

Förutsättningar för en skridskobana i centrala Göteborg med fokus på innovativ och miljöanpassad energiförsörjning

Calisir, Theresa
Karlsson, Elin

Examensarbete

Institutionen för mekaniska och maritima vetenskaper

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2024

Examinator Pavleta Knutsson

Department of Mechanical Engineering
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Gothenburg, Sweden 2024

Abstract

As the importance of sustainability continues to increase, the need to create solutions that fits the SDG (sustainable development goal) intensifies. The purpose of the study, given from Göteborg Energi and Göteborg & Co, is to investigate the conditions for an open ice rink in central Gothenburg with a focus on innovative and environmentally friendly energy supplies. But above all, exploring different cooling systems taking into account different sustainability aspects. The goal was to gather information rather than to reach a decision on technical options or costs, due to a non-specified budget.

Through literature studies and market research, details on different cooling technologies and their potential sustainability benefits and flaws were gathered. Interviews with experts within the industry complemented the records. Since the facility strives to remain in use throughout the whole year, the research indicated that hybrid cooling systems were the most optimal alternative. The cooling systems considered were a compressor cooling system and an absorption refrigerator, the motive being to utilize district heating in the form of waste heat from local industries. The facility requires a cooling effect of approximately 2,15 MW acknowledging only the outside temperature differences. A compressor cooling system is generally the most effective and reliable whilst an absorption refrigerator commonly is more sustainable but at a higher operating cost.

To fully estimate the effectiveness, costs and principles of the entire system, further research with a more defined budget is necessary. The collected information provides a base for decision making and continuous future studies.

This report is written in Swedish.

Keywords: Ice rink, sustainability, compressor cooling, absorption cooling, cooling systems, energy supply, environmentally friendly.

Sammandrag

I takt med att vikten av hållbarhet fortsätter öka så ökar även behovet av att skapa lösningar som passar SDG (globala målen). Syftet med studien, i uppdrag av Göteborg Energi, är att undersöka förutsättningarna för en öppen isbana i centrala Göteborg med fokus på innovativ och miljövänlig energiförsörjning. Men framförallt att utforska olika kylsystem med hänsyn till olika hållbarhetsaspekter. Målet var att samla information snarare än att fatta ett beslut om tekniska alternativ eller kostnader på grund av en ospecificerad budget.

Genom litteraturstudier och marknadsundersökningar samlades detaljer om olika kyltekniker och deras potentiella hållbarhetsfördelar och brister. Intervjuer med experter inom branschen genomfördes för att få djupare förståelse. Eftersom anläggningen strävar efter att vara igång under hela året, visade forskningen att hybridkylsystem var det mest optimala alternativet. De kylsystem som övervägdes var kompressorkyla och absorptionskyla som skulle drivas av fjärrvärme i form av spillvärme från lokala industrier. Anläggningen kräver en kyleffekt på cirka 2,15 MW med bara utetemperaturen som påverkande faktor. Ett kompressorkylsystem är i allmänhet det mest effektiva och pålitliga medan en absorptionskylsystem vanligtvis är mer hållbart men till en högre driftskostnad.

För att fullständigt uppskatta effektiviteten, kostnaderna och principerna för hela systemet krävs ytterligare forskning med en mer definierad budget. Den insamlade informationen ger en bas för beslutsfattande och framtida studier.

Nyckelord: Isbana, hållbarhet, kompressorkylning, absorptionskylning, kylsystem, energiförsörjning, miljövänligt.

Förord

Denna studie utgör ett examensarbete för högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik på Chalmers tekniska högskola. På uppdrag av Göteborg Energi och Göteborg & CO utförs studien för att undersöka möjligheten att verkställa en utomhusisbana i centrala Göteborg så energieffektiv som möjligt.

Ett särskilt tack riktas till

Pavleta Knutsson, docent på avdelning för kemi och kemiteknik, Chalmers tekniska högskola

För dina råd och roll som examinator.

Mats Andersson, docent på avdelning för mekanik och maritima vetenskaper, Chalmers tekniska högskola

För din vägledning och hjälp genom hela projektet.

Anders Strand, energisystemanalytiker, Göteborg Energi

För möjligheten att delta i utvecklingen av ditt projekt och för ditt initiativ till idén.

Skarpe Nords bandybana och Ruddalens idrottscentrum

För möjlighet till studiebesök för att få djupare förståelse i driften av en isbana.

Ett stort tack riktas till alla som har bidragit med värdefull information, råd och idéer som gjort denna studie möjlig. Även ett tack till alla författare av rapporter och böcker som berikat litteraturstudien.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	8
1.1. Introduktion.....	8
1.2. Syfte.....	8
1.3. Avgränsningar.....	8
1.4. Precisering av frågeställningen.....	9
2. Metod.....	9
4. Bakgrund.....	10
4.1. Hållbar utveckling.....	10
4.2. Energieffektivisering.....	11
4.3. Kylsystem.....	11
4.3.1. Kompressorkylprocess.....	12
4.3.2. Absorptionskylprocess.....	12
4.3.3. Frikyla.....	13
4.3.4. Direkta kylsystem.....	14
4.3.5. Indirekta kylsystem.....	14
4.4. Isbanor.....	15
4.4.1. Kylsystem för isbanor.....	17
4.4.2. Banrör.....	18
4.4.3. Köldmedium.....	18
4.4.4. Köldbärare.....	19
4.4.5. Iskvalitet.....	19
4.4.6. Isbanans termodynamik.....	20
4.4.7. Energieffektivisering av isbanor.....	20
4.5. Energianvändning hos dagens isbanor.....	21
4.5.1. Ruddalens ishall.....	21
4.5.2. Skarpe Nord.....	21
4.5.3. Vasaparkens isbana.....	21
4.5.4. Eriksdals isbana.....	22
4.5.5. Tjustvallens isbana.....	22
4.5.6. Isbanor.....	23
4.6. Fjärrvärme och fjärrkyla.....	23
5. Resultat.....	24
5.1. Effektbehov för isbana i centrala Göteborg.....	24
5.2. Jämförelse med andra isbanor.....	26
5.3. Metod 1 - Kompressorkylprocess.....	26
5.4. Metod 2 - Absorptionskylmaskin.....	27
5.5. Metod 3 - Hybridkylsystem.....	27

5.6. Energiåtgång samt kostnader.....	28
6. Diskussion.....	30
6.1. Val av kylprocess.....	30
6.2. Jämförelse med andra isbanor.....	31
6.3. Metodologiska reflektioner.....	31
7. Slutsats.....	32
8. Framtida studier.....	33
8.1. Väderförhållanden.....	33
8.2. Vädskydd.....	33
8.3. Termodynamik.....	34
8.4. Investeringskostnader.....	34
8.5. Optimering av köldmedium.....	35
9. Referenser.....	36
10. Appendix.....	39

1. Inledning

1.1. Introduktion

Isbanor är populära attraktioner på vintern, men de kräver också mycket energi. Göteborg Energi har ett starkt fokus på innovation och hållbarhet samt strävar efter att utveckla infrastrukturen för fritidsaktiviteter både miljövänligt och innovativt. Den ökade medvetenheten om klimatförändringar ger ett ökat intresse för integrering av mer miljövänliga lösningar i stadsmiljöer.

Tidigare har det funnits en utomhusbana på Heden i Göteborg som dock lades ner på grund av bland annat dess höga energiförbrukning. Idag är det fjärrvärme som tar hand om värmen från sopförbränning, raffinaderi och industri. I detta fjärrvärmenät utgör återvunnen energi 67% den totala tillförda energin, därav 28% kommer från spillvärme. (Göteborg Energi, 2023) Göteborg Energi, Göteborg & Co och andra aktörer i Göteborg har som avsikt att tillsammans etablera en ny isbana som är energieffektiv. En ny energieffektiv isbana grundar sig på strävan efter hållbarhet, där både miljömedvetenhet och kostnadsbesparingar är centrala element, och teknologisk innovation.

1.2. Syfte

Examensarbetets syfte är att undersöka förutsättningarna för att energieffektivisera driften av en öppen isbana på 20 x 30 kvadratmeter med en innovativ och hållbar approach. Målet är att jämföra befintliga sätt att driva en isbana och baserat på dessa jämförelser föreslå energieffektiva och miljövänliga lösningar för att driva en isbana. Detta ska utföras genom att jämföra befintliga metoder för att kyla isbanor - både inomhus- och utomhusbanor - och identifiera den mest effektiva tekniken. En central del av projektet är att nyttja spillvärme från Göteborgs industrier, raffinaderier samt Renovas förbränningsanläggning för att kyla isbanan. Genom att omvandla spillvärmens till kylenergi, minskas inte bara miljöpåverkan som traditionell kylning medför, utan också skapar en koppling mellan stadens industriella verksamheter och dess fritidsaktiviteter.

Resultatet av arbetet blir inte bara en energieffektiv isbana men även en ny attraktiv mötesplats som främjar friluftaktiviteter. Isbanan kommer stärka gemenskapen i samhället då den ska designas för att göras lättillgänglig och användarvänlig samt så ska den integreras i stadsmiljön på ett sätt som gynnar samverkan och sociala utbyten mellan stadens invånare.

1.3. Avgränsningar

I och med att detta examensarbete är strikt tidsbegränsat, har denna rapport följande avgränsningar:

- Beräkningarna kommer inte vara säsongsberoende, hänsyn tas endast till olika temperaturer.

- Beräkningarna kommer inte att ta hänsyn till olika väderförhållanden, såsom vind, regn och solinstrålning.
- Projektet kommer inte att ta hänsyn till specifika ekonomiska kostnader.
- Arbetet utförs med fokus på förhållandena i Göteborgsregionen och kan därmed eventuellt inte generaliseras eller tillämpas i andra geografiska områden.

Avgränsningar kommer att specificeras och justeras i takt med projektets framsteg.

1.4. Precisering av frågeställningen

Följande frågeställningar kommer att besvaras under rapportens gång.

- Kommer användning av absorptionsmaskiner som utnyttjar fjärrvärme från det befintliga nätet att minska miljöpåverkan jämfört med kompressordrivna kylmaskiner?
- Är det möjligt att etablera isbanan under olika temperaturförhållanden?
- Kan isbanan i centrala Göteborg drivas med minimal miljöpåverkan genom att integrera fjärrvärme och fjärrkyla från det befintliga nätet?

2. Metod

Detta examensarbete bygger främst på en noggrann analys av tidigare dokumentation från isbanor - både utomhus- och inomhusbanor. Genom en djupgående litteraturgranskning av befintliga tekniker och system erhålls relevant kunskap och information som är väsentlig för att utveckla miljövänliga energilösningar för isbanor.

Genom datainsamling samt analys av potentiella platser kommer de geografiska förhållanden att identifieras och de tillgängliga energiresurserna, som inkluderar fjärrvärme och fjärrkyla från det befintliga nätet. De traditionella metoder som kylmaskiner med kompressor och alternativa lösningar som absorptionskylmaskiner som utnyttjar fjärrvärme, undersöks vidare. Resultaten sammanställs för att välja den mest hållbara energiförsörjningslösningen för isbanan.

Intervjuer kommer att genomföras med personer som har kunskap om isbanor - bland annat på Skarpe Nords bandybana och Rudalens idrottsanläggning- samt de tekniker och system som används i deras skötsel och underhåll. Målgruppen för intervjuer inkluderar tekniska förvaltare och andra aktörer med relevant information om isbanor de ansvarar för. Fokus ligger på att utforska tekniska system och utrustning, drift och underhåll samt säsongsvariationer. Informationen från intervjuerna kommer att bidra till förbättringar av driftsprocesser, säkerhet och användarupplevelse på isbanor.

Arbetet byggdes upp på följande sätt: Intervjuer genomfördes för att identifiera platser och aktörer. Därefter samlades dokumentation in som underlag för vidare beräkningar på bland annat kyleffekter. Baserat på resultaten av beräkningarna, genomfördes eventuella

modifikationer och rekommendationer formulerades för den aktuella situationen. För att optimera energieffektiviteten av den nya isbanan användes data och erfarenheter från tidigare isbanor, både gamla och andra befintliga. Brainstorming tillsammans med kunniga personal på Göteborg Energi och Göteborg & Co genomfördes också för att få fram de mest optimala resultaten.

Beräkningarna genomfördes genom att jämföra energiförbrukningen per kvadratmeter is för att fastställa vilka specifika värden den nya isbanan bör ha för att vara så effektiv som möjligt. Input informationen som krävdes var information om energiförbrukningen och prestandan hos andra isbanor, inklusive data om kyleffekter, isens dimensioner och temperatur, samt drifttid och omgivande temperaturer. Som output förväntades specifika riktlinjer för den nya isbanan, inklusive mål för energiförbrukning och optimala driftinställningar för att minimera miljöpåverkan.

Slutligen utvärderades förslaget med avseende på tekniska och miljömässiga faktorer för att säkerställa dess säkerhet och om det är genomförbart. Målet var att genom denna metod sätta upp en ny utomhusisbana i centrala Göteborg med fokus på hållbarhet och innovation.

4. Bakgrund

Detta kapitel sammanfattar och presenterar den information som är grundläggande för att uppnå målen med projektet.

4.1. Hållbar utveckling

Med tiden ökar vikten samt relevansen av hållbar utveckling allt mer, medan den grundläggande definitionen förblir densamma. ”Hållbar utveckling är en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov” sade Gro Harlem Brundtland, 1987 som då ledde FN:s världskommission för miljö och utveckling (UNDP, 2017). Detta är fortfarande den vanligaste definitionen av hållbar utveckling.

En hållbar utveckling bygger på tre dimensioner; det sociala, miljön och ekonomin (UNDP, 2017). Med andra ord uppnås hållbar utveckling när samhällets utveckling och ekonomisk tillväxt är i balans med jordens ekosystem. Ekologisk hållbarhet är kopplad till jordens ekosystem och är därför förhållandevis enkel att mäta. Social hållbarhet, å andra sidan, mäts genom indikatorer som bedömer välfärd, vilket kan vara mer utmanande eftersom vissa aspekter kan förbises. Ekonomisk hållbarhet bör mätas som en ekonomisk utveckling som inte berör miljön. En viktig skillnad mellan ekonomisk hållbarhet och ekologisk respektive social hållbarhet är att de ekonomiska och sociala strukturerna är skapade av människan. Därmed har vi också möjlighet att se dem ur olika perspektiv och också påverka dem för att stödja en hållbar utveckling (KTH, 2024).

Människan har alltid utnyttjat naturen till sin fördel på bekostnad av naturen men med en befolkning som konstant ökar behöver fler samsas om de begränsade resurserna. Sveriges miljöpolitik handlar om att skapa ett samhälle som är fritt från utsläpp och farliga gifter med hänsyn till både människor, djur och natur. Den handlar också om att skapa ett hållbart samhälle som är anpassat till ett förändrat klimat (Regeringen, u.å.). Sveriges har därför ett miljömålsystem som består av ett generationsmål; 16 miljö kvalitetsmål och ett antal etappmål inom områdena avfall, biologisk mångfald, farliga ämnen, hållbar stadsutveckling, luftföroreningar och klimat (Sveriges miljömål, u.å.). En del av Sveriges generationsmål är att ställa om energisystemet så att det mestadels är förnybara energikällor, minimera miljöpåverkan och öka energieffektiviteten för att maximera resurserna som utnyttjas. Sverige anammar en miljöpolitik som speglar både nationella och internationella åtaganden såsom de Globala målen för hållbar utveckling (SDG) och Parisavtalet. Bland annat bidrar Sverige genom sina miljöklimatemål till SDG 13 (Klimatåtgärder), SDG 7 (Hållbar energi för alla) samt mål för biologisk mångfald och ekosystem, SDG 15 (UNDP, u.å.). Genom att satsa på förnybara energikällor och energieffektivitet stöds Parisavtalet med att hålla den globala uppvärmningen under 2 grader Celsius (United Nations, u.å.).

Isbanor är ett bra exempel på hur hållbar utveckling kan integreras i vardagliga aktiviteter, vilket bidrar till ekonomisk, social och ekologisk hållbarhet. Genom användning av förnybar energi och energieffektiva kylsystem kan isbanor minska sin klimatpåverkan och bidra till en hållbar framtid. Isbanan skapar jobbtillfällen och drar till sig besökare vilket bidrar ekonomiskt. Socialt erbjuder den en plats för gemenskap som främjar hälsan. På så sätt kan isbanor spela en roll i att uppnå Sveriges miljömål.

4.2. Energieffektivisering

För att Sverige ska kunna uppnå sina miljömål och hålla ett hållbart energisystem är det nödvändigt med mer effektiv energianvändning. Minskad energianvändning innebär att det behöver tillföras mindre energi vilket kan ge lägre utsläpp av bland annat koldioxid, kväveoxider, svaveldioxid och partiklar (Naturvårdsverket, 2023). Minskningen bidrar till att den ekonomiska effektiviteten stiger samtidigt som den inte påverkar samhället eller miljön på ett negativt sätt. Energieffektivisering kan genomföras både genom tekniska förändringar och beteendemässiga förändringar. Effektivisering kan till exempel uppnås genom att förbättra isoleringen i byggnader och installera mer energieffektiva system för belysning och ventilation. Även utbildning för drift- och underhållspersonal är viktigt så att utrustningen används på ett energieffektivt sätt.

4.3. Kylsystem

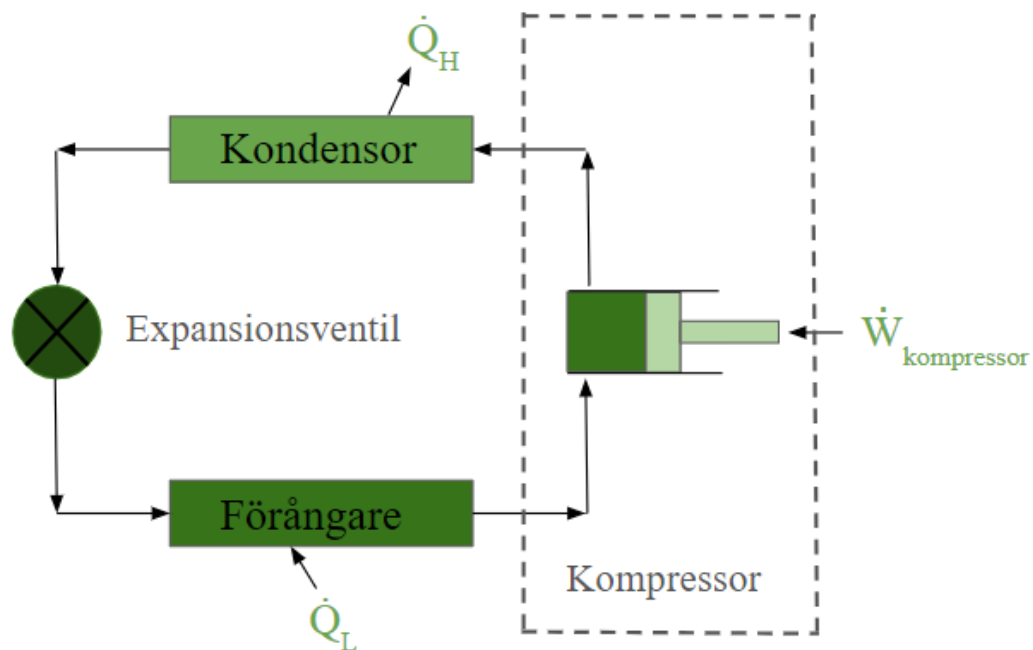
För att reglera temperaturen på en isbana kan olika typer av tekniker inom kylsystem användas. Dessa innefattar kompressorkylning, absorptionskylning, frikyla, indirekt kyla och direkt kyla. Effektiviteten hos ett kylsystem kallas för "Coefficient Of Performance" och betecknas COP_R . (Y. A. Çengel et al., 2017)

4.3.1. Kompressorkylprocess

Det mest använda kylsystemet för kylanläggningar såsom isbanor är kompressorkylprocessen. Processen går ut på att cirkulera ett flytande köldmedium genom fyra steg i ett slutet system. De fyra stegen består av komponenterna; kompressor, kondensor, förångare och expansionsventil enligt *figur 1*.

I det första steget matas köldmediet in i kompressorn som komprimerar det till en högtrycksånga och blir överhettad. Köldmediet fortsätter till kondenseringssteget där det flyter genom S-formade rör. Kall luft fläktas över rören vilket gör att värme överförs från köldmediet till luften. Denna värmeöverföring får det heta ångköldmediet att kondensera till en högtrycksvätska. Därefter går köldmediet vidare till expansion där det passerar genom en expansionsventil, vilket minskar dess tryck och temperatur, och förbereder det för förångningssteget.

I förångningssteget är köldmediet nu en sval, lågtrycksvätska som är redo att absorbera värme. Köldmediet rinner genom rör i en förångare som fläktas med varm luft. Sedan börjar det koka och omvandlas tillbaka till en lågtrycksånga, som därpå dras tillbaka till kompressorn, och hela cykeln börjar om på nytt (Process Solution, 2024).

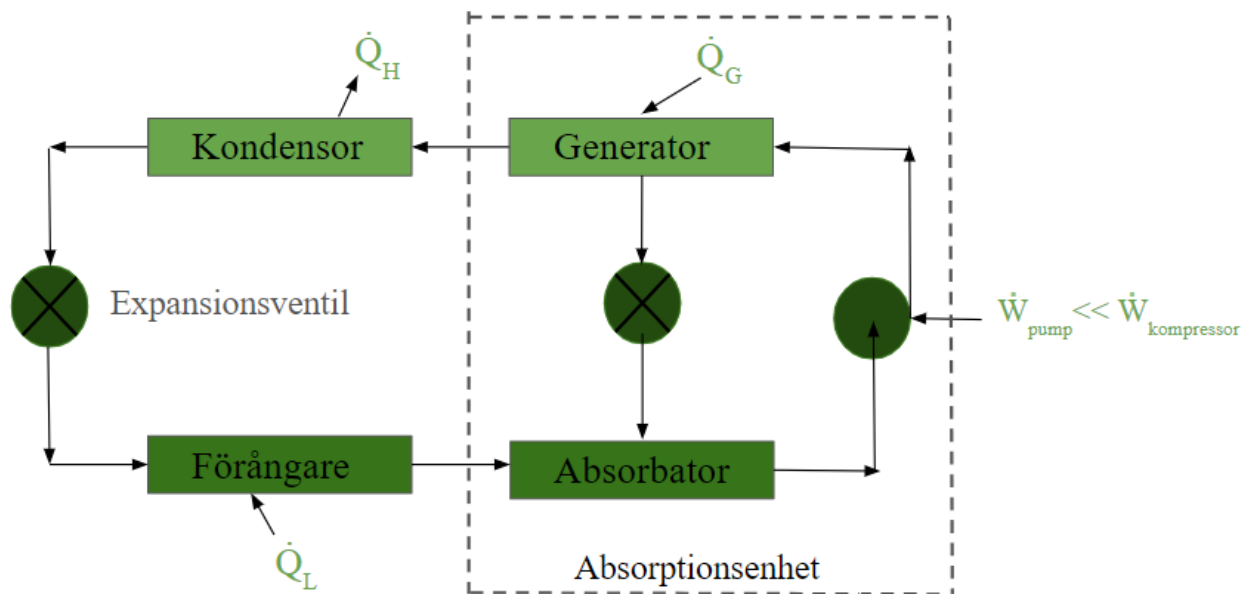


Figur 1: Kompressorkylprocess

4.3.2. Absorptionskylprocess

Absorptionskylprocessen liknar kompressorkylprocessen med dess komponenter förutom att kompressorn är ersatt med en anordning bestående av en absorbator, en vätskepump och en generator enligt *figur 2*. Kylprocessen drivs framförallt genom att värme tillförs till generatorm. Likt kompressorkylprocessen förångas ett köldmedium vid lågt tryck vilket ger

en kyleffekt i förångaren. Skillnaden mellan processerna är att absorptionskylning använder ett sekundärt kylmedel som absorberar det primära köldmediet i absorbatoren efter det passerat förångaren. Därefter leds blandningen till generatoren där värme tillförs så att det primära köldmediet förångas och flödar vidare till kondensorn. Därpå kan det primära köldmediet återigen föras till förångaren. Det sekundära köldmediet leds från generatoren tillbaka till absorbatoren där det genomgår värmeväxling med lösningen som går från absorbatoren till generatoren. En effektiv värmeväxling minskar behovet av extra värme till generatoren och behovet av att avleda värme från det sekundära köldmediet. Kort sagt så skiljer sig kompressorkylning från absorptionskylning genom metoden för att komprimera ångan från lågt till högt tryck (Boyce, 2012).



Figur 2: Absorptionskylprocess

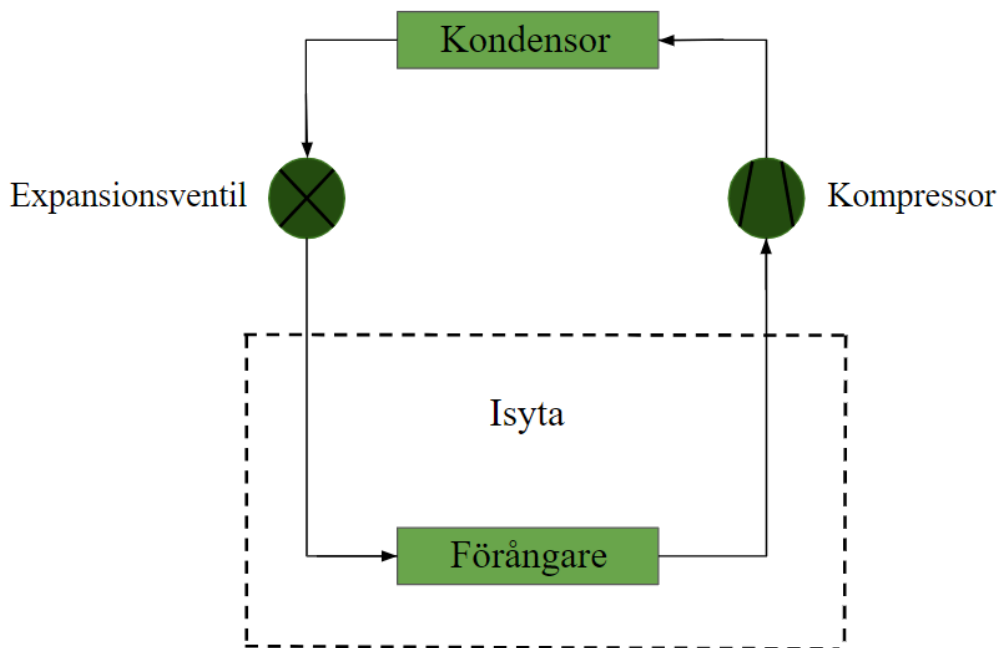
4.3.3. Frikyla

Frikyla används vid låga utomhustemperaturer (minusgrader) och innebär kylning utan kylsystem. Temperaturen som krävs för kylning varierar beroende på flera faktorer, inklusive vad som ska kylas, önskad kyleffekt och omgivande förhållanden. För att minska belastningen på ett system i en kylanläggning kan frikyla användas som ett komplement. Genom att använda frikyla när det är möjligt kan belastningen på kylanläggningen minska och dess livslängd kan förlängas. Detta leder även till lägre energiförbrukning och minskade totala driftskostnader.

Frikyla kan bland annat innebära att när utetemperaturen är tillräckligt låg och den omgivande luften kan kyla isbanan, stängs då kylsystemet av. Det kan även innebära att det endast är en komponent i systemet som kyls med hjälp av frikyla, exempelvis att kondensorn i ett system kyls med hjälp av vatten från en närliggande sjö. Vattnet förs till kylanläggningen för att kyla köldmediet och förs sedan tillbaka till sjön (Fröström & Lundblad, 2015).

4.3.4. Direkta kylsystem

I ett direkt kylsystem överförs värme direkt från det område som behöver kylas till det område där värmen avges, utan några extra värmeväxlingar varken på kondensor- eller förångarsidan. Förutom köldmediet har det direkta systemet fyra huvudkomponenter; kompressor, förångare, strypventil och kondensator. (Gustafsson & Ohlin, 2015). Nackdelen med denna typ av system är att för att kyla en stor anläggning, krävs stora mängder köldmedium, vilket även leder till större risk för läckage. Exakta mängder av köldmedium är beroende av dimensionerna på de rör som ligger under isbanan. På grund av risk för läckage bör de köldmedier som anses vara giftiga i små mängder inte användas. Fördelen med ett direkt kylsystem är att denna typ av system har en högre verkningsgrad än vad ett system som arbetar med både köldbärare och köldmedium, eftersom köldmediet arbetar i direkt kontakt med det som ska kylas. Systemet består av färre komponenter vilket leder till lättare felsökning om det skulle uppstå något som är defekt. Uppbyggnaden för en isyta med detta typ av system visas i *figur 3*.

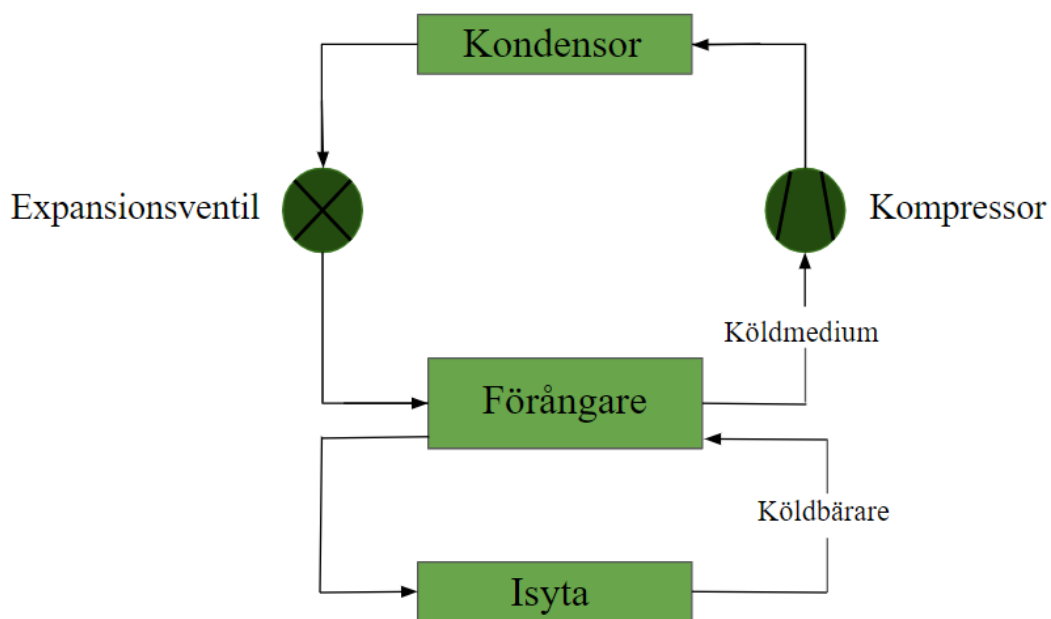


Figur 3: Översikt över ett direktverkande kompressorkylsystem för en isbana.

4.3.5. Indirekta kylsystem

Ett indirekt kylsystem kan användas som metod för att reducera mängden köldmedium. Till skillnad från ett direkt kylsystem, består ett indirekt kylsystem av minst två cykler. Köldmediet cirkulerar i huvudcykeln och används sedan för att kyla ned en köldbärare genom förångning i ett ytterligare värmeväxlingssteg. Den avkylda köldbäraren transporteras sedan genom ett rörsystem till det avsedda kylområdet. En isbana kyld med ett indirekt kylsystem visas i *figur 4*. Med hjälp av en kondensator kan andra delar av en anläggning värmas upp genom att ha en extra cykel i systemet avsedd för detta. Fördelen med ett indirekt kylsystem i jämförelse med ett direkt kylsystem är att det indirekta kräver en mindre volym av

köldmedium. Detta resulterar i att valet av köldmedium blir mer flexibelt och därmed mer lämpliga att använda sig av köldmedium som kan vara giftiga då det krävs en mindre mängd, än i ett direkt system. Upptäckten samt åtgärdandet av läckage är lättare i en mindre cykel. En nackdel med ett indirekt kylsystem är att verkningsgraden är lägre som ett resultat av den extra arbetsbördan och värmeväxlingen som krävs. Detta resulterar i en högre kondenseringstemperatur och en lägre förångningstemperatur, vilket bidrar till den sänkta effektiviteten. En av de främsta nackdelarna är att det är en hög investeringskostnad på grund av att systemet kräver mer material och komponenter (Fröström & Lundblad, 2015).



Figur 4: Översikt för hur en isbana kyls med ett indirekt kompressorkylsystem.

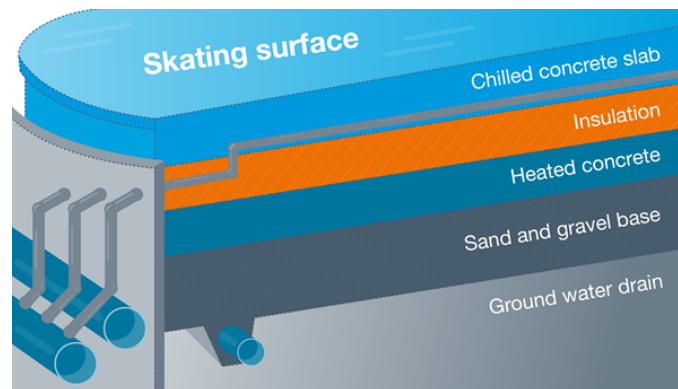
4.4. Isbanor

Isbanor kan skapas på flera olika sätt där det enklaste sättet är att låta exempelvis en sjö frysa naturligt under vintern. I de fallen där man inte har tillgång till vattendrag kan man spola en yta med vatten där man önskar en isbana. Denna metod är dock opålitlig då vädret i Sverige snabbt kan förändras. I södra Sverige är tillgången till isbanor väldigt begränsad samtidigt som efterfrågan är hög. Därför används oftast en kylanläggning för att bibehålla konstant låga temperaturer. Metoden innebär att man cirkulerar en köldbärare eller ett köldmedium under ytan för att säkerställa en fast is, även om omgivningen blir varmare.

Enligt Chart Industries (2023) är en hockeyrink uppbyggd av följande komponenter: skridskoyta, kyld betongplatta, isolering, uppvärmd betongplatta, sand- och grusbotten och dränering, se figur 5. Skridskoytan byggs upp lager för lager genom att spola vatten i omgångar på den kylda betongplattan. Vattnet spolas i ca 0,8 mm tjocka lager och fryser nästan omedelbart när det träffar betongen och bildar basen för isytan. Det är först efter att några lager fryst som isen kan målas vit eller andra linjer och logotyper som önskas kan

läggas till. Det går åt mellan 45000 och 57000 liter vatten för att få till en ordentlig isyta och kan ta upp till fyra dagar för hela spolprocessen.

Isytan hålls vid rätt temperatur med hjälp av en köldbärare som pumpas genom rör som är ingjutna i betongplattan under isytan. Därefter kommer ett lager med isolering och en uppvärmd betongplatta. Detta förhindrar att marken under isen fryser vilket skulle kunna expandera och i värsta fall spräcka isen. Till sist är det ett lager med sand eller grus som har dränering för grundvatten.



*Figur 5: Schematisk bild av en isbanas uppbyggnad med dess olika lager.
(Chart Industries, 2023).*

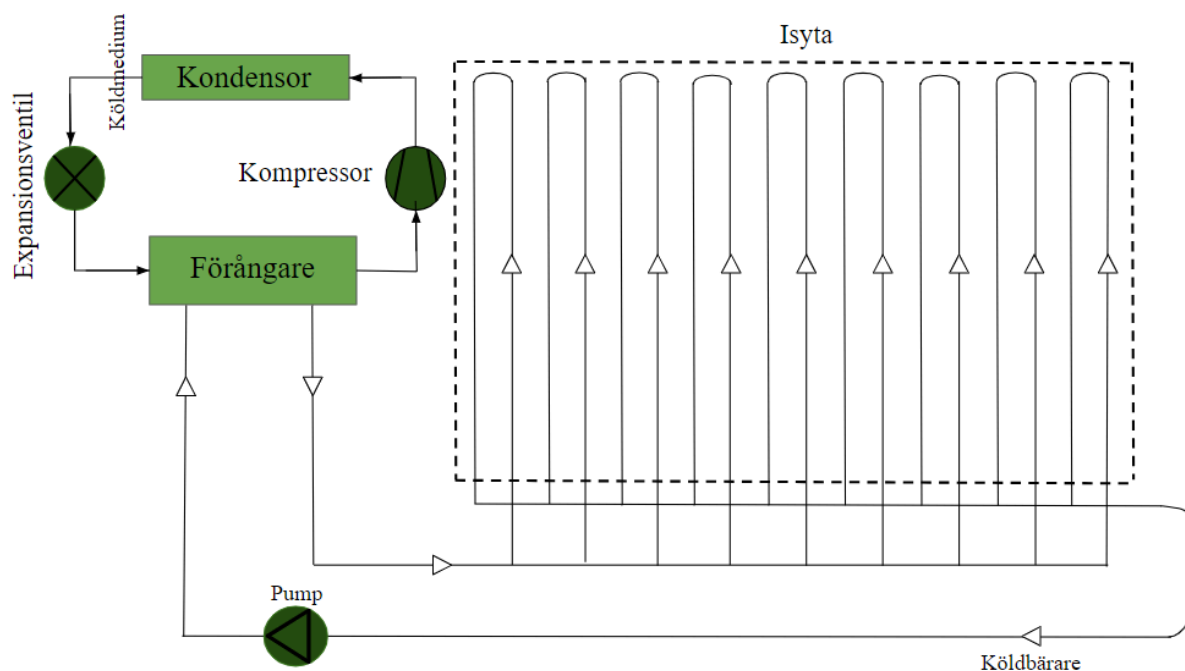
Denna beskrivning ger en överblick över hur en hockeyrink är uppbyggd som dessutom befinner sig inomhus. Med detta sagt, är det viktigt att notera att alla isbanor inte följer exakt samma struktur. Inomhusbanor kan skiljas markant från de traditionella inomhusbanorna. Utomhusbanor är ofta uppsatta i parker eller liknande och saknar vanligtvis de avancerade kylsystemen som finns i större inomhusanläggningar. Istället är de beroende av väderförhållanden för att hålla isen frusen. Dessutom saknar den oftast den uppvärmda betongplattan och den omfattande isoleringen som kontrollerar isens temperatur.

4.4.1. Kylsystem för isbanor

Kompressorkylaggregat är den vanligaste typen av kylsystem för både inom- och utomhusbanor. I *figur 6* visas hur en typisk kompressorkyld isbana är uppbyggd.

Idag används även absorptionskyla som ett nytt och mer hållbart sätt att kyla isbanor - oftast genom att nyttja spillvärme från exempelvis industrier. Båda systemen består av en förångare som tar upp värme från köldbäraren, en kondensator som avger värme och en komponent som driver systemet. I kompressorkylsystemet är komponenten en kompressor och i absorptionskylsystemet är det en cykel med absorbatör, generator och värmeväxlare.

Processerna beskrivs mer i detalj längre upp i rapporten, se avsnitt 4.3.1. respektive 4.3.2.



Figur 6: Översikt av en typisk kompressorkyld isbana.

Värmen överförs i förångaren från köldbäraren till köldmediet. Köldbäraren som nu är nerkyld fortsätter ut i banrören under isen för att ta upp värmen från isen och därmed kyla den. För att få till den optimala istemperaturen kan returtemperaturen användas som indikator på vilken effekt isbanan bör köras med. På så sätt tas samtliga faktorer som påverkar isens värmelast i beaktning så att den nödvändiga effekten kan regleras.

Överskottsvärmen från kondensorn, som genereras när köldmediet kyls ned, avges vanligtvis genom en köldmediekylare. Det finns även alternativa kylmetoder såsom kyltorn, sjövattnet eller smältvattnet från snö, antingen hämtat från omgivningen eller från skrapning av isbanan.

4.4.2. Banrör

Rören under isbanan, där köldbäraren cirkulerar, varierar i dimension beroende på typ av köldbärare och önskad effekt. De vanligaste typerna av rör är stål, koppar och polyeten. Användningen av stålrör kan resultera i högre utgående temperaturer jämfört med polyeten, vilket minskar elförbrukningen genom att mindre effekt behöver tillsättas. Dock är installationskostnaderna för stålrör högre då varje rör måste svetsas fast. Kopparrör används tillsammans med koldioxid som köldmedium och ger en hög värmeöverföringsförmåga, däremot har den en dyr installationskostnad. Polyetenrör är de vanligaste i Sverige då dessa är de billigaste. En stor nackdel med polyetenrör är att de ger en ineffektiv värmeöverföring och därmed en högre elförbrukning än stål- och kopparrör. Vid installation måste rörets dimensioner så som diameter, djup och täthet tas hänsyn till eftersom dessa faktorer har en stor inverkan på värmeöverföringsförmågan (Fröström & Lundblad, 2015).

4.4.3. Köldmedium

Köldmedium är det arbetsmedium som används i en kylprocess (NE, u.å.). Vilket köldmedium som används påverkar vilka tryck, temperaturer och flöden processen kan ha. Vilka material som kan användas i anläggningen påverkas också. I allmänhet delas köldmedier in i två kategorier; naturliga och syntetiska köldmedier. Generellt har de syntetiska köldmedierna bättre termodynamiska egenskaper, men de bidrar även i större utsträckning till växthuseffekten (Fröström & Lundblad, 2015). De syntetiska köldmedier som används går under namnet freoner och består av klorfluorkolväten och vätefluorkolföreningar. Eftersom det är känt att freoner påverkar stratosfärens halt av ozon, stryks syntetiska köldmedier som alternativ för en isbana i centrala Göteborg (NE, u.å.). De vanligaste naturliga köldmedierna som används för isbanor är ammoniak, NH_3 , och koldioxid, CO_2 . Ammoniak som köldmedium har flera fördelar varav den viktigaste är dess termodynamiska egenskaper som bidrar till en värmeöverföringsförmåga och det kan användas vid mycket låga temperaturer, ner till $-60^\circ C$ med en hög kritisk temperatur. Dessutom, är ammoniak ett relativt billigt köldmedium som inte påverkar miljön på ett negativt sätt. Vanligtvis används ammoniak som köldmedium i form av en vattenlösning som kallas för ammoniakvatten. Fördelen med ammoniakvatten är att det i princip är okänsligt för vilka koncentrationer som används. Nackdelen, å andra sidan, är effekterna som kan uppstå när människor exponeras. Det är både giftigt och lättantändligt, vilket kan innebära allvarliga risker vid läckage.

Koldioxid som naturligt köldmedium har många fördelar, trots sina dåliga termodynamiska egenskaper. En av de viktigaste egenskaperna är att det har ett lågt Global Warming Potential, GWP. GWP-värdet för ammoniak är 0 och GWP-värdet för koldioxid är 1. Utöver detta är koldioxid inte lättantändligt, reaktivt och inte heller giftigt. Vid ett byte till ett system med koldioxid som köldmedium från ett system med ammoniak som köldmedium sker en elbesparing på cirka 20 procent (Fröström & Lundblad, 2015).

4.4.4. Köldbärare

Är det medium, vanligtvis en vätska, som används för att transportera värme från det material eller område som behöver kylas till förångaren (NE, u.å.). I fallen för isbanor är köldbärarens uppgift att transportera värmen från isbanan till köldmediet så effektivt som möjligt.

Effektiviteten hos hur en fluid är som köldbärare kan baseras på olika egenskaper såsom viskositet, värmeledningsförmåga, specifik värme samt densitet. För att minimera den energi som krävs för att pumpa runt köldbäraren, bör viskositeten vara så låg som möjligt. En hög värmeledningsförmåga är viktig för snabb upptagning av värmeenergi med minimal temperaturdifferens. För att transportera bort värmeenergin är den specifika värmen och densiteten väsentlig för hur snabbt köldbäraren behöver strömma genom kylslingorna (Nilsson, u.å.)

Det finns idag olika typer av köldbärare som används i system hos isbanor. Det vanligaste är att ha vatten som bas tillsammans med minst ett ämne för att reglera exempelvis fryspunkten. De olika typerna av köldbärare som används mest är saltlösning, ammoniak löst i vatten, koldioxid samt kalciumklorid. De vanligaste är saltlösning samt ammoniakvatten. Se *tabell 1* för en överblick av olika köldbärare.

Tabell 1: Olika typer av köldbärare som används i kylsystem för isbanor.

	Viskositet [m ² /s]	Värmeledningsförmåga [W/m*K]	Specifik Värme [J/kg*K]	Densitet [kg/m ³]
Saltlösning		0.6		
CaCl ₂ -lösning	4.60*10 ⁻⁶	0.525	2 820	1245
Ammoniakvatten	3.03*10 ⁻⁶	0.438	4 245	942
CO ₂ (flytande)	0.126*10 ⁻⁶	0.122	2 290	983

4.4.5. Iskvalitet

För sporter likt hockey och bandy så krävs hårdare is vilket uppnås genom att öka effekten på kylanläggningen för att sänka temperaturen på den utgående köldbäraren. För fritidsåkning eller konståkning fungerar mjukare is bättre. Inomhusanläggningar sparar energi genom att sänka effekten på nätterna när anläggningen inte används.

Isens temperatur beror givetvis på dess användningsområde så någonstans mellan -2 och -5°C. För bandybanor är optimala temperaturer -2 till -3°C eftersom då blir det lägst motstånd mot skenan. Eftersom temperaturen ökar på grund av friktion vid användning, kan det krävas en lägre starttemperatur för att bibehålla den önskade temperaturen. För låga temperaturer kan däremot leda till högre energiförbrukning i kylsystemet men kan även leda till tjockare is än optimalt, där den ideala tjockleken är mellan 3 och 4 centimeter (Svenska Ishockeyförbundet, 2023).

4.4.6. Isbanans termodynamik

Kylbehovet för en utomhusisbana påverkas av många väderrelaterade faktorer där de viktigaste är omgivningens temperatur, solinstrålning, vindförhållanden, luftfuktighet och nederbörd. Utomhustemperaturen är en kritisk faktor då den antingen bidrar till att svalka isen - och i bästa fall frikyla - eller värma upp den. Solinstrålningens effekt på isbanan beror på isens förmåga att reflektera solens strålar. Den reflekterande andelen bestäms av isens reflektionskoefficient och den absorberade solenergin fås genom att multiplicera andelen solinstrålning med isens area (Fröström & Lundblad, 2015). Typ av luftflöde över isytan kan skapa luftströmmar som ökar turbulensen som i sin tur påverkar isens värmelast. Luftflöden kan vara antingen laminära eller turbulenta och påverkas av omgivande strukturer som byggnader och ytojämnheter. Vidare så spelar vindhastighet också stor roll, eftersom starka vindar ökar värmeförlusten eller värmeförseln till isen beroende på förhållandena. Även luftfuktighet påverkar isbanan genom avdunstning och kondensering, där mängden energi som krävs för fasövergången mellan is och vatten blir en viktig faktor att överväga. När det regnar kan regnvattnet smälta isytan vilket ökar kylbehovet.

För att beräkna värmelasten från dessa väderförhållanden på ett korrekt sätt så är det nödvändigt att använda beräkningsmetoder som tar hänsyn till alla ovanstående faktorer. På grund av tidsbegränsningen i denna studie så kommer enbart den omgivande lufttemperaturen att användas för att göra beräkningar av kylbehovet. Denna ansats förenklar processen men kan ge en mindre fullständig bild av de faktiska kylbehovet.

4.4.7. Energieffektivisering av isbanor

För att effektivisera energianvändningen på en isbana måste man först ha översiktsskoll på den nuvarande energiförbrukningen. På så sätt identifieras de delar av anläggningen som förbrukar mest energi. Idag är det främst kylsystemet som står för den större elförbrukningen än nödvändigt då kylsystemets effektnivå inte regleras automatiskt. För att förbättra energiförbrukningen kan man installera ett automatiskt och datoriserat regler- och styrsystem. Ett sådant system kan läsa av returtemperaturen på köldbäraren och justera kylkapaciteten baserat på det faktiska behovet, vilket kan leda till betydande energibesparingar. Utan ett automatiskt system krävs ständig närvaro av en drifttekniker för att manuellt justera systemet (J. Kosterhed, personlig kommunikation, 11 mars, 2024).

År 2008 hade Göteborg en bandybana i centrala stan men på grund av flera orsaker lades den ner 2019 (Risenfors, 2019). Bland annat var det flera läckage då plaströren låg väldigt ytligt och var känslig för yttre påverkan. Rören innehöll köldbäraren etylenglykol som är giftig och hälsofarlig. Dessutom var den dyr att driva energimässigt. Den använde sig av kompressorkyla och hade gynnats av effektiviseringen som nämns ovan. I denna studie däremot så utforskas det om absorptionskyla är den mest optimala effektiviseringen. Göteborg Energi nyttjar spillvärmerna från flera olika källor, inklusive Renova som är ett avfallskraftvärmeverk och lokala raffinaderier som ST1. Dessa anläggningar går på högvarv året om och kan alltså förse en utomhusisbana likaså. Absorptionskylsystem blir dessutom mer kostnadseffektiva per watt när temperaturen stiger. På somrarna när temperaturen kan gå

upp mot 30 grader blir det alltså billigare att driva isbanan då i varmare förhållanden blir den tillgängliga spillvärmern mer effektiv. För övrigt används inte spillvärmern till fjärrvärme för uppvärmning av staden lika mycket på sommaren vilket också lämnar mer värme till absorptionsmaskinen. Det är först när utomhustemperaturen lägger sig under 12 grader som spillvärmern inte räcker till. Då prioriteras fjärrvärme till kontor och hushåll och isbanan behöver därmed någon form av stöttning, förslagsvis av en liten kompressor som drivs av grön el (A. Strand, personlig kommunikation, 15 april, 2024).

4.5. Energianvändning hos dagens isbanor

I detta kapitel beskrivs fem olika anläggningar med isbanor i Sverige. Ruddalen och Skarpe Nord erbjöd studiebesök på plats medan de andra hade tillräckligt med information på nätet som kunde nyttjas. Studiebesöken var möjliga då båda låg i Göteborgsområdet. Resterande befann sig runt om i Stockholm. Alla anläggningar hade olika upplägg; utomhusbanor, inomhusbanor och en kombination av både och.

4.5.1. Ruddalens ishall

Ruddalens anläggning använder sig totalt av 1.3MW kyleffekt, okänt typ av kylsystem, och är uppdelad i tre sektioner: en bandybana, en skrinarbana och en ishockeybana. Informationen om hur mycket energi varje del av anläggningen upptar är för närvarande inte tillgänglig, vilket begränsar förmågan att specificera respektive kyleffekter.

4.5.2. Skarpe Nord

Fotbollsplanen Skarpe Nord som ligger i Kungälv spolats på vintersäsongen till en öppen bandybana på 110 x 65 meter. Den ligger strategiskt nära Nordre älv, bara knappt 300 meter bort, vilket möjliggör användning av älven som kylvatten för banans kompressorer. Anläggningen har en kylkapacitet som är designad för att hantera de varierande klimatförhållanden med en driftsäsong som oftast sträcker sig från november till februari. Kylsystemet består av två kretsar med en köldbärare och ett köldmedel. Köldbäraren består av en 25% brinelösning (saltlösning) och cirkulerar i långa rör under isen. Köldmediet innehåller ammoniak R717 som är känt för sin effektivitet för att snabbt sänka temperaturen. Anläggningen är konstruerad för att hantera ett maximalt drifttryck på 5 bar och har fyra kylkompressorer och tre pumpar som cirkulerar köldbäraren (P.Johansson, personlig kommunikation, 2024).

4.5.3. Vasaparkens isbana

I Vasaparken i centrala Stockholm anläggs en konstfrusen utomhusisbana varje vinter som är 40 x 63 kvadratmeter. Isbanan utnyttjar en kombinerad kylvärmepump och har en kompressoranläggning med en kyleffekt på 500 kW samt en värmepump på 930 kW. Anläggningens elförbrukning är cirka 60 MWh per månad för kylningen och lika mycket för

värmepumpen som används till att ta vara på spillvärmen. Under en säsong levererar värmepumpen 250 MWh värme till Fortum, vilket också är elleverantören till anläggningen.

Systemets effektivitet för kylning mätts i COP och ligger på 3,8 vilket innebär att för varje 130 kW el som förbrukas, produceras 500 kW kyla. Värmepumpens COP-värde är 3,3 vilket innebär att 275 kW el ger 930 kW värme. Anläggningen använder frikyla och stängs automatiskt när utomhustemperaturen ligger under -2. Drift och reglering av anläggningen baseras på manuella inställningar utifrån väderprognoser och aktuell utomhustemperatur (Fröström & Lundblad, 2015).

4.5.4. Eriksdals isbana

På vintrarna spolas Eriksdals bollplan till en konstfrusen isbana som är 80 x 50 kvadratmeter. Isbanan drivs av ett indirekt kylsystem bestående av en kompressorkylanläggning med två skruvkompressorer. I genomsnitt använder sig anläggningen av 170 MWh el per år, där säsongen pågår från november till slutet av februari.

Systemets maximala kyleffekt är 350 kW kyla och vid denna belastning är COP-värdet på 3,0, vilket ger det maximala effektbehovet cirka 117 kW (Fröström & Lundblad, 2015). Mer information var inte tillgängligt från Eriksdals isbana.

4.5.5. Tjustvallens isbana

Isbanan på Tjustvallen är i bruk varje år ungefär från i början av november till och med vecka 9. Hela kylda området är 115 x 65 kvadratmeter och cirka 6 till 7 centimeter tjock, trots den optimala istjockleken på 3 till 4 centimeter.

Isbanan kyls med kompressorkylprocessen som består av två kompressorkylaggregat med en total maximal eleffekt på 347 kW. Det är ett indirekt system uppdelat i två kretsar där köldmediet består av ammoniak och köldbäraren av kalciumkloridlösning. Isbanans tekniska information är uppdelad efter effektnivå, som i sin tur är beroende av utomhustemperaturerna. I *tabell 2* nedan visas den tekniska informationen för isbanan, för olika effektnivåer (Fröström & Lundblad, 2015).

Tabell 2: Teknisk information vid olika effektnivåer på Tjustvallens isbana för en övergripande förståelse.

Effektnivå [%]	25	50	75	100
Kyleffekt [kW]	458	750	1124	1526
Elförbrukning [kW]	145	197,6	266	347
COP	3,16	3,80	4,23	4,40

4.5.6 Isbanor

Informationen från alla isbanor var inte lika omfattande. Det hade varit fördelaktigt med information som inkluderade bland annat den totala elförbrukningen, vilket dels Ruddalens anläggning hade tillgängligt. Ruddalens elförbrukning för år 2023 visas i *figur 7*.

Period	2023 (MWh)
januari	335,4
februari	297,8
mars	294,2
april	286,1
maj	155,3
juni	88,2
juli	49,2
augusti	170,6
september	287,8
oktober	403,0
november	476,9
december	479,1
januari-mars	927,4
Tot:	3 323,8

Figur 7: Elförbrukning 2023 för Ruddalens idrottsanläggning.

Det var främst Skarpe Nord och Ruddalens anläggning som saknade tillräckligt med data för att inkluderas i beräkningar. De värden som hade varit bra att ha från dessa anläggningar hade varit bland annat dimensioner, kyleffekt, COP-värde.

4.6. Fjärrvärme och fjärrkyla

Fjärrvärme är ett modernt och effektivt system för uppvärmning och varmvatten till byggnader genom ett nätverk av olika steg. Vatten hettas upp genom förbränning av till största del förnybara och fossilfria bränslen. I Göteborg Energis fall tar de tillvara på överskottsvärme från lokala industrier som annars hade gått till spillo. Det heta vattnet skickas därefter ut i välisolerade rör under marken till hushåll, företag och andra verksamheter (Vattenfall, 2024). I varje byggnad som använder fjärrvärme finns det en värmecentral som är försedd med en värmeväxlare. Värmeväxlaren överför värmen till byggnadens egna värmesystem men inte själva vattnet. Alltså överförs enbart värmen och på så sätt får byggnaden varmvatten och varma element.

Vattnet från fjärrvärmesystemet, som numera är avkylt, leds sedan tillbaka till ursprungspunkten, värmecentralen. Där värms vattnet upp på nytt och fortsätter sin resa runt fjärrvärmesystemet (Vattenfall, 2024).

Fjärrkyla fungerar på liknande sätt men istället för varmt vatten som cirkulerar i rör så används kallt vatten. I denna studie används fjärrvärme för att driva en absorptionsmaskin som producerar kyla i form av fjärrkyla.

5. Resultat

5.1. Effektbehov för isbana i centrala Göteborg

För att beräkna kyleffekten för den önskade isbanan genomfördes beräkningar bakvänt med hjälp av tillgängliga värden från isbanorna på Eriksdal, Vasaparken och Tjustvallen. De specifika värdena från tidigare besökta isbanor i Göteborg kunde inte användas på grund av avsaknad av tillgängliga data. Temperaturskillnaden mellan isens optimala temperatur (-4°C) och den optimala omgivande temperaturen (2°C) var konsekvent 6°C för samtliga isbanor.

Initialt användes den angivna kyleffekten, arean och temperaturskillnaden från samtliga nämnda isbanor för att beräkna ett h-värde (värmeövergång), detta gjordes med formeln nedan (ekv. 1). Det antas att isoleringen underifrån isen är så pass bra att värmeledningen är försumbar. Separata h-värden erhöles för Vasaparken, Eriksdal och fyra olika effektnivåer på Tjustvallen.

$$h = Q/(A\Delta T) \quad [\text{Ekv. 1}]$$

$$Q = h\Delta T A$$

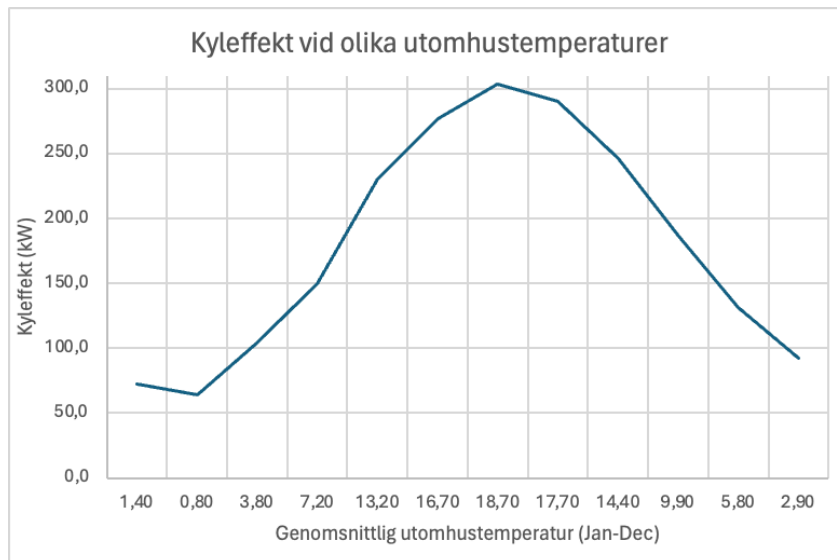
[Ekv. 2]

Ett medelvärde beräknades utifrån dessa h-värden och detta medelvärde användes sedan för att bestämma den önskade kyleffekten anpassad till den önskade isbanans storlek (20 x 30 kvadratmeter). Återigen, optimala temperaturer för både isen och omgivningen beaktades i beräkningen.

Eftersom behovet var att erhålla kyleffekten för flera olika temperaturer, gjordes ytterligare en analys. Medeltemperaturen för varje månad i Göteborg beaktades för att härleda kyleffekten för varje månad, detta kan ses i tabell 3. Denna metod baserades på medeltemperaturen för den specifika månaden, medan den optimala istemperaturen bibehölls konstant. Därmed kunde kyleffekten för varje månad erhållas, vilket möjliggjorde en mer omfattande förståelse av isbanans prestanda över årets olika temperaturer. Den totala kyleffekten för ett år blev 2147,5 kW. Det är även viktigt att inte bara beakta de direkta behoven hos isbanan utan också att ta hänsyn till förluster i systemet, variationer i väderförhållanden och den omgivande miljön samt att ha en viss säkerhetsmarginal för att säkerställa prestanda och flexibilitet. Vidare i avsnittet kommer kompressorer och absorptionsmaskiner diskuteras samt jämföras, både 2 MW och 3 MW maskiner kommer att tas upp.

Tabell 3: Medeltemperaturen i Göteborg respektive månad under 2023 (Vackert väder, u.å).

Månad	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Medel temp.	1,4	0,8	3,8	7,2	13,2	16,7	18,7	17,7	14,4	9,9	5,8	2,9



Figur 8: Behovet av kyleffekt beroende på olika utomhustemperaturer.

Om isbanan istället endast har öppet säsongvis, som vanligtvis är ungefär från början på november till slutet på februari, blir den totala kyleffekten per säsong och år cirka 360,0 kW, med samma tidigare beräknade värden.

5.2. Jämförelse med andra isbanor

I tabell 4 visas kyleffekten per kvadratmeter för de undersökta isbanorna baserat på medelförbrukningen i ett år. Samtliga värden är baserade på temperaturskillnaden på 6 grader. Även h-värdena för respektive isbana kan ses i *tabell 4*.

Tabell 4: Kyleffekt per kvadratmeter för respektive isbana samt motsvarande h-värden.

Isbana	Kyleffekt [kW/m²]	h-värde [W/m²]
Vasaparken	0,198	33,1
Eriksdal	0,0875	14,6
Tjustvallen (25%)	0,06127	10,2
Tjustvallen (50%)	0,1003	16,7
Tjustvallen (75%)	0,1504	25,1
Tjustvallen (100%)	0,2041	34,0
Centrala Göteborgs isbana	0,1338	22,3

Tabellen visar att kyleffektbehovet för den önskade isbanan är betydligt mycket högre än de andra isbanorna, detta beror endast på att kompressorer samt absorptionsmaskiner inte har tagits med i beräkningarna ännu.

5.3. Metod 1 - Kompressorkylprocess

Som tidigare nämnt är kompressorkylprocessen det mest använda kylsystemet för kylanläggningar, inklusive isbanor.

Fördelarna med kompressorkylprocessen är bland annat dess höga effektivitet, mindre utrymmeskrävande, bred tillämpning och snabbare återbetalningstid. Den breda tillämpningen menas att processen kan användas för både små och stora kylsystem och fungerar även effektivt över ett brett temperaturområde, vilket i sin tur leder till en hög effektivitet. Kompressorkylprocessen har vanligtvis mindre rörliga delar än absorptionskylprocessen och är mindre komplex vilket kan resultera i lägre driftskostnader med minskad risk för driftstopp. Slutligen, kräver kompressorkylprocessen vanligtvis mindre utrymme än absorptionskylprocessen vilket kan vara fördelaktigt i trånga utrymmen.

Kompressorkylprocessen inkluderar även nackdelar såsom högre energiförbrukning på grund av användningen av elektricitet som drivkraft, generering av högre bullernivåer på grund av dess rörliga delar som fläktar och kompressorer och känslighet för högre omgivande temperaturer, vilket i sin tur kan minska effektiviteten.

5.4. Metod 2 - Absorptionskylmaskin

Priset för absorptionskylmaskin (ABS) är högre än vad det är för kompressorkylprocessen. Trots att absorptionskylprocessen har en högre kostnad kommer den ändå med en rad fördelar då den utnyttjar spillvärme från fjärrvärmen, bland annat: kostnadseffektivitet, miljövänlighet samt stabilitet och tillgänglighet.

I och med att absorptionskylprocessen effektivt kan utnyttja spillvärme från fjärrvärmen, kan den totala miljöpåverkan minskas genom att minska behovet av att använda icke-förnybara energikällor. Användning av spillvärme som energikälla är även kostnadseffektivt då investeringar i ytterligare bränsle eller energiförsörjning inte behövs. Även driftkostnaderna kan minska i jämförelse med att köpa elektricitet för att driva kompressorkylprocessen. Likaså minskar koldioxidavtrycket när spillvärme utnyttjas och hela verksamhetens miljöpåverkan sjunker samtidigt som hållbarheten ökar. Tack vare spillvärmen från fjärrvärmen är det ett stabil försörjningssätt vilket medför stabilitet och tillgänglighet utan energibrist. Trots att kompressorkylprocessen vanligtvis har färre rörliga delar, är absorptionsprocessen mindre komplex när det kommer till utnyttjandet av termisk energi och för att generera kyla.

Systemet har sina nackdelar däremot. I jämförelse med kompressorkylprocessen är den vanligtvis en större storlek och vikt, vilket medför utmaningar i utrymmesbegränsade miljöer. Eftersom spillvärme från fjärrvärme kan vara en ojämn energikälla kan det påverka kylsystemets prestanda samt att systemet kan vara känsligt för driftstopp eller avbrott på grund av att systemet är beroende av en kontinuerlig tillförsel av värmeenergi. Absorptionsprocessen kräver samarbete och integration med fjärrvärmenätet, detta ansågs inte vara ett problem då tanken var att bygga upp banan i anslutning till fjärrvärmenätet. Även denna process använder el, trots detta tas det inte hänsyn till på grund av tidsbegränsning.

5.5. Metod 3 - Hybridkylsystem

En kombination av de båda kylsystemen i ett och samma system kallas oftast för ett hybridkylsystem. Fördelarna med hybridkylsystemet omfattar ökad flexibilitet i energikällor, optimerad effektivitet då styrkorna hos respektive teknik utnyttjas vilket också medför anpassningsbarhet till variationer i energibehov.

Trots absorptionens effektivitet så är den beroende av en kontinuerlig tillförsel av värme för att kunna generera kyla. Spillvärmen som nyttjas är begränsad så fort utomhustemperaturen sjunker under 12 grader då fjärrvärmesystemet prioriteras för att värma upp bostäder och kontor m.m. Detta leder till en minskad tillgänglighet av värme för att driva systemet. Det är här en kompressor som reserv blir en nödvändighet.

En kompressor som är med och stöttar är avgörande för att säkerställa oavbruten drift av isbanan. Under förhållanden, främst vid lägre omgivande temperaturer, där det finns tillräckligt med spillvärme för absorptionsprocessen men inte tillräckligt för att uppehålla det

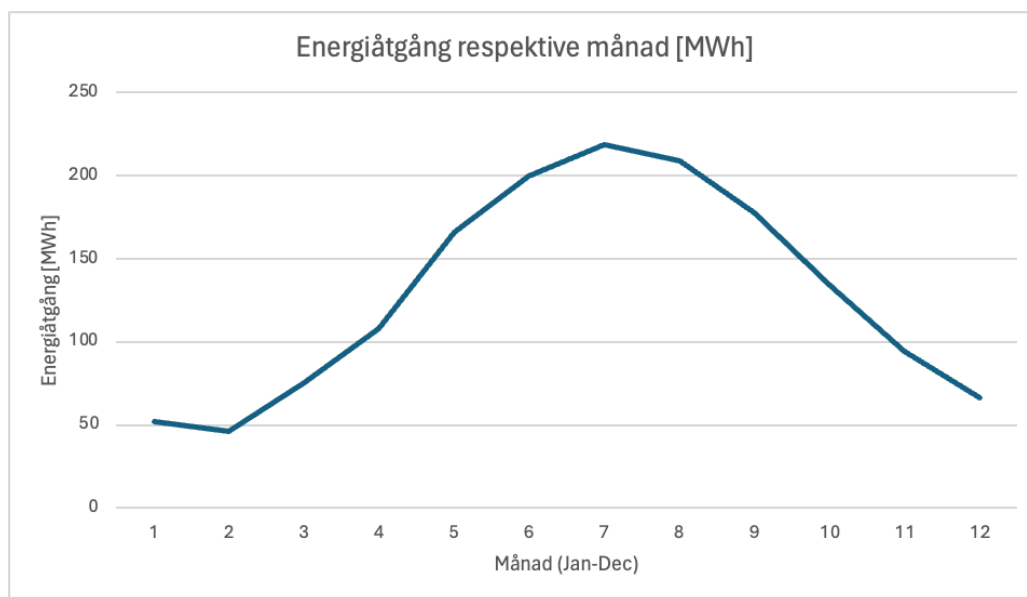
optimala kylbehovet, kan den köra och bidra med en stor del av kylkapaciteten. Kompressorn startas för att komplettera och uppnå den önskade totala kyleffekten. Dock kan kompressorn ta över kylningen helt och hållet i de fall där det inte alls finns spillvärme. Kompressorn drivs då på grön el från förnybara källor från sol-, vind- och vattenkraft. I värsta fall från värme pannor där pellets, ved och andra typer av bibränsleavfall förbränns.

För att effektivt integrera kompressorn i systemet måste ett automatiserat kontrollsystem användas som kan växla mellan absorptionskyla och kompressorn baserat på realtidsdata om spillvärmens tillgänglighet och utomhustemperatur.

Nackdelarna som följer med ett hybridkylsystem inkluderar ökad komplexitet vid design och underhåll, vilket kan resultera i högre kostnader för både drift och installation. Det faktum att systemet involverar två separata kylprocesser leder också till högre initiala investeringar och mer driftskostnader över tid. Ytterligare en aspekt är det utökade platsbehovet för installationen av ett hybridkylsystem, vilket kan vara avgörande för miljöer där det är utrymmesbegränsat.

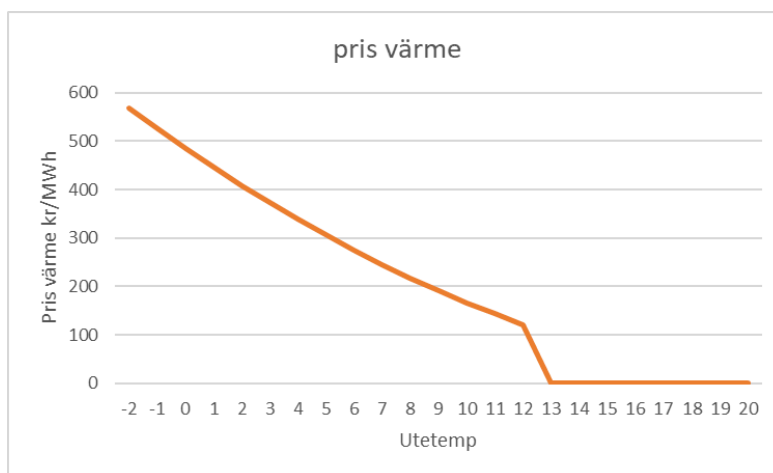
5.6. Energiåtgång samt kostnader

För att beräkna kostnaderna för den nödvändiga kyleffekten, undersöktes energiförbrukningen för varje månad tillsammans med medeltemperaturen under samma period. Denna data presenteras i *figur 9*.



Figur 9: Energiåtgång per månad

Priserna för värme enligt Göteborg Energi var för det mesta konfidentiellt, därav visas endast en kurva på ungefärliga priser enligt *figur 10*.



Figur 10: Ungefärliga priser på Göteborg Energi för fjärrvärme.
(A. Strand, personlig kommunikation, 6 maj, 2024)

När utomhustemperaturen överstiger 12 grader, kostar värme i princip noll kronor per kilowattimme. Alltså kommer elförbrukningen för månaderna maj till september antas vara kostnadsfri och därmed visas inte dessa i tabellen nedan.

Tabell 5: Sammanställning av energiåtgången per månad, priset per MWh samt totala priset per månad.

Månad	Energiåtgång/månad [MWh]	Pris/MWh [kr/MWh]	Totalpris [kr]
Januari	52,1	ca. 430	22 403
Februari	46,2	ca. 490	22 638
Mars	75,2	ca. 350	26 320
April	107,9	ca. 240	25 896
Oktober	133,9	ca. 170	22 768
November	94,4	ca. 290	27 376
December	66,5	ca. 380	25 270

Samtliga priser är baserade på de genomsnittliga utomhustemperaturerna per månad i Göteborg.

6. Diskussion

Denna studie utfördes på uppdrag av Göteborg Energi och Göteborg & Co för att undersöka förutsättningarna för att skapa en energieffektiv utomhusisbana i centrala Göteborg. Metoden för arbetet inkluderade en noggrann analys av tidigare dokumentation från isbanor, både utomhus och inomhus, samt en litteraturgranskning av befintliga system och tekniker för att utveckla miljövänliga energilösningar för isbanor. Genom datainsamling och analys av potentiella platser identifierades de geografiska förhållandena och de tillgängliga energiresurserna som inkluderade fjärrvärme samt fjärrkyla. Fokuset på studien låg på att besvara frågeställningar som omfattade minskad miljöpåverkan, etablering av isbanan under olika temperaturer och drift av isbanan med minimal miljöpåverkan genom integrering av det befintliga nätet för fjärrvärme och fjärrkyla.

Energieffektivisering var en av de centrala delarna i studien för att bidra till Sveriges miljömål och hållbara energisystem. Förändringar, främst tekniska, ledde till en minskning av energianvändningen som i sin tur ledde till ett lägre koldioxidutsläpp och ökad ekonomisk effektivitet. En annan central del av studien var kylsystem, för att kunna reglera temperaturen på isbanan med tekniker som kompressorkylning och absorptionskylning.

Resultaten anses vara rimliga i jämförelse med andra studier och deras resultat. Kyleffekt, energiåtgång per månad samt respektive kostnader beräknades för den aktuella isbanan, som visas i kapitel 5. En närmare analys av tabell 5 som redovisar energiförbrukning och kostnader för isbanan under vissa månader ger ytterligare insikter. Tabellen visar att energianvändningen och kostnaden varierar betydligt beroende på månad. Datan visar att kallare månader som februari kräver mindre energi för att upprätthålla isen jämfört med varmare månader som oktober. Däremot så gäller det för kallare månader att behovet för att kyla isen inte är lika pålitlig som under varmare månader. Detta beror på att utomhustemperaturen redan är låg vilket innebär att mindre energi krävs för att kyla isen till önskad temperatur. Trots den relativt låga energianvändningen så är priset per enhet, i detta fall fjärrvärme, högre. På motsatt sätt, under varmare månader behövs betydligt mer energi för att kyla isen tillräckligt för att bibehålla en användbar isyta. Även om det finns mer fjärrvärme att använda, kompenseras det av den större mängden energi som är nödvändig vilket leder till högre totala kostnader av isbanans drift.

Alltså, även om priset per enhet är lägre under varmare månader, överskuggas det av den höga energiförbrukningen vilket leder till att den totala kostnaden blir högre. Detta förklarar varför de totala kostnaderna för energi för isbanan är högst under varmare månader trots den stora tillgången till fjärrvärme, vilket är ett viktigt faktum att ta hänsyn till vid planering och budgetering av isbanans drift.

6.1. Val av kylprocess

För 2 MW installerad effekt kostar kompressorkylprocessen 8 miljoner kronor och för 3 MW installerad effekt är det 12 miljoner kronor. Detta ger oss ett pris på 4 000kr per kilowatt. COP-värdet för en elkompessor är 4 (A. Strand, personlig kommunikation, 24 april, 2024).

I jämförelse med kompressorkylprocessen kostar absorptionskylprocessen 12 respektive 18 miljoner för 2 respektive 3 MW kyleffekt. Det är alltså en ökning på 50% till skillnad från kompressorkylprocessen. Priset per kilowatt för ABS är 6 000kr per kilowatt. Det typiska COP-värdet för el i ABS-maskiner är 25 vilket motsvarar COP-värdet 0,5 för värme. (A. Strand, personlig kommunikation, 24 april, 2024).

Teoretiskt är ett hybridkylsystem det mest optimala valet för att de två olika kylsystemen kompletterar varandra på ett effektivt och hållbart vis samtidigt som att det är hög anpassningsbarhet med avseende på utomhustemperaturer och väderförhållanden. Dock, bör valet av metod för kylprocessen för isbanan baseras på en mer noggrann analys av de förhållanden och specifika behoven för platsen, exempelvis hur nära isbanan befinner sig i förhållande till fjärrvärmenätet. Kompressorkylsystemet är effektivt samt lätt att installera och underhålla, men har högre energiförbrukning och större miljöpåverkan. Absorptionskyla är mer kostnadseffektiv att driva och miljövänlig, dock har den högre initiala kostnader och kräver anslutning till fjärrvärmenätet. Hybridkylsystemet förenar fördelarna med båda metoderna men innebär högre komplexitet och kostnader.

Även i praktiken kan en hybridlösning vara det bästa valet för att säkerställa driftsäkerhet och flexibilitet, särskilt i regioner med tillgång till fjärrvärme. Dock måste de höga initiala kostnaderna och komplexiteten balanseras mot långsiktiga fördelar som lägre driftkostnader och förbättrad hållbarhet.

6.2. Jämförelse med andra isbanor

Som visat i 5.2, var det tydligt att de olika isbanorna hade olika kyleffekter per kvadratmeter samt olika h-värden, det är tydligt att dessa kan variera kraftigt beroende på geografisk placering, väderförhållanden och klimat. I kuststäder som Göteborg är luftfuktigheten generellt högre på grund av högre temperaturer, vindar och avdunstning. Kondens och fukt kan göra att ytorna runt isbanan blir halare, vilket i sin tur ökar risken för halkolyckor och kräver extra säkerhetsåtgärder. För att avlägsna kondens, kunna hantera den höga luftfuktigheten och upprätthålla en jämn yta krävs det ett högre energibehov, som innebär ökade initiala investeringar och driftkostnader. Klimatförhållandena i Göteborg innebär att kylsystemet för isbanan kräver noggrann planering och extra investeringar i både underhåll och avfuktning för att vara mer robust och anpassningsbar, för att bibehålla optimalt skick.

6.3. Metodologiska reflektioner

Studien hade flera begränsningar som påverkade dess omfattning och resultat. En avsevärd svaghet var att olika väderförhållanden såsom vind, regn och solinstrålning inte beaktades. Detta innebär att den praktiska påverkan av dessa faktorer på kyleffekt och energiförbrukning inte kunde analyseras, vilket kan ha lett till en mindre utförlig förståelse av systemets prestanda under olika klimatförhållanden.

Dessutom var tillgången till nödvändig information begränsad. Viss information kunde inte erhållas på grund av konfidentialitet, medan andra uppgifter inte fanns tillgängligt. Brist på denna data begränsade möjligheten att göra detaljerade och fullständiga lösningar. Framtida studier bör inkludera detaljerad data om väderförhållanden.

En styrka i studien var den teoretiska undersökningen av olika metoder, vilket möjliggjorde en bred förståelse för deras funktion och effektivitet. Detta bidrog till att bygga en bredare kunskapsbas om de olika kylmetoderna och deras tillämpningar. Studien betonade dessutom vikten av hållbarhet och förespråkade användningen av hållbara lösningar, vilket i sin tur är en central aspekt för framtida utveckling och implementering av kylsystem. Prioritering av hållbarhet bidrar till minskning av miljöpåverkan och främja långsiktiga, miljövänliga alternativ inom kylteknik.

En annan styrka med studien är att den ger Göteborg Energi en omfattande och detaljerad presentation av data och analyser. Detta gör det möjligt för dem att få en klar och omfattande översikt av all relevant information. Göteborg Energi kan noggrant bedöma de olika kylmetoderna samt deras specifika för- och nackdelar och utifrån det fatta välunderbyggda beslut och välja den mest lämpliga och effektiva lösningen för dem behov som de har.

7. Slutsats

Syftet med studien var att samla information om marknaden i dagsläget, med fokus på hållbarhetsaspekter. Utan en specificerad budget var det inte möjligt att fatta beslut om val av kylprocess eller att uppskatta kostnaden för ett hybridkylsystem. Därav begränsar studien till att presentera insamlad data samt insikter utan att erbjuda konkreta resultat. Den insamlade informationen inkluderar olika tekniska alternativ och deras potentiella för- och nackdelar ur ett hållbarhetsperspektiv. För specifika rekommendationer om kostnadseffektivitet samt genomförbarhet skulle ytterligare forskning med en specifik budget vara nödvändig. Även om studien inte kunde ge konkreta rekommendationer på grund av den bristande budgeten, så har den ändå bidragit med värdefull kunskap och insikter som kan vara till nytta för Göteborg Energi och Göteborg & Co i deras framtida planering och strategiarbete.

En av de stora fördelarna med studien är dess fokus på både ekonomiska och miljömässiga aspekter av kylsystemen. För att kunna fatta välgrundade beslut som balanserar intressen både kort- och långsiktiga samt skapa en holistisk förståelse för de olika alternativen, är det avgörande att väga kostnadseffektivitet mot miljöpåverkan. En annan viktig aspekt är behovet av att integrera hållbara energilösningar i kylsystemen för att minska deras miljöpåverkan. Genom att använda energikällor som fjärrkyla och fjärrvärme kan det reducera utsläppen av växthusgaser, på grund av återanvändningen av fjärrvärmens och cirkulariteten den skapar, speciellt under sommarmånaderna. Detta är inte bara fördelaktigt ur ett hållbarhetsperspektiv men även ekonomiskt genom att öka energieffektiviteten och minska driftskostnaderna.

Teoretiskt är den mest optimala metoden hybridkylsystemet, utan hänsyn till geografisk placering. Detta eftersom kombinationen av att absorption är mer hållbar men endast fungerar vid vissa temperaturer och att kompressorn kan fungera som reservsystem vid resterande temperaturer, ger ett väldigt pålitligt system.

8. Framtida studier

Nedan presenteras potentiella områden för framtida forskning och fördjupade studier som kan vidare förbättra arbetet. Dessa studier representerar områden som på grund av avgränsningar i arbetet och tidsbrist inte inkluderades. Genom att fokusera på dessa områden i framtida studier kan förståelsen för hur väderförhållanden påverkar isbanors kylbehov förbättras. Detta i sin tur kan leda till utvecklingen av mer hållbara och effektiva lösningar som anpassas efter olika klimat och miljöer.

8.1. Väderförhållanden

För att förbättra förståelsen av hur olika väderförhållanden påverkar isbanans energibehov och effektivitet kan det vara väsentligt att inkludera specifika väderförhållanden såsom temperatur, luftfuktighet, vindhastighet och solinstrålning. Detta kan genomföras med hjälp av fältstudier och experimentella mätningar vid olika isbanor med varierande geografiska och klimatmässiga förutsättningar. Analysen av denna data skulle bidra till en mer exakt bedömning av hur varje väderfaktor bidrar till det totala energibehovet.

Studier bör även undersöka hur kombinationer av dessa väderförhållanden påverkar isbanornas prestanda. Till exempel kan hög luftfuktighet i kombination med hög solinstrålning ha en annan effekt än om dessa faktorer inträffar var för sig. Mer detaljerade klimatmodeller leder till bättre förståelse över hur komplexa väderförhållanden interagerar och påverkar kylbehovet.

Dessutom skulle det vara värdefullt att undersöka kylmetoderna i förhållande till specifika väderförhållanden och de utmaningar som de medför. Det vore även upplyftande att inkludera aktörer såsom industriella partner och lokala myndigheter för att dels bidra till akademisk kunskap och dels leda till konkreta förbättringar i design och drift, vilket i sin tur kan förbättra energieffektiviteten och minska miljöpåverkan.

8.2. Väderskydd

Väderförhållanden har en stor påverkan på både kvaliteten och hållbarheten av isen på en utomhusisbana. Att försäkra isbanan med väderskydd är därför inte bara en fråga om att förlänga isens hållbarhet utan också om att effektivisera energianvändningen. Väderskyddet spelar en avgörande roll för att minska påverkan av solstrålning, vind och temperaturhopp för att hålla isen jämn och stabil. På så sätt behöver inte isen återfrysas vilket minskar energiförbrukningen hos kylanläggningen.

För mycket sol kan leda till att isen smälter eller blir mjuk. Ett skydd som blockerar direkt solljus skyddar isen från denna värmeexponering. Vid ökad vind ökar isbanans värmelast därför kan vindskydd placeras runt isbanan som till exempel en sarg.

8.3. Termodynamik

En utomhusisbana påverkas av olika värmeförluster av konvektion, strålning och konduktion. För att isen ska bibehålla en stabil kvalitet och temperatur under olika väderförhållanden är dessa tre mekanismer för värmeöverföring viktiga att ta hänsyn till.

Konvektion är den process där värme överförs vanligtvis genom rörelse av luft- eller vattenpartiklar. På en utomhusisbana kan luft cirkulera runt och ovanpå isen som gör att kylan från isen dras bort med vinden och att värme överförs till isytan som kan leda till smältning. Under varmare väderförhållanden, det vill säga vid plusgrader, kan värmeförluster från konvektion vara särskilt betydande. Som nämnt i tidigare kapitel, 8.1, kan detta fenomen minimeras genom att bland annat använda sig av något slags vindskydd eller skärmar.

Strålningen, också överföring av värmeenergi, sker i form av elektromagnetiska vågor. På en isbana kan detta innebära solstrålning som direkt värmer upp isens yta och därmed orsakar smältning. Detta betyder att oavsett utomhustemperatur, kommer solens strålar att smälta isens yta, trots att en isbana har en hög albedo, reflektionsförmåga, eftersom ytan är så pass ljusfärgad. Det finns olika åtgärder för detta fenomen, bland annat att placera isbanan under en mer skuggad del eller att använda sig ett skydd i form av ett tak för att blockera solens strålar.

Värme kan överföras från marken till isbanan om marken under isbanan är varmare än isen, detta fenomen kallas för konduktion. För att minimera värmeförluster genom konduktion kan isolering användas under isbanan, genom att skapa ett skikt mellan marken och isen minskar den direkta kontakten och överföringen (Y.A.Çengel et al., 2017). I rapporten har det antagits att ett sådant isoleringslager finns med men dock inte av vilket material det är gjort av och vad som är det mest optimala.

8.4. Investeringskostnader

I denna studie görs en generell ekonomisk översikt över olika kylprocesser för en isbana och hur dessa presterar vid olika utomhustemperaturer. En framtida studie kan fördjupa sig i de specifika kostnaderna som olika leverantörer kräver såsom installation och underhåll. Detta skulle ge en mer övergripande bild av de faktiska besparingarna över kylanläggningens livscykel.

Genom att analysera kostnaderna för bland annat initiala investeringar, långsiktig drift och underhåll av ABS och kompressorkylmaskiner, får man en bättre förståelse av de olika fördelarna de olika processerna har. En sådan analys skulle ge Göteborgs Energi och andra aktörer en mer konkret grund för att fatta beslut kring investeringar för en isbana.

8.5. Optimering av köldmedium

Köldmediet och köldbäraren har stor påverkan på hur mycket kyla som kan transporteras i systemet och har även en väldigt stor påverkan på miljön. När det kommer till ABS är valet av köldmedium begränsat till kombinationen av främst vatten och litiumbromid eller vatten och ammoniak. Begränsningarna beror på de specifika termodynamiska egenskaper som behövs för att driva en absorptionsprocessen. Trots begränsningen kan en djupare studie genomföras för att undersöka hur olika koncentrationer av dessa blandningar kan påverka systemet. Genom att justera mängden vatten med litiumbromid eller ammoniak kan man potentiellt förbättra kylkapaciteten och energieffektiviteten men även minska miljöpåverkan. Vidare hade en studie om användning av additiver eller andra komponenter kunna göras för att ytterligare förbättra systemet.

I fallet med kompressorkylmaskiner finns det större variationer i tillgängliga köldmedier och därmed fler möjligheter till förbättring. Kompressorkylmaskiner kan använda en del olika köldmedier bland annat traditionella fluorbaserade köldmedier som R-134a, R-410A men även mer miljövänliga alternativ som R-32 och naturliga köldmedier som propan (R-290) och koldioxid (R-744) (Mohammed, 2024), (Johnson, 2017), (Makhnatch, 2015), (Linde, u.å.), (Enrad, u.å.). Genom att undersöka olika alternativ kan man identifiera den mest effektiva kombinationen som balanserar prestanda, miljövänlighet och ekonomisk hållbarhet. Alla dessa köldmedier har olika egenskaper när det kommer till tryck, temperatur och miljöpåverkan vilket innebär att valet ska göras med hänsyn till dessa faktorer.

9. Referenser

- Boyce, M. P. (2012). Gas Turbine Engineering Handbook (Fourth Edition). Elsevier Inc.
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/absorption-system>
- Çengel, Y.A., Cimbala, J.M., Turner, R.H., (2017). *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences* (5 uppl.). McGraw Hill.
- Enrad. (u.å.). Allt du behöver veta om koldioxid R744.
<https://enrad.se/koldioxid-r744-allt-du-behoover-veta/>
- Fröström, L., Lundblad, T. (2015). Energieffektivisering av Tjustvallens bandybana. KTH, Skolan för Industriell Teknik och Management.
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:916721/FULLTEXT01.pdf>
- Gustafsson, I., Ohlin, M. (2015). Alternativa etanolbaserade köldbärare med korrosionsinhibitorer i bergvärmesystem. KTH, Skolan för Industriell Teknik och Management. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:840791/FULLTEXT01.pdf>
- Göteborg Energi (2023). Miljövärden för fjärrvärme.
<https://www.goteborgenergi.se/foretag/fjarrvarme/miljo-och-klimat>
- John, A., Refrigerant HQ. (2017). R-410A Refrigerant Frequently Asked Questions.
<https://refrigeranthq.com/r-410a-refrigerant-frequently-asked-questions/>
- Kungliga tekniska högskola (KTH). (2024). Ekonomisk hållbarhet.
<https://www.kth.se/om/miljo-hallbar-utveckling/utbildning-miljo-hallbar-utveckling/verktygslista/sustainable-development/ekonomisk-hallbarhet-1.431976>
- Linde. (u.å.). R290 (CARE 40) Propan.
https://www.linde-gas.se/sv/products_ren/refrigerants/natural_refrigerants/r290_care_propane/index.html
- Makhnatch, P., Kungliga tekniska högskola (KTH). (2015). Nya möjligheter för R32.
<https://www.energy.kth.se/sv/applied-thermodynamics/key-research-areas/heating-systems/low-gwp-news/nya-mojligheter-for-r32-1.575756>
- Mohammed, A., Refrigerants Center Inc. (2024). Understanding 134A refrigerant: Properties, uses, and environmental impact.
<https://refrigerantscenter.com/blogs/news/understanding-134a-refrigerant-properties-uses-and-environmental-impact>

Naturvårdsverket. (1 december 2023).

Energieffektivisering. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-energin/energieffektivisering/#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.naturvardsverket.se%2Famnesomraden%2Fklimatomstallningen%2Fomraden%2Fklimatet>

NE. Freoner. Nationalencyklopedin. Hämtad (2024-03-20)

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/freoner>

NE. Köldbärare. Nationalencyklopedin. Hämtad (2024-03-20)

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/k%C3%B6ldb%C3%A4rare>

NE. Köldmedium. Nationalencyklopedin. Hämtad (2024-03-20)

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/k%C3%B6ldmedium>

Nilsson, M. (Okänt datum). Produktutveckling av koncept för isbanesystem. Linköpings tekniska högskola. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:282916/FULLTEXT01.pdf>

Process Solution. Hämtad (2024-04-02).

<https://processsolutions.com/how-does-a-compression-refrigeration-system-work/>

Regeringen. (u.å.). Miljö och klimat. Regeringskansliet.

<https://www.regeringen.se/regeringens-politik/miljo-och-klimat/>

Risenfors, K. (2019). Hedens hälsofarliga isbana stänger för gott. Mitt i Göteborg.

<https://www.mitti.se/nyheter/hedens-halsofarliga-isbana-stanger-for-gott-6.96.22125.eec08fa7b9>

Svenska Ishockeyförbundet. (2023). Energieffektivisering ishallar. Ågrenshuset AB.

https://pdf.mediahandler.se/pdf/Energieffektivisering_ishallar/2/#zoom=true

Sveriges miljömål. (u.å.). Sveriges miljömål. <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/>

United Nations. (u.å.). What is the Paris Agreement?

<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

United Nations Development Programme (UNDP). (u.å.). Globala målen.

<https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/>

United Nations Development Programme (UNDP). (2017). Vad betyder hållbar utveckling?

Globala målen. <https://www.globalamalen.se/fragor-och-svar/vad-betyder-hallbar-utveckling/>

Vattenfall. (2024). Så fungerar fjärrvärme.

<https://www.vattenfall.se/fjarrvarme/sa-fungerar-fjarrvarme/>

Vackert väder. (u.å.). Göteborg - Väderstatistik och klimat månad för månad.
<https://www.vackertvader.se/g%C3%B6teborg/klimat-och-temperatur>

10. Appendix

Månad	Energiåtgång (MWh)
Jan	52,1
Feb	46,2
Mar	75,2
Apr	107,9
Maj	165,7
Jun	199,4
Jul	218,7
Aug	209
Sep	177,3
Okt	133,9
Nov	94,4
Dec	66,5

Månad	Kyleffekt (kW)
Jan	72,3
Feb	64,2
Mar	104,4
Apr	149,4
Maj	230,1
Jun	277
Jul	303,7
Aug	290,3
Sep	246,2
Okt	186
Nov	131,1

Dec	92,3
-----	------