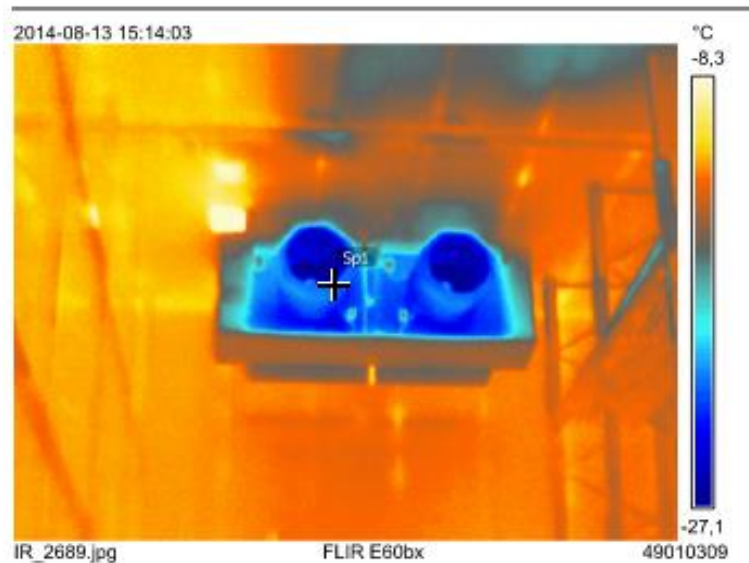


# FUKTSÄKERHET I KALLA LAGERBYGGNADER

*Förstudie*



**Mikael Oxfall, Fredrik Gränne, Stephen Burke**

**2020-11-13**

# FÖRORD

Denna rapport är framtagen inom SBUF-projektet Förstudie av fuktsäkerhet för klimatskalet i kalla hallbyggnader (SBUF 13 253). Projektledare för projektet har varit Fredrik Gränne, NCC Building.

Arbetet i projektet utfördes till en början av Maria Wickström (då som doktorand på KTH) tillsammans med Fredrik Gränne NCC efter att projektet initierats tillsammans med Johan Silfverbrand KTH. Senare arbete i projektet har utförts av Fredrik Lettosunti NCC, Mikael Oxfall NCC och Stephen Burke NCC. Huvudförfattare till rapporten är Mikael Oxfall NCC tillsammans med medförfattarna Fredrik Gränne NCC och Stephen Burke NCC.

Projektgruppen vill rikta ett stort tack till SBUF för finansiellt stöd och engagemang, vilket möjliggjort genomförandet av denna förstudie. Vi vill även tacka kollegor som hjälpt till med erfarenhets- och faktainsamling samt de fastighetsägare som gett möjlighet till platsbesök. Tack också till Maria Wickström och Johan Silfverbrand för arbetet i projektet.

Uppsala/Solna/Lund november 2020

# SAMMANFATTNING

Stålplåtsbussor med mellanliggande mineralull har under de senaste decennierna uppförts världen över för att serva invånarna med bland annat lagerbyggnader och sportarenor. De senaste årtiondena har ett antal artiklar redovisat problem med fukt, mikroorganismer och takras i olika typer av konstruktioner för ishallar. De stora problemen med dessa typer av byggnader, som lett till stora ekonomiska förluster, ohälsa och i vissa fall dödsfall, har engagerat forskare världen över. Av de rapporterade problemen kretsar flertalet kring kondensation på och i klimatskalet. Utöver mänskliga värden kostar dessa problem miljontals kronor för branschen i form av renoveringar och dåliga energivärden.

Det finns risk för liknande problem även för lagerhallar, som används som kylbussor, eftersom det finns stora likheter i utformningen mellan dessa och ishallar. Förstudien har varit att kartlägga inomhusklimatet och identifiera kritiska punkter med hänsyn taget till klimatet utanför hallen och verksamheten inne i hallen. Det långsiktiga målet är att utveckla byggfysikaliska rekommendationer för lagerbyggnaders klimatskal.

I detta projekt har en initial litteraturstudie genomförts för att ge en bild av kunskapsläget och ge en utgångspunkt för fortsatt arbete som har bestått i kartläggning av fuktproblematiken i kylbussor. Problemen i tre olika kylbussor och fryslager beskrivs mer ingående som fallstudier.

Den absolut största skillnaden mellan en kall lagerbyggnad jämfört med ett vanligt lager i stort är att under hela eller stora delar av året råder omvända temperatur och luftfuktighets förhållanden över konstruktionens väggar och tak. Kalla lagerbyggnader kan därmed ses som en byggnad som vänts ut och in. Kalla lager kan generellt delas in i två huvudgrupper, fristående anläggningar och inbyggda anläggningar. För en inbyggd anläggning så kommer kyl/frys-lagret alltid under drift vara kallare och torrare än omkringliggande klimat medan ett fristående lager periodvis kan utsättas för det motsatta.

Vid inbyggda kalla lager med gemensam grundplatta kommer betongplattan under väggen att utgöra en stor köldbrygga. En köldbrygga under väggen kan även bidra till nedkylning av utrymmen utanför det kalla lagret vilket kan bidra till ökat uppvärmningsbehov i närliggande lokaler.

För kalla lager är det av avgörande vikt att förstå effekterna av tryckförhållanden i lagret på grund av temperaturen. Då kall luft sjunker medför detta att ett undertryck uppstår i lagrets ovkant och extra stort krav ställs på att takelementen, men framför allt att skarven mellan tak och vägg, görs hermetiskt täta.

Effekten av ett luftläckage är oftast mycket större än effekten av diffusion. Risken för omfattande inläckage är som störst vid stora temperatur- och ånghaltsvariationer mellan inner- och ytterklimat men är både aktuellt och bör beaktas både för fristående och inbyggda kalla lager.

För att minska mängden varm luft som kan komma in till ett kallt lager genom dörrar och portar är det viktigt att dessa utförs som täta konstruktioner, draperier som minskar luftflöden och i vissa fall med luftslussar.

Diffusion av vattenånga uppstår vid koncentrationsvariationer av vattenånga i luft. Fukttackumulering i takelement på grund av kondensation av den inträngande fukt in i elementen kan med tiden medföra överbelastning och i värsta fall kollaps av takelement eller hela konstruktioner.

I ett kallt lager kommer ytkondensation alltid ske till viss grad. Att detta inträffar är nära på omöjligt att undvika då det oftast endast krävs ett mindre fukttillskott för att kondensation skall uppstå på ytor med temperatur under daggpunkt. Trots att viss kondensation på ytor är ofrånkomligt ska det inte medföra att varor eller människor tar skada. Ytkondensation kan både ske inne i ett kylager eller på konstruktionens utsida. Risken för ytkondensation på utsidan beror på omgivande klimat samt lagrets yttemperatur. En orsak till detta är då att den omgivande klimatet möjliggör snabbare uttorknings genom vind samt solstrålning. För inbyggda kylrum är dock risken större att kondensation på lagrets utsida uppstår då det enkelt kan bli zoner där yttemperaturen förblir låg under längre tid. Exempel på sådan konstruktion är om man har luftspalt mellan kylagret och huvudlagret och en sådan spalt ej ventileras finns en ökad risk att långvarig kondensation uppstår med påväxt till följd. Vid ett styrt klimat där RF i den omgivande anläggningen hålls låg krävs en lägre yttemperatur för att kondens skall uppstå.

I kalla lager där temperaturen understiger 0°C finns risk för isbildning; risken ökar med lägre temperatur. Isbildningen kan uppstå i olika scenarion beroende på typ av lager samt typ av verksamhet. Vad gäller isbildningsproblematik finns två approacher för att motverka eller begränsa dess effekter, kontinuerlig sanering eller att styra fukttillförseln genom att minimera införsel eller avfukta luften i lagret. I lagret så är störst risk att is bildas i anslutning till aggregat, portar eller andra öppningar då dessa zoner innebär större mängd inträngande fuktig luft utifrån eller lägre yttemperaturer. Denna typ av påväxt är då en effekt av att fukt i uteluften kondenserar och fryser på konstruktionens utsida.

Alla kylager är unika och dess utformning samt utformningen av kylsystem bör ske i samråd mellan övriga projektörer för en fungerande helhetslösning. Det som är generellt är att man bör ha hårda krav på lufttäthet för frysrum som ska användas året runt och lägga mycket fokus på lufttätheten i projektet, speciellt på utsidan av frysrummets klimatskal. Lufttätheten bör verifieras tillsammans med termografering. Man måste också säkerställa ångspärrens placering i ytterväggen så fort man har en kallare klimat inomhus än utomhus. Placeras ångspärren på fel ställe finns det hög risk för eventuella kondensation och fuktskador i klimatskalet.

# INNEHÅLL

<b>1</b>	<b>BAKGRUND</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>SYFTE</b>	<b>5</b>
2.1	MÅL	5
2.1.1	<i>Projektets anknytning till SBUF:s mål och inriktning</i>	5
2.2	AVGRÄNSNINGAR	6
2.3	VILKEN NYTTA SOM PROJEKTRESULTATEN KAN TÄNKAS GÖRA	6
<b>3</b>	<b>METOD</b>	<b>6</b>
3.1	LITTERATURSTUDIE	6
3.2	FALLSTUDIER	6
<b>4</b>	<b>RESULTAT</b>	<b>6</b>
4.1	KONSTRUKTIONSUPPBYGGNAD	6
4.1.1	<i>Väggar och tak</i>	7
4.1.2	<i>Bottenplatta</i>	7
4.1.3	<i>Grundläggning</i>	8
4.2	POTENTIELLA SKADEFALL OCH DESS ORSAK	8
4.2.1	<i>Konvektion</i>	8
4.2.2	<i>Diffusion</i>	10
4.2.3	<i>Ytkondensation</i>	10
4.2.4	<i>Isbildning</i>	11
4.3	ERFARENHETER OCH LIKHETER MED ISHALLAR	12
4.3.1	<i>Neris - del 1 Fuktproblematiken i ishallar - en introduktion (6)</i>	12
4.3.2	<i>Neris - del 2 Metoder och energianvändning för avfuktning i ishallar (7)</i>	13
4.3.3	<i>Neris - del 3 Fuktransport i ishallar – mekanismer och fysik (8)</i>	13
4.3.4	<i>Neris – del 4 Fuktsäkra ishallar – konstruktion och dimensionering (9)</i>	14
4.4	FALLSTUDIER	15
4.4.1	<i>Kylrum 1</i>	15
	Skadefall/Observation	15
	Fastställd skadeorsak	16
	Åtgärd	16
	Resultat/Slutsats	16
4.4.2	<i>Frysrum 1</i>	17
	Bakgrund/Skadefall/Observation	17
	Fastställd skadeorsak	17
	Åtgärd	17
	Resultat/Slutsats	17
4.4.3	<i>Kylrum 2</i>	18
	Bakgrund/Skadefall/Observation	18
	Fastställd skadeorsak	18
	Åtgärd	19
	Resultat/Slutsats	19
	<b>SLUTSATSER</b>	<b>20</b>
	<b>FÖRSLAG PÅ FORTSATTA STUDIER</b>	<b>20</b>
	<b>REFERENSER</b>	<b>21</b>

# 1 BAKGRUND

Under de senaste decennierna har mängder av stålplåthallar med mellanliggande mineralull uppförts världen över för att serva invånarna med bland annat lagerbyggnader och sportarenor. De senaste 30-åren har de platsbyggda konstruktionerna även kompletterats med sandwichelement med ytskikt av stålplåt och en kärna av stenull, PIR eller PUR. Dessa byggs snabbt och marknadsförs därför som både energi- och kostnadseffektiva. Att bygga snabbt, billigt och energieffektivt är i dag inte bara ett mål för byggherren och brukaren utan ingår även i samhällets mål. Byggnader ska alltid uppfylla kravformuleringen i Boverkets byggregler (BBR) (1) men utöver det blir det allt vanligare att byggnader klassas enligt olika miljöcertifieringssystem, som tex BREEAM och Miljöbyggnad, vilka ställer högre krav på byggnaden än BBR.

De senaste årtiondena har ett antal artiklar redovisat problem med fukt, mikroorganismer och takras i olika typer av konstruktioner för ishallar, se tex (2) (3) (4) och (5) De stora problem med dessa typer av byggnader, som lett till stora ekonomiska förluster, ohälsa och i vissa fall dödsfall, har engagerat forskare världen över. Utöver mänskliga värden kostar dessa problem miljontals kronor för branschen i form av reoveringar och dåliga energivärden.

Tidigare har en större studie av ishallar, NERIS (6) (7) (8) (9), genomförts på KTH. Då utformningen av kalla lagerbyggnader ofta liknar en ishall förväntas att finna intressanta synergier mellan dessa lagerhallar och ishallar. Forskning visar en ökning av antalet rapporterade fuktproblem i ishallar, varav de flesta kretsar kring kondensation på och i klimatskalet (10) (11).

En ytterligare komplikation vad gäller kalla lagerhallar är att dessa ofta byggs utan kännedom om brukarens individuella rörelsemönster eller behov av klimatisering (styrning av temperatur, relativ fuktighet och ventilation), eller att man bygger generella lagerlokaler som senare delvis inreds som en kall lagerhall. Därmed ställs krav på att byggnaden måste klara alla typer av klimat. I byggnader där inomhustemperaturen ibland eller ofta är lägre än utomhustemperaturen blir drivkrafter för fukt och luftflöde annorlunda än i vanliga byggnader. Detta har medfört i en del projekt där man inte har beaktat det att fuktskador eller luftläckage har uppstått då utformningen har fokuserat på fel saker. Detta projekt kommer utgöra en förstudie som är tänkt att följas av flera för att skapa och sprida kunskap.

## 2 SYFTE

### 2.1 Mål

Förstudiens mål är att kartlägga inomhusklimatet och identifiera kritiska punkter med hänsyn till klimatet utanför hallen och verksamheten inne i hallen. Denna ansökan avser att vara den först etappen av flera inom området och projektet skall ligga till grund för fortsatt forskning. Det långsiktiga målet är att utveckla byggnadsfysikaliska rekommendationer för lagerbyggnaders klimatskal med hänsyn taget till brukares olika krav på klimatisering. Samtidigt skall rekommendationerna beakta krav på låg energianvändning, frånvaro av fuktskador och fuktproblem samt beständighet. Syftet är att fördjupa kunskapen om kalla lagerlokaler, med hänsyn taget till olika hyresgästers krav på inneklimat och komfort.

#### 2.1.1 Projektets anknytning till SBUF:s mål och inriktning

SBUF:s mål och inriktning definieras så här:

*”SBUF verkar för att utveckla byggprocessen så att det skapas bättre affärsmässiga förutsättningar för entreprenörer och installatörer att utnyttja forskning och driva utvecklingsarbete”*

Föreliggande studie behandlar ett praktiskt orienterat projekt som syftar till att klargöra vilka tänkbara brister som kan finnas i dessa byggnader, samt i förlängningen att finna möjliga metoder för fortsatta studier inom området.

En eventuell fördjupad studie förväntas leda till färre fel, större ekonomisk lönsamhet och bättre energiprestanda samt mindre risk för skador. Utöver detta väntas hållbara tekniska lösningar för projektering, produktion och användning av dessa typer av hallbyggnader. Nya rekommendationer som leder till bättre hallar med färre fel kommer att leda till kostnadsbesparingar för samtliga parter, inte minst entreprenören.

## 2.2 Avgränsningar

Förstudien begränsas till att uppmärksamma var de springande punkterna ligger, i så väl konstruktionsutformning som produktion. Projektet skall ge rekommendationer för fortsatt forskning i området och avser inte att hitta lösningar på problemställningarna.

## 2.3 Vilken nytta som projektresultaten kan tänkas göra

Resultaten förväntas leda till framtida hallar och lagerbyggnader kan göras bättre med avseende på såväl brukare som energihushållning och hållbarhet samt minskad risk för fuktskador och problem.

# 3 METOD

## 3.1 Litteraturstudie

I detta projekt har en initial litteraturstudie genomförts för att ge en bild av kunskapsläget och ge en utgångspunkt för fortsatt arbete. Litteraturstudien har inkluderat arbetet som genomförts inom ramen för projektet NERIS, samt artiklar och texter från bransch och företagsartiklar. Begränsat underlag har identifierats i handböcker, tekniska rapporter, samt bland vetenskapliga artiklar.

## 3.2 Fallstudier

Tre typexempel av problem kopplat till kalla lagerbyggnader identifierades och erfarenheter och observationer från dessa sammanfattas.

# 4 RESULTAT

## 4.1 Konstruktionsuppbyggnad

Den absolut största skillnaden mellan en kall lagerbyggnad jämfört med ett vanligt lager är att under hela eller stora delar av året råder omvända temperatur- och luftfuktighetsförhållanden över konstruktionens väggar och tak. Kalla lagerbyggnader kan därmed ses som en byggnad som vänts ut och in. För en inbyggd anläggning så kommer kyl/fryslagret alltid under drift vara kallare och torrare än omkringliggande klimat medan ett fristående lager periodvis kan utsättas för det



motsatta. En konsekvens av detta omvända förhållande mellan en kall inomhusmiljö och en varmare utemiljö blir förändrade fysikaliska fenomen som måste beaktas. Hur det ter sig mellan olika typer av lager kan dock skiljas åt.

Kalla lagerbyggnader kan generellt delas in i två huvudgrupper, fristående och inbyggda anläggningar, för fristående anläggningar kan dessa även delas in i två undergrupper, anläggningar med invändig eller utvändigt ångspärr (12). För samtliga fall så är själva grundprincipen och därmed grundproblematiken i stort sett den samma ur ett fysikaliskt perspektiv. Det skiljer sig dock något var skador eller orsaken till avvikelser uppstår. Kalla lagerbyggnader kan sedan dela in i olika klasser beroende på vilken temperaturspann och funktion som avses: kylager (0–13 °C); chill cooler (-4 – 0 °C); Holding freezer (-29 – 4 °C); blast freezer (-29 – -46 °C) (13). Generellt så är den enda direkta skillnaden mellan kyl- och olika fryslager, temperaturerna, och därmed isoleringsbehovet. De olika temperaturförhållandena medför även viss skillnad i vilka problem som uppstår då fryslager primärt kan brottas med istillväxt, dimbildning och liknande medan kylager primärt erhåller kondensationsproblematik på ytor.

#### 4.1.1 Väggar och tak

För kalla lagerbyggnader är det av stor vikt att dessa uppförs lufttätt, diffusionstätt och utan köldbryggor. Detta kan uppnås genom traditionellt konstruerade fasader och tak men en allt mer vanlig, och ofta förespråkad metod, är att uppföra dessa med egenbärande isolerade plåtpaneler (plåtsandwichelement). Dessa består av två tunna metallplåtar med mellanliggande isolering. Isoleringsmaterialet varierar och vanligt förekommande är stenull, PIR eller PUR (14). En förutsättning för att dessa paneler skall erhålla en god lufttätthet är att dess sammanfogningssystem är täta. Olika typer av kopplingssystem finns på marknaden, både system som skruvas ihop (synliga eller dolda fogar), system som kläms ihop (labyrintfog), system som fogas med isolerskum (15). Dessa typer av paneler är de som är mest vanligt förekommande vid uppförande av kalla lagerbyggnader (16).

Vid projektering av kalla lagerbyggnader är det av stor vikt att beakta lagrets placering, dimensionerade invändiga förhållanden, isoleringsmängd, köldbryggor, konstruktionen expansion och krympning till följd av temperaturvariationer, luftläckage, ång- och vattentransport (12). Genom att detaljprojektera utifrån projektspecifika förhållanden och krav minskas risken för oönskade avvikelser.

Konventionella vägg- och takkonstruktioner kan användas men det ställs då stora krav på dess utformning och täthet samt att bryta köldbryggorna. Placering av ångspärr är av stor signifikans för kalla lagerbyggnader. Generellt gäller principen att ångspärren skall placeras på den varma sidan för att undvika kondens i konstruktionen (10). För en byggnad där det är signifikant kallare inomhus än utomhus innebär detta att denne måste placeras på byggnadsskalets yttre del. Under vissa perioder kommer detta dock innebära att det är något varmare och fuktigare på insidan, gradienten och tryckdifferensen är dock mindre för dessa fall vilken medför att risk för problematik minskar. De lokala förhållandena i kombination med lagrets förhållanden och lagrets uppbyggnad måste dock beaktas specifikt för varje projekt då de generella riktlinjerna inte nödvändigtvis gäller för alla fall. Detaljprojektering är nödvändigt för alla projekt. För isolerade plåtpaneler beaktas placeringen av ångspärr genom elementens dubbla plåtskikt vilket i sig medför risker av instängd fukt vid läckage.

#### 4.1.2 Bottenplatta

Vid inbyggda kalla lager med gemensam grundplatta kan betongplattan under lagerväggen utgöra en stor köldbrygga. Effekten av detta är både en ökad energiåtgång men det kan också medför



kondensation på utsidan av lagret, vilket kan leda till mikrobiologisk påväxt på betong eller väggelement eller kalkutfällning på betong vid långvarig fuktbelastning. En köldbrygga under väggen kan även bidra till nedkylning av utrymmen utanför det kalla lagret vilket kan bidra till ökat uppvärmningsbehov i närliggande lokaler. För att undvika köldbryggan krävs en bruten grundplatta. Effekten kan dock reduceras genom viss isolering av golv utanför lagerdelen, vilket jämnar ut köldbryggan över en större yta och därmed kan öka yttemperaturen något. Alternativt kan lokal uppvärmning genom till exempel värmekabel användas för lokal temporär uppvärmning för att undvika kondens vid extrema förhållanden. Behov av åtgärd beror till stor del till effektens omfattning och om det medför ett reellt problem.

### 4.1.3 Grundläggning

Vid kalla lagerbyggnader med frystemperaturer tillkommer behov att skydda underliggande mark mot frysning (17). Utan adekvat isolering och eventuell uppvärmning under bottenplattan finns en risk för islinstillväxt med tjällyftning och skadad bottenplatta till följd. Omfattning och behov av tillförd värme och isoleringsmängd beror på lagrets storlek, klimatet i anläggningen, geologiska förutsättningar i mark samt lokala klimatförhållanden. Av förekommen anledning måste detta detaljprojekteras.

## 4.2 Potentiella skadefall och dess orsak

### 4.2.1 Konvektion

För kalla lagerbyggnader är det av avgörande vikt att förstå effekterna av tryckförhållanden i lagret på grund av temperaturen. Då kall luft sjunker medför detta att ett undertryck uppstår i lagrets ovkant och extra stort krav ställs på att takelementen, men framför allt att skarven mellan tak och vägg, görs täta (10). Denna detalj kan vara svår att utforma på bra sätt och av förekommen anledning viktig att detaljprojektera samt kontrollera under produktion (12).

Effekten av ett luftläckage är oftast mycket större än effekten av diffusion genom konstruktionen. Mängden vatten som via diffusion tar sig genom en gipsskiva på ca 3 m<sup>2</sup> är ca 1/90 av den mängd som tar sig in i ett hål på en kvadrattum (0,0006 m<sup>2</sup>). Exemplet gäller flöde under uppvärmnings säsongen i ett kallt klimat då inomhusluften hålls på ca 21 °C 40 %RF (12).

Inläckande fuktig luft i byggnadens tak kan både medföra kondensproblematik på ytor i lagret alternativt kan i värsta fall att fukt ackumuleras i takelement vilket påverkar bland annat isolerförmågan negativt med förhöjd energiåtgång till följd. I extrema fall kan denna fuktakumulation även innebära risk för kollaps av konstruktionen på grund av överbelastning. Risken för omfattande inläckage är som störst vid stora temperatur- och ånghaltsvariationer mellan inner- och ytterklimat men är både aktuellt och bör beaktas både för fristående och inbyggda kalla lager.



**Figur 1** Luftläckage (konvektion) i vägg/takvinkeln in i en kall hall ger kondens på insidan av väggen. Foto: Fredrik Gränne

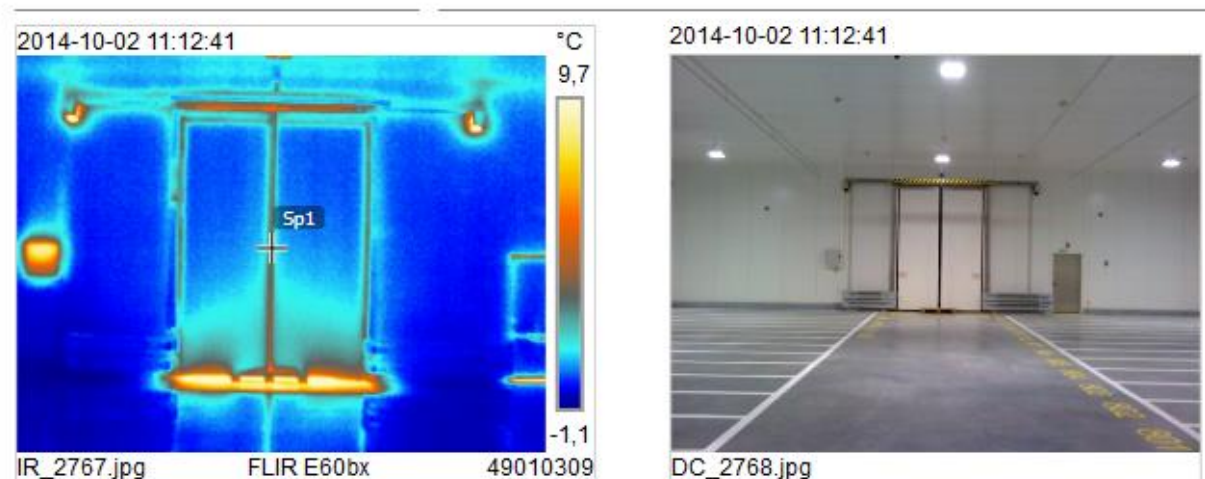
Utöver risken för en ökad fuktbelastning på takdetaljer medför tryckförhållandena i det kalla lagret även luftrörelser vid dörrar och portar som kan medföra kondens och isbildningsproblematik samt risk för dimbildning. Figur 2 visar schematiskt tryckeffekten vid portar och fryslager. För kylslager medför samma fukttransport en risk för kondens vid porten vid dörröppning.



**Figur 2** Lufttrycksdriven lufttransport vid dörröppning till fryslager. Figur från (18)

För att minska mängden varm luft som kan komma in till ett kallt lager genom dörrar och portar är det viktigt att dessa utförs som täta konstruktioner, att draperier som minskar luftflöden används eller att portarna förses med luftslussar (17). Luftgardiner kan även användas för större passager för att minimera inträngande luft då dessa står öppna. Luftgardinernas avskärmande effekt kan uppgå till 80% (16). För passager som ofta passeras bör dörrar med snabb öppning och stängtid användas för att minimera exponeringstiden, exempelvis snabbullportar (16).

För frysrum kan man bygga in diverse värmeslingor för att hindra att får isbildning. Figur 3 visar hur man kan använda värme för att hindra isbildning i genomföringar och framför portar i ett frysrum.



Figur 3: Värme i golvet, dörrkanten och tyckutjämningsportaler i väggen i ett frysrumsrum.

#### 4.2.2 Diffusion

Diffusion av vattenånga uppstår vid koncentrationsvariationer av vattenånga i luft. Då kall luft generellt även innehåller en lägre ånghalt än varm luft medför detta att den varma luftens fukt diffunderar från varm till kallt. För en kall lagerbyggnad medför detta att konstruktionen utsätts för pådrivande fukt från omgivningen. På samma sätt som för fukttransport via konvektion, lufrörelser, medför detta att konstruktionen måste konstrueras så pass tät att fukt inte kan ta sig in i byggnaden eller in i själva konstruktionen. Detta medför att väggar och tak samt dess kopplingar måste uppföras sammanhängande diffusionstätt. Det är vidare av yttersta vikt att denna barriär primärt är placerad på konstruktionens varma sida då fukt annars kan ackumuleras i tak och väggkonstruktionen (10).

Isolerade plåtpaneler är täta från båda hållen, något som även medför att eventuell fukt som kommer in under produktion eller via läckage kan fastna i konstruktionen. Av förekommen anledning är det viktigt att skydda dessa element mot uppfuktning under produktion. Samtliga håltagningar i dessa paneler måste även tätas och tätheten bör valideras. Fukttackumulering i takelement på grund av kondensation av den inträngande fukt in i elementen kan med tiden medföra överbelastning och i värsta fall kollaps av takelement eller hela konstruktioner (10).

#### 4.2.3 Ytkondensation

I ett kallt lager kommer ytkondensation alltid ske till viss grad och det är nära på omöjligt att undvika. Byggnaderna utsätts för en uppsjö av olika fuktkällor utöver fukt i och med inläckande luft från otätheter eller öppningar, eller fukttransport från omgivningen. Bland mer vanliga källor är fukt från människor och utrustning eller de varor som förvaras i utrymmen (19). Beroende på aktivitetsgrad och typ av varor kan detta tillskott variera stort.

Effekten av ytkondensation och dess konsekvenser är primärt risk för mikrobiologisk påväxt samt ansamling av kondensvatten på golv som kan medföra halkrisk. Viss kondensation på ytor är ofrånkomligt (16) men det skall inte medföra att varor, materiel eller människor tar skada.

Ytkondensation kan både ske inne i ett kylrum eller på konstruktionens utsida genom kondensation på dåligt isolerade delar eller via köldbryggor. Risken för ytkondensation på utsidan beror på omgivande klimat samt lagrets yttemperatur. För fristående kylrum är det förväntat att kondensation som kan klassas som avvikelser/skada ej förekommer i stor skala. En orsak till detta är då att den omgivande klimatet möjliggör snabbare uttorknings genom vind samt solstrålning. För

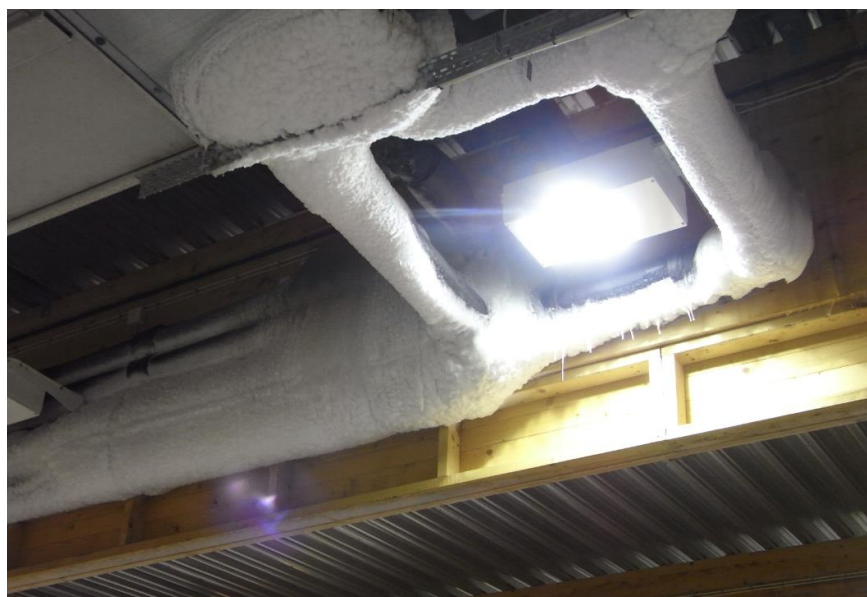
inbyggda kylrum är dock risken större att kondensation på lagrets utsida uppstår då det enkelt kan bli zoner där ytemperaturen förblir låg under längre tid och därmed möjliggör tex långvarig uppfuktning med mikrobiologisk aktivitet. Exempel på sådan konstruktion är om man har luftspalt mellan kyllagret och huvudlagret och om en sådan spalt ej ventileras finns en ökad risk att långvarig kondensation uppstår med påväxt till följd. Risken för detta är även i direkt korrelation till det omgivande klimatet.

Vid ett styrt klimat där RF i den omgivande anläggningen hålls låg krävs en lägre ytemperatur för att kondens skall uppstå. I och med detta samband mellan omgivande ånghalt och ytemperaturen medför detta att det är viktigt att ha kontroll på ånghalt i den omkringliggande lagerdelen, detta innebär att tex portar eller andra öppning skall vara täta och stängda så mycket som möjligt. Om detta inte är möjligt bör kyllagret förses med sluss mellan de olika zonerna för att möjliggöra lokal avfuktning. I sådant fall att lagerdelen ej är klimatstyrd är det förväntat att ånghalten i lagerlokalen är samma eller möjligen något högre än omgivning, beroende på typ av verksamhet. Vid ett sådant fall är det förväntat med höga ånghalter under maj till september. Vid 27°C och 50% RF, vilket är vanligt förekommande dimensionerade sommarklimat, är daggpunkten ca 15°C och kallare ytor än detta medför kondensation.

#### 4.2.4 Isbildning

I kalla lager där temperaturen understiger 0°C finns risk för isbildning; risken ökar med lägre temperatur. Isbildningen kan uppstå i olika scenarion beroende på typ av lager samt typ av verksamhet. Vad gäller isbildningsproblematik finns två approacher för att motverka eller begränsa dess effekter, kontinuerlig sanering eller att styra fukttilförseln genom att minimera införsel eller att avfukta luften i lagret (16).

I lagret så är störst risk att is bildas på aggregat då dessa vanligtvis är avsevärt kallare, eller i anslutning till portar eller andra öppningar, eller otäta detaljer, då dessa zoner innebär större mängd inträngande fuktig luft utifrån (18). Vid portarna kan detta medföra ispåväxt på väggar och tak vilket kan resultera till nedfallande is. Isbildningen kan även ske i luften vid portarna vilket medför ett snöfallsliknade scenario. För alla typer av ispåväxt är detta en effekt av ett externt fukttilförsel, antingen via inträngande luft, verksamhet eller det gods som skall förvaras i lagret.



**Figur 4** Isbildning inuti en kall hall (ej lager) på installationerna. Foto: Fredrik Gränne

Utvändig ispåväxt kan uppstå vid förekomst av större köldbryggor (12). Denna typ av påväxt är då en effekt av att fukt i uteluften kondenserar och fryser på konstruktionens utsida. Vid otätheter i konstruktionen kan isbildning även ske i vägg och takkonstruktionen vilket påverkar isolerförmågan och kan bidra till överbelastning av byggnadsdelen. Det förekommer fall där byggnader kollapsat efter att temperaturen höjts i lager. Orsaken till detta är då att tidigare kondensvatten varit fryst i takelementen och därmed bidragit till konstruktionens bärförmåga men vid smältning förvinner denna effekt och byggnaden rasar (10).

### 4.3 Erfarenheter och likheter med ishallar

Andra byggnader som brottas med liknande problematik som kalla lagerbyggnader är ishallar. Byggnaderna är ofta uppbyggda på likande sätt dock skiljer sig de invändiga fuktkällorna åt på grund av olika typer av verksamheter, rutiner för portar samt punktvis belastning genom spolning av is och från utövare/publik och liknande (6).

Projektet NERIS var ett forskningsprojekt lett av Byggvetenskap på Kungliga tekniska högskolan, och NERIS är en akronym för; Nordicbuild: Evaluation and renovation of ice halls and swimming halls. Projektets första delrapport publicerades 31 augusti 2017 (6), del två den 22 december 2017 (7), del tre 3 maj 2018 (8) och del fyra 15 maj 2018 (9). Rapporterna är författade av Jörgen Rogstam, Juris Pomerancevs, Simon Bolteau och Cajus Grönqvist, samtliga från EKA – Energi och Kylanalys AB

Nedan följer referat av de slutsatser som dragits inom ramen för forskningsprojektet NERIS med fokus på de delar som har en direkt eller indirekt koppling till kalla lagerbyggnader. Referaten kompletteras med en kommentar för koppling till lagerbyggnader.

#### 4.3.1 Neris - del 1 Fuktproblematiken i ishallar - en introduktion (6)

Första rapporten i serien syftade enligt författarna på att beskriva och förklara fuktproblematiken i ishallapplikationer. Rapporten inleddes även hur ishallen är uppbyggd och dess funktion.

I rapporten identifierades två huvudfuktkällor, externa källor och interna källor. Exempel på externa källor var luftläckage och diffusion över klimatskalet. De interna källorna var enligt författarna utövare, publik, läggvatten och eventuellt smältgropsvatten. Av samtliga källor var luftläckage den överlägset största fuktkällan. Luftläckaget uppstår på grund av lufttrycksdifferens över klimatskalet till exempel på grund av vind och ventilation eller kombinationer av dessa. På förekommen anledning har enligt författarna det geografiska läget en stor inverkan på fuktbelastningen både baserat på vindlaster men även utomhusklimatet. Enligt författarna så medför det stora luftläckaget att ventilation sällan behöver ta in uteluft. Rekommendationerna är att stänga uteluftspjällen och endast tillföra med uteluft för att kompensera för förhöjda CO<sub>2</sub> nivåer.

Rapportförfattarna slår fast att fuktnivåerna måste regleras och styras för att erhålla god iskvalitet och ett hälsosamt klimat i hallarna. Man föreslår vidare att luftfuktigheten bör diskuteras utifrån dagpunkt eller ångkvot istället för relativ fuktighet. Orsaken till detta är då temperaturen och RF varierar mellan områden i hallarna samt över tid vilket medför att RF som styrvärde blir oöverskådligt. Erfarenheter för ishallar visar att dagpunkten bör ligga mellan 0 - 2°C för att minska risken för förhöjd fuktbelastning från läggvattnet eller ökad risk för kondens på angränsande ytor till isytan. Resultat redovisat i rapporten kring energianvändning visar även på att en RF-styrning kan leda till onödig drift i jämförelse med ångkvot/dagpunktsstyrning.

För kalla lagerhallar gäller till stor del samma externa fuktkällor men de interna källorna skiljer sig till stor del. Vad gäller ventilationen sker denna främst genom tillförd luft via kylning och ofrivilligt via läckage vid dörrar och andra öppningar.



Behovet av att styra och reglera fuktnivåerna gäller även för kalla lager och detta bör beaktas under projektering för att undvika behov av extra åtgärder efter idrifttagande. Erfarenheten kring ångkvot/daggpunkt som styrande parameter torde även vara av värde för kalla lagerbyggnader, framförallt vid seriekopplade kalla lagerzoner med olika klimat.

#### 4.3.2 Neris - del 2 Metoder och energianvändning för avfuktning i ishallar (7)

Rapporten redogör för olika avfuktningssätt i ishallar, funktion samt tekniska möjligheter och begränsningar. Primärt diskuteras två avfuktningssätt av författarna, kylavfuktning och sorptionsavfuktning. Sorptionsavfuktningen är den metod som är mest vanligt förekommande. Metoden är effektiv även vid låga ånghalter men kräver en stor mängd tillförd energi. I denna delrapport påvisar författarna även att RF-styrningen kan medföra ökade kostnader och i ett exempel framhävs att 30 % av avfuktningens energi vid RF-styrning ej var av nytta. Rapporten lyfter även fram potentialen av energisparande genom bland annat återvinningsdriven teknik där den första generationens teknik använder värme från återvinning, fjärrvärme eller annan källa kombinerat med avfuktarens inbyggda elvärme. I den andra generationens teknik används vätskeburna system där tex återvinningsvärme från kylsystemet kan användas. För generation ett kunde en energibesparing på 40 % uppnås, för generation två visar vissa resultat på en besparing över 80 %.

I vilken omfattning avfuktning genom avfuktningssätt sker i kalla lagerbyggnader är ej sammanställt i dagsläget men tekniken finns tillgänglig och är en metod som kan och bör beaktas i många projekt. Som framgår i NERIS rapporten finns även stora besparingsmöjligheter om avfuktning med energiåtervinning används i jämförelse med separata system och således kan en tidig investering vara mer kostnadseffektiv än en senare åtgärd då sammankoppling av system och dess synergier torde öka om de projekteras som ett system.

#### 4.3.3 Neris - del 3 Fuktttransport i ishallar – mekanismer och fysik (8)

Rapporten beskriver hur fukttransport i ishallar fungerar och vilka potentiella fuktkällor samt fuktänkor som kan förväntas i en ishall. Författarna beskriver att denna kunskap är grundläggande för att på rätt sätt dimensionera anläggningens avfuktningssätt samt klimatskalet och dess material.

Rapportförfattarna klargör att dimensionering av avfuktning för ishallar har historiskt delvis gjorts på felaktiga grunder. Enligt rapporten har interna fuktlasters tidigare överskattats medan luftläckage har underskattats. I rapporten visas en jämförelse mellan olika fuktkällor i vilken luftläckage stod för ca 70 % av tillförd fukt, 29 % från inre fuktkällor och 1 % från diffusion. I aktuell jämförelse antogs högsta möjliga fuktillskott från interna källor men ej extremvärden för läckaget. Läckagets storlek har enligt rapportförfattarna en ökning korrelation till ökande byggnadsvolymer men knapphändert data medföra att inga långtgående slutsatser kan dras. För en normalstor ishall i Sverige, ca 25 000 m<sup>3</sup> ligger inom 5-15 %/h

Trots att diffusion har en mycket liten inverkan på de totala fuktillskotten framlyfter rapportförfattarna att den kan ha en allvarlig effekt på själva klimatskalet. Vid otäthet i klimatskalet kan vatten transporteras in i konstruktionen och kondenseras. Effekten av detta kan medföra mikroskador eller i värsta fall byggnadsstrukturella problem.

För ishallar identifierades två primära fuktsänkor, isytan och avfuktaren. Studien visar på att isytan har en större effekt än vad man tidigare trott. Effekten varierar dock då den är beroende på temperaturskillnaden mellan luft och is. Trots isens inverkan beskriver författarna att avfuktningen är den viktigaste delen i fukthanteringen. Andra sänkor som är av mindre dignitet är konstruktionens byggnadsmaterial eller andra inventarier som kan verka fuktbuffrande under vissa perioder.

Luftläckage bedöms även vara en av de mest dominerande fuktkällorna för kalla lager, läckage genom skarvar och kopplingar kan dock förväntas vara lägre för kalla lager då dessa ofta utförs med tätare sammanfogningsmetoder, detta gäller primärt fryslager. Erfarenheter från ishallar som kan vara av värde för kalla lagerbyggnader är behov av extra avfuktning. Kalla lager har ofta inga övriga fuktsänkor än avfuktningen genom kylning och i vissa fall avfuktning, och till skillnad från ishallar kan infört emballage till vis mån även agera som fuktkälla via dess fuktbuffrande egenskaper, detta gäller primärt pappbaserat emballage eller andra porösa material.

#### 4.3.4 Neris – del 4 Fuktsäkra ishallar – konstruktion och dimensionering (9)

I den sista delen av NERIS rapportserie redovisas krav på ishallens konstruktion och avfuktningssystemen med avseende på fukthantering. Rapportförfattarna beskriver att utöver att klimatskalet skall uppfylla krav på bärförmåga så är dess huvudsakliga uppgift att separera inneklimatet med det varierande uteklimatet på ett energieffektivt sätt. En allmän regel för att undvika fukt och mikrobiologisk påväxt i klimatskiljande strukturer är att ångtransportmotståndet ska vara högre på konstruktionens varma och fuktiga sida i förhållande till dess kalla och torrare sida. Av förekommen anledning påverkas detta av det geografiska läget och dess klimat för ishallar. I söder är klimatet generellt varmare ute än i ishallen och ångtransportmotståndet ska därmed vara högst på väggens yttre del, det motsatta gäller för delar av norra Sverige. Dock klargörs att den viktigaste insatsen för att motverka fukt och värmebelastning på en ishalls inneklimat ska stort fokus läggas på byggnadens lufttätethet. De mest känsliga punkterna ur lufttätethetsperspektiv är anslutningar.

Utöver att det är viktigt att uppföra ett tätt och välisolerat klimatskal mot omgivningen så skall även interna klimatskiljande zoner separeras med adekvata skiljeväggar och dörrar. Helst skall dessa utrymmen avskiljas med luftslussar för att minska inträngande varm fuktig luft.

Klimatskiljande dörrar bör även hållas stängda i största möjliga grad.

Med avseende på ventilation så rekommenderar författarna att ventilation i normal drift endast skall ske med luftåtercirkulation, eventuellt med möjlighet att styra mot CO<sub>2</sub>. Ventilationsvärme och avfuktning ska ske med olika system, primärt för att undvika att varm luft blåser på isen. För avfuktning rekommenderar rapportförfattarna sorptionsavfuktare av varmvattengenererade modell då värmeåtervinning från kylsystemet därmed är möjligt. Vidare bör luftfuktigheten diskuteras och styras i vad författarna beskriver som ”absoluta termer”, t.ex. daggpunkt.

Grundprinciperna för ishallar torde gälla för såväl dem och för kalla lagerbyggnader, vid dimensionering och uppförande bör således samma frågor beaktas dock från annat perspektiv då klimat och verksamhet skiljer sig. Dock gäller grundläggande fysikaliska principer likväl vikten av att separera olika klimatzoner för att undvika okontrollerat fuktillskott.



## 4.4 Fallstudier

### 4.4.1 Kylrum 1

I en större lagerlokal inkluderades ett kylager bestående av ett antal utrymmen med varierande klimat. Temperaturen i det mittersta lagerdelen var 2–4°C och på dess sidorna 12–18°C. Tillträde mellan rummen erhöles via en svängdörr respektive en snabbullport. Utöver dessa ingångar fanns en snabbullport direkt från den mittersta lagerdelen till ett mottagningslager.

Huvudlaget var uppbyggt av isolerade metallpaneler. Täthetsprovning av lagerbyggnaden visade på ett läckage om 0.14 l/sm<sup>2</sup>, väl under ställda krav. Kylrumskomplexet var uppbyggt av specifika isolerade metallpaneler för kylrum. Ingen av väggarna eller taken var i direkt anslutningen till det yttre klimatskalet utan angränsade mot kontorsdel respektive mottagningslager samt en ventilerad luftspalt mellan yttervägg och kylrumsvägg. Över lagret fanns ett större utrymme innehållande ventilationsutrustning och dylikt. Ingen täthetsprovning gjordes på kylлагren.

Kontorsdelen hade ett styrt klimat med dimensionerande sommarklimat på 27 °C och 50 %RF. Mottagningslagret ventilerades via ofrivillig ventilation då inte sommarfläktar var i drift. För sommarfallet nyttjades central frånluft med rökgasfläktar för att uppfylla erforderlig ventilation. Mottagningslagret hade två lastkajer med luftvärmväxlare styrda av temperaturkrav samt vid öppning av portar. Lägsta tillåtna temperatur i lagerdelen var 18°C, inga krav på RF fanns.

Projektering av de kylлагren genomfördes efter det att övriga delar var färdigprojekterat.

#### Skadefall/Observation

Från maj till september efter det att kylлагret togs i drift uppkom kondens på ett antal områden, både i de kalla lokalerna samt på dess utsida. Kondensen var så omfattande att den ansågs påverka eller riskera att påverka verksamheter och således större än en förväntad/acceptabel kondensation under perioden. Övriga tider på året förekom inga kondensationsproblem.

Kondensen uppstod primärt på fyra olika platser;

- Snabbullport till mottagningslager
- Snabbullport mellan 2–4 °C lager och 12–18 °C,
- Utvändig golvvinkel på 2–4 °C lager mot mottagningslager
- Inbyggt förråd

För rullport till mottagningslaget bedömdes orsaken till uppkomsten av kondens på en för låg yttemperatur i förhållande till ånghalt i angränsande utrymmen. Då mottagningslagret endast ventilerades med utomhusluft kunde antas att en likvärdig ånghalt som för omgivningen var förväntad, möjligen inklusive visst tillskott från verksamhet. Under denna premis innebar detta att endast yttemperaturen var påverkningssbar och därmed orsaken till avvikelser.

För den inre snabbullporten återfanns denna mellan två utrymmen med styrt klimat (styrd temperatur), detta till trots så uppstod stora kondensproblem. Avfuktningen i respektive kylrum erhöles genom att tillförsel av kallare och därmed torrare luft, för det varmare lagret var temperaturen på tilluften ca 4 °C. Det fanns dock inget krav på RF-nivå i utrymmena. Ingen ytterligare avfuktning användes. Utrymmet stod dessutom i direkt kontakt med angränsande mottagningslager genom en svängdörr, vilken ej var tät utan hade stora glipor i underkant. Dörren användes även frekvent. Kondens uppstod på den sidan av rulldörren som vätte mot det varmare rummet och kondensvatten ansamlades på golvet nedanför. Vattendroppar kunde skönjas på rullportens yta.

Kondens på betong utanför lagret och på vägglister längst med den delen av 2–4°C lagret som var i direkt kontakt med mottagningslagret. Kondensens omfattning var relativt liten men bedömdes kunna medföra missfärgningar på betongen med tiden samt viss risk för mikrobiologisk aktivitet under sommarmånaderna. Orsaken till avvikelserna bedömdes beror på att yttemperaturen på väggspanelens nedre del samt på betongen underskred den dagpunkten för den omgivande klimatet medgav. Då betongplattan ej var bruten under kylrumsväggen medförde detta en stor köldbrygga som därmed kylde ner betong och väggspanelen till sådan temperatur att kondens uppstod.

Kondens och påväxt påträffades i ett, i kylrumsväggen inbyggt, förråd. Förrådets väggar angränsade mot både det kalla lagret och den något högre tempererade. I likhet med väggarna i övrigt var bottenplattan för dessa ej brutna vilket i kombination med en icke uppvärmd och icke aktivt ventilerat förråd. Väggarna och bottenplattan kunde i och med detta till viss del kunna beaktas som kylelement i förrådet och sänka temperaturen kontinuerligt på samtliga ytor. Då förrådet stod i direkt kontakt med mottagningslagret medförde detta att samma ånghalt kunde förväntas i förrådet och därmed erhöles kondens efter det att dagpunkten nåtts. Det var detta utrymme som erhöles den mest omfattade påväxten. Orsaken till detta torde vara att övriga ytor enklare kunde torka under de perioder då dagpunkten ej uppnåtts.

### Fastställd skadeorsak

För samtliga skadefall i exemplet ovan var det en effekt av för låga yttemperaturer i förhållande till omgivande klimat. I samtliga fall fanns en direkt koppling till avsaknaden av ett styrt klimat i mottagningslagret. Under de premisser som fanns vid dimensionering hade slussar och eller mer välisolerade element och detaljer behövts.

### Åtgärd

Åtgärder gjordes i två steg där första steget medgav installation av gardiner framför portarna åtgärden avsåg minska tillförd fukt samt skapa en extra barriär för att jämna ut temperaturgradienten och till viss del skapa en passiv sluss. För att motverka kondensation längst med väggen installerades en värmekabel för korttidsanvändning. För förrådsdelen installerades en elektrisk radiator med syfte att höja temperaturen i förrådet. Som eventuell extra åtgärd planeras för uppförande av en sluss med aktiv avfuktning. Slussen placering medger effekt på utvändigt rullport samt utvändigt kondensationsproblematik.

### Resultat/Slutsats

Alla kyllager är unika och dess utformning samt utformningen av kylsystem bör ske i samråd mellan övriga projektörer för att beakta aktuella kontaktpunkter. Styrande för att erhålla en fungerande anläggning är kännedom om dimensionerande/verkligt klimat i det område där lagret skall uppföras och därmed även aktiva insatser för att kompensera eller motverka dess effekter. I aktuellt projekterades kyllagret inklusive kylanläggning efter det att övrig projektering slutförts. En konsekvens av ett sådant upplägg är att kyllagret måste anpassas till övriga förhållanden och lösningar och därmed försvåras möjligheten till vissa insatser som kan vara avgörande för kyllagrets funktion och interaktion med omgivningen. Ett tydligt exempel är hur bottenplattans köldbrygga under väggelement skall beaktas. Genom att samprojektera kan dessa typer av frågor hanteras under projektering och projektspecifika lösningar erhållas. För de fall när kalla lager skall installeras i redan befintliga anläggningar är det av avgörande betydelse att alla förutsättningar för kyllagret identifieras och kan beaktas, då alla lager är unika.

#### 4.4.2 Frysrum 1

##### Bakgrund/Skadefall/Observation

Frysrum 1 är byggd för matförvaring vid -24 °C. Efter 10 års användning behövdes frysrummet totalrenoveras. Skadorna inkluderade frostsprängning av frysrummets väggar, frostsador (lyftning) av betongplattan, samt skador i taket av frysrum. Frysrummet var byggt med väggelement (stålplåt/isolering/stålplåt) och hade en isolerad betongplatta på mark med makadam under.

##### Fastställd skadeorsak

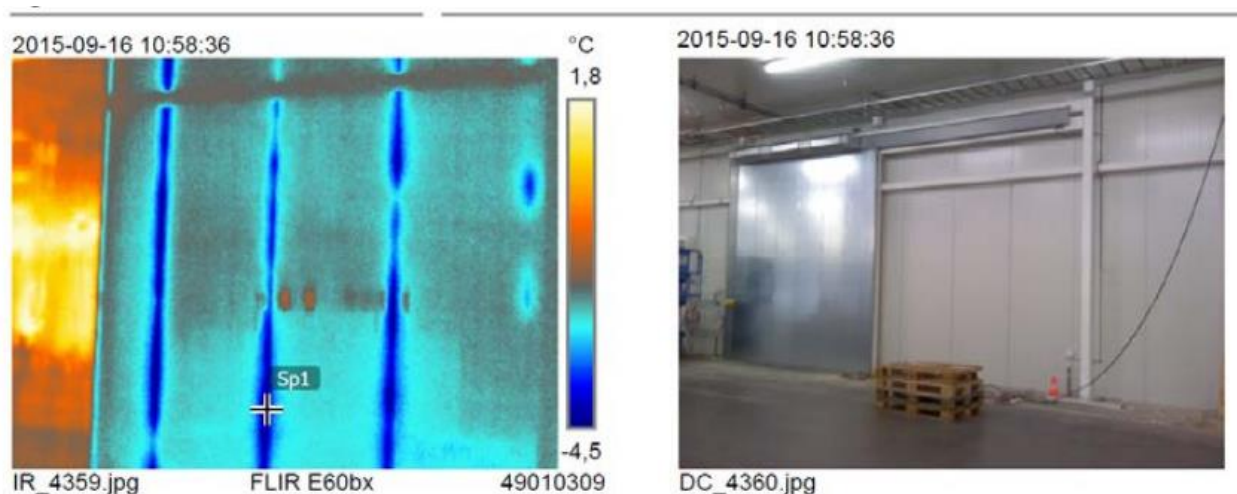
De fastställda skadeorsakerna var dels dålig lufttätethet i väggarna och taket, samt brist på värme under betongplattan. I ytterväggarna hade fukt utifrån kondenserat och fryst i väggelements skarvarna. Efter lång tid så öppnade expansionen av isen upp skarven mellan väggelementen och då försämrande lufttätetheten ytterligare med mer kondens/isbildning som resultat. Efter 10 år var väggarna förstörda.

Plattan saknade påförd värme (oklarheter rådde om dessa saknades eller var ur funktion), och trots isolering i marken uppstod ett område med ”permafrost”, ett område som hade vuxit under flera år. På grund av tillkommande tjällyftning fick sedan betongplattan skador.

##### Åtgärd

Åtgärden i detta fall var att totalrenovera frysrummet. Betongplattan bilades bort, makadammen togs bort och en del av marken grävdes bort. Bottenplatta byggdes om med dränerande skikt, isolering, betong med värmeslingor, isolering och betongplatta.

Alla väggelement samt takelement byttes ut mot nya. Mycket fokus och hårda krav låg på lufttätethet. Kravet för frysrummet var ”helst” 0,055 l/s m<sup>2</sup> @ 50 Pa och maximalt 0,09 l/s m<sup>2</sup> @ 50 Pa. Första försöket (lufttätetsprov enligt Svensk Standard SS-EN ISO 9972:2 015 med termografering) visade för högt luftläckage. Orsaken var otäteter i skarvarna mellan element, se Figur 5 nedan som visar utsidan av frysrummet som har övertryck. Kall luft kommer ut genom otäta skarvar. Observera att den uppmätta lufttätetheten i detta fall var underkänd, och låg på 0,11 l/s m<sup>2</sup> @ 50 Pa.



Figur 5 Frysrumsvägg från utsidan där kall luft kommer ut genom otäta skarvar

Utvändig tätning av alla skarvarna utfördes på både vägg- och takelementen (elementen tätades bara i skarvarna men det visade sig vara för stora luftläckage). Lufttätetheten efter tätningsarbetet blev 0,077 l/s m<sup>2</sup> @ 50 Pa.

##### Resultat/Slutsats

Resultatet blev ett helt ny frysrum 10 år efter originalen togs i drift. Det tidigare frysrummet fungerade inte längre på grund av otätheter samt frysning i marken. Det nya frysrummet, som till att börja med, inte heller klarade sina lufttäthetskrav med tätningen utfört enligt leverantörens anvisningar. Montören vill dessutom bara täta invändigt på grund av att arbetet krävt att man hängde från taket för att nå alla skarvar. Om de fick täta invändigt då skulle även detta frysrum få skador igen efter flera års användning. Flera viktiga slutsatser från detta fall är:

- Ha hårda krav på lufttäthet när det gäller ett frysrum som ska användas året runt. Lufttäthetskrav på maximalt  $0,09 \text{ l/s m}^2 @ 50 \text{ Pa}$  till exempel är rimligt.
- Lägg mycket fokus på lufttätheten i projektet, speciellt på utsidan av frysrummets klimatskal.
- Verifiera lufttätheten enligt Svensk Standard SS-EN ISO 9972:2 015 tillsammans med termografering.

#### 4.4.3 Kylrum 2

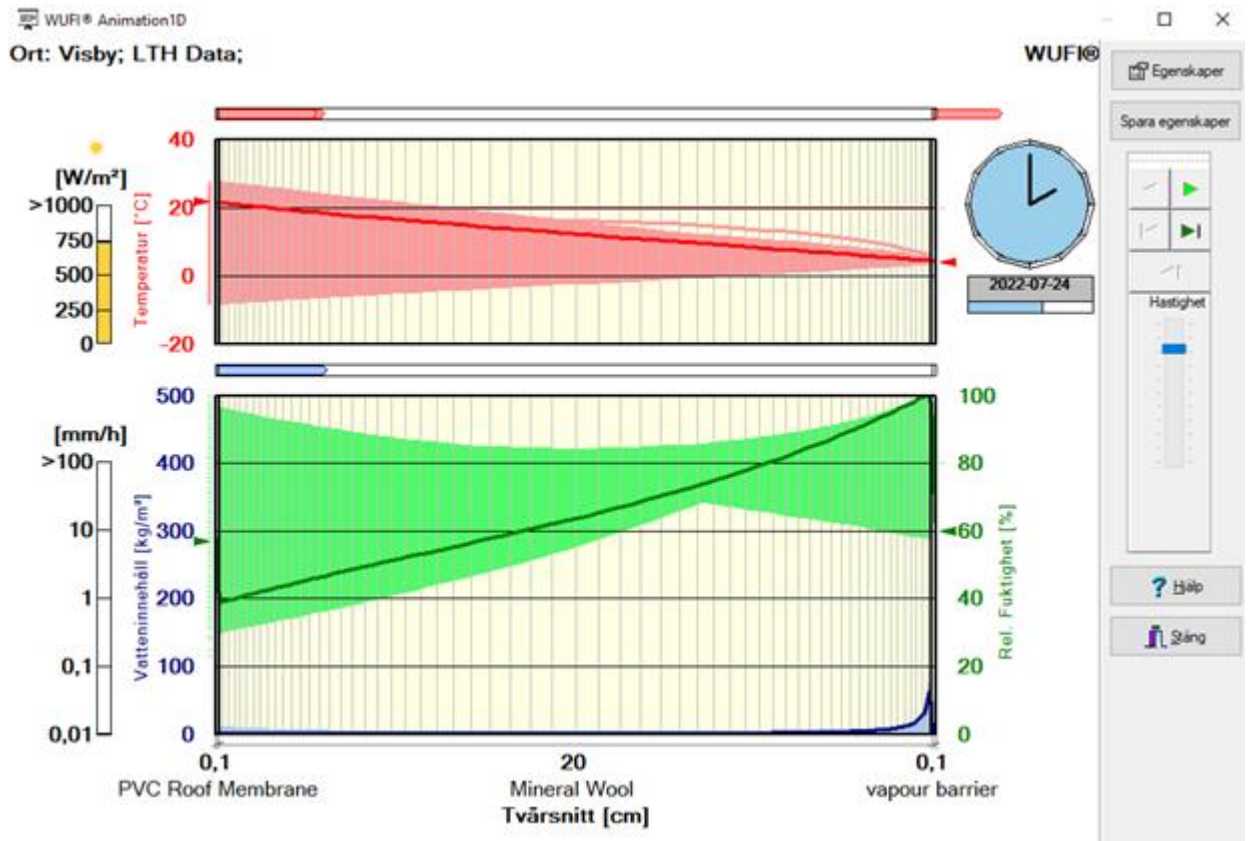
##### Bakgrund/Skadefall/Observation

Kylrum 1 har haft problem med kondensation i taket för ett av anläggningens rum när utetemperaturen överstiga  $+27 \text{ }^\circ\text{C}$ . Övriga rum har inget problem. Yttertakskonstruktion består (utvändigt – invändigt) av:

- 45 mm TRP
- 200 mm mineralull med vindskydd med 200 mm Z-profiler
- 0,2 PE-folie
- Bärande TRP

##### Fastställd skadeorsak

När man tittade på ritningar insåg man att plastfolien ligger invändigt i yttertakskonstruktion, som ett vanligt yttertak i nordiskt klimat. WUFI beräkningar, se Figur 6, visade att det fanns en risk för kondensbildning på utsidan av plastfolien när det var varmt ute under sommartiden. Det är för att fukten kan lätt transportera sig till den kalla plastfolien. Troligtvis, finns det kondens på ovansidan av plastfolie över hela kylrummet, men bara rinner in i ett rum på grund av skarvarna.



Figur 6: WUFI 5 Pro beräkning av taklösning i kylrum 1. Resultat visar kondensbildning under sommartid ovanpå plastfolien.

### Åtgärd

Lösningen i detta fall var att "flytta" plastfolien längre ut i konstruktionen genom att isolera invändigt. I detta fall det rekommenderades minst 100 mm isolering och helst 200+ mm isolering för att reducera risken för kondensbildning ovanpå taket.

### Resultat/Slutsats

En slutsats från detta kylrumsprojekt är att man måste säkerställa ångspärrens placering i ytterväggen så fort man har en kallare klimat inomhus än utomhus. Om man inte räknar ut den bästa placeringen då finns det hög risk för eventuella kondensation och fuktskador i klimatskalet.

## SLUTSATSER

Man kan se tydliga likheter mellan kyllager och ishallar på vissa områden. Resultat gällande text avfuktning i ishallar är något som man lämpligen ska beakta vid projektering av kyllager.

Alla kyllager är unika och dess utformning samt utformningen av kylsystem bör ske i samråd mellan övriga projektörer för en fungerande helhetslösning. Det som är generellt är att man bör ha hårda krav på lufttäthet för frysrum som ska användas året runt och lägga mycket fokus på lufttätheten i projektet, speciellt på utsidan av frysrummets klimatskal. Lufttätheten bör verifieras tillsammans med termografering.

Man måste också säkerställa ångspärrens placering i ytterväggen så fort man har en kallare klimat inomhus än utomhus. Placeras ångspärren på fel ställe finns det hög risk för eventuella kondensation och fuktskador i klimatskalet.

I en jämförelse mellan fallstudierna och litteratursökningen kan samtliga skadeorsaker och dess effekter återfinnas i litteraturen. Skadefallen och dess orsaker är väl kända och dokumenterade men detaljprojektering för respektive fall med adekvata klimatförhållanden och förståelse för vilka fuktlaster som är förväntade krävs för att undvika dessa skador. Vid dimensionering bör även fukthanteringen beaktas och i produktion krävs även ett fokus på lufttäthet och speciellt fogar.

Brister i utformning och utförande av anslutningar visar på att det finns ett behov av goda exempel eller standardlösningar för vanliga detaljer.

## FÖRSLAG PÅ FORTSATTA STUDIER

- I Sverige saknas generella rekommendationer eller någon branschstandard/branschregler kring kalla lagerbyggnader. Detta i kombination med att skador och avvikelser av liknade karaktär uppstår relativt frekvent är ett tecken på att området har en sådan komplexitet att detta saknas. En branschstyrd branschrekommendation som berör dimensionering och produktion rekommenderas. Där skulle det kunna finnas goda exempel på eller standardlösningar för en del vanliga detaljer.
- En sammantagen bild av denna studie samt NERIS är att lufttätheten är en akilleshäl för kalla lagerbyggnader. En punktmarkering på detta område rekommenderas med en sammanställning av lösningar på detaljutföranden som visar goda resultat både teoretiskt och i praktiken.
- Utredda ett generellt behov av avfuktning. En sammanställning av långtidsmätningar av temperatur och RF i olika lagerbyggnader i olika geografiska regioner. Klimat i kalla lager samt i omgivningen mäts kontinuerligt och en intern och parallell jämförelse kan visa på behov av avfuktning i olika typer av lager samt i olika regioner. Invändigt klimat analyseras och en riskbedömning för fuktrelaterade skador görs.
- Inbyggda sensorer för tidig indikation på fuktackumulering i isolerade metallpaneler. I och med billigare passiva fuktsensorer möjliggörs kontinuerlig uppföljning av känsliga punkter för att detektera avvikelser i tidigt skede. Långvarig fuktackumulering i isolerade paneler är ej synliga men påverkar både isolerförmågan och kan i värsta fall resultera i kollaps av byggnader.



## REFERENSER

1. **Boverket**. Boverkets byggregler. Karlskrona : Boverket.
2. **Dahlbeck, Anna**. Felix och Lukas blev sjuka av sin ishall. *Kvällsposten*. [Online] den 12 September 2013. <https://www.expressen.se/kvallsposten/ishockespelare-blev-sjuka-av-sin-ishall/>.
3. **German ice rink collapse kills 11**. *BBC News*. [Online] den 3 Januari 2006. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/4575788.stm>.
4. **Nyheter, SVT**. Takras i Lugnviks ishall. *Sveriges Television*. [Online] den 16 februari 2013. <http://www.svt.se/nyheter/regionalt/vasternorrland/takras-i-lugnviks-ishall>.
5. **Blank, Anders**. Det har tagit för lång tid. *Barometern*. [Online] den 11 september 2013. <http://www.barometern.se/kalmar/det-har-tagit-for-lang-tid/>.
6. **Rogstam, Jörgen, o.a.** *Neris - del 1 Fuktproblematiken i ishallar - en introduktion*. u.o. : EKA - Energi & Kylanalys AB, 2017. 978-91-7873-009-4.
7. —. *Neris - del 2 Metoder och energianvändning för avfuktning i ishallar*. 2017. 978-91-7873-010-0.
8. —. *Neris - del 3 Fuktrtransport i ishallar – mekanismer och fysik*. 2018. 978-91-7873-011-7.
9. —. *Neris – del 4 Fuktsäkra ishallar – konstruktion och dimensionering*. 2018. 978-91-7873-012-4.
10. **O'Brien, Sean**. Building enclosure design guidelines for freezers and cold storage facilities. *Building Design Construction*. [Online] den 18 Mars 2009. <https://www.bdcnetwork.com/building-enclosure-design-guidelines-freezers-and-cold-storage-facilities>.
11. *Summer Condensation Problems in Ice Arenas*. Straube, J. u.o. : Building Science Corporation, 2006.
12. **AIA, Jamse R. Kirby**. CEU: Roof for cold storage buildnigns. *BE Building Enclosure*. [Online] den 29 07 2020. <https://www.buildingenclosureonline.com/articles/89150-ceu-roofs-for-cold-storage-buildings>.
13. **Stefan Jake, et al.** Energy modeling guidelines for cold storage and refrigerated warehouse facilities. *GCCA*. [Online] den 19 12 2013. [https://www.gcca.org/sites/default/files/protected-docs/protdocs/EnergyGuidelines\\_2013-12-19.pdf](https://www.gcca.org/sites/default/files/protected-docs/protdocs/EnergyGuidelines_2013-12-19.pdf).
14. **Adriano, Alberto**. Still undecided among PIR, PUR foams and rockwool insulated metal panels? *Globe Panels*. [Online] den 07 11 2019. <https://globepanels.com/which-type-of-insulation-to-choose-pir-pur-foams-or-rockwool/>.
15. —. Types of Joints For Wall Insulated Panels. *Globepanles.com*. [Online] den 04 06 2020. <https://globepanels.com/types-of-joints-for-wall-insulated-panels/>.
16. **Mariella, Dauphinee**. Cold Storage Facilities. *IUMI Loss prevention commitee*. [Online] den 5 9 2017. <https://iumi.com/committees/loss-prevention-committee>.



17. Carr, Jenifer. The Do's and Don'ts of cold storage. *Refigirated and frozen foods*. [Online] den 8 11 2019. <https://www.refrigeratedfrozenfood.com/articles/98219-the-dos-and-donts-of-cold-storage>.
18. COTES. Managing humidity in cold store insallations. *Cotes.com*. [Online] [https://f.hubspotusercontent00.net/hubfs/7154103/Brochures/Cotes\\_ColdstoreBooklet.pdf](https://f.hubspotusercontent00.net/hubfs/7154103/Brochures/Cotes_ColdstoreBooklet.pdf).
19. Andriano, Alberto. Practical issues common in cold store set up. *Globe Panels*. [Online] den 27 07 2018. <HTTPS://globepanels.com/practical-issues-common-in.cold.store.set.ups/>.