



Jämförelse mellan lokal kylmaskin och fjärrkyla

Fallstudie på en befintlig byggnad i Helsingfors

Mathias Lunabba

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Energi- och miljöteknik
Identifikationsnummer:	8116
Författare:	Mathias Lunabba
Arbetets namn:	Jämförelse mellan lokal kylmaskin och fjärrkyla
Handledare (Arcada):	ing. (HYH) Niklas Wiik
Experthandledare (PQR):	ing. (HYH) Eetu Laaksonen
Uppdragsgivare:	Oy PQR Consult Ab
<p>Sammandrag:</p> <p>Kraven på ett svalt och bra inomhusklimat under sommarmånaderna har blivit viktigare för konsumenterna den senaste tiden och efterfrågan på komfortkylsystem i bostäder har ökat. Examensarbetet är en fallstudie för att hitta det mest ekonomiska och ändamålsenliga kylsystemet för en gammal magasinsbyggnad i det centrala Helsingfors som saneras till en modern bostads- och affärsbyggnad. Nedkylning planeras att ske med antingen fjärrkyla eller lokal kylmaskin. Teorin bakom båda metoderna presenteras kort i arbetets teoridel. Arbetet omfattar också en beräkning av det totala årliga energibehovet för åstadkommandet av kyla samt den effekt som behövs för att hålla husets bostäder och andra utrymmen tillräcklig svala under den hetaste sommarperioden. Kyleffekt- och kylenergiebehovet är simulerat med dynamiska simuleringsprogrammet IDA ICE. Den ekonomiska jämförelsen är gjord med nuvärdemetoden. Alla kostnader och utgifter samt även förluster av eventuella hyresinkomster räknas till nuvärdet för att göra alternativen jämförbara. Tidigare undersökningar har visat att fjärrkylan inte normalt kan konkurrera direkt med lokalt producerad kyla. I detta arbete tas hänsyn till byggnadens museala värden, vilket leder till att placeringen av kylmaskinen inte sker på ett så kallat traditionellt sätt. Uteblivna hyresinkomster har även en inverkan på resultatet. Hänsyn till hyran leder till att lösningen med fjärrkyla blir vettigare.</p>	
Nyckelord:	Fjärrkyla, kylmaskin, nuvärdemetod, IDA ICE, Oy PQR Consult Ab
Sidantal:	50
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	28.4.2021

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Energi- och miljöteknik
Identification number:	8116
Author:	Mathias Lunabba
Title:	Jämförelse mellan lokal kylmaskin och fjärrkyla
Supervisor (Arcada):	M.Sc. Niklas Wiik
Expert Supervisor (PQR):	M.Sc. Eetu Laaksonen
Commissioned by:	Oy PQR Consult Ab
<p>Abstract:</p> <p>The requirement for a cool and good indoor climate during the summer months has become more important to consumers, and thus we have seen an increased demand in household cooling systems. The degree thesis is a case study to find the most economical and efficient cooling system for an old building in central Helsinki which is converted into a modern residential and commercial building. Cooling is planned to take place with either a district cooling system or by implementing a cooling unit. The theory behind both methods is briefly presented in the theoretical part of the thesis. Additionally, the thesis includes calculations of the annual energy demand and the cooling capacity required to achieve a good indoor temperature during the summer months. The cooling power and cooling energy requirement is simulated with the dynamic simulation program IDA ICE. The economic comparison is made with the net present value method. All costs have been calculated at present value to make an economic comparison possible. Previous studies have shown that district cooling cannot normally compete directly with cooling produced with a cooling unit. In this thesis, the building's historical values are also taken into account, which affects the placement of the cooling unit. The result also takes into account lost rental income. By taking all these aspects into account, we conclude that a solution, with district cooling is more sensible than a cooling unit.</p>	
Keywords:	District cooling, refrigeration unit, net present value, IDA ICE, Oy PQR Consult Ab
Number of pages:	50
Language:	Swedish
Date of acceptance:	28.4.2021

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma: Energi- och miljöteknik	
Tunnistenumero:	8116
Tekijä:	Mathias Lunabba
Työn nimi:	Jämförelse mellan lokal kylmaskin och fjärrkyla
Työn ohjaaja (Arcada):	ins. (YAMK) Niklas Wiik
Työn ohjaaja (PQR):	ins. (YAMK) Eetu Laaksonen
Toimeksiantaja:	Oy PQR Consult Ab
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Kesäajan lämpötilatason ja sisäilman laatutason merkitys on nousut esiin kuluttajien näkökulmasta. Kysyntä huoneistokohtaisista jäähdytysjärjestelmistä on kasvanut ajan kanssa. Opinnäytetyö on tapaustutkimus jäähdytysjärjestelmän valinnasta referenssi kiinteistössä Helsingin keskustassa. Rakennuksen käyttötarkoitus muuttuu moderniksi asuin- ja liiketilarakennukseksi. Työn tarkoituksena on selvittää taloudellisin ja tehokkain jäähdytysjärjestelmä kyseiseen kiinteistöön. Jäähdytys suunnitellaan toteutettavaksi joko kaukojäähdytyksellä tai vedenjäähdytyskoneella. Teoriaosuudessa käsitellään molempien järjestelmien perusteet. Työ sisältää laskelmat vuotuisesta energiatarpeesta ja hyvän sisäilmalämpötilan saavuttamiseen tarvittava jäähdytysteho. Jäähdytystehon ja kulutettu jäähdytysenergian laskemiseen on käytetty dynaamista simulointiohjelmaa nimeltä IDA ICE. Taloudellinen vertailu on tehty nykyarvomenetelmällä. Kaikki kustannukset on laskettu nykyarvoon, jotta taloudellinen vertailu olisi mahdollista. Osa aikaisimmista tutkimuksista ovat osoittaneet, ettei kaukojäähdytys ei normaalisti kykene kilpailemaan vedenjäähdytyskoneen kanssa. Tässä työssä on nostettu esiin rakennuksen historialliset arvot, jotka ovat vaikuttaneet vedenjäähdytyskoneen sijoitteluun. Tuloksessa on myös huomioitu menetetyt vuokratulot. Kun nämä kaikki asiat huomioidaan tuloksessa, kaukojäähdytys on järkevämpi ratkaisu.</p>	
Avainsanat:	Kaukojäähdytys, Vedenjäähdytyskone, nykyarvomenetelmä, IDA ICE, Oy PQR Consult Ab
Sivumäärä:	50
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	28.4.2021

INNEHÅLL

1	Introduktion.....	9
1.1	Bakgrund	9
1.2	Syfte och metod.....	9
1.3	Frågeställningar och hypoteser	10
1.4	Avgränsningar	10
1.5	Teoretisk referensram	11
1.6	Struktur	11
2	Kylteknik.....	12
2.1	Kylteknikens grunder	12
2.2	log p, h-diagram.....	15
2.3	Direktverkande och indirektverkande kylsystem	17
2.4	Olika metoder att kyla ner fastigheter.....	18
2.4.1	<i>Kylmaskin</i>	18
2.4.2	<i>Fjärrkyla</i>	21
2.5	Kylsystem i fastigheter	24
2.6	Kylbehov	25
2.7	Kylenergibehov	29
3	Lönsamhetsberäkning.....	33
4	Fallstudie.....	34
4.1	Kyleffekt- och kylenergibehovet	35
4.2	Utgångsvärden för den ekonomiska jämförelsen	36
4.3	Olika metoder för nedkylning.....	37
4.4	Kyleffekt- och kylenergibehovets resultat.....	38
4.5	Ekonomiska beräkningars resultat	40
5	Diskussion och slutsats	45
	Källor	47
	Figurer och tabeller	49

Figurer

Figur 1. Kylanläggningens huvudkomponenter, figuren utgår från Hakala. & Kaappolas 2019 modell.....	12
Figur 2. Skiss på log p, h-diagram (Nydal 2007)	15
Figur 3. Teoretiska kylprocessen i ett log p, h-diagram, figuren utgår från Hakala. & Kaappolas 2019 modell	16
Figur 4. Praktiska kylprocessen i ett log p, h-diagram, figuren utgår från Hakala. & Kaappolas 2019 modell	17
Figur 5. Skiss på hur en vätskekyld kylmaskin är kopplad	20
Figur 6. Kylmaskin kopplad till ventilationsaggregatets kylbatteri (Aittomäki 2012) ..	21
Figur 7. Fjärrkylas försäljningseffekt och anslutningseffekt (Wilhelms 2020).....	22
Figur 8. Fjärrkylaproduktionen i Finland år 2019 (Wilhelms 2020).....	23
Figur 9. Kopplingschema på hur fjärrkylan är ansluten till byggnaden.....	24
Figur 10. Skiss på hur ett kylbatteri och en fläktkonvektor är kopplade.....	25
Figur 11. Principskiss över ett kylsystem (Finlands byggbestämmelsesamling D5 2012)	29
Figur 12. Simuleringsmodellen av referensbyggnaden från söder	35
Figur 13. Kylenergiförbrukningen under ett år	38
Figur 14. Rumstemperaturer i den varmaste bostaden	39
Figur 15. Kostnadsutveckling under åren med 3 % ränta	44

Tabeller

Tabell 1. Installationsvärden för rumstemperatur och ventilationsvolym under användningstid (Miljöministeriets förordning om nya byggnaders energiprestanda 1010/2017).....	26
Tabell 2. Standardanvändning av byggnader och interna värmelaster per uppvärmd nettoarea (Finlands byggbestämmelsesamling D3 2012).....	28
Tabell 3. Riktgivande värden för kylsystems förlustkoefficienter (Finlands byggbestämmelsesamling D5 2012 s. 60)	30
Tabell 4. Årliga köldfaktorer för alstring av kylenergi (Finlands byggbestämmelsesamling 2012 s.60).....	32

Tabell 5. Elförbrukningskoefficienter för kylsystemets tillbehör (Finlands byggbestämmelsesamling D5 2012 s.61)	33
Tabell 6. Utgångsvärden för ekonomiska beräkningarna	42
Tabell 7. Totala kostnader för kylmaskin	42
Tabell 8. Totala kostnader för fjärrkyla	43
Tabell 9. Resultatet från ekonomiska beräkningarna	43
Tabell 10. Kostnader under 60 år med olik ränta	44

Definitioner och terminologi

Entropi	Mått på ett systems värme (mängd värmeenergi) per grad Kelvin som är tillgänglig för arbete
Entalpi	Summan av systemets inre energi och produkten av systemets tryck och volym
G-värde	Total genomtränglighet av solenergi genom fönster, anges i procent
Frikyla	Utnyttjande av sval uteluftstemperatur eller fri energikälla för kyländamål
Sopimusteho	Anslutningseffekt
Myynti	Försäljning
Lämpöpumppu	Värmepump
Vapaajäähdytys	Frikyla
Kompressori	Kompressor
Absorptio	Absorption
Tuotanto	Produktion

FÖRORD

Denna utredning har gjorts som examensarbete för mina studier vid utbildningsprogrammet Energi- och miljöteknik vid Yrkeshögskolan Arcada i Helsingfors. Utredningen består av en jämförelse mellan lokal kylmaskin och fjärrkyla och förslag till hur kylningen kunde förverkligas i min arbetsgivares Oy PQR Consult Ab:s projekt gällande sanering av en befintlig byggnad i Helsingfors. Saneringen går ut på att göra huset till ett modernt bostads- och affärsutrymme. Avsikten är att också generellt hitta ett optimalt kylsystem för motsvarande fastigheter i tätt bebyggda stadscentrum, där anläggningens ekonomi, funktionsduglighet, drift- och miljöhänsyn har högsta prioritet. Tätt bebyggda områden där de befintliga byggnaderna måste behandlas med skonsamhet sätter gränser för utrymmen som kan reserveras för olika anläggningar.

Denna undersökning har biståtts av följande sakkunniga:

- Personlig handledare ing. (HYH) Niklas Wiik
- Experthandledare ing. (HYH) Eetu Laaksonen

Min farfar teknologie licentiat Torsten Lunabba har bistått med korrekturläsning. Jag vill rikta ett varmt tack till alla som uppmuntrat och stött mig under arbetet.

I Helsingfors den 28.4.2021



Mathias Lunabba

1 INTRODUKTION

1.1 Bakgrund

Konsumenternas krav på bra inomhusklimat och innetemperatur har ökat under de senaste årtiondena. Detta har lett till att kylbehovet har ökat i både befintliga och i nya byggnader. Kraven på minskad energiförbrukning och målet att minska utsläpp leder till att kylan skall produceras på ett effektivt och miljövänligt sätt. Dessutom måste man sätta tyngdpunkten på förnybara och koldioxidutsläppsfria energikällor. I Finland har det funnits kylsystem i kommersiella och offentliga byggnader sedan länge. De senaste somrarnas värmeböljor har ökat efterfrågan på kylsystem i bostadshus. Enligt olika prognoser kommer kylans efterfrågan att öka med ca. 2 % årligen fram till år 2030 (Laitinen 2016 s. 3–4).

1.2 Syfte och metod

Syftet med detta examensarbete är att få svar på frågan vilket som skulle vara det ändamålsenliga och ekonomiska sättet att producera kyla för en befintlig byggnad, som skall genomgå en fullständig sanering och som befinner sig i centrala Helsingfors.

Metoden går ut på att göra en preliminär planering av en anläggning med lokal kylmaskin och ett system som bygger på fjärrkylning. Fjärrkyla vore ett för fastigheten bekvämt sätt att kyla ner huset. Den tar lite utrymme och den är i praktiken ljudlös. Förmodligen kan den också betraktas som miljövänlig. Tyvärr är anslutningsavgifterna och årsavgifterna för fjärrkyla så höga att denna kylning normalt inte konkurrerar med lokalt producerad kyla.

Kylbehovet har beräknats på basis av anvisningarna i Finlands byggbestämmelsesamling.

1.3 Frågeställningar och hypoteser

För fastighetsägaren är det viktigt att hitta en ekonomisk helhetslösning för nedkylning. I denna utredning jämförs två alternativa lösningars totalkostnader, där anskaffnings-, avskrivnings-, ränte-, drift- och underhållskostnader samt inflationskostnader ingår. I kostnaderna ingår dessutom anslutningsavgifter, årsavgifter och energikostnader. Anskaffningskostnaderna baserar sig på preliminära anbud. Vid fjärrkyla är anslutningsavgifterna samt årsavgifterna inte helt fastslagna. Därför är prissättningen här uppskattad enligt de värden som har använts vid tidigare jämförelser.

Förutom ovanstående ekonomiska utvärderingar bör man vid jämförelse ta i beaktande värden, som inte går att prissätta. Det är då fråga om husets egna värderingar som man av etiska och prestigeskäl vill ha med i jämförelsen.

Som icke prissatta jämförelsegrunder finns bland annat det att den egna kylmaskinen och fjärrkylan har sina egna funktionella för- och nackdelar. Vid kylmaskin är fördelarna den att husbolaget är oberoende av energileverantörens prissättning och driftsstörningar. Nackdelen är utrymmesbehovet och ljudproblemen. Nackdelen med fjärrkyla är främst de höga och oförutsägbara energi- och anslutningskostnaderna samt årsavgifterna.

1.4 Avgränsningar

Arbetet fokuserar på produktionen av komfortkylan med hjälp av egen kylmaskin eller med fjärrkyla. Markkyla används inte som alternativ eftersom byggnaden befinner sig i centrala Helsingfors och borrhålet av borrhål är inte möjligt.

Kylan transporteras från kylmaskinen eller fjärrkylaanläggningen till byggnadens olika utrymmen via fastighetens egna nätverk. Eftersom dessa distributionssystem inte beror på huruvida huset har egen kylmaskin eller fjärrkyla, lämnas denna utrustning obeaktad i jämförelsen.

1.5 Teoretisk referensram

Motsvarande undersökningar har gjorts tidigare. Den som ligger närmast detta examensarbete är:

Otto Mutanen, Toimistorakennuksen energiatehokas jäähdytys, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2017.

I denna studie jämförs olika kylsystem för kontorsbyggnader. För kylmaskin var investeringskostnaderna de mest betydande. Kostnaderna för energi under 10 år var bara ca 30 % av investeringskostnaderna och kostnader för service ca 10 %. Kostnaderna för fjärrkyla visade sig vara under en 10 års period ca 3 gånger högre än för en kylmaskin. Vid jämförelse av koldioxidutsläpp visade sig kylmaskinen vara klart miljövänligare än fjärrkyla. Koldioxidutsläppen för fjärrkylan har i Otto Mutanens arbete räknats på samma sätt som i energiproduktion i allmänhet utan att ta hänsyn till att det är fråga om spillenergi, som man annars inte skulle ta till vara. Fjärrkylan kunde konkurrera med egen kylmaskin bara om anslutningsavgiften och årsavgiften sänktes med ca 75 %.

1.6 Struktur

Teoridelen omfattar först kylteknikens grunder. I detta arbete beskrivs kylprocessen, det vill säga teorin bakom kylmaskiner. Efter detta ingår en kort redogörelse för hur en kylmaskin och fjärrkyla fungerar.

Husets kylbehov räknas enligt Finlands byggbestämmelsesamling (*Miljöministeriets förordning om nya byggnaders energiprestanda 1010/2017*), vilka är beskrivna i ett eget kapitel. Den erforderliga kyleffekten i detta hus samt årlig energiförbrukning räknas via en simulering, där också husets exponering för solstrålning och inre värmebelastning i husets olika utrymmen kan beaktas.

Kostnaderna för egen maskin och fjärrkyla beräknas under förloppet av 15 och 60 år så att en jämförelse med nuvärdet blir möjligt. De för- och nackdelar man inte kunnat ta med

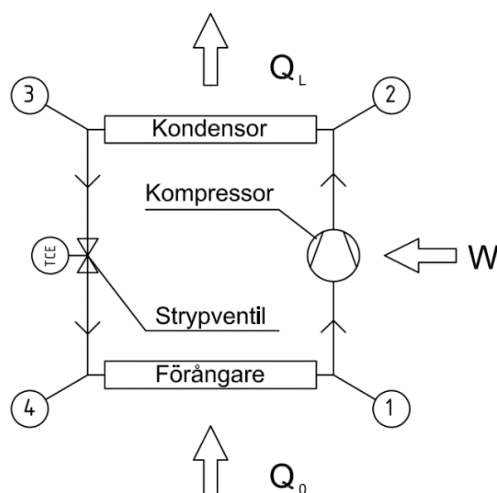
i kostnadsberäkningarna behandlas i en diskussionsdel. Resultat som helhet behandlas som en slutsats där också en rekommendation för fortsatta åtgärder ingår.

2 KYLTEKNIK

I början av detta kapitel behandlas kylteknikens grunder. Efter detta beskrivs hur man avläser log p-h diagrammet samt hur man kan se avvikelserna mellan den teoretiska och verkliga kylprocessen. Grunderna för hur nedkylning åstadkoms med fjärrkyla och kylmaskin behandlas även i detta kapitel. I slutet av detta kapitel finns en genomgång av grunderna för beräkning kyl- och kylenenergiebehovet.

2.1 Kylteknikens grunder

I den kyltekniska processen överförs värme från en lägre temperaturnivå till en högre temperaturnivå med hjälp av externt mekaniskt arbete. Processen baserar sig på att ett köldmedium förångas och kondenseras under olika tryck (Kaappola 2020 s. 17). Huvudkomponenterna i en kylanläggning är förångare, kompressor, kondensor och expansionsventil (stryppdon). Den sistnämnda är vanligtvis en expansionsventil eller reglerventil (Hakala & Kaappola 2019 s. 10). I Figur 1 framkommer var de olika komponenterna befinner sig i kylanläggningen.



Figur 1. Kylanläggningens huvudkomponenter, figuren utgår från Hakala. & Kaappolas 2019 modell

Figur 1 visar principen för en kylprocess. Köldmediet sugs till kompressorn i ångform. Kompressorn komprimerar ångan under konstant entropi till ett högt tryck och köldmediet blir en överhettad ånga. Från kompressorn förs den överhettade ångan till kondensorn där värmen överförs från köldmediet till omgivningen, vilket leder till att ångan kondenseras under konstant tryck. Efter det förs köldmediet i vätskeform till expansionsventilen där trycket minskar, som leder till att köldmediet kyls ner och blir en blandning av ånga och vätska. Från expansionsventilen förs blandningen av ånga och vätska till förångaren där blandningen förångas och processen börjar om från början (Shore 2014 s.12–13).

Processen som sker reversibelt och idealiskt utan förluster kallas Carnot-processen. Formel 1 och 2 definierar den teoretiskt högsta möjliga verkningsgraden för en Carnot-maskin, som inte går att överskrida. Verkningsgraden blir bättre då förångningstemperaturen är så hög som möjligt och kondenseringstemperaturen är så låg som möjligt, temperaturerna ska vara givna i enheten kelvin (K). Teoretiskt högsta möjliga värmefaktorn φ_{Carnot} beräknas med formel 1, högsta möjliga köldfaktorn ε_{Carnot} beräknas med formel 2 (Kaappola 2020 s. 230–232).

$$\varphi_{Carnot} = \frac{T_L}{T_L - T_0} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{Carnot} = \frac{T_0}{T_L - T_0} \quad (2)$$

där

ε_{Carnot}	teoretiskt högsta köldfaktorn	(-)
φ_{Carnot}	teoretiskt högsta värmefaktor	(-)
T_L	kondenseringstemperaturen	(K)
T_0	förångningstemperaturen	(K)

I praktiken är verkningsgraden betydligt sämre än den teoretiskt högsta möjliga verkningsgraden på grund av praktiskt orealiserbara teoretiska antaganden i Carnot-processen (Kaappola 2020 s. 232).

För att beskriva effektiviteten för en kylmaskin i praktiken används benämningen EER (Energy Efficiency Ratio) eller med andra ord köldfaktorn ε . På ett motsvarande sätt beskrivs en värmepumps effektivitet med COP (Coefficient Of Performance) eller med andra ord värmefaktorn φ . (Sandberg 2014a s. 247). Värmepumpens värmefaktor φ beräknas med formel 3 och kylmaskinens köldfaktor ε med formel 4.

$$\varphi = \frac{Q_L}{W} \quad (3)$$

där

φ	värmefaktor
Q_L	värmen frigjord av kondensorn
W	kompressorns utförda arbete

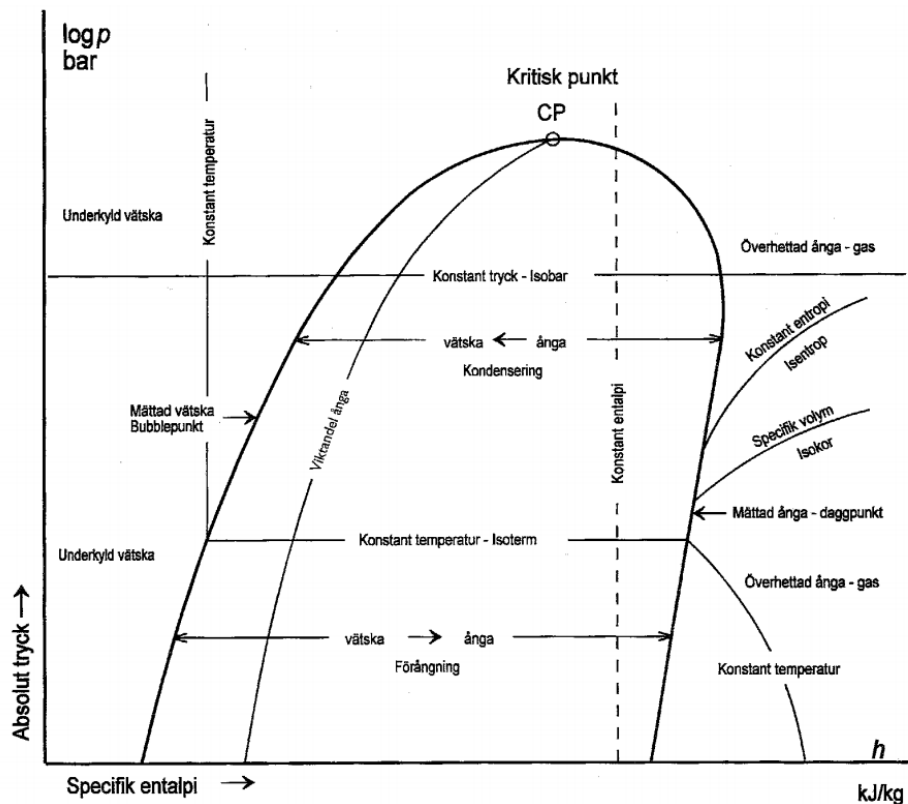
$$\varepsilon = \frac{Q_0}{W} \quad (4)$$

där

ε	köldfaktor
Q_0	värmen bunden av förångaren
W	kompressorns utförda arbete

I dagens läge anges verkningsgraden som genomsnittlig värmefaktor och köldfaktor under ett helt års drift. Vilket innebär att energieffektiviteten mäts för en period under ett år. Denna metod ger en mer realistisk bild av verkningsgraden. SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) används för att beskriva en värmepumps effektivitet. SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) används för att beskriva en kylmaskins effektivitet (Daikin).

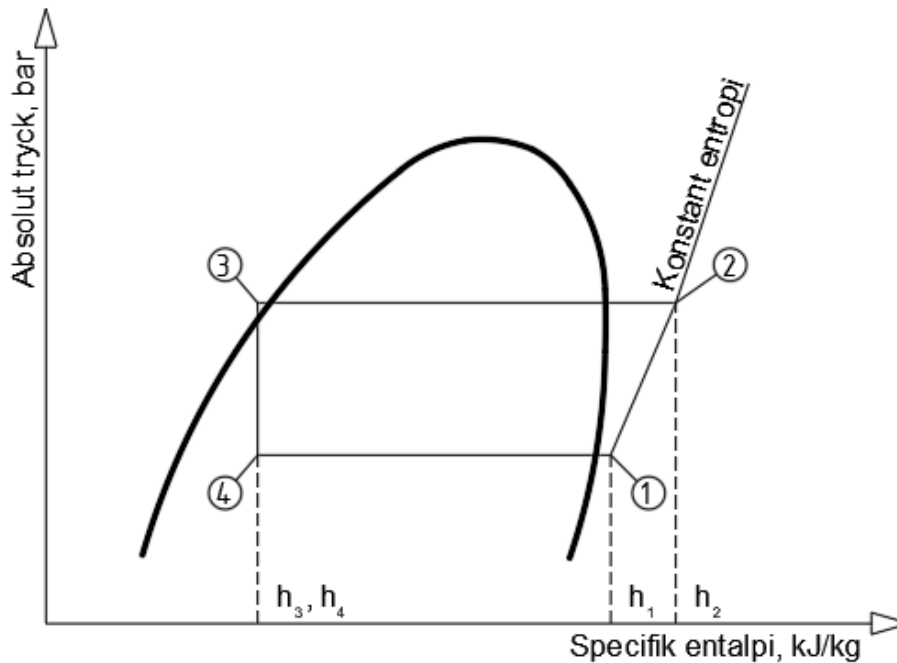
2.2 log p, h-diagram



Figur 2. Skiss på log p, h-diagram (Nydal 2007)

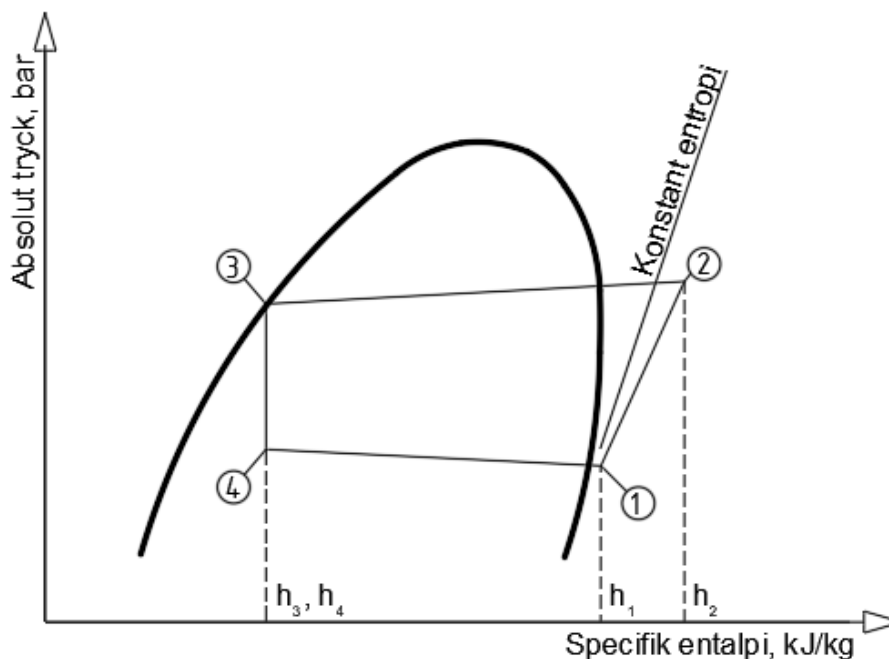
För att kunna beskriva kylprocessen i ett diagram används ett logaritmiskt tryck-entalpidiagram (log p-h diagram). Figur 2 visar en skiss av hur ett log p-h diagram fungerar, det absoluta trycket avläses från den lodräta logaritmiska axeln medan den specifika entalpin avläses från den vågräta axeln. Diagrammet är delat i tre delar som skiljs av kurvan för mättad vätska och mättad ånga. Den vänstra sidan av kurvan för mättad vätska är det underkylda området. Högra sidan av kurvan för mättad ånga är det överhettade området.

Mellan dessa två kurvor uppstår en ång-vätskeblandning var köldmediet ändrar form från vätska till ånga. Kurvan inne i detta område visar ångans viktandel (Nydal 2007 s. 55).



Figur 3. Teoretiska kylprocessen i ett log p , h -diagram, figuren utgår från Hakala. & Kaappolas 2019 modell

Figur 3 visar hur kylprocessen ser ut i ett log p - h diagram i teorin. Köldmediet förångas under konstant tryck samt överhettas mellan punkterna 4–1. Kompressionen sker isentropiskt dvs. med konstant entropi mellan punkterna 1–2. Mellan punkterna 2–3 upphör överhettningen och ångan kondenseras under konstant tryck. Till slut underkyls vätskan. Trycket minskar under konstant entalpi vilket leder till att blandningens temperatur sjunker mellan punkt 3–4. Från Figur 3 kan vi avläsa förångarens kapacitet att binda värme Q_0 från $h_4 - h_1$. Kompressorns utförda arbete W från $h_1 - h_2$ samt värmen frigjord av kondensorn Q_L från $h_2 - h_3$ (Hakala & Kaappola 2019 s. 10–12).



Figur 4. Praktiska kylprocessen i ett log p , h -diagram, figuren utgår från Hakala & Kaappolas 2019 modell

I praktiken påverkar olika förluster den kyltekniska processen, vilket leder till avvikelser jämfört med den teoretiska processen, figur 4 beskriver kylprocessen i praktiken. Kompressionen mellan $h_1 - h_2$ följer inte den idealiska kurvan för konstant entropi. Detta förklaras med att det förekommer tryckförluster i kompressorns ventiler och av värmeförluster under kompressionen. Entalpiskillnaden mellan punkterna 2 och 1 är större jämfört med entalpi skillnaden för konstant entropi och därför blir energiförbrukningen större i praktiken. Under kondenseringen $h_2 - h_3$ och förångningen $h_4 - h_1$ förekommer det tryckförluster som leder till att förångningen och kondenseringen inte sker under konstant tryck (Kaappola 2020 s. 29–30).

2.3 Direktverkande och indirektverkande kylsystem

Kylsystem kan vara direktverkande system (en luftkyld kylmaskin med luftkyld kondensator) eller indirekta system (vätskekylt vätskekylaggregat eller luftkyld vätskekylaggregat). Ett exempel på direktverkande system är luft-luftvärmepumpar, med vilka det är möjligt att både kyla ner och värma upp utrymmet. I direktverkande system är förångaren placerad i utrymmet som skall kylas och kompressorn och kondensorn finns

i en och samma enhet utomhus. Denna typ av anläggningar kallas även för split-system. Direkta system är oftast förmånliga då de inte kräver någon skild värmeväxlare eller pumpgrupper. Dessutom är de relativt energisnåla. Nackdelarna med dessa system är eventuella ljudproblem både inomhus och utomhus samt att användningen av frikyla inte är möjligt (Laitinen 2016 s. 4–5).

I indirekta system överförs värmen via ett kylbatteri i utrymmet till en kylvätska som cirkulerar i fastighetens nätverk och därefter via en värmeväxlare till kylmaskinens förångare (Aittomäki 2012 s. 270). Indirekta system används då systemen är större och avstånden är längre. Systemen är lättare att utvidga i efterhand men är oftast dyrare och energianvändningen är större. Användningen av frikyla är möjligt i indirekta system (Sandberg 2014a s. 244). Värmen som bildas i kondensorn överförs antingen till luften, vatten (hav eller sjö) eller till ett värmeåtervinningssystem (Laitinen 2016 s. 5). Kondensorn kan vara på ett motsvarande sätt indirekt eller direkt (Hakala & Kaappola 2019 s. 51).

2.4 Olika metoder att kyla ner fastigheter

Största delen av fastigheter har kylsystem, där köldbäraren är vatten. Det kalla vattnet går att produceras på olika sätt. I detta kapitel behandlas produktionen av kyla med kylmaskin och med fjärrkyla.

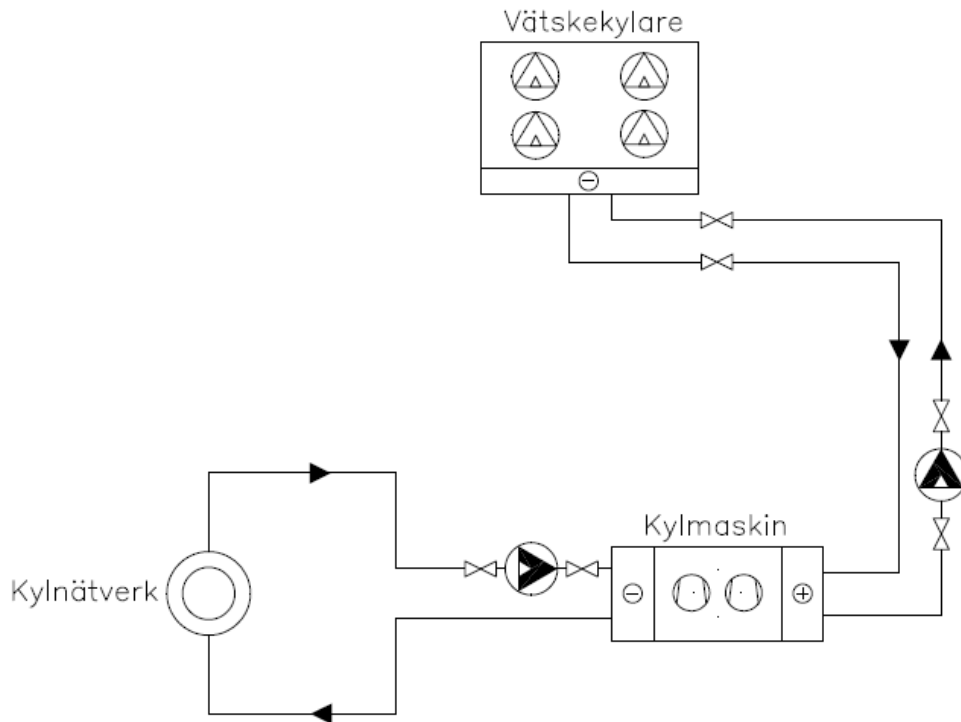
2.4.1 Kylmaskin

Enligt Sandberg (Sandberg 2014a s. 250) är det vanligaste sättet att producera kyla lokalt med en kylmaskin. Funktionsprincipen baserar sig på det som är behandlat tidigare i examensarbetet. Kylmaskinerna producerar kyla till fastighetens kylnätverk oftast med olika slags eldrivna kompressorer som scroll-, kolv- och skruvkompressorer, kondensering sker med antingen luft eller vatten (sjö och hav) (Sandberg 2014a s. 250). Kylmaskinens förångare dimensioneras ofta med en temperaturskillnad på 3–8 °C. Den nerkylda köldbäraren som cirkulerar i systemet är oftast vatten. Köldbärarens dimensioneringstemperaturerna på systemen är nästan alltid +7 °C/ +12 °C. Högre temperaturer och större temperaturskillnad går även att använda, ifall det anses vara

lönsamt. Kylmaskinens energianvändning minskar då temperaturen på köldbäraren är högre, men detta påverkar dimensioneringen av fastighetens kylnätverk samt val av apparater och komponenter, till exempel så att kylbatterierna i ventilationsaggregaten blir större. Med standardtemperaturer +7 °C / +12 °C hålls flödet i fastighetens kylsystem relativt litet som kan leda till mindre rördimensioneringar och lägre pumpkostnader (Aittomäki 2012 s. 329).

Själva kylmaskinerna är stora och därtill kräver de ett relativt stort serviceutrymme. Enheterna går att placera in i byggnaden eller utomhus, vanligtvis på taket. I större system är det vanligt att använda två eller flera kylmaskiner för att nå en bättre verkningsgrad (Sandberg 2014b s. 347). Kylmaskiner som används främst under sommaren är oftast luftkylda vätskekylaggregat enligt Sandberg (Sandberg 2014a s. 250). Oftast finns alla komponenter i dessa anläggningar (kompressor, förångare, kondensor och expansionsventil) i samma enhet och anläggningen monteras utomhus. I dessa fall är det viktigt att alla komponenter dimensioneras så att de tål det lokala utomhusklimatet och dimensioneringstemperaturerna. Den nerkylda köldbäraren från förångaren bör vara köldtålig och är oftast en blandning av glykol och vatten (Sandberg 2014a s. 254).

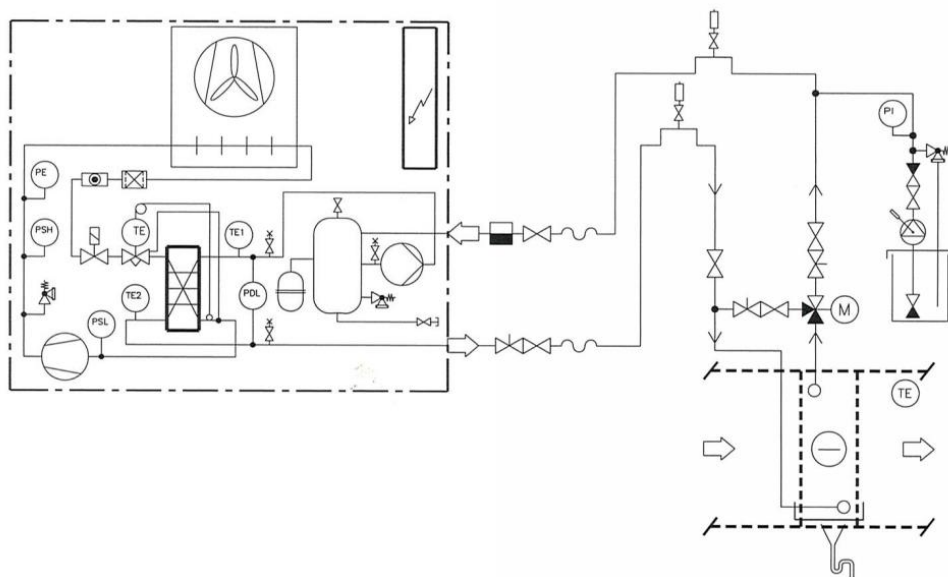
Vätskekylda kylmaskiner används då kompressorns och kondensorns avstånd är långt (Kaappola 2020 s. 55). Kondensorvärmens överförs till uteluften via en vätskekylare. I sådana fall då det finns ett kylbehov på både våren och hösten är det möjligt att göra anpassningar för frikyla. Användningen är möjlig då utomhustemperaturen är tillräckligt låg. Vätskan som leds till kondensorn bör även vara köldtålig i sådana system (Laitinen 2016 s. 6). Till vätskekylda system går det lätt att bygga till värmeåtervinningssystem för att ta till vara kondensorvärmens direkt från maskinen eller från en skild värmeväxlare som är kopplad före själva kondensorn (Aittomäki 2012 s. 330). Skiss på hur en vätskekyld kylmaskin är kopplad visas i figur 5.



Figur 5. Skiss på hur en vätskekyld kylmaskin är kopplad

På kondensorn finns det fläktar som blåser luft genom kondensorn. Med hjälp av dessa går effekten att regleras. En begränsande faktor som påverkar placeringen av kondensorn är ljudnivån (Sandberg 2014b s. 347). Stället för kondensorer skall vara svalt och luftombytet skall vara bra (Hakala 2019 s. 181). I byggnadens kylnätverk finns det oftast kopplat en vattenberedare med vilken kompressorns drift utjämnas (Laitinen 2016 s. 6).

I figur 6 finns ett exempel på hur ett luftkyld vätskekylaggregat är anslutet direkt till ventilationsaggregats kylbatteri. Inne i kylmaskinen finns kompressorn, kondensorn, expansionsventilen samt förångaren. I detta exempel är även cirkulationspumpen till kylsystemet och vattenberedaren i kylmaskinen. I denna typ av kylanläggningar måste flödet på kylvätskan vara konstant genom förångaren, cirkulationspumpen håller flödet konstant med hjälp av 3-vägsventilen vid kylbatteriet (Aittomäki 2012 s. 330–331).



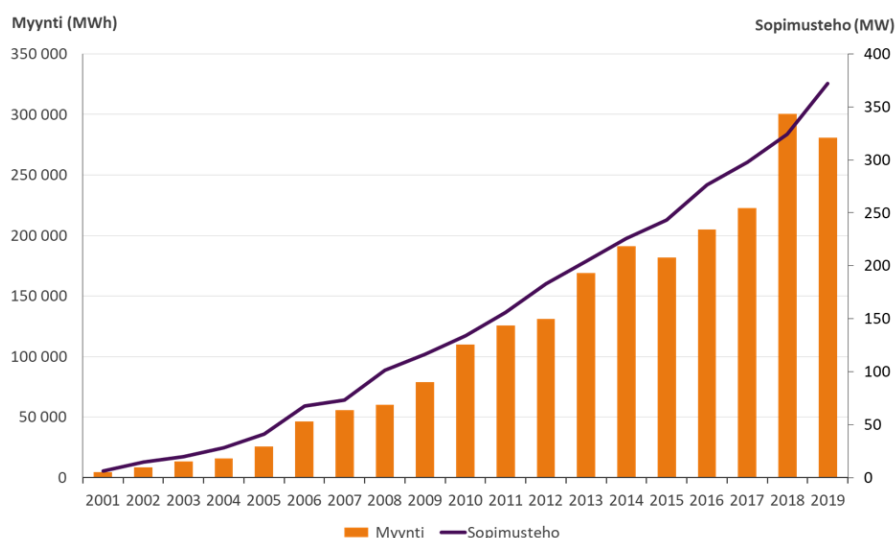
Figur 6. Kylmaskin kopplad till ventilationsaggregatets kylbatteri (Aittomäki 2012)

2.4.2 Fjärrkyla

Fjärrkyla är när kylan produceras centralt och distribueras till kunderna via rör i marken. Fastigheternas interna nätverk ansluts oftast via en värmeväxlare till nätet, på ett motsvarande sätt som fjärrvärmens (Sandberg 2014a s. 260). Värmeväxlaren som överför fjärrkyla kan placeras i samma utrymme som värmeväxlaren för fjärrvärme. När kylan produceras centralt i stora mängder blir det möjligt att producera den kostnadseffektivt och miljövänligt. Fjärrkylan anses även vara miljövänligare än fastigheternas interna kylanläggningar (Tiitinen 2020). Helens data visar att deras sålda energis specifika utsläppet av koldioxid var år 2019 för el 139 g/kWh jämfört med fjärrkyla 18 g/kWh (Helen 2020).

På grund av höga investeringskostnader föredras fjärrkyla främst i tätorter. I Finland började byggandet av fjärrkylan på slutet av 1990-talet i Helsingfors och första fastigheten i Gräsviken anslöts till nätet i början av 2000-talet, varefter fjärrkylanätverk har byggts till exempel i Åbo, Lahtis och Esbo (Sandberg 2014a s. 260). Fjärrkylans distributionsnät utvidgas efter hand till sådana orter där det finns en större efterfråga. (Airaksinen 2015 s. 33–34). Med hjälp av fjärrkylan undviks ljud och vibrationsproblem som förekommer i fastigheternas egna kylmaskiner. Utrymmet som är reserverade för

kylmaskinen går att använda till annat och service och driftskostnaderna är minimala (Tiitinen 2020)

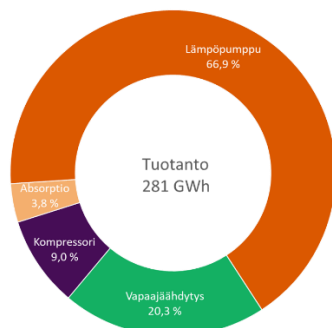


Figur 7. Fjärrkylas försäljningseffekt och anslutningseffekt (Wilhelms 2020)

Figur 7 visar att fjärrkylan fortsätter att utvidgas i Finland, anslutningseffekten har stigit med 15 % från år 2018 till år 2019. Trots att anslutningseffekten har ökat har försäljningen minskat med 7 % år 2019 jämfört med 2018. Detta beror på att sommaren 2018 var varmare än sommaren år 2019 (Wilhelms 2020).

I Finland produceras fjärrkyla med absorptionskylaggregat, frikyla, kylkompressorer och med värmepumpar (Sandberg 2014b s. 319). Under sommarmånaderna då värmebehovet inte är stort, används överloppsvärmeenergin från CHP-kraftverk (Combined Heat and Power) som energikälla för absorptionsmaskiner. Kondenseringen sker med hjälp av havs- eller sjövattnet (Sandberg 2014a s. 260). Frikyla är möjligt att använda i princip året runt, men under vintern är det lönsammast. Under sommarmånaderna hålls havs- och sjövattnet på djupare ställen relativt nerkylt och det räcker delvis till att uppfylla fjärrkylbehovet. Det resterande behovet produceras med hjälp av ovannämnda maskiner. Kylkompressorernas funktionsprincip är samma i fjärrkylan som i fastigheternas individuella kylkompressorer. Skillnaden är att fjärrkylans kylkompressorer har större kompressoreffekt. Med värmepumpar produceras samtidigt värme till fjärrvärmenätet och kyla till fjärrkylanätet. (Sandberg 2014b s. 320). I figur 8 framkommer andelen

fjärrkyla producerad i Finland med olika metoder. Största delen av fjärrkylan produceras med värmepumpar och därefter kommer frikylan. (Wilhelms 2020).

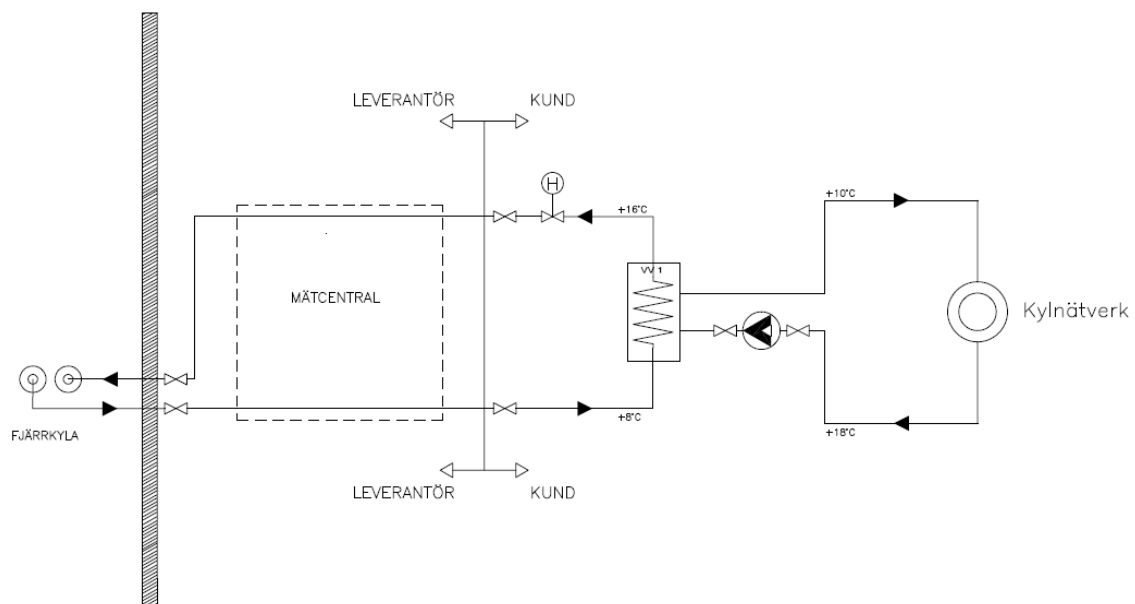


Figur 8. Fjärrkylaproduktionen i Finland år 2019 (Wilhelms 2020)

Helen Oy är den största producenten och leverantören av fjärrkyla i Finland, år 2019 producerade Helen ca. 61 % av Finlands totalt producerade fjärrkyla (Kaukojäähdytystilasto 2019). Fjärrkylanätverket har utvidgats i Helsingfors under åren. År 2019 fanns fjärrkyla tillgängligt från Ärtholmen till Böle och från Sundholmen till Fiskehamnen, nätverkets totala längd är ca. 90 km (Louko 2019). I slutet av år 2019 var 533 fastigheter kopplade till Helens fjärrkyla nätverk, med en anslutningseffekt på 254,2 MW. Helen producerar fjärrkyla på följande fyra sätt, absorption, värmepump, kompressor och frikyla, År 2019 producerades ca. 90 % av Helens fjärrkyla med hjälp av värmepumpar (Kaukojäähdytystilasto 2019).

Efterfrågan av fjärrkyla är minst under natten. För att kunna utjämna kylbehovet används så kallade underjordiska energimagasin för lagring av kylan. Magasinen laddas under natten med nerkyldt vatten och på dagen då förbrukningen ökar används det redan nerkylda vattnet från magasinet för kylan (Sandberg 2014a s. 260). I Helsingfors finns underjordiska energimagasin på Sundholmen, i Böle och under Esplanaden. Finlands största energimagasin finns på 100 meters djup under Esplanadparken. Det kan lagra upp till 25 000 m³ vatten, Böles energimagasin har en kapacitet att lagra 11 miljoner liter vatten (Helen 2018).

I fastigheten befinner sig oftast fjärrkylkomponenterna i samma utrymme som fjärrvärmekomponenterna. Leverantörens krav på dimensionering av komponenter bör följas på samma sätt som med fjärrvärme. Fjärrkyla värmeväxlare dimensioneras på primärsidan med en inkommande temperaturerna +8 °C och utgående temperatur på minst +16 °C. I nyare fastigheter är sekundärsidans temperaturer +10 °C/+18 °C (Sandberg 2014a s. 284). I figur 9 visas en skiss på hur fjärrkylan är ansluten till byggnadens nätverk



Figur 9. Kopplingsschema på hur fjärrkylan är ansluten till byggnaden

2.5 Kylsystem i fastigheter

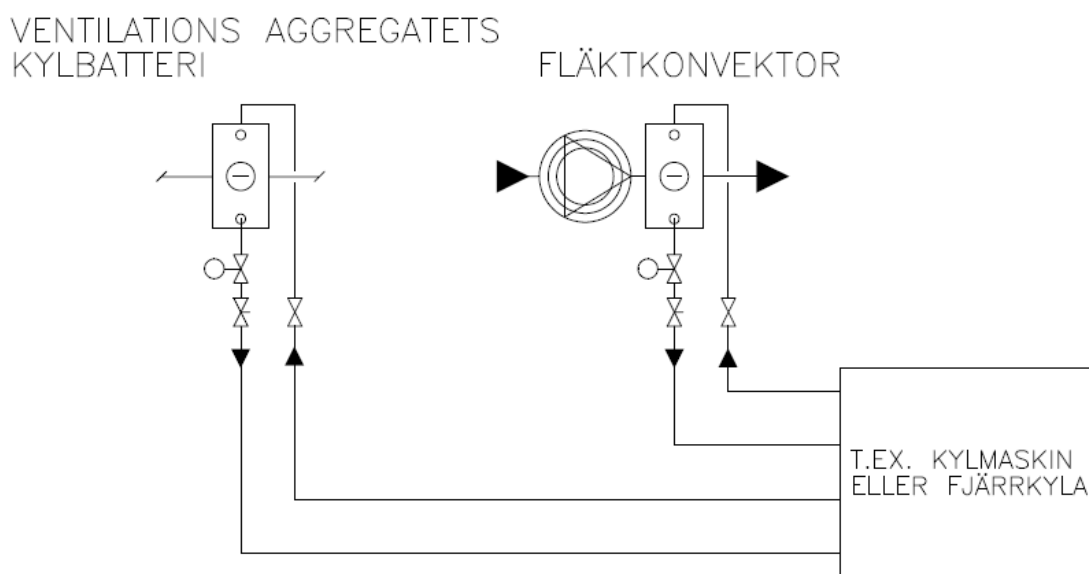
Byggnader kyls ner med hjälp av ventilationsaggregatets kylbatteri. Ifall detta inte räcker byggs oftast vattenburna kylsystem. Distributioner av kylan i vattenburna kylsystem kan ske med hjälp av flätkonvektorer, kylbafflar eller kylbalkar. I detta stycke behandlas ventilationsaggregats kylbatteri samt flätkonvektorer.

Ventilations aggregatets kylbatteri, vilkas uppgift är att kyla ner tilluften till utrymmena. Temperaturerna på vätskan i ventilationsaggregatens kylbatteri är vanligtvis +7 / +12 °C.

Med denna temperaturskillnad hålls kylbatteriets storlek relativt rimlig (Sandberg 2014a s. 281).

Fläktkonvektorer består av en fläkt som är utrustade med ett kylbatteri. Apparaten placeras i utrymmet som skall kylas ner. Fläkten cirkulerar rumsluften genom fläktkonvektorns kylbatteri och luften kyls ner. Temperaturen på köldbäraren som cirkulerar i rumsaggregaten är oftast +7/+12 °C och rumsförhållandet (inneklimatet) dimensioneras vanligtvis till +24 °C / RH 50 %.

Högre dimensioneringstemperaturer används i båda systemen då en fastighet är ansluten till fjärrkyla. Perioden för användning av frikyla blir även längre då kylsystemets temperatur är högre. Köldfaktorn brukar även bli bättre i kompressoranläggningar. Högre temperaturer leder vanligtvis till att konvektorerna samt kylbatterierna blir större och då ökar även systemets kostnader (Aittomäki 2012 s. 332–333). Kopplingsschema på hur ventilations aggregatets kylbatteri och fläktkonvektorn är kopplade visas i figur 10.



Figur 10. Skiss på hur ett kylbatteri och en fläktkonvektor är kopplade

2.6 Kylbehov

I nya energieffektiva fastigheter har värmeförlusterna minskat, detta kan leda till att interna värmelaster och yttre värmelaster höjer rumstemperaturen till en obehaglig nivå

(Sandberg 2014b s. 419). Enligt Miljöministeriets förordning om nya byggnaders energiprestanda (1010/2017) är kylningströskeln för fastigheterna 25 °C eller 27 °C beroende på fastighetens användningssyfte. I tabell 1 finns temperaturerna för olika användningskategorier beskrivet.

Fastigheterna bör dimensioneras så att under sommarperioden från 1 juni till den 31 augusti ovannämnda gränser inte överskrids med mer än 150 gradtimmar. Beräkningarna skall göras med ett dynamiskt beräkningsverktyg (Miljöministeriets förordning om nya byggnaders energiprestanda 1010/2017).

Tabell 1. Installationsvärden för rumstemperatur och ventilationsvolymen under användningstid (Miljöministeriets förordning om nya byggnaders energiprestanda 1010/2017)

Användningskategori	Uteluftsflöde dm ³ /(s m ²)	Uppvärmnings tröskel °C	Kylningströske l °C
Fristående småhus, radhus och kedjehus	0,4	21	27
Flervåningsbostadshus	0,5	21	27
Kontorsbyggnad	2	21	25
Affärsbyggnad	2	18	25
Inkvarteringsbyggnad	2	21	25
Undervisningsbyggnad eller daghem	3	21	25
Idrottshall	2	18	25
Sjukhus	4	22	25

Kylbehovet påverkas av användningssyfte, årstid och tidpunkt på dygnet. Inre värmelast som till exempel människor, belysning och hushållsapparater, avger värme till omgivningen som påverkar på kylbehovet (Sandberg 2014b s. 430–432).

Kroppens metabolism avger värme till omgivningen i huvudsak via tre olika sätt, konvektion i luften, strålning samt vattenånga via andning och svett (Sandberg 2014a s. 43).

I beräkningar används 125 W som personens totala värmeavgivning, detta motsvarar ämnesomsättningen på 1,2 MET för en kroppsarea på 1,8 m² (D3 laskentaopas 2012 s. 15).

Yttre värmelaster uppkommer via solstrålningen genom fönster. Värmeöverföringen sker också via fastighetens konstruktion då temperaturen utomhus är högre än inomhustemperaturen (Aittomäki 2012 s. 321). Största värmelasten för fastigheten är oftast solstrålningen genom byggnadens fönster. Värmelagringsförmågan i konstruktionerna har även en påverkan på kylbehovet (Warfvinge & Dahlblom 2020 s. 3:1).

Kylbehovet går att minska med olika åtgärder. Solbelastningen mot vertikala fönster kan nå upp till 700 W/m² i Finland. Vanligaste typer av fönster har ett g-värde 0,75, dvs de släpper igenom ca 75% av solstrålningen. Riktningen på fönstren spelar även stor roll på belastningen. Det effektivaste sättet är användning av yttre solskydd. Då kommer värmen aldrig in i utrymmet. Skydden befinner sig utanför fönstret och kan vara till exempel taksprång eller markiser. Persiennor och gardiner fungerar även som solskydd men de är dock inte lika effektiva. Fördelen med persiennor och gardiner är att de går att reglera. Det finns även ofärgade solskyddsglas som kan ha ett g-värde på 0,15. Nackdelen med denna typs fönster är att dagsljusinsläppet försämras och att under uppvärmningsperioden kommer solvärmens inte in i utrymmet då den skulle behövas (Warfvinge & Dahlblom 2020 s. 3:3).

Alla elapparater som finns i utrymmet producerar värme i någon form. Med energisnåla apparater och belysning går det att påverka de interna värmelasterna och minska kylbehovet (Warfvinge & Dahlblom 2020 s. 3:3–3:4).

Beräkningen av interna värmelasterna för människor, belysning och hushållsapparater kan göras med standardvärden per nettoarea, eller med en användningsprofil som motsvarar byggnadens användning. Standardvärden för beräkning av värmelaster per nettoarea för olika användningskategorier finns beskrivna i tabell 2 (D3 laskentaopas 2012 s. 13).

Tabell 2. Standardanvändning av byggnader och interna värmelaster per uppvärmd nettoarea (Finlands byggbestämmelsesamling D3 2012)

Användningskategori	Klockslag ^d	Användningstid		Användningsgrad	Belysning	Hushållsapparater	Människor ^a
		h/24h	d/7d				
Fristående småhus, radhus och kedjehus	00:00–24:00	24	7	0,6	8 ^{b,c}	3	2
Flervåningsbostadshus	00:00–24:00	24	7	0,6	11 ^{b,c}	4	3
Kontorsbyggnad	07:00–18:00	11	5	0,65	12 ^c	12	5
Affärsbyggnad	08:00–21:00	13	6	1	19 ^c	1	2
Inkvarteringsbyggnad	00:00–24:00	24	7	0,3	14 ^c	4	4
Undervisningsbyggnad eller daghem	08:00–16:00	8	5	0,6	18 ^c	8	14
Idrottshall	08:00–22:00	14	7	0,5	12 ^c	0	5
Sjukhus	00:00–24:00	24	7	0,6	9 ^c	9	8

a innehåller inte värme bunden av fukt; den totala värmeavgivningen fås genom att dividera värdet med koefficienten 0,6

b i bostadsbyggnader är användningsgraden för belysning 0,1

c riktvärde för nya byggnader om inga exaktare uppgifter finns till hands; en lägre belysningsstyrka kan användas så länge ljusstyrkan bibehålls enligt redogörelse som presenteras enligt punkterna 3.3.3 och 3.3.4.

d driftstider för ventilationssystemet enligt punkt 3.3.7

Yttre värmelaster som solstrålningens belastning genom byggnadens fönster går att beräkna med formel 5 (Finlands byggbestämmelsesamling D5 2012 s. 32).

$$Q_{aur} = \frac{\sum G_{s\grave{a}teily,vaakapinta} F_{suunta} F_{l\grave{a}p\grave{a}isy} A_{ikk} g}{\sum G_{s\grave{a}teily,pystypinta} F_{l\grave{a}p\grave{a}isy} A_{ikk} g} \quad (5)$$

där

Q_{aur} solstrålningsenergi som tillförs byggnaden genom fönstren, kWh/mån.

$G_{s\grave{a}teily,vaakapinta}$ total solstrålning mot horisontell yta per ytenhet, kWh/ (m² mån.)

$G_{s\grave{a}teily,pystypinta}$ total solstrålning mot vertikal yta per ytenhet, kWh/ (m² mån.)

F_{suunta} omvandlingskoefficient med hjälp av vilken den totala solstrålningsenergin mot horisontellt plan omvandlas till total strålningsenergi mot vertikal yta i olika väderstreck, -

$F_{l\grave{a}p\grave{a}isy}$ total korrigeringskoefficient för genomträngning av solstrålning, -

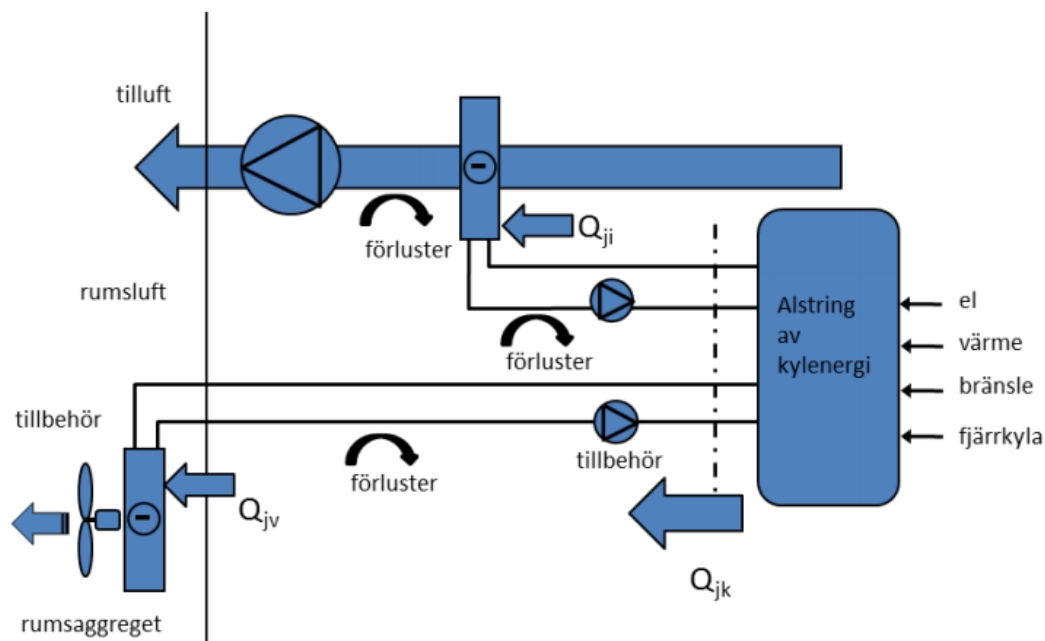
A_{ikk} fönsteröppningens area (inklusive båg- och karmkonstruktion), m²

g genomträngningskoefficient för den totala solstrålningen genom fönstrets ljusöppning

Solstrålningsenergin $G_{säteily,vaakapinta}$ och $G_{säteily,pystypinta}$ samt omvandlingskoefficienterna F_{suunta} enligt klimatzon, väderstreck och månad som finns beskrivna i Finlands byggbestämmelsesamling D3 (Finlands byggbestämmelsesamling D5 2012 s. 32–33).

2.7 Kylenergibehov

Byggnadens kylenergibehov går att beräkna på två olika sätt. Ett enkelt sätt som ger en grov uppskattning och på ett mer detaljerat sätt med hjälp av ett simuleringsprogram som till exempel IDA Indoor Climate and Energy. Kylsystemets energiförbrukning bildas från produktionen av kyla och övriga tillbehör som finns i systemet som till exempel pumpar och fläktkonvektorer. För beräkningar av energiförbrukningen bör man känna till åtminstone ventilationsaggregatens kylbatterier och rumsaggregatens årliga energikonsumtion (Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas 2011 s. 4–5).



Figur 11. Principskiss över ett kylsystem (Finlands byggbestämmelsesamling D5 2012)

Den årliga energiförbrukningen bildas från ventilationsaggregatets kylbatteri Q_{ji} och rumsapparater Q_{jv} och den beräknas i samband med att kylbehovet för fastigheten och utrymmen beräknas. Oftast görs detta med hjälp av ett simuleringsprogram som gör sina beräkningar stegvis med högst en timmes tidsintervall. Årligen producerad kylenergi Q_{jk} räknas enligt formel 6 (Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas 2011 s. 5).

$$Q_{jk} = (1 + \beta_{hji})Q_{ji} + (1 + \beta_{hjv})Q_{jv} \quad (6)$$

där

Q_{jk}	kylenergi som kylsystemet alstrar per år	(kWh/a)
Q_{ji}	energi som ventilationsaggregatets kylbatteri förbrukar för kylning per år	(kWh/a)
Q_{jv}	kylenergi som förbrukas av rumsaggregaten per år	(kWh/a)
β_{hji}	koefficient som beaktar förlusterna i den luftburna delen av systemet (termiska förluster, kondensförluster, osv.)	(-)
β_{hjv}	koefficient som beaktar förlusterna i den vattenburna delen av systemet (termiska förluster)	(-)

Ifall det förekommer kondensation i tilluftens kylbatteri (vått kylbatteri) bör energin som krävs för kondenseringen räknas med. Då det inte sker kondensering i batteriet (torrt kylbatteri) tas ovannämnda energi inte med, förlustkoefficienter finns beskrivna i tabell 3. Vissa simuleringsprogram kan automatiskt räkna med detta i energiberäkningarna (Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas 2011 s. 5)

Tabell 3. Riktgivande värden för kylsystems förlustkoefficienter (Finlands byggbestämmelsesamling D5 2012 s. 60)

Temperatur för ingående kylvatten	$\beta_{hji}^{1)}$	$\beta_{hji}^{2)}$	β_{hjv}
7 °C	0,3	0,6	0,2
10 °C	0,2	0,5	0,15
15 °C	0,1	0,2	0,1
18 °C	0,0	0,0	0,0

1) exklusive kondensförlust

2) inklusive kondensförlust

Det årliga elenergibehovet för anläggningar som är eldrivna (kompressorer etcetera) beräknas enligt formel 7.

$$W_{j\ddot{a}ahdytys} = \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_E} \quad (7)$$

där

$W_{j\ddot{a}ahdytys}$	elenergi som årligen förbrukas av kylsystemet	(kWh/a)
Q_{jk}	kylenergi som ett kylsystem alstrar per år	(kWh/a)
ε_E	årlig köldfaktor för alstring av kylenergi	(-)

På ett motsvarande sätt beräknas årliga energibehovet för till exempel fjärrkyla med formel 8 (Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas 2011 s. 6)

$$Q_{j\ddot{a}ahdytys} = \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_Q} \quad (8)$$

där

$Q_{j\ddot{a}ahdytys}$	årliga energibehovet för system som använder kylenergi	(kWh/a)
Q_{jk}	kylenergi som ett kylsystem alstrar per år	(kWh/a)
ε_Q	årlig köldfaktor för alstring av kylenergi	(-)

I beräkningen av den årliga köldfaktorn för hela processen jämförs energin som krävs för produktionen av kylan med den kyleffekt processen producerar. I dessa fall bör all energi som kylanläggningen förbrukar vara med räknad, som till exempel kondensorfläktarnas förbrukade elenergi och pumpenergi. Riktgivande värden för årliga köldfaktorer finns givna i tabell 4 (Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas 2011 s. 6).

Tabell 4. Årliga köldfaktorer för alstring av kylenergi (Finlands byggbestämmelsesamling 2012 s.60)

Alstringsprocess	ε_E	ε_Q
Kompressorkylmaskin, luftkondensor	2,5	-
Kompressorkylmaskin, vattenkondensor	3	
Frikyla, förångare (torrt)	5	-
Frikyla, kyltorn (vått)	7	-
Frikyla, markrör (horisontellt)	30	-
Split-system	3	-
Fjärrkyla (värmväxlare)	-	1
Absorptionskyla	-	0,7

Ifall kylan produceras med olika metoder som till exempel en kompressoranläggning som utnyttjar frikyla beräknas årliga energiförbrukningen med följande formel 9.

$$W_{\text{jäähdytys}} = \alpha_1 \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_{E1}} + \alpha_2 \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_{E2}} \quad (9)$$

där

$W_{\text{jäähdytys}}$	elenergi som årligen förbrukas av kylsystemet	(kWh/a)
Q_{jk}	kylenergi som ett kylsystem alstrar per år	(kWh/a)
α_1	andelen kylenergin producerad med den första metoden	(-)
α_2	andelen kylenergin producerad med den andra metoden	(-)
	$(\alpha_1 + \alpha_2 = 1)$	
ε_{E1}	första metodens årliga köldfaktor	(-)
ε_{E2}	andra metodens årliga köldfaktor	(-)

Utöver detta skall systemets elenergi för rumsapparater och pumpar räknas med. Detta kan till exempel vara den elenergi fläktkonvektorns fläkt använder. Elenergin beräknas med formel 10. Riktgivande värden för elförbrukningskoefficienter finns beskrivna i tabell 5 (Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas 2011 s. 6–7).

$$W_{\text{jäähdytys,apu}} = \beta_{apu} Q_{jk} \quad (10)$$

där

$W_{\text{jäähdytys,apu}}$	elenergi som förbrukas av kylsystemets tillbehör	(kWh/a)
----------------------------	--	---------

β_{apu}	årlig elförbrukningskoefficient för systemets tillbehör	(-)
Q_{jk}	kylenergi som ett kylsystem alstrar per år	(kWh/a)

Tabell 5. Elförbrukningskoefficienter för kylsystemets tillbehör (Finlands byggbestämmelsesamling D5 2012 s.61)

Kylsystem	β_{apu}
Vattenburet system, kylbaffel	0,06
Vattenburet system, fläktkonvektor	0,08
Luftburet VAV-system (Variable Air Volume, variabel luftvolym)	0,05

3 LÖNSAMHETSBERÄKNING

De totala kostnaderna för kylningen beräknas i detta arbete med nuvärdemetoden, som också kallas kapitalvärdemetoden. Metoden går ut på att alla in- och utbetalningars värde räknas vid nolltidpunkt. Om en betalning bör ske någon gång i framtiden reserveras pengar på ett räntekonto så, att man med kontots medel där även den årliga räntan ingår kan betala den kommande utgiften. Om räntan är positiv blir nuvärdet alltid mindre än den framtida räkningen. Man brukar också säga att alla framtida utgifter diskonteras till nuvärdet med hjälp av en kalkylränta (Skärvad & Olsson 2017 s. 329). Nuvärdet räknas då enligt formel 11.

$$k = \frac{K}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^t} \quad (11)$$

k	nuvärdet
K	kostnad efter t år exklusive inflation
i	årlig ränta
t	antal år till utgift

I detta arbete uppskattas prishöjningarna med en årlig inflationsprocent. Detta innebär att K i formel 11 bör ersättas med det uppskattade värdet K_{kor} enligt formel 12.

$$K_{kor} = K * \left(1 + \frac{inf}{100}\right)^t \quad (12)$$

K_{kor} kostnad efter t år inklusive inflation
 inf årlig inflationsprocent

Nuvärdet för summan av olika avgifter som skall betalas efter ti år räknas enligt formel 13.

$$k_{tot} = \sum \frac{K_i * \left(1 + \frac{inf}{100}\right)^{ti}}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{ti}} \quad (13)$$

k_{tot} nuvärdet av summan till alla löpande avgifter
 K_i kostnad vid tidpunkt 0 för delavgift som förfaller till betalning efter ti år inklusive inflationsförhöjning
 ti antal år till utgift
 i löpande nummer för delbetalningar enligt betalningsplan

Med denna räknemetod uppskattas den summa man bör sätta på ett räntekonto ifall man från detta konto skall betala alla utgifter under de kommande åren. Räntan på kontot betalas ut vid utgången av varje år och räntan sätts till på kapitalet. Utbetalningen räknas också ske samma dag som räntan betalas. Räknemetoden används allmänt för beräkning av investeringars lönsamhet. Utgifter som förfaller till betalning efter en längre tid har ett mindre nuvärde. Om Ränteprocenten är högre än inflationsprocenten minskar nuvärdet i relation till senare utbetalade utgifter.

4 FALLSTUDIE

I detta arbete används som referens en gammal magasinsbyggnad som befinner sig i centrala Helsingfors. Byggnaden blev färdig år 1907 och har sedan dess varit i mångsidig användning. Användningssyftet kommer att ändra från kontorsbruk till bostadshus och affärsutrymme. I samband med detta utförs en sanering i hela byggnaden och

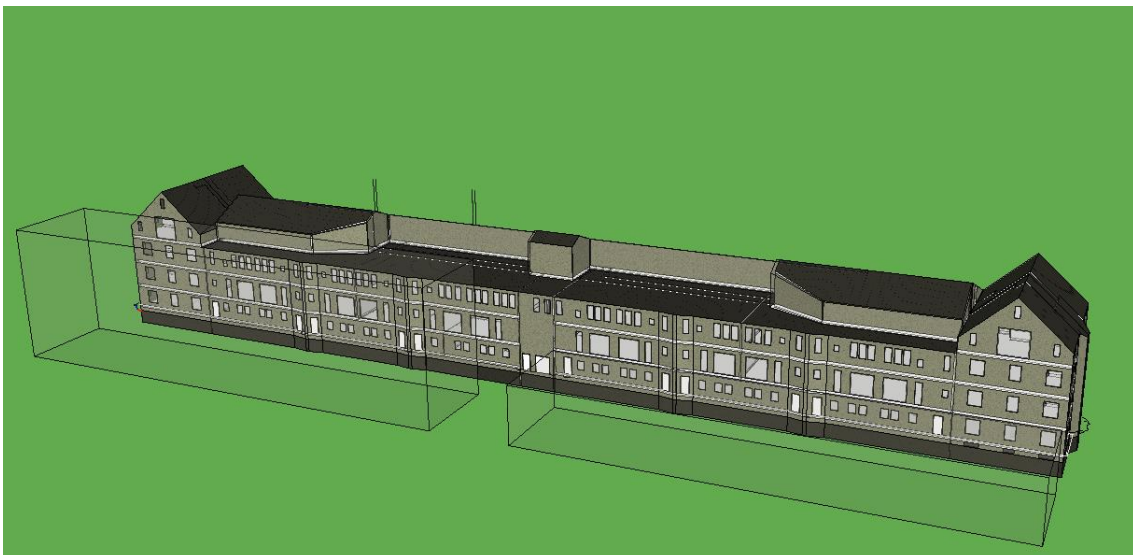
installationstekniken förnyas till stor del. Enligt stadsplanen befinner sig byggnaden på ett kulturhistoriskt område, byggnaden är markerad som skyddad byggnad.

I byggnaden finns 4 våningar och en källarvåning. Totala våningsytan på fastigheten är 10 890 m². I källarvåningen planeras det förvaringsutrymmen och en parkeringshall, på förstavåningen planeras bostäder och affärsutrymmen, vars användningskategori är ännu okänd.

På andra och tredje våningen planeras bostäder. En del av bostäderna kommer användas en viss tid som hotellrum, men planeras som bostäder. På fjärde våningen planeras det bostäder och ett allaktivitetsutrymme.

4.1 Kyleffekt- och kylenergibehovet

Hela byggnadens energibehov samt kyleffektbehov är simulerat med hjälp av dynamiska simuleringsprogrammet IDA Indoor Climate and Energy. Figur 12 är en bild på simuleringsmodellen som är gjord i IDA-ICE. I simuleringen av kylbehovet användes standardvärden enligt Miljöministeriets förordning om nya byggnaders energiprestanda (1010/2017).



Figur 12. Simuleringsmodellen av referensbyggnaden från söder

Byggnaden ligger i en nordvästlig-sydöstlig riktning. Byggnader i omgivningen skyddar solbelastningen till stor del, i synnerhet den sydliga sidan. Bilden i figur 12 är tagen från söder. De två blocken på södra sidan av byggnaden motsvarar byggnader i omgivningen. I simuleringen användes ett g-värde på 0,6 för fönstren.

4.2 Utgångsvärden för den ekonomiska jämförelsen

Om lösningen är en egen kylmaskin, utgörs kostnaderna av investerings-, energi- samt drift- och underhållskostnader. Ränte- och avskrivningskostnader är även medräknade. Den uppskattade tekniska livslängden för kylmaskinen är 15 år, varefter anläggningen inte längre anses ha något värde. Priset för en kylmaskin baserar sig på ett preliminärt anbud av två kylmaskiner.

Till priset bör man lägga till installationskostnader och extra byggkostnader. Efter att kylmaskinens livslängd på 15 år löpt ut måste hela maskineriet förnyas. Kostnaden av hela kylmaskinen inklusive installationer anses vara den samma som vid första uppköpet med undantag av inflationshöjningen, som räknas vara 2 %/år.

Kylmaskinen kräver underhåll samt eventuellt också reparation eller utbyte av komponenter. Kostnaden uppskattas till 1000 €/år eller ca 1,5 %/år av anskaffningsvärdet. I en förfrågning, som Otto Mutanen gjorde år 2017 för sitt diplomarbete fick han prisen 1000–1500 €/år.

Kylmaskinen installeras i huset högsta våning i ett utrymme på 35 m². Eftersom rummet kan ha uteluftens temperatur och utrymmet bör ljudisoleras läggs till kostnader för inredningsarbeten, belysning, elinstallationer, etc. på basen av en preliminär kostnadskalkyl. Utgångsläget är att utrymmet på fjärde våningen skulle preliminärt användas som bostad. Byggnadskostnaderna för omvandling av detta utrymme till ett utrymme för kylmaskinen uppskattas kosta en extra 30 000 € i vilket pris ett avdrag för uteblivna inredningskostnader för bostad har medräknats. Som tilläggskostnader räknas utebliven hyra.

I kostnaderna för fjärrkyla ingår anslutningsavgift, årsavgift, kostnader för förnyande av kontrakt, energikostnader, installationskostnader och underhållskostnader. Någon kostnad för utrymmen ingår inte, eftersom utrustningen utan tilläggskostnader kan placeras i värmefördelningsutrymmet.

Kostnaderna för anslutning, årsavgift, energi och kontraktsförnyande baserar sig på preliminära uppgifter. Underhållskostnader och installationskostnader baserar sig på egen kalkyl. Eftersom de egna installationerna vid fjärrkyla är synnerligen enkla utrustningar är också livslängden längre och underhållskostnaderna lägre än för egen maskin. I detta arbete antas utrustningen kräva förnyelse vart 20 år, underhållskostnaderna vara mindre än 1 % av den första installationens kostnader.

Vid jämförelse av kostnaderna för egen kylmaskin och fjärrkyla räknas alla kostnader till nuvärdet. Detta innebär att framtida kostnader diskonteras ner enligt den räknade ränteprocenten. Ifall ränteprocenten är högre än inflationsprocenten blir kostnaden för framtida utgifter lägre än nu gällande kostnader.

Vid fjärrkyla kan prisnivån för kyla samt förnyandet av anslutningsavtalet ändra med tiden. Eftersom ändringarna inte går att förutspå beaktas ändringarna i dessa kostnader enbart genom en inflationskorrigering

4.3 Olika metoder för nedkylning

Under planeringsskedet bestämdes det att utrymmenas nedkylning sker med hjälp av fläktkonvektorer och ventilationsaggregatets kylbatterier. Fläktkonvektorer är planerade i alla bostäder och affärsutrymmen. Övriga utrymmen som skall kylas ner, sker nedkylningen endast med ventilationsaggregatets kylbatteri.

Eftersom byggnaden befinner sig i centrala Helsingfors används fjärrkyla som ett alternativ. Det andra alternativet är att produktionen av kylan sker med två likadana luftkylda vätskekylaggregat. Dessa kylanläggningars *SEER* (köldfaktor) är enligt tillverkaren 4,07.

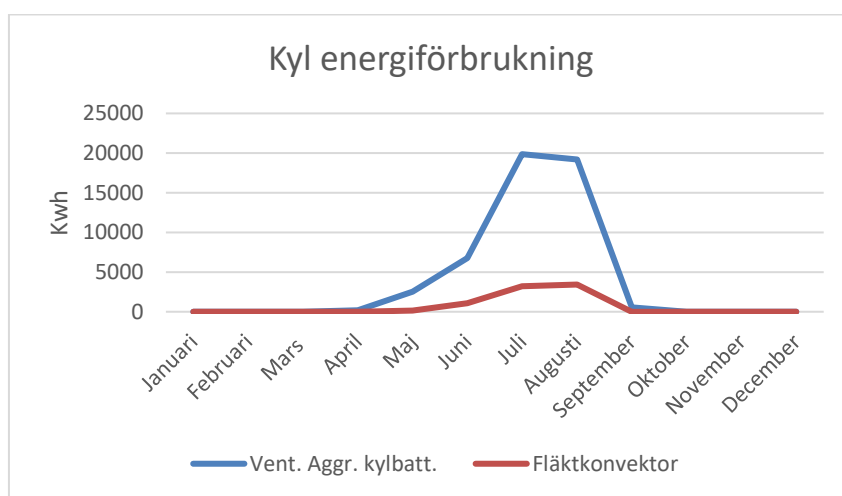
Ifall nedkylningen skulle skötas med fjärrkyla skulle anläggningen placeras i värmefördelningsrummet på källarvåningen och därmed krävs inte något extra utrymme. Däremot ifall nedkylningen skulle ske med kylmaskin skulle den helst placeras på taket. Eftersom byggnaden är skyddad av museiverket måste kylanläggningarna placeras så att de inte syns utifrån, det vill säga på fjärde våningen. Detta leder till att en del av den användbara boendeytan på fjärde våningen måste användas för kylmaskinerna. Enligt tillverkarens anvisningar på kylmaskinens utrymmeskrav och rekommendationer för serviceutrymmen skulle denna totala area bli för de båda maskinerna totalt 35 m².

4.4 Kyleffekt- och kylenergibehovets resultat

Simuleringens resultat visar att fläktkonvektorernas kyleffektbehov är 58 kW och ventilationsaggregatens kylbatterier kyleffektbehov är 150,7 kW, det totala behovet är då 208,7 kW. Det årliga kylenergibehovet är 7 920 kWh/år för fläktkonvektorerna och 49 069 kWh/år för ventilationsaggregatens kylbatteri, det totala kylenergibehovet är då 56 989 kWh/år.

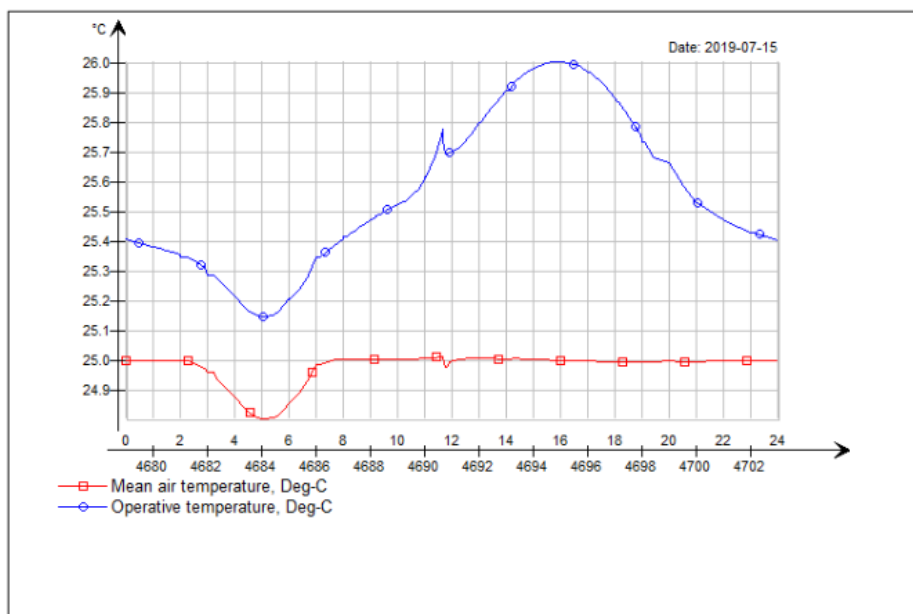
Figur 13. Kylenergiförbrukningen under ett år

Figur 13 visar kylenergiförbrukningen för ett helt år, i juni är energiförbrukningen störst.



Figur 13. Kylenergiförbrukningen under ett år

I simuleringen användes 25 °C som nedkylningströskel till alla utrymmen för att nå ett bättre inomhusklimat än vad bestämmelserna kräver. För att granska rumstemperaturen under sommarperioden från 1 juni till den 31 augusti, gjordes en specifik simulering med IDA-ICE:s *summer peak* funktion. Resultatet från denna simulering visade att affärsutrymmens rumstemperatur inte stiger över 24,69 °C. Bostädernas rumstemperatur hölls kring 25 °C förutom i bostaden på fjärde våningen i den sydöstlig ändan. I denna bostad stiger temperaturen till ca. 26 °C den 15 juni. Denna bostad blir mest utsatt för solbelastningen. I figur 14 visas denna bostads rumstemperaturer under ett dygn. Operativa temperaturen är den temperatur som människan upplever. I detta fall anses den planerade kyleffekten vara tillräcklig i utrymmen då den uppfyller miljöministeriets dimensioneringskrav gällande gradtimmar under sommarmånader.



Figur 14. Rumstemperaturer i den varmaste bostaden

Mängden energi som skall köpas beräknas genom att dela fläktkonvektorernas och ventilationsaggregatens kylbatteriernas förbrukade energi med vardera metods köldfaktor. Fjärrkylas köldfaktor är given som 1, vilket leder till att andelen kylenergi som skall köpas av leverantören är den samma som systemet förbrukar, dvs. 56 989 kWh/år. Kylmaskinernas köldfaktor är 4,07, vilket leder till att andelen elenergi som anläggningarna förbrukar blir 14 002 kWh/år.

4.5 Ekonomiska beräkningars resultat

Ekonomiska beräkningarna är gjorda i detta examensarbete med nuvärdesmetoden, metoden är presenterad i avsnitt 2.8.

Det ekonomiska resultatet är enbart ett jämförelsevärde eftersom räntesatsen är svår att förutspå. Likaså är det svårt att förutspå kostnaderna för bland annat energi och anläggningar i framtiden. Därför antas kostnaderna förbli de samma förutom att en inflationshöjning på 2 % årligen läggs till. Räntekostnaderna uppskattas till 3 %. För att kunna jämföra hur kostnaderna påverkas av räntan räknas räntesatsen också men 1 % och 5 %.

Grunderna för uppskattning av de olika kostnaderna är givna i avsnitt 1.3 och 4.2.

Kylmaskinens totala anskaffningsvärde är givet som 60 000 €. Denna summa innehåller även installationskostnaden samt en värmeväxlare. Enligt RT-kortet RT 18–10922 är en kylmaskins tekniska livslängd 15–20 år, kompressorns tekniska livslängd är given som 10–15 år (RT 18–10922). I dessa ekonomiska beräkningar är det räknat med att hela kylanläggningen förnyas med 15 års mellanrum.

Fjärrkylans värmeväxlares anskaffningsvärde är beräknad till 35 000 €. Denna summa innehåller installationskostnaden och värmeväxlaren. Enligt RT-kortet RT 18–10922 är den tekniska livslängden för en värmeväxlare 20 år (RT 18–10922). I dessa ekonomiska beräkningar är det räknat att värmeväxlaren förnyas med 20 års mellanrum.

Fjärrkyla värmeväxlaren för fjärrkyla skulle placeras i värmefördelningsrummet och därmed kräver den inga extra byggkostnader. Kylmaskinen kräver extra byggkostnader för utrymmet på fjärdevåningen. För detta utrymme har det uppskattats en extra byggnadskostnad på 30 000 €. Denna summa innehåller kostnader som till exempel ljudisolering och vibrationsskydd.

Fjärrkylans värmeväxlare kräver inte direkt någon specifik årlig service, i beräkningarna är det beräknat med att någon komponent kommer att förnyas inom beräkningsperioden,

som till exempel en pump. Drift- och underhållskostnaden för fjärrkyla är 3000 € efter 10/års drift av anläggningen. Kylmaskiner kräver en årlig service, och är given som 1000 € årligen.

Vid anslutning till fjärrkyla betalas en betydande anslutningsavgift. Energibolaget gör avtal för ett visst antal år, oftast 15 år. Efter utgående avtalsperiod kan avtalet förnyas men kostnaden för förnyandet är inte fastslagen. I detta examensarbete antas kostnaden vara 25 % av anslutningsavgiften. Dessa beräkningar utgår ifrån samma 25 % inklusive en inflationskorrigerings. Priset anses vara det samma efter varje 15-årsperiod. Eftersom fjärrkylans anslutningskostnader inte är allmänt tillgängliga och de varierar från projekt till projekt är det svårt att ge en absolut korrekt kostnad. På basis av tidigare genomförda projekt uppskattas de till 130 000 €. För fjärrkylan måste till energibolaget även betalas en årsavgift, som på motsvarande sätt uppskattas till 13 000 €.

Andelen fjärrkyla- och elenergi som skall köpas behandlades tidigare i examensarbetet. Fjärrkylans energipris är uppskattat till 30 €/MWh och elenergin till 130 €/MWh. I denna beräkning antas fastighetens kylenergibehov förbli oförändrat för hela beräkningsperioden.

I jämförelsen har den förlorade hyran för utrymmet på fjärde våningen beräknats med som kostnad för alternativet kylmaskin. Summan på förlorade hyror har diskonterats till nuvärdet och korrigerats med inflationshöjningen. I beräkningarna är hyran angiven som 30 €/ m² /månad plus ett avdrag på 5 €/ m² /månad för vederlag. Uppehållskostnader för den eventuella bostaden är inte medräknade. Utgångsvärdena som är använda i beräkningen finns givna i tabell 6.

Tabell 6. Utgångsvärden för ekonomiska beräkningarna

Kylmaskin		Fjärrkyla	
Ränta [%]	3	Ränta [%]	3
Inflation [%]	2	Inflation [%]	2
Kylanläggning ink. installation [€]	60000	Kylanläggning ink. installation [€]	35000
Drift- och underhåll [€/år]	1000	Drift- och underhåll [€/10år]	3000
Avskrivning (kylanläggning) [år]	15	Avskrivning (fjärrkyla anläggning) [år]	20
Kylmaskin SEER	4,07	Anslutnings avgift för fjärrkyla [€]	130000
Köpt El-energi [kWh/år]	14002,2	Årsavgift för fjärrkyla [€/år]	13000
El-energikostnad [€/kWh]	0,13	Förnyande av avtal, [%] av anslutningsavgiften var 15 år	25
Extra byggnadskostnader [€]	30000	Köpt fjärrkyla energi [kWh/år]	56989
Areal [m ²]	35	Fjärrkyla energikostnad [€/kWh]	0,03
Hyra [€/m ² /år]	300		

Tabell 7. Totala kostnader för kylmaskin

	Kylmaskin	
År	15	60
Kylanläggning ink. installation	60 000,00 €	152 417,22 €
Drift- och underhåll	13 022,25 €	45 196,25 €
Köpt El-energi	25 276,71 €	82 270,17 €
Extra byggnadskostnader	30 000,00 €	30 000,00 €
Förlorade hyresinkomster	145 804,15 €	474 560,64 €
Totalt	274 103,11 €	784 444,29 €

I tabell 7 beskrivs totala kostnader för kylmaskins alternativet. Hela kylanläggningen är beräknad att förnyas tre gånger. Drift- och underhållskostnaderna kommer från årlig servicen till respektive anläggning. Extra byggkostnaderna är beräknade endast vid investeringstillfället. Förlorade hyresinkomster är även medräknade.

Tabell 8. Totala kostnader för fjärrkyla

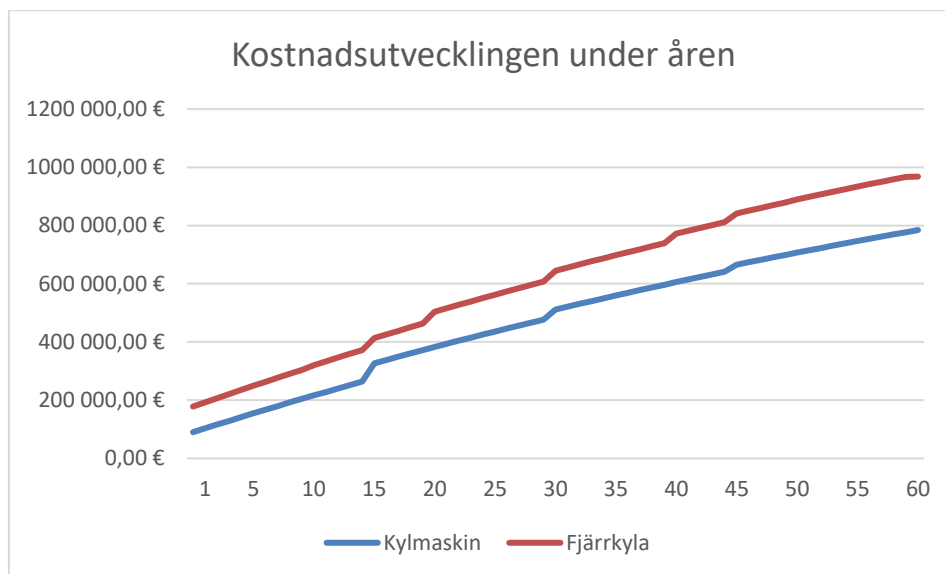
	Fjärrkyla	
År	15	60
Kylanläggning ink. installation	35 000,00 €	87 486,79 €
Drift- och underhåll	2 721,14 €	6 801,82 €
Anslutnings avgift för fjärrkyla	130 000,00 €	130 000,00 €
Förnyande av avtal	0,00 €	73 280,40 €
Årsavgift för fjärrkyla	193 519,42 €	593 311,58 €
Köpt fjärrkyla energi	23 740,66 €	77 270,68 €
Restvärde av värmepump samt drift och underhåll	-9 170,75 €	0,00 €
Totalt	375 810,47 €	968 151,27 €

I tabell 8 beskrivs de totala kostnaderna för fjärrkyla alternativet. Fjärrkyla anläggningen är beräknad att förnyas två gånger under 60 år. Drift- och underhållskostnaderna kommer från servicen som utförs efter 10 års drift av anläggningen. Till fjärrkyla anslutningsavgiften beräknas den klumpsumma man betalar för anslutningen vid investeringstillfället. Till förnyandet av avtalet är räknat den summa som uppstår vid förnyandet av avtalet var 15 år. Årsavgiften betalas årligen. Eftersom anläggningen för fjärrkyla samt drift- och underhållskostnaden har ett resterande värde vid 15 år beräknas ett restvärde för dem, som subtraheras bort från totala kostnaderna i 15 års beräkningen.

Tabell 9. Resultatet från ekonomiska beräkningarna

Alternativ	Kylmaskin		Fjärrkyla	
År	15	60	15	60
Totalt	274 103,11 €	784 444,29 €	375 810,47 €	968 151,27 €
Fjärrkyla/Kylmaskin	15	60		
	1,37	1,23		

Resultatet i Tabell 9 uppvisar att fjärrkyla kostar 1,23 – 1,37 gånger mer än en egen kylmaskin. Prisskillnaden är procentuellt lägre om räkneperioden är 60 år i stället för 15 år. Kostnadsutvecklingen under åren har angivits i Figur 15.



Figur 15. Kostnadsutveckling under åren med 3 % ränta

Räntesatsen har en inverkan på totalkostnaderna. För låg ränta blir nuvärdet högre och för hög ränta nuvärdet mindre. Resultatet för en period på 60 år med olik ränta kan ses i tabell 10. Resultaten visar att fjärrkyla är fortfarande ca 1,20–1,27 gånger dyrare än egen kylmaskin.

Tabell 10. Kostnader under 60 år med olik ränta

60år			
Anläggning	Kylmaskin		
Ränta	1 %	3 %	5 %
Totala kostnader	1 337 559,17 €	784 444,29 €	522 742,49 €
Anläggning	Fjärrkyla		
Ränta	1 %	3 %	5 %
Totala kostnader	1 602 662,39 €	968 151,27 €	666 261,30 €
Fjärrkyla/Kylmaskin	1 %	3 %	5 %
	1,20	1,23	1,27

5 DISKUSSION OCH SLUTSATS

Kostnader för fjärrkyla är högre än kostnader för egen kylmaskin. Den största delkostnaden vid fjärrkyla är årsavgiften, som under en period på 60 år utgör ca 61 % av alla kostnader. Den näst största posten är anslutningsavgiften och kostnaden för förnyandet av anslutningskontraktet, vilka tillsammans utgör ca 21 % av kostnaderna. Energikostnaden är bara ca 8 % av alla kostnader.

Försäljning av den eventuella bostaden skulle kunna täcka kostnaderna för nedkylningen för en lång tid framåt med fjärrkyla. Eftersom ägandet av bostaden bortfaller är inte den kostnaden jämförbar, därför görs kostnadsberäkningen med utebliven hyra.

Fjärrkyla är som väntat dyrare än en egen kylmaskin. Om man tar i beaktande förlorad våningsyta vid egen kylmaskin, blir fjärrkylan jämförbar. Denna extra kostnad i nuvärdet, som har uppskattats till 180 000 €, kan vara motiverad om man lägger vikt på låg ljudnivå och strikt förhållande till myndigheternas krav på ljudnivå i bostäder.

Koldioxidutsläppen är svåra att förutspå i framtiden, i synnerhet inom energiproduktionen. Ifall koldioxidutsläppen beräknas enligt Helens data för år 2019 till en 60 års period skulle de totala utsläppen vara 61 548,12 kg för fjärrkyla och 116 778,4 kg för kylmaskin. Det vill säga kylmaskinens utsläpp skulle vara ca 1,89 gånger högre än för fjärrkyla.

Mutanens (Mutanen 2017) undersökning visade att fjärrkylan var ca 3 gånger dyrare än egen kylmaskin till skillnad från denna undersökning där fjärrkylan var endast 1,23–1,37 gånger dyrare. Detta kan delvis bero på att i hans undersökning var fokuset på kylsystem för kontorsbyggnader och att kostnader för förlorad våningsyta inte var medräknade. Kylmaskinen gick i hans fall att placeras i källarutrymmet och kondensorn uppe på taket, till skillnad från detta arbete. I jämförelsen av koldioxidutsläpp visade det sig att kylmaskinen var ett miljövänligare alternativ i Mutanens arbete, i hans arbete användes andra utsläppsvärden (Mutanen 2017).

Priset på bostadsareals- och våningsyta i höghus har i synnerhet i centrala Helsingfors stigit markant. Varje tillgänglig kvadratmeter måste man kunna antingen sälja eller uthyra. En kylanläggning bör ta så lite utrymme och skada så lite boende- och användarkomfort som möjligt.

Fjärrkylans kostnader består till stor del av årsavgifter och kostnader för upprätthållande av kontrakt. Därför är det viktigt att få kontraktsvillkoren exakt definierade. Oväntade prisändringar i dessa poster kan ha stor betydelse för ekonomin.

Ifall byggnaden inte skulle vara skyddad och kondensorn eller hela kylmaskinen skulle gå att placeras på taket, skulle egen kylmaskin vara klart den förmånligaste lösningen. Men då det inte är möjligt får fjärrkylan en chans att konkurrera med egen kylmaskinen. Vid val av nedkylningssystem måste fastighetsägarna göra beslut om hur viktigt det är att få ett nästan ljudlöst system. Att ha en kylmaskin placerad i samma våning som bostäder låter inte som något lockande alternativ. För bolagets prestige kan det också vara en fördel att man har tagit hänsyn till ljudproblem och mindre koldioxidutsläpp.

KÄLLOR

- Airaksinen, M., Vainio, T., Vesanen, T. & Ala-Kotila, P., 2015, *Rakennusten jäähdytysmarkkinat*, VTT, asiakasraportti VTT- CR-06168-15. Tillgänglig: https://energia.fi/files/399/Rakennusten_jaahdytysmarkkinat_18-12-2015.pdf
Hämtad: 24.1.2021.
- Aittomäki, A., 2012, *Kylmäteknikka*, 4. painos, Suomen kylmähdistys ry, Porvoo.
- Daikin, vad är årstidsrelaterad verkningsgrad (SCOP och SEER)?. Tillgänglig: https://www.daikin.se/sv_se/faq/what-is-seasonal-efficiency--scop-and-seer-.html
Hämtad: 10.4.2021.
- D3 laskentaopas, 2012, *Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen*, Helsinki. Tillgänglig: [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/D3-kesaajan-lampotilojen-laskentaopas-\(syyskuu-2012\)-7B8D0893_4715_4FD1_B685_D2B71D6A6559-31274.pdf/5483a775-be11-908e-8b88-a509f40b7706/D3-kesaajan-lampotilojen-laskentaopas-\(syyskuu-2012\)-7B8D0893_4715_4FD1_B685_D2B71D6A6559-31274.pdf?t=1603260237052](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/D3-kesaajan-lampotilojen-laskentaopas-(syyskuu-2012)-7B8D0893_4715_4FD1_B685_D2B71D6A6559-31274.pdf/5483a775-be11-908e-8b88-a509f40b7706/D3-kesaajan-lampotilojen-laskentaopas-(syyskuu-2012)-7B8D0893_4715_4FD1_B685_D2B71D6A6559-31274.pdf?t=1603260237052) Hämtad: 6.4.2021.
- D5 Finlands byggbestämmelsesamling, *Beräkning av byggnaders energiförbrukning och effektbehov för uppvärmning*, 2012, Helsingfors. Tillgänglig: https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5r_2012.pdf Hämtad 24.2.2021.
- Hakala, P. & Kaappola, E., 2019, *Kylmälaitoksen suunnittelu*, 4. painos, Opetushallitus, Helsinki.
- Helen, 2018, *Helsingin jäähdytystarve ennätystasolla, apuna maanalaiset järvet*. Tillgänglig: <https://www.helen.fi/uutiset/2018/helsingin-jaahdytystarve-ennatyskorkealla> Hämtad: 24.1.2021.
- Helen, 2020, *De specifika utsläppen från energi*. Tillgänglig: <https://www.helen.fi/sv/om-foretaget/energi/energiproduktion/de-specifika-utslappen> Hämtad: 7.4.2021.
- Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas*, 2011, Ympäristöministeriö. Tillgänglig: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Jaahdytys_laskentaopas_12.9.2011-v2-B9D6D2F2_A816_4ECF_BE33_B8D56869253D-30752.pdf/c64dfbc-dfc-a5a4-1488-2eef53b8d676/Jaahdytys_laskentaopas_12.9.2011-v2-B9D6D2F2_A816_4ECF_BE33_B8D56869253D-30752.pdf?t=1603260212349
Hämtad: 24.2.2021.
- Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J., 2020, *Kylmätekniiikan perusteet*, 7. painos, Opetushallitus, Helsinki.

- Kaukojäähdytystilasto 2019, 2020, Energiateollisuus. Tillgänglig:*
<https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukojaahdytystilasto.html#materiaal-view> Hämtad 26.1.2021.
- Laitinen, A., Rämä, M. & Airaksinen, M., 2016, *Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut*, VTT, asiakasraportti VTT-CR-05415-16. Tillgänglig:
https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaseselvitys_VTT_221216.pdf
Hämtad: 23.1.2021.
- Louko, E., 2019, *Jäähdytys viilentää tehokkaasti – miten se oikeasti toimii*. Tillgänglig:
<https://www.helen.fi/asiakaspalvelu/ajankohtaista/arjessa/kaukojaahdytys/kaukojaahdytys-viilentaa-tehokkaasti> Hämtad: 24.1.2021.
- Miljöministeriets förordning om nya byggnaders energiprestanda 1010/2017*, 20.12.2017. Tillgänglig: <https://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/2017/20171010>
Hämtad: 6.4.2021.
- Nydal, R., 2007, *Praktisk kylteknik*, Svenska kyltekniska föreningen, Halmstad.
- Mutanen, O, *Toimistorakennuksen energiatehokas jäähdytys, Lappeenrannan teknillinen yliopisto*, 2017. Tillgänglig: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201705186615> Hämtad: 12.4.2021
- RT 18-10922, *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot*, Rakennustieto. Tillgänglig: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2018-10922> Hämtad: 14.04.2021
- Sandberg, E., 2014a, *Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät : ilmastointiteknikka osa 1*, Talotekniikka-julkaisut Oy.
- Sandberg, E., 2014b, *Ilmastointilaitoksen mitoitus : ilmastointiteknikka osa 2*, Talotekniikka-julkaisut Oy.
- Shore, J., 2014, *Refrigeration Process, Cooling Technology and Thermodynamic Cycles*, Learning Press, Delhi. Tillgänglig:
<https://www.perlego.com/book/1239168/refrigeration-process-cooling-technology-and-thermodynamic-cycles-concepts-and-applications-pdf> Hämtad: 28.2.2021.
- Skärvad, P.-H., Olsson, J., 2017, *Företagsekonomi 100*, uppl. 18, Liber, Malmö
- Tiitinen, M., 2020, *Kustannustehokasta ja ympäristöystävällistä kaukojäähdytystä*. Tillgänglig: <https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/kaukojaahdytys>
Hämtad: 26.1.2021
- Warfvinge, C. & Dahlblom, M., *Projektering av VVS-installationer*, 1:17.uppl., Studentlitteratur AB, Lund.

Wilhelms, T., 2020, *Kaukojäähdytystilasto 2019*, Energiateollisuus. Tillgänglig: https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukojaahdytys_2019_graafeina.html Hämtad: 26.1.2021

FIGURER OCH TABELLER

Figur 1, Kylanläggningens huvudkomponenter, Hakala, P. & Kaappola, E., 2019, *Kylmälaitoksen suunnittelu*, 4. painos, Opetushallitus, Helsinki.

Figur 2, Skiss på log p, h-diagram, Nydal, R., 2007, *Praktisk kylteknik*, Svenska kyltekniska föreningen, Halmstad.

Figur 3, Teoretiska kylprocessen i ett log p, h-diagram, Hakala, P. & Kaappola, E., 2019, *Kylmälaitoksen suunnittelu*, 4. painos, Opetushallitus, Helsinki.

Figur 4, Praktiska kylprocessen i ett log p, h-diagram, Hakala, P. & Kaappola, E., 2019, *Kylmälaitoksen suunnittelu*, 4. painos, Opetushallitus, Helsinki.

Figur 5, Paketkylmaskin kopplad till ventilationsaggregatets kylbatteri, Aittomäki, A., 2012, *Kylmäteknikka*, 4. painos, Suomen kylmähdistys ry, Porvoo.

Figur 6, Fjärrkylas försäljnings och anslutnings effekt, Wilhelms, T., 2020, *Kaukojäähdytystilasto 2019*, Energiateollisuus. Tillgänglig: https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukojaahdytys_2019_graafeina.html Hämtad: 26.1.2021

Figur 7, Fjärrkyla produktionen i Finland år 2019, Wilhelms, T., 2020, *Kaukojäähdytystilasto 2019*, Energiateollisuus. Tillgänglig: https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukojaahdytys_2019_graafeina.html Hämtad: 26.1.2021

Figur 8, Principskiss över ett kylsystem, D5 Finlands byggbestämmelsesamling, Beräkning av byggnaders energiförbrukning och effektbehov för uppvärmning, 2012, Helsingfors. Tillgänglig: https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5r_2012.pdf Hämtad 24.2.2021.

Tabell 1, Installationsvärden för rumstemperatur och ventilationsvolym under användningstid, Miljöministeriets förordning om nya byggnaders energiprestanda 1010/2017, 20.12.2017. Tillgänglig: <https://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/2017/20171010> Hämtad: 6.4.2021.

Tabell 2, Standardanvändning av byggnader och interna värmelaster per uppvärmd nettoarea, D3 Finlands byggbestämmelsesamling, Byggnaders energiprestanda,

föreskrifter och anvisningar, 2012, Helsingfors. Tillgänglig:
https://finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012_Svenska.pdf Hämtad 24.2.2021

Tabell 3, Riktgivande värden för kylsystems förlustkoefficienter, D5 Finlands byggbestämmelsesamling, Beräkning av byggnaders energiförbrukning och effektbehov för uppvärmning, 2012, Helsingfors. Tillgänglig:
https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5r_2012.pdf Hämtad 24.2.2021.

Tabell 4, Årliga köldfaktorer för alstring av kylenergi, D5 Finlands byggbestämmelsesamling, Beräkning av byggnaders energiförbrukning och effektbehov för uppvärmning, 2012, Helsingfors. Tillgänglig:
https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5r_2012.pdf Hämtad 24.2.2021.

Tabell 5, Elförbrukningskoefficienter för kylsystemets tillbehör, D5 Finlands byggbestämmelsesamling, Beräkning av byggnaders energiförbrukning och effektbehov för uppvärmning, 2012, Helsingfors. Tillgänglig:
https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5r_2012.pdf Hämtad 24.2.2021.