Stoppsladd fas 4
Energianvändning i svenska ishallar

Teknikstudier av svenska ishallar för teknikutveckling och lägre driftskostnader

---

18 december 2014

Energi & Kylanalys AB
Jörgen Rogstam & Chadi Beaini
Älvsjö, 2014

Svenska Ishockeyförbundet
Jörgen Hjert
Stockholm, 2014

SAMMANFATTNING

Det finns idag 356 ishallar i drift i Sverige vilka tillsammans använder mer än 350 GWh (350 000 000 kWh) energi - el och värme sammantaget. Tidigare faser av projektet har pekat på en besparingspotential om 60 till 120 GWh med rimliga insatser och investeringar. I praktiken genomförs inte åtgärderna i förväntad utsträckning, vilket sannolikt beror på brister i organisation, kunskap och incitament. Föreliggande fas har fokuserat på att skapa ytterligare konkreta exempel på åtgärder för energieffektivisering i svenska ishallar.

Fas 4 rapporten redovisar flera delprojekt vilka kort kan beskrivas som:

- allmänna förutsättningar i ishallar
- utvärdering av informationsskärm
- belysningsteknologier i ishallar
- rening av systemvätskor
- värmepumpar i ishallar
- avfuktningsteknik.

Fokus i teknikstudierna har varit att identifiera åtgärder för att spara energi och verifiera dessa.

I delprojektet ”Informationsskärmar” var syftet att analysera och utvärdera huruvida det finns ett samband mellan beteende och energianvändning. Studien genomfördes genom att en centralt placerad informationsskärm i Norrtälje Sportcentrum kontinuerligt visade information om anläggningens energianvändning – för ögonblicket som senaste veckan. Resultaten pekar på att besökare hade ett begränsat intresse och mindre nytta av informationen medan driftspersonalen på plats fann det användbart i det vardagliga uppföljningsarbetet.

Det sker en mycket snabb utveckling av belysningstekniken i ishallar. När projektet startade fanns ingen hall med LED-teknik men vid projektets avslutning finns 7 kända installationer. Trenden på marknaden pekar mot LED- och lysrörslösningar. LED syns tveklöst vara en av framtidens belysningstekniker. Studien visar att det finns en stor potential för energieffektivisering som miljöarbete inom belysningsområdet. Högtryckslampor med höga halter kvicksilver skall fasas ut, Halogen-lampor är inte särskilt effektiva samt att på lysrörssidan finns många installationer med den äldre T8-teknologin. Vid utvärdering av LED installation i IVT hallen i Stockholm konstaterades en 80 %-ig minskning i energianvändningen vid övergång från metallhalogen till LED samt effektivare reglering av belysningen.

Rening och avgasning av köld-/värmebärarvätskor ger ”inte bara” en lägre energianvändning utan även längre livslängd på pumpar och vätskorna själva. Tekniskt är förmodligen ammoniak-vatten den idag mest lämpade köldbäraren. Beräkningarna visar att köldfaktorn kan förbättras upp till ca 10% med konventionella medier. Avvikelser i en köldbärares koncentration kan kosta ”flera” 10 000 kWh per år (säsong). Budskapet och lärdomen är att vara noggrann med koncentrationerna och inte ”överdosera” frysskyddet i köldbäraren

I utvärderingen av värmepumpar i ishallar studerades tre olika inkopplingsprinciper – köldbärarkopplad (BHP), kylmedelskopplad (CHP) och en kylmedelkopplad i kombination med geoenergilager (GHP). De bästa valen är CHP och GHP och avgörs av anläggningsägarens ekonomiska perspektiv samt hur stora värmebehoven är. Fältstudien av en CHP-installation visar att ur ett energiperspektiv så är åtgärden effektiv med en absolut besparing på ca 150 000 kWh el vilket motsvarar en reduktion på ca 25 % av den aktuella ishallens totala energianvändning.

Avfuktningen underskattas ofta och studien visar på energianvändningar mellan 80 och 150 MWh per år vilket relativt sett betyder 10-15% av ishallarnas totala energianvändning. En effektiv åtgärd är att förvärma regenereringsluften med återvunnen värme vilket i en ishall visat sig kunna leda till en årlig besparing på nära 60 000 kWh el.

Första steget till en energibesparande åtgärd är att känna till den nuvarande energianvändningen. Var tredje ishall kan inte redogöra för hur mycket energi de totalt köper per år. Ishallarna är sällan instrumenterade med undermätare även om den totala mängden köpt el och värme mäts. Steg 1 bör därför vara att installera undermätare för de dominerande energisystemen i en ishall – ”the big five”. Utan mätning är det svårt att härleda var potentialen till besparing finns eller konstatera om något är fel. Vidare och viktigare så går eventuella åtgärder som genomförs inte att följa upp.

Erfarenheterna visar vidare på ett fortsatt stort behov av informationsspridning och kompetensutveckling på alla nivåer. Brister i organisationsstrukturen, avsaknad av incitament och uppskattning bidrar också till att situationen är som den är – att det generellt görs för lite vad avser energieffektiviseringsåtgärder.

Besparingspotentialen är betydande såväl ekonomiskt som energi- och miljömässigt. I ekonomiska termer är 100 000 kr per ishall och år en konservativ bedömning - detta med rimliga insatser och investeringar.

I ett nationellt perspektiv är det förmågan att sprida information och kunskap över uppnådda resultat som sätter begränsningen på hur mycket energi som kan sparas.

SUMMARY

There are currently 356 ice rinks in operation in Sweden, which all together use more than 350 GWh on an annual basis. Earlier phases of the project have pointed to a potential saving of 60 to 120 GWh, with reasonable effort and investment.

This phase has focused on creating further concrete examples of measures to improve the efficiency of the Swedish ice rinks. The report details in this phase several sub-projects which can be briefly described as; general conditions in ice rinks, evaluation of information display, lighting technologies in ice rinks, secondary fluids treatment, heat pumps in ice rinks and dehumidification technology.

The results from the information display indicate that visitors have a limited interest and less benefit from the information while operating personnel in place find it useful in the everyday follow-up work.

Purification and degassing of system fluids gives longer life of pumps and fluids. Technically, probably ammonia-water is the most suitable secondary fluid today. Calculations show that the coefficient of performance can be improved up to 10% compared with conventional brine. Variations in a secondary fluids concentration could cost "several" 10 000 kWh per year. The message is to be careful with the concentrations and not "overdose" antifreeze in the fluids.

It is a very rapid development of lighting technology in ice rinks. When the project started, there was no ice rink with LED technology but at the end of the project there are 7 known installations. The market trend is pointing towards the LED and fluorescent lighting solutions.

The evaluation of heat pumps in ice rinks studied three different application principles – brine connected (BHP), coolant connected (CHP) and a coolant connected in combination with a geothermal storage (GHP). The best choices are the CHP and the GHP which is determined by the facility owner's financial perspectives and how large heating needs are. The field study of a CHP installation shows that from an energy perspective, effective action with an absolute saving of approximately 150 MWh of electricity which is equivalent to approximately 25% of total energy use.

Dehumidification is often underestimated and the study shows the energy uses between 80 and 150 MWh per year, which in relative terms means 10-15 % of the total ice rink energy usage. An effective measure is to preheat the regeneration air with recovered heat, which in one ice rink led to an annual savings of close to 60 MWh of electricity.

The first step to an energy saving measure is to know the current energy usage. Every third Swedish ice rink does not know how much energy they use per year. The experience show a great need for information dissemination and training at all levels. The savings potential is significant both economically and energetically. From a national perspective, it is the ability to disseminate information and knowledge of these achievements which sets the limit as to how much energy can be saved.

FÖRORD

Ett stort tack till alla de som bidragit till projekt Stoppsladd!

Först ut att nämnas är Energimyndigheten som varit huvudfinansiär men utöver det så har stora insatser kommit på ideell eller nära ideell grund från Svenska Ishockeyförbundet, driftspersonal i ishallarna och alla de som brinner för att anläggningarna finns och hålls igång. Vidare har projektets företagspartners gjort stora insatser med material, egna arbetstimmar, tips och råd.

TACK!

Älvsjö, 2014-12-18

Jörgen Rogstam	*Chadi Beaini*	*Jörgen Hjert*
Energi & Kylanalys	Energi & Kylanalys	Svenska Ishockeyförbundet

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING 8

1.1 BAKGRUND 8
1.2 SYFTE 9
1.3 MÅL 9
1.3.1 Informationsskärm 9
1.3.2 Belysningsteknologier i en ishall 9
1.3.3 Rening av systemvätskor 10
1.3.4 Värmepump för ökad värmeåtervinning 10
1.3.5 Avfuktning 10
1.4 DISPOSITION 10

2 GENOMFÖRANDE 11

2.1 INTRODUKTION TILL TEKNIKSTUDIERNA 11
2.1.1 Allmänna förutsättningar i ishallar 11
2.1.2 Informationsskärm 11
2.1.3 Belysningsteknologier i ishallar 11
2.1.4 Rening av systemvätskor 11
2.1.5 Värmepump för ökad värmeåtervinning 12
2.1.6 Avfuktning i ishallar 12

3 RESULTAT 13

3.1 ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR I ISHALLAR 13
3.1.1 Klimat i ishallar 13
3.1.2 Energi - överblick & nyckeltal 16
3.2 INFORMATIONSSKÄRM 19
3.2.1 Installation och genomförande 19
3.2.2 Energiuppföljning 21
3.2.3 Samtal, intervjuer och uppföljning 23
3.2.4 Slutsatser 23
3.3 BELYSNINGSTEKNOLOGIER I ISHALLAR 24
3.3.1 Inledning 24
3.3.2 Belysningsteknologier i ishallar 24
3.3.3 Jämförelse olika belysningsinstallationer 29
3.3.4 Ljusreglering 31
3.3.5 Fältstudier 31
3.3.6 Belysningsplanering 35
3.3.7 Att tänka på vid upphandling av arenabelysning 36
3.3.8 Slutsats 36
3.4 RENING AV SYSTEMVÄTSKOR 37
3.4.1 Köldbärare – en introduktion 37
3.4.2 Enfasiga köldbärare i ishallar 38
3.4.3 Teoretisk utvärdering - värmeöverföring och tryckfall 41
3.4.4 Resultat - teoretisk utvärdering 45
3.4.5 Analyser av vätskor 51
3.4.6 Slutsatser 53
3.5 VÄRMEPUMP FÖR ÖKAD VÄRMEÅTERVINNING 54
3.5.1 Värmeanvändning i ishallar 54
3.5.2 Värmepumpsteknik 54
3.5.3 Tekniker för energilagring 55
3.5.4 Värmeanalys 56
3.5.5 Värmepumpkoncept och lösningar 60
3.5.6 Simulering 65
3.5.7 Livscykelkostnadsanalys (LCC) 68
3.5.8 Fallstudie av värmepumpinstallation 71
3.5.9 Slutsats 79
3.6 AVFUKTNING I ISHALLAR 80

3.6.1 Introduktion till avfuktning ... 80
3.6.2 Avfuktningstekniker ... 80
3.6.3 Avfuktares energianvändning ... 81
3.6.4 Energibesparing genom värmeåtervinning ... 83
3.6.5 Avfuktningsenergi i ishall D ... 85
3.6.6 Avfuktningsenergi i ett ishallsperspektiv ... 85
3.6.7 Summering ... 87

4 DISKUSSION OCH SLUTSATSER ... 88

5 FORTSATT ARBETE ... 91

6 REFERENSER ... 91

7 BILAGOR ... 92

1 INLEDNING

Energi & Kylanalys har tillsammans med Svenska Ishockeyförbundet under flera år (2009 – 2014) och i olika faser genomfört energi- och teknikinventeringar av Svenska ishallar under projektnamnet Stoppsladd. Den föreliggande fasen, Fas 4, har haft som mål att skapa ytterligare ett antal konkreta exempel på hur energi kan sparas inom några nya specifika områden.

Projektet delfinansieras till största enskilda del av Energimyndigheten medan resterande delar kommer från projektets samarbetspartners såsom; Svenska Ishockeyförbundet, QTF, ClimaCheck, ETM Kylteknik, RiteIce, Polair och Francks Kylindustri.

1.1 Bakgrund

Det finns idag 356 ishallar i Sverige som är i drift. Projektet har inventerat ca 200 av dessa ishallar och har i varierande utsträckning analyserat dessa. Syftet och målet med projekt Stoppsladd har varit att kartlägga de svenska ishallarnas energianvändning och skapa en kunskapsdatabas, relaterad till energifrågor, för ishallar. Projektet har även haft till uppgift att sprida information och inspirera till energieffektiviserande åtgärder.

Statistiken som samlats genom projekt Stoppsladd visar att en genomsnittlig ishockeyhall använder ca 1 000 000 kWh köpt energi (el och värme) per år.

Vid insamling av statistik på energianvändningen i ishallar är det påtagligt att den mättekniska instrumenteringen är allmänt dålig bland ishallarna. Närmare var tredje ishall i Sverige kan inte redogöra för hur mycket energi de köper per år. Detta medför en problematik när det gäller att härleda energibesparingar till specifika åtgärder och händelser. För kunskap om ishallens energianvändning och behov måste energianvändningen för de största energianvändarna i systemet mätas. De största energianvändarna – ”the big five” - i en ishall är kylanläggningen, värmesystemet, belysningen, ventilationen samt avfuktningen.

Resultatet från informationsinsamlingar och analyser från Stoppsladd fas 1, 2 och 3 pekar på en nationell energibesparingspotential om 60 till 120 GWh (dvs 60 000 000 till 120 000 000 kWh) per år med rimliga insatser och investeringar. Detta motsvarar en besparingspotential per ishall motsvarande 20 till 40 procent.

Projekt Stoppsladd har med konkreta exempel påvisat hur energi kan sparas genom olika åtgärder - tyvärr har dessa inte genomförts i förväntad utsträckning. Brister i organisation och kunskap, avsaknad av incitament bidrar sannolikt mest till att verkligheten är sådan.

Det fortsatta energieffektiviseringsarbetet i de svenska ishallarna – och det finns ”relevanta” ekonomiska incitament! - är betingat av att det finns aktörer och projekt, såsom Stoppsladd, som driver på. Erfarenheterna så här långt visar på ett fortsatt stort behov av informationsspridning och kompetensutveckling på alla nivåer.

1.2 Syfte

Syftet med Fas 4 projektet har varit att genom studier identifiera/skapa ytterligare nya specifika energibesparingsåtgärder för ishallar samt att sprida kunskapen till relevanta aktörer. Stoppsladdsprojekten (Fas 1-4) skall möjliggöra att svenska ishallar fortsätter utvecklas – bli mer energieffektiva (minska sin energianvändning) och kostnadsoptimala – och kan ta sitt ansvar ur ett hållbarhetsperspektiv.

Projekten har genererat många goda och konkreta exempel och påvisat möjligheterna som ny teknik eller användning av befintlig teknik kan ge.

1.3 Mål

Projektets (Stoppsladd fas 4) mål är att ta fram ny kunskap om energi-effektiviseringsåtgärder och människors påverkan/beteende på energianvändandet i ishallar. Projektets effektmål är att öka kunskapen kring energieffektivisering av ishallar, för att i förlängningen uppnå energieffektivisering i svenska ishallar som motsvarar en reducering med ca 20 % av den nuvarande energianvändningen fram till 2020.

Målsättningen med de olika teknikstudierna sammanfattas kort nedan.

1.3.1 Informationsskärm

Publik visning av aktuell energianvändning på anläggningen via en centralt placerad informationsskärm – skärmen placerades i entrén till sportanläggningen. På skärmen presenteras för tillfället:

- Total använda eleffekter
- Belysningens effektuttag
- Kylmaskinens effektuttag
- Allmän information såsom klimatdata, tid, etc.

Delprojektets mål:

- Sammanställa erfarenheterna i syfte att söka påvisa om det finns ett samband mellan beteende hos dem som arbetar respektive besöker anläggningen och anläggningens energianvändning, dvs är det möjligt att genom information om hur anläggningens energianvändning är/ser ut förändra beteendet hos såväl driftspersonal som besökare så att energianvändningen blir lägre.

1.3.2 Belysningsteknologier i en ishall

Idag saknas en dokumenterad sammanställning av olika belysningsteknologier med tonvikt på användningsområdet ishallar. LED-teknologin ”knackar på dörren”, då projektet (fas 4) startade fanns inga anläggningar med LED-belysning då vi nu summerar finns det 7 stycken spridda över Sverige. Preliminära data visar att en ”LED-lösning” skulle kunna halvera energianvändningen för belysningen, vilket potentiellt betyder 15 - 30 MWh per anläggning.

Delprojektets mål:

- Framtagning av skrift ”Att tänka på vid upphandling av arenabelysning”
- Verka för ett pilotprojekt med LED teknologi samt dokumentera detsamma.

1.3.3 Rening av systemvätskor

En fördjupad analys och uppföljning av två anläggningar där insatser gjorts inom delprojektet rening av system vätskor under tidigare projekt. En initial beräkning har visat på en sparpotential på dryga 20 000 kWh per säsong och anläggning genom olika åtgärder. Syftet är att analysera hela effekten och gör en bredare studie för att bedöma potentialen från ett nationellt perspektiv.

Delprojektets mål:

- Följ upp de insatser som gjordes i fas 3 i detalj genom vidare analys av de två anläggningarna.
- Samla in bredare statistik genom att ta in prover på köld- och värmebärare från ytterligare ishallar. Bedöma potentialen ur ett nationellt perspektiv.

1.3.4 Värmepump för ökad värmeåtervinning

Delprojektet kommer analysera värmepumpstillämpning med kylsystemets kylmedel som värmekälla och dess potentiella energi- och kostnadseffektivitet. En existerande anläggning kommer att identifieras, analyseras och dokumenteras. Studien kommer inkludera en LCC-analys av värmepumpstillämpningen. Besparingspotentialen för denna åtgärd bedöms vara 175 000 – 350 000 kWh per anläggning.

Delprojektets mål:

- Identifiera ishall med befintlig värmepump, dokumentera lösningen genom mätningar, beskriv som ”Gott exempel” inklusive exempel på en LCC-analys.

1.3.5 Avfuktning

Detta avsnitt ingick inte som ett av målen i projektets leveranser men anses vara av stort allmänt intresse och har därför inkluderats.

1.4 Disposition

Rapporten är upplagd så att resultaten presenteras i samma ordning som de uppsatta målen. Utöver de uppsatta målen har i teknikdelen en introduktion med allmänna data från några ishallar inkluderats. Detta för att ge lite nyckeltal som är relevanta för ishallar.

Efter resultaten kommer som sig bör en sammanfattande del där slutsatser från hela projektet sammanfattas. Och sist i rapporten föreslås några teman för vidare arbete som projektet identifierat.

2 Genomförande

Projektets partners ha deltagit med resurser för datainsamling, genomförande av fallstudier och teknikstudier. Svenska Ishockeyförbundet (SIF) har varit huvudpartner i projektet och svarat för kontakten med arenorna samt informationsspridning. Andra projektpartners med kontakter och kännedom om energisystemen som deltagit är QTF Sweden AB, Francks Kylindustri, ETM Kylteknik, RiteIce, Polair, och ClimaCheck. Energi & Kylanalys, EKA, har lett projektet, analyserat data, utvärderat delprojekt och rapporterat resultaten.

2.1 Introduktion till teknikstudierna

Teknikstudierna har gjorts inom några områden som bedöms kunna bidra till en lägre framtida energianvändning. Syftet är att erhålla ny kunskap om energieffektiviseringsåtgärder applicerade på just ishallar. Många ishallsägare vill gärna använda ny teknik men vill ogärna vara först att prova varför konkreta och dokumenterade exempel är/blir extra värdefulla.

2.1.1 Allmänna förutsättningar i ishallar

Som en introduktion till teknikstudierna och ishallars funktion och energianvändning sammanställs några grundläggande förutsättningar för ishallar. Genom EKAs pågående mätningar i många ishallar så har en referensbank med data byggts upp som visar på likheter respektive olikheter i energianvändningen. Några exempel belyses här med avseende på energianvändning för de dominerande energisystemen – här ofta refererat till som ”the big five”.

Data har huvudsakligen samlats in genom fast installerad mätutrustning varför data finns tillgänglig för en längre tidsperiod. För att göra denna del överskådlig så har till största delen månadsmedelvärden använts för energianvändning och även klimatparmetrar såsom temperaturer och relativ fukt.

2.1.2 Informationsskärm

En informationsskärm i Norrtälje Sportcentrum har installerats för att analysera och utvärdera sambandet mellan beteende och energianvändning i en ishall. Studien inkluderar intervjuer av personal och andra berörda på plats för att analysera eventuella beteendeförändringar.

2.1.3 Belysningsteknologier i ishallar

Projektet har studerat belysningstekniker relevanta för ishallar. Nya tekniker bör kunna halvera energianvändningen för belysning in en ishall och samtidigt klara belysningskraven i form av belysningsstyrka och uniformitet över banan. Projektet har samlat in och dokumenterat såväl befintliga som kommande belysningsteknologier passande för ishallar. Resultatet är bl.a. en skrift ”Att tänka på vid upphandling av arenabelysning” (Bilaga 1). Vidare så har brukarnas uppfattning om t ex LED analyserats närmare i ett examenarbete (Bilaga 2d, Nilsson & Nordström 2014). I denna fördjupning så har enkätundersökningars genomförts där spelare i flera lag fått svara på frågor om belysningskvalitet före och efter byte av ljusteknik.

2.1.4 Rening av systemvätskor

En fördjupad analys och uppföljning har gjorts av de två anläggningar där insatser tidigare gjorts inom delprojektet rening av system vätskor. Syftet var att analysera

långtidseffekten och göra en bredare studie för att bedöma potentialen ur ett nationellt perspektiv.
Arbetet har huvudsakligen utförts inom ramen för ett examensarbete (Bilaga 2a, Mazzotti 2013) och har även inkluderat provtagning av köld- och värmebärarvätskor i ett större antal ishallar. Provtagningen på fältet har hanterats av projektets partners och analysen gjordes på KTH.

2.1.5 Värmepump för ökad värmeåtervinning

Projektet har analyserat olika typer av värmepumpstillämpningar med olika värmekällor. Principiellt kan man säga att det finns minst tre sätt att arrangera värmepumpar i ishallar; kopplad till kylsystemets köldbärare, kopplad till kylmedlet och en kombination av kylmedel och externt geoenergilager.
Dessa alternativ har teoretiskt utvärderats i ett examensarbete (Bilaga 2b, Gummesson 2013) vad gäller energibesparing och kostnad vilket inkluderar LCC-analyser av de olika alternativen.
En existerande anläggning, där en konvertering från huvudsakligen direktel till vattenburen värme med värmepump, har också analyseras och dokumenteras. Fokus i den senare studien har varit att fånga upp lärdomar vid genomförandet och att följa upp verklig energibesparing samt göra en översiktlig bedömning av den framtida besparingspotentialen.

2.1.6 Avfuktning i ishallar

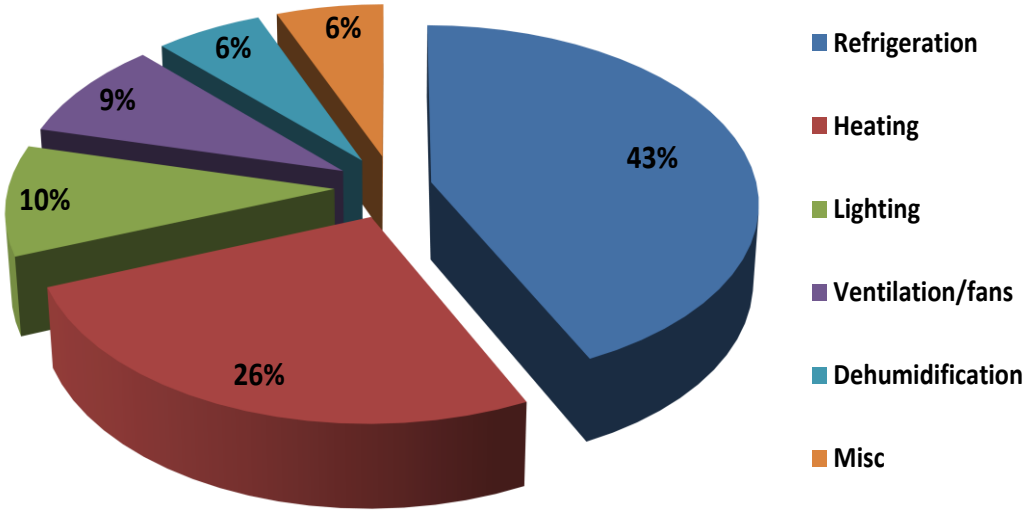
Detta avsnitt ingår inte som ett av målen i projektets leveranser men ansågs vara av stort allmänt intresse och har därför inkluderats. Den tidigare fasen av projekt Stoppsladd (fas 3) tittade på olika avfuktningsprincipers energianvändning. I den föreliggande studien gjordes en fördjupning inom ramen för ett examensarbete (Bilaga 2c, Santos 2013) vilken tagit fram ytterligare relevant information.
I studien har energisignaturen för avfuktning i flera ishallar studerats vilket visar på tydliga mönster i anläggningarnas energianvändning och avfuktningsbehov. Dessa kan sedan användas för att bestämma källan till avfuktningsbehovet och i förlängningen öppnar det för att göra ”rätt” ingrepp för effektiviseringsåtgärderna.

3 RESULTAT

Som beskrivits tidigare så inkluderar projektet ett antal så kallade teknikstudier vilka ska tjäna som goda exempel på hur energi kan sparas i ishallar. I detta avsnitt redovisas i relativt detaljerade former de resultat som framkommit. Då flera av delstudierna har föregåtts av examensarbeten eller dylika fördjupningar så kommer det också att refereras till de ytterligare detaljer som finns i dessa arbeten. Detta för att ge den intresserade läsaren möjlighet till ytterligare information.

3.1 Allmänna förutsättningar i ishallar

En mängd olika parametrar påverkar energisystemens förutsättningar i en ishall. Vissa saker kan påverkas genom enskilda energisystems inställning och följaktligen dess avsedda funktion. Exempel på detta är lufttemperaturinställningar, avfuktarens börvärden, istemperatur, etc. Medan andra saker ges av omgivande faktorer såsom klimat, aktivitetsgrad, typ av aktivitet, byggnadens beskaffenhet där det senare kan vara inverkan av t ex ett oisolerat klimatskal.



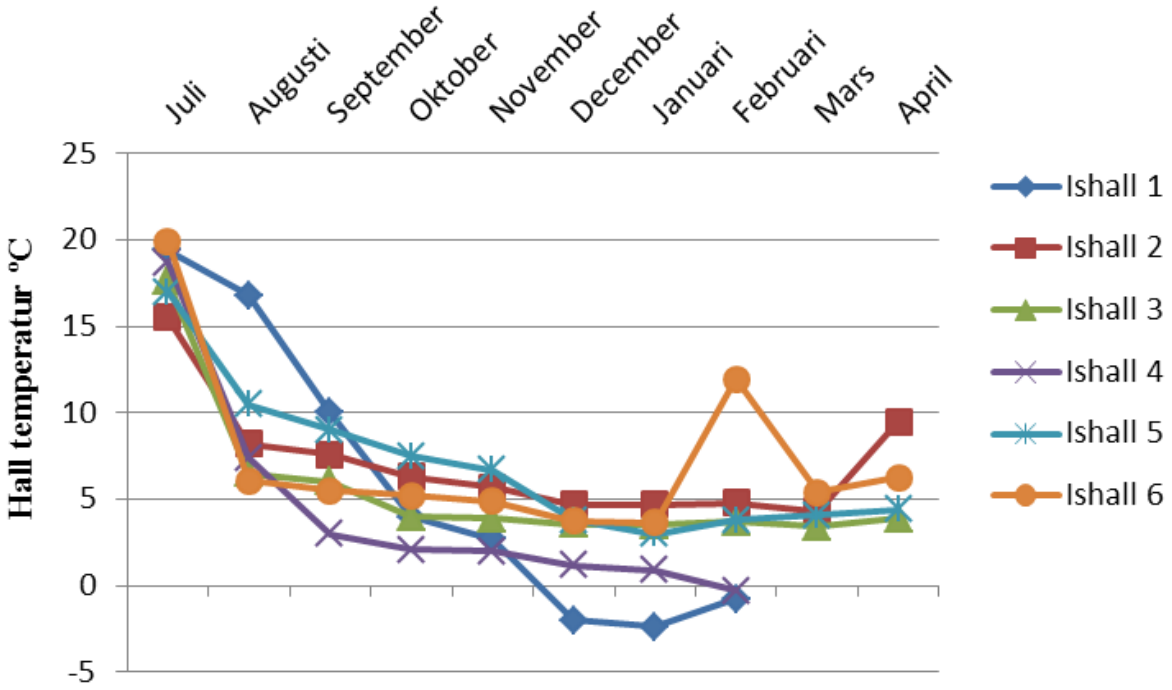
Figur 1: Energianvändning uppdelad på de dominerande energisystemen.

Dessa faktorer kommer påverka vilket belastning det blir för primärt ishallens fem dominerande energisystem, ”the big five”; kyl-, värme, avfuktnings-, belysnings- och ventilationssystemen. Resultaten nedan är tagna från sex olika ishallar i Stockholmsområdet så klimatmässigt har de liknande förhållanden. Närmare detaljer utelämnas här men det kan ändå sägas att de är av liknande storlek och har sannolikt likvärdiga förutsättningar.

3.1.1 Klimat i ishallar

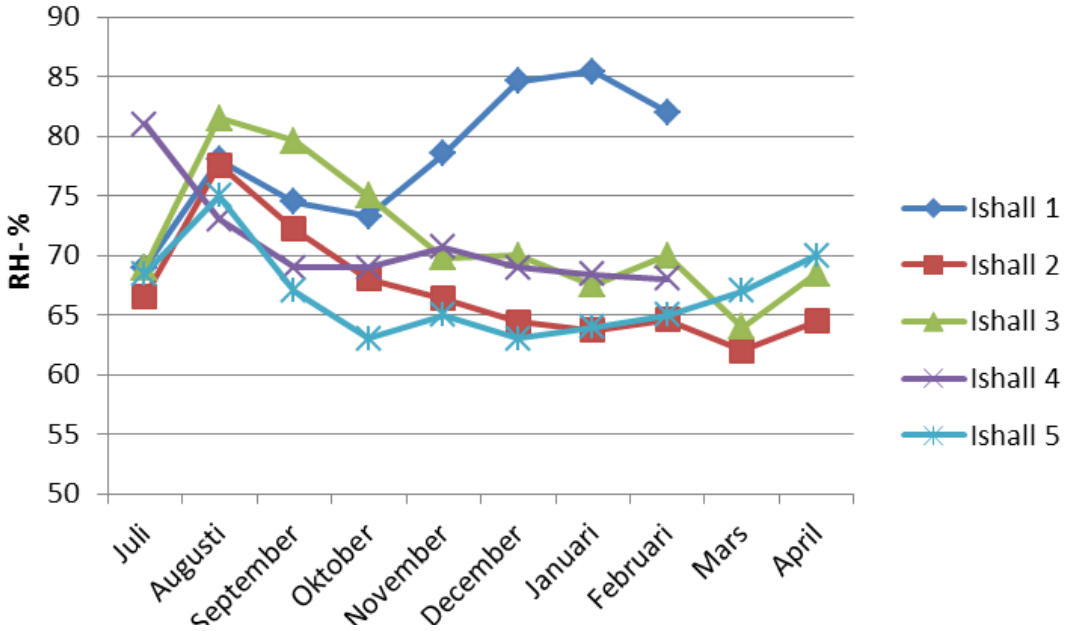
Som nämnts ovan så har klimatet i ishallen en stor betydelse för belastningen på de olika energisystemen. De följande figurerna visar temperatur, relativ fukt (RH) och vatteninnehåll inne i 6 stycken ishallar. Det kan konstateras att det är normalt att temperaturnivån ligger mellan 15 och 20°C när ishallarna tas i drift i början på sösongen, vilket naturligtvis medför en mycket stor värmebelastning vid uppstart. När kylsystemen börjat kyla så sjunker temperaturen snabbt i hallen men det är mycket termisk massa att jobba med då ispist, byggnad och alla inventarier håller ”sommartemperatur”. De flesta mindre ishallar, där man styr klimatet, håller

temperaturer mellan 5 och 10°C vid normal drift men i några fall där ishallarna är oisolerade kan temperaturen under vintern sjunka betydligt lägre.



Figur 2: Inomhustemperatur i sex olika ishallar.

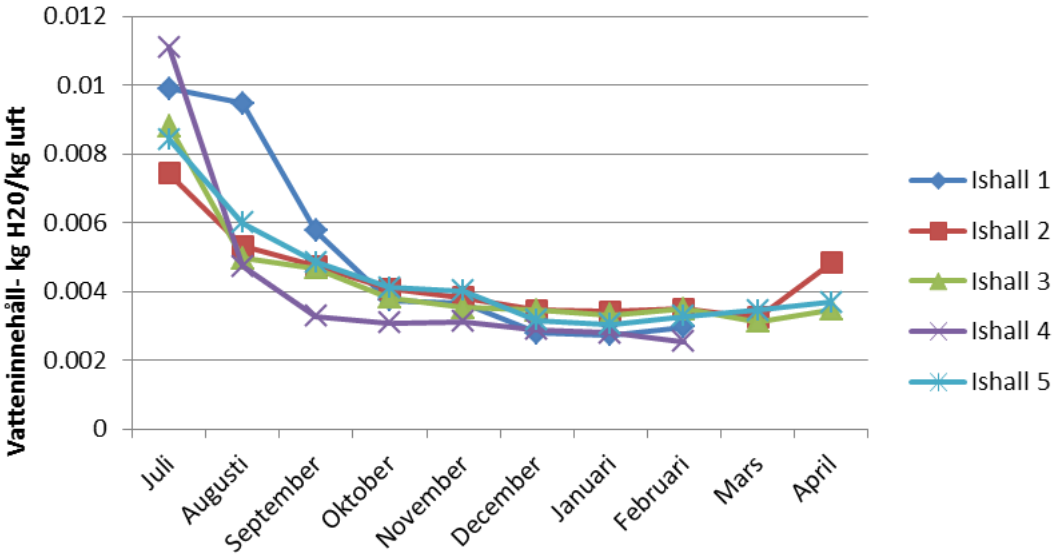
I övrigt så följer de olika ishallarna nästan samma trend vad gäller temperatur inne i hallen. Det är bara i ishall 1 som temperaturen kan sjunka ner mer än vanligt vid kalla dagar, och det beror på att det är just en oisolerad hall. Intressant att notera är att den är bland de varmare i början på säsongen och bland de kallare i slutet, vilket illustrerar utmaningen med just oisolerade hallar, dvs de kommer att påverkas starkare av omgivningsklimatet.



Figur 3: RH inne i 6 olika hallar

Figur3 visar relativa fukten, RH, inne i ishallarna under säsongen. Då de flesta fortfarande styr avfuktningen på just inställt RH-värde kan man konstatera att avfuktningen inte verkar "orka" med i början av säsongen. Det dröjer för de flest fram till oktober innan värdena stabiliserar sig – och då oftast mellan 60 och 70 %. De flesta ishallar har inställningsvärden i spannet 60-70% vilket man ser för ishall 2, 3 ,4 och 5. En hall sticker ut och det är ishall 1 som har ett betydligt högre RH värde vilket är kopplat till den låga temperaturen inne i hallen, samtidigt som man förmodligen stänger av avfuktningsaggregatet. Detta kopplar naturligt till vikten av att styra avfuktningen mot absolut fukt snarare än relativ fukt.

Då temperaturen ändras så kommer den relativa fuktstyrningen att ändra den absoluta fukthalten vilket snarare borde hållas konstant. Med hjälp av temperatur- och relativ fuktdata från ovan så har vatteninnehållet per kg luft tagits fram och visas i figuren nedan.

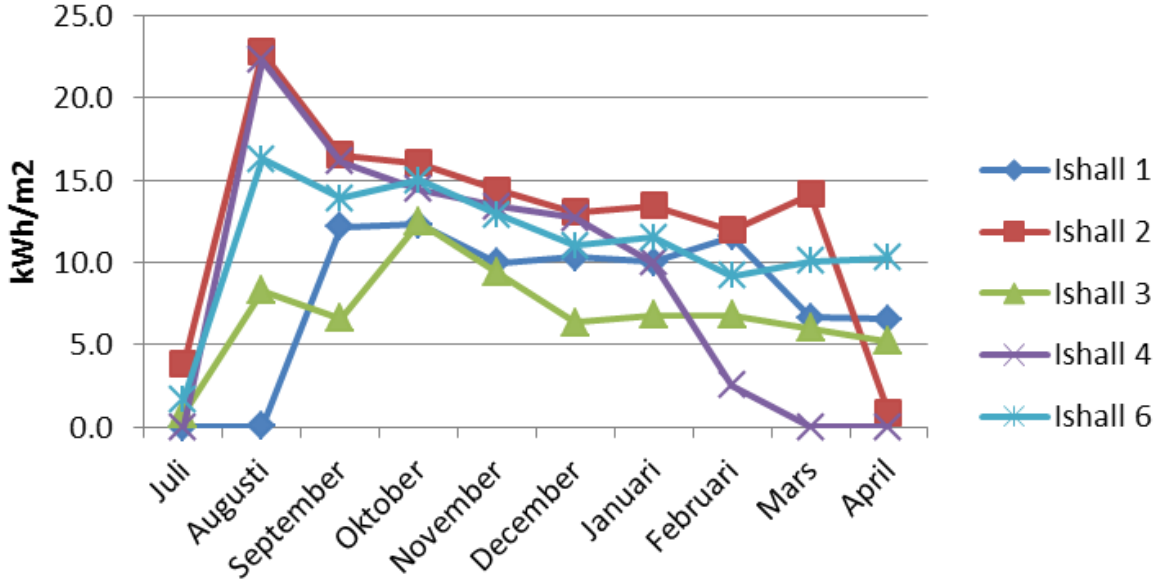


Figur 4: Vatteninnehåll inne i 6 olika hallar.

Som framgår av figur 4 så har de flesta ishallarna höga fukthalter, dvs > 3.7 g H_2O/kg luft i början av säsongen. Senare på säsongen kan man notera att vissa hallar har för låga fukthalter, dvs < 3.7 g H_2O/kg luft. Detta betyder att de eventuellt "överavfuktar", dvs använder avfuktarenergi i onödan. Vatteninnehållet är en viktig parameter som har en stor påverkan på fuktlasten på isen men också på byggnaden, samt inte minst på energianvändningen.

3.1.2 Energi - överblick & nyckeltal

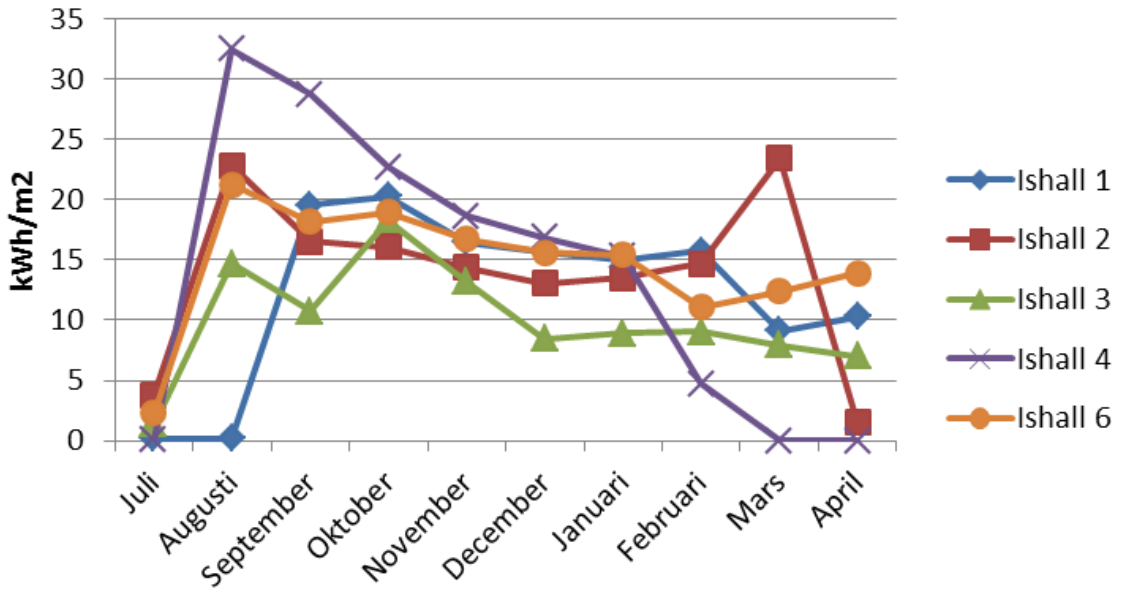
I detta avsnitt följer en jämförelse av energianvändningen för några av de dominerande energisystemen. För att illustrera energianvändningen som ett nyckeltal så har den normaliserats till månadsbasis och per kvadratmeter. På så sätt så kan olika anläggningar jämföras även om just dessa ishallar inte har precis samma isyta.



Figur 5: Energianvändning för kylkompressorerna i 5 olika ishallar (kWh/m^2).

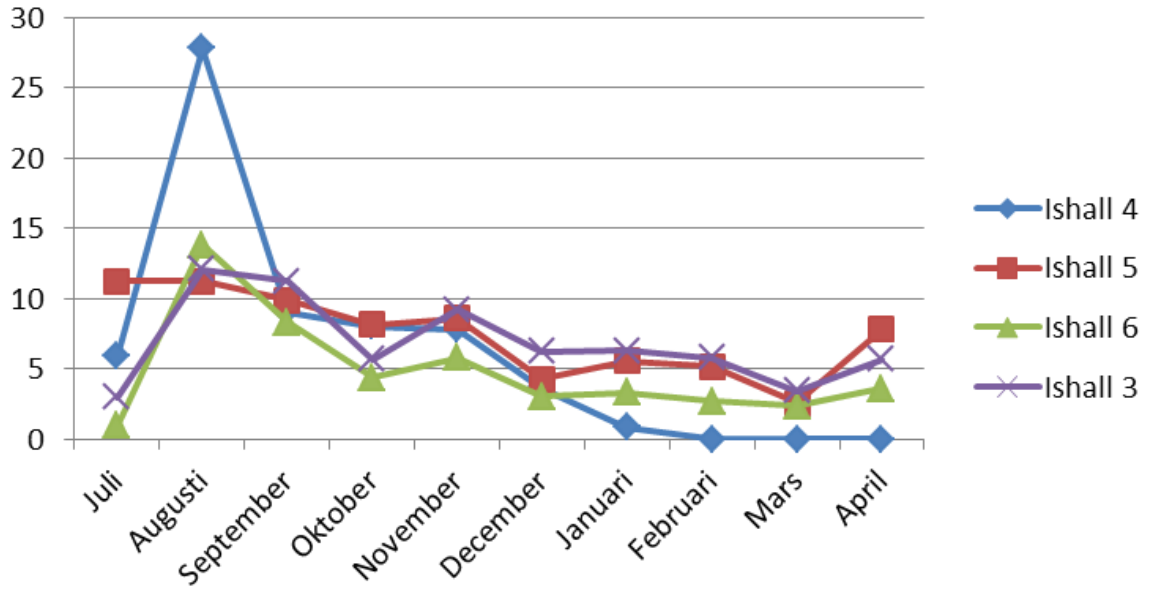
Med ”kylkompressorer” refereras här bara till kompressorerna dvs. utan kringutrustning såsom pumpar och fläktar. Figur 5 visar energianvändning per m^2 isyta och månad i de olika hallarna. I början på säsongen är energianvändningen relativt hög men börjar sedan den sjunka för att ligga mellan 6-15 kWh/m^{2}mån.

Utifrån denna bild går det att få en bild av prestandan på de olika kylsystemen och få en indikation på vilka system som eventuellt sticker ut. En bild som denna ger inte hela sanningen utan kompressorernas energianvändning påverkas som nämnts ovan av belastningen på isen. Vidare så kan t ex värmeåtervinningsfunktionen ibland göra att kylsystemet använder mer energi än det annars skulle gjort. I det senare fallet behöver man då också titta på återvunnen värme för att bedöma hela anläggningens energianvändning och energieffektivitet.



Figur 6: Energianvändning för kylsystemet och kringutrustning (kWh/m^{2}mån).

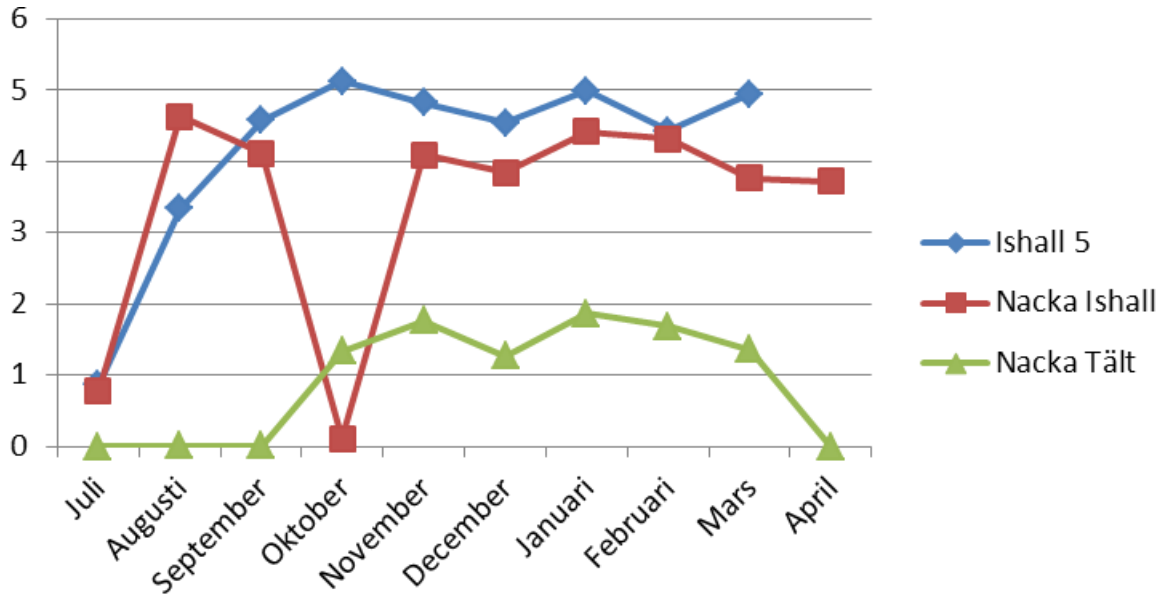
I figur 6 ingår kylsystemets energianvändning för pumpar och fläktar vilket kan få stort genomslag för vissa system. Kurvorna följer en liknande trend som tidigare men det är inte ovanligt att kringutrustningen står för 25-40% av kylsystemets totala energibehov. Det kan konstateras att den genomsnittliga energianvändningen för kylsystemet och kringutrustningen i detta fall ligger mellan 8-17 kWh/m^{2}mån. Kylsystemens energianvändning påverkas av både klimat och ishallens användning varför kurvorna för de olika hallarna kan påverkas i olika riktningar som syns tydligt i figur 6.



Figur 7: Avfuktarens energianvändning (kWh/m^{2}mån).

På samma sätt som för kylsystemen så mäts även avfuktarnas energianvändning (figur 7) och har ovan normaliserats till isyta och månad. I början av säsongen är energianvändningen hög och det beror naturligtvis på det höga vatteninnehållet i luften inne i hallarna. De höga fukthalterna beror huvudsakligen på luftläckage och i början av säsongen så är fuktinnehållet i utomhusluften väldigt högt vilket tillför stora mängder

luft till ishallen. När vatteninnehållet i uteluften börjar minska så minskar också den totala avfuktningsenergin.



Figur 8: Belysningens energianvändning (kWh/m^{2}mån).

Belysning är en annan av de stora energianvändarna och tyvärr hade projektet vid denna studie inte tillgång till så många anläggningar med energimätning. Man kan ändå se två ishallar och ett ”tält” i figur 8. Ishallarna ligger på en liknande nivå vilket naturligtvis styrs av aktivitet (närvaro) och tid belysningen är tänd, men även vilken installerad effekt som finns tillgänglig och om den eventuellt kapacitets regleras. Tältet visar en betydligt lägre energianvändning vilket beror på en lägre installerad effekt samt en kortare aktivitetstid.

3.2 Informationsskärm

En informationsskärm i Norrtälje Sportcentrum installerades för att analysera och utvärdera sambandet mellan beteende och energianvändning i en ishall. Delprojektet omfattade även intervjuer med personal och andra berörda på plats för att analysera eventuella beteendeförändringar.

3.2.1 Installation och genomförande

SportCentrum i Norrtälje består av dels en ishall (Contigahallen) och en (boll-)sporthall. Dessa är sammanbyggda via en gemensam del innehållande café, sammanträdeslokaler, kontorsrum, omklädningsrum mm emellan sig.

Projektet hade förberett SportCentrum för installation av skärmar för presentation av energianvändning på två nivåer. Dels för driftspersonal men även för besökare och nyttjare. Då SportCentrum blev föremål för ombyggnad, bl.a. flyttades driftpersonalens expedition begränsades installationen till en publik skärm. Denna placerades vid ingången till SportCentrum, bredvid den skärm som informerar om aktiviteter och omklädningsrumsfördelning i hallen. Se figur 9 nedan.

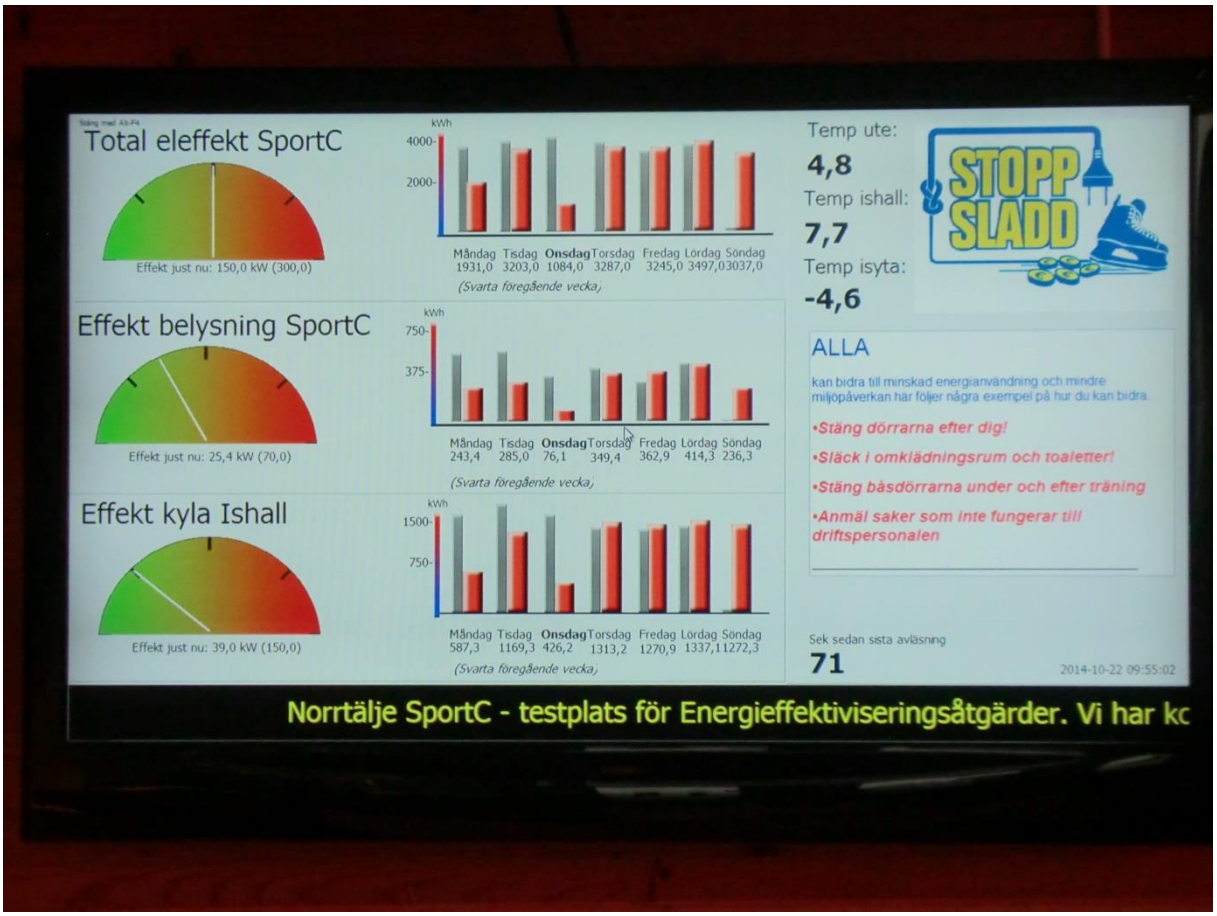
Figur 9: Entréhallen på Norrtälje SportCentrum.

Inom ramen för projektet utvecklades ett gränssnitt som presenterar energidata. Data ligger lagrade hos projektpartnern ClimaCheck. Genom ett friliggande egenutvecklat

program hämtas de data som är av intresse. I SportCentrum-fallet valdes att presentera den för tillfället:

- totala använda effekten
- belysningens effektuttag
- kylmaskinrummets effektuttag
- samt klimatdata såsom temperaturer, etc.

Dessa presenteras i form av ”hastighetsmätare” till vänster på figur 10 nedan. I mitten på bilden presenteras energianvändningen (kWh) – totalt som för belysning resp. kylmaskineriet – per veckodag innevarande vecka som föregående vecka (grå staplarna). Av bilden framgår att bilden togs en onsdag (onsdags stapeln under ”uppbyggnad”). Längst till höger finner man aktuella temperaturer – ute, inne som isytan. Vi har också valt att lägga in några uppmaningar till besökare/nyttjare. Längst ner på skärmen rullar en text – ”Norrtälje SportCentrum – testplats för Energieffektiviseringsåtgärder”

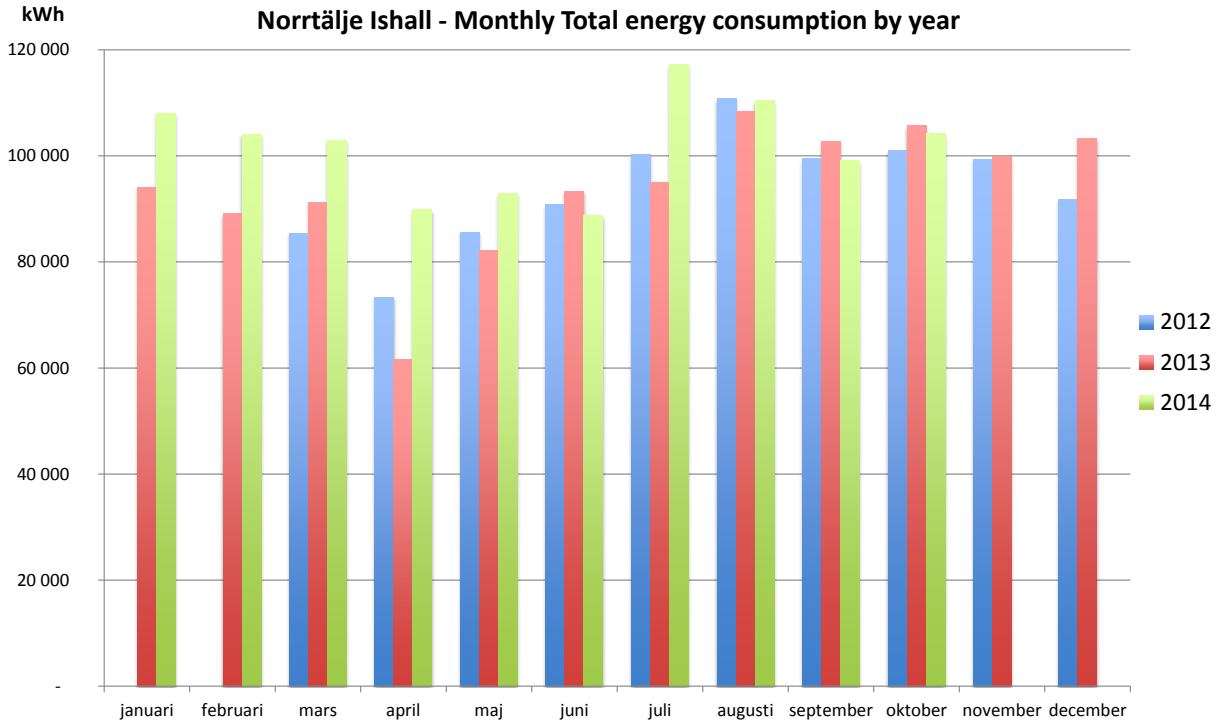


Figur 10: En närbild av skärmen i entréhallen på Norrtälje SportCentrum.

3.2.2 Energiuppföljning

Som framgick av det tidigare avsnittet så visar skärmen anläggningens effekt- och energianvändning för total el, belysning (is- och sporthall) samt kylsystem. Vidare så visas även några andra parametrar såsom temperatur inne/ute/is och relativ fuktighet i ishallen. Mätningarna påbörjades 1 mars 2012 och har sparats kontinuerligt.

För att följa upp någon eventuell påverkan på energianvändningen så studeras nedan de energier som också visas på skärmen. Perioden för utvärderingen är mars 2012 till oktober 2014, vilket betyder att tiden före skärmens installation i maj 2012 är relativt kort.

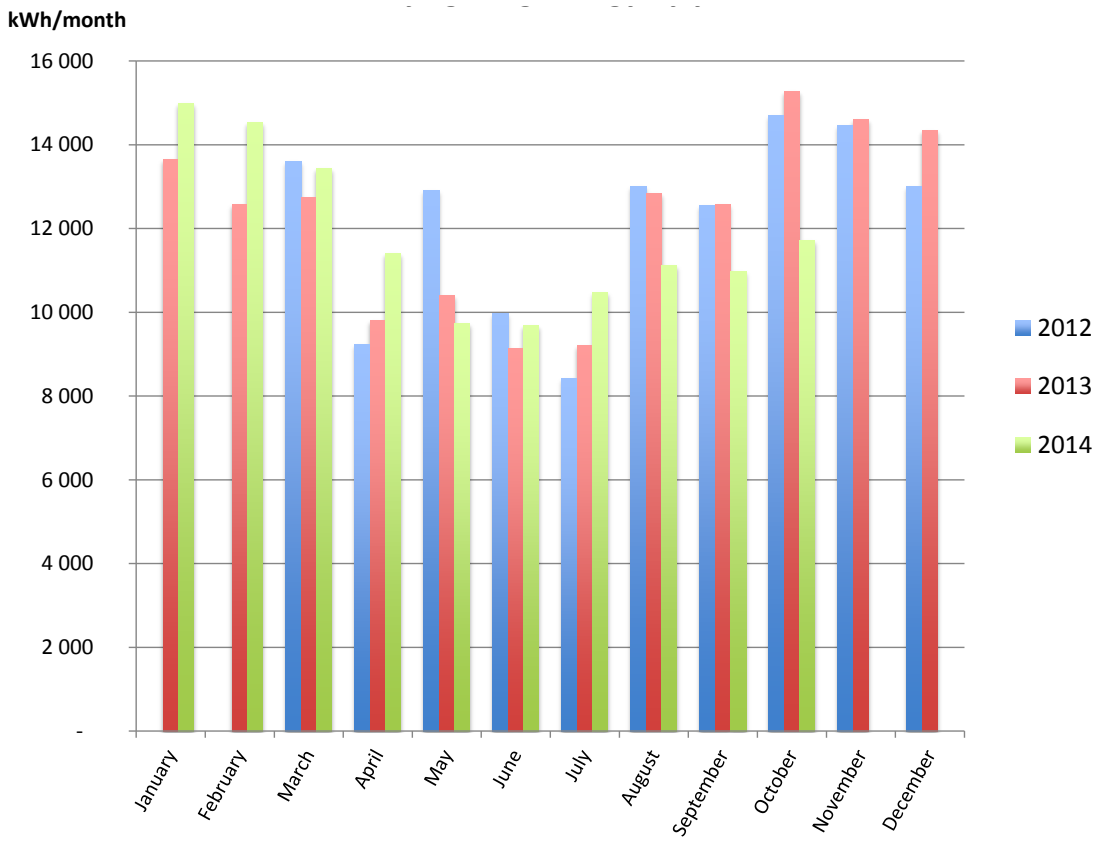


Figur 11: Norrtälje SportCentrums totala el-energianvändning per månad för 2012-2014.

Bilden ovan visar den totala el-energianvändningen per månad sedan 1 mars 2012. Av diagrammet är det svårt att utläsa några energibesparingar vilka skulle kunna kopplas till installationen av informationsskärmen. Det skall dock påpekas att man inte tagit hänsyn till vare sig verksamhetens omfattning under perioden – om den ökat, minskat eller varit oförändrad – ej heller normalårskorrigerat m.a.p. klimatet.

Vid närmare betraktelse av belysningens energianvändning under augusti, september och oktober 2014 kan man se en nedgång i energianvändningen för framförallt september och oktober. Denna minskning kan hänföras till den förändring på belysningsinstallationen som gjordes i (boll-)sporthallen.

I den totalt uppmätta el-energin som den energi som belysningen använder ingår såväl ishallens som sporthallens siffror. Till saken hör då att i september 2014 installerades en LED-belysning i sporthallen.



Figur 12: Norrtälje SportCentrums belysningsenergianvändning för åren 2012-2014.

Av diagrammet ovan framgår tydligt nedgången i belysningens energianvändning från och med augusti 2014. Detta korresponderar väl med bytet från lysrör (totalt installerad effekt om 19 740 W) till en LED-belysning (totalt installerad effekt om 13 200 W) vilket förefaller ha har gett en 20%.-ig reduktion på den totala belysningsenergin, dvs med is- och sporthall sammanvägda. I kapitel 3.3 återkommer diskussionen runt LED-teknikens eventuella fördelar i dessa anläggningar.

Det ska betonas att belysningssystemets energianvändning inte bara är kopplat till installerad effekt utan beror till stor del på hur detsamma styrs och används. Det som ytterligare komplicerar analysen i detta fall är att det är två olika hallar med olika aktiviteter som påverkar den uppmätta energin. Slutsatsen är att från underlaget ovan är det tydligt att en besparing skett och det är troligt att det härrör från den nya LED-installationen samt dess reglering. Det är också möjligt att ishallens aktivitet och belysningsstyrning kan spela in dock sannolikt inte i så hög grad.

3.2.3 Samtal, intervjuer och uppföljning

Vid intervjuer med arenaansvariga och driftsansvariga framkom det att det numera finns en större medvetenhet hos de som arbetar på anläggningen. Detta har visat sig i bl.a. ett förändrat beteende. Detta kan/vill man hänföra till uppsättningen av informationsskärmarna. Vad gäller besökarna på anläggningen så har dessa i viss utsträckning observerat skärmarna men inte frågat så mycket om innehållet eller innebörden. En rundringning till några politiker i kommunfullmäktige (kommunfullmäktigemötena hålls i SportCentrums lokaler) gav som svar att man generellt inte noterat informationsskärmen!

3.2.4 Slutsatser

1. Trots skärmens placering centralt i ingången till anläggningen noteras den generellt sett inte av besökarna/nyttjarna. Skärmen måste kompletteras med tilläggsinformation.

2. Från de som är verksamma på anläggningen har man sagt att informationsskärmen lett till en medvetenhet som lett till ett ändrat beteende, tyvärr avspeglas inte detta då vi betraktar energidata. Informationsskärmen var dock till stor nytta då personalen blev uppmärksammade att man t ex glömt ändra tillbaka inställningen på kylmaskineriet från ”Match”-läge till ”Normal”-läge.

3. Vad gäller den offentliga skärmen framkom förslag om att presentera energi-användningen i kronor och ören snarare än i kWh.

4. Arenaansvarig tillsammans med driftsansvarig avser komplettera med ytterligare en informationsskärm i driftspersonalens expedition. Denna skärm kommer att innehålla mer tekniska data än motsvarande ute i foajén, man överväger även att utöka funktionaliteten med larmfunktion för några nyckelparametrar.

5. Tyvärr har det inte gått att peka på några konkreta siffror vad avser inbesparade kWh. Om detta beror på att beteendeförändringar tar längre tid att slå igenom får framtiden utvisa. Vi tillsammans med ansvariga på anläggningen ser dock ett stort värde i att informera nyttjare som besökare om hur energin används i anläggningen. Om inte annat så är vi övertygade att det kommer att öka medvetenhet som intresse för energi- och klimatfrågor utanför Sportcentrums väggar.

6. Projektet har också visat att ”får man ansvar och verktyg” så tar man också ansvar i större utsträckning.

3.3 Belysningsteknologier i ishallar

Det har fram till idag saknas en dokumenterad sammanställning av olika belysningsteknologier med fokus på användningsområdet ishallar. LED-teknologin ”knackar på dörren” men fram till för ett par år sedan fanns inga installationer eller referensinstallationer i ishallar. Nu sker utvecklingen snabbt och kraven höjs på energieffektivitet för alla teknologier.

3.3.1 Inledning

Belysningen i en ishall skall inte endast tillgodose att publik, spelare och funktionärer kan följa spelet på ett bra sätt. Belysningen är minst lika viktig för att TV-produktioner och övriga Live-sändningar – mer och mer vanligt allt längre ner i seriesystemen – blir av god kvalité då publiken är viktig för ishockeyn såväl i arenan som vid TV:n och datorn. Man skall även ta hänsyn till miljöaspekterna, t ex mängden kvicksilver en lampa får innehålla. Belysningen i en ishall är också en relativ stor investering. Med en livscykel på 10-15 år är kostnaden för driften – energianvändningen – en viktig parameter.

Ovanstående låg till grund för den kartläggning av belysningsteknologier i de svenska ishallarna som gjorts och redovisas i det följande. Kartläggningen har skett i form av fältstudier, mätningar, examensarbete, leverantörskontakter, sammanställning av information i Stoppsladds databas inklusive framtagning av jämförelsedata – t ex uppmätt belysningsstyrka jämfört med installerad effekt - för olika ishallar.

Resultaten från kartläggningen har också resulterat att Stoppsladds databas uppdaterats allteftersom nya data förelegat.

Inom ramen för delprojektet har även en skrift ”Att tänka på vid upphandling av arenabelysning” tagits fram.

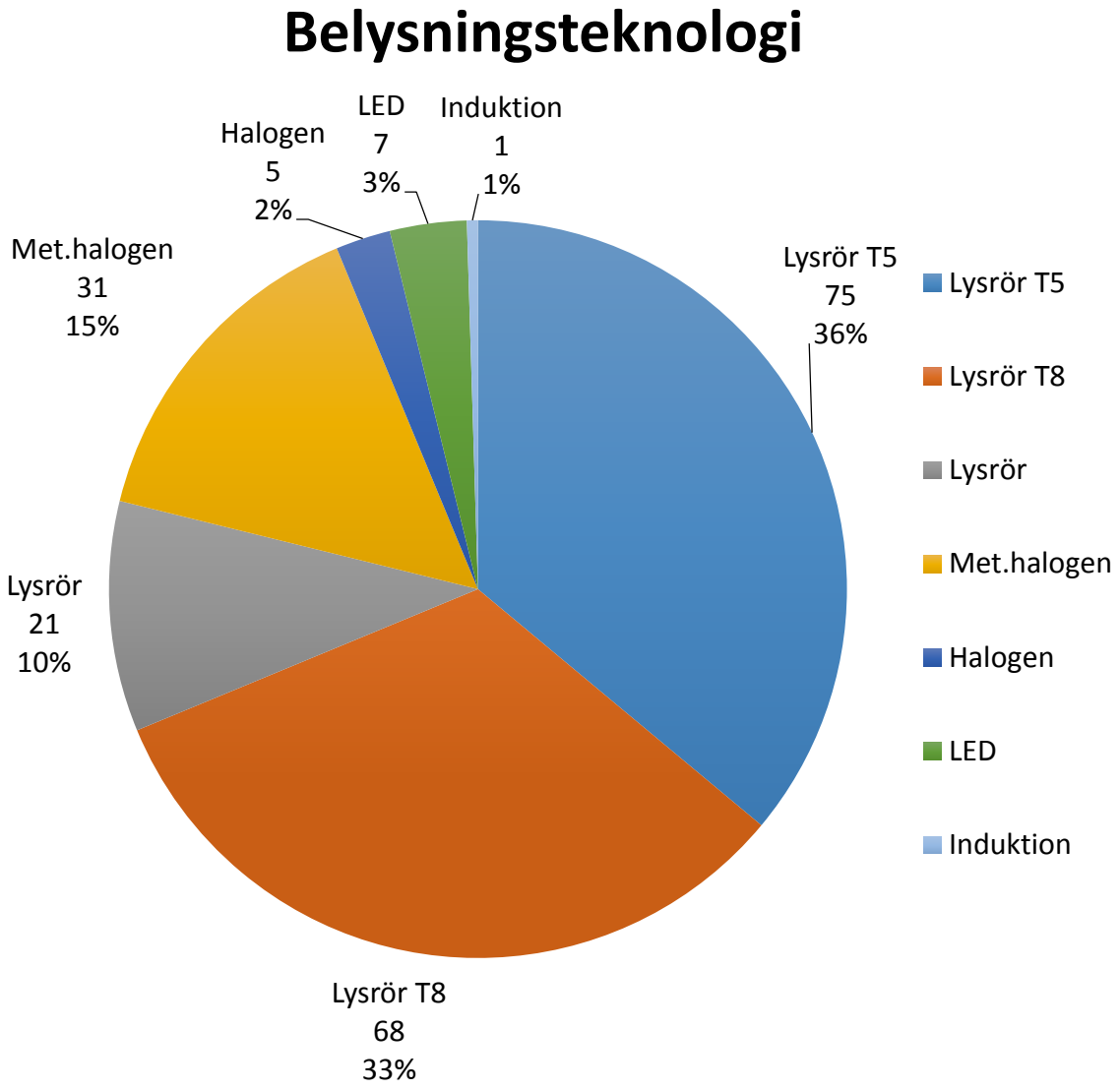
3.3.2 Belysningsteknologier i ishallar

Vid kartläggningen av de svenska ishallarna identifierades fem (5) olika förekommande belysningsteknologier: Högtryckslampor, Halogenlampor, Induktionslampor, Lysrör och LED-lampor.

Inom såväl gruppen Högtryckslampor som Lysrör förekommer flera olika typer, beskrivs närmare längre bak. Ett antal av de större anläggningarna har kombinationer av olika teknologier – t ex lysrör och halogen.

Sverige har idag 356 ishallar i drift. Av dessa finns belysningsdata i form av lampteknologi, belysningsstyrka på isen, höjd till armaturer, installerad effekt för 208 stycken hallar. Tyvärr är inte all data fullständig bl.a. har det i många fall inte varit möjligt att specificera typ av lysrörs belysning (T8, T5 mm) eller typ av rör. Personalen har helt enkelt inte haft vare sig information eller reservdelar.

Sammanställning (figur 13) visar att majoriteten, ca 80 %, av de svenska ishallarna har någon form av lysrörsbelysning och att man i 95 % av ishallarna har någon form av ljusreglering, i vilken omfattning denna används är dock inte känt.



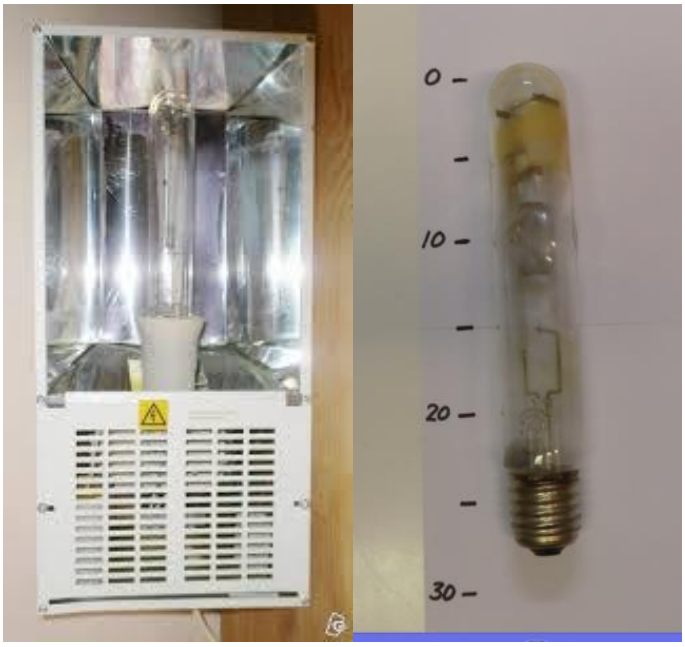
Figur 13 Belysningsteknologier i svenska ishallar

3.3.2.1 Egenskaper för respektive belysningsteknologi

1. <u>Högtryckslampor</u>
Ljuset alstras genom urladdning mellan två elektroder. Behöver driftdon samt starter för att tända. Tar tid innan full ljusstyrka uppnås. Då den släckts måste den svalna innan den kan tändas igen. Kan generellt sett inte ljusregleras.
Metallhalogen- och CDM-lampan har bra färgåtergivning, Ra-index upp till 92.
Exempel är Kvicksilverlampan, Högtrycksnatrium, Metallhalogen, Metallhalogen TS, Keramiska Metallhalogen (CDM-lampa)

Medellivslängd:	8 000-15 000 h
Typiska effekter:	200-400 W
Antal installationer:	15% av ishallarna. Näst vanligast efter lysrör
Trend:	Fasas ut, speciellt typer med hög kvicksilver halt

Figur 14 : Osram Metallhalogen Powerstar HQI-E 400W E40 sockel innehåller kvicksilver

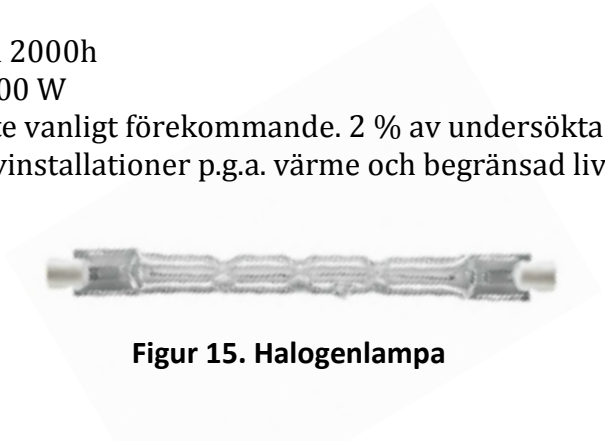


Figur 15 : Philips Master HPI-T 400W Ensocklad (E40) metallhalogen med urladdningsrör av kvartsglas innehållande kvicksilver och andra metaller

Figur 14: Philips Master HPI-T 400W Ensocklad (E40) metallhalogen med urladdningsrör av kvartsglas innehållande kvicksilver och andra metaller

2. Halogenlampan
Halogenlampor blir mycket varma och strålar värme i ljusriktningen.
Ljuset är varmt och har mycket bra färgåtergivning
Avger UV-strålning som har en negativ effekt på ex vis plastmaterial i/runt sargen.
Halogenlampor tänder direkt, kan ljusregleras, bra färgåtergivning, inget behov av transformator/förkopplingsdon

Begränsad livslängd, ca 2000h
Typiska effekter 100-200 W
Antal installationer: Inte vanligt förekommande. 2 % av undersökta beståndet
Trend: Fasas ut, inga nyinstallationer p.g.a. värme och begränsad livslängd



Figur 15. Halogenlampa

3. Induktionslampan
Ljuset skapas av ett magnetfält som får den gas som finns i lampan att avge ultraviolett ljus. UV-ljuset omvandlas i sin tur till synbart vitt ljus när det träffar ett lyspulver (fluorescens) på glasets insida. Magnetfältet skapas via spolar och ett driftdon som genererar högfrekvenssvängningar. Lampan ger ett vitt ljus av hög kvalitet. Kan inte kapacitetsregleras.

Lång livslängd på lampan (60.000h), lägre på driftdonen
Begränsade effekter, < 65W
Antal installationer: Enstaka ishallar
Trend: Kan möjligen finna tillämpning i träningshallar

Figur 16. Installation med induktionsbelysning.

Bilden t.v. visar induktionslampan. Bilden t.h. är från ishallen i Nässjö (ishall # 182 Höglandsrinken) en av två ishallar i Sverige som har induktionsbelysning. Den andra som inte finns med i undersökning är en tre-väggs hall i Ljungsbro, denna är ännu inte registrerad i Svenska ishockeyförbundets Ishallsregister.

4. Lysröret

Lysröret är en urladdningslampa, för att tända den krävs någon form av förkopplingsdon. I äldre varianter (T8, T12) var det glimtändare, i nya varianter (T5) är det elektroniska driftdon (s.k. HF-don, Hög Frekvens).

Lysröret är utan tvekan den vanligaste ljuskällan i ishallarna idag. Den har mycket stor driftsäkerhet, högt ljusutbyte, bra färgåtergivning (många valmöjligheter vad avser färgtemperatur), långsam ljusminskning, lång livslängd och kan ljusregleras
Finns i effekter upp till 80W. Vilken typ av rör och inte minst typ av armatur man skall välja beror på vilken typ av anläggning det är frågan om.

I ishallar hittar man idag allt från äldre T8-installationer med glimtändare till moderna T5 lösningar med HF-don däremellan finns dessutom flera utföranden av respektive typ. Olyckligtvis kan inte en T8 installation enkelt konverteras till en T5 dito genom enbart rörbyte. Skillnader i längd, diameter och drivdon skiljer varför det blir frågan om nyinstallation dock kan bärlinor bibehållas förutsatt att dessa sitter rätt.

T5 lysrör finns i en mängd olika varianter – High Efficiency, High Output, Energy saver, Long Lifetime inklusive kombinationer av dessa.

Dagens lysrör har en tresiffrig kod som beskriver rörets egenskaper. Första siffran anger hur bra färger återges och de följande två anger ljusfärgen. Ex.vis 840 betyder Ra-index över 80 (siffran 8) och färgtemperaturen 4000 K (siffrorna 40, i grader Kelvin).

Medellivslängd: >20.000h på själva lysröret, driftdonen den begränsande delen
Effekter upp till 80W
Antal installationer: ca 80 % av alla ishallar
Trend: Priset kommer att bli avgörande för valet mellan lysrör och LED

Figur 17 : T8 lysrör till vänster och T5 lysrör till höger

5. LED

LED står för Light Emitting Diode och kan enkelt beskrivas som ett halvledarmaterial som då man leder ström genom den ger ifrån sig (emitterar) ljus. Färg och ljusriktning bestäms genom tillämpning av olika tekniker – dopning, linser, armaturutformning mm.

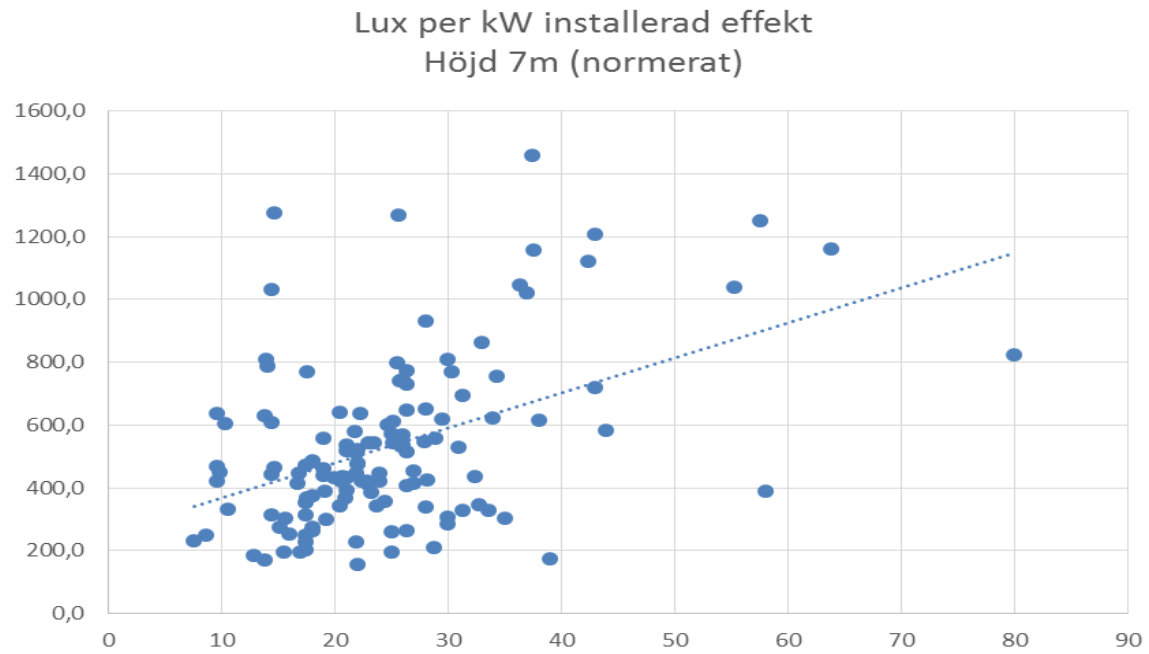
Det som är karakteristiskt för LED-lampor är låg effektförbrukning, ger 100% ljus direkt vid påslag, lång livslängd, bra färgåtergivning, UV-fritt, är liten. För optimalt utnyttjande krävs anpassad drivelektronik. Notera att det är oftast drivelektroniken som bestämmer livslängd därför viktigt att alltid efterfråga systemets livslängd och inte begränsa sig till de enskilda delarna.

Livslängd: typiskt > 80.000h, driv-/styrelektroniken den begränsande delen.
Antal installationer: I dagsläget finns sju (7) kända installationer
Trend: Mycket talar för att LED blir/är valet då man överväger ny ishallsbelysning.

Figur 18: LED-armatur till vänster. LED-installation i Grimsta Ishall (#255) till höger.

3.3.3 Jämförelse olika belysningsinstallationer

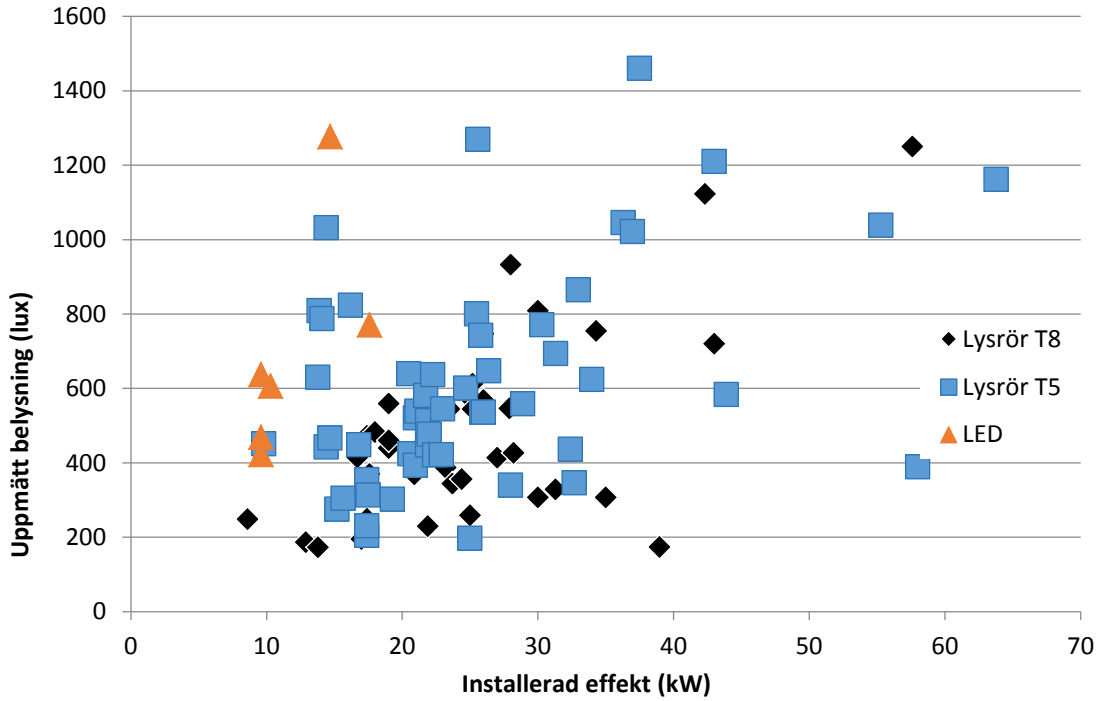
Uppmätt belysningsstyrka i Lux tillsammans med installerad belysningseffekt (i kW el) för samtliga belysningstyper – då belysningarna sitter på något olika höjder har belysningsvärden normerats till att motsvara höjden 7 meter - har plottats i ett Lux/kW-diagram (figur 19) och utgör en bas för jämförelse mellan belysningar i olika ishallar.



Figur 19: Lux vs. kW, samtliga belysningstyper

För varje anläggning som hamnar under medellinjen så finns en bra anledning att fråga sig varför.

I diagrammet, figur 20, har uppmätt belysningsstyrka i Lux plottats tillsammans med installerad belysningseffekt (i kW el) för tre olika belysningstyper – LED, lysrör T5 samt lysrör T8 – plottats in.



Figur 20: Uppmätt belysning vs. inst. effekt för T5, T8 och LED – normerat till höjd 7 m.

Följande slutsatser kan dras från diagrammet i Figur 20:

a. LED effektivare än T5 som i sin tur effektivare än T8
b. Finns T5 installationer som kan mäta sig med en LED dito
c. Hög tid att ersätta T8 belysningen

3.3.4 Ljusreglering

Reglering av belysningen i en ishall skall idag vara en självklarhet, speciellt vid nyinstallationer. Idag finns produkter som är såväl funktionella som prisvärda. Regleringen kan göras i antingen fasta steg eller 100 % ”dimmbart”. Rekommendationen är att välja system där varje enskild ljuskälla kan regleras dvs att inte släcka punktvis – nyttjarna upptäcker snabbt detta och ställer krav på driftspersonalen att ”tända upp”. För att göra det än fullständigare och automatiserat kan regleringen kompletteras med rörelsedetektorer.

3.3.5 Fältstudier

Tre specifika studier av varierande omfattning har gjorts:

a. Användarupplevelser vid byte från metallhalogen belysning till LED-belysning
b. Mätning på idrottshall där en lysrörs installation ersatts med dito av LED
c. Uppföljning av den första – av projektet känt - LED installationen i en svensk ishall, IVT-hallen i Spånga, Stockholm

3.3.5.1 Användarupplevelser vid byte från metallhalogen till LED

Studien utfördes som ett examensarbete vid Jönköpings Högskola (Bilaga 2d, Nilsson & Nordström 2014) och syftade till att undersöka hur olika brukargrupper, primärt åskådare och spelare, rent visuellt upplevt övergången från en belysning med metallhalogenlampor till en motsvarande med LED.
Studien genomfördes genom studiebesök, enkäter och intervjuer på plats.

De primära frågeställningarna har varit:

1. Hur fungerar LED visuellt i hallar där det bedrivs ishockeyverksamhet?
2. Skiljer sig den visuella upplevelsen i ishallar med LED belysning från att tidigare haft Metallhalogen belysning och i så fall hur?
3. Skiljer sig den visuella upplevelsen mellan ishockeyspelare och åskådare?

Studien har begränsats till en ishall i Stockholm, Grimsta Ishall, med deltagare av tränare, spelare och åskådare. Ishallspersonal, domare och Tv-produktion har inte ingått i studien. Vissa litteraturstudier har även genomförts. Grimsta ishall tillhör kategorin ishallar som är bland de vanligaste i Sverige.

Genomförandet

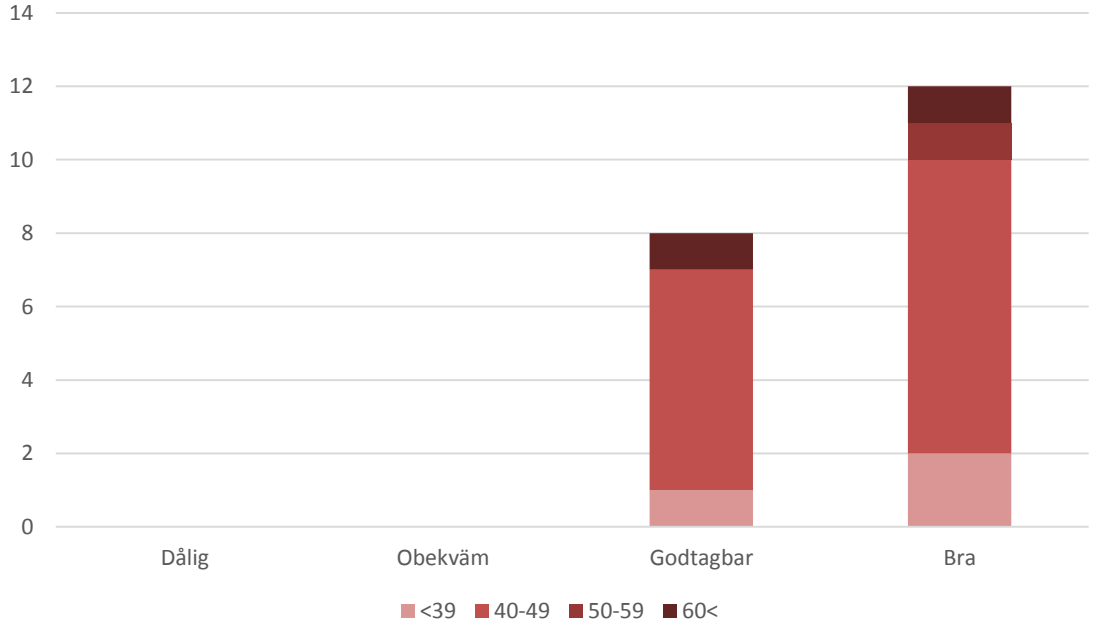
I studien genomfördes kvalitativa som kvantitativa datainsamlingar i form av intervjuer, studiebesök och enkäter (2 st). Enkäterna var uppbyggda med:

1. Flervalsalternativ
2. Värdeskalor där man uppskattat hur bra upplevelsen var
3. Frågor som besvarades med fritextsvar

Enkät 1 besvarades av 20 åskådare under en match mellan två knattelag (HässelbyKälvesta och Sollentuna). Enkät 2 besvarades av ett seniorhockeylag med tio

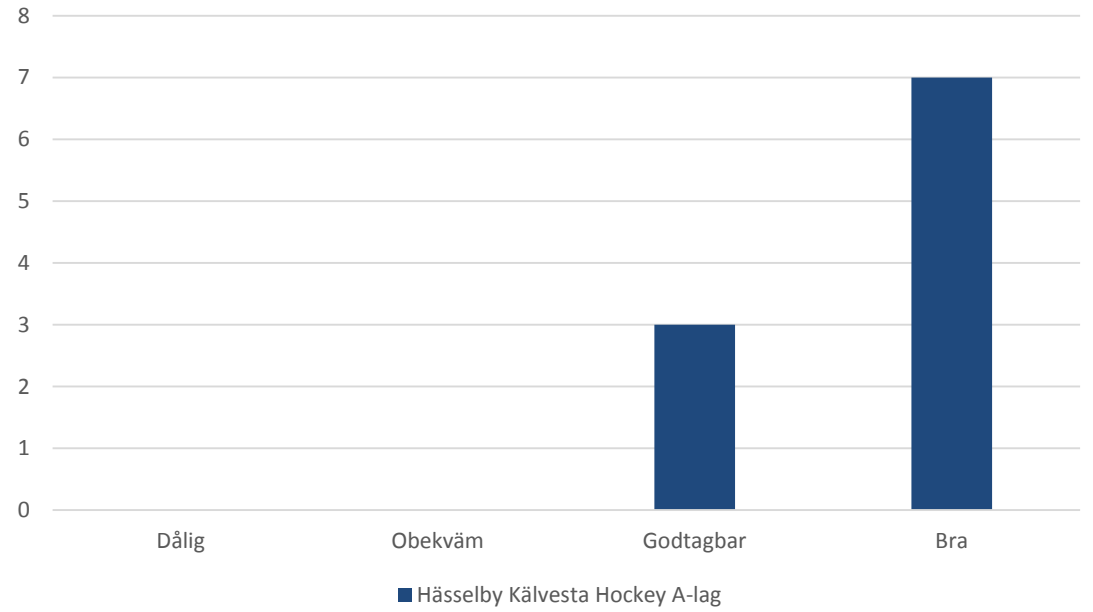
spelare. Dessutom genomfördes intervjuer med fyra spelare för att mer i detalj diskutera hur belysningen upplevdes rent visuellt. Enkäter, frågor som studien i sin helhet återfinns i Examensarbetsrapporten (Bilaga 2d)

Hur upplevdes belysningen?



Figur 21 Hur upplevdes belysningen?

Ålders- och könsfördelningen bland åskådarna: - 65% var män - 70% var i ålders-spannet 40-49 år. Majoriteten, 60% (12 av 20) av åskådarna fann belysningen bra.



Figur 22 Hur upplevedes belysningen?

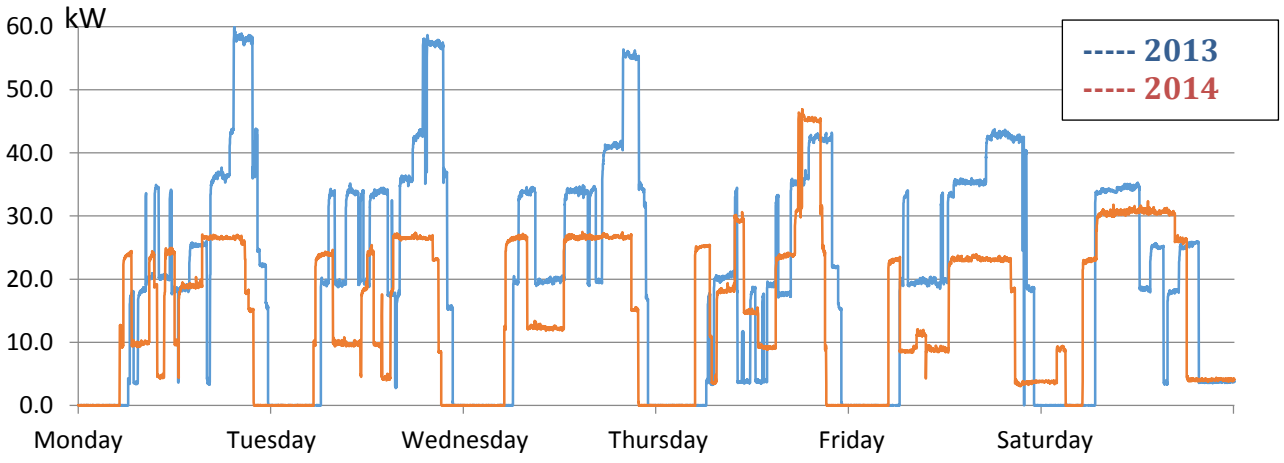
Motsvarande för seniorspelarna var 70 % (7 av 10) som ansåg belysningen bra.
Ingen av vare sig åskådare eller spelare hade något negativt att säga om belysningen.

Resultat intervjuer
Generellt sett har spelarna upplevt bytet positivt dock hade några inte uppmärksammat bytet (!) men vid närmare eftertanke nämner de att ljuset känns vitare och klarare än tidigare. Det framkom vidare att några tyckte man såg pucken bättre, en att han kände sig piggare i det nya ljuset. Sammanfattningsvis beskrevs den nya belysningen som bättre, klarare och jämnare att jämföra med den gamla som uppfattades ojämn och gulaktig.

I studien finns redovisat hur åskådare respektive spelare uppfattar reflektioner, ojämnheter längs sargen, fläckigheter mm. För mer detaljerad information om studien se Referenser (#6)

3.3.5.2 Sporthall i Norrtälje

Sportcentrum i Norrtälje är en sportanläggning med ishall och sporthall där de olika hallarna är sammanbyggda med en byggnad emellan sig där servering, omklädningsrum, samlingslokaler, kontorsrum finns.
Sporthallen fick i september 2014 sin lysrörsbelysning utbytt mot en LED-dito. Lysrörsbelysningen hade en installerad effekt om 19,7 kW (94 st armaturer med 3 rör á 58W i varje) medan den nya LED-belysningen har märkeffekten 13,2 kW (80 st armaturer á 165W), dvs. ca 30% lägre.
I diagrammet, figur 23, jämförs effektuttaget en vecka i oktober 2013 med motsvarande vecka 2014. Att notera: det är hela anläggningens belysningseffekt som mäts – ishall, sporthall, omklädningsrum, gemensamhetsutrymmen osv.



Figur 23 Jämförelse av belysningseffekt en vecka i oktober 2013 och en vecka i 2014.

Av diagrammet i figur 23 syns en signifikant minskning av effektuttaget vissa dagar 2014 jämfört med motsvarande dagar 2013. Denna minskning går inte att förklara enbart med hänvisning till lägre installerad effekt genom bytet av belysning i sporthallen. Något mer måste ha skett/gjorts/förändrats, enligt verksamhetsansvariga skall dock verksamheten på anläggningen varit av samma storlek respektive veckor 2013 som 2014. Styrning och reglering har också stor inverkan på effektprofilerna och inte minst den slutliga energianvändningen.

3.3.5.3 LED-installation i IVT-hallen, Spånga, Stockholm

I Sverige finns i skrivande stund - och av projektet kända – sju (7) stycken ishallar med LED-belysning installerad. Ljusmätningar har utförts på alla 7 och det kan konstateras att LED-installationerna ligger mycket bra till både vad avser installerad effekt som kvalité på belysningen – ljusstyrka, jämnhet, färgåtergivning, reglerbarhet.

IVT-hallen i Spånga/Stockholm är den första ishallen i Sverige som installerat LED belysning över rinken/banan. Den gamla metallhalogenbelysningen (figur 24), 78 armaturer á 400 W, ersattes med 84 LED armaturer á 110 W (figur 25) fördelade över samma sex befintliga uppsättningslinorna. Den installerade effekten minskade från 31,2 kW till dryga 9,2 kW – rörelsevakter och styrningseffekter är inte medtagna. Förutom den drastiskt reducerade installerade effekten så är även ljusregleringen av LED belysningen betydligt bättre och enklare, innebärande att ljusreglering verkligen görs dvs. ljusstyrkan regleras utifrån den aktivitet som pågår. Rörelsevakter känner av om det är aktiviteter på isen eller inte.

Figur 24: IVT-hallen - före

Figur 245: IVT-hallen - efter

Belysningens energianvändning mättes före som efter installationen av LED belysningen. Mätningarna visar att nyinstallation gett/ger en relativ besparing på runt 80%! (figur 26) Minskningen är att hänföra till dels en lägre installerad effekt men kanske än viktigare den bättre, enklare och effektivare ljusregleringen. Förutom energibesparingen så har man också fått ett betydligt bättre ljus.

	Period	Dagar	Totala kWh	kWh/dag	Relativ besparing
Metallhalogen	1feb13 - 8mar13	34,9	21718,8	621,7	
LED	31jan14 - 27feb14	27	3678	136,2	**78,1%**
	31okt14 - 17dec14	48	5476,5	114,1	**81,6%**

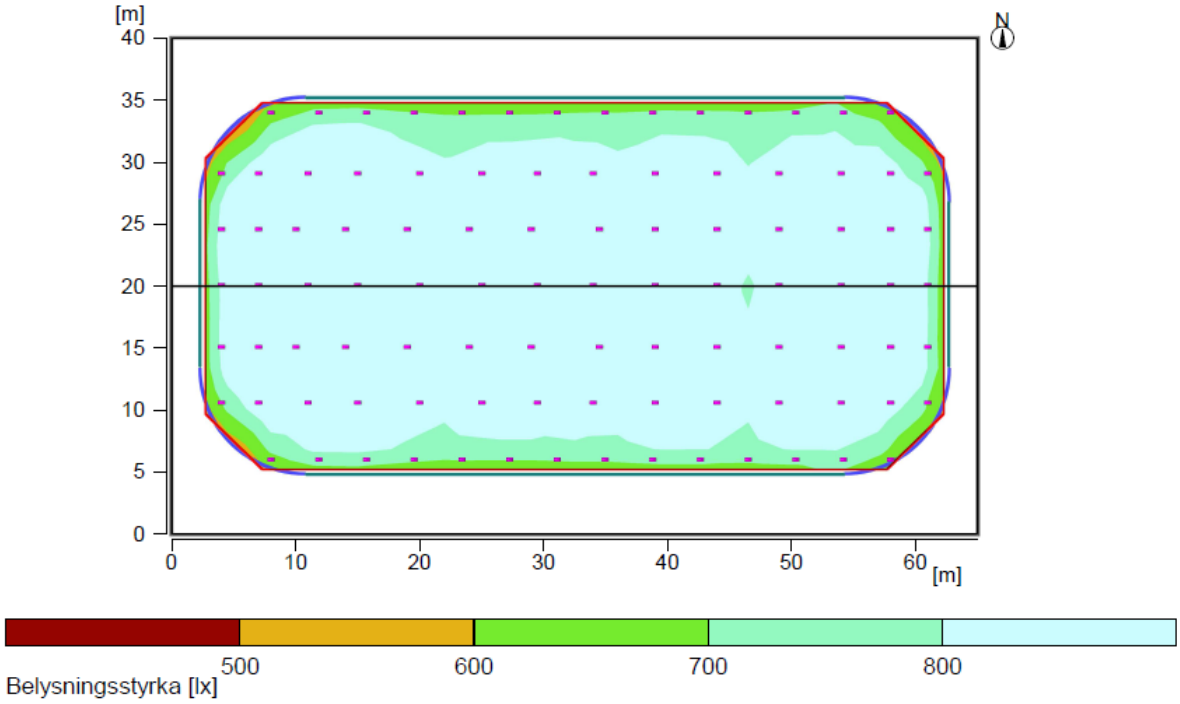
Figur 25 : Energianvändning före - efter

3.3.6 Belysningsplanering

I en ishall är belysningens jämnhet över banan viktig. Gränsvärdet för godtagbar jämnhet har av Svenska Ishockeyförbundet satts till > 65% av kvoten mellan E_{hmax} och E_{hmin}. Detta gränsvärde är det tyvärr få installationer som uppfyller. I äldre installationer kan det bero på smutsiga armaturer, trasiga lampor, olämplig belysningstyp, för få alternativt felplacerad bärlinor mm. Vid nyinstallation är förväntningarna att gjord belysningsplanering, figur 27, (somliga kallar det även för ljusberäkning eller ljusplanering) – en del av upphandlingsprocessen – skall överensstämma med belysningsmätningen som görs innan anläggningen överlämnas till beställaren. Tyvärr är det alldeles för vanligt att detta inte uppfylls – speciellt gäller detta i hörnorna samt längs sargens långsida. Vi kan se flera orsaker till detta:

1. Brister vid modelleringen av ishallen i det system som används för/vid belysningsplaneringen.
2. Installatörerna av belysningen följer inte uppgjorda beskrivningar/ritningar över var armaturer/lampor skall placeras. Tyvärr är det som så att leverantör, och den som utfört belysningsplaneringen, och installatör generellt sett inte är samma företag. Detta undantar på inget sätt leverantörens ansvar för slutresultatet
3. Okunskap om vilka regler som gäller inklusive hur mätningar och beräkningar görs.

Bedömningen är att det är punkt 1 som är den primära orsaken. Ser en installation för symmetrisk ut kommer den sannolikt inte att uppfylla kriterierna. Lösningen på problemet eller åtminstone en del av problemet är att man som beställare skall vara extremt tydlig i vad man vill ha och att man genomför ljusmätning efter nyinstallationen och innan anläggningen övertas/godkänns.



Figur 26: Exempel resultat från ljusberäkning

3.3.7 Att tänka på vid upphandling av arenabelysning

Som ägare till en ishall vare sig man är en kommun eller en privat aktör så är inte upphandling av ishallsbelysning något som är ofta förekommande snarare tvärtom. Livscykeln torde ligga runt 15 år för en modern belysningsanläggning som upphandlas idag. Detta var bakgrunden till framtagningen av dokumentet ”Att tänka på vid upphandling av ny arenabelysning”. Dokumentet tillsammans med rådet att utnyttja nätverken mellan anläggningar, kommuner och/eller andra intresseorganisationer och inte minst kontakt med Svenska Ishockeyförbundet skall borga för att anläggningsägaren skall bli en än mer kompetent kravställare gentemot leverantörerna. Dokumentet finns inkluderat i rapporten som bilaga 1.

3.3.8 Slutsats

Trenden på marknaden pekar mot LED- och lysrörslösningar. LED syns tveklöst vara framtidens belysning. Olika typer av högtrycks- eller halogenlampor kommer inte att vara konkurrenskraftiga – vare sig ur miljösynpunkt eller energisynpunkt – varför vi sannolikt inte kommer att se nyinstallationer med dessa teknologier. Lampor av induktionstyp förekommer i liten utsträckning idag – vi har sett denna typ i 2 hallar – men skulle kunna vara/bli ett alternativ i mindre träningshallar

Betraktar man figurerna – fördelningen mellan belysningsteknologier – såväl som figurerna 19 och 20 ser vi en stor potential för energieffektivisering som miljöarbete. Högtryckslampor med höga halter kvicksilver skall fasas ut, Halogenlampor är inte särskilt effektiva samt att på lysrörssidan finns många installationer med den äldre T8 teknologin.

3.4 Rening av systemvätskor

I detta avsnitt redovisas en fördjupad analys som gjorts av bl.a. de två anläggningar (ishallar) där avgasningsinsatser gjordes under fas 3. Syftet var att kunna visa på eventuella långsiktiga effekter såsom förbättrad värmeöverföring. Utöver detta så har vätskeprover tagits från ett tiotal system – både köld- och värmebärarsystem för att bedöma koncentrationer, renhet och potential i förbättrad prestanda om vätskorna behandlas korrekt. Inte minst är inverkan av ofta förekommande för hö ga koncentrationer av stort tekniskt intresse då det kan spara stora mängder pumpenergi. Syftet var att göra en bredare studie för att bedöma besparingspotentialen från ett nationellt perspektiv.
Arbetet har huvudsakligen utfört inom ramen för ett examensarbete (Mazzotti 2013) som också utfört analysen på KTH/Energiteknik.

3.4.1 Köldbärare – en introduktion

Köldbärare är det medium (vanligen en vätska) som används i en kylanläggning eller värmepump för att åstadkomma värmetransport till förångaren från det utrymme eller material som man önskar kyla. De olika typer av köldbärare som vanligen förekommer listas här med ett exempel för varje typ:

- Enfas vattenlösningar (kalciumklorid – vatten)
- Enfas icke-vattenbaserade lösningar (diethylbenzene)
- Syntetiska oljor (hydro-fluoroether)
- Två-fas-lösningar (Koldioxid)
- Gas (kväve)

Köldbärare eller motsvarande vätskor används inom många olika områden såsom: luftkonditionering, butikkyla, borrhål värmeväxlare, värmepumpar, solpaneler eller ishallar.

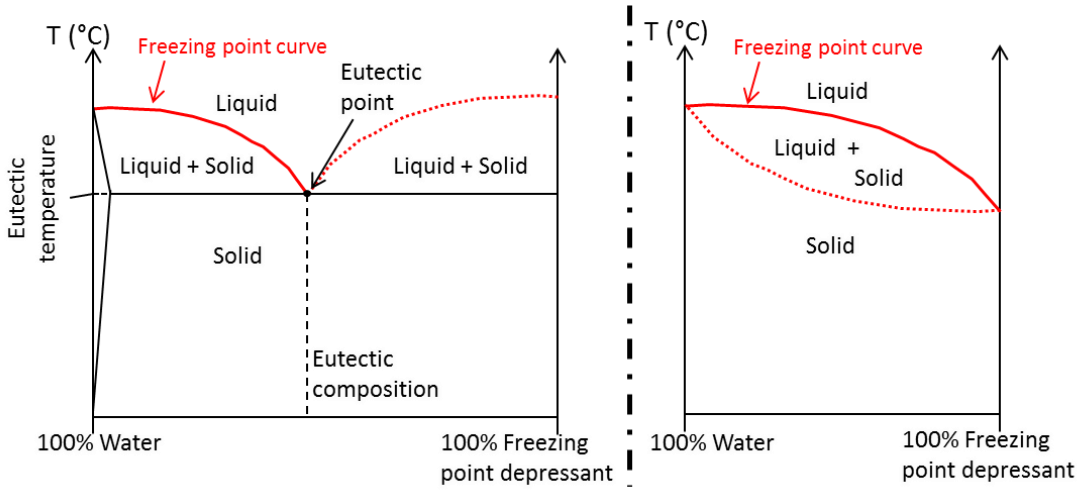
En köldbärare bör uppfylla följande krav/önskemål:

- Tillräckligt låg fryspunkt
- Bra värmeöverföringsförmåga
- Litet tryckfall
- Miljövänlig
- Icke frätande
- Billig

Följande termofysikaliska egenskaper är av primärt intresse:

- Fryspunkt
- Viskositet
- Värmeledningsförmåga
- Specifikt värme
- Densitet

Fryspunkten
Fryspunkten är den temperatur vid vilken is börjar bildas upp i jämvikt i en lösning. Figur 10 visar schematiskt den eutektiska transformationen (till höger) och visar ett fasdiagram för en blandning utan eutektiska sammansättningen (vänster).



Figur 27: Fasdiagram för två-komponents köldbärare

Fryspunkten måste vara under den lägsta förväntade temperaturen och tillräckligt långt under den normala köldbärarens arbetstemperatur. En temperaturskillnad på ca 10 K mellan fryspunkten och köldbärarens arbetstemperatur brukar rekommenderas.

Viskositet

I denna studie, hänför sig termen viskositeten till den dynamiska viskositeten. Den dynamiska viskositeten, μ, kan definieras som kvoten mellan skjuvspänningen vid ytkontakt, τ, och hastighetsgradienten utmed kanalen, $\frac{du}{dy}$

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy} \qquad (1)$$

Viskositeten är en viktig parameter eftersom den påverkar tryckfallet och värmeöverföringen. Det bör vara så låg som möjligt.

Densitet

Densitet, volymmassa är ett mått av ett ämnes täthet, således massa per volymenhet($kg.m^{-3}$).

Specifik värmekapacitet

Specifik värmekapacitet, *värmekapacitivitet*, är en fysikalisk storhet som anger ett ämnes förmåga att magasinera termisk energi, det vill säga ange ett ämnes termiska tröghet. Den anges i joule per kilogram för att uppnå en temperaturdifferens av en kelvin [K] med enheten [J/(kg·K)].

Värmeledningsförmåga

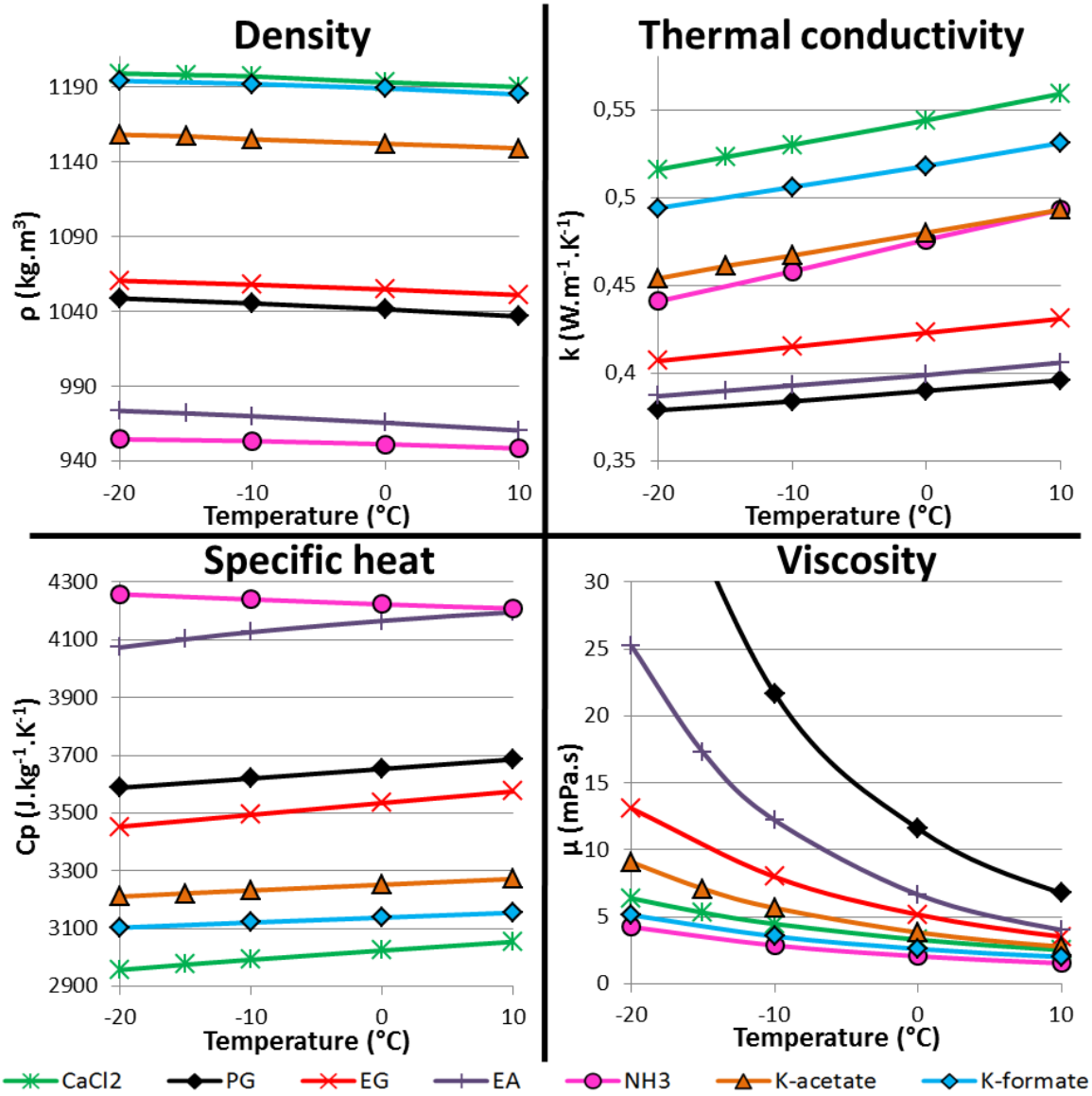
Värmeledningsförmåga, definieras enligt Fouriers lag, är en materialkonstant som anger hur bra värmeledare ett ämne är.

3.4.2 Enfasiga köldbärare i ishallar

I Sverige används kalcium-klorid huvudsakligen i ishallar som köldbärare. Förutom kalciumklorid, så förekommer i undantagsfall glykoler men en starkt kommande kandidat är ammoniak-vatten.

Figuren nedan visar de viktigaste termofysikaliska egenskaper (densitet, värmeledningsförmåga, specifikt värme och viskositet) av: kalciumklorid (CaCl2), propylen glykol (PG), etylenglykol (EG), etylalkohol (EA), ammoniak (NH3);

kaliumacetat (K-acetat) och kaliumformiat (kaliumformiat), för en koncentration som ger en fryspunkt på -20 ° C.



Figur 28: Grundläggande termo-fysikaliska egenskaper (fryspunkt -20°C)

Tabell 1 listar för och nackdelar med varje köldbärare på ett kvalitativt sätt. Koldioxid inkluderas också i denna jämförelse. De data som visas i denna tabell hämtades huvudsakligen från Granryd et al. (2011), Melinder (2007) och Ignatowicz (2008).

Tabell 1: Köldbärares för- och nackdelar.

Köldbärare		Fördelar	Nackdelar
Kalcium klorid	$CaCl_2$	✓ Icke toxiskt ✓ Icke brännbar ✓ Låg viskositet vid låga temperaturer	▪ Starkt korrosivt ▪ Korrosionsinhibitorer används med CaCl2 kan orsaka hälsoproblem ▪ Låg specifik värmekapacitet
Ammoniak	NH_3	✓ Låg viskositet vid låga temperaturer ✓ Hög specifik värmekapacitet ✓ Miljövänlig	▪ Brandfarlighet ▪ Giftig ▪ Låg kokpunkt
Etylen Glykol (EG)	$C_2H_4(OH)_2$	✓ Icke korrosivt ✓ Låg brandrisk	▪ Giftig ▪ Föroreningsrisker ▪ Hög viskositet vid låga temperaturer
Propylen Glykol (PG)	$C_3H_6(OH)_2$	✓ Icke toxiskt ✓ Icke korrosivt ✓ Låg brandrisk	▪ Hög viskositet vid låga temperaturer ▪ Svagt vattenförorenande
Etyl Alkohol (EA)	C_2H_5OH	✓ Icke toxiskt ✓ Hög specifik värmekapacitet	▪ Låg kokpunkt ▪ Giftig vid förtäring ▪ Hög viskositet vid låga temperaturer
Kalium Acetat (K-acetat)	CH_3CO_2K	✓ Låg brandrisk ✓ Miljövänlig	▪ Högt pH-värde
Kalium Format (K-format)	CHO_2K	✓ Miljövänlig ✓ Låg viskositet vid låga temperaturer	▪ Hög pH-värde som kan orsaka ögonskador
Koldioxid	CO_2	✓ Miljövänlig ✓ Obrännbar ✓ Billig ✓ Låg pump effekt	▪ Låg specifik värmekapacitet ▪ Höga tryck i systemet

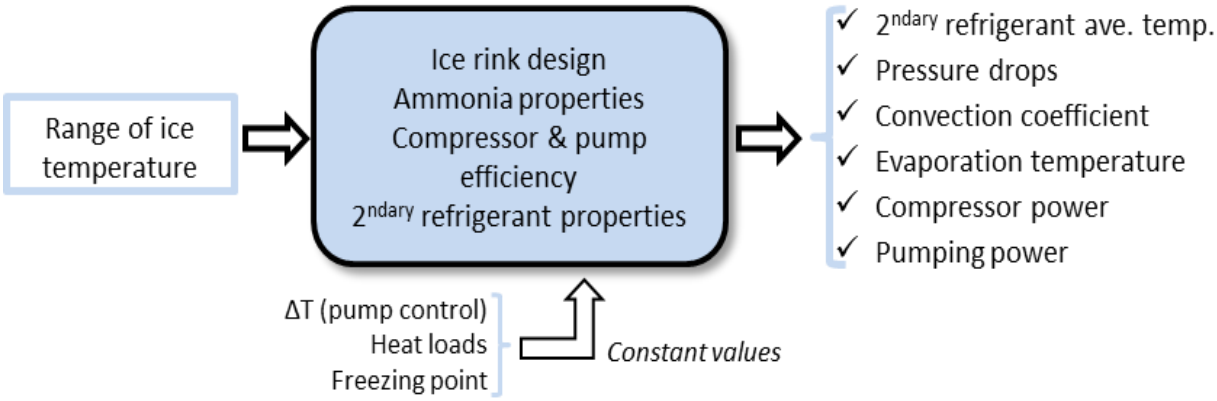
Underhåll

På grund av korrosion, hälso-och/eller miljöfrågor som orsakas av köldbärare behövs service och underhåll. Effektiva underhållsåtgärder kan öka systemets livslängd, och bör betraktas i ett Life-Cycle-Cost (LCC) perspektiv. De grundläggande underhållsåtgärderna som kopplas till köldbärare är (QTF, 2012):

- Kontroll och analys
- Systemrengöring och filtrering
- Avgasning av systemet

3.4.3 Teoretisk utvärdering - värmeöverföring och tryckfall

För att jämföra de vanliga köldbärarna som finns i ishallar, har en teoretisk studie genomförts. Syftet är att jämföra prestandan, med tanke på design och driftsförhållanden. Resultaten från denna studie kommer att jämföras med experimentella data som samlats in från befintliga ishallar. Varken investeringar eller driftskostnader redovisas för denna studie.



Figur 29: Metoden för den teoretiska utvärderingen av köldbärare.

Förångningen av köldmediet uppnås genom en värmekälla, vilket i detta fall (isbanor), är köldbäraren. I denna studie, antas det att denna värmeväxlare är en plattvärmeväxlare. Nu för tiden används plattvärmeväxlaren på grund av sin höga effektivitet, kompakthet och kostnadseffektivitet.

Förångarens konstruktion

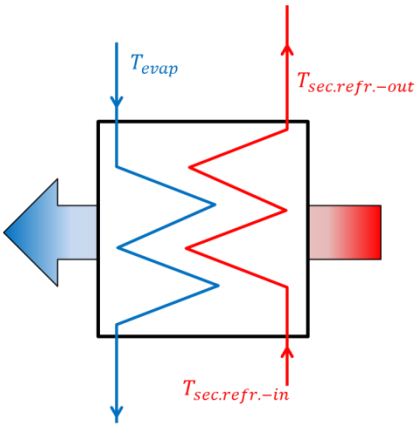
Förångaren anses vara en motströms värmeväxlare, som är den vanligaste typen för värmepumptillämpningar. Figuren nedan illustrerar flödet, total värme, UA, och termiska motståndet R. Värmeöverföringskoefficienten i PHE: s UA definieras som

$$\dot{Q} = UA \cdot \Delta T_{LMTD} \quad (2)$$

- $\dot{Q}$: Kyleffekt (W)
- ΔT_{LMTD} : Logaritmisk medeltemperaturdifferens (K)

Värmeöverföringsmotståndet definieras som:

$$R = \frac{1}{UA} \quad (3)$$



Figur 30: Värmeöverföring i förångaren.

UA beräknas utifrån:

$$UA = A \cdot \frac{N_P}{\frac{1}{h_{boil}} + \frac{\delta}{k} + \frac{1}{h_{sec.refr.}}} \quad (4)$$

- A : Värmeöverförings yta (m^2).
- h_{boil} & $h_{sec.refr.}$: konvektiva koefficienter ($W.m^{-2}.K^{-1}$).
- N_P :totalt antal plattor i värmeväxlaren.
- δ : plattornas tjocklek (m).
- k : plattornas värmeledningsförmåga ($W.m^{-1}.K^{-1}$).

Figuren nedan visar värmeöverföringsprocessen genom en platta (PHE).

$$R = \frac{1}{h_{boil} \cdot A} \qquad R = \frac{\delta}{k \cdot A} \qquad R = \frac{1}{h_{sec.refr.} \cdot A}$$

Figur 31: Termisk ekvivalent krets för värmeöverföring genom en platta (PHE).

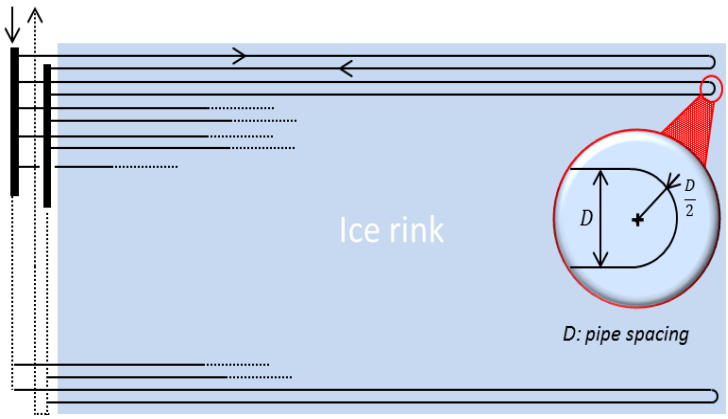
Pumpstyrning
Köldbärarens flöde kan styras med avseende på en given köldbärares temperaturskillnad eftersom en jämn temperaturfördelning krävs över isen. I denna studie såväl som i många verkliga isbanor styrs pumpen för att bibehålla en konstant temperaturskillnad, även om detta inte alltid leder till optimal energianvändning för de aktuella värmebelastningarna.

För en given kyleffekt $\dot{Q}$ och temperaturskillnad på köldbäraren, ΔT, kan det totala volymflödet $\dot{q}_{v,tot}$ beräknas med densiteten ρ och specifik värme C_p :

$$\dot{q}_{v,tot} = \frac{\dot{Q}}{\Delta T \cdot \rho \cdot C_p} \tag{5}$$

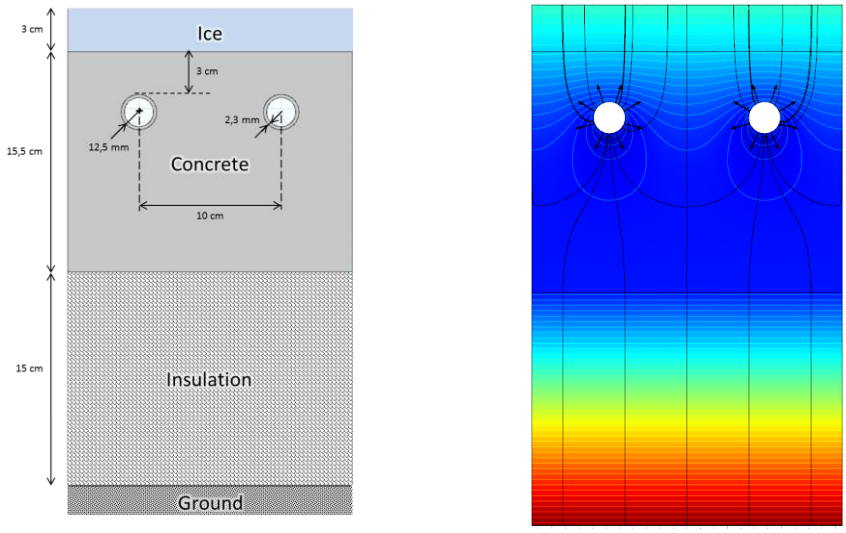
Kylprocessen och det primära köldmediet
Eftersom denna beräkning bara fokuserar på köldbäraren, finns det inga specifikationer vad gäller kylmaskinen. Beräkningarna baseras därför på en teoretisk kylprocess. Kompressorns isentropiska verkningsgrad antas vara konstant (0.65). Eftersom förångaren antas vara ”flödande”, blir överhettning mkt liten (ca 1K) och underkylning antas vara 5 K. Kondenseringstemperatur är ca +20 ° C.

Isbanans layout
Ishallen antas vara avsedd för ishockeyändamål. Isbanan är ca 60 m lång och 30 m bred. De U-formade rören är inbäddade i ett betongskikt av totalt 15.5 cm och på detta ca 3 cm isskikt och under betongen 15cm isolering. Rörens ytterdiameter är 25 mm och väggtjockleken 2.3 mm.



Figur 32: Köldbärarrör med samlingsrör i en typisk ispist.

Modell för värmeöverföring
Den totala värmeöverföringen som sker i ispisten är baserad på mekanismer såsom konvektion och värmeledning.



Figur 33 En sektion av en ispist inkluderande de olika lager som normalt ingår (tv) samt en bild av värmeflöden i en simulering.

Det termiska motståndet beräknades för olika värmeflöden. Det genomsnittliga värdet på alla simuleringsresultat används i beräkningen.

Jämförelse av köldbärarens prestanda
Systemeffektiviteten definieras som COP för ett vanligt system. I denna studie ingår också pumparbetet i COP beräkningen enligt nedan:

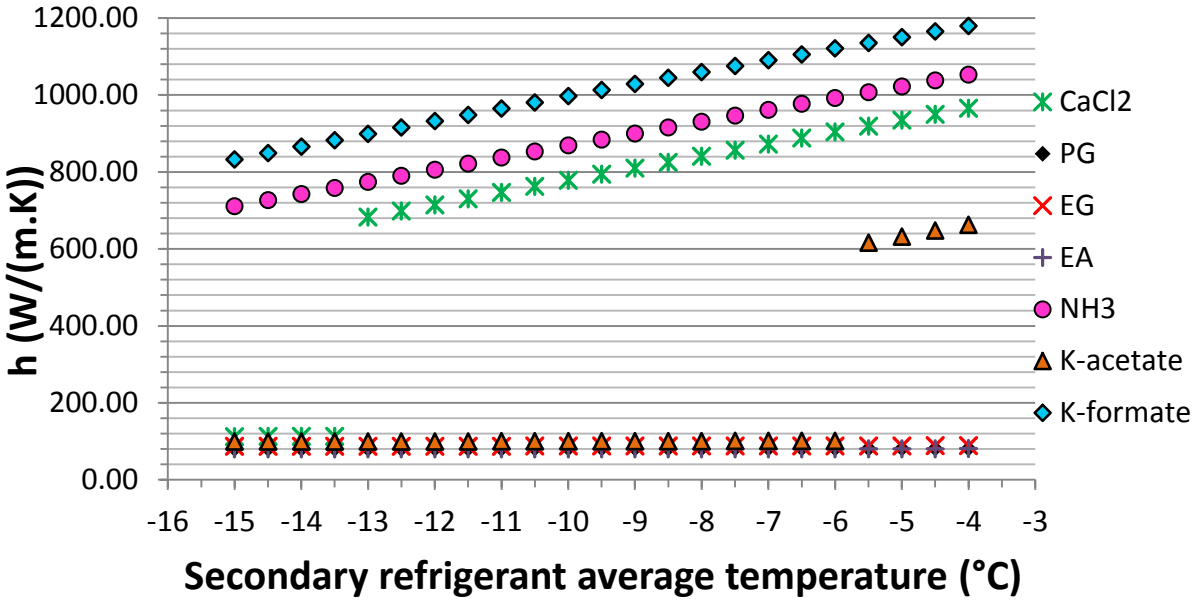
$$COP_{refr} = \frac{Kyleffekt}{Tillförd\ el + Pumparbete} \quad (6)$$

3.4.4 Resultat - teoretisk utvärdering

I det följande avsnittet redovisas resultaten från den teoretiska utvärderingen med antagande enligt ovan.

3.4.4.1 Värmeöverföring

Figurerna nedan visar värmeöverföringskoefficienter i ett U-rör samt i värmeväxlaren. Minskning av temperaturskillnaden kan leda till ett turbulent flöde. Det leder också till högre förångningstemperatur. Å andra sidan, om man minskar temperaturskillnaden, kan det leda till högre flöde och därmed högre pumpeffekt.



Figur 34: Värmeöverföringstal i en KB-slinga VS T_{medel} (CC = 200 kW; F_p = -30 °C; ΔT = 2 K)

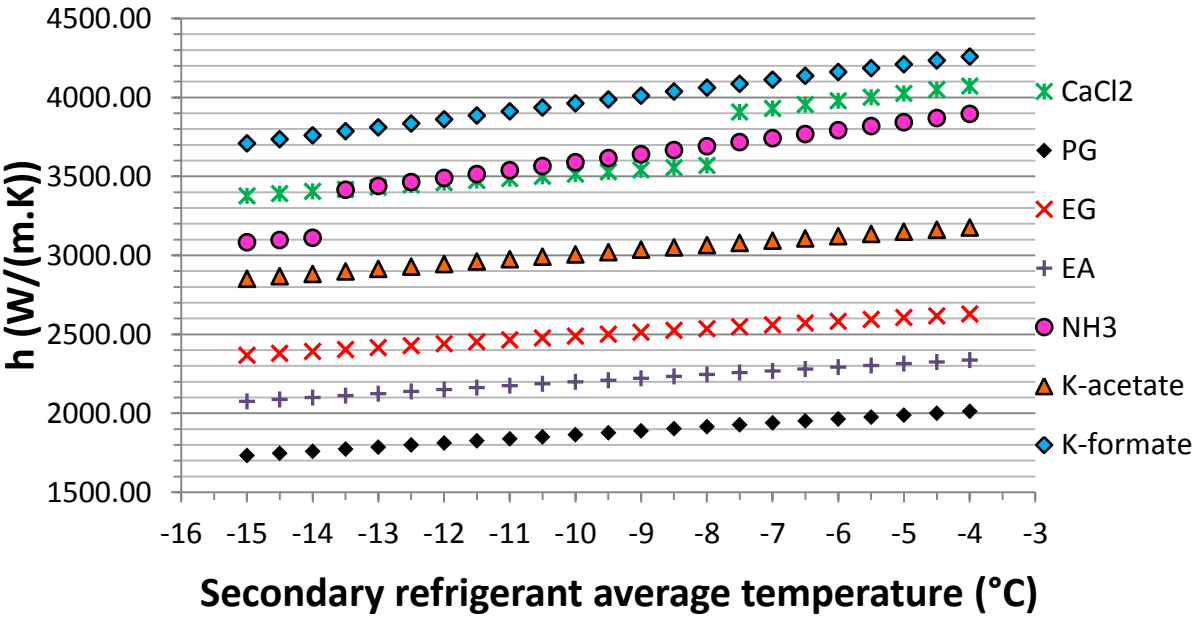
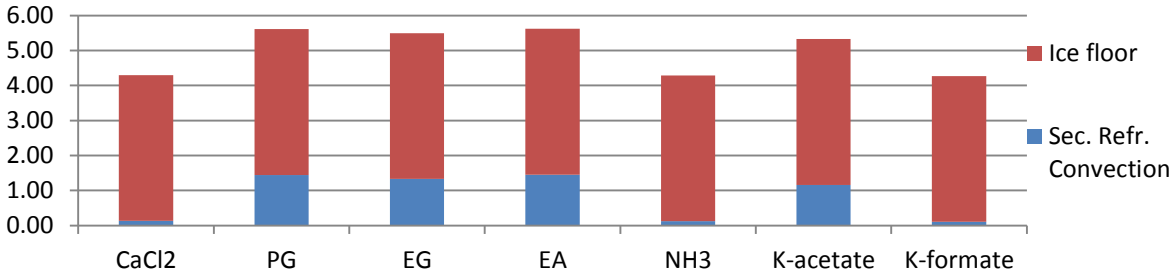
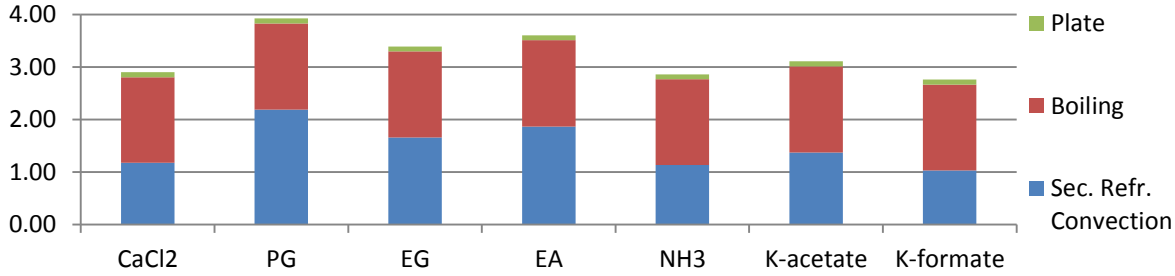


Figure 35: Värmeöverföringstal i PHE VS T_{av} (CC = 200 kW; F_p = -30 °C; ΔT = 2 K)

Figurerna nedan visar det termiska motståndet. Värdena är beräknade för en kyleffekt på 150 kW, istemperatur på -3.5°C och pumpstyrning på 1.5 K. Figur 37 belyser än en gång de dåliga värmeöverföringsegenskaperna i samband med laminärt flöde. Figur 38 visar att köldbärarens konvektion kan stå för en stor andel av det totala värmeöverföringsmotståndet, beroende på köldbärarens termo-fysikaliska egenskaper.



Figur 36: Temperaturdifferenser fördelat mellan ispist och köldbärare (CC = 150 kW; F_p = -30 °C; ΔT = 1,5 K; T_{ice} = -3,5 °C).

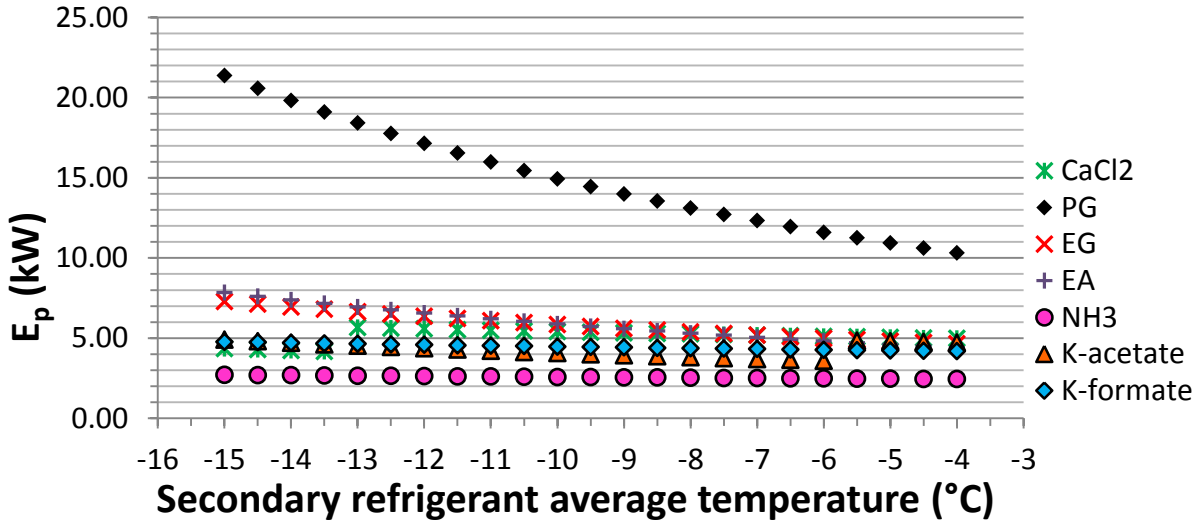


Figur 37: PHE-motstånd översatt till temperaturdifferens (CC = 150 kW; F_p = -30 °C; ΔT = 1,5 K; T_{ice} = -3,5 °C).

Figur 38 visar förångarens värmeöverföringskoefficient, UA, mot köldbärarensmedeltemperatur. Lägre UA värden ger högre temperaturskillnad och lägre verkningsgrad på kompressorer.

3.4.4.2 Pumpeffekt

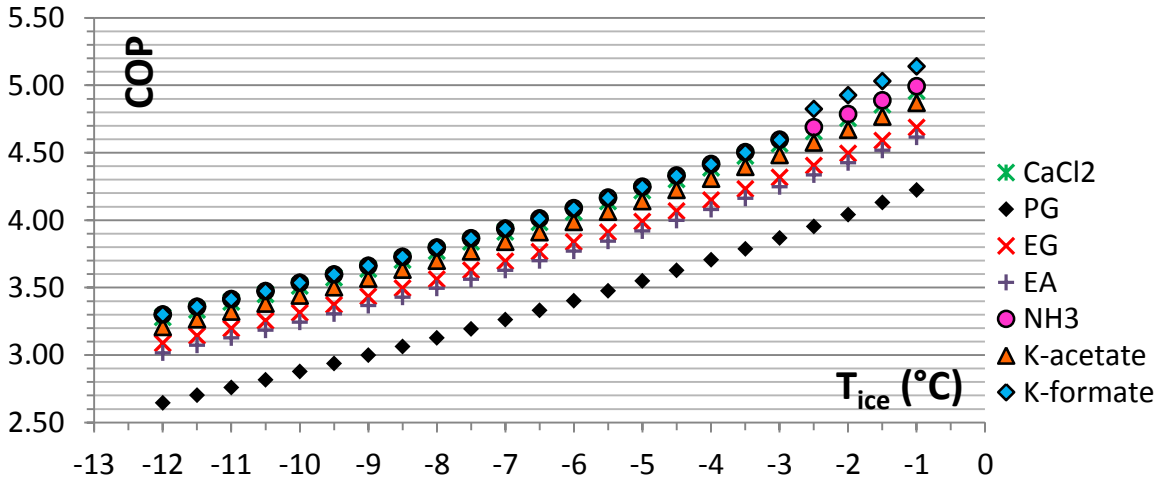
Figuren nedan visar beräknade pumpeffekter för samtliga studerade köldbärare. PG är den köldbärare som leder till den största pumpeffekten, på grund av dess höga viskositet vid låga temperaturer. Ammoniak ger låga tryckfall och lägsta pumpeffekt.



Figur 38: Pumpeffekt vid olika T_{av} (CC = 200 kW; F_p = -30 °C; ΔT = 2 K)

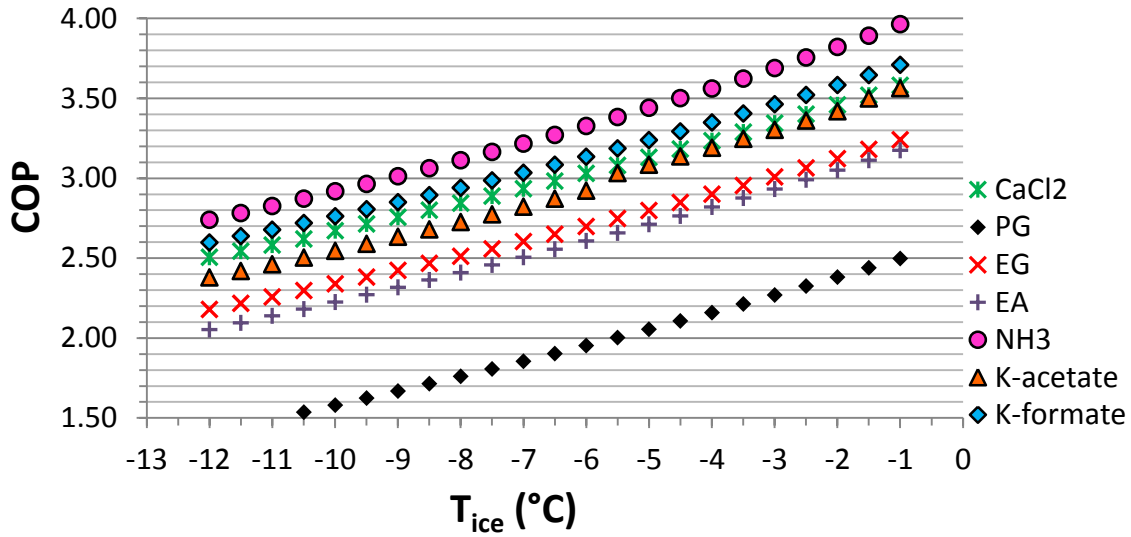
3.4.4.3 Systemeffektivitet

Figuren nedan visar hur COP varierar med istemperaturen för olika köldbärare. Kalciumklorid, kaliumformiat och ammoniak är de bästa köldbärarna vad gäller prestanda.



Figur 39: COP vs. T_{ice} (CC = 150 kW; F_p = -30 °C; ΔT = 2,5 K)

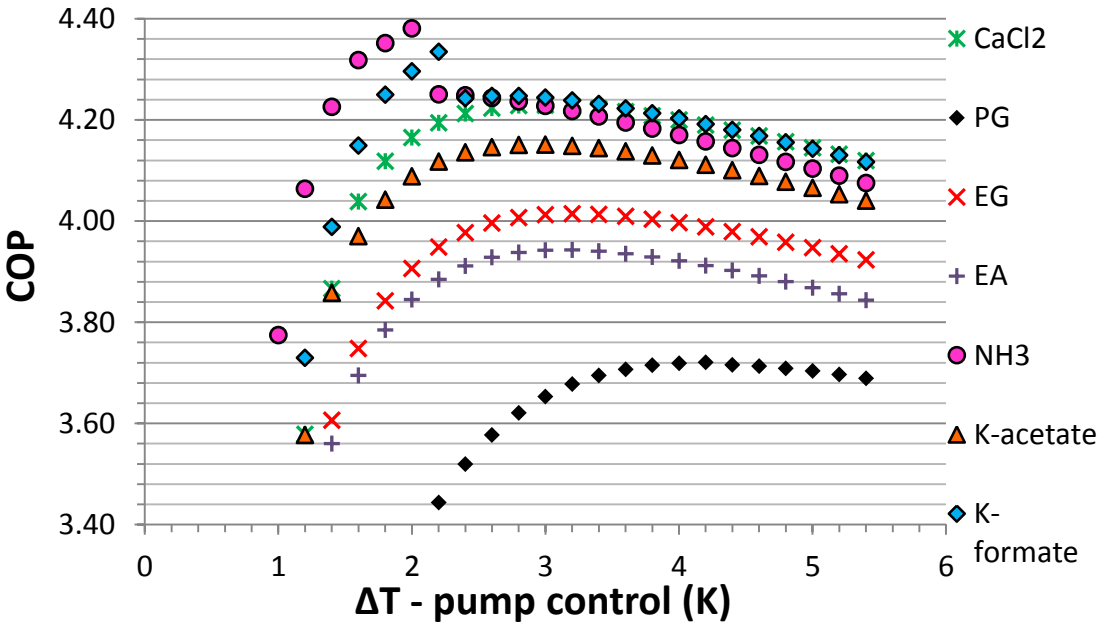
Man kan tydligen se skillnaden mellan olika köldbärare för en lägre ΔT och högre kyleffekt (figur nedan).



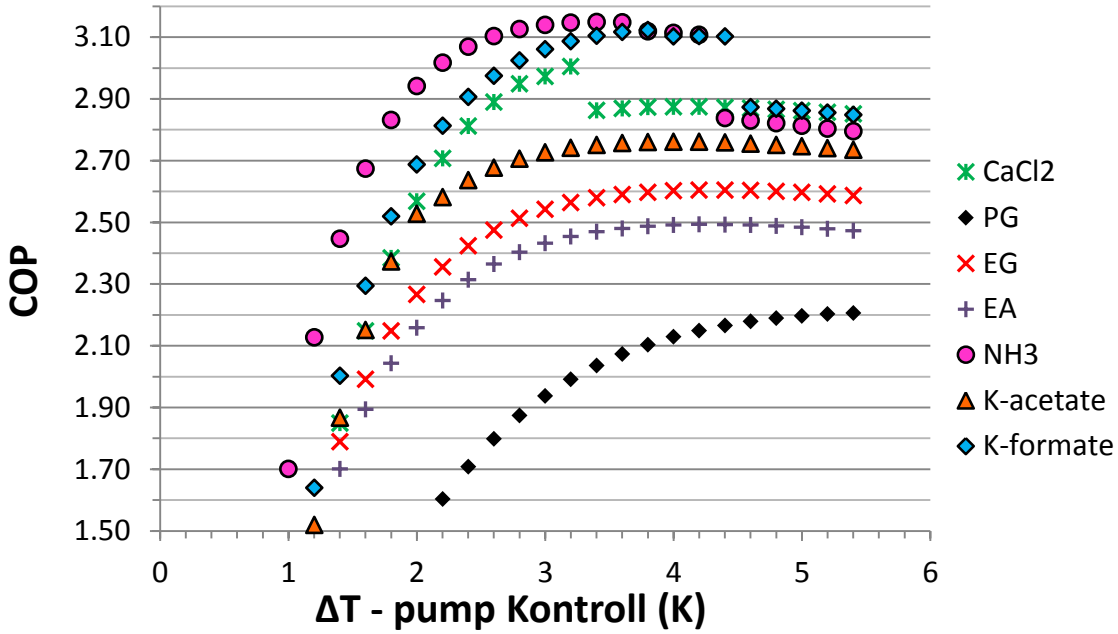
Figur 40: COP vs Tice (CC = 300 kW; F_p = -30 °C; ΔT = 2 K)

3.4.4.4 Pumpstyrning

Som framgått tidigare så påverkar köldbärarens flöde två mycket viktiga parametrar; pumpeffekten och värmeöverföringen. Ett lågt flöde ger litet pumparbete medan det samtidigt skulle påverka värmeöverföringen negativt och vice versa. Det leder oss till att det för varje köldbärare finns det ett optimum vad gäller Dt-styrningen för att nå ett optimalt COP. Figurerna nedan visar pumpstyrningens påverkan på COP, för två olika kyleffekter; 150 och 400 kW.



Figur 41: COP vs ΔT (CC = 150 kW; F_p = -30 °C; T_{ice} = -5 °C)



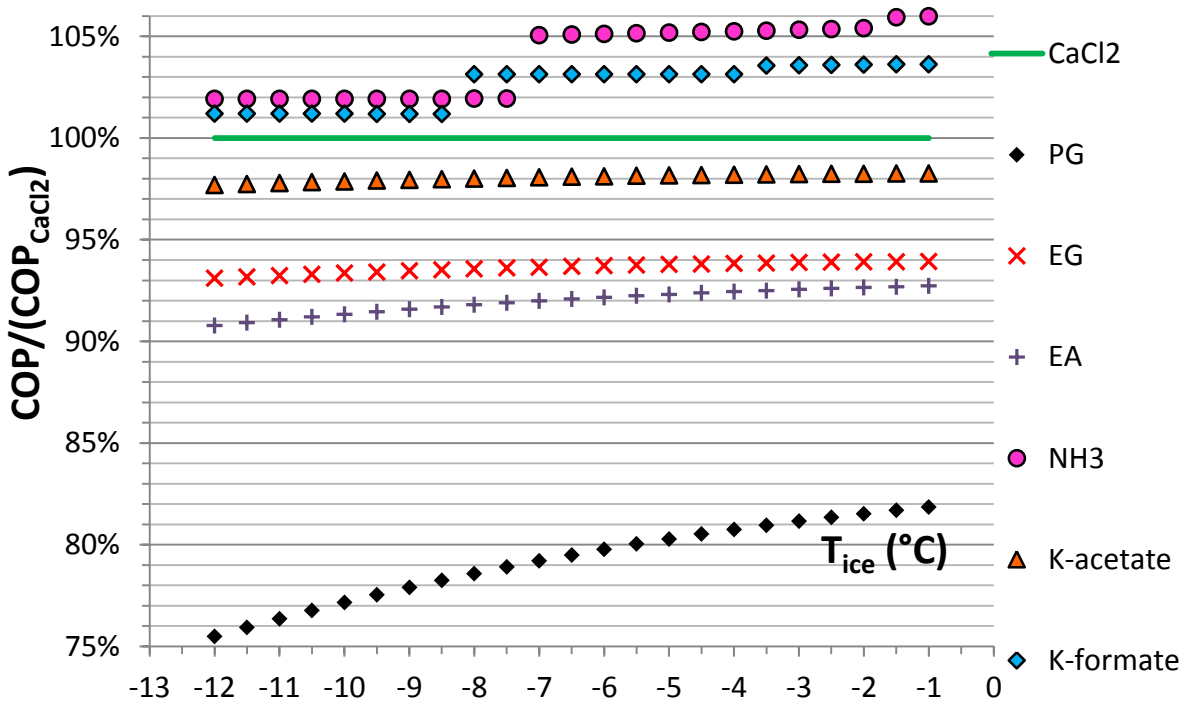
Figur 42: COP vs ΔT (CC = 400 kW; F_p = -30 °C; T_{ice} = -5 °C)

Den bästa lösningen för att styra pumpen skulle vara att ställa in temperaturskillnaden vid det optimala värdet för varje kyleffekt. Den vanligen förekommande

temperaturdifferensen brukar vara 2-3 K vilket visar sig stämma bra med beräkningen för bästa effektivitet. En av fördelarna med konstant temperaturstyrning är att istemperaturen blir mer uniform och iskvalitet blir bättre.

3.4.4.5 Prestandajämförelse

I detta avsnitt görs en översikt av relativ inverkan av val av köldbärare. Eftersom kalciumklorid används i mer än 90 % av de svenska ishallarna, är det intressant att jämföra COP för andra köldbärare jämfört med kalciumklorid. I figuren nedan visas COP mot istemperaturen, vid 150 kW kyleffekt.



Figur 43: Relativ effektivitet jämfört med CaCl2 som jämförelse (CC = 150 kW; F_p = -30 °C; ΔT = 2 K).

Generellt så blir mindre lämpliga köldbärare snabbare ännu sämre då arbetstemperaturen sjunker (relativt kalciumklorid). I exemplet ovan så framgår det väldigt tydligt att propylenglykol är ett mindre bra alternativ, vilket just därför också sällan används i ishallssammanhang. Släktingen etylenglykol förekommer, framförallt i Nordamerika men inte så ofta i Sverige, och det framgår tydligt varför i figuren i ovan.

Det bästa alternativet som tidigare konstaterats är ammoniak-vatten följt av kaliumformiat och kalciumklorid. Dessa ligger inom 2-6% vinst vad gäller systemets COP medan användningen av propylenglykol vid i övrigt samma förutsättningar skulle kunna öka energianvändningen (minska COP) med storleksordningen 20 %. Etylenglykol som ändå får ses som ett realistiskt alternativ i vissa applikationer skulle dra ned COP med 6-7 % jämfört med kalciumklorid.
I känsliga omgivningar där läckagerisken måste beaktas kan även etylalkohol (köldbärarsprit) vara ett alternativ för att skydda t ex ömtålig närmiljö. ”Priset” skulle i så fall vara ca 7 % sämre system-COP jämfört med referensen kalciumklorid.

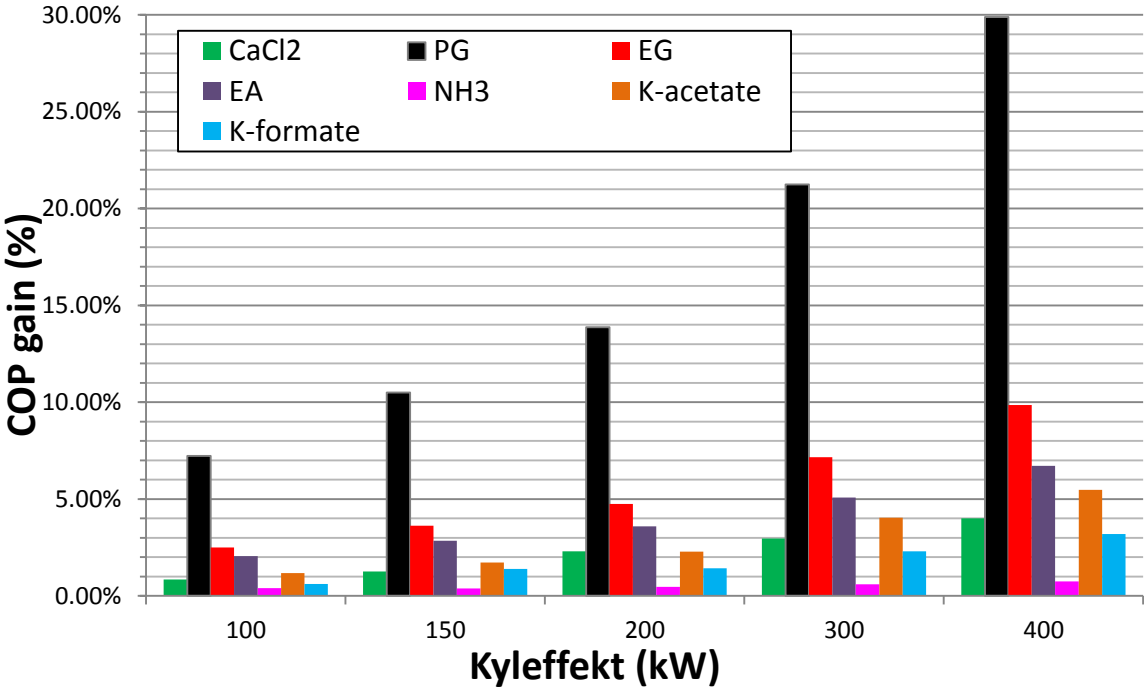
3.4.5 Analyser av vätskor

Vätskeprover tagits från ett antal system – både köld- och värmebärarsystem för att bedöma koncentrationer i praktiken, renhet och potential i förbättrad prestanda om vätskorna behandlas korrekt. Inte minst är inverkan av för höga koncentrationer, dvs för låga fryspunkter, av stort tekniskt intresse då det kan spara stora mängder pumpenergi. Syftet var att göra en bredare studie för att bedöma besparingspotentialen från ett nationellt perspektiv.

3.4.5.1 Inverkan av fryspunkt

Fryspunkten, eller koncentration, påverkar direkt köldbärarens termo-fysikaliska egenskaper. Figuren visar hur COP förändras (ökar) om man använder samma köldbärare som har en fryspunkt på -20° C i stället för -30° C.

$$COP\ gain = \frac{COP_{F_p=-20} - COP_{F_p=-30}}{COP_{F_p=-30}} \quad (7)$$



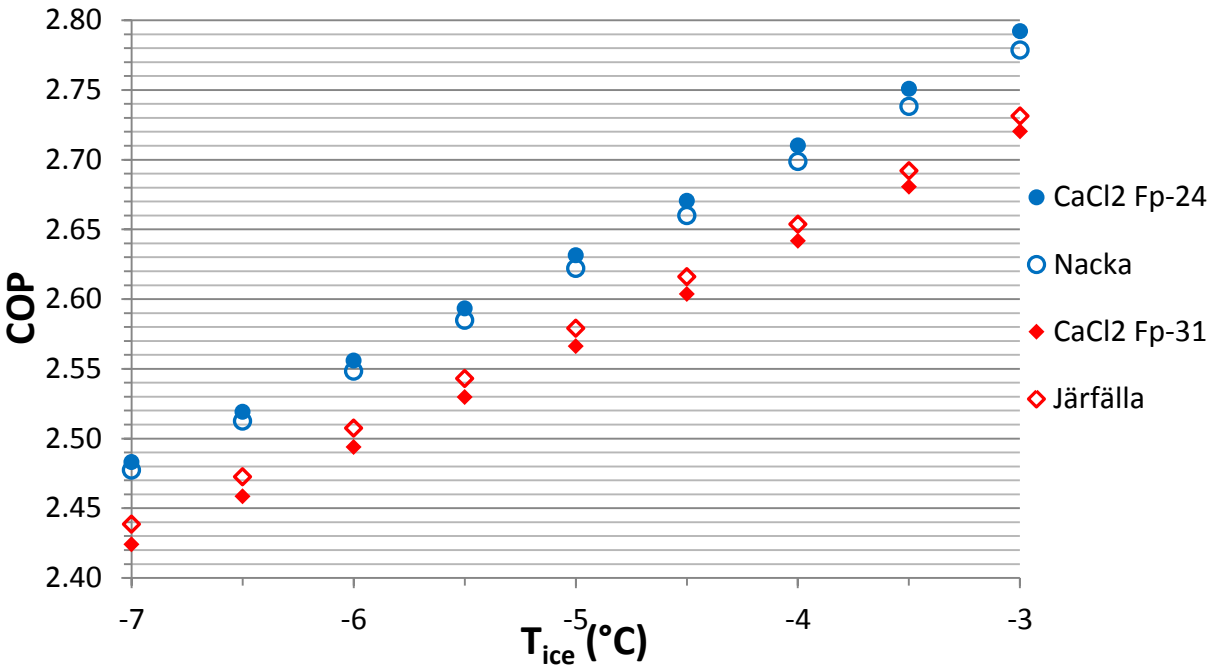
Figur 44: Ökning i COP (%) om fryspunkten höjs från -30 °C till -20 °C (T_{ice} = -5 °C; ΔT = 2 K)

Som synes i figuren ovan så är vissa köldbärare mycket känsliga för fryspunkten (koncentrationen). Generellt så blir en redan mindre lämplig köldbärare ännu sämre av redan små avvikelser eller onödigt låga fryspunkter. I exemplet ovan så framgår det väldigt tydligt att propylenglykol är ett mindre bra alternativ, vilket också sällan används i ishallssammanhang. Släktingen etylenglykol förekommer, framförallt i Nordamerika men sällan i Sverige, och det framgår tydligt varför i denna utredning.

Omvänt så framgår också fördelen med t ex ammoniak-vatten som är i det närmaste okänsligt för fryspunkten inom ett rimligt arbetsområde. Att använda ammoniak-vatten ger följaktligen större toleranser vad gäller koncentration och fryspunkt.

3.4.5.2 Prestandajämförelse mellan ren och kommersiella köldbärare

Kommersiella köldbärare kan ha betydligt avvikande termo-fysikaliska egenskaper än de som anges för en ren köldbärarblandning. Med hjälp av företaget QTF, togs prover från 7 olika isbanor. Dessa prover analyserades med mätutrustning i KTHs laboratorium. Endast proven från två av de studerade ishallarna visas här. Fryspunkten av dessa köldbärare mättes och var -24° C för Nacka ishall och -31° C för Järfälla.



Figur 45: Jämförelse av förväntat COP med ren köldbärare och den som faktiskt användes i anläggningen (CC = 400 kW; ΔT= 2 K)

Dessa resultat illustrerar hur det kan se ut på fältet då båda ishallarnas system är projekterade för -25° C, men i praktiken är det något annat. I rapporten Mazzotti 2013 redovisas även resultat från de andra systemen och de relativa avvikelser detta leder till. I den ena anläggningen ovan så är fryspunkten för låg och det leder till att det finns en beräknad potentiell besparing med att justera denna uppåt. Detta skulle göra att pumparbetet skulle minska samt att värmeöverföringen skulle bli bättre. Sammantaget skulle det kunna höja COP något, medan i det andra fallet så var fryspunkten något högre än projekterat vilket skulle kunna sägas spara energi, men samtidigt finns en teknisk risk med att inte uppfylla projekterat frysskydd. I det aktuella exemplet är skillnaden liten men ytterlighet skulle kunna vara att frysskador, dvs isbildning och funktionsproblem eller skador som följd.

I den ena hallen ovan (Järfälla) som vid tillfället för utvärderingen fortfarande saknade kapacitetsreglerade pumpar, så blir konsekvensen betydande av felaktig fryspunkt. I det aktuella fallet är fryspunkten 6-7 K för låg, och mot den bakgrunden att anläggningen redan använde ca 175 MWh för pumpeffekten, så kan besparingen bli så stor som ca 45 MWh per säsong. Om man räknar om det till ”per grad avvikelse” så handlar det om ca 10 000 kWh per år (säsong). Motsvarande siffra för ”per % avvikelse” blir så hög som ca 25 000 kWh per år. Buskapet och lärdomen från detta är naturligtvis att det lönar sig att vara noggrann med koncentrationerna och inte ”överdosera” frysskydd i sin köldbärare!

3.4.6 Slutsatser

Sammanfattningsvis så har denna studie både teoretiskt och praktiskt studerat val av köldbärare och utfall av praktiska fälttester. De teoretiska studierna syftade till att visa hur skillnader i ämnesdata påverkar energieffektiviteten – främst genom påverkan på pumpeffekt men även värmeöverföring. De sammanvägda resultaten har jämförts med hjälp av systemets beräknade köldfaktor, COP.

Ur ett termodynamiskt perspektiv så är förmodligen ammoniak-vatten den idag tekniskt mest lämpade köldbäraren. Traditionellt har saltlösningar (CaCl2) främst använts och så är det även idag då större delen av anläggningarna är befintliga och använder fortsatt var de är byggda för. I nyproduktion ser ammoniak-vatten ut att ta över en stor del av marknaden. Beräkningarna visar att köldfaktorn kan förbättras upp till ca 10% med ammoniakvatten jämfört med kalciumklorid. I praktiken sker en del konverteringar från kalciumklorid till ammoniak-vatten där de praktiska utmaningarna består i att säkerställa att alla systemdelar tål ammoniak. Finns t ex koppar eller mässingsdelar i systemet så kommer de att korroderas bort relativt snabbt, vilket gör att läckage uppstår.

Vad gäller styrning så har inverkan av så kallad Dt-styrning studerats. Det är ett sätt att kapacitetsreglera köldbärarpumpen och anpassa driften efter rådande behov. ”Dt” syftar på att temperaturdifferensen mellan tillopp och retur i kretsen mäts och så anpassas flödet så att man upprätthåller en konstant differens hela tiden. Det är normalt ett praktiskt och effektivt sätt att reglera systemet på, dock kan det finnas undantag. Hursomhelst så visar studien att reglering inom intervallet 2-3 K ligger nära det optimala för de flesta köldbärare. Mer avancerade optimeringsförfaranden kan tänkas vara aktuella om systemet har stora effekter och/eller stora variationer i kyleffekterna.

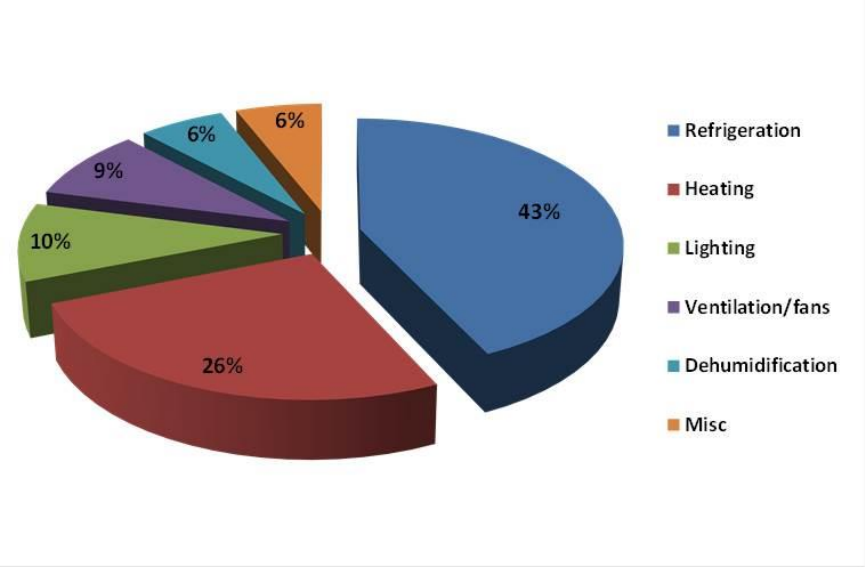
Resultaten från fältesterna illustrerar hur det kan se ut i verkligheten då dessa ishallars system är projekterade för fryspunkt -25° C, men i praktiken är det något annat. En för låg fryspunkt kan justeras uppåt och skulle kunna höja COP något, medan en för hög fryspunkt skulle kunna sägas spara energi – dock får inte systemet riskera frysning, vilket kan få mycket dyra konsekvenser.
Om man beräknar vinsten/förlusten till ”per grad avvikelse” i fryspunkt så handlar det om ca 10 000 kWh per år (säsong). Motsvarande siffra för ”per % avvikelse” blir så hög som ca 25 000 kWh per år. Budskapet och lärdomen från detta är naturligtvis att det lönar sig att vara noggrann med koncentrationerna och inte ”överdosera” frysskydd i sin köldbärare!

3.5 Värmepump för ökad värmeåtervinning

Syftet med detta delprojekt är att utvärdera olika koncept vad gäller värmepumpar i ishallar tillsammans med föreslagna systemlösningar. Arbetet har analyserat olika typer av värmepumpstillämpningar med olika värmekällor. Principiellt kan man säga att det finns minst tre sätt att arrangera värmepumpar i ishallar; kopplad till kylsystemets köldbärare, kopplad till kylmedlet och en kombination av kylmedel och externt geoenergilager. Dessa alternativ har teoretiskt utvärderats i ett examensarbete (Gummesson 2013) vad gäller energibesparing och kostnad vilket inkluderar en LCC-analys av alternativen.
Utöver den teoretiska studien så har en befintlig anläggning där en konvertering från huvudsakligen direktel till vattenburen värme med värmepump har också analyseras och dokumenteras. Fokus i den senare studien har varit att fånga upp lärdomar vid genomförandet samt att följa upp verklig besparing samt göra en översiktlig bedömning av den framtida besparingspotentialen.

3.5.1 Värmeanvändning i ishallar

Energianvändningen i en ishall i Sverige består huvudsakligen av fem delar, uppvärmning, kylning, belysning, avfuktning och ventilation. Figuren nedan illustrerar den relativa energianvändningen från varje kategori.



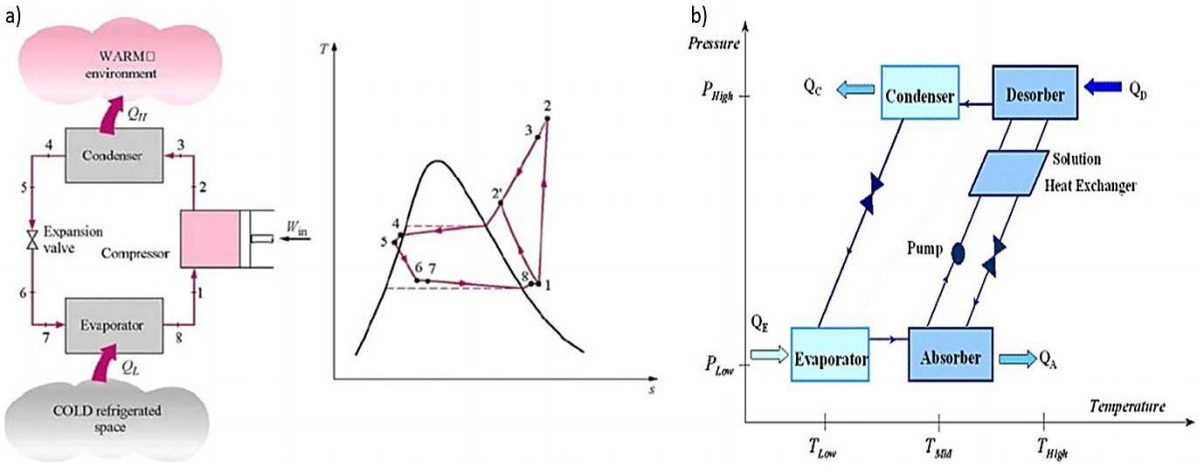
Figur 46 Energianvändningens fördelning i en svensk genomsnitts-ishall.

Direkt ”värme” står för ungefär en fjärdedel av energianvändningen och utöver detta så kan vissa av de övriga delarna påverkas genom klok värmeåtervinning. Avfuktningsprocessen kan helt eller delvis ersättas med återvunnen värme. Minskas belysningens värmebidrag genom att t ex LED installeras så kan detta värme bidra också ersättas med återvunnen värme. Detta illustrerar igen hur de olika systemen samverkar.

3.5.2 Värmepumpsteknik

Sedan mitten på 1970-talet har värmepumptekniken utvecklats snabbt. I Sverige började marknaden växa på allvar i början av 1980 -talet med fokus på större värmepumpar. De stora värmepumparna användes i fjärrvärmesystemen och ersatte oljan (på grund av oljepriserna).

De två vanligaste värmepumpsprocesserna som används idag är den kompressordrivna och den sk absorptionsprocessen. Kompressorprocessen är vanligast inom fastighetsapplikationer och absorptionsprocessen finner man oftast inom industriella tillämpningar.



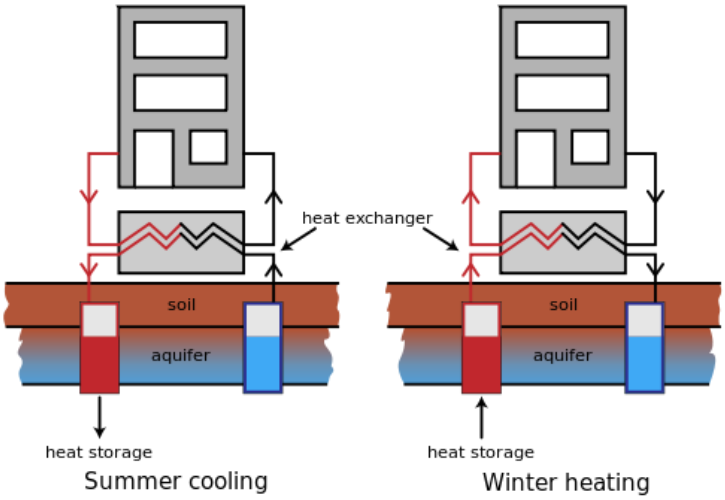
Figur 47 a) Kompressorprocessen i ett T-S diagram och b) är en absorptionsprocess.

3.5.3 Tekniker för energilagring

Energilagring i termiska energilager (Thermal Energy Storage; TES) är en teknik sedan mer än 30 år. Det finns två huvudtyper av system som bygger på olika principer. Ett kallas Aquifer Thermal Energy System (ATES) och bygger på energilagring i akviferer, dvs i vatten. Den andra principen bygger på energilagring i borrhål och kallas Borehole Thermal Energy Storage (BTES).

3.5.3.1 Termisk energilagring i akvifer (ATES)

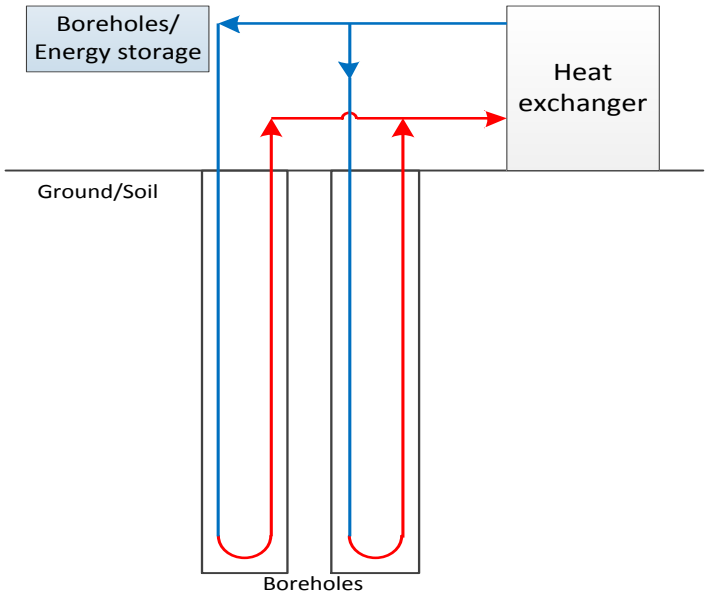
Akvifer termisk energilagring (ATES) är en teknik där värme och kyla lagras i grundvattnet i en akvifer.



Figur 48 ATES där grundvattnet används för att transportera värmen till och från lagret.

3.5.3.2 Termisk energilagring i borrhål (BTES)

Borrhålslagring (BTES) är en teknik där (värme-)energin lagras i borrhål i marken som visas principiellt i figuren nedan.



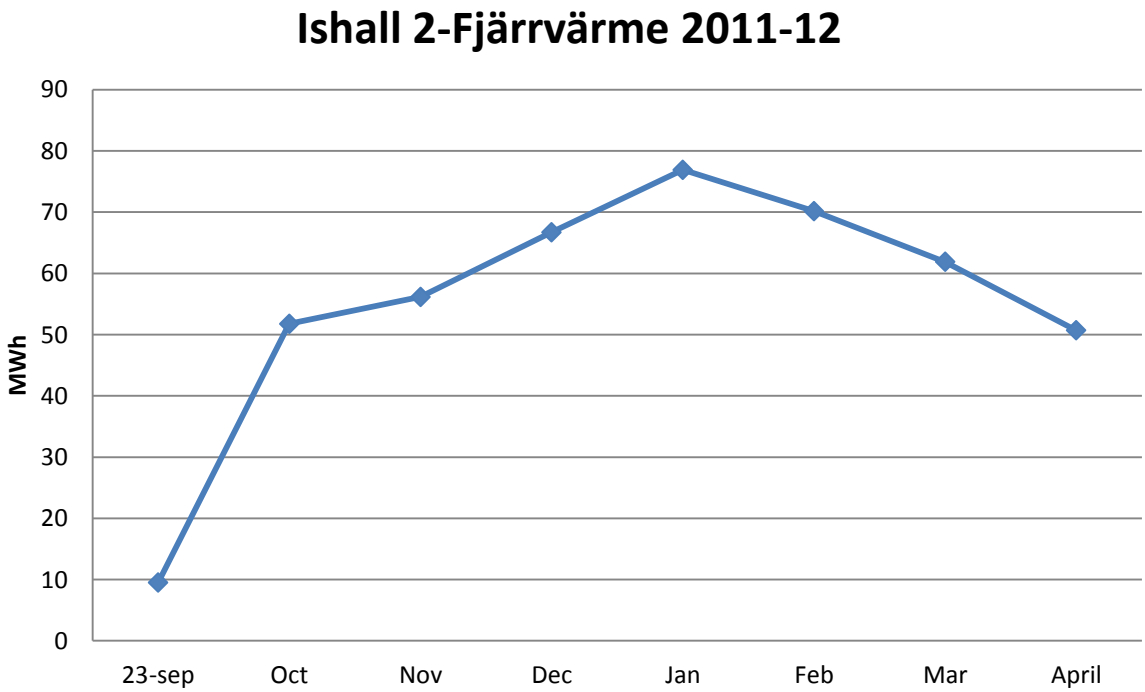
Figur 49 visar ett principiellt utförande för ett borrhålslager med U-rörsvärmeväxlare.

3.5.4 Värmeanalys

För värmeanalysen samlades data in från 2 st ishallar här benämnda ishall 2 och ishall 6.

Ishall 2

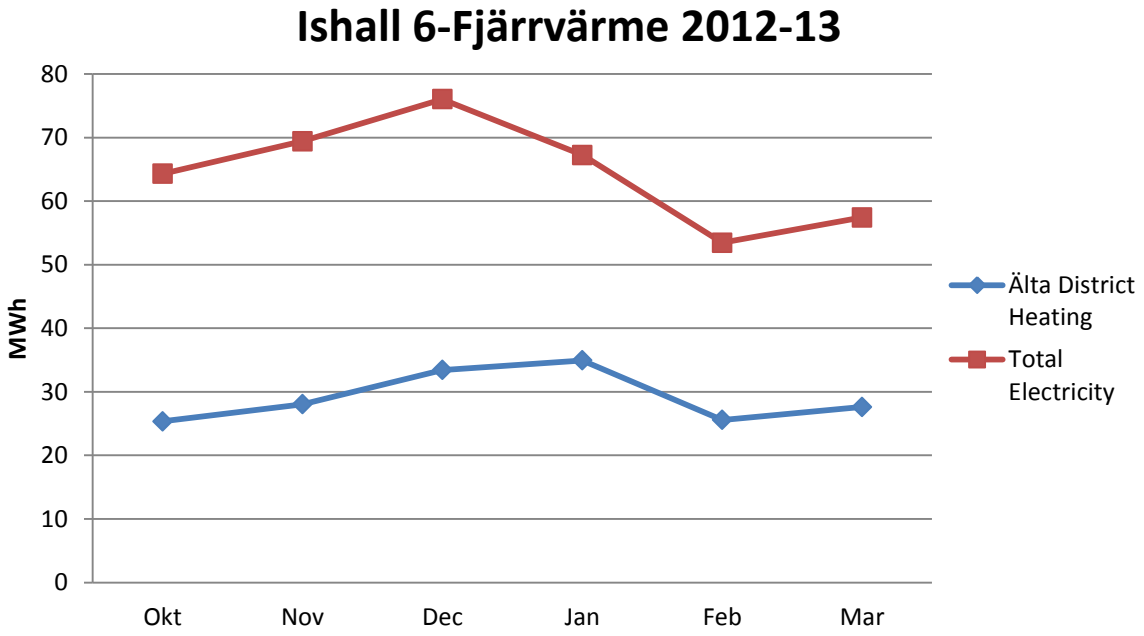
Den totala fjärrvärmeanvändningen för Ishall 2 under säsong 2011-12 är 443 MWh fördelat per månad enligt figuren nedan.



Figur 50 visar den månatliga fjärrvärmeanvändningen för ishall 2.

Ishall 6

Den totala fjärrvärmeanvändningen för ishall 6 är 192 MWh/säsong och den totala elanvändningen är 408 MWh/säsong. Fjärrvärmen och elanvändningen visas i figuren nedan.

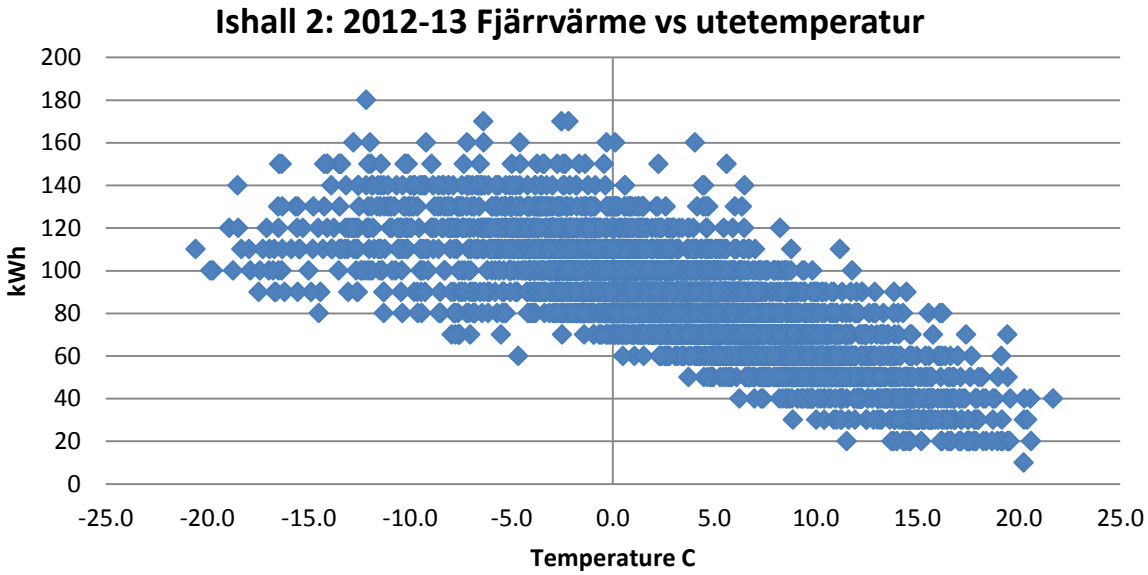


Figur 51 Fjärrvärme och elanvändning för säsongen 12/13.

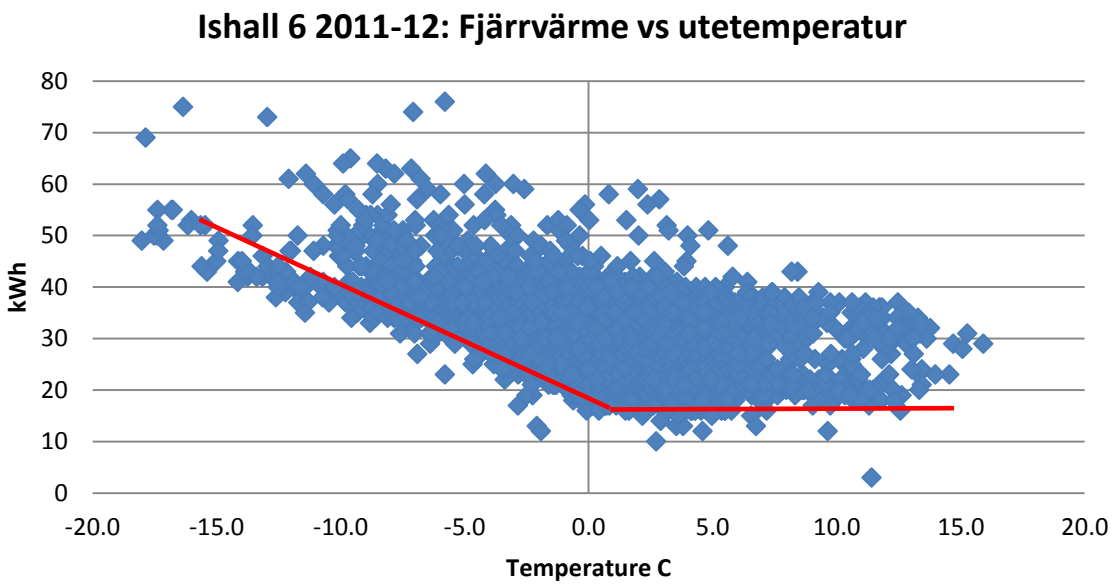
Värmesystemet och framförallt värmeanvändningen i ishall 6 är mer komplicerat att analysera jämfört med Ishall 2 då det delvis använder återvunnen värme från kylsystemet tillsammans med fjärrvärme och el.

3.5.4.1 Värmelaster

Energin som levereras från fjärrvärmen till ishallarna varierar med utomhustemperaturen. I figurerna nedan visas trenden på fjärrvärme när utomhustemperaturen varierar.



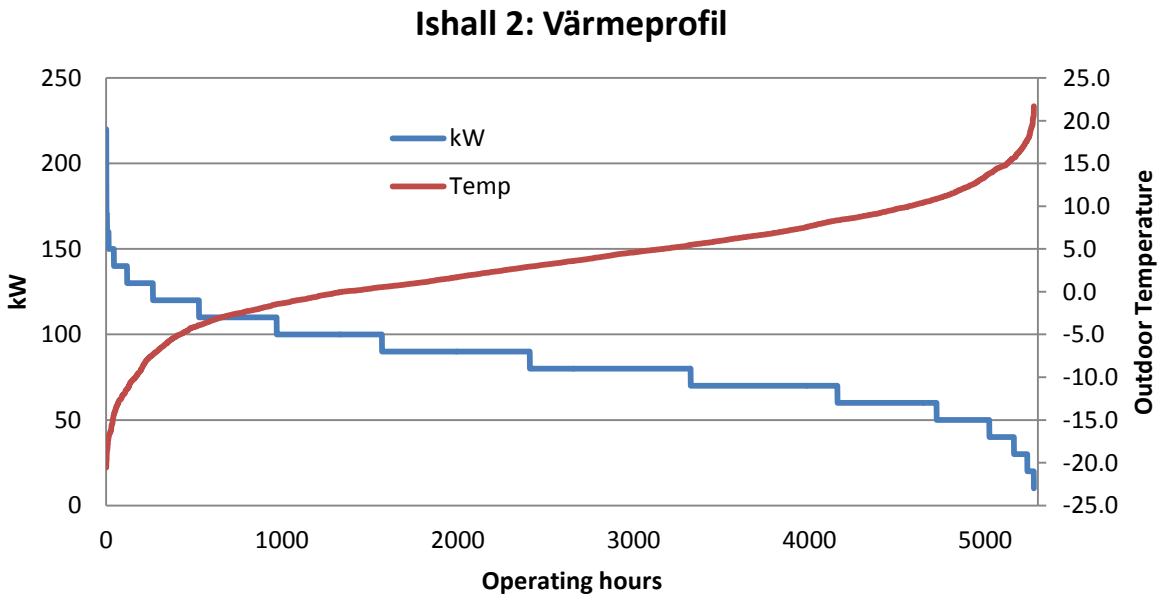
Figur 52 Fjärrvärmeanvändningen som timmedelvärden vs utetemperaturen för ishall 2.



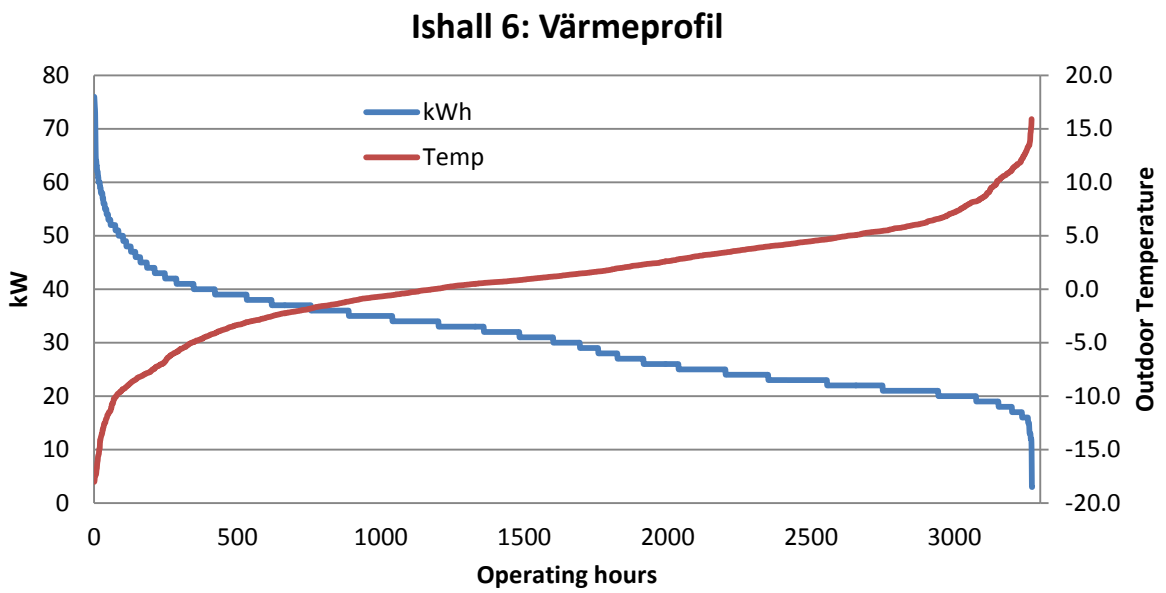
Figur 53 Färrvärmeanvändningen som timmedelvärden vs utetemperaturen för ishall 6.

Värmeprofil

Figurerna nedanvisar värmeprofiler för de båda ishallarna. Värmeprofilerna kommer senare att användas för att bestämma lämplig storlek på värmepumpen till respektive ishall.



Figur 54 Värmebehovsprofil och utetemperatur under en säsong för ishall 2.

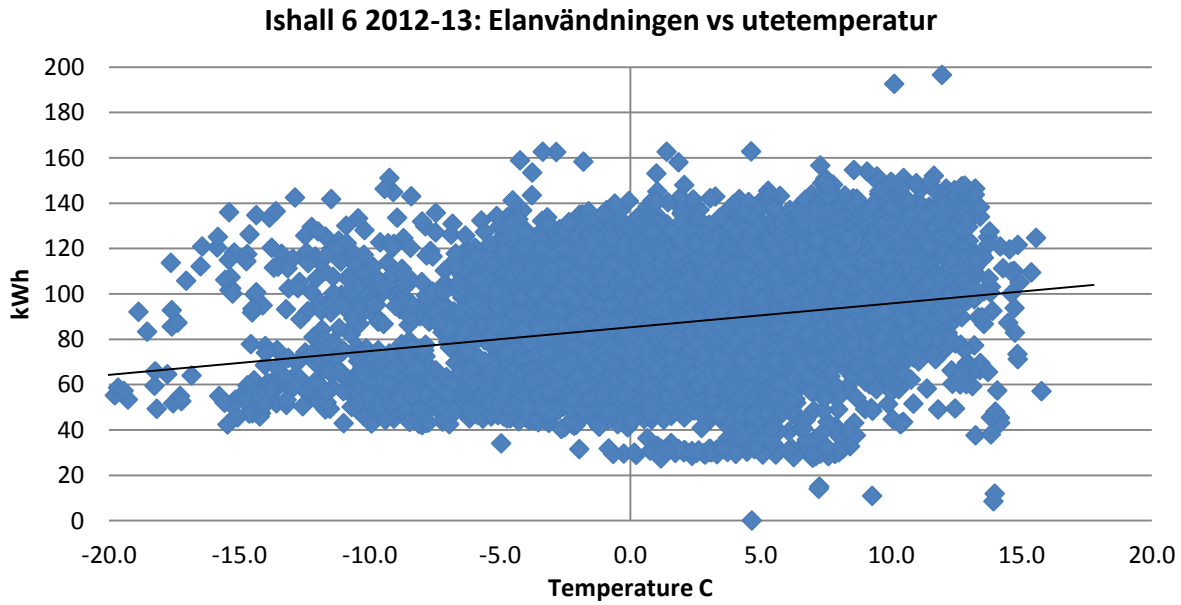


Figur 55. Värmebehovsprofil och utetemperatur under en säsong för ishall 6.

Värmeprofilen hjälper också att räkna det årliga värmebehovet. Värmebehovet i Ishall 2 blev 355 MWh/år och i Ishall 6, 150 MWh/år.

Elanvändningen i Ishall 6

Elanvändningen analyserades för att ta reda på om elen används till någon del för uppvärmning eller endast för ”andra” behov såsom t ex kylning och belysning. Figuren nedan visar elanvändningen jämfört med utomhustemperaturen.



Figur 56 Ishalls 6 - elbehov vs. utetemperatur för säsongen 2012-13

Elanvändningens mönster pekar inte på att den skulle användas för uppvärmning då den förefaller avta med sjunkande temperatur. I vart fall så går det inte att koppla elanvändning till uppvärmning med hjälp av endast information från totalelanvändningen.

3.5.5 Värmepumpkoncept och lösningar

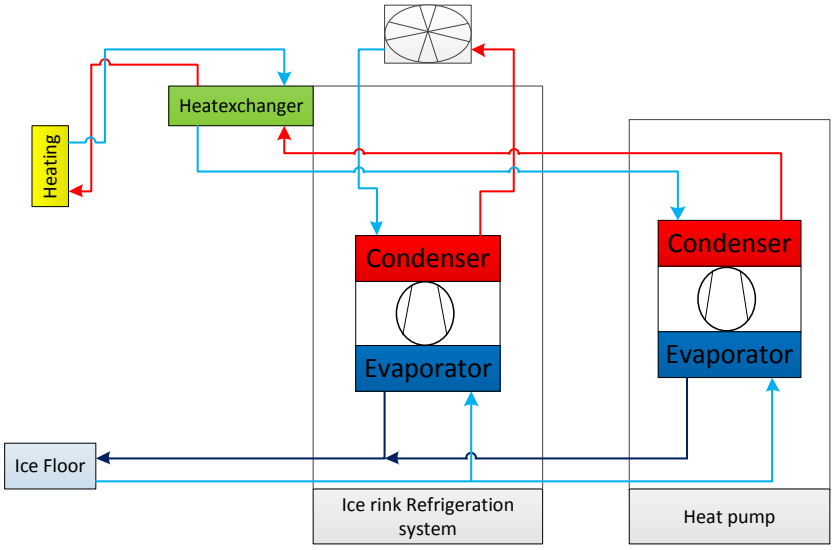
I följande avsnitt har några olika koncept för värmepumpslösningar studerats. De primära alternativen beskrivs kort nedan.

1. BHP (brine-kopplad VP) – genom att ansluta värmepumpen till kalla sidan av kylsystemet, hämtas värme direkt från ispisten till värmebehoven.
2. CHP (kylmedelskopplad VP) – genom att ansluta värmepumpen till den varma sidan av kylsystemet, kylmedlet, kan värme hämtas från en högre temperaturnivå och användas till värmebehoven.
3. GHP (marklagerkopplad VP) – genom att lagra avgiven värme ett borrhålslager och använda den vid behov så kan värmepumpen alltid förses med värme och dessutom på en gynnsam temperaturnivå.

Den lämpliga storleken på värmepumpen bestäms av värmelastprofilen. I Ishall 2 bestämdes värmepumpens storlek till 105 kW vilket är cirka 60 % av det högsta värmeeffektbehovet. I Ishall 6 bestämdes värmepumpens storlek till 45 kW och är också ca 60 % av den högsta värmeffekten.

3.5.5.1 BHP-koncept

BHP-konceptet kommer att använda ispisten som enda värmekälla. För att systemet ska fungera, måste det beaktas att det ska fungera parallellt med köldmediesystemet.



Figur 57: VP kopplad till kylsystemets kalla sida – här kallad BHP.

Delvis med hjälp av uppmätta data från de två studerade ishallarna tillsammans med några grundläggande antaganden så kan värmepumpens värmefaktor beräknas. Kondenseringstemperaturen antas här till 65ºC, vilket är högt men lika för alla valda lösningar.

$$COP_1 = 1 + \eta_{Ct} \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

med T_2 : förångningstemperatur.

T_1 : kondenseringstemperatur.

η_{Ct} : Carnot verkningsgrad (0.5).

Kyleffekt: $\dot{Q}_2 = \dot{Q}_{rejected} - E_t$

$$E_{BHP} = \frac{\dot{Q}_{1BHP}}{COP_{1BHP}}$$

BHP kyleffekt: $\dot{Q}_{2BHP} = COP_{2BHP} \cdot E_{BHP}$

Den nya kyleffekten (kylsystemet): $\dot{Q}_{2Ref} = \dot{Q}_2 - \dot{Q}_{2BHP}$

Tabell 2 visar de genomsnittliga kyleffekterna, kompressoreffekterna, COP_1 and COP_2 för de aktuella ishallarna med BHP.

Ice rink	Q_2 [kW]	Q_{2BHP} [[kW]	E_{BHP} [kW]	COP_{1BHP}	COP_{2BHP}
Ishall 2	222	65,6	32,4	2,68	1,68
Ishall 6	195	28,7	16,3	2,76	1,76

Den avgivna värmeenergin från BHP kommer att begränsas av ishallens kylsystem, dvs värmepumpen är begränsad till den värmemängd som finns tillgänglig från ispisten.

Tabell 3 visar resultat från beräkningen med BHP-konceptet i ishall 2.

Ishall 2	Timmar	E_tot	Q_1	DH	Spetslast [kWh]
sep	91	5124	9530	9530	0
okt	493	27828	51760	51760	0
nov	535	30194	56160	56160	0
dec	567	32013	59544	66700	7156
jan	497	28065	52201	76900	24699
feb	475	26792	49833	70170	20337
mar	517	29161	54240	61870	7630
apr	18	1003	1866	50700	48835
Total	3192	180179	335132	443790	108658

Tabell 4 visar resultat från beräkningen med BHP-konceptet i ishall 6.

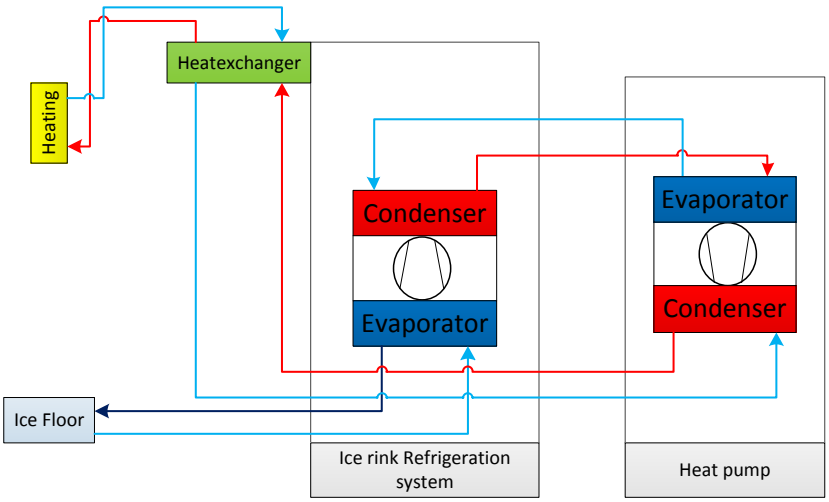
Ishall 6	Timmar	E_tot	Q_1	DH	Spetslast [kWh]
sep	150	3450	6763	16426	9663
okt	540	12404	24311	25000	689
nov	520	11928	23378	28048	4670
dec	484	11107	21769	33439	11670
jan	455	10454	20490	24530	4040

feb	375	8610	16876	24520	7644
mar	444	10184	19960	19960	0
apr	408	9363	18352	20260	1908
Total	3376	77499	151898	192183	40285

Resultaten visar att för Ishall 2 kan BHP konceptet bidra med 76 % av värmebehovet som idag täcks av fjärrvärme i och motsvarande siffra är 79 % i Ishall 6. Resten av värmebehovet tillförs som spetsvärme. Elenergin som BHPs kompressorer behöver är relativt hög, 108 MWh i Ishall 2 och 77 MWh i Ishall 6.

3.5.5.2 CHP-konceptet

CHP liknar BHP-konceptet men istället för att använda ispisten som direkt värmekälla hämtas värmen från kylsystemets varma sida via kylmedlet.



Figur 58 CHP systemlösning

Tabell 5 visar COP_1 och elenergiberäkningar från ishall 2 and ishall 6.

Ishall	E [kW]	COP_1
Ishall 2	27,6	3,8
Ishall 6	11,8	3,8

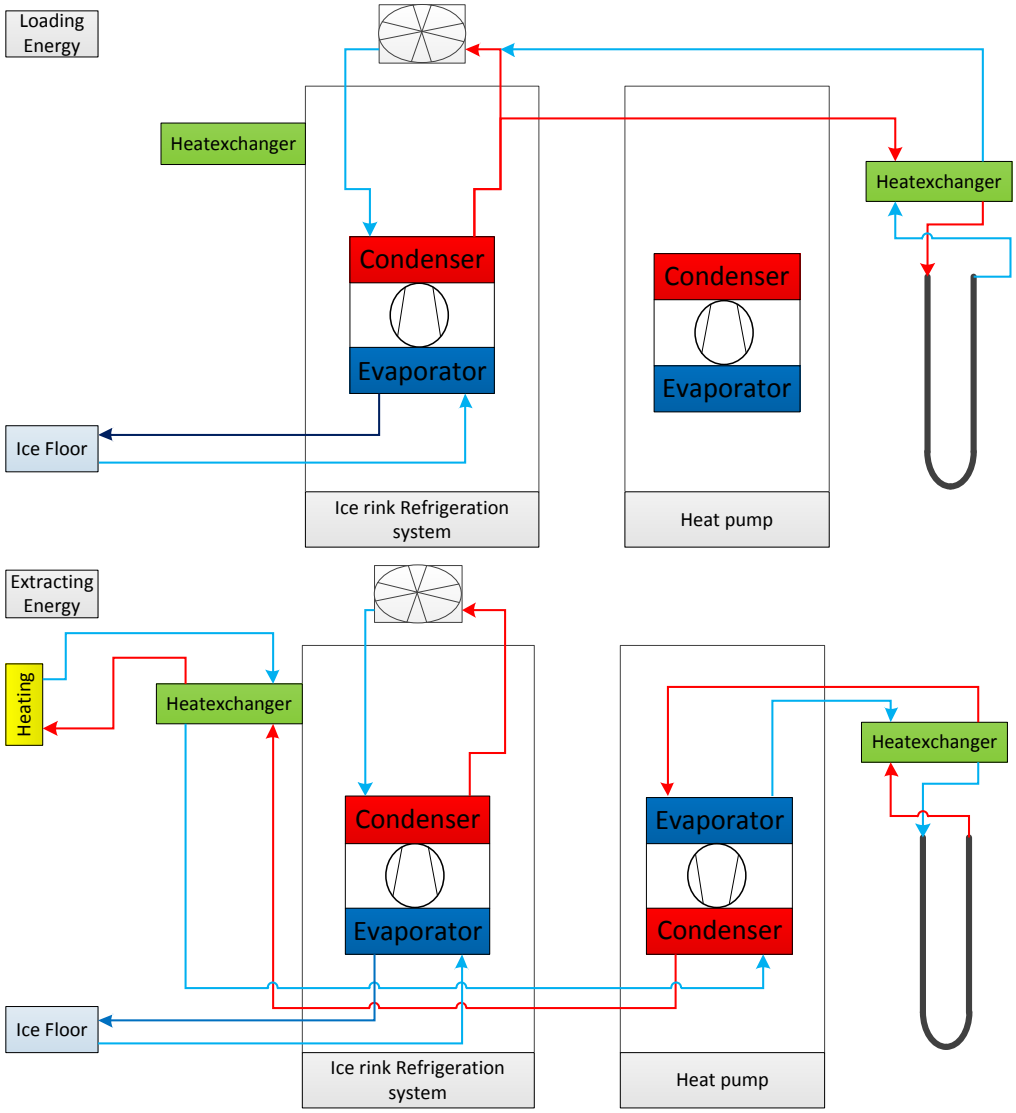
CHP konceptet har liknande begränsningar vad gäller värmekällan som BHP-konceptet. Värmekällan finns bara tillgänglig när ishallens kylsystem är i drift. Resultaten från CHP-konceptets beräkning för respektive ishall visas i tabellen nedan.

Tabell 6 visar resultaten från beräkningar med CHP-konceptet i Ishall 2 och Ishall 6.

Ice rink	Timmar	E_tot	Q_1	DH	Spetslast [kWh]
Ishall 2	3192	88193	335132	443790	108 658
Ishall 6	3376	39973	151898	192183	40 285

3.5.5.3 GHP koncept

GHP-konceptet skiljer sig från de andra eftersom GHP- konceptet använder den avgivna värmen från kylsystemet via kylmedlet för att ladda energilagret. Energilagret är sedan värmekälla för värmepumpen. Ett GHP-systems principiella layout för visas nedan.



Figur 59 I den övre bilden tillförs värme till lagret och i den nedre bilden hämtas värme tillbaka vid ökande värmebehov i ishallen.

Earth Energy Design (EED) användes för att simulera GHP konceptet. Som input för EED används värmeprofilen samt den avgivna kondensorvärmen i båda ishallar.

Tabell 7 Antaganden och input för beräkningen och dimensioneringen av borrhålslagret med hjälp av EED.

Input för beräkningen	
Kostnad	250 kr/m
Yta	200 m²
Vätskans min, max temp	-3 and 20 C
Sim period	15 år
Max antal bh	8
Vätska	Etanol
SPF värme	3,8
SPF avgiven värme	99999

Tabell 9 visar markens termiska egenskaper i Linden, Tyskland. Programvaran som användes för simuleringen är en demo-version vilken begränsas till Linden (Ty).

Tabell 8 visar de antagna markförutsättningarna Linden (Ty).

Markens förutsättningar		
Värmeledning	3,500	W/mK
Värmekapacitet	2,160	MJ/m³K
yttemperatur	8,00	°C
Geotermiskt värmeflöde	0,060	W/m²

Värme-/köldbäraren är etanol-vatten som är den vanligast förekommande fluiden i borrhålslager (även kallad köldbärarsprit).

3.5.6 Simulering

I tabell 9 och 10 visas ”input” för värmelaster samt den avgivna värmen för de respektive ishallarna. Markens belastning, beräknas av EED, och visar hur mycket energi som laddas in eller hämtas ur geolagret.

Tabell 9 visar indata per månad för ishall 2

Energivärden Ishall 2 [MWh]			
Månad	Värmelast	Avgiven värme	Till/från geolagret
JAN	76,1	43,3	12,77
FEB	68,6	39,1	11,45
MAR	61,7	41,8	3,663
APR	50,6	40	-2,716
MAJ	0	0	0
JUN	0	0	0
JUL	0	0	0
AUG	0	0	0
SEP	9,6	16,8	-9,726
OCT	51,8	59,8	-21,63
NOV	56,1	56,1	-14,76
DEC	66,7	46,3	2,847
Total	441,2	343,2	-18,11

Tabell 10 visar indata per månad för ishall 6.

Energivärden Ishall 6 [MWh]			
Månad	Värmelast	Avgiven värme	Till/från geolagret
JAN	24,3	17,1	0,805
FEB	23,5	14,7	2,616
MAR	20	18,1	-3,363
APR	20,3	16,4	-1,442
MAY	0	0	0
JUN	0	0	0
JUL	0	0	0
AUG	0	0	0
SEP	6,2	6,2	-1,610
OCT	12,8	21,8	-12,369
NOV	20,7	20,6	-5,348
DEC	66,7	18,1	2,089
Total	155,2	133	-18,621

EED simulerade flera borrhålskonfigurationer och de två billigaste konfigurationerna valdes för Ishall 2 och Ishall 6. Kostnaden i denna simulering motsvarar endast kostnaden för borrhålen.

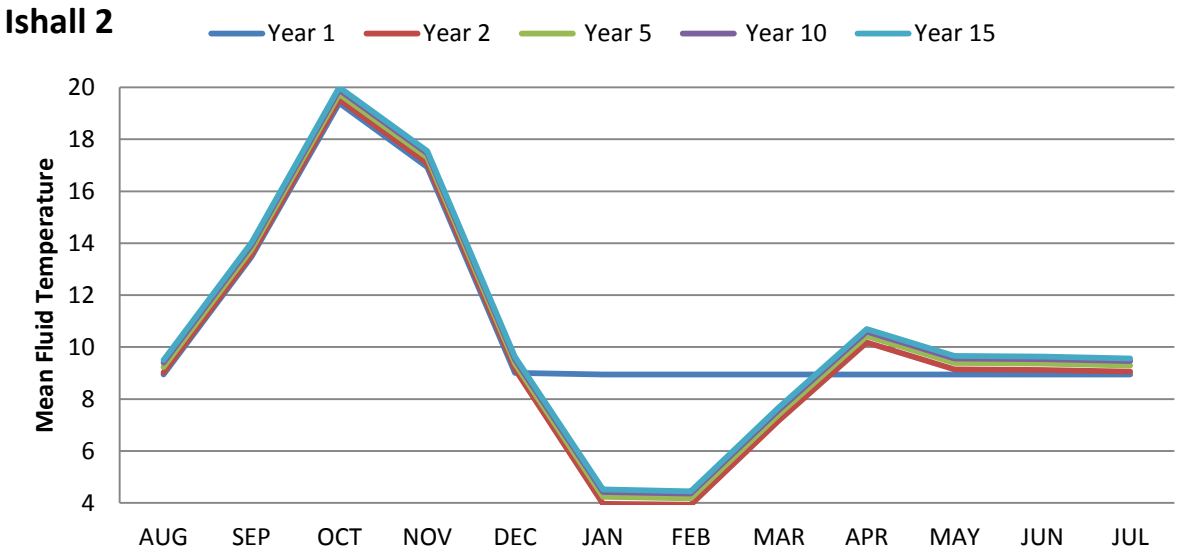
Tabell 11 Borrhålskonfiguration och storlek - ishall 2

Borrhål resultat Ishall 2	1	2	
Konfiguration	7 x 2 U	2 x 3	
Kostnad	28756	28721	EUR
Antal	9	6	
Djup	110,18	165,06	m
Total längd	991,58	990,36	m

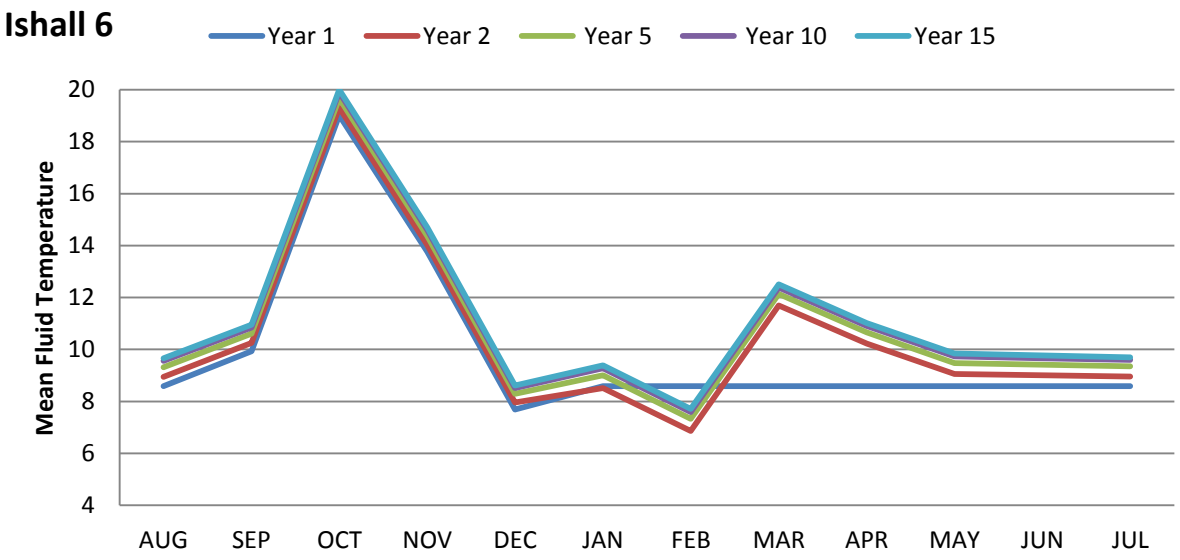
Tabell 12 Borrhålskonfiguration och storlek - ishall 6.

Borrhål resultat Ishall 6	1	2	
Konfiguration	6 x 2 U	3 x 2 U	
Kostnad	15889	16677	EUR
Antal	8	5	
Djup	68,49	115,01	m
Total längd	547,9	575,06	m

Temperaturen i borrhålet kommer att öka när energi tillförs och minskar när energin hämtas ur lagret. Temperaturprofilen för den billigaste konfigurationen i Ishall 2 visas i fig. 61 och i fig. 62 för Ishall 6.



Figur 60 Medeltemperatur på vätskan till/från borrhålslagret under den simulerade perioden – ishall 2.



Figur 61 Medeltemperatur på vätskan till/från borrhålslagret under den simulerade perioden – ishall 6.

Storleken på GHP värmepumpen, effektmässigt, är densamma som för CHP och BHP. Värmen som behöver produceras, Q_1, beräknas från den tidigare framtagna ”värmeprofilen”. Värmepumpen kan producera och leverera en värmeeffekt upp till den dimensionerade storleken.

Tabell 13: GHP konceptet- Ishall 2 & Ishall 6

[kWh]	Timmar	E_tot	Q_1	Fjv	Tillskottsvärme
Ishall 2	3550	93429	355032	443790	88758
Ishall 6	4036	42483	161434	192183	30749

GHP värmepumpen visar sig kunna kan producera upp till 80-84 % av värmebehovet i ishall 2 och ishall 6. Resten kommer att täckas med tillskottsvärme.

3.5.7 Livscykelkostnadsanalys (LCC)

Livscykelkostnadsanalys (Life Cycle Cost) är resultatet av en ekonomisk analys (Life Cycle Cost, LCC) där kostnader och intäkter för ett system eller en produkt sammanställs över dess livslängd. LCC visar hur mycket dessa värmepumpskoncept kommer att kosta över livslängden. De tre olika koncepten i två olika ishallar jämförs med varandra. Aktuella antaganden för input till LCC-analysen visas i tabell 14.

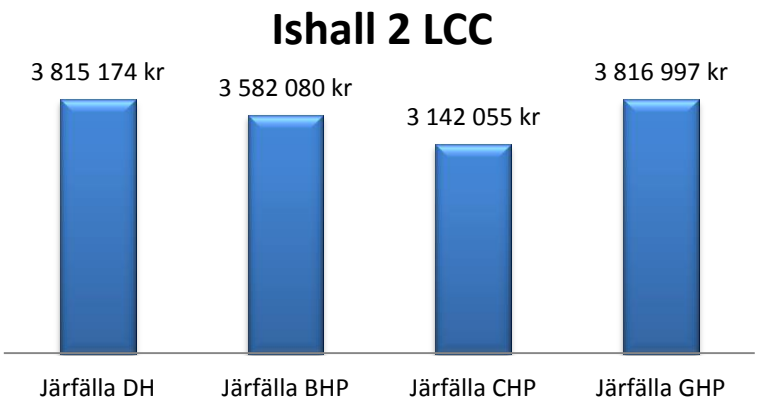
Tabell 14 Input till LCC-analysen

Input till LCC-analys	
Livslängd (år)	15
Kalkylränta	5%
Prisökning (inflation)	2%
Realränta	3%
Investering GHP	18 000 kr/kW
Investering CHP	11 000 kr/kW
Fjärrvärme-pris	0,65 kr/kWh
Elpris	1 kr/kWh

Table 15 Input till LCC och resultat för Ishall 2.

LCC Ishall 2		Ishall 2 DH	Ishall 2 BHP	Ishall 2 CHP	Ishall 2 GHP
Investeringskostnad (3*Inv.cost):	1	0	1155000	1155000	1890000
Energikostnad per kWh:	2	0,72	1	1	1
Värmepumpsstorlek kW:	3	0	105	105	105
Kostnad tillskott (värmekälla DH):	4	0,0	78224	78224	70296
Energi: kostnad/år (Ekomp*2+4)	5	319529	180179	88196	91094
Årlig kostnad (4+5):	6	319529	258402	166420	161390
Nuvarande årlig kostnad (8*6):	7	3815174	3085234	1987055	1926997
Nuvärdesfaktor	8	11,94	11,94	11,94	11,94
LCC (1+7)	9	3 815 174 kr	4 240 324 kr	3 142 055 kr	3 816 997 kr

GHP i ishall 2 har det högsta LCC-värdet, dvs den högsta kostnaden, och detta mycket på grund av den höga investeringskostnaden. Investeringskostnaden för GHP i Ishall 2 är 62 % högre än CHP. CHP har den lägsta LCC-kostnaden och BHP konceptet har den högsta kostnaden.

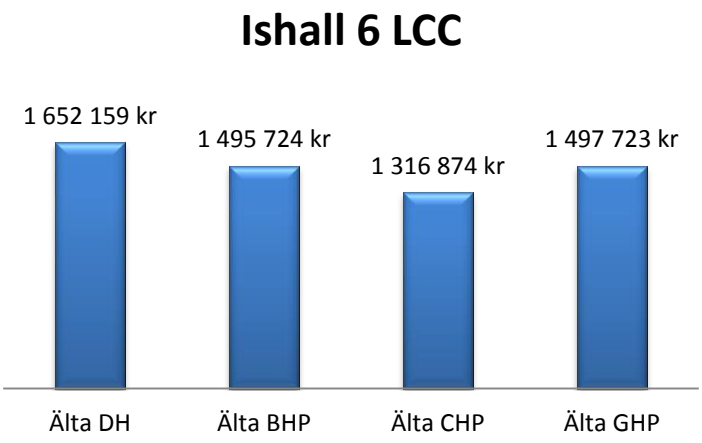


Figur 62 visar LCC-kostnaden för Ishall 2

LCC för de olika koncepten i Ishall 6 illustreras i tabell 186 I Ishall 6, högsta LCC är kopplat till BHP och det lägsta till CHP.

Table 16 LCC input och resultat för Ishall 2

LCC Ishall 6		Ishall 6 DH	Ishall 6 BHP	Ishall 6 CHP	Ishall 6 GHP
Investeringskostnad (3*Inv.cost):	1	0	495000	495000	810000
Energikostnad per kWh:	2	0,72	1	1	1
Värmepumpsstorlek kW:	3	0	45	45	45
Kostnad tillskott (värmekälla DH):	4	0	28777	28777	11070
Energi: kostnad/år (Ekomp*2+4)	5	138372	77499	40057	46529
Årlig kostnad (4+5):	6	124919	106276	68834	57598
Nuvarande årlig kostnad (8*6):	7	1652159	1268938	821874	687723
Nuvärdesfaktor	8	11,94	11,94	11,94	11,94
LCC (1+7)	9	1 652 159 kr	1763 938 kr	1 316 874 kr	1 497 723 kr



Figur 63 visar LCC-kostnaden för Ishall 6

3.5.7.1 Summering av den teoretiska studien

För att sammanfatta den teoretiska utvärderingen kan sägas att om den lägsta totalkostnaden önskas, kommer den kylmedelskopplade värmepumpen, CHP, att rekommenderas för båda ishallarna. Det är en lösning med lägre investeringskostnad men ändå relativt god besparing.

Den geoenergilagerkopplade värmepumpen, GHP, är den bästa energimässiga lösningen där den årliga energikostnaden är den lägsta i båda ishallarna. Denna lösning spar mest energi men pga. sin höga investeringskostnad så ”straffas” den i LCC-analysen.

Den brine-kopplade lösningen, BHP, är av flera skäl inte någon bra lösning. Främst då de flesta kommersiella värmepumpar kommer att vara mindre effektiva än det befintliga kylsystemet, givet att detta är ett normalt ammoniak-kylsystem. Är det senare fallet så blir det mindre effektivt att lägga över kylning på värmepumpen. Styrmässigt finns också fördelar genom att koppla in sig på kylsystemets varma sida så ”stör” man inte den ordinarie processen.

I nästa avsnitt, fältstudie av värmepumpinstallation, studeras just lösningen kylmedelskopplad värmepump (CHP). Detta kommer illustrera hur i sammanhanget ”enkelt” det kan vara att integrera just denna typ av värmepump.

3.5.8 Fallstudie av värmepumpinstallation

Fokus i denna studie har varit att fånga upp lärdomar vid genomförandet samt att följa upp verklig besparing och göra en översiktlig bedömning av den framtida besparingspotentialen.

Figur 64 Ishallen som installerat en kylmedelbaserad värmepump.

3.5.8.1 Introduktion

Genomförande och effekt av en värmepumpinstallation i en befintlig ishall har studerats i en ishall i södra Sverige. Anläggningen använde tidigare huvudsakligen direktel för uppvärmning av omklädningsrum, kansliutrymmen och förråd. I samband med att kylsystem och ispist byttes så gjordes en förberedelse för att kunna ta ut kylmedel (som värmekälla) från kylsystemet.

Vid kompletteringen med värmepump så utnyttjades förberedelsen enligt ovan. I övrigt konverterades anläggningen till att också ha ett fullt utbyggt vattenburet värmesystem samt ett centralt ventilationssystem.

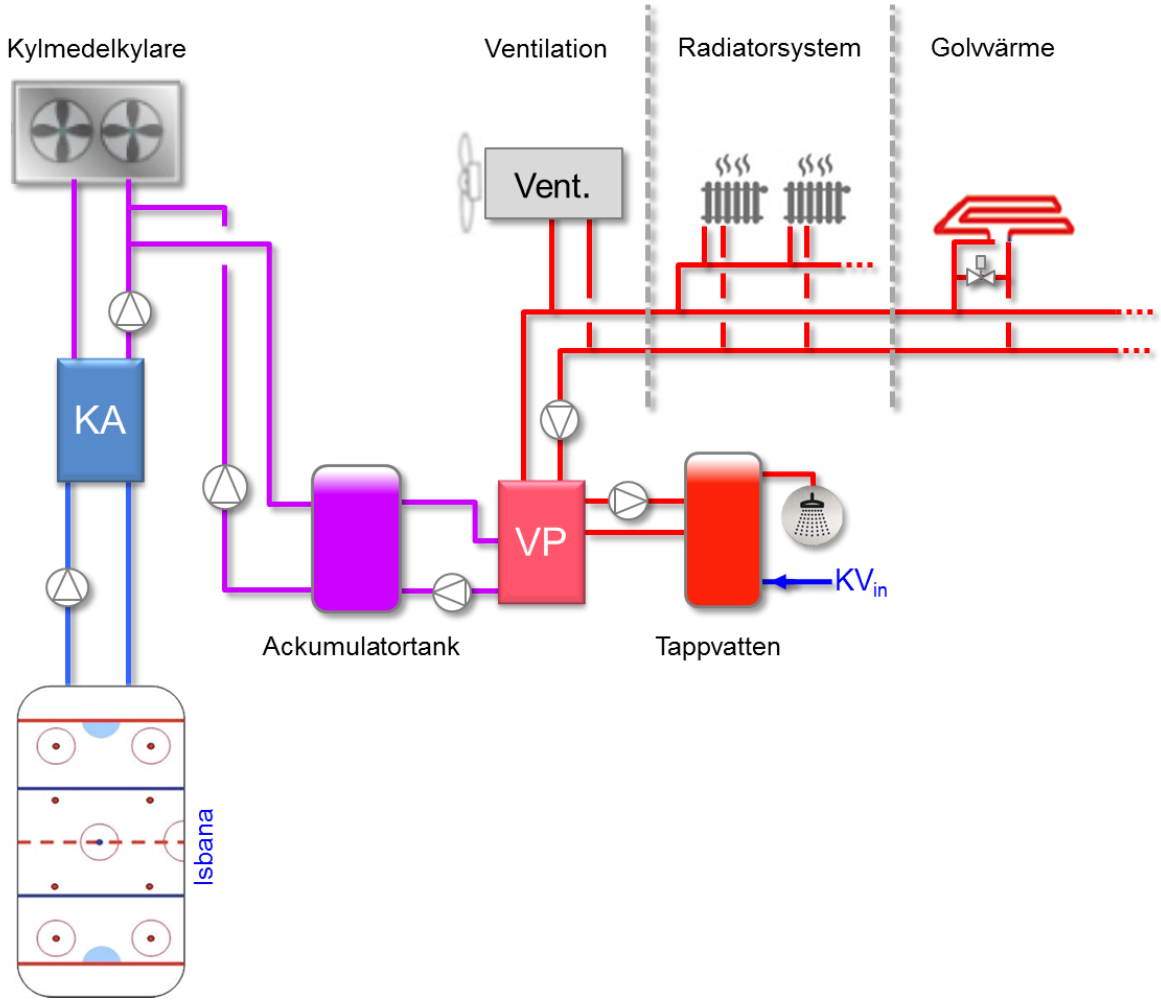
Figur 65 I bildens överkant skymtar kylmedelkretsen vilken kopplats till värmepumpen.

3.5.8.2 Systemlösning och installation

I den befintliga ishallen fanns efter uppgraderingen av kylsystemet och ispisten ett fullständigt indirekt kylsystem med en kylmedelkrets till en extern kylmedelkylare. Till denna kylmedelkrets kopplades en ”vanlig” sk vätska-vatten-värmepump vilken normalt är gjord för inkoppling mot ett borrhål eller dylikt.

Figur 66: Den installerade värmepumpen (tv) och bufferttanken (th) i ishallens maskinrum.

Som kan ses i systemskissen på nästa sida så anslöts en bufferttank på kylmedelsidan för att kunna hantera och förhoppningsvis överbrygga de tidsperioder då ishallens kylsystem står still. Då ishallen inte är värmd kan vid t ex kall väderlek temperaturen bli så låg i ishallen att nästan inget kylbehov föreligger. Om det skulle inträffa så blir den tillgängliga värmen för återvinning mycket begränsad.



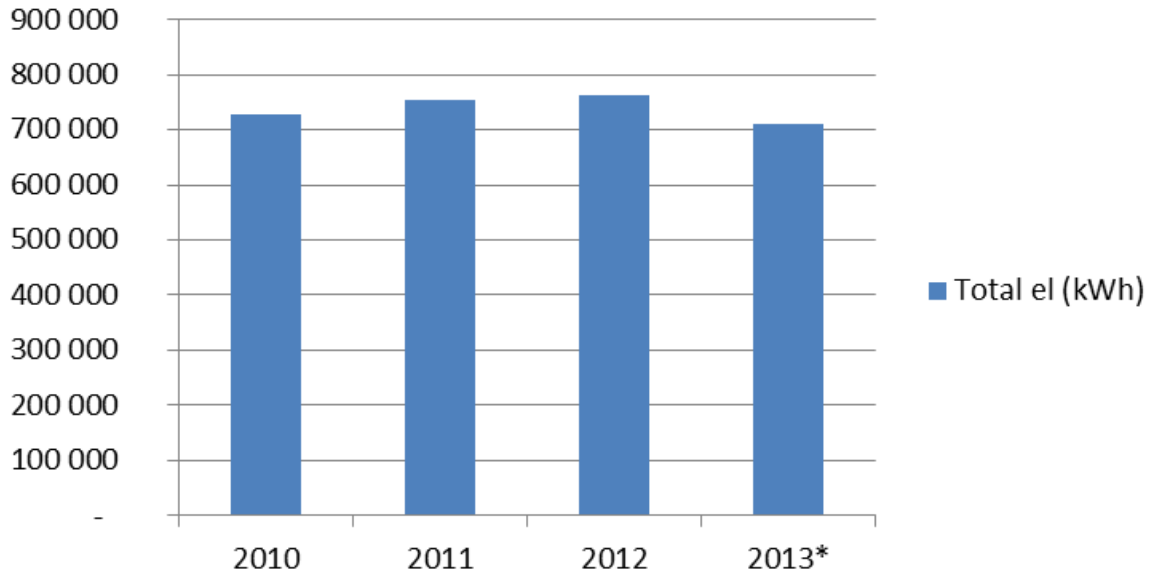
Figur 67: Systemskiss på det installerade VP-systemet.

I figur 68 framgår hur bufferttanken kopplas direkt mot kylmedelkretsen och att beroende på behov så plockas en stor del av flöde och tillgänglig värme ut den vägen. Denna inkoppling möjliggör också att om kylsystemet står still så finns det en ”buffert” att jobba emot och temperaturen i bufferttanken kan sänkas ned under 0 °C om så behövs. När kylsystemet går igång igen så kommer temperaturen gradvis att höjas och beroende på balansen i systemet så kommer temperaturen på kylmedlet att återgå till ”normala” 20-30°C. Vidare så framgår det av skissen att på värmepumpens varma sida så finns ackumulering av varmvatten samt en värmebärarkrets som förser radiatorer, golvvärme och ventilationssystem med värme.

3.5.8.3 Referensdata energianvändning

Då ingen energimätning görs på anläggningens olika installationer är det inte möjligt att exakt skatta var och hur mycket respektive energisystem använder. Det går dock med ledning av märkeffekter, uppgivna drifttider och erfarenhetsvärden att göra en fördelning av energianvändningen. Det finns till anläggningen en huvudelmätare som enligt uppgift mäter ishall inklusive ingående energisystem. Data från denna finns tillgänglig nedan.

De tillgängliga uppgifterna om totalt köpt energi för anläggningen härrör från ovan nämnda elmätare. Säsongslängden är normalt ca 28 veckor (v35 – v11). Nedan framgår elenergianvändningen för de senaste åren och som synes är den relativt konstant runt ca 750 MWh per år. Under dessa år har heller inga större åtgärder gjorts utan de bör vara representativa.



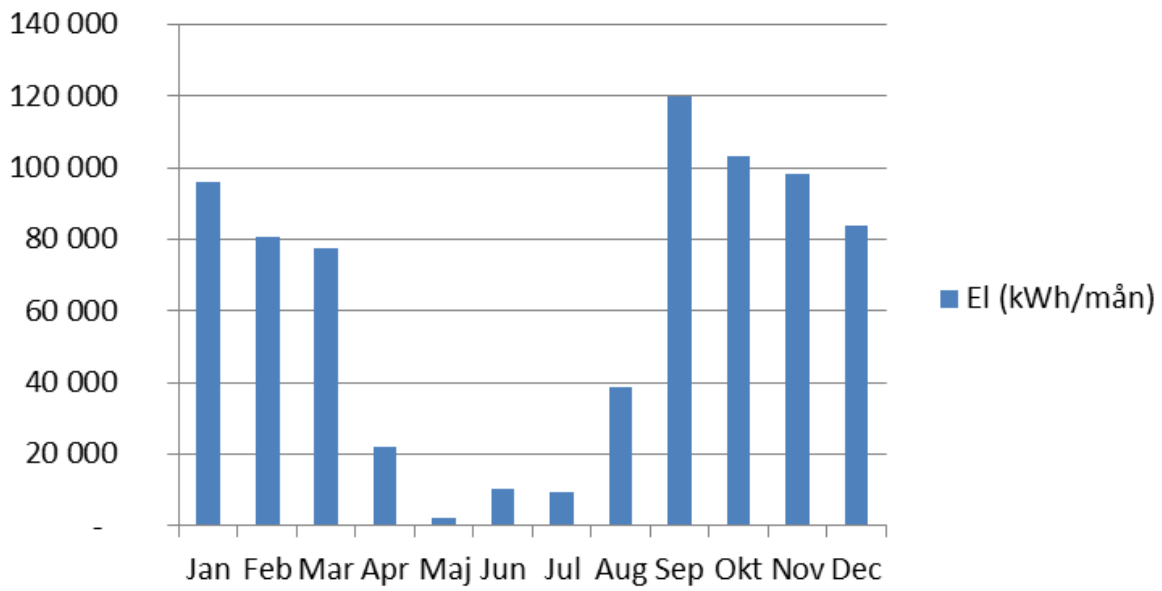
Figur 68: De årliga energianvändningarna från 2010 till 2013.

Betraktas ett enskilt år, i detta fall 2012, så ser data ut som i tabellen nedan. Skillnaderna är naturligtvis stora beroende på om anläggningen är i drift eller inte. I denna typ av anläggning med relativt lite isolering i taket så blir energianvändningen dramatisk vid den varmaste delen av säsongen.

Tabell 17: Klimatdata och energianvändning för 2012.

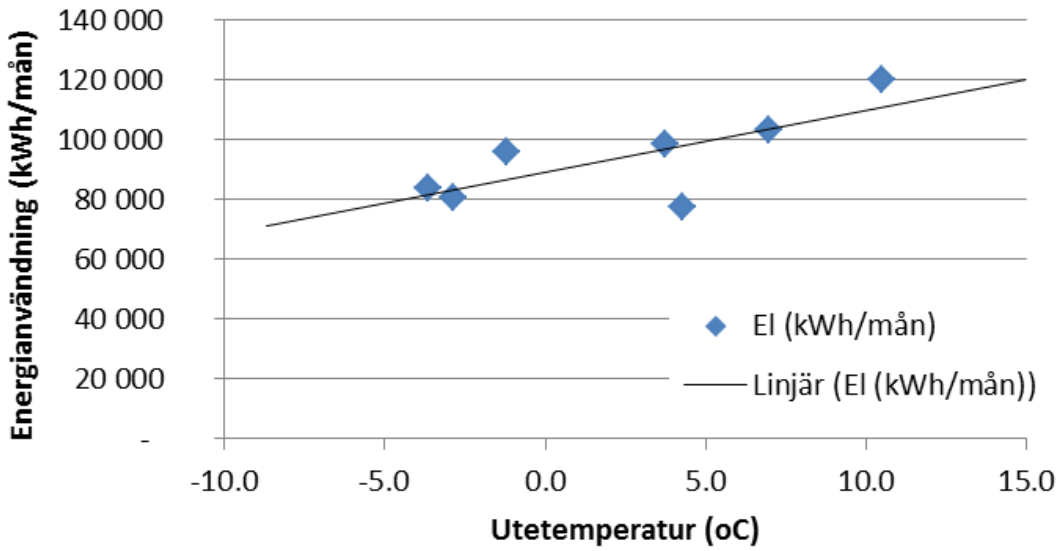
2012		
Mån	**El (kWh/mån)**	**Medeltemp**
Jan	95 954	-1.2
Feb	80 735	-2.9
Mar	77 535	4.3
Apr	22 065	4.2
Maj	2 280	11.4
Jun	10 237	11.3
Jul	9 372	15.8
Aug	38 711	14.8
Sep	120 077	10.5
Okt	103 155	7.0
Nov	98 516	3.8
Dec	83 772	-3.7

Som synes blir energianvändningen lägre vid lägre utomhustemperatur trots att uppvärmningen sker med el från samma mätare. Effekten i anläggningen blir att kylsystemet, som dominerande energianvändare, får en lägre energianvändning med sjunkande temperatur medan uppvärmningen samtidigt ökar. Följaktligen blir inte skillnaden i energianvändning så stor per månad som man annars skulle kunna förvänta sig.



Figur 69: Energianvändningen per månad för kalenderåret 2012.

Ett ytterligare sätt att betrakta en anläggning som denna är att titta på dess energisignatur, dvs. energianvändningen jämfört med utetemperaturen. Nu är det bara relevant att titta på den tidsperiod som anläggningen är i drift och som synes nedan. Här framgår också den starka effekten av ökande omgivningstemperatur, vilket på ett tydligt sätt visar vad en tidigare säsongsstart kostar i form av energianvändning.

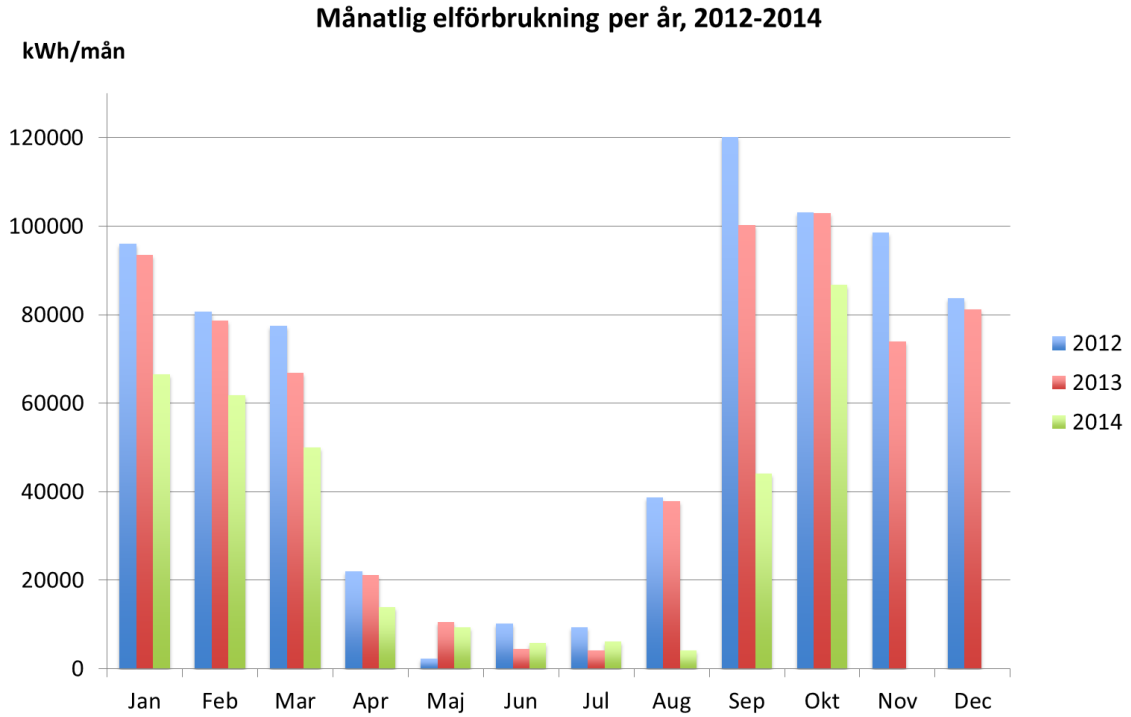


Figur 70: Energisignatur för ishallen under kalenderåret 2012.

Anläggningen har, som tidigare konstaterats, inte någon undermätning dvs. det finns ingen information på de dominerande energisystemen.

3.5.8.4 Resultat efter installation av värmepump

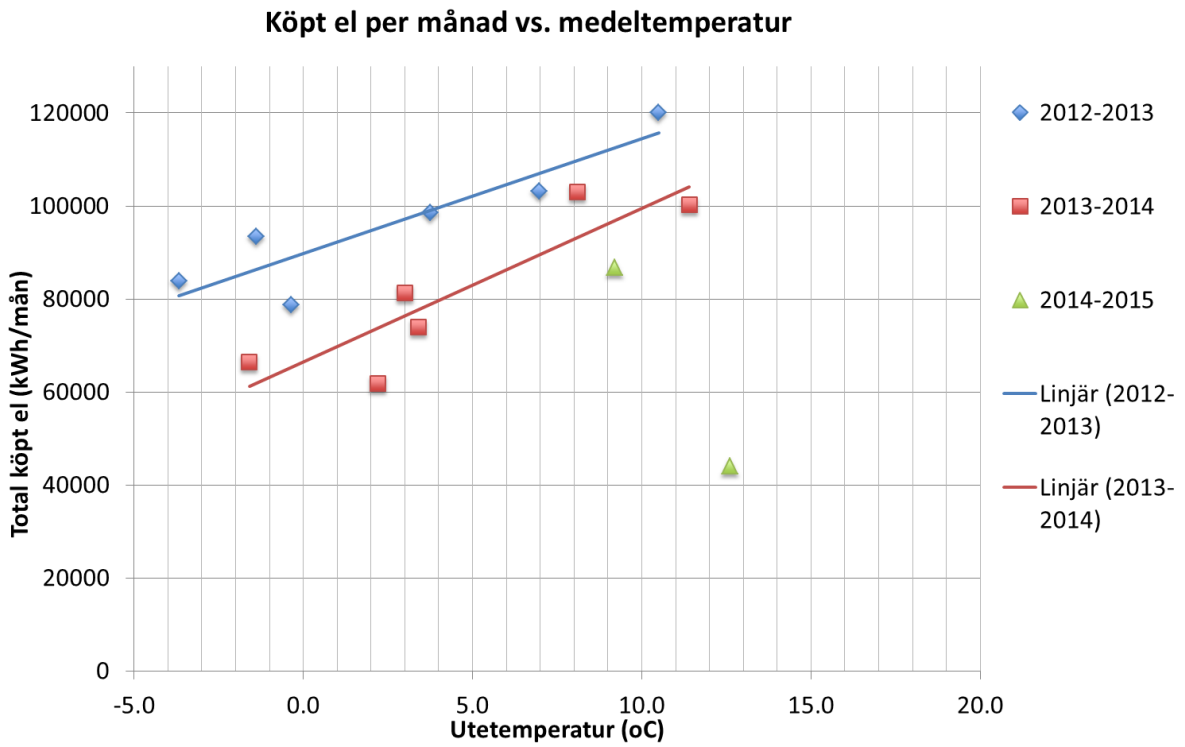
Efter installationen av värmepumpen under sommaren 2013 så kan en märkbar skillnad noteras i elenergianvändningen. Vid en första anblick om endast månader per kalenderår jämförs så syns skillnaden men inte så tydligt. Inverkan av klimatet kommer inte med i denna jämförelse vilket är en betydande faktor.



Figur 71: Elenergianvändning per månad under 2012-2014.

För att se den verkliga inverkan av åtgärden behöver data korrigeras/eller betraktas vid jämförelse med omgivningstemperaturen. I figuren nedan har energisignaturen för säsongen 12/13 jämförts med säsongen 13/14. Anledningen till att säsong används här är att åtgärden, dvs värmepumpinstallationen gjordes på sommaren mellan dessa säsonger.

Som kan ses av figuren nedan så är energianvändningen betydligt lägre för säsongen 13/14 än 12/13. I genomsnitt motsvarar skillnaden 17% eller drygt 100 000 kWh på säsongsbasis. Samtidigt kan det noteras att vissa månader så är skillnaden väldigt liten vilket kan indikera att systemet kanske inte hela tiden fungerat riktigt som det är tänkt.



Figur 72 : Elenergianvändning vs utetemperatur för säsongerna 12/13 och 13/14.

I tabellen nedan så sammanställs de tillgängliga data för säsongerna både som absoluta och som relativa besparingar. Noteringen från ovan återkommer om att vissa månader visar väldigt liten besparing. Det finns inget o mönstret som tyder på annat än att det sannolikt är tillfälligheter och eventuellt är kopplat till driftstörningar.

Tabell 18: Klimatdata och energianvändning för 2012.

	Energibesparing säsongerna 12/13 vs 13/14			
	Skillnad i energianvändning [kWh]	Relativ energibesparing (%)	Säsongsbesparing 12/13 vs 13/14 [kWh]	Relativ säsongsbesparing (%)
Sep	19 858	16.5%	107 935	17%
Okt	157	0.2%		
Nov	24 644	25.0%		
Dec	2 536	3.0%		
Jan	26 930	28.8%		
Feb	16 934	21.5%		
Mar	16 876	25.3%		

3.5.8.5 Prognos för framtida energibesparingar

Data redovisade ovan baseras på endast två säsonger och det finns anledning att tro att det under vissa perioder varit driftproblem eller dylikt som minskat besparingen. Nedan görs en prognos för att beräkna den möjliga besparingen givet att anläggningen i befintligt skick fungerar så bra som möjligt.

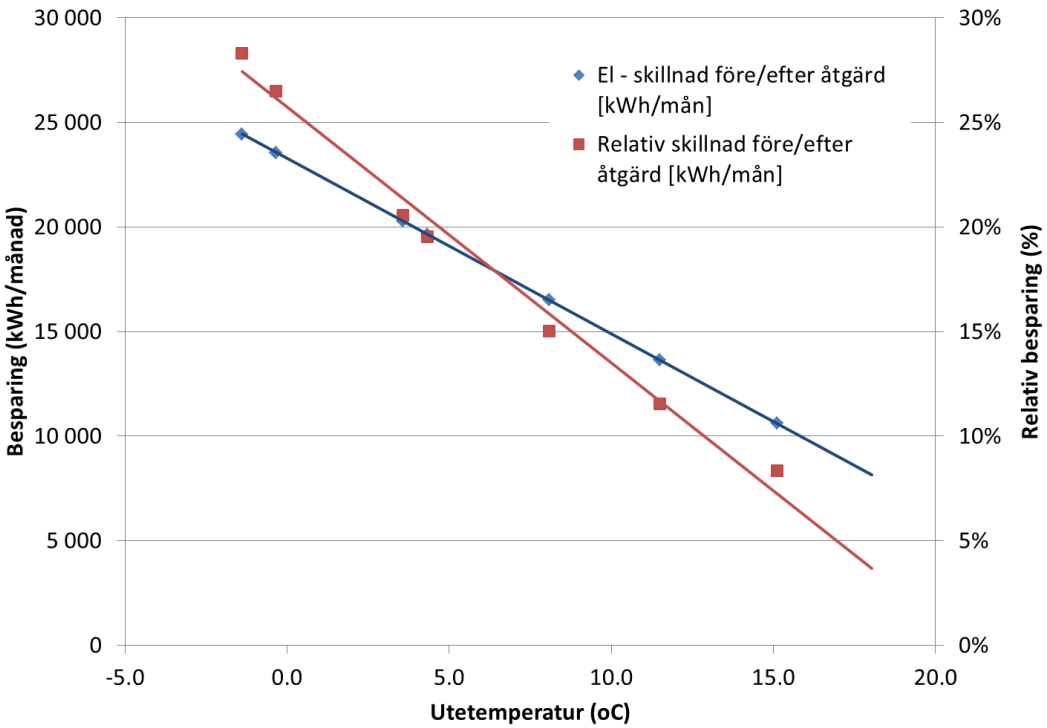
Tabell 19: Beräknad besparing för ett genomsnittsår.

Månad	Medeltemp [°C]	El - före åtgärd [kWh/mån]	El - efter åtgärd [kWh/mån]	El - skillnad före/efter åtgärd [kWh/mån]	Relativ skillnad före/efter åtgärd [kWh/mån]
Jan	-1.4	86336	61893	24442	28%
Feb	-0.3	88928	65365	23563	26%
Mar	4.3	100483	80841	19642	20%
Apr	6.2				
Maj	11.5				
Jun	13.1				
Jul	18.0				
Aug	15.1	127051	116426	10625	8%
Sep	11.5	118157	104514	13644	12%
Okt	8.1	109739	93239	16500	15%
Nov	3.6	98608	78330	20278	21%
Dec	-0.3	88951	65396	23555	26%
		818253	666004	152249	

För beräkningen i tabellen ovan så har medeltemperaturen för orten under åren 2012-2014 använts. Vidare så har en kurvanpassning gjorts av energisignaturerna för säsongerna 12713 och 13/14. Dessa kurvanpassningar har sedan använts för att beräkna ”normal-energi-användningen” före och efter åtgärden.

Som synes i tabellen så blir den beräknade besparingen av storleksordningen 150 MWh el per säsong, vilket motsvarar en relativ minskning på ca 25 %.

Betraktas den absoluta och relativa besparingen vid olika utetemperaturer som i figuren nedan så kan man dra slutsatsen att utetemperaturen har en stor påverkan. Det är inte förvånande eftersom värmepumpen ersätter en stor del av uppvärmningsenergin i anläggningen.



Figur 73: Absolut och relativ besparing vs utetemperatur.

3.5.9 Slutsats

Slutsatsen är att ur ett energiperspektiv så är åtgärden effektiv med en absolut besparing på ca 150 MWh el vilket motsvarar ca 25 % av total energianvändning. I det specifika fallet så fick anläggningen ett betydligt bättre inomhusklimat med bättre luftkvalitet, jämnare och stabilare temperaturer. Även om det inte finns några data på kylsystemets energianvändning så finns det anledning att tro att det får något bättre driftförhållanden vilket även minskar dess energianvändning.

3.6 Avfuktning i ishallar

Den tidigare fasen av projekt Stoppsladd (fas 3) började titta på olika avfuktningsteknikers energianvändning. I den föreliggande studien gjordes en fördjupning inom ramen för ett examensarbete (Santos 2013) vilken tagit fram ytterligare relevant information framförallt på energianvändningen för flera befintliga ishallar. I studien har energisignaturen för avfuktning i flera ishallar studerats vilket visar på tydliga mönster i anläggningarnas energianvändning och avfuktningsbehov. Dessa kan sedan användas för att bestämma källan till avfuktningsbehovet och i förlängningen öppnar det för att göra ”rätt” ingrepp för effektiviseringsåtgärderna.

3.6.1 Introduktion till avfuktning

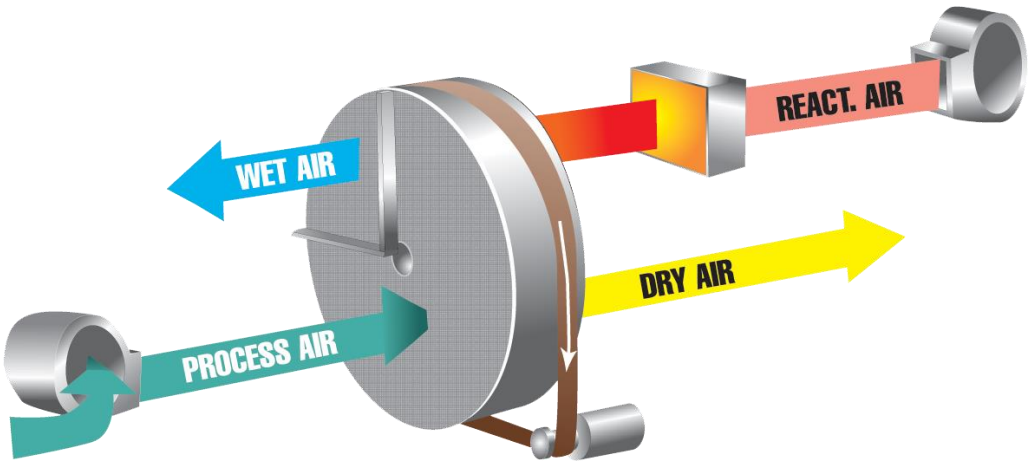
Luften omkring oss innehåller alltid en viss mängd ”osynlig” vattenånga. Ju lägre temperatur desto mindre mängd vattenånga kan luften innehålla innan den är mättad och vattenångan kondenserar ut till vattendroppar. Uteluften i Sverige har i genomsnitt 82 % RF (Relativ Fuktighet). Det som är viktigast för klimatet i ishallen är emellertid uteluftens faktiska vatteninnehåll i förhållande till hur mycket vatten luften kan bära inne i ishallen. I en normaltät ishall tränger det in uteluft genom väggar och tak motsvarande 0,1 omsättningar/h. Dessutom tillkommer uteluft genom öppna dörrar och eventuell ventilationsanläggning. Dock ska ventilationen begränsas i de flesta typer av ishallar.

3.6.2 Avfuktningstekniker

Det finns två typer av avfuktningstekniker som huvudsakligen används i ishallar: sorptions-avfuktning och kondensations-avfuktning. Nedan följer en kort introduktion till respektive princip.

Sorptionsavfuktare

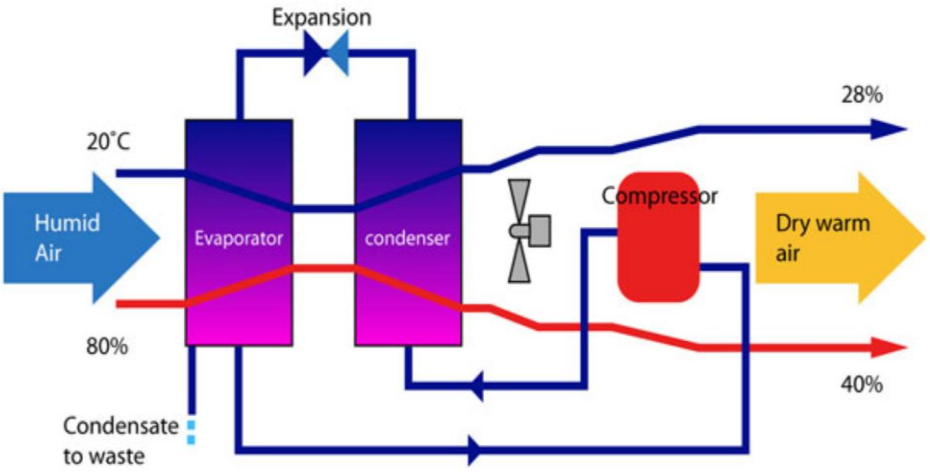
Sorptions-avfuktaren som arbetar med en fuktabsorbent som först torkas med varmluft och som sedan torkar luften som förs genom absorbenten. Absorbenten roterar långsamt likt en LP-skiva och man blåser den fuktiga luften (”Process Air” från hallen genom en sektion av absorbenten. I en annan del av absorbenten blåser man uppvärmd luft ”React. Air” som torkar ut materialet. Den upptagna vattenångan förs ut ur utrymmet som våt luft.



Figur 74 : Avfuktare av sorptionstyp.

Den sk sorptionstekniken är den vanligast förekommande i svenska ishallar. Den erbjuder fördelar såsom att ”torrluften” kan torkas till ett mycket lågt vatteninnehåll. Det senare gör att relativt små luftflöden behöver omsättas för torkfunktionen. En nackdel är att den värme som behövs för regenereringen alltför ofta kommer från el vilket leder till höga strömförbrukningar och stor energianvändning. Potentialen till att använda återvunnen värme är stor, vilket berörs senare i detta kapitel.

Kondensationsavfuktare
Principen är att luften passerar genom förångaren, där nedkylning sker till daggpunkten, och kondensation av luftens fukt uppstår. Den kylda luften värms därefter upp i kondensorn och återförs till lokalen.

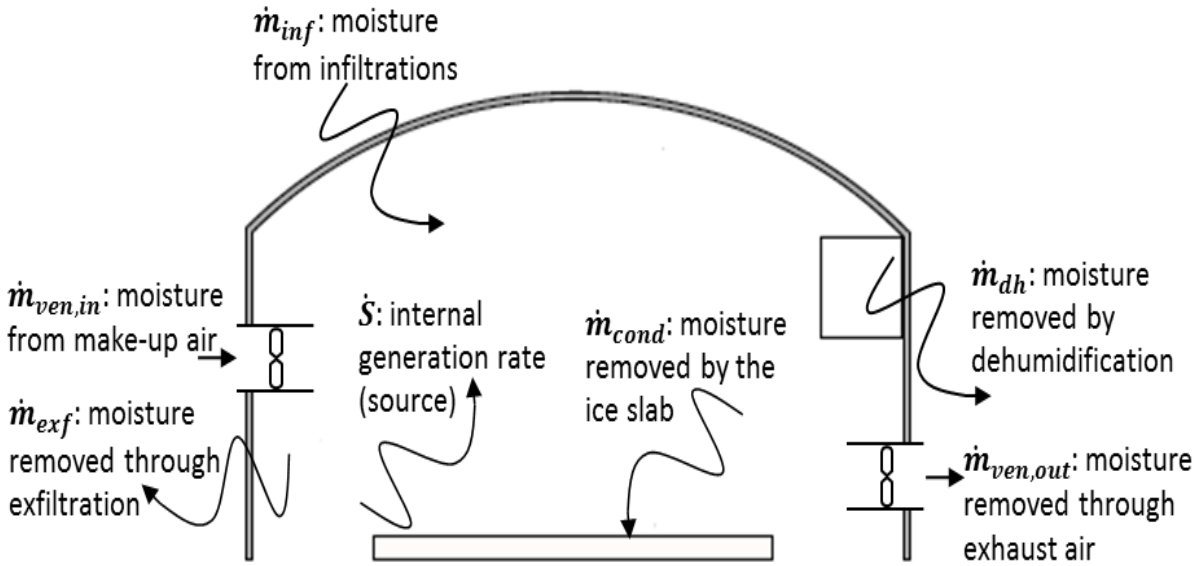


Figur 75 : Princip för sk kylavfuktning.

Den kylda ytan kan vara som ovan visas (figur 76) förångaren i en fristående kylmaskin eller en värmeväxlare där ”kyla” hämtas från ishallens kylsystem genom den köldbärare som även används till ispisten. Fördelen med detta system är att (kyl-)energin som behövs för kondenseringen av fukten kan produceras med god verkningsgrad vilken beror på kylsystemets beskaffenhet. Nackdelen är att det är svårt att erhålla lågt vatteninnehåll i luften som går genom processen. Detta gör att större luftmängder måste omsättas vilket driver t ex energibehov för fläktar i systemet. Dessutom finns ofta behovet av att återvärma luften vilket kommer att använda värme från en extern källa och/eller återvunnen värme.

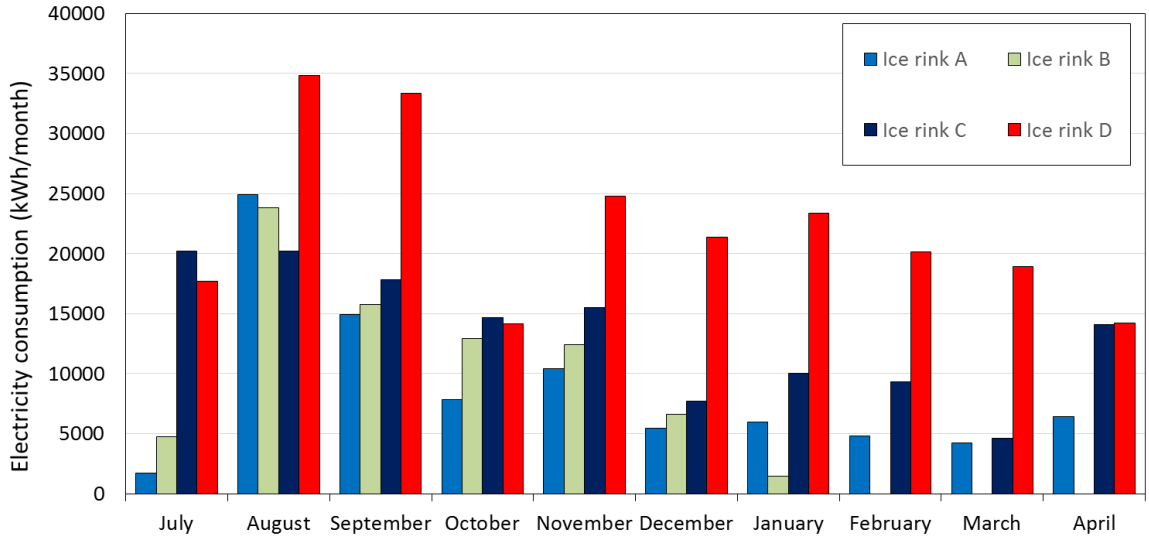
3.6.3 Avfuktares energianvändning

Det finns två huvudsakliga källor till fukt i en ishall: externt - kopplat till läckage från uteluften och infiltration i ishallen, och en internt - på grund av aktiviteter, åskådare och spolvatten.



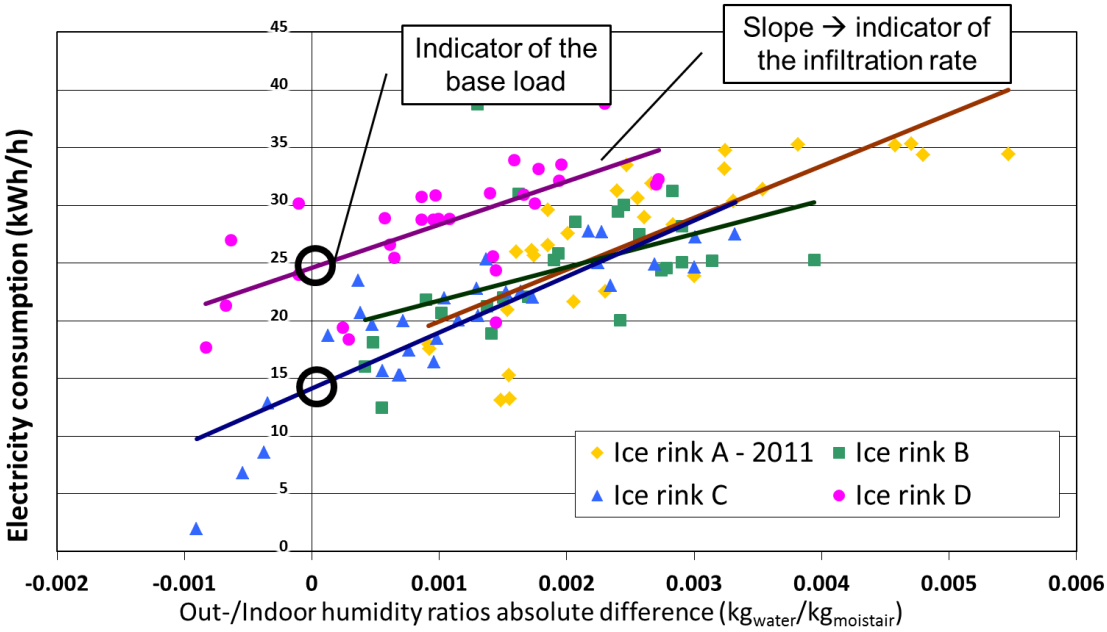
Figur 76 : Fuktbalans i en ishall.

Figuren nedan visar avfuktarnas energianvändning för olika hallar. Energianvändningen kommer att variera med vatteninnehållet i uteluften vilket syns på säsongsvariationerna, men andra faktorer styr såsom vilken aktivitet som råder i hallen.



Figur 77 : Energianvändning per månad i några olika ishallar.

Vidare så har påverkan av utomhusklimatet och specifikt dess vatteninnehåll studerats i projektet. För att särskilja inverkan av infiltrationen så har avfuktarnas energianvändning jämförts med skillnaden i fuktinnehåll mellan inne- och uteluften. Tesen är att detta borde ge en ”signatur” för en enskild ishall vad gäller energianvändningen vid olika fuktinnehåll. Ytterligare så skulle man eventuellt kunna se skillnader mellan luftläckaget i olika hallar och hur det varierar.

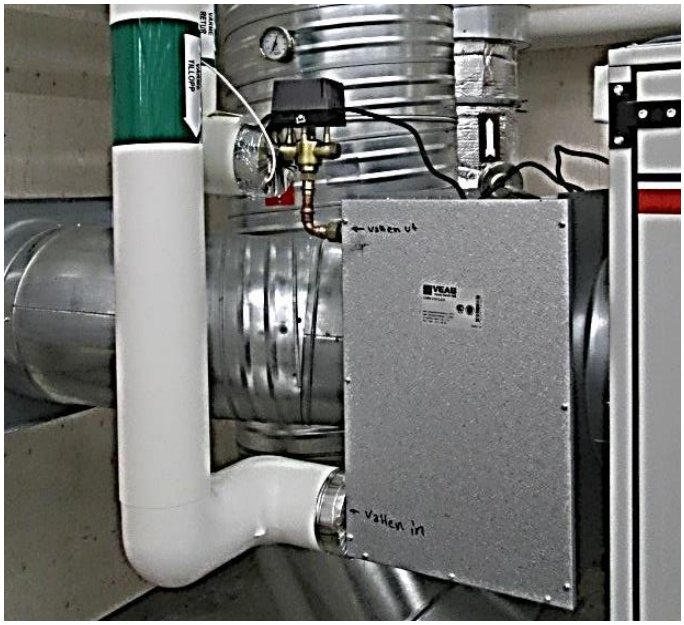


Figur 78 : Energianvändning vid olika skillnader i absolut fuktighet mellan ute- och inomhus.

Som synes i figuren ovan så sammanfaller signaturerna för tre av de fyra hallarna medan den fjärde sticker ut.

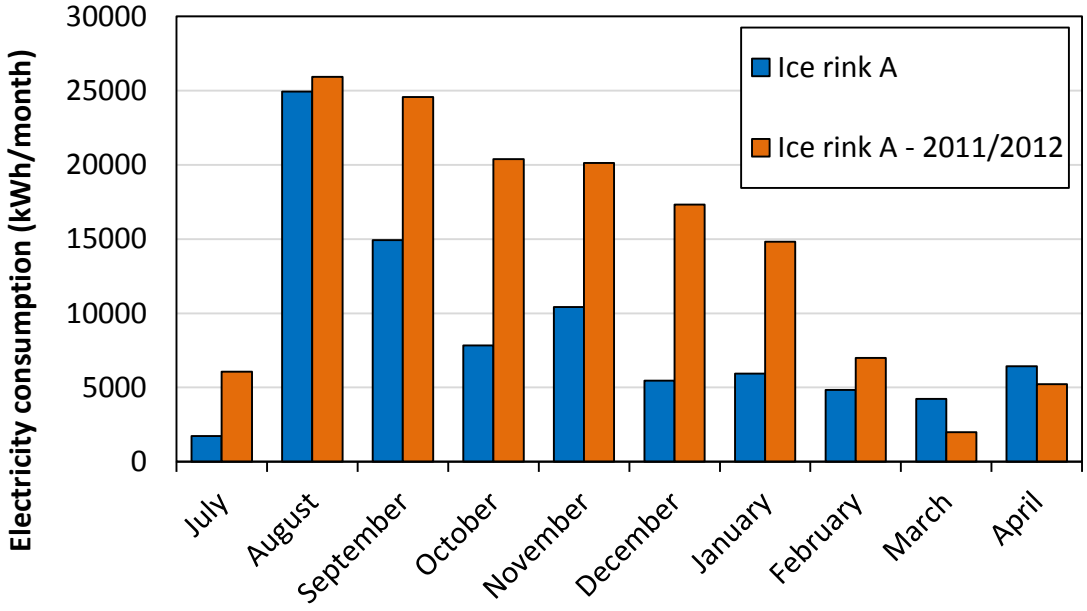
3.6.4 Energibesparing genom värmeåtervinning

Ishall A använder fjärrvärme och har installerat en förvärmning av regenereringsluften till avfuktaren. Denna värme skulle lika gärna kunna vara återvunnen värme från kylsystemet då temperaturnivån är ca 60 °C.



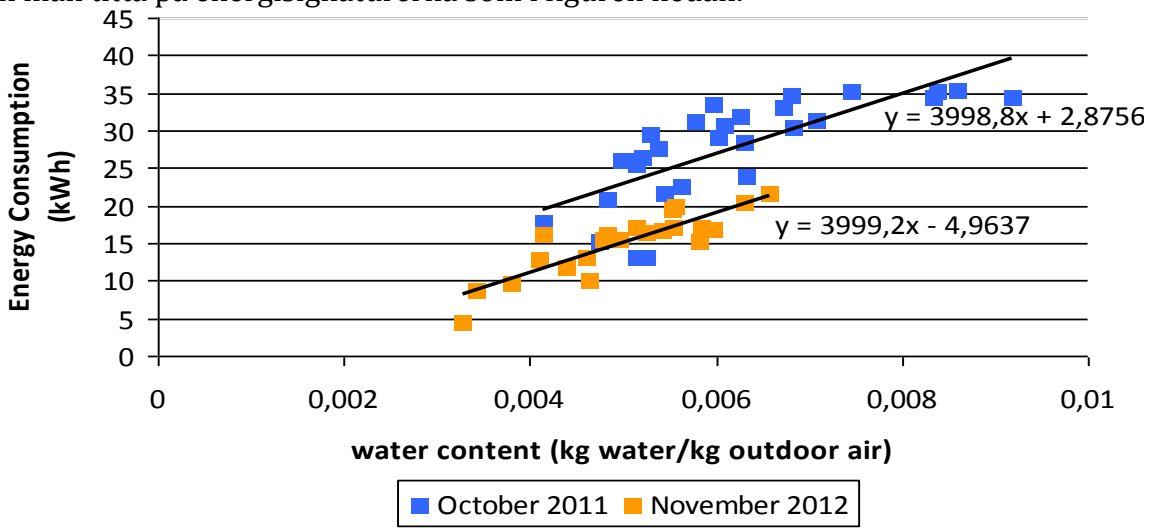
Figur 79 : Det externa värmeväxlarbatteriet till förvärmning av regenereringsluften.

Figur 80 visar det externa värmeväxlarbatteri som eftermonterades för att förvärma regenereringsluften till den befintliga avfuktaren i ishall A. Det intressanta är att denna åtgärd kan genomföras på de flesta platser (ishallar) där det finns återvunnen värme i tillräcklig mängd och på tillräcklig temperaturnivå.



Figur 80 : Diagrammet ovan visar skillnaden i elenergianvändning före/efter åtgärden.

Från diagrammet i figur 81 kan man dra slutsatsen att åtgärden med förvärmning haft en stor och positiv inverkan på elenergianvändningen. Konkret så är besparingen 57.000 kWh vilket motsvara en ca 40%-ig reduktion i elanvändningen när dessa två säsonger jämförs. Det ska betonas att besparingen i el motsvaras exakt av en meranvändning fjärrvärme. Åtgärden som den är utförd här spara alltså inte energi men skiftar från el till fjärrvärmeanvändning vilket kan vara önskvärt ur ett kostnadsperspektiv. Nu är det olika säsonger men i ett lite mer vetenskapligt perspektiv kan man titta på energisignaturerna som i figuren nedan.

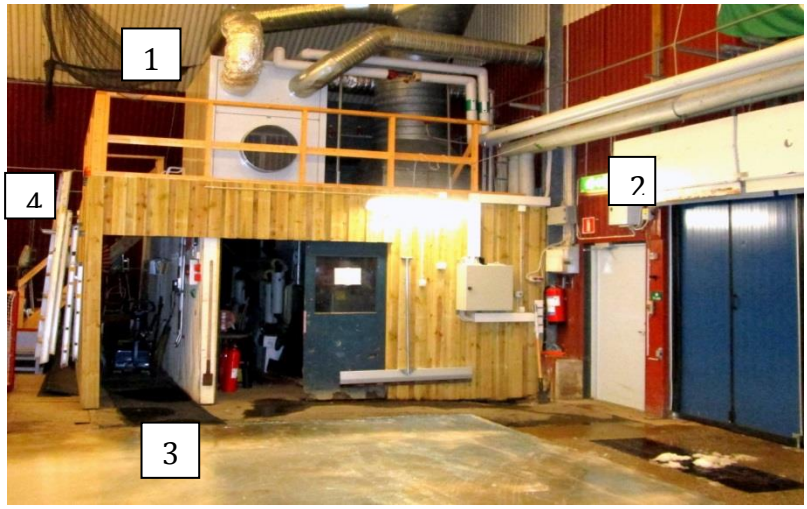


Figur 81 :Jämförelse av energisignaturerna före/efter åtgärden.

Diagrammet i figur 82 är väldigt tydlig vad gäller energianvändningen före/efter åtgärden. I detta senare fall så jämförs energianvändningen vid motsvarande klimatförhållanden vilken inte nödvändigtvis är fallet i månadsjämförelsen i den tidigare figuren.

3.6.5 Avfuktningsenergi i ishall D

Ishall D har som förvärmning en anslutning från värmeåtervinningen till avfuktaren. Därför skulle det förväntas en lägre elförbrukning om man jämför med andra ishallar. Men i praktiken är bilden den omvänds - högre elförbrukning !

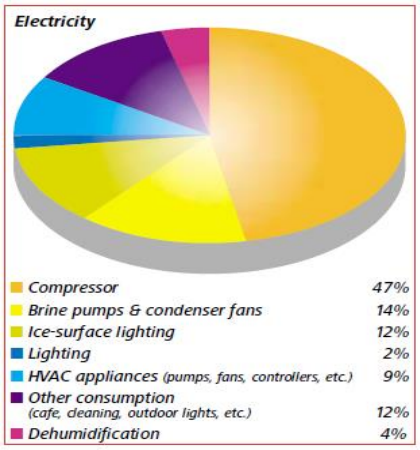


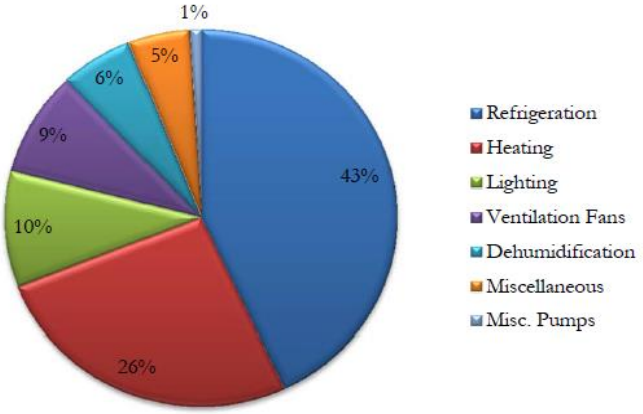
Figur 82 : Ishall D – avfuktare med förvärmning.

Sensorn som styr avfuktaren är installerad enligt bilden ovan (nr 4), vilket är nära porten där ismaskinen tvättas. Denna sensor är ansluten till avfuktaren och reglerar den relativa fuktigheten. Skillnaden mellan ishall D och andra ishallar är att de andra har ett separat garage för att tvätta ismaskinen. Denna avfuktare kommer att tvingas arbeta mer på grund av att det vatten som används för att rengöra ismaskinens hjul, mm. Dessa två faktorer förklarar varför avfuktaren i ishall D använder så mycket energi.

3.6.6 Avfuktningsenergi i ett ishallsperspektiv

Tidigare referenser pekar på att avfuktning i ishallar har en andel på endast 4-6% av den totala energianvändningen. (Rogstam, 2010). I praktiken så visar denna utredning på betydligt mycket högre andel relativ energianvändning. Referenser på temat relativ energianvändning och avfuktning.





Figur 83: *IIHF* 2011 och *Energihandledning ishallar,* Jörgen Rogstam 2010.

Tabell 20 visar den relativa andelen (i procent) av avfuktarens energianvändning i ishall C i förhållande till den totala energianvändningen. Ishall C har bara el som energikälla.

Tabell 20 : Andel av den totala energianvändningen för avfuktning i ishall C.

		Avfuktning Energi(kWh)	Total El (kWh)	%
2012	April	8.850,0	75.812,6	11,7
	Maj	14.668,0	28.498,0	51,5
	Juni	19.149,6	29.542,3	64,8
	Juli	20.181,1	59.604,5	33,9
	Augusti	20.229,8	118.685,2	17
	September	17.799,2	115.785,7	15,4
	Oktober	14.691,9	120.183,6	12,2
	November	15.468,9	119.720,5	12,9
	December	7.705,4	117.890,4	6,5
2013	Januari	10.022,8	114.853,6	8,7
	Februari	9.312,0	102.037,3	9,1
	Mars	4.366,1	92.422,1	4,7
	Total	108.446,1	977.391,0	11,1

Av någon anledning låter man avfuktaren jobba för fullt under sommaren vilket gör energianvändningen såväl som den relativa andelen skyhög. Detta har inte tagits med i medelvärdesbildningen då inte anses vara representativt. Under den aktiva delen av året, dvs issäsongen, så är den absoluta energianvändningen 108 MWh och den relativa andelen ca 11% för ishall C.

Tabell 21 : Andel av den totala energianvändningen för avfuktning i ishall A.

		Avfuktning Energi(kWh)	Total El (kWh)	Total fjärrvärme (kWh)	%
2011	Augusti	25.919,7	166.776,0	178,0	15,5
	September	24.567,4	129.157,6	6.230,0	18,1
	Oktober	20.384,8	87.535,1	12.818,0	20,3
	November	20.114,5	84.071,4	20.650,0	19,2
	December	17.325,0	77.744,3	27.415,0	16,5
2012	Januari	14.814,3	77.544,3	24.532,0	14,5
	Februari	6.993,4	64.851,5	24.519,0	7,8
	Mars	2001,0	64.699	19.960,0	2,4*
	April	5.230	60.678	20.260,0	6,5
	Total	135.349,1	748.358,2	136.602,0	15,3

Ishall A använder fjärrvärme och för att få helheten i energianvändningen så läggs total elanvändning ihop med total fjärrvärmeanvändning för att sedan sätta avfuktningen i relation till detta. Som synes i tabell 21 så är under den aktiva delen av året, dvs issäsongen, den absoluta energianvändningen 135 MWh och den relativa andelen ca 15% för ishall D.

3.6.7 Summering

I studien har energisignaturen för avfuktning i flera ishallar studerats vilket visar på tydliga mönster i anläggningarnas energianvändning och avfuktningsbehov.
Det som är viktigast för klimatet i ishallen är luftens faktiska vatteninnehåll. En stor del av fukten kommer in med uteluften genom öppna dörrar och eventuellt ventilationsanläggningen.

Det finns två typer av avfuktningstekniker som huvudsakligen används i ishallar: sorptions-avfuktning och kondensations-avfuktning.

Avfuktningen i ishallar underskattas ofta vad gäller energianvändningen och får därför kanske inte den uppmärksamhet den förtjänar. Studien visar på energianvändningar mellan 80 och 150 MWh per år för ”vanliga” ishallar. Denna energi är oftast elenergi.
En bra åtgärd som kan spara stora mängder el är att förvärma regenereringsluften med återvunnen värme eller möjligen med fjärrvärme. Ett exempel i en ishall som studerats visar på en årlig besparing på nära 60.000 kWh el.

Studien har också visat att relativt sett står avfuktningen ofta för 10-15% av ishallens totala energianvändning, vilket är betydligt högre siffror än tidigare referenser angett.

4 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

I detta kapitel sammanfattas de slutsatser som framkommit under projektet Stoppsladds fyra faser, 2009-2014. Fas 1 till 3 redovisas mer generellt under rubriken ”Allmänna slutsatser” medan fas 4 redovisas mer specifikt.

Allmänna slutsatser från Stoppsladd fas 1-3

- Det nationella snittet för energianvändningen i de svenska ishallarna är ca 1 000 000 kWh per år. En ökad medvetenhet om energifrågorna kan skönjas men intresset varierar mycket mellan olika anläggningar och dess ägare.
- Ishallar i Sverige är generellt sett dåligt instrumenterade och mycket sällan instrumenterade med undermätare även om den totala mängden köpt el och värme mäts. Ungefär var tredje ishall i Sverige kan inte redogöra för hur mycket energi de totalt köper per år i form av el- och värme.
- Som huvudregel bör de största energianvändarna – ”the big five” - i en ishall mätas med energimätare.
- Bristen på instrumentering gör att det är svårt att härleda var potentialen till besparing finns eller konstatera om något är fel. Vidare så går eventuella åtgärder som genomförs inte att följa upp.
- Incitament, organisation och kunskap – stort behov av information som kompetensutveckling på alla nivåer - bidrar sannolikt mest till att det ser ut på det här viset.
- Den kanske viktigaste slutsatsen är att det finns en betydande besparingspotential – ekonomisk som miljömässig – 100 000 kr per ishall och år är en konservativ bedömning.

Specifika slutsatser och kort diskussion kring nyckelresultaten från Stoppsladd fas 4:

Informationsskärm i en ishall

- Syftet med ”energianvändning på displayer” var att undersöka om energianvändningen i anläggningen påverkas av att man på genomgångsplats - plats där besökare, utövare, personal rör sig frekvent – sätter upp en skärm som visar aktuell energianvändning.
- Det har inte gått att utläsa huruvida några energibesparingar gjorts som skulle kunna kopplas till installationen av informationsskärmen. Det skall dock påpekas att ingen hänsyn tagits till vare sig verksamhetens omfattning under perioden – om den ökat, minskat eller varit oförändrad – ej heller normalårskorrigerat m.a.p. klimatet. Däremot har såväl personal på anläggningen som kommunansvariga uttryckt positiva ordalag om informationsskärmen och nämnt att man överväger att bygga ut med fler.

Rening av systemvätskor

- Vad avser rening och avgasning av vätskor så har projektet genomfört två insatser i två olika ishallar. Resultatet överträffade förväntningarna och sänkte i ena anläggningen köldbärarpumpens effektförbrukning med ca 20 %. Utöver detta så kan man räkna med längre livslängd på pumpar och köldbärare samt att

värmeöverföringen sannolikt kommer bli bättre på sikt med renare värmeväxlarytor.

- Ur ett termodynamiskt perspektiv så är förmodligen ammoniak-vatten den idag tekniskt mest lämpade köldbäraren. Beräkningarna visar att köldfaktorn kan förbättras upp till ca 10% med ammoniakvatten jämfört med kalciumklorid.
- Vad gäller styrning så har inverkan av så kallad Dt-styrning studerats. Det är ett sätt att kapacitetsreglera köldbärarpumpen och anpassa driften efter rådande behov och studien att reglering inom intervallet 2-3 K ligger nära det optimala för de flesta köldbärare.
- Om man beräknar vinsten/förlusten till ”per grad avvikelse” i fryspunkt så handlar det om ca 10 000 kWh per år (säsong). Motsvarande siffra för ”per % avvikelse” blir så hög som ca 25 000 kWh per år. Budskapet och lärdomen från detta är naturligtvis att det lönar sig att vara noggrann med koncentrationerna och inte ”överdosera” frysskydd i sin köldbärare!

Belysningstekniker i ishallar

- Det sker en mycket snabb utveckling på belysningsfronten i Svenska ishallar. När projektet startade fanns ingen hall med LED-teknik men vid projektets avslutning finns 7 kända installationer.
- Trenden på marknaden pekar mot LED- och lysrörslösningar. LED syns tveklöst vara framtidens belysning. Olika typer av högtrycks- eller halogenlampor kommer inte att vara konkurrenskraftiga – miljösynpunkt och/eller energisynpunkt – varför man sannolikt inte kommer att se nyinstallationer med dessa teknologier. Lampor av induktionstyp förekommer i liten utsträckning idag – vi har sett denna typ i 2 hallar – men skulle kunna vara/bli ett alternativ i träningshallar.
- Betraktas fördelningen mellan belysningsteknologier syns en potential för energieffektivisering som miljöarbete. Högtryckslampor med höga halter kvicksilver skall fasas ut, Halogen-lampor är inte särskilt effektiva samt att på lysrörssidan finns många installationer med den äldre T8-teknologin

Värmepumpar för ökad värmeåtervinning

- I den teoretiska utvärderingen studerades tre olika scenarier vad gäller värmepumparnas inkopplingsprinciper – direkt kopplat mot köldbäraren (BHP), kylmedelskopplad (CHP) och en kylmedelkopplad i kombination med geoenergilager (GHP).
- Den teoretiska utvärderingen visar att direkt köldbärarkopplingen inte är en bra lösning, då värmepumpen oftast har en sämre verkningsgrad än det bifintliga kylsystemet. Valet mellan CHP och GHP avgörs av anläggningsägarens perspektiv samt hur stora värmebehov som faktiskt föreligger. Ju större värmebehov desto mer lönsamt är en geolagerbaserad lösning.
- Fältstudien av en CHP-installation visar att ur ett energiperspektiv så är åtgärden effektiv med en absolut besparing på ca 150 MWh el vilket motsvarar ca 25% av total energianvändning. I det specifika fallet så fick anläggningen även ett betydligt bättre inomhusklimat med jämnare och stabilare temperaturer.

Avfuktning i ishallar

- I studien har energisignaturen för avfuktning i flera ishallar studerats vilket visar på tydliga mönster i anläggningarnas energianvändning och avfuktningsbehov.
- Det som är viktigast för klimatet i ishallen är luftens faktiska vatteninnehåll. En stor del av fukten kommer in med uteluften genom öppna dörrar och eventuellt ventilationsanläggningen.
- Det finns två typer av avfuktningstekniker som huvudsakligen används i ishallar: sorptions-avfuktning och kondensations-avfuktning.
- Avfuktningen i ishallar underskattas ofta vad gäller energianvändningen och får därför kanske inte den uppmärksamhet den förtjänar. Studien visar på energianvändningar mellan 80 och 150 MWh per år för ”vanliga” ishallar. Denna energi är oftast elenergi.
- En bra åtgärd som kan spara stora mängder el är att förvärma regenereringsluften med återvunnen värme eller möjligen med fjärrvärme. Ett exempel i en ishall som studerats visar på en årlig besparing på nära 60 MWh el.
- Studien har också visat att relativt sett står avfuktningen ofta för 10-15% av ishallens totala energianvändning, vilket är betydligt högre siffror än tidigare referenser angett.

5 FORTSATT ARBETE

För att svenska ishallar fortsatt ska utvecklas, minska sin energianvändning och på så sätt ta sitt ansvar i ett hållbarhetsperspektiv är det väsentligt att effektiviseringsarbetet fortsätter. Trots fyra faser och 5 år med projekt Stoppsladd så ”spelar inte pianot själv” än……!

Projektet har genererat många goda och mycket konkreta exempel – tyvärr genomförs dessa i alltför liten grad i praktiken. Framöver behövs ytterligare tyngdpunkt på informationsspridning riktad mot beslutsfattare och organisationer.

Fokus för det fortsatta arbetet bör därför huvudsakligen ligga inom följande områden:

1. Riktad information, mission och lobbying – påverka beslutsfattare
2. Instrumentering, mätning, uppföljning och dokumentation
3. Informationsutbyte mellan anläggningar
4. Utbildning av driftspersonal
5. Skapa nätverk för anläggningsägare och personal

6 Referenser

ROGSTAM MFL. 2010-2012. Projekt Stoppsladd fas 1-3.

MAZZOTTI. W. 2013. Secondary Fluids Impact on Ice Rink Refrigeration System Performance. Master of Science Thesis. Department of Energy Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

GUMMESSON. P. 2013. Evaluation of heat pump concepts in ice rinks. Master of Science Thesis. Department of Energy Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

NILSSON, A. & NORDSTRÖM. M. 2014. LED-lighting in the ice hockey venues from a visual perspective. Bachelor of Science Thesis. Tekniska Högskolan i Jönköping, Ljusdesign, 2014.

HJERT, J. 2014. ”Att tänka på vid upphandling av arenabelysning”, Svenska Ishockeyförbundet.

SANTOS. D. 2013. Evaluation of Ice Rink Floors Performance and Heat Load. Master of Science Thesis. Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Eenergia, 2013.

SILVA. D. 2013. Evaluation of dehumidification system energy usage in ice rinks. Master of Science Thesis. Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Eenergia, 2013.

7 Bilagor

1. Att tänka på vid upphandling av arenabelysning
2. Sammanfattningar av examensarbeten:
    a. Secondary fluids impact on ice rink refrigeration system performance, Willem Mazzotti 2013.
    b. Evaluation of heat pump concepts in ice rink, Patrik Gummesson 2013
    c. Evaluation of dehumidification system energy usage in ice rinks, Diogo Bermejo Pereira Rodrigues da Silva 2013
    d. LED-lighting in the ice hockey venues from a visual perspective. A. Nilsson, M. Nordström. 2014.

BILAGA 2A. MASTER OF SCIENCE THESIS EGI 2013: 156MSC, SECONDARY FLUIDS IMPACT ON ICE RINK REFRIGERATION SYSTEM PERFORMANCE, WILLEM MAZZOTTI 2013.

KEYWORDS
Ice rink, secondary fluid, refrigeration system, thermo-physical properties, heat transfer, pressure drop, model

ABSTRACT
Sweden has 350 ice rinks in operation which annually use approximately 1000 MWh each. The refrigeration system usually accounts for about 43 % of the total energy consumption which is the largest share of the major energy systems. Besides improving the facilities one-by-one, it is important to distinguish common features that will indicate the potential energy saving possibilities for all ice rinks. More than 97 % of the Swedish ice rinks use indirect refrigeration systems with a secondary fluid. Moreover, the thermo-physical properties of secondary fluids directly impact the heat transfer and pressure drop. Thus, assessing and quantifying their influence on the refrigeration system performance is important while estimating the energy saving potential for the ice rinks.
A theoretical model as well as two case studies focusing on the importance of the secondary fluid choice are investigated. The theoretical model calculations are performed assuming the steady-state conditions and considering a fixed ice rink design independently on the secondary fluid type. Hence, they can be compared on the same basis. According to this theoretical model, the refrigeration efficiency ranking starting from the best to the worst for secondary fluid is: ammonia; potassium formate; calcium chloride; potassium acetate; ethylene glycol; ethyl alcohol; and propylene glycol. Secondary fluids can be ranked in exactly the same order starting from the lowest to the highest value in terms of the dynamic viscosity. It was shown that potassium formate has the best heat transfer properties while ammonia leads to the lowest pressure drops and pumping power. Propylene glycol shows the worst features in both cases. Ammonia and potassium formate show respectively 5% and 3% higher COP than calcium chloride for typical heat loads of 150 kW. When controlling the pump over a temperature difference ΔT, the existence of the optimum pump control or optimum flow was highlighted. For common heat loads of 150 kW this optimum pump control ΔT is around 2,5 K for calcium chloride while it is around 2 K for ammonia. It is shown that the secondary fluids having laminar flow in the ice rink floor pipes have a larger share in the convection heat transfer resistance (~20-25 %) than the secondary fluids experiencing turbulent flow (~3 %).
One of the case studies shows a potential energy saving of 12 % for the refrigeration system when increasing the freezing point of the secondary fluid. An energy saving of 10,8 MWh per year was found for each temperature degree increase in the secondary fluid freezing point.

BILAGA 2B. MASTER OF SCIENCE THESIS EGI-2014-001MSC, EVALUATION OF HEAT PUMP CONCEPTS IN ICE RINKS, PATRIK GUMMESSON 2013.

KEYWORDS: Ice rink, heat pump, energy storage, energy saving. LCC

Abstract
In Sweden there are about 350 ice rinks in operation today which consume approximately 300 GWh per year. The average energy consumption for a Swedish ice rink is approximately 1000 MWh per year. Ice rink dose not only consume energy it also rejects heat. The rejected heat comes from the refrigeration system that cools down the ice floor. The refrigeration system rejects heat around 700 to 1000 MWh per season. The reason for this study is because of the rejected heat which leads to the question how the rejected heat can be used.
The object is to find a heat pump concept that can use the rejected heat or another heat source in an ice rink. Three different heat pump concepts were evaluated. The first heat pump concept use the ice floor as a heat source (called BHP), the second concept use the rejected heat as a heat source (called CHP) and the third concept use the rejected heat to charge an energy storage (called GHP).
To accomplish the objective a heat analysis of two ice rinks were made to be able to simulate the heat pump concepts. With the simulation results a life cycle cost was made for a better evaluation. The results from the heat analysis were used for simulating the heat pump concepts. The two ice rinks that were analyzed were Järfälla ice rink and Älta ice rink. The main heat source the two ice rinks uses today is district heating and electricity. Järfälla only use district heating (DH) as a heat source and Älta ice rink use recovery heat, electricity and district heating.
The heat analysis of the two the ice rinks showed that the highest district heating consumer was the domestic hot water at 47% of the DH followed by the dehumidifier at 32% of the DH and last the space heating at 22% of the DH. This shows how the heat is used in a general ice rink in Sweden. The temperature levels for the dehumidifier is around 65 °C (only DH part), the domestic hot water at 55 °C and last the space heating at 20 °C. However the heat demand for the ice rinks resulted in 443 MWh for Järfälla and 192 MWh for Älta. To know the size of the heat pump used for the heat pump concepts a heat profile for the ice rinks were made. The result of heat profiles lead to a heat pump size of 105 kW in Järfälla and 45 kW in Älta. The rejected heat for one season in Järfälla is 1000 MWh and 780 MWh in Älta.
With the results from the heat analysis the evaluation the heat pump concepts was possible. The COP1 for the CHP resulted at 3,8 and the COP1 for the GHP was assumed to be the same as for the CHP. The COP1 calculations for the BHP concept resulted at 2,5. COP was calculated with collected data from the respective ice rinks refrigeration system. The simulations results were that the BHP and the CHP concept could fulfill the heat demand up to around 79% and the GHP up to around 84% in both ice rinks. The rest of the heat demand is heated with supplementary heat. The life cycle cost (LCC) showed that the CHP concept had the lowest cost followed by the GHP concept. The BHP concept had the highest LCC, because of the low COP. The LCC model dos not include the running cost, the maintenance cost and the energy tariffs for the district heating.

The recommended solution is the GHP concept. This is because it is a good investment for the future since other buildings can be connected to the energy storage. The GHP concept is also the solution that fulfills the heat demand best and has the lowest annual energy cost.

BILAGA 2C. EVALUATION OF DEHUMIDIFICATION SYSTEM ENERGY USAGE IN ICE RINKS, DIOGO BERMEJO PEREIRA RODRIGUES DA SILVA 2013.

Key words: energy efficiency, ice rink, dehumidification system

Abstract
Ice skating rinks are one of the largest energy consumers in terms of public buildings due to its simultaneous needs of cooling, heating, ventilation and lighting for different parts of the structure, which means that these facilities have also a lot of potential for saving energy.
Saving energy from dehumidification systems in ice rinks is a subject that still needs to be developed and investigated with an increased focus in matters of energy efficiency in these types of structure.
The performance of the dehumidification system of diverse ice rinks located near the city of Stockholm, Sweden, is here analysed in order to evaluate the use of energy related to indoor and outdoor climate. The connection of a district heating system to a dehumidifier in Älta ice rink is also investigated, with the final conclusion that the amount of electricity that the system is able to save is nearly 50%.
There are two different types of dehumidifiers and their energy consumption is studied and further compared with the obtained values of energy usage by the refrigeration system to dehumidify the air using the ice slab. The results show that the ice slab uses much less energy comparing with the dehumidifier system (0,336 and 2,076kWh/kg water, respectively, in Älta ice rink case).
The bibliography points out that the energy use related to dehumidification of an ice rink is 4 to 6% of the total ice rink energy consumption but, in this project, that real value is accurately quantified using proper equipment for Swedish ice rinks and observe that percentage is, actually, underestimated in the current "state of art".
At the moment, the number of ice rinks in Sweden is about 350 and the average of the annual energy consumption is about 1000 MWh/year. With current knowledge that the number of installations is growing in a rate of 5-10 per year in the country, energy saving measures are evaluated and studied in these facilities in order to upgrade the old structures and improve the new ones.

BILAGA 2D. LED-BELYSNING I ISHOCKYANLÄGGNINGAR UR ETT VISUELLT PERSPEKTIV (LED-LIGHTING IN THE ICEHOCKEY VENUES FROM A VISUAL PERSPECTIVE), ADAM NILSSON & MARCUS NORDSTRÖM 2014.

Abstract
The development and progress of LED luminaries makes the old venues of lighting in icehalls with long rows of fluorescent fixtures may starts to feel threatened for real. The trend to switch from fluorescent lighting to LED in these environments has already started but there is very little to read about obvious pros and cons.
The purpose of the investigation was to clearify if LED-lighting is visually functional for different kinds of users in halls where icehockey is played. A few questions we wanted to get answers on were if LED works visually in an icehall and how the experience differs between LED and fluorescent lighting, and also how icehockey players and spectators experience the LED-lighting in different ways.
The study has been carried out with field trips, surveys to players and spectator and finally interviews with players who plays in the venue. Through this it was concluded that the LED-lighting is visually functional for all types of users considered in this study. The pros with LED compared to fluorescent lighting are many. Problems such as disability glare, distracting reflections, strange shadows or uneven lighting was found to be significantly less than expected and almost all spectators and players were very happy about the lighting in the venues.
The conclusion with the investigation is that LED works well in the type of hockey venues where the investigation has been done but more studies considering this are needed to get results that apply to all types of venues where icehockey is played.
The investigation was conducted in collaboration with the Swedish Ice Hockey Association and Energi & Kylanalys AB who have helped us with contacts at hockey venues and financially supported the study.