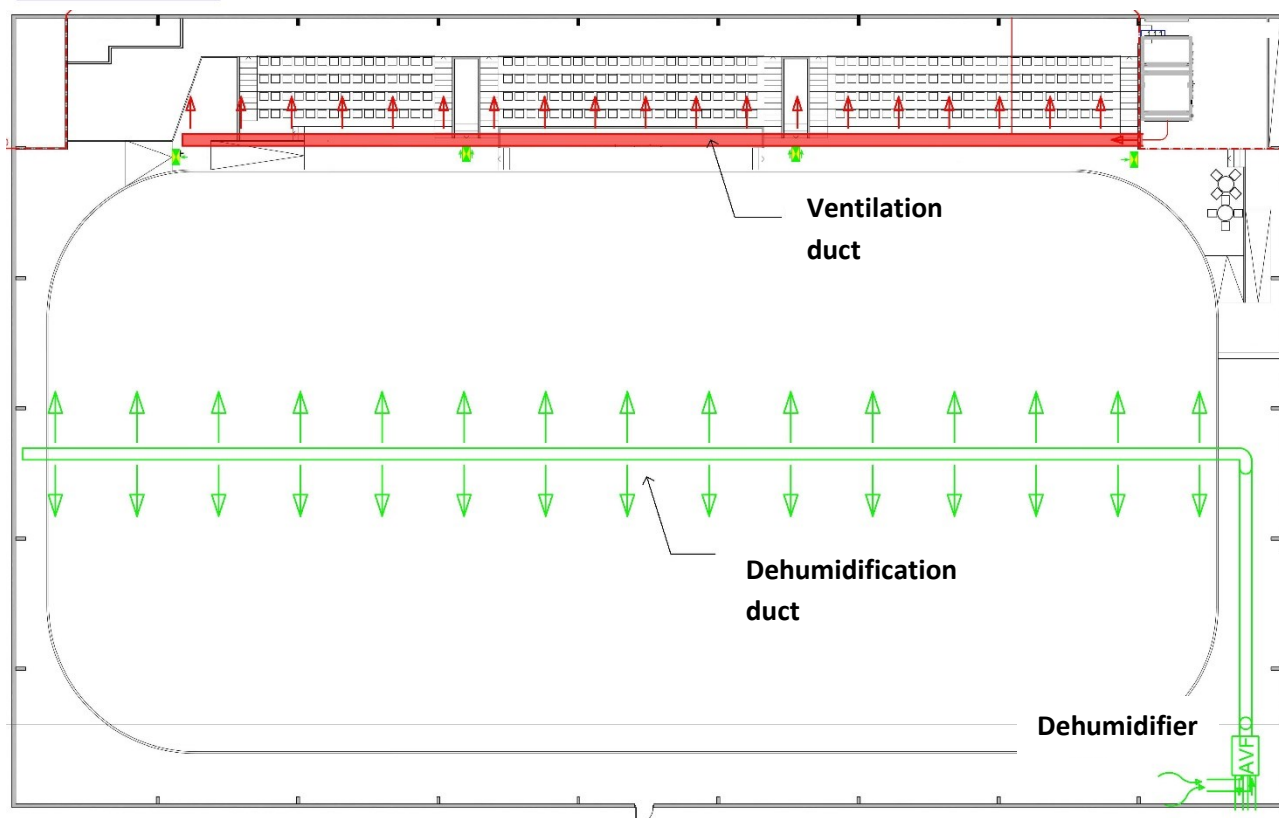
Med denna kunskap och kännedom om att befintliga styrsystemen ofta går att ställa om till rätt styrprincip så framstår besparingen som "en lågt hängande frukt", dvs med minimal investering kan en relativt stor besparing göras. Även om en ny styrenhet skulle behövas så är det i sammanhanget en liten investering att göra uppgradering.

4.4 Avfuktningssystemets distribution

Förutom aggregatet och kontrollstrategin är det även viktigt att avfuktningssystemets distribution dimensioneras väl så att torr luft förs dit där den behövs i ishallen för att göra anläggningen funktionsduglig på det energieffektivaste sättet.

4.4.1 Placering

Avfuktningssystemets huvudsakliga uppgifter är att se till att vattenånga i luften inte kondenserar på ishallens strukturer, vilket oftast sker i taket, eller på själva isen. För att minimera dessa risker rekommenderas det att distributionen av torr luft sker mitt ovanför isen nära taket. Figur 18 visar distributionsprincipen för en typisk ishalls ventilations- och avfuktningssystem, där det även framgår att dessa rekommenderas hållas separata.

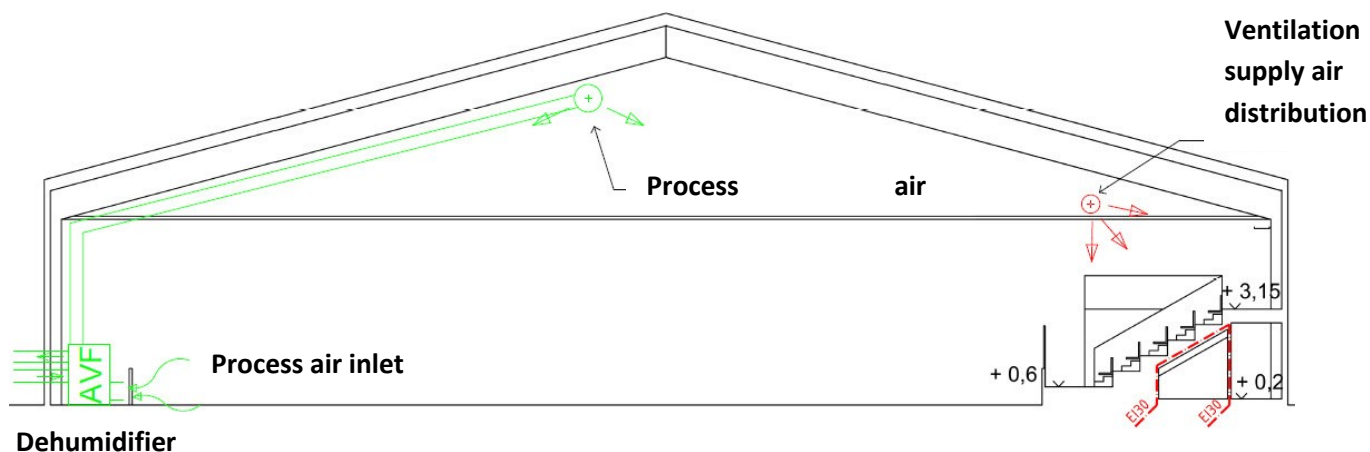


Figur 18. Distributionsprincipen för en typisk ishallens ventilations- och avfuktningssystem.

Varm luft i ishallens arenarum ska inte användas som metod för att motarbeta fuktproblematiken, som sköts av ishallens avfuktningssystem, utan endast för att täcka värmebehoven som finns i arenarummet. För att undvika onödig värmebelastning på isen är det därför viktigt att varm luft från ventilationssystemet riktas dit den behövs, dvs. läktarna. Detta innebär att varm och torr luft bör distribueras i separata kanaler för att på ett energieffektivt sätt skapa ett optimalt inneklimat i arenarummet.

Figur 19 visar sektion på den rekommenderade principlösningen, där man kan notera att läktarna och isen bildar två separata klimatzoner. Vid läktarna är luften varmare medan ovanför isen är den svalare och torrare. För att kunna upprätthålla den svala och torra klimatzonen ovanför isen bör avfuktningssystemets kanal placeras mitt ovanför isen så nära taket som möjligt.

Genom att sprida torr och sval luft högt ovanför isen motarbetar man den naturliga temperaturgradienten som bildas i luften ovanför isen. Detta resulterar i att takkonstruktionens ytor hålls svalare och torrare vilket minskar värmebelastningen från taket mot isen via strålning och även risken för kondensbildning vid takets ytor som lättast blir offer för fuktskador. För att kunna leverera sval torrluft, bör processluftens intag ske nära golvytan där luften är som svalast. Ifall avfuktaren är placerad på en högre nivå än isytan, bör en kanal för processluften dras ner till golvnivå från avfuktaren.



Figur 19. Principlösning gällande placering av ventilations- och avfuktningsskanaler i en ishall.

4.4.2 Kanaltyper

Distribution av luft där det behövs bör ske jämnt och med låga hastigheter för att skapa bästa resultat. Två typer av kanaler kan användas för detta syfte, gjorda av plåt eller av textil.

Distributionskanaler gjorda av plåt är det vanligaste alternativet, där flödet regleras med spjäll. Takkonstruktionens hållfasthet måste tas i beaktan vid installation av denna typ av kanaler då de är relativt tunga. Vidare blåser luft från kanalerna via lokalt anslutna dysor, vilket ökar risken för att luften inte sprids jämnt. Underhåll av ventilationskanalerna är också arbetsdrygt då det ofta görs lokalt med bomlift eller motsvarande arbetsplattformar.

Textilkanaler är ett modernare alternativ med många fördelar. De kan levereras som dyskanaler vilket lämpar sig väl för jämn distribution av luft, se exempel i Figur 20. Installation av dess kanaler är rätt enkelt, där de ansluts till varandra med blixtlås, och deras lätta vikt underlättar arbetet ytterligare. Den lätta vikten kan med fördel även utnyttjas vid underhållsarbete, eftersom det går lätt att montera ned kanalerna för underhåll och sedan montera dem tillbaks när arbetet är klart.



Figur 20. Textilkanal för både ventilation och avfuktning i en ishall.

Installationen som visas i bilden ovan är ett bra exempel på hur distributionssystemen för både ventilation och avfuktning kan lösas på ett funktionellt och estetiskt bra sätt. Anläggningen har läktare runt om hela arenarummet och därför är ventilationskanalen utformad som en ring. Kanalen är av textiltyp och har dysor som riktar luften mot läktaren så att den övertempererade luften kommer dit den ska, dvs till åskådarplatserna. I mitten och högt upp i konstruktionen är torrluftkanalen placerad vilken distribuerar torrluften över iszonen. På detta sätt skapar man i möjligaste mån olika klimatzoner i arenarummet vilka är anpassade för isen respektive åskådarna.

5 Diskussion

Rapporten har som syfte att sammanfatta kunskaperna från de tidigare delrapporterna inom Neris och överföra dessa till konkreta dimensionerings- och konstruktionsanvisningar. Målet är att läsaren ska kunna skapa en funktionsduglig och energieffektiv anläggning ur fuktsynvinkel.

Förutom att kunna uppfylla de krav som ställs på dess bärkraft, är klimatskalets huvudsakliga syfte att separera inneklimatet från växlande förhållanden i omgivningen på ett energieffektivt sätt. Detta betyder att värme- och fukttransporter ska kunna ske kontrollerat och att mekanisk utrustning inte ska behöva arbeta i onödan för att upprätthålla de klimatförhållanden som är nödvändiga för den avsedda applikationen.

För att undvika fukt- eller mögelskador i en klimatskiljande struktur är en allmän regel att ångtransportmotståndet på den varmare och fuktigare sidan av väggkärnan ska vara högre än på den kallare och torrare. Detta hänger ihop med ishallens geografiska placering och i en tidigare studie har det konstaterats att i norra Sverige ska ångtransportmotståndet vara större på insidan av klimatskalet, medan i mellersta och södra Sverige ska ångtransportmotståndet vara större på dess utsida.

När det gäller minimering av fukt- och värmebelastning på ishallens inneklimat, bör stort fokus läggas på att förhindra luftläckage genom klimatskalet. En luftspärr kan i princip placeras var som helst i väggkärnan ifall den har lågt ångtransportmotstånd. Speciellt viktigt är det vid installation att se till att luftspärren hålls kontinuerlig vid anslutningspunkterna mellan olika strukturer, t.ex. väggar och tak.

Ispisten brukar antingen vara täckt med betong eller grus. En gruspist är i allmänhet en billigare lösning, men ur driftssynvinkel något besvärligare eftersom fukt absorberas i gruslagret. När man efter issäsong smälter bort isen så ökar fuktbelastningen i anläggningen genom att fukten avges till ishallens inre när lufttemperaturen ökar. Golvytor bör i allmänhet täckas så att inte markfukten tillförs ishallens inre vilket gäller både för issäsong som utanför densamma. Under icke issäsong bör ishallen friskluftsventileras för att kontrollera fukten i framförallt arenarummet.

Förutom omgivningsklimatet är det även viktigt att ishallens arenarum isoleras väl från andra klimatzoner (toaletter, omklädningsrum, ismaskinsgarage mm.) helst med luftslussar. Klimatskiljande dörrar, portar mm. ska hållas stängda så mycket som möjligt för att förhindra luftläckage, och dessutom vara isolerade och lufttäta för att minimera risken för fuktproblem och onödiga värmebelastningar.

Arenarummets ventilation rekommenderas att normalt driftas med endast luftåtercirkulation, d.v.s. uteluftens inlopp ska vara stängt. Detta minskar fuktbelastningen i ishallen, medan naturligt luftläckage genom ishallens struktur ofta räcker för att upprätthålla nödvändiga CO₂-nivåer. I den bästa av världar är eventuell tilluft styrd på arenarummets CO₂-nivå så att friskluft endast tas in om det skulle behövas.

Distributionen av ishallens ventilationsvärme och avfuktning ska ske i separata system. Den allmänna principen gällande ventilation är att man vill undvika att varm luft blåser mot isen, vilket innebär att ventilationskanaler helst ska placeras utanför isytan och blåsa mot de åskådare mm. som behöver den, inte isen. För avfuktning är en lämpligare distribution med en mittkanal i taknock ovanför isen som ger en jämnare distribution av avfuktad luft ovanför isen. Kanalen ska ge ett jämnt flöde över hela längden och ytan.

Vid val av avfuktare till en ishall så rekommenderas en sorptionsavfuktare med erforderlig kapacitet och av s.k. varmvattenregenererad modell. Det betyder att återvunnen värme från kylsystemet potentiellt kan användas för upp till 100 % av avfuktningssprocessen. Med ett anpassat kylsystem som har en bra värmeåtervinningsfunktion så finns värmen tillgänglig och då möjliggörs en stor besparing.

Korrekt styrning av fuktnivån är viktigt för att kunna åstadkomma god iskvalitet och ett hälsosamt inneklimat i byggnaden. När luftens fuktighet i ishallar diskuteras så utgår man ofta från att den relativa luftfuktigheten. Problemet är att den varierar med lufttemperaturen, som i sin tur ofta varierar under säsongen i ishallar. Därför bör luftfuktigheten diskuteras i "absoluta termer" för att få rätt bild. Detta kan också göras genom att använda begreppet "daggpunkt". Följaktligen ska avfuktare styras för att hålla en specifik absolut fukt eller kanske något lättare att kommunicera, daggpunkt. Det visar sig att daggpunkten i en ishall bör vara någonstans mellan 0°C och ca 2°C. Är daggpunkten lägre än 0°C så ökar fuktbelastningen av att t ex läggvattnet förångas i större utsträckning. Om å andra sidan daggpunkten är högre än ca 2°C så ökar risken för oönskad kondens på sarg och andra byggnadsdelar som framförallt kyla av isen.

6 Referenser

- Rogstam, J., Pomerancevs, J., Bolteau, S., Grönqvist, C. NERIS - Del 1, Fuktproblematiken i ishallar - en introduktion. EKA/KTH NERIS 2017.
- Rogstam, J., Pomerancevs, J., Bolteau, S., Grönqvist, C. NERIS - Del 2, Metoder och energianvändning för avfuktning i ishallar. EKA/KTH NERIS 2017.
- Rogstam, J., Pomerancevs, J., Bolteau, S., Grönqvist, C. NERIS - Del 3, Fukttransport i ishallar – mekanismer och fysik. EKA/KTH NERIS 2018.
- Department of Education and Skills. Ventilation of school building - version 1.4 (2006). United Kingdom.
- Deutsches Institut für Normung. DIN 1946 - Part 2 (1994).
- Persily, A. (2015). Challenges in developing ventilation and indoor air quality standards: The story of ASHRAE Standard 62. *Building and Environment*, 91, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.026>
- Rakennustieto. (2007). Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka.
- Schweizerische Normen Vereinigung. Swiss standard: Technical requirements for ventilation systems (1992).
- Yousif, S., & Douglass, A. (2017). *Hur skall en ishallsvägg byggas?* KTH, Byggt teknik och design, Stockholm.