

Ekonomisk och termodynamisk konsekvensanalys vid val av köldbärare

Författare

Lars Moberg, Lunds Tekniska Högskola

Handledare

Pontus Holmström, Stainless Engineering AB
Mohsen Assadi, Institutionen för Värme och Kraft, Lunds
Tekniska Högskola

Förord

Detta examensarbete har utförts under hösten 2002 på uppdrag av Pontus Holmström, VD för Stainless Engineering AB. Handledare på Lunds Tekniska Högskola var Ph.D Mohsen Assadi, assisterande professor på Avdelningen för Kraftverksteknik, Institutionen för Värme och Kraft. Jag vill framföra ett varmt tack till mina två handledare som hjälpt mig med synpunkter, råd och kunnande. Ett stort tack även till Peter Nilsson på Kemira Kemi i Helsingborg som tog sig tid och visade mig runt på fabriksområdet och hjälpte mig med detaljuppgifter om anläggningen. Jag vill även tacka de personer som på olika sätt hjälpt mig med uppgifter rörande både det ena och det andra:

Bo Seborn	ArmaturlJonsson AB
Mats Birgersson	Asarum Industri AB
Hans Fredriksson	Värmesvets Entreprenad AB
Björn Fredriksson	AKA Kyla AB
Håkan Arkborn	John Crane Sverige AB

Slutligen vill jag tacka mina föräldrar Siv och Bengt Moberg som med sina erfarenheter och kunskaper fungerat som bollplank och hjälpt mig med uppgifter av skiftande karaktär inom området.

Lund, November 2002

Lars Moberg

Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete är att undersöka de ekonomiska och termodynamiska konsekvenser som valet av köldbärare innebär. I detta arbete har en ekonomisk kalkyl gjorts på investerings- och driftskostnader för ett köldbärarsystem vid olika kyleffekt, driftstemperatur och val av köldbärare. De jämförda köldbärarna är Freezium (kaliumformiat), etylenglykol och propylenglykol. En teoretisk jämförelse av vilka konsekvenserna blir för pumpenergikostnaden vid olika köldbärarval har även utförts på en befintlig köldbärranläggning.

Inledningsvis beskrivs de grundläggande teorierna kring de områden som rapporten berör såsom kylprocessen, värmeöverföring, tryckfall i rör och korrosion. Kunskap om denna teori anses mycket viktig för förståelsen kring problemområdet:

- Kylprocessen Hur påverkas energiåtgången av förändrade driftsförhållanden?
- Värmeöverföring Varför blir värmeöverföringsytorna olika stora beroende på vilken köldbärare som används?
- Tryckfall i rör Hur påverkas tryckfallet i rörstråken av köldbärarval och driftstemperatur?
- Korrosion Hur ska korrosion undvikas och därmed följande läckage?

Rapporten innehåller en beskrivning på några vanliga köldbärare och deras egenskaper. En jämförelse av deras termofysikaliska och värmeöverförande egenskaper har gjorts vilka visar att Freezium har lägst dynamisk viskositet och högst värmeöverföringsförmåga. Den klassiska köldbäraren kalciumklorid är också ett bra alternativ i denna jämförelse. Propylenglykol har däremot hög dynamisk viskositet och dåliga värmeöverförande egenskaper redan vid temperaturer runt 0 °C. Vidare behandlas vilka saker som bör beaktas vid val av komponenter vid konstruktion av köldbärarsystem med Freezium. Bl.a. bör systemet om möjligt vara byggt i rostfritt stål och vara helsvetsad i alla skarvar. Vid val av tätningmaterial i flänskarvar och ventilspindlar bör fibermaterial undvikas till förmån för t.ex. teflon.

Resultaten från pumpkostnadsberäkningen vid den befintliga anläggningen på Kemira Kemi i Helsingborg visar att pumpkostnaden blir ungefär densamma för alla jämförda köldbärartyper. Detta beror på att Freezium har hög densitet och etylenglykol låg volymetrisk värmekapacitet vilket kompenserar det lägre flödesmotstånd dessa har i jämförelse med propylenglykol. Resultaten från investeringsbedömningen visar att trots att ett system med köldbäraren Freezium kräver dyrare komponenter blir den totala investeringskostnaden ofta lägre än motsvarande anläggning med etylenglykol och alltid lägre än med propylenglykol. Detta beror främst på att värmeöverföringsytorna, som är anläggningens största utgiftspost, blir så mycket mindre och därmed billigare med Freezium. Vidare visade resultaten att anläggningens årliga driftskostnad i stort sett är oförändrad vid ändrad driftstemperatur för fallen Freezium och etylenglykol vilket beror på att den energibesparing en höjning av förångningstemperaturen innebär äts upp av den ökande energiåtgången för fläktar och avfrostningsutrustning. En nuvärdesberäkning har utförts som omfattar både investeringskostnad och driftskostnad under 15 år. Denna beräkning visar att Freezium i alla beräknade fall ger lägst total kostnad och propylenglykol absolut högst. Kostnadsskillnaden mellan Freezium och etylenglykol är mindre, ca 5 %.

Abstract

The purpose of this master thesis is to investigate the economic and thermodynamic consequences followed by the choice of secondary refrigerant. An estimation of the investment cost and energy cost has been carried out for a secondary refrigerating system at different cooling power, operation temperature and choice of secondary refrigerant. The compared secondary refrigerants are Freezium (potassium formate), ethylene glycol and propylene glycol. A theoretical comparison of the pumping power demand for different choices of secondary refrigerants has also been executed on an existing refrigerating plant.

By way of introduction the basic theories are dealt with concerning the areas that the thesis treats such as the refrigeration process, heat transfer, pressure drop in circular tubes and corrosion. Knowledge of this theory can be considered very important for the understanding of the problem:

- The refrigeration process: How is the energy consumption related with the operating conditions?
- Heat transfer: Why is the size of the heat transfer surface different with different secondary refrigerants?
- Pressure drop in tubes: How does the pressure drop differ with choice of secondary refrigerant and operating temperature?
- Corrosion: How can corrosion and following leakage be avoided?

The thesis contains a description of some frequently used secondary refrigerants and their properties. A comparison between their thermophysical and heat transfer properties has been carried out which shows that Freezium has the lowest dynamic viscosity and the highest heat transfer capability. The classic secondary refrigerant calcium chloride is also a good alternative in this comparison while propylene glycol has high dynamic viscosity and low heat transfer capability already at temperatures around 0 °C. Some things that has to be taken into account while constructing a secondary refrigerating plant with organic salts like Freezium is also treated in this thesis. The system should, if possible, be built in stainless steel and be welded in all joints Teflon should be chosen instead of fibre materials as sealing material for flanges and valve spindles.

The results from the pump cost calculation at the existing refrigerating plant at Kemira Kemi in Helsingborg shows that the cost is almost the same for all compared fluids. This is because the high density of Freezium and the low volumetric heat capacity of ethylene glycol compensate the lower flow resistance compared to propylene glycol. The results from the investment judgement show that the total investment cost is lower for Freezium even though the cost of components is higher. This is mostly because the heat transfer surface, that is the highest item of expenditure, is much smaller and therefore much cheaper with Freezium. The results also showed that the plant's energy cost is almost unchanged with different operating temperature for Freezium and ethylene glycol. The reason for this is that the rise in power demand of the primary refrigeration system due to lower evaporation temperature is compensated by the reduction of power demand for fans and defrosting equipment. A total cost calculation was carried out that included the investment cost as well as energy cost during 15 years. The results showed that the total cost was always lower for Freezium than propylene glycol. The difference between Freezium and ethylene glycol was small for lower refrigeration power but for bigger (>100 kW) plants using Freezium the cost was lower than plants using ethylene glycol.

Innehållsförteckning

FÖRORD	1
SAMMANFATTNING	2
ABSTRACT	3
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	4
1 INLEDNING	6
1.1 BAKGRUND	6
1.2 PROBLEMFÖRMULERING	7
1.3 MÅL	8
1.4 METODBESKRIVNING	8
1.5 AVGRÄNSNING	8
1.6 NOMENKLATUR	8
2 TEORETISK ANALYS	10
2.1 TEORI FÖR KYLPROCESSEN	10
2.2 KYLBEHOVSBERÄKNING	12
2.3 VÄRMEÖVERFÖRING	13
2.4 TRYCKFALL OCH PUMPEFFEKT	16
2.5 KORROSION	19
2.6 GASERS UPPLÖSNINGSFÖRMÅGA I VATTEN	23
3 DE OLIKA KÖLDBÄRARNA OCH DESS EGENSKAPER	24
3.1 PROPYLENGLYKOL	24
3.2 FREEZIUM	25
3.3 ETYLENGLYKOL	25
3.4 ETANOL	26
3.5 KALCIUMKLORID	26
3.6 JÄMFÖRELSE AV TERMOFYSIKALISKA EGENSKAPER	26
3.7 SAMMANFATTNING	29
4 KÖLDBÄRARSYSTEMETS KOMPONENTER	30
4.1 VÄRMEVÄXLARE	30
4.2 VENTILER	31
4.3 PUMPAR	32
4.4 AVLUFWARE	34
4.5 KORROSIONSSKYDD	36
4.6 ÖVRIGT	37
5 ATT TÄNKA PÅ VID KONSTRUKTION AV KÖLDBÄRARSYSTEM	38
5.1 MATERIALVAL	38
5.2 SYRETS INVERKAN	38
5.3 UPPSTARTSFÖRFARANDE	39
6 REFERENSOBJEKT	40
6.1 BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGEN	40
6.2 KÖLDBÄRARENS EFFEKT PÅ PUMPENERGIN	45
7 SYSTEMSTUDIER	47
7.1 SYSTEMBESKRIVNING	47
7.2 BERÄKNING	49
7.3 RESULTAT FRÅN DIMENSIONERING AV VÄRMEVÄXLARE OCH LUFTKYLARE	55
7.4 INVESTERINGSBEDÖMNING	57

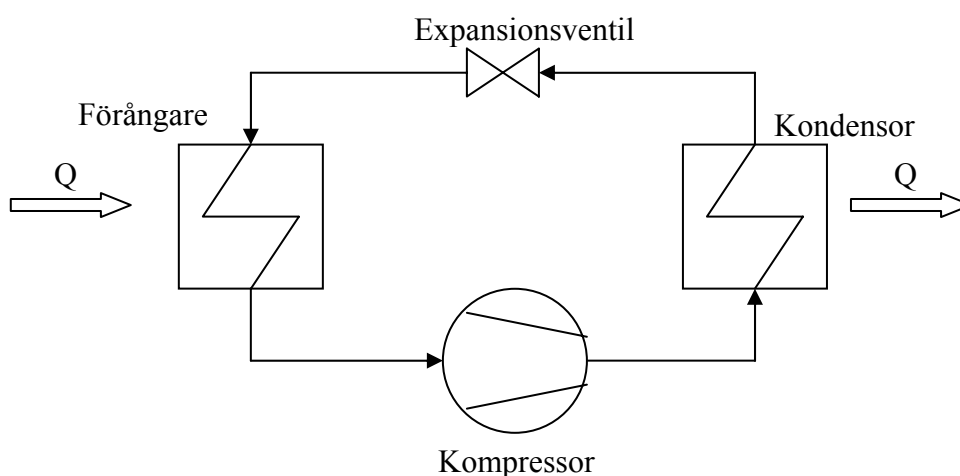
8	SLUTSATS	65
9	REFERENSER	66
10	BILAGOR	67
	BILAGA 1 – KOMPONENTLISTA FÖR KÖLDBÄRARSYSTEM DN 80, P=83 kW	67
	BILAGA 2 - KOMPONENTLISTA FÖR KÖLDBÄRARSYSTEM DN 150, P=430 kW	71
	BILAGA 3 – DRIFTSKOSTNADSBERÄKNINGAR	76
	BILAGA 4 – NUVÄRDESKALKYL	77
	BILAGA 5 – FLÖDESSCHEMA FÖR SYSTEMSTUDIE.....	79
	BILAGA 6 – TRYCKFALLSBERÄKNING	80
	BILAGA 7 – PUMPKURVA FÖR KÖLDBÄRARPUMP PÅ KEMIRA KEMI AB.....	82
	BILAGA 8 – KORREKTIONSDIAGRAM FÖR ANVÄNDNING AV VÄTSKA MED ANNAN VISKOSITET ÄN VATTEN.	83

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Kyl- och frysanläggningar i industriell skala har många tillämpningsområden. Inom livsmedelsindustrin spelar kyl- och frysanläggningar ofta en central roll i produktionen då produkterna ska nedkylas eller infrysas. Andra stora applikationer är fryslager, isbanor, luftkonditionering och värmepumpar. Frysanläggningar används ibland även som testriggar för produkter som ska klara arktiskt klimat med temperaturer ned mot $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

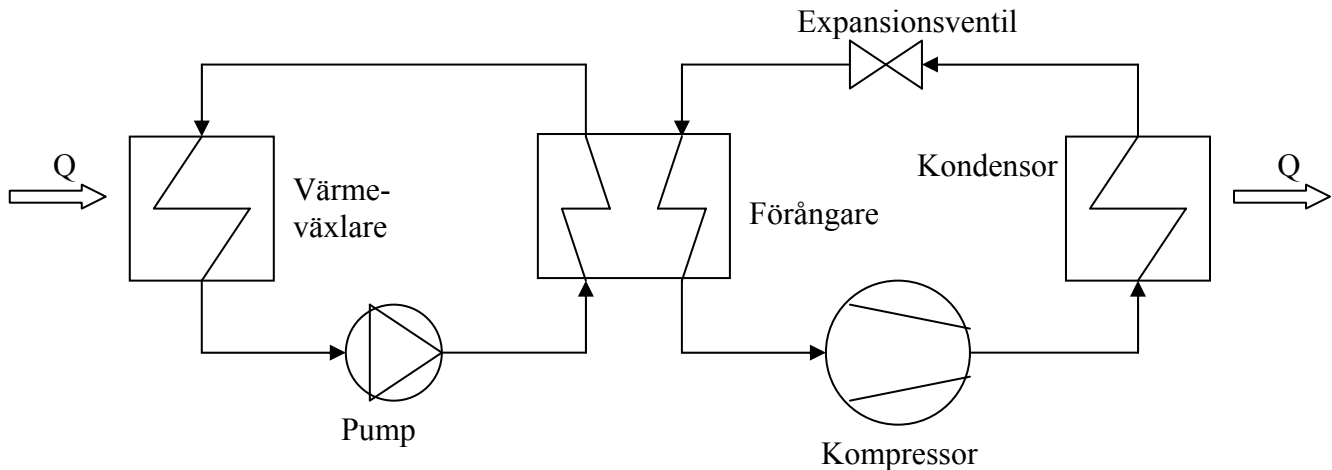
Kyl- och frysanläggningar innehåller olika typer av köldmedier som tar upp energi från omgivningen då de kokar vid lågt tryck och avger energi då de kondenserar vid högt tryck, se Figur 1-1.



Figur 1-1 Schematisk beskrivning av en kyl- / frysanläggning

I början av seklet användes ammoniak, koldioxid och svaveldioxid som köldmedium. Dessa köldmedier – som idag har fått en renässans – ansågs i början av 1900-talet ha nackdelen att vara giftiga, brandfarliga och besvärliga att hantera. Under 30-talet började ”freoner” marknadsföras som var enkla att hantera exempelvis i kylskåp, kyldiskar och liknande anläggningar. I mitten av 1970-talet började det dock misstänkas att freonerna hade en negativ inverkan på ozonskiktet och sedan dess har det dels försökt utveckla mindre skadliga freoner men framför allt har det strävats efter att återgå till användning av naturliga köldmedier såsom ammoniak, koldioxid, och på senare tid även korta kolväten som propan och butan.[1], [2]

Oavsett vilket köldmedium som används är det av stort intresse att minska läckage från anläggningen. Ett bra sätt är att minska antalet kopplingar, ventiler m.m. samt att minska köldmediemängden. Detta görs genom att koppla ihop anläggningen med ett sekundärt system, se Figur 1-2, som endast ska fungera som energitransportör, en s.k. köldbärare. Detta sekundära system kan innehålla vatten eller, om temperaturen är under fryspunkten, någon typ av frysskyddande lösning, t.ex. någon typ av glykol eller salt. Det sekundära systemet gör att köldmediet inte behöver pumpas ut i t.ex. produktionen eller fryslagret, vilket drastiskt minskar köldmediemängden och antalet läckagemöjligheter.



Figur 1-2 Schematisk beskrivning av kyl- / frysanläggning med sekundärt system

Organiska köldbärare såsom etanol, etylenglykol och propylenglykol är bra alternativ som köldbärare då de är relativt billiga och inte alltför aggressiva mot olika konstruktionsmaterial. Då arbetstemperaturen sjunker ökar dock glykolens viskositet snabbt vilket påverkar pumparbete och värmeöverföringsegenskaper. Detta ger i sin tur högre driftskostnader och större värmeväxlarytor. Oorganiska salter såsom t ex kalciumklorid har inte denna negativa egenskap och lämpar sig därför bättre för lägre driftstemperaturer. En ny familj organiska salter har under slutet av 90-talet börjat användas som köldbärare. De olika fabrikaten består antingen av kaliumacetat, kaliumformiat eller blandningar av acetat och formiat.[3] Förutom små skillnader i termofysikaliska egenskaper skiljer de sig främst i sammansättning av korrosionsinhibitorer som tillsättes för att skydda konstruktionsmaterialen från korrosion. De är dyrare än de tidigare nämnda organiska köldbärarna men har mycket goda termiska egenskaper speciellt vid lägre temperaturer. P.g.a. att de är elektrolyter är de aggressiva mot vissa metaller och aktsamhet måste därför iakttagas vid komponentval av ventiler, pumpar m.m.. Dessutom har de lägre ytspänning vilket gör att de har större benägenhet att orsaka läckage.[2]

1.2 Problemformulering

Freezium, vars potential avses utvärderas på uppdrag av Stainless Engineering AB, tillhör den nya familjen av organiska salter. Det faktum att dessa salter är aggressiva mot vissa metaller och har större benägenhet att läcka gör att många konstruktörer idag väljer att använda sig av glykoler för att undvika dessa problem. En läckande anläggning är inte estetiskt tilltalande och det är lätt för kunden att se dessa brister i anläggningen. Ännu värre är om köldbäraren läcker ut i produkterna och kontaminerar dessa. En läckande anläggning är helt enkelt en vanlig orsak till att konstruktörer och installatörer får dåligt rykte i branschen. Ett hundratal anläggningar med Freezium visar dock att dessa typer av problem med rätt kunskaper inom materialval och systemutformning kan undvikas.

Vad som är betydligt svårare att se är hur bra en anläggning egentligen fungerar, d.v.s. hur bra anläggningen är ur ekonomisk synvinkel. Kunden får den kyleffekt som efterfrågats, men frågan är till vilket pris. Var valet av köldbärare det rätta och vad hade det inneburit att göra ett annat val?

1.3 Mål

Detta arbete har som mål att ge en objektiv bild av vilket val av köldbärare som är bäst ur termodynamisk och framförallt ur ekonomisk synvinkel. De konsekvenser som följer av valet av köldbärare, såsom t.ex. komponentval och prestanda ska undersökas. Syftet med denna undersökning är att visa vilket val av konstruktion som är kostnadsmässigt bäst, både vad gäller konstruktions- och driftskostnad. Detta borde ligga både i kundens och konstruktörens intresse.

1.4 Metodbeskrivning

För att utreda de frågor som togs upp i problemformuleringen samlades information om samtliga komponenter i ett köldbärarsystem in. De högre krav som de nya kaliumsalterna ställer på systemets olika komponenter utreddes. Priser för samtliga komponenter togs fram och därefter dimensionerades komponenterna utifrån de parametrar som var givna. Den totala investeringskostnaden kunde sedan sammanställas för att ge en bild av hur stor skillnaden blir för de olika köldbäraralternativen.

En undersökning gjordes av anläggningarnas energibehov. Information om detta togs från dimensioneringsprogram och cykelsimuleringsprogram.

Systemens totala kostnad under dess livstid beräknades genom en nuvärdesberäkning som innefattade investeringskostnaden och den årliga energikostnaden.

För att närmare utreda hur pumpenergiebehovet varierade med köldbärarvalet gjordes en teoretisk undersökning av pumpenergiekostnaden på en befintlig anläggning. Denna utfördes genom att göra en teoretisk förenkling av anläggningen och därefter beräkna flöden, tryckfall och resulterande pumpenergi.

1.5 Avgränsning

Examensarbetet avser att undersöka kostnader för installation och drift för sekundära kylsystem konstruerade för en köldbärartemperatur mellan 0 °C och -10 °C. Kostnader för installation av det primära kylsystemet behandlas ej men däremot dess energikostnad. Kostnader för underhåll av anläggningarna tas ej med i beräkningarna då de i stort sett är lika för samtliga alternativ. Dimensionering av komponenter sker med hjälp av tillverkarnas dimensioneringsprogram. Någon kritisk granskning av hur dessa program utför de teoretiska beräkningarna utförs inte.

1.6 Nomenklatur

A_1, A_2	Värmeöverförande area
b	Vägg tjocklek
C	Koncentration
COP	Coefficient of performance
C_p	Specifik värmekapacitet
d	Diameter
E	Tillförd effekt till kylprocess
f	Friktionsfaktor
g	Jordaccelerationen

h	Tryckhöjd
k	Henrys konstant
K	Förlustkoefficient
L	Karakteristisk längd
m	Massa; Massflöde
Nu	Nusselts tal
p	Tryck
P	Effekt
Pr	Prandtls tal
Q	Energiflöde; Volymflöde
Re	Reynolds tal
s	Entropi
T	Temperatur
U	Värmegenomgångskoefficient
v, w	Hastighet
W	Arbete

Grekiska bokstäver:

Θ	Temperaturdifferens
α_1, α_2	Värmeövergångskoefficient
ε	Ytojämnhetsfaktor
η	Verkningsgrad
λ	Värmeledning
μ	Dynamisk viskositet
ρ	Densitet

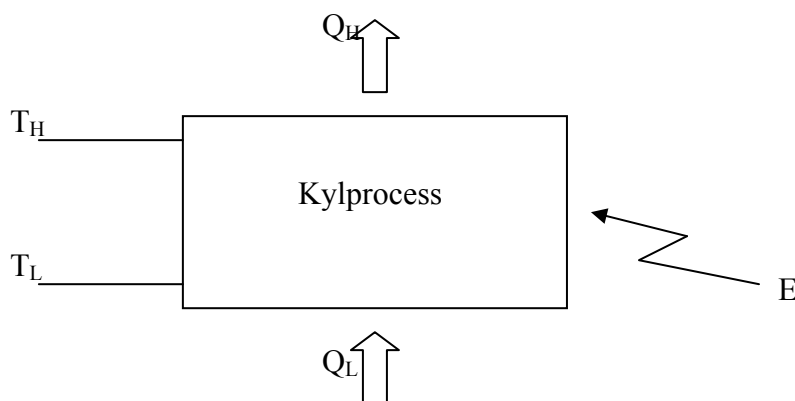
Index:

Ct	Carnot
D	diameter
f	Förlust
för	Förångning
F	Försmutningsfaktor
H	Hög nivå
HP	Värmepumpsprocess
KB	Köldbärare
lam	Laminär
L	Låg nivå
p	pinch
part	Partial
r	Reversibel
ref	Kylprocess
till	Tillförd
w	Vägg
ÖH	Överhettning

2 Teoretisk analys

2.1 Teori för kylprocessen

Följande teoribeskrivning är hämtad ur [1]. En kylprocess uppgift är oftast att uppnå en lägre temperatur än omgivningens och för att göra detta måste värmeenergi ”pumpas” från en lägre temperatur till en högre. Kylprocessen kan beskrivas schematiskt enligt Figur 2-1.



Figur 2-1 Schematisk beskrivning av en kylprocess. För att kunna transportera energi från en lägre temperatur till en högre måste energi, E_{in} tillföras processen.

Enligt termodynamikens andra lag måste energi, E , tillföras en process för att den ska kunna transportera energi från en lägre temperaturnivå till en högre. Vidare ger termodynamikens första lag att i en kontinuerlig process måste följande gälla:

Formel 2-1
$$Q_H = Q_L + E$$

Av intresse vid beräkning av en kylprocess prestanda är förhållandet mellan den bortförda energin Q_L och den tillförda energin E . Detta förhållande benämns ofta som COP_{ref} , vilket står för ”coefficient of performance”. COP_{ref} definieras enligt

Formel 2-2
$$COP_{ref} = \frac{Q_L}{E}$$

Det kan även nämnas att för en värmepump, där Q_H är den nyttiga energin, används samma begrepp men definieras då enligt

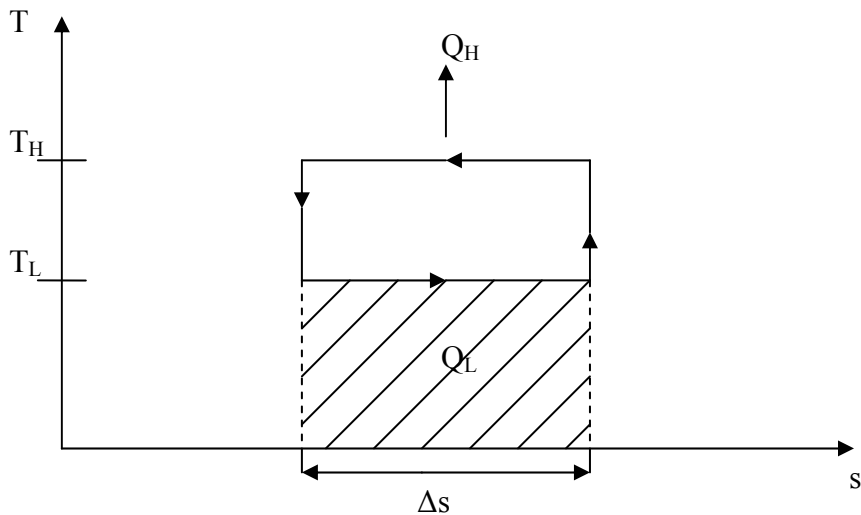
Formel 2-3
$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{E}$$

Givetvis kan COP även beräknas som förhållandet mellan effekter, med samma resultat som följd. För att enkelt kunna beräkna COP_{ref} skulle det vara praktiskt att istället för ett förhållande mellan två energier definiera COP_{ref} enligt ett förhållande mellan de två temperaturerna T_H och T_L . Detta förhållande kan lätt härledas. Med hjälp av Formel 2-1 kan COP_{ref} skrivas om enligt

Formel 2-4

$$COP_{ref} = \frac{Q_L}{E} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H - Q_L}{Q_L}} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$$

Vi ska nu studera en ideal kylprocess enligt Carnot. Carnot-cykeln kan beskrivas i ett T-s-diagram enligt Figur 2-2. Utmärkande för en Carnot-process är att värmeförsel och värmeavgivning sker vid konstant temperatur och att temperaturförändringar sker isentropiskt, d.v.s. utan ökning av entropi.



Figur 2-2 Carnot-cykeln i ett T-s-diagram

Den generella definitionen på entropi är

Formel 2-5

$$ds = \frac{dQ_r}{T}$$

Där Q_r är övergången av värme till en reversibel process. Ur Formel 2-5 fås att

Formel 2-6

$$Q_r = \int T ds$$

Om Formel 2-6 tillämpas för Carnot-processen i Figur 2-2 fås

Formel 2-7

$$Q_L = T_L \cdot \Delta s$$

På samma sätt fås

Formel 2-8

$$Q_H = T_H \cdot \Delta s$$

Då processen är ideal är Δs lika för de båda fallen. Insättning av Formel 2-7 och Formel 2-8 i Formel 2-4 ger då

Formel 2-9

$$\frac{COP_{ref,Ct}}{T_L} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

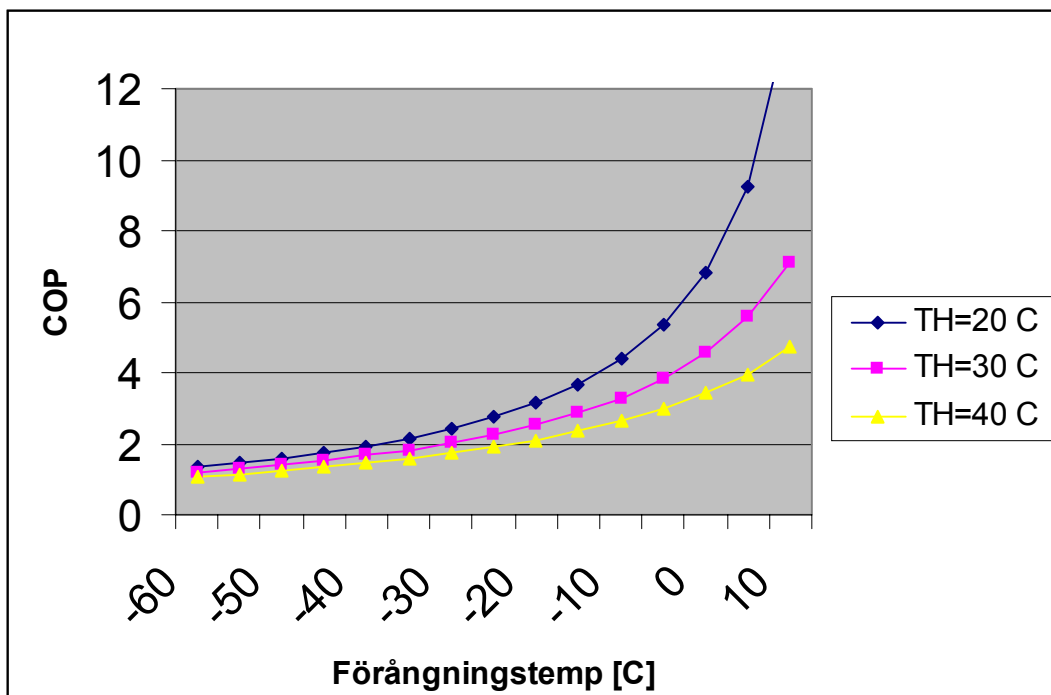
Formel 2-9 är alltså COP för en ideal kylprocess beskriven av dess högsta och lägsta temperatur, vilket i det verkliga fallet motsvarar förångnings- och kondenseringstemperaturen. En verklig kylprocess är givetvis aldrig ideal, varför en *Carnot-verkningsgrad* η_{Ct} måste införas.

Formel 2-10

$$COP_{ref} = \eta_{Ct} \cdot \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

Värdet på η_{Ct} beror bl.a. på karakteristikerna på cykeln, vilken typ av köldmedium som används, systemets storlek och verkningsgraden på kompressorn. Som en tumregel kan det antas att värdet på η_{Ct} ligger mellan 0.4 och 0.6.[1]

Det bör noteras att för att uppnå ett högt värde på COP_{ref} skall skillnaden mellan T_H och T_L vara så liten som möjligt. Detta är en grundläggande regel vid utläggning av en kylprocess. Hur COP_{ref} beror på temperaturerna kan studeras i Figur 2-3.



Figur 2-3 COP_{ref} som funktion av processens temperaturer. $\eta_{ct}=0.5$

2.2 Kylbehovsberäkning

Beräkningen av hur stort kylbehovet är för kyl- och frysrum kan vara ganska svår att utföra med större noggrannhet. Kylbehovet beror t.ex. på förlusterna i väggar, golv och tak som i sin tur beror på omgivningstemperatur, solstrålning, vindar, väggarnas sammansättning m.m..

Aktiviteter i kylrummet såsom in- och utlastning ger också svårberäknade förluster.[1] Vidare är det svårt att uppskatta den kyleffekt som går åt då varma varor lastas in i kylrummet. Det är alltså uppenbart att även om konstruktören lägger ned massor av tid för att försöka beräkna kylbehovet så kommer det ändå inte att bli helt korrekt.

För att bespara sig dessa bekymmer användes ofta av olika tumregler för beräkning av kylbehovet. En tumregel anger kyleffekten 150 W/m^2 golvyta och en annan $25\text{-}30 \text{ W/m}^3$. Det är dock viktigt att notera att dessa tumregler beror på kylrummets storlek, d.v.s. kvoten mellan rummets volym och väggarnas area. För ett mycket litet kylrum kan kylbehovet bli så stort som 100 W/m^3 och för mycket stora kylrum så litet som 20 W/m^3 . [4] Vidare behöver kanske effekt läggas till för att ta hänsyn till stor aktivitet i kylrummet och inlastning av varma varor. Vid användning av tumregler måste hänsyn därmed ändå tagas till kylrummets individuella behov, fast på en betydligt lägre nivå.

2.3 Värmeöverföring

Följande teoribeskrivning är hämtad ur [5]. Den värmemängd som genom en vägg överförs mellan två fluider kan generellt beskrivas enligt

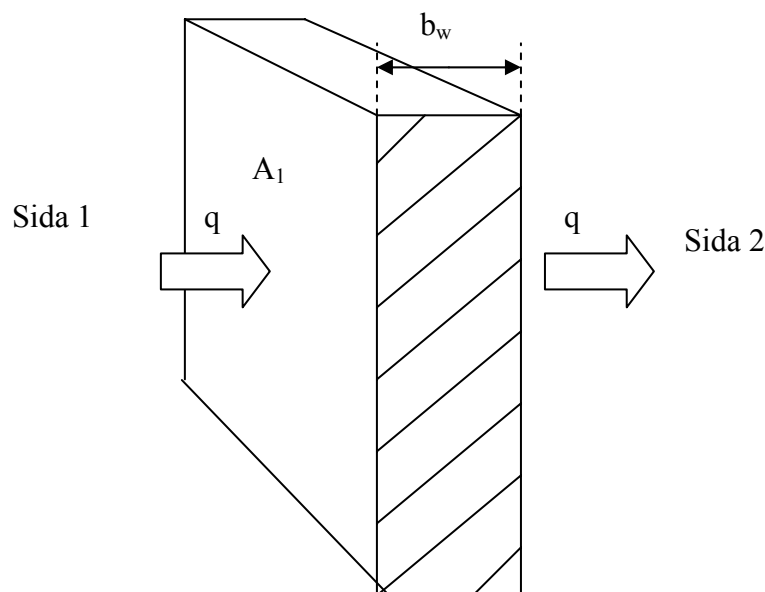
Formel 2-11
$$q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Där

U = värmegenomgångskoefficienten

ΔT = temperaturdifferensen mellan fluiderna på de två sidorna av väggen

Figur 2-4 visar en schematisk bild av situationen. Väggen kan t.ex. vara en rörvägg eller en platta i en plattvärmväxlare.



Figur 2-4 Schematisk beskrivning av värmeöverföring genom en vägg.

Värmeövergångskoefficienten beräknas enligt

$$\text{Formel 2-12} \quad \frac{1}{U \cdot A} = \frac{1}{\alpha_1 \cdot A_1} + \frac{1}{\alpha_{F1} \cdot A_1} + \frac{b_w}{\lambda_w \cdot A_w} + \frac{1}{\alpha_{F2} \cdot A_2} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot A_{21}}$$

där α_1 och α_2 är värmeövergångskoefficienterna för de två olika sidorna av väggen. α_F är försmutsningsfaktorn som orsakas av eventuell smuts som finns på den värmeöverförande ytan. b_w är väggens tjocklek och λ_w är väggmaterialets värmekonduktivitet. Av intresse är nu att bestämma värmeövergångskoefficienterna α_1 och α_2 . De kan beräknas enligt

$$\text{Formel 2-13} \quad \alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{L}$$

Där L är en karakteristisk längd (för t.ex. rör är L diametern). Värmeövergångskoefficienten bestäms alltså av fluidens värmekonduktivitet och Nusselts tal Nu . Nu är ett dimensionslöst tal som bestäms av fluidens egenskaper, geometrin och strömningens karaktär. I en fläktluftkylare, som i denna rapport kommer att spela en central roll, sker värmeöverföringen från luften via flänsade rörtuber till köldbäraren. Valet av köldbärare kommer här att påverka överföringen från rörvägg till köldbärare och därför kommer värmeöverföring vid rörströmning här att behandlas. Teorin för värmeöverföring mellan plana plattor (plattvärmeväxlare) kommer inte att behandlas men liknar mycket den för rörströmning.

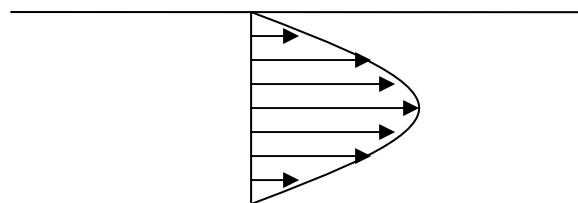
Värmeöverföringen från fluiden till rörväggen är starkt beroende av om strömningen i röret är laminär eller turbulent. Detta bestäms av Reynolds tal enligt

$$\text{Formel 2-14} \quad Re = \frac{\rho w d}{\mu}$$

Strömningen kan betraktas som laminär då $Re < 2300$, transient då $2300 < Re < 10000$ och fullt turbulent då $Re > 10000$.

2.3.1 Laminär strömning i cirkulära rör

Laminär strömning karakteriseras av den stora hastighetsskillnaden mellan rörväggen och rörets mitt. Hastighetsprofilen kan här betraktas som parabolisk, se Figur 2-5.



Figur 2-5 Hastighetsfördelningen vid laminär strömning i cirkulär tub

Värmeövergångskoefficienten kan som tidigare nämnts beräknas med Nusselts tal och för laminär strömning kan Nu bestämmas enligt

Formel 2-15

$$\overline{Nu_D} = 3.656 + \frac{0.0668 Re_D Pr(D/x)}{1 + 0.04(Re_D Pr(D/x))^{2/3}}$$

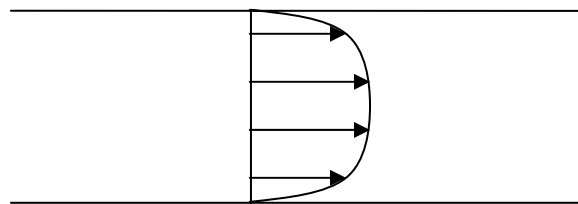
där x är avståndet från rörets inlopp och Pr är Prandtl-talet som beräknas enligt

Formel 2-16

$$Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda}$$

2.3.2 Turbulent strömning i cirkulära rör

Den konvektiva värmeöverföringen är betydligt bättre vid turbulent strömning. Här är hastighetsfördelningen betydligt jämnare än vid laminär strömning, se Figur 2-6



Figur 2-6 Hastighetsfördelningen vid turbulent strömning i cirkulär tub

Många korrelationer har tagits fram empiriskt för värmeöverföring vid fullt utvecklad turbulent strömning. Gnielinski tog fram en formel för Nusselts tal som även gäller bra för låga Reynolds tal (transienta området) enligt

Formel 2-17

$$Nu_D = \frac{f/8(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12.7\sqrt{f/8}(Pr^{2/3} - 1)}$$

Formel 2-18

Giltighetsområde för Gnielinskis formel är $0.5 < Pr < 2000$, $2300 < Re < 5 \cdot 10^6$. Friktionsfaktorn f skall bestämmas enligt

Formel 2-19

$$f = (0.79 \ln Re_D - 1.64)^{-2}$$

En annan ekvation som gäller för konstant väggtemperatur brukar Colburns ekvation

Formel 2-20

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{0.8} Pr^{1/3}$$

Den gäller då $Re_D > 10^5$, $0.7 < Pr < 160$, $L/D > 60$

Om Formel 2-20 kombineras med Formel 2-16 och Formel 2-14 fås Nusselts tal uttryckt i fluidens termofysikaliska egenskaper enligt

Formel 2-21

$$Nu_D = \frac{0.023 \cdot (\rho \cdot w \cdot d)^{4/5} C_p^{1/3}}{\mu^{7/15} \lambda^{1/3}}$$

vilket ger uttrycket för α enligt

$$\text{Formel 2-22} \quad \alpha = \frac{Nu_D \lambda}{d} = \frac{0.023 \cdot (\rho \cdot w)^{4/5} C_p^{1/3} \lambda^{2/3}}{\mu^{7/15} d^{1/5}}$$

Formel 2-22 visar att för god värmeöverföring från rörvägg till köldbärare bör densiteten, värmekapaciteten och värmekonduktiviteten vara hög och den dynamiska viskositeten låg.

2.4 Tryckfall och pumpeffekt

2.4.1 Beräkning av tryckfallet vid rörströmning

Teoribeskrivningen i avsnitt 2.4.1 är hämtad ur [6]. För strömning i cirkulära rör kan tryckfallet som uppstår av friktionsförlusterna bestämmas med hjälp av Darcy-Weisbachs ekvation:

$$\text{Formel 2-23} \quad h_f = f \frac{L V^2}{d 2g}$$

där h_f är tryckförlusten i meter vätskepelare. Omräkning till tryckförlust i Pascal sker enligt

$$\text{Formel 2-24} \quad \Delta p = \rho \cdot g \cdot h_f$$

vilket resulterar i

$$\text{Formel 2-25} \quad \Delta p = \rho \cdot f \frac{L V^2}{d 2}$$

Friktionsfaktorn f kan för släta rör beräknas enligt

$$\text{Formel 2-26} \quad \begin{cases} f_{lam} = \frac{64}{Re_d} & \text{för laminär strömning} \\ \frac{1}{f^{1/2}} = 2.0 \log(Re_d f^{1/2}) - 0.8 & \text{för turbulent strömning} \end{cases}$$

Vid turbulent strömning påverkas tryckfallet mycket av ojämnheter på rörväggens yta. För att ta hänsyn till detta kan Haalands formel användas enligt

$$\text{Formel 2-27} \quad \frac{1}{f^{1/2}} \approx -1.8 \log \left[\frac{6.9}{Re_d} + \left(\frac{\varepsilon}{3.7d} \right)^{1.11} \right]$$

där ϵ är ett mått på ytans ojämnhet. Ett alternativ till Haalands formel är det berömda Moody-diagrammet.

2.4.2 Pumpeffekt

Arbetet som tillförs fluiden genom pumpen är

Formel 2-28
$$W_{pot} = m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot \Delta p}{\rho}$$

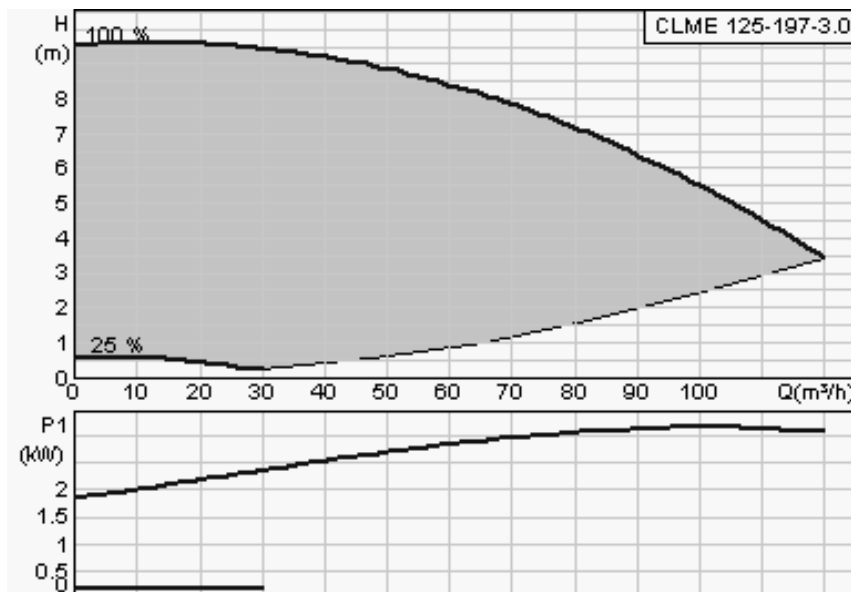
Effekten är arbete per tidsenhet och $m = Q \cdot \rho$ vilket ger

Formel 2-29
$$P = \frac{m \cdot \Delta p}{\rho} = Q \cdot \Delta p$$

Den tillförda effekten till pumpen är dock alltid större p.g.a. förluster. Därför blir pumpens tillförda effekt

Formel 2-30
$$P_{till} = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta}$$

där η är pumpens verkningsgrad. Denna betraktning är dock inte särskilt tillförlitlig utan kan endast tjäna som en uppskattning av effektbehovets storleksordning eftersom pumpens verkningsgrad är svår att uppskatta. För mera noggrann beräkning används pumpkurvor som experimentellt tagits fram av pumptillverkaren, se Figur 2-7. Det kan vara intressant att notera att pumpens effektbehov minskar då flödet stryps.



Figur 2-7 En pump ger för varje tryckhöjd ett visst flöde. Denna karakteristik beskrivs av en pumpkurva. Den undre kurvan visar pumpens effektbehov.

Ett problem vid beräkning av pumpeffekt för köldbärare är att pumpkurvor nästan uteslutande gäller för vatten. Köldbärarvätskor skiljer sig från vatten vad gäller t.ex. densitet och viskositet och därför måste det utlästa värdet korrigeras på något sätt så att de gäller för den aktuella fluiden.

Antag att tryckfall Δp och volymflöde Q är beräknat för den aktuella köldbäraren. För att kunna använda värdet på Δp måste det räknas om i meter vattenpelare enligt Formel 2-24. Om Formel 2-28 nu betraktas kan det konstateras att tryckhöjden h är beräknad i meter vattenpelare, d.v.s.

Formel 2-31

$$P = m \cdot g \cdot h = m \cdot g \cdot \frac{\Delta p}{\rho_{H_2O} \cdot g} = \frac{m \cdot \Delta p}{\rho_{H_2O}}$$

Massflödet måste dock beräknas för den aktuella fluiden, d.v.s.

Formel 2-32

$$m = Q \cdot \rho_{\text{vätska}}$$

Om Formel 2-32 insättes i Formel 2-31 fås, om även verkningsgraden sätts in,

Formel 2-33

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} \cdot \frac{\rho_{\text{vätska}}}{\rho_{H_2O}}$$

Det är uppenbart att om pumpeffekten för två olika vätskor ska jämföras kan detta ske genom att tillämpa likformighetslagar, d.v.s.

Formel 2-34

$$\frac{Q \cdot \Delta p}{P_1 \cdot \eta} \cdot \frac{\rho_{\text{vätska1}}}{\rho_{H_2O}} = \frac{Q \cdot \Delta p}{P_2 \cdot \eta} \cdot \frac{\rho_{\text{vätska2}}}{\rho_{H_2O}}$$

I vårt fall är vätska 1 vatten varför Formel 2-34 kan förenklas enligt

Formel 2-35

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{\rho_{\text{vätska2}}}{\rho_{H_2O}}$$

Formel 2-35 visar att pumpeffekten ökar vid ökad densitet. Ökningen är direkt proportionell mot densitetsökningen.

Då fluidens viskositet ökar sjunker pumpens verkningsgrad och därför måste även korrigering ske med avseende på detta. Korrigeringen utförs med hjälp av en korrektionstabell enligt Bilaga 8.

2.5 Korrosion

2.5.1 Allmän korrosionsteori

Teoribeskrivningen för avsnitt 2.5 är hämtad ur [7]. Korrosion kan betraktas som processen där metaller återgår till sitt naturliga tillstånd, d.v.s. till malmerna där de ursprungligen hämtades. Korrosion innebär oxidation av främst metaller men även ickemetaller, t.ex. plaster.

Betrakta ett stycke järn som sänks ner i en vattenlösning. Järnatomerna på järnstyckets yta kommer nu att *gå i lösning*, d.v.s. lösas upp i vattnet under bildning av järnjoner enligt



där

Fe = Oladdad atom av järn

Fe²⁺ = Positivt laddad jon av järn

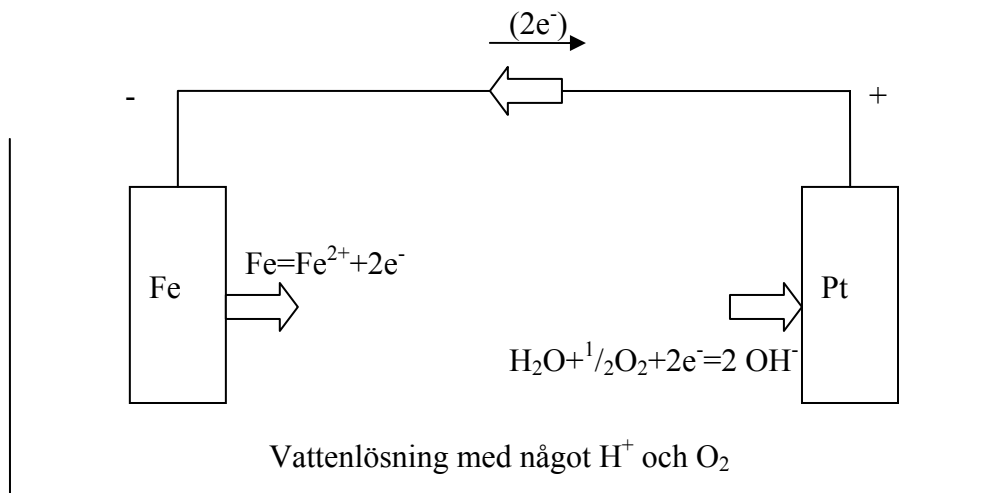
e⁻ = Negativt laddad elektron

Den negativt laddade elektronen stannar kvar i metallen och lösningen får därmed positiv och metallen negativ potential. Den ökande skillnaden i potential motverkar upplösningen och dessutom fås en ständig återutfällning av järn på järnytan. Förr eller senare stabiliseras läget och en jämvikt uppstår.

Antag nu att ett platinastycke som är kortslutet med det första stycket sänks ned i vattenlösningen. Innehåller vattenlösningen luft sker följande reaktion på platinaytan:

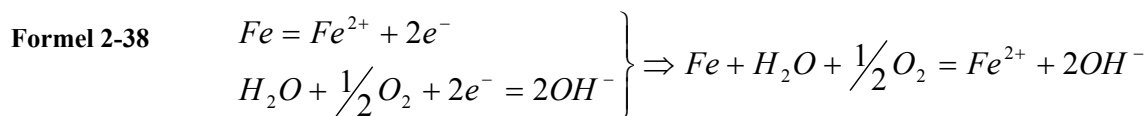


Situationen kan ses i Figur 2-8. Järnstycket är alltså katod och platinastycket anod i denna galvaniska reaktion.



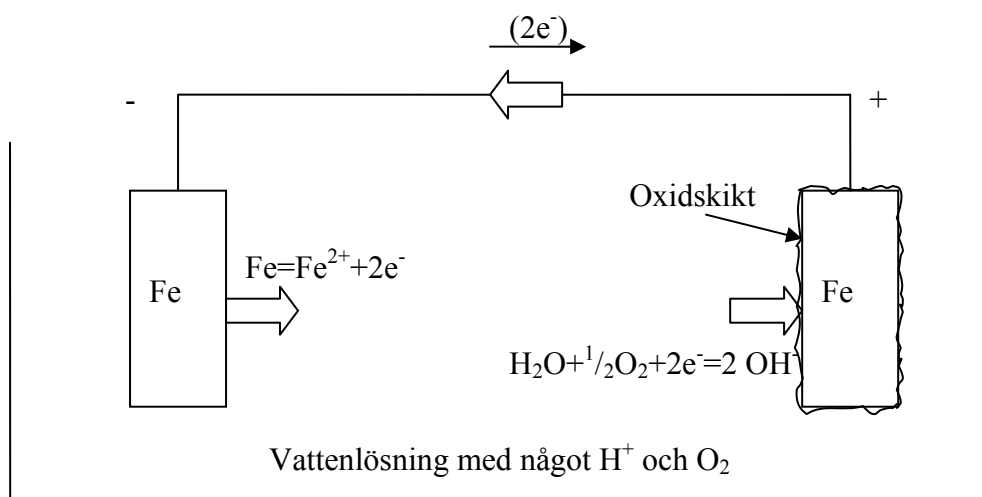
Figur 2-8 Schematisk bild av enkel galvanisk cell järn-platina

Om reaktionerna summeras fås



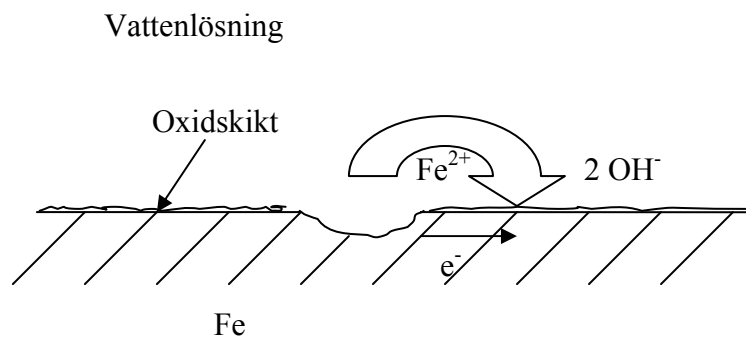
Detta är den enklaste formeln för järns korrosion i luftat vatten. Nästa steg är att Fe^{2+} och $2OH^{-}$ bildar fast järn(II)hydroxid som sedan oxiderar vidare till järn(III)hydroxid, $Fe(OH)_3$, eller någon annan förening av järn(III).

Antag nu att platinastycket ersätts med ett järnstycke på ytan täckt av ett oxidskikt. Oxidhinnan har i detta fall elektrokemiskt sett samma egenskaper som platina: den är metalliskt ledande, och vätejoner kan oxideras till vatten på dess yta, se Figur 2-9. Det på ytan oxiderade järnstycket är skyddat av oxidhinnan och järnet sägs då vara *passivt*.



Figur 2-9 Schematisk bild av enkel galvanisk cell järn - oxiderat järn

Betrakta en bit järn som legat framme en stund i luften så att oxidhinnan bildats. Den läggs ned i en luftad vattenlösning innehållande små mängder salt (t.ex. vattenledningsvatten). Oxidhinnan skyddar metallen men förr eller senare förstörs hinnan någonstans så att *aktivt* järn blottas, se Figur 2-10. Järn börjar gå i lösning på samma sätt som i Figur 2-9 och en frätgrop bildas, s.k. *gropfrätning*. Rost bildas nu vid angreppet.



Figur 2-10 Korrosionsangrepp som börjar som gropfrätning men sedan kan utbreda sig till allmän korrosion. Gropytan är anodyta, oxidhinnan katodyta.

Med tiden uppstår allt fler frätgropar och till slut kan hela oxidhinnan vara avlägsnad. Då den ursprungliga katodytan är borta kan den blottade järnytan börja tjäna som katodyta. Ytorna blir nu växelvis anod och katod så att en jämn frätning sker över hela ytan, s.k. *allmän korrosion*.

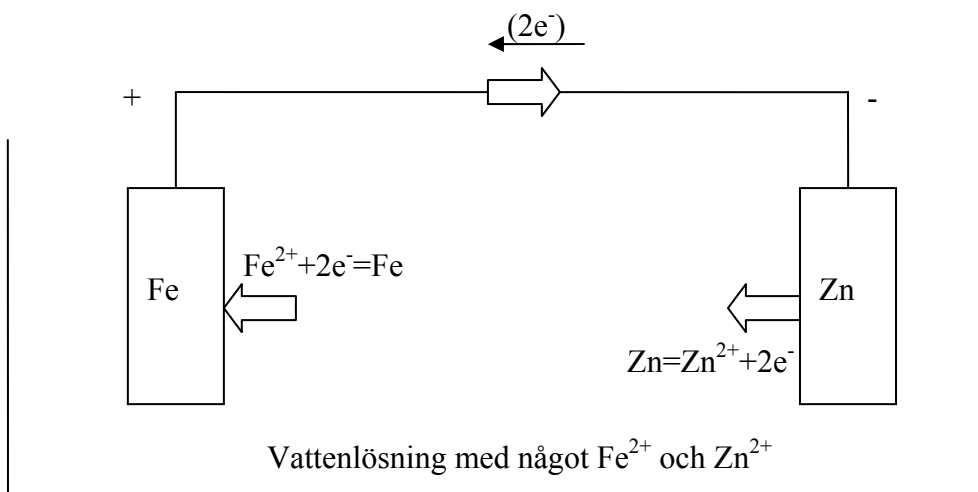
Generellt gäller att korrosionen sker fortast då syrekoncentrationen i vattenlösningen är hög, men det finns undantag. I avskärmade områden, t.ex spalter i flänsskarvar, där ”friskt” vatten inte kommer till, korroderar stålet först enligt Formel 2-38 men då luftsytet snart förbrukas kan den katodiska reaktionen enligt Formel 2-37 ej äga rum men däremot den anodiska enligt Formel 2-36. Korrosionsprodukterna gör lösningen något sur vilket inte bara förhindrar oxidhinnan att återbildas utan dessutom bryter ned den relativt hastigt. Denna typ av korrosion kallas *spaltkorrosion*.

2.5.2 Passivitet

Ett material sägs vara passivt om ytan är belagd med en tunn och tät oxidhinna som förhindrar materialet att korrodera i en vattenlösning eller i luft. Exempel på passiva material är rostfritt stål, aluminium och magnesium. Rostfritt stål innehåller små mängder nickel och krom som bildar ett oxidskikt som skyddar järnet så att det får samma reduktionskaraktär som ädla metaller. Om oxidskiktet av någon anledning skulle förstöras ersätts det snabbt av ett nytt. Det bör dock observeras att ett materials passivitet beror på vilken omgivning det placeras i. Klorider, hög temperatur och lågt pH-värde ökar järn- och aluminiummetallers korrosion eftersom den passiviserande hinna bryts ned och ej kan återbildas. Exempelvis bryts ovan nämnda oxidhinnor ned redan av 10-procentig svavelsyra vilket resulterar i allmän korrosion.

2.5.3 Olika metaller i samma lösning

Antag att platinastycket i Figur 2-8 ersätts med ett stycke zink. En situation enligt Figur 2-11 uppstår då där zinken korroderar och därmed skyddar järnet. Zinken säges då vara *offeranod* och det skydd som uppstått på järnet kallas *katodiskt skydd*. Denna effekt utnyttjas vid s.k. galvanisering, där zinken skyddar järnet genom att offras. Zinkoxiden bildar dock inget skyddande oxidskikt varför det här inte kan talas om någon passivering av materialet



Figur 2-11 Schematisk bild av enkel galvanisk cell järn-zink

Denna typ av effekt är dock inte alltid eftersträvansvärd. I situationen i Figur 2-8 kommer järnets korrosion att påskyndas av den andra metallen. Situationen i Figur 2-11 behöver inte heller vara positiv. Om zinken t.ex. utgör en viktig del i någon komponent kommer denna till slut att ha förbrukats med en defekt komponent som följd.

Metallernas elektrokemiska egenskaper beskrivs i den elektrokemiska spänningsserien enligt Tabell 2-1. Normalpotentialen definieras något förenklat som den potential metallen antar gentemot en lösning som innehåller 1 mol av metallen per liter.

Den allmänna regeln är att det ej bör finnas metaller med alltför olika elektrokemiska egenskaper i en vattenberörd konstruktion. Denna regel är dock sällan möjlig att följa och därför måste det ses till att den oädlare ytan är stor i förhållande till den ädlare.

Tabell 2-1 Elektrokemiska spänningsserien. Ju lättare en metall går i lösning, desto högre upp i serien är den.

Metall	Normalpotential [V]
Natrium	-2,71
Magnesium	-2,37
Aluminium	-1,66
Titan	-1,63
Zink	-0,76
Krom	-0,74
Järn	-0,44
Kadmium	-0,4
Nickel	-0,25
Tenn	-0,14
Bly	-0,13
Väte	0
Koppar	0,34
Kvicksilver	0,85
Platina	1,2
Guld	1,5

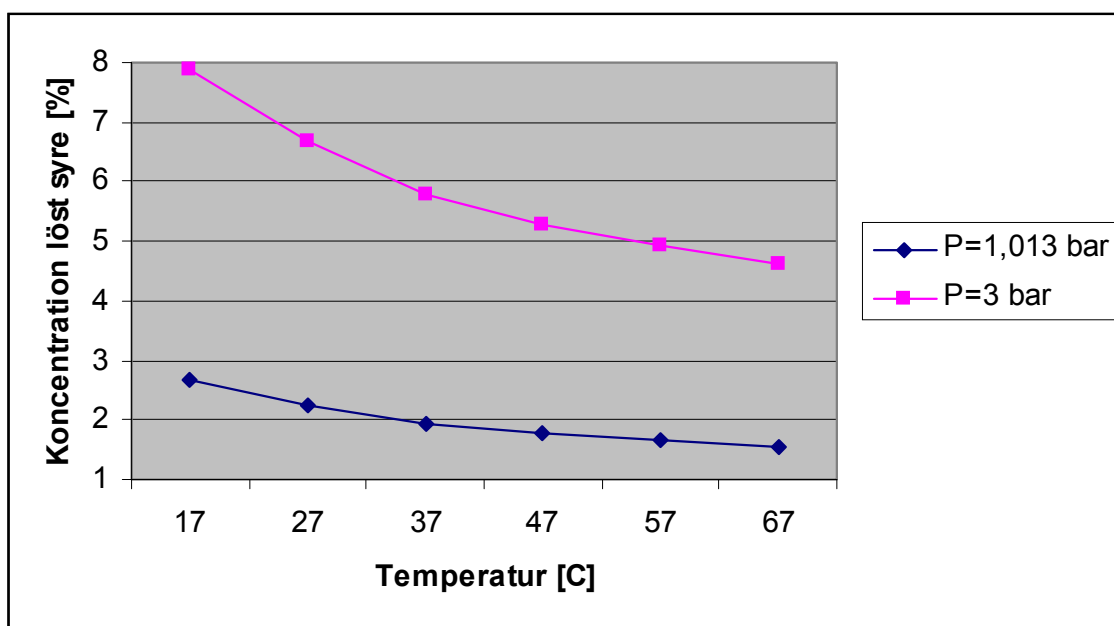
2.6 Gasers upplösningsförmåga i vatten

Det framgick i kap. 2.5 att korrosionshastigheten delvis berodde på mängden syre som var upplöst i lösningen. Den mängd gas en lösning kan ta upp beskrivs av *Henrys lag* enligt [8]

Formel 2-39

$$p_{part} = kC$$

där p_{part} är gasens partialtryck ovanför lösningen, C är koncentrationen löst gas och k är en konstant. Det framgår av Formel 2-39 att då trycket över lösningen stiger, ökar koncentrationen av gas i lösningen. Detta fenomen utnyttjas t.ex. vid tillsättning av kolsyra till bl.a. läskedrycker. Henrys konstant k beror i sin tur på temperaturen. Vid sjunkande temperatur blir k mindre vilket leder till att lösligheten ökar, se Figur 2-12.[9]



Figur 2-12 Syres löslighet i vatten som funktion av temperatur och tryck.

Figur 2-12 visar endast lösligheten vid temperaturer över 0 °C och det är svårt att få tag på data för lägre temperaturer. Att lösligheten ökar vid lägre temperaturer framgår dock tydligt av figuren. I litteraturen är uppgifter om syrets löslighet i saltlösningar begränsat men enligt Dechema Corrosion Handbook volym 11 framgår att lösligheten av syre i Döda Havet är mycket låg, d.v.s. 1-1.5 ml per liter.

3 De olika köldbärarna och dess egenskaper

Som tidigare nämnts har indirekta kylsystem många fördelar men även en del nackdelar och ett problem är att hitta en för systemet lämplig fluid. Rent vatten är en utomordentlig köldbärare vid arbetstemperaturer ned mot 0 °C men därefter börjar problemen och ju lägre temperaturen blir desto mer begränsat blir urvalet av lämpliga köldbärare. Åke Melinder på Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm är en världsauktoritet inom köldbärområdet. Han har flera publikationer om köldbärarnas egenskaper, bl.a. Svenska kyltekniska föreningens handbok Nr 12, som behandlar köldbärarvätskors termofysikaliska egenskaper.

En bra köldbärare bör enligt honom ha följande egenskaper [3]:

- Hög volymetrisk värmekapacitet för att kunna transportera så mycket energi som möjligt per volymsenhet.
- Goda värmeöverföringsegenskaper för att minska temperaturdifferensen mellan de två fluiderna eller för att minska värmeöverföringsytorna.
- Möjlig att pumpa till låga energikostnader
- God materialkompatibilitet, d.v.s.. Inte orsaka korrosion.
- Miljövänlig och ofarlig att hantera.
- Prisvärd

De flesta köldbärarna är vattenbaserade med någon typ av korrosionsinhibitor för att motverka korrosion av konstruktionsmaterialen. Icke vattenbaserade köldbärarvätskor, s.k. termooljor, förekommer också, men de har förhållandevis dåliga värmeöverföringsegenskaper och låg kapacitet för energitransport. Åke Melinder påpekar också att det inte finns någon perfekt köldbärare. Alla har någon negativ egenskap och därför måste det för varje enskilt fall bestämmas vilka egenskaper som är viktigast och välja köldbärartyp utifrån detta. Här följer nu en beskrivning av några vanliga typer av köldbärare och dess egenskaper.

3.1 Propylenglykol

3.1.1 Allmänt

Propylenglykol, 1,2-propandiol, $\text{CH}_2\text{OHCHOHCH}_3$ är färglös, trögflytande, icke brandfarlig och så gott som ofarlig. Propylenglykol används i stor utsträckning i mediciner, kosmetika och matvaror. Bland annat används propylenglykol i spritessenser som lösningsmedel (1974 blev det förbjudet att använda etanol som lösningsmedel i essenser). Då propylenglykol bryts ned i kroppen bildas pyrovat eller mjölksyra. Dessa metaboliter finns naturligt i kroppen och utgör ingen risk mot hälsan. De bryts senare ned till koldioxid och vatten.

Propylenglykol har samma frysskyddsegenskaper som glykol och kan ersätta glykol som frostsnyddsmiddel i bilar.[10]

3.1.2 Propylenglykol i köldbärarsystem

Propylenglykol är med sin ”ogiftighet” och sina, i kombination med korrosionsinhibitorer, hyfsade korrosionsegenskaper ett utmärkt alternativ i köldbärarsystem, speciellt inom livsmedelsindustrin. Lösningens viskositet ökar dock kraftigt vid sjunkande temperatur vilket hämmar värmeöverföringsegenskaperna. Detta gör att propylenglykol inte är aktuellt vid lägre temperatur än ca -10 °C. Korrosionsegenskaperna gör att konstruktören kan välja relativt

billiga typer av armaturer, t.ex. ventiler, pumpar och manometrar. Köldbäraren är dessutom väl beprövad vilket ger en hög pålitlighet.

3.2 Freezium

3.2.1 Allmänt

Freezium ingår i den ”nya” gruppen av köldbärare som är baserade på kaliumformiat eller kaliumacetat. Till en början fokuserades möjligheten att använda dessa saltlösningar i lågtemperaturapplikationer i samband med ”ozondebatten” för att möjliggöra en övergång från direkta till indirekta system men applikationsspektrat har senare vidgats och omfattar nu temperaturintervallet $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ till $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$, exempelvis inom kemiindustrin och i klimatkammare. På marknaden finns idag flera olika varumärken innehållande allt från rena formiater till blandningar av formiater och acetater. Förutom smärre variationer i värmeöverförings- och strömningsegenskaperna skiljer sig produkterna framför allt i sammansättningen av de tillsatskemikalier som är nödvändiga för att undvika korrosion. Freezium är baserat på kaliumformiat och är en prismässigt dyrare köldbärare än t.ex. propylenglykol och etylenglykol. [2]

Kaliumformiat tillverkas genom att låta destillerad myrsyra reagera med kaliumhydroxid. Förutom som köldbärare används myrsyra och dess derivat bl a i ensilage, som ersättning för antibiotika i djurfoder, vid garvning av läder, som borrhålsvätska vid oljeborring samt som halkbekämpningsmedel på vägar och flygfält. [2]

Freezium anses ofarligt vid förtäring och har fördelaktiga biologiska nedbrytningsvärden. Ett högt pH-värde och saltkoncentrationen gör dock att skyddsglasögon och handskar bör användas vid handhavande av köldbäraren.[1]

3.2.2 Freezium i köldbärarsystem

Freezium har extremt låg viskositet och mycket god värmeledningsförmåga vilket ger goda värmeöverföringsegenskaper, vilket resulterar i små värmeöverföringsytor, och lågt flödesmotstånd.

Det bör beaktas att Freezium är en elektrolyt och därför bör konstruktören noga beakta valet av material för att undvika galvanisk korrosion. Lösningens låga ytspänning ställer också höga krav på packningsmaterial i ventiler och på pumparnas axeltätningar.

3.3 Etylenglykol

3.3.1 Allmänt

Etandiol, glykol eller etylenglykol, $\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$, är en färglös, trögflytande och icke brandfarlig vätska med en söt smak varav namnet glykol (från grekiskan glykys = söt). Den används förutom i köldbärarsystem ofta som frostskyddsmedel i kylsystem t ex i kylarvätska i bilen. I likhet med metanol är metaboliterna som bildas då etylenglykol bryts ned i kroppen giftiga. Då glykol bryts ned, bildas oxalsyra via flera reaktionssteg som alstrar sjukdomstillståndet acidosis. Njurarna skadas även av oxalsyran eftersom oxalsyran bildar en förening med blodets kalciumjoner. Denna förening som kallas kalciumoxalat är mycket svårslösligt i vatten. Då blodet når njuren faller kalciumoxalatet ut och täpper till njurens fina

gångar.[10]

3.3.2 Etylenglykol i köldbärarsystem

Etylenglykol har betydligt bättre termofysikaliska egenskaper än propylenglykol vid låga temperaturer. Lösningen har i kombination med korrosionsinhibitorer goda korrosionsegenskaper vilket i likhet med propylenglykolen ger möjlighet till val av enkla och billiga armaturer. Dess giftighet gör dock att många anser att den är olämplig inom livsmedelsindustrin.

3.4 Etanol

Etanol används som köldbärare framförallt i bryggeriindustrin. Pga etanolens låga flampunkt påbjuder Sprängämnesinspektionens bestämmelser att koncentrationen inte får överstiga 28 %. En annan olägenhet är risken för missbruk trots att spriten enligt lag måste innehålla denatureringsmedel. Etanol har goda korrosionsegenskaper och är ganska billig men har begränsade värmeöverföringsegenskaper. [2], [3].

3.5 Kalciumklorid

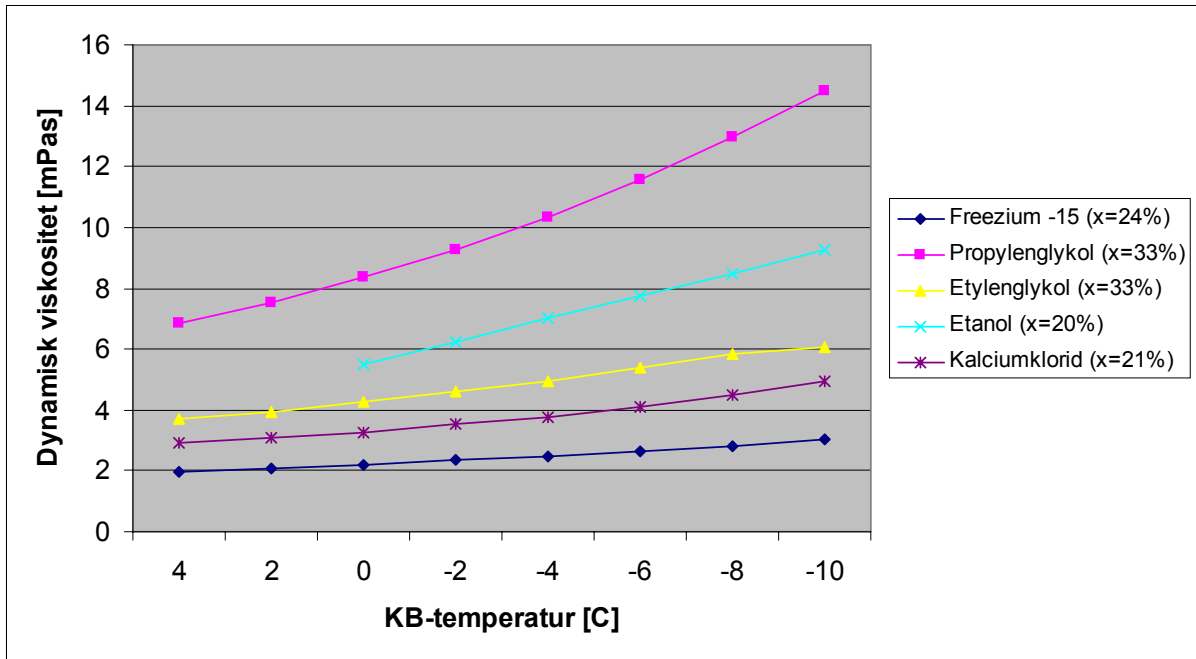
Kalciumklorid, CaCl_2 är ett oorganiskt salt med goda termofysikaliska egenskaper och effektiv fryspunktssänkning (30 vikt-% ger fryspunkt $-55\text{ }^\circ\text{C}$). Kalciumklorid används förutom i köldbärarsammanhang även för halkbekämpning på vägar. Saltet är billigt och ej giftigt. Den höga kloridhalten i lösningen orsakar dock kraftig korrosion då syre är närvarande.[3] Metaller som befinner sig i passivt tillstånd (t.ex. rostfritt stål) övergår till aktivt om den passiviserande hinna bryts ned och ej kan återbildas. Kloridjoner har särskilt lätt att bryta ned denna hinna [7] vilket gör att rostfria material inte är lämpliga i samband med kalciumklorid. Kalciumklorid har använts framgångsrikt i många köldbäranläggningar, t.ex. isbanor, i 25-30 år och förespråkas därför fortfarande av många inom branschen.

3.6 Jämförelse av termofysikaliska egenskaper

I avsnitt 2.3 och 3 framgick att egenskaper som viskositet, volymetrisk värmekapacitet och värmeledningsförmåga var avgörande för köldbärarens prestanda. Här följer nu en jämförelse av tidigare beskrivna köldbärare. Egenskaperna är hämtade ur beräkningsprogrammet *Coolpack* version 1.46 från Danmarks Tekniska Universitet. [11]

3.6.1 Dynamisk viskositet

Köldbärarens dynamiska viskositet är som tidigare visats av stor betydelse för dess värmeöverföringsegenskaper. En låg dynamisk viskositet ger alltså mindre värmeöverföringsytor. En jämförelse av köldbärarnas dynamiska viskositet kan studeras i Figur 3-1. Här kan det konstateras att Freezium har lägst viskositet och att propylenglykol i detta avseende är underlägset redan vid temperaturer över $0\text{ }^\circ\text{C}$.

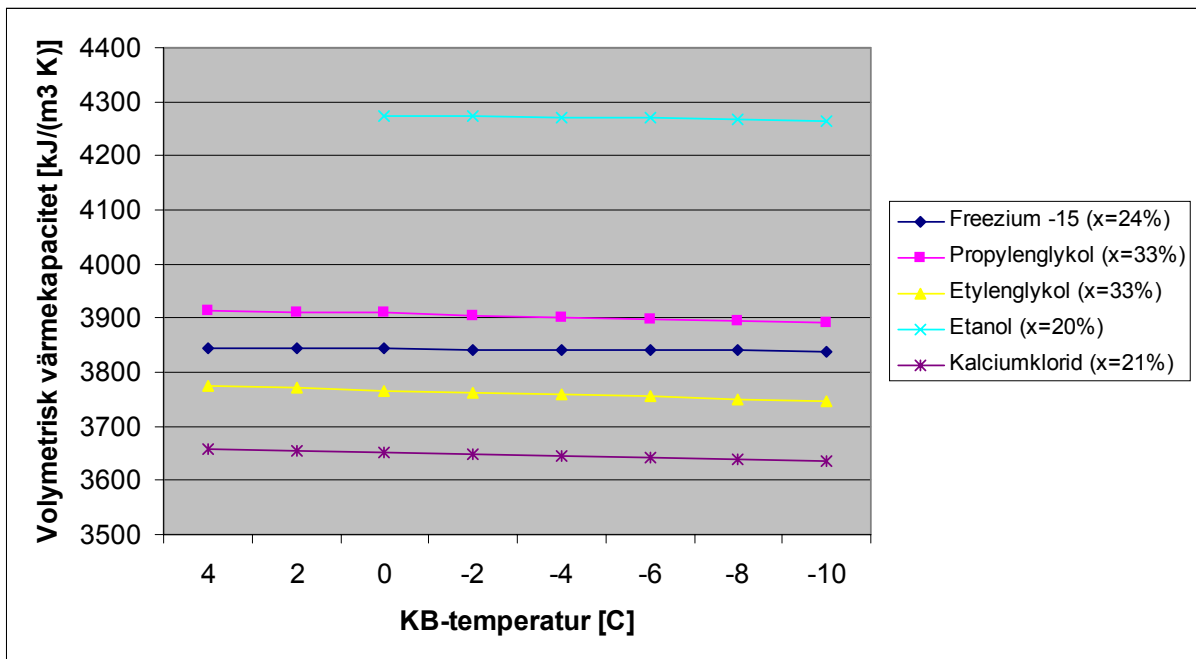


Figur 3-1 Dynamisk viskositet som funktion av köldbärartemperaturen

3.6.2 Volymetrisk värmekapacitet

Köldbärarens volymetriska värmekapacitet är ett mått på hur mycket energi den kan transportera per volymsenhet. En hög volymetrisk värmekapacitet är alltså önskvärd för att minska flödet och därmed pumparbetet i anläggningen.

Figur 3-2 visar en jämförelse mellan köldbärarna. Här kan det ses att etanol ligger långt över övriga köldbärare och att kalciumklorid i detta avseende är sämst.

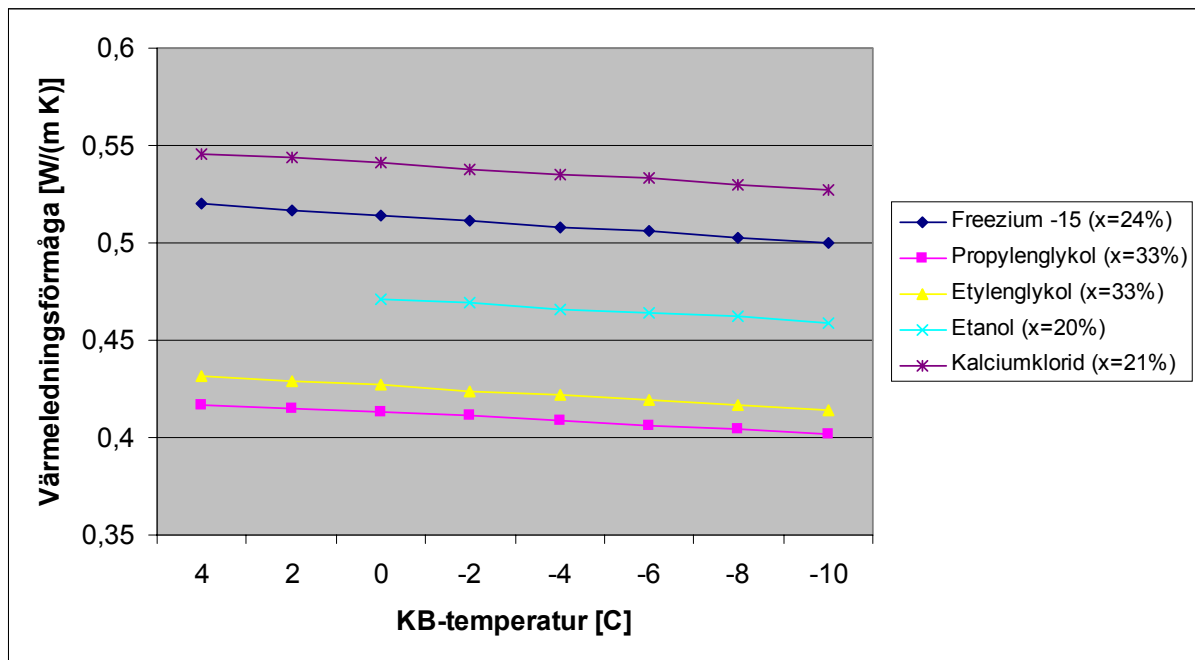


Figur 3-2 Volymetrisk värmekapacitet som funktion av köldbärartemperaturen

3.6.3 Värmeledningsförmåga

Köldbärarens värmeledningsförmåga har som tidigare nämnts betydelse för värmeöverföringsegenskaperna och därmed storleken på de värmeöverförande ytorna.

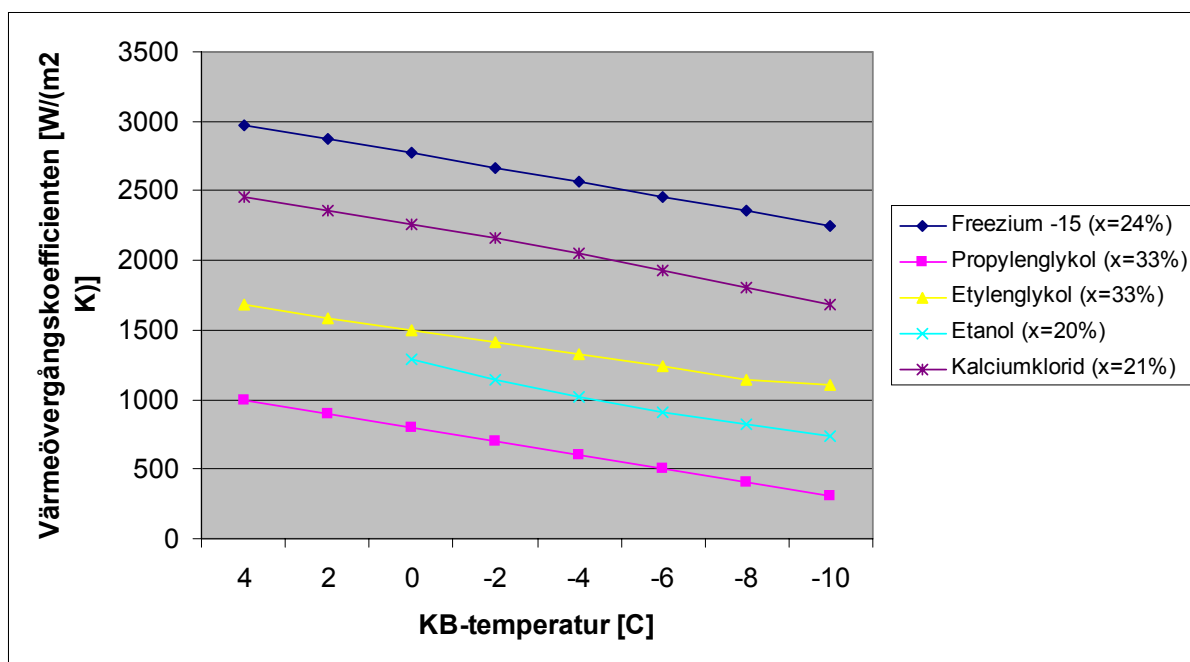
I Figur 3-3 kan skillnaden i värmeledningsförmågan studeras. Freezium och kalciumklorid är i detta avseende överlägsna och propylenglykol sämst. I samverkan med dess höga dynamiska viskositet gör detta att propylenglykol har förhållandevis dåliga värmeöverföringsegenskaper.



Figur 3-3 Värmeledningsförmågan som funktion av köldbärartemperaturen

3.6.4 Värmeöverföringsegenskaper

I avsnitt 2.3 visas hur värmeöverföringen i cirkulära rör beräknas. Av stor vikt för överföringen är värmeövergångskoefficienten på insidan av röret, α_1 . Figur 3-4 visar en jämförelse mellan de olika köldbärarna där Nusselts tal beräknats enligt Gnielinskis Formel 2-17. Här framgår att Freezium har klart bäst värmeöverföringsegenskaper och propylenglykol absolut sämst. Kalciumklorid ligger i denna jämförelse också bra till men är avsevärt sämre än Freezium.



Figur 3-4 Värmeövergångskoefficienten som funktion av köldbärartemperaturen beräknat enligt Gnielinski.

3.7 Sammanfattning

I Tabell 3-1 kan egenskaperna som bestämmer köldbärarens prestanda studeras. Betygsskalan är följande:

- + Goda egenskaper
- 0 Varken goda eller dåliga egenskaper
- Dåliga egenskaper

Tabell 3-1 Sammanställning av de jämförda köldbärarnas egenskaper.

	Propylenglykol	Freezium	Etylenglykol	Etanol	Kalciumklorid
Värmekapacitet	0	0	0	+	-
VÖ-egenskaper	-	+	0	-	+
Flödesmotstånd	-	+	0	0	0
Mtrl-kompatibilitet	+	0	+	+	-
Giftighet	+	0	-	0	0
Brandfarlighet	0	+	0	-	+
Pris	0	-	0	0	+

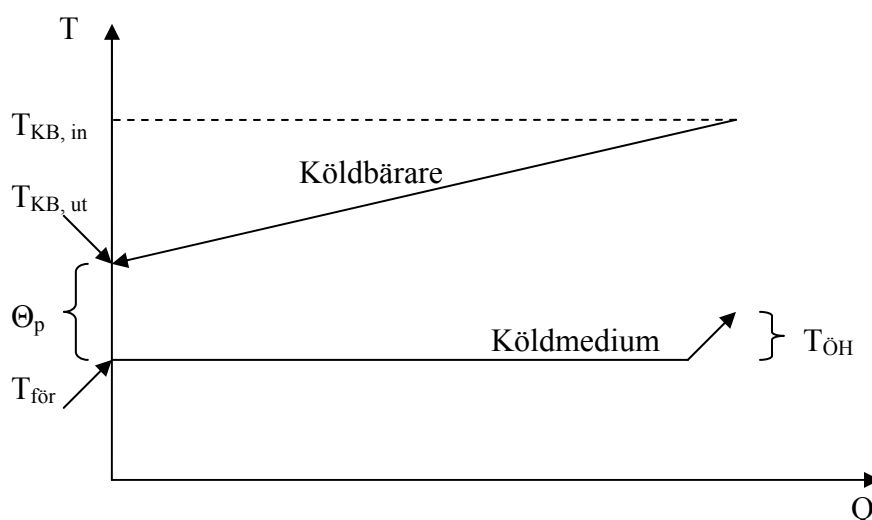
Det är uppenbart att ingen köldbärare är perfekt och att det för varje enskilt fall måste avgöras vilka egenskaper som är viktigast.

4 Köldbärarsystemets komponenter

4.1 Värmeväxlare

Ett köldbärarsystem har, som namnet antyder, endast uppgiften att transportera energi från t.ex. kylrummet till kylanläggningen. Energiöverföringen till och från köldbärarsystemet är alltså ett viktigt moment i processen och det är viktigt att detta sker så effektivt som möjligt.

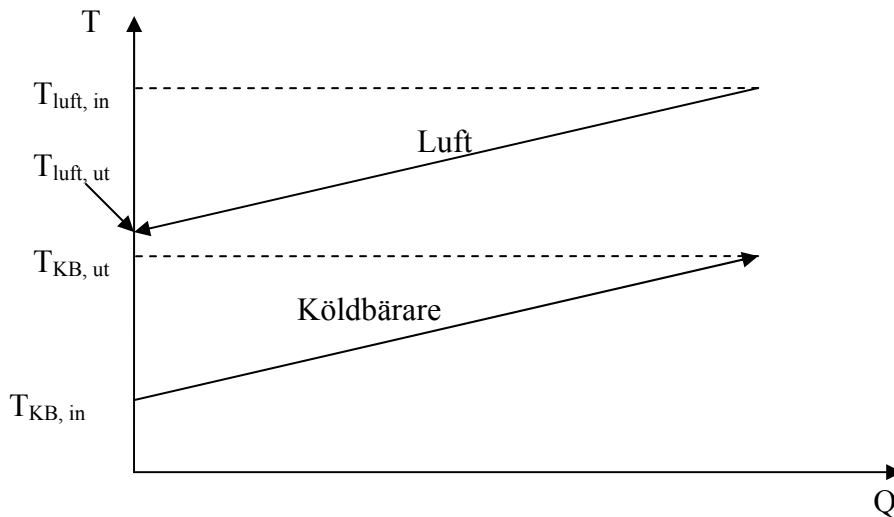
Förångarvärmeväxlaren har som uppgift att överföra värme från köldbäraren till köldmediet. Köldbäraren strömmar på ena sidan om plattorna och köldmediet kokar på den andra. Mediernas temperaturer under värmeöverföringsprocessen i en motströms värmeväxlare kan betraktas i ett s.k. T-Q-diagram enligt Figur 4-1. Köldmediet kokar under konstant temperatur emedan värme tas upp från köldbäraren, vars temperatur sjunker. Då allt köldmedium kokat bort fortsätter värme att tas upp varvid gasen överhettas något.



Figur 4-1 T-Q-diagram som beskriver mediernas temperatur under värmeöverföringsprocessen i en förångarvärmeväxlare.

Den ingående och utgående köldbärartemperaturen kallas här $T_{KB, in}$ respektive $T_{KB, ut}$. Skillnaden mellan lägsta köldbärartemperaturen och köldmediets förångningstemperatur betecknas θ_p och köldmediets överhettning betecknas $T_{\text{ÖH}}$.

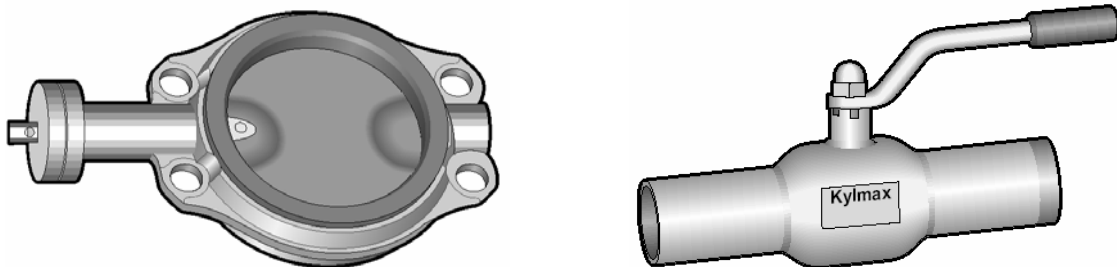
Överföringen mellan luft och köldbärare sker oftast med s.k. fläktluftkylare, där den varma luften får strömma mellan flänsade kalla rörknippen. Mediernas temperaturer kan i denna process betraktas i Figur 4-2.



Figur 4-2 *T-Q-diagram som beskriver mediernas temperatur under värmeöverföringsprocessen i en luftkylare*

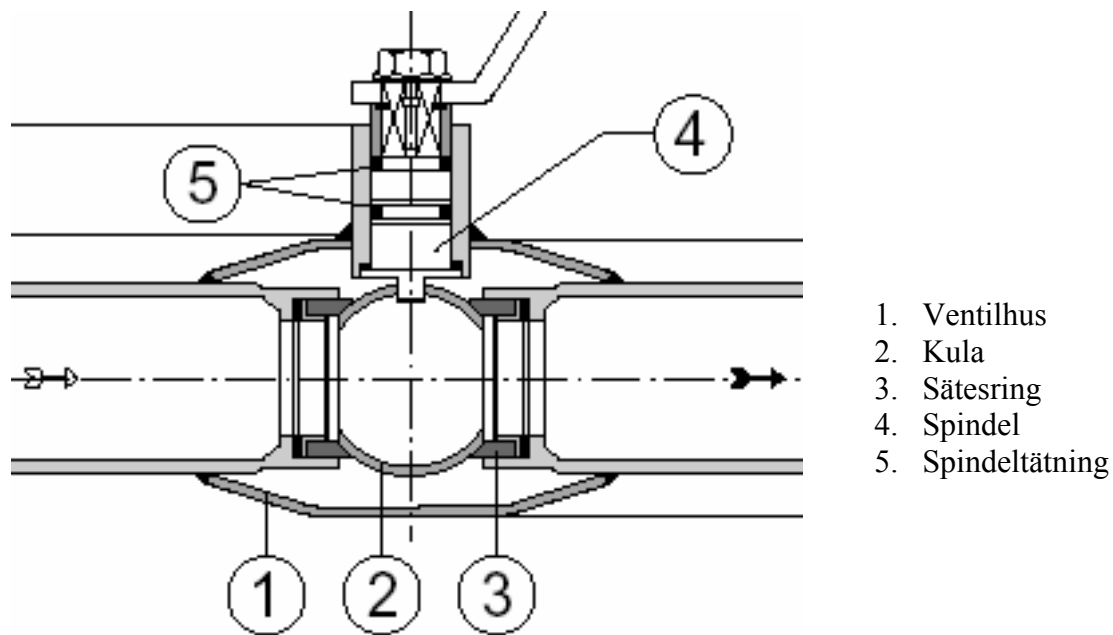
4.2 Ventiler

Olika typer av ventiler används för att kunna reglera och stänga av olika flöden. I köldbärarsammanhang används oftast två typer av ventiler, vridspjällventil och kulventil. Vridspjällventilen används oftast vid större rördimensioner och sitter då fastklämd mellan två flänsar.[12] Kulventilen används oftast vid mindre dimensioner och monteras med fördel helsvetsad eller hellödd med silverlod för att minska risken för läckage. [2]



Figur 4-3 *Vridspjällventil(t v) och kulventil [13]*

Figur 4-4 visar en sprängskiss på en kulventil. För att kunna minska risken för läckage är det av största vikt att det vid val av ventil försäkras att komponenterna i denna är konstruerade för den typ av köldbärare som används. Seriösa tillverkare har stor kunskap inom detta område och bör därför vara delaktig i komponentvalet. Viktiga detaljer för de nya köldbärarna är att rätt material används i spindeltätningen (ej viton) och att gjutgodset i ”gula” material (t.ex. mässing) är avzinkat till under 34%. [2], [13]



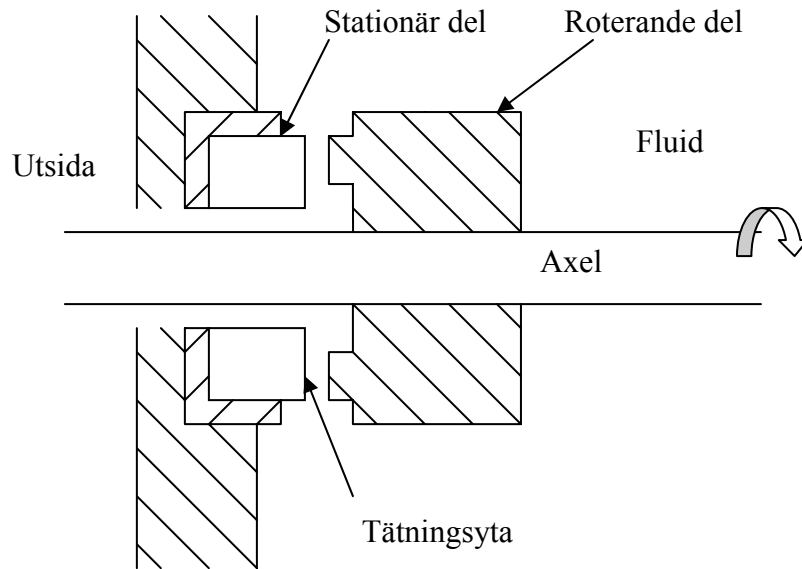
Figur 4-4 Sprängskiss på kulventil. Det är bl.a. viktigt att rätt material används i spindeltätningen. [13]

4.3 Pumpar

I köldbärarsammanhang används i princip två huvudtyper av pumpar, nämligen torra och våta pumpar. Skillnaden är huruvida pumpens motor är luftkyld eller kyld av vätskan den skall pumpa. Torra pumpar har fördelen att inte tillföra vätskan onödig värmeenergi som sedan måste kylas bort av kylaggregatet. Våta pumpar har däremot fördelen att inte behöva någon axeltätning och med den följande risk för läckage. De kan dock inte användas vid arbetstemperaturer under $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. En variant är s.k. magnetdrivna pumpar, där transmissionen mellan motor och pump sker med magneter, vilket ger en torr pump utan axeltätning. Denna typ av pumpar är dyrare men ett ypperligt alternativ speciellt i det lägre temperaturområdet.

4.3.1 Axeltätningen

En mekanisk axeltätning består av en roterande och en fast tätningsyta som ligger så tätt mot varandra att spalten får en molekylär dimension. Detta innebär att ett fåtal droppar av köldbäraren sipprar igenom spalten varje timme, men denna funktion är nödvändig eftersom vätskan bildar en smörjfilm mellan tätningsytorna som är nödvändig för att minska friktionen och värmeutvecklingen mellan tätningsytorna. Då den smörjande vätskan kommer ut från axeltätningen avdunstar vattnet och då köldbäraren är ett salt lämnas saltkristaller kvar på utsidan av axeltätningen. Detta kan för den oinvidge betraktas som ett fel, men är alltså helt normalt.[14]



Figur 4-5 Schematisk beskrivning av axeltätning

Onormalt läckage uppstår då axeltätningssytorna skadas. Exempelvis har det konstaterats att koppar, som en följd av en galvanisk process, kan falla ut på den roterande delen och bilda små ”kopparöar” som förorsakar ojämnheter i tätningssytan vilket därigenom leder till större läckage. Hydraulisk obalans och tryckstötter kan också förorsaka skador på tätningen. Det är mycket viktigt att rätt material används i tätningssytorna och det har visat sig att kolgrafit impregnerat med olika bindemedel är lämpligt på den roterande delen och kiselkarbid har visat sig vara fördelaktigt på den fasta delen. Ett alternativ till kolgrafit, som är ett elektriskt ledande material, är glasfiberarmerad teflon. Detta material är inte elektriskt ledande och attraherar därför inte kopparjoner på samma sätt som grafitkol. [14] Axeltätningstyp och material bör väljas med hänsyn till vilken typ av köldbärare som används. Pumpfabrikanten har stor kunskap om detta och kan därmed hjälpa konstruktören vid pumpvalet.



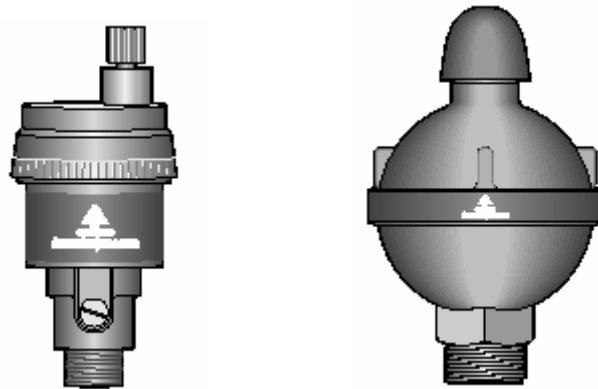
Figur 4-6 Den roterande delen av axeltätningen. Fjäders trycker tätningssytan mot den fasta delen.

4.4 Avluftare

Som tidigare nämnts i avsnitt 2.5 och 2.6 är det viktigt att hålla syrekonzentrationen i köldbärarlösningen på en låg nivå. Detta uppnås genom att utrusta systemet med olika typer av avluftare. Syre kan dels uppträda i form av fria luftbubblor som cirkulerar runt i systemet och dels i form av i fluiden upplöst syre.

4.4.1 Fria luftbubblor

De fria luftbubblorna som cirkulerar runt i systemet samlas i högpunkterna när cirkulationen upphör och kan då avlägsnas med automatiska luftavledare, se Figur 4-7. Då luft samlas under avluftarna trängs vattnet undan vilket registreras av avluftarens flottör. Då vattennivån nått en viss nivå öppnar avluftaren och släpper ut luften till omgivningen. [13] Givetvis kan avluftning även ske manuellt med en vanlig kulventil. Om köldbäraren är ett organiskt salt, t.ex. Freezium, bör avluftningen ske kontrollerat, d.v.s. genom öppning av en kulventil som monterats innan den automatiska avluftaren. Dessutom bör dräneringsledningen från avluftaren ledas till ett avlopp för att undvika att köldbäraren kommer i kontakt med t.ex. galvaniserade konstruktionsmaterial. [2]

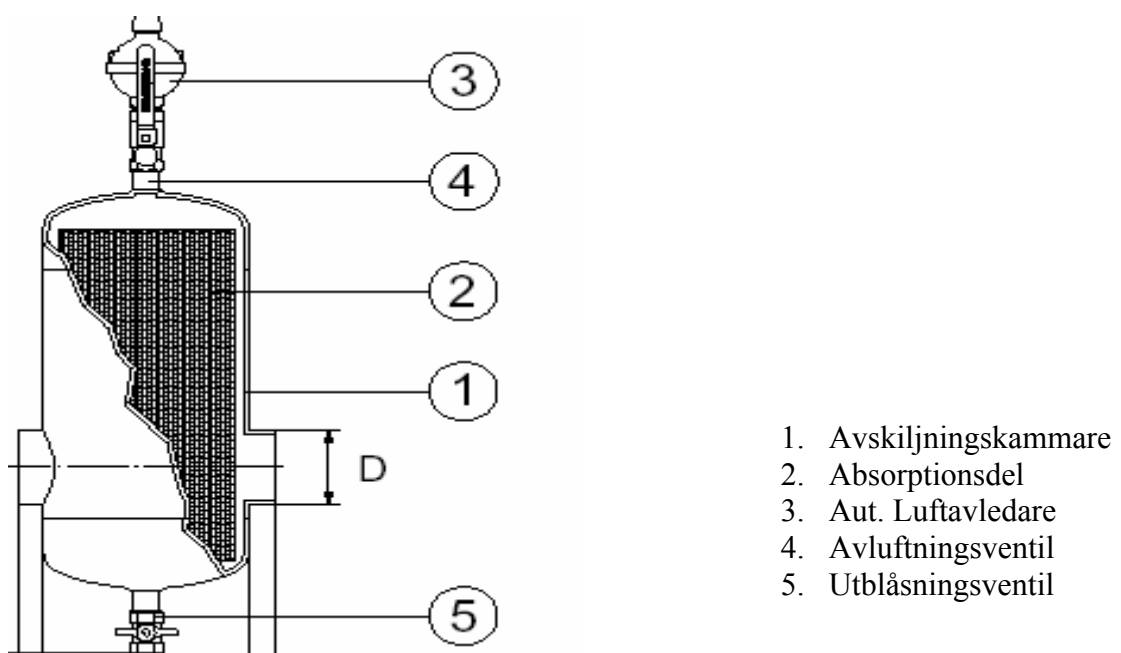


Figur 4-7 Två olika typer av automatiska luftavledare. [13]



Figur 4-8 *Avluftningsventil vid högpunkt. Ventilen monteras på ett T-stycke så att luften har möjlighet att samlas i den ficka som därmed bildas.*

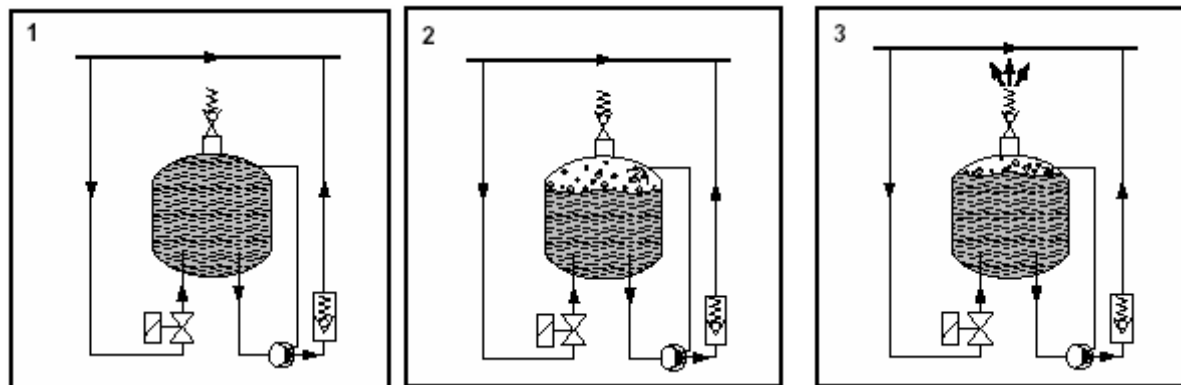
Då systemet är under drift kan luftbubblorna fångas upp av en mikrobubbelavluftare, se Figur 4-9. Denna består av ett tryckkärl innehållande ett nät som i kombination med ytförstoringen reducerar fluidens medelhastighet och fångar upp luftbubblorna. Bubbblorna stiger till tryckkärlets topp där en automatisk luftavledare släpper ut den ansamlade luften. Också i detta fall bör en manuell avstängningsventil kopplas in före den automatiska luftavledaren. [13]



Figur 4-9 *Mikrobubbelavluftare för avluftning under drift*

4.4.2 Syre upplöst i köldbäraren

För att sänka halten upplöst syre kan en vakuumavlufare användas som utnyttjar att lösligheten av gas minskar då trycket sjunker. En delmängd av köldbäraren tas in i vakuumavlufaren där den trycksänks och avgasas varefter den släpps ut i systemet igen.



Figur 4-10 Funktionsbeskrivning av vakuumavlufaren. 1. Avluftaren fylls med syrerik köldbärarlösning. 2. Trycket sänks varvid lösningen avgasas. 3. Gaserna släpps ut till omgivningen och den syrefattiga köldbärarlösningen återvänder till systemet.

4.5 Korrosionsskydd

Detta avsnitt är hämtat från [15]. Förutom rostfria material förekommer i köldbärarsystem komponenter av framför allt järn i rörledningar och pumpar samt koppar i rörledningar, värmeväxlare, fläktkylare och armaturer. Om syre förekommer i en elektrolyt som kaliumformiat bör korrosionsinhibitorer användas. Lämpliga korrosionsinhibitorer för stålror är fosfater och nitrater.

Nitrater och nitriter har egenskapen att oxidera järnytan och bilda ett skyddande oxidskikt medan fosfaterna också reagerar med järnytan och bildar i detta fall en skyddshinna. Nitriter, nitrater samt fosfater kan inte förhindra korrosion på kopparytor i syrerik elektrolytlösning. Här måste en annan typ av korrosionsinhibitorer användas och hittills har det visat sig att de enda effektiva inhibitorerna är s.k. triazolerna som har egenskapen att absorberas på kopparytan och hindra att kopparjoner går i lösning. Om detta sker kan kopparjonerna bita sig fast på andra metaller och förorsaka galvanisk korrosion på oädlare metaller som t.ex. järn. Ett besvärligt problem är, som tidigare nämnts, när kopparjoner i elektrolytlösningen faller ut på pumparnas axeltätningssytor, och där får till stånd galvanisk korrosion som leder till läckage. Det är naturligtvis väldigt viktigt i köldbärarsammanhang att den rätta typen av korrosionsinhibitorer används och att det då och då via analys kontrolleras att inhibitorpaketet är intakt och att det inte förekommer onormala koncentrationer av järn- och kopparjoner i köldbäraren.

Det diskuteras mycket kring huruvida korrosionsinhibitorerna är miljöfarliga ämnen. Detta gäller inte minst de tidigare nämnda triazolerna. Tillverkarna anser dock att inhibitorerna inte kan betraktas som miljö- och hälsofarliga i så låga koncentrationer som är fallet i köldbärarsammanhang. Exempelvis har Kemira låtit utföra toxicologiska tester på sina inhibitorblandningar med den aktuella koncentrationen hos oberoende forskningsinstitut som påvisat att någon hälsorisk inte föreligger.

4.6 Övrigt

4.6.1 Expansionskärl

Då temperaturen i systemet ändras kommer fluidens volym att ändras. För att ta upp dessa volymsvängningar använder ett expansionskärl. Det finns tre huvudtyper av expansionskärl: öppna, förtryckta och kompressorkärl. Öppna expansionskärl placeras i systemets högpunkt och fungerar därmed även som avluftare. För att undvika hög syrehalt i systemet bör dock öppna expansionskärl undvikas till fördel för slutna förtryckta kärl eller kompressorkärl. Det sistnämnda alternativet används vid stora vätskevolymmer. [13]

4.6.2 Smutsfilter

Det är viktigt att inga lösa partiklar finns med i fluiden. Partiklarna förstör tätningar i ventiler, pumpar m.m. och orsakar därmed läckage. För att undvika partiklar i systemet bör ett smutsfilter installeras. Filtrets nätstorlek bör helst understiga 50 μm . [2]

4.6.3 Manometer

Manometrar används främst för att mäta tryckändringar över t.ex. smutsfiltret. Många billigare manometrar kan innehålla komponenter av oädla material som bör undvikas, t.ex. tenn, varför det är mycket viktigt att kontrollera att materialen som finns i manometrarna är kompatibla med köldbäraren. [2], [13]

5 Att tänka på vid konstruktion av köldbärarsystem

5.1 Materialval

Avsnitt 5.1 är hämtat från [2], [7], [13]. När indirekta kylsystem konstrueras bör material väljas som är kompatibla med köldbäraren. Vid användning av kaliumsalter (t.ex. Freezium) bör det beaktas att dessa är elektrolyter och därför måste hänsyn tagas till de kemiska grundämnenas galvaniska spänningsserie, se Tabell 2-1. För att undvika galvanisk korrosion bör kontakt mellan grundämnen med alltför stor skillnad i potential nog undvikas.

Framförallt bör det i system med kaliumformiat och kaliumacetat undvikas komponenter som innehåller metallen zink (däribland galvaniserade ytor). Zinken löses upp p.g.a. den stora potentialskillnaden till exempelvis koppar och bör därför undvikas. Zink är dock en viktig komponent i mässings- och bronslegeringar som används vid tillverkning av armaturer och pumphjul, vilket gör att det av konstruktionstekniska skäl inte går att helt undvika zink. Utlösning av zink kan dock undvikas om zinkhalten i legeringen inte är för hög (ca 34 %) eller om legeringen även innehåller små mängder arsenik, antimon, bly, aluminium och kisel som tillsatsmedel för att undvika zinkutlösning. Det är också viktigt att smältprocessen utförs så att legeringen får α -form och inte β -form.

Förutom zink bör även metallerna tenn och aluminium undvikas. Tenn förekommer främst vid lödning av kopparfogar och därför bör hårdlödning med silverlod användas. Tenn kan också förekomma i vissa billigare manometrar och i några typer av luftavskiljare. Aluminium förekommer ibland i värmeväxlare för att förbättra värmeöverföringen och dessa bör undvikas även om ytorna teoretiskt sett kan skyddas med korrosionsinhibitorer.

Ett system innehållande t.ex. Freezium bör om möjligt vara byggd i rostfritt stål och vara helsvetsad i alla skarvar. Hänsyn till köldbärare och driftstemperatur bör tagas vid val av tätningar i t.ex. flänsförband. Vid system med t.ex. propylenglykol och etylenglykol bör systemet byggas enligt samma principer men det räcker även att bygga det i s.k. TT-stål som är klassificerat för temperaturer under 0°C.

Tätningar i t.ex. flänsförband och ventiler bör ej vara av fibermaterial, typ Klingerit. Helst bör teflon eller s.k. EPDM-gummi användas för bästa funktion. Vitongummi är olämpligt vid låga temperaturer.

5.2 Syrets inverkan

Som tidigare nämnts har syrehalten i köldbärarsystemet stor inverkan på korrosionsprocessen och därför bör denna hållas så låg som möjligt. Olika typer av avluftningssystem bör installeras och vid påfyllning av systemet bör stor vikt läggas på att få systemet luftfritt, gärna genom vakuumsugning eller kvävgasfyllning. Vid låga driftstemperaturer ökar vikten av att ha effektiv avluftning då lösligheten av gas i fluiden ökar med sjunkande temperatur enligt Henry's lag. Visserligen sjunker reaktionshastigheten hos korrosionsprocesserna vid sjunkande temperatur men om syrehalten i systemet samtidigt kan hållas på en låg nivå kan många problem förknippade med korrosion undvikas.

5.3 Uppstartsförfarande

Innan påfyllning bör systemet noggrant rengöras från partiklar som uppstått vid konstruktionen såsom svetslagg och slipsånor. Detta är mycket viktigt för att undvika läckage i axeltätningar och ventiltätningar. Vid en studie av en axeltätningens funktion enligt avsnitt 4.3.1 blir det snart uppenbart vilken skada en slipsåna skulle göra om den hamnade mellan de tätande ytorna.

Då systemet påfylls skall systemet avluftas noggrant och innan driftsättningen bör cirkulationen startas och stoppas upprepade gånger så att luftbubblorna kan stiga till högpunkterna och släppas ut genom luftavledarna. [13]

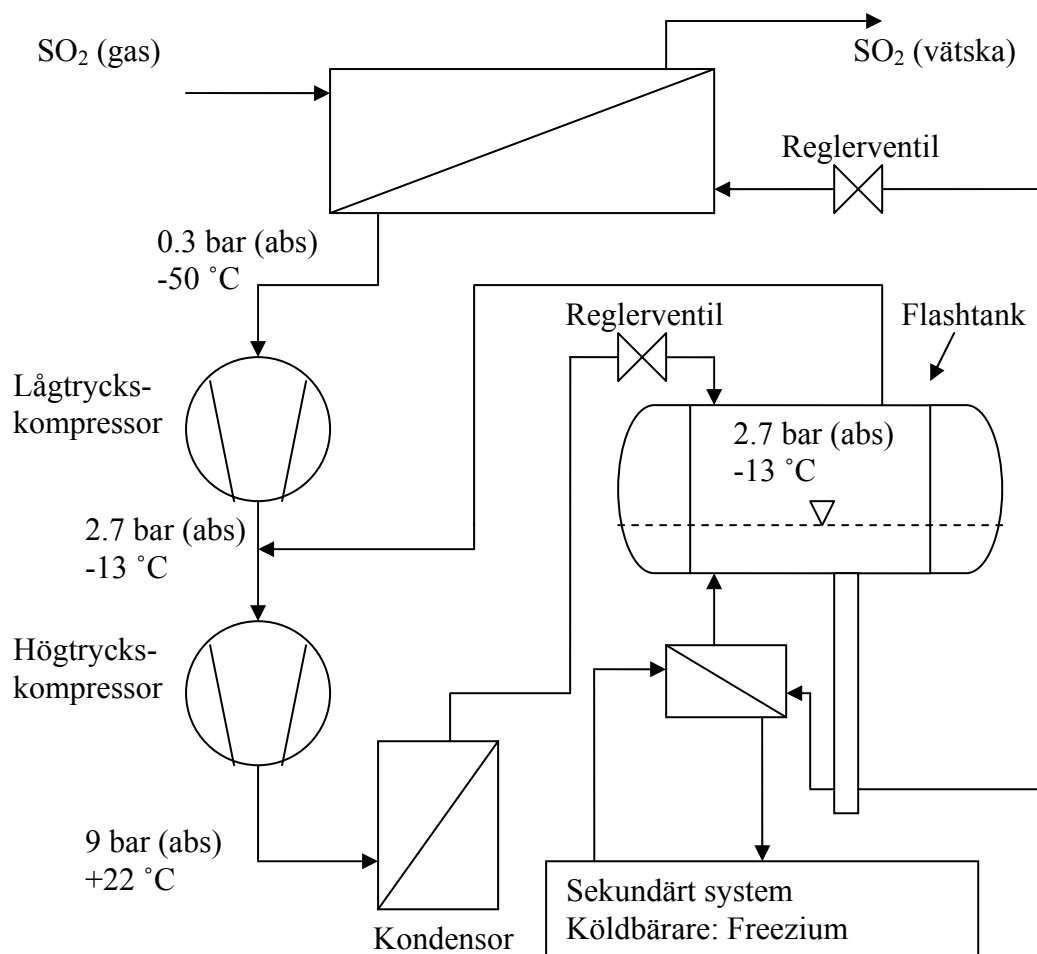
6 Referensobjekt

Som en del av undersökningen har några kylanläggningar med Freezium på köldbärarsidan besökts. Bland annat besöktes Kemira Kemi AB i Helsingborg där ett köldbärarsystem blivit färdigställt sensommaren 2002. Här följer först en kort beskrivning av anläggningen och därefter en undersökning av vilka konsekvenser köldbärarvalet i detta fall gjort för anläggningens pumpkostnad. Anledningen till att just denna anläggning beskrivs i denna rapport är att författaren här fick mycket hjälp med beskrivning av anläggningen. Den intresserade kan få mer information om företaget på hemsidan: www.kemirakemi.com.

6.1 Beskrivning av anläggningen

Källor till följande avsnitt är [16], [17]. Kemira Kemi AB i Helsingborg har sedan tidigare en kylanläggning för kondensering av svaveldioxid. Denna process sker vid temperaturen $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ och därför ligger kylanläggningens förångningstemperatur vid $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Anläggningen är av tvåstegstyp vilket innebär att en kompressor höjer trycket till 2.5 bar (abs) vilket för ammoniak, som är det aktuella köldmediet, motsvarar en mättnadstemperatur på ca. $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$. En annan kompressor höjer sedan trycket ytterligare till 9 bar (abs) vilket motsvarar mättnadstemperaturen $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$. I en kondensor kondenserar sedan köldmediet och samlas i en receiver. Därifrån matas köldmediet i vätskeform till förångaren där trycket åter sänks över en reglerventil till förångningstrycket 0.3 bar (abs).

Då svaveldioxidprocessens kylbehov minskat med en minskande marknad har ett överskott av kylkapacitet uppstått och därför har en s.k. "flashtank" kopplats in på mellantryckssidan. Tanken matas från kondensorn så att en viss vätskenivå uppnås. Från flashtanken matas sedan dels förångaren till svaveldioxidprocessen och dels en värmeväxlare som kyler ett sekundärt kylsystem. Kylanläggningen finns schematiskt beskriven i Figur 6-1.



Figur 6-1 Schematiskt flödesschema över kylanläggningen

Det sekundära systemet är konstruerat för kylkapaciteten 1200 kW som skall användas i olika processer på fabriksområdet. För närvarande används systemet endast till en process, nämligen kylning av aluminiumsulfat vid omformning från vätskeform till granulat, vilken använder mellan 200 och 400 kW kyleffekt. Luft tas här in utifrån och kyls ned till ca +1 °C. Luften koler i sin tur granulatet som därmed stelnar så att det inte smälter samman i silon där de förvaras.

Fabriksområdet är ganska stort och aluminiumsulfatprocessen ligger en bit från kylsystemet som beskrivs i Figur 6-1. Detta har resulterat i att köldbäraren måste transporteras förhållandevis långt i långa rörledningar. Betydelsen av lågt pumpmotstånd har därför i detta fall varit stort vid köldbärarvalet för att minska erforderlig pumpeffekt och rördimensioner. Dimensioneringsdata för systemet finns samlat i Tabell 6-1.

Tabell 6-1 Köldbärarsystemets dimensioneringsata

Köldbärare	Freezium 34 % (frys punkt -25°C)
Kyleffekt	1200 kW
Driftstemperatur	-10 / 0 °C
Rördimension	DN 150
Köldbärarflöde	100 m ³ /h
Rörlängd	800 m

Anledningen till att Freezium valdes som köldbärare var att följande krav uppfylldes:

- Miljövänlig
- Små rörledningsdimensioner
- Liten värmeväxlare
- Små luftbatterier
- Lågt flödesmotstånd

För att undvika läckage i pumparna har magnetdrivna pumpar installerats, se Figur 6-2. Två pumpar har installerats för att eventuell service av pumparna ska kunna göras under drift. Pumparna är frekvensstyrda för att på ett energisnålt sätt kunna reglera flödet.

Rörledningarna är av rostfritt stål och stor hänsyn till köldbärarens egenskaper har tagits vid val av armaturer. Vidare har avluftare i systemets högpunkter installerats för att få bort fritt strömmande luftbubblor, se Figur 4-8. Dräneringsledningar har dragits från avluftarna ned till markplanet för att underlätta manuell avluftning, se Figur 6-3. Eventuellt medföljande köldbärarlösning samlas i ett uppsamlingskärl.

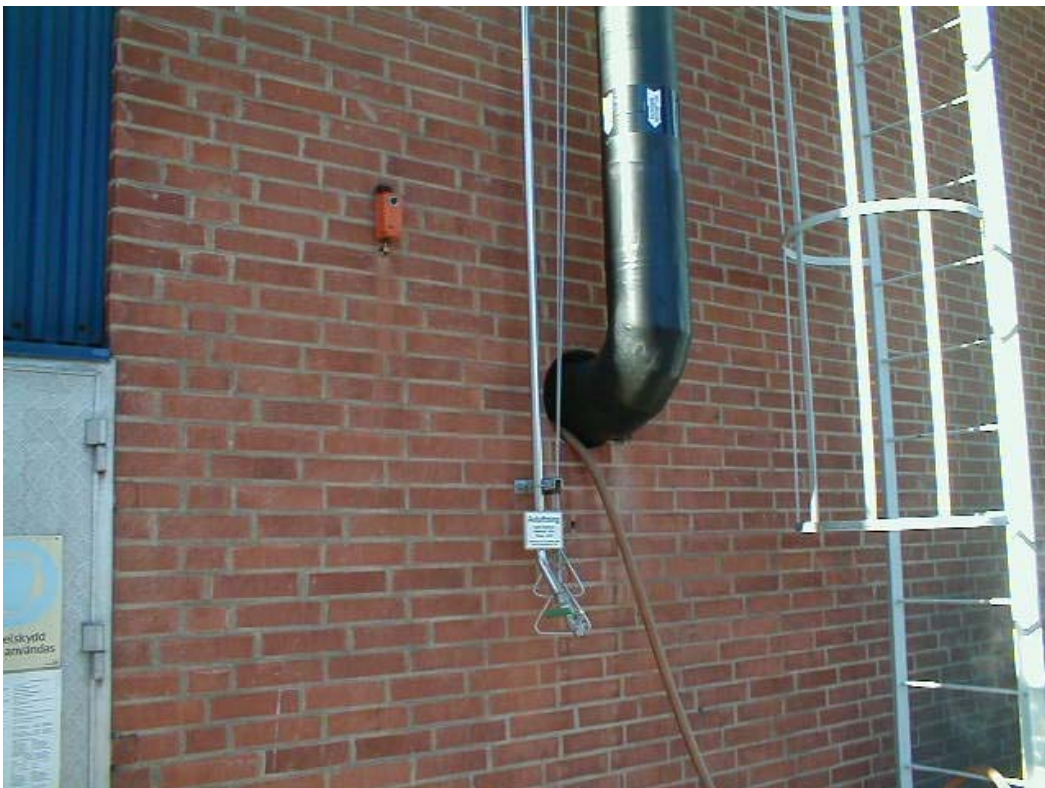
Köldbärarsystemet kyler två processlinjer och varje linje har två parallellkopplade fläktluftkylare, se Figur 6-4, för att möjliggöra avfrostning under drift.

Förångarvärmeväxlaren befinner sig under flashtanken, se Figur 6-5. Värmeväxlaren, som tillverkas av det finska bolaget Vahterus, kallas för *Plate and shell heat exchanger*. Den är cylindrisk och skiljer sig från traditionella plattvärmeväxlare genom att plattorna är runda och att de är helsvetsade. Konstruktionen lämpar sig som själv-cirkulationsförångare eftersom den ger lågt tryckfall på köldmediesidan och högre tryckfall på köldbärarsidan. Lågt tryckfall på köldmediesidan är önskvärt för att få god köldmediecirkulation medan det på köldbärarsidan gärna bör vara lite högre tryckfall för att få bättre värmeöverföring. För mer information om denna typ av värmeväxlare hänvisas läsaren till www.vahterus.com.

Peter Nilsson, underhållschef på Kemira Kemi i Helsingborg, säger att det hittills inte varit några som helst problem med köldbäraren och att de därför är mycket nöjda med köldbärarvalet.



Figur 6-2 De två frekvensstyrda köldbärarpumparna har magnettransmission som minimerar risken för läckage.



Figur 6-3 Från högpunkternas luftavledare har en ledning dragits ned till markplanet för att underlätta manuell avluftning. Eventuellt medföljande köldbärarlösning kan enkelt samlas i ett uppsamlingskärl.



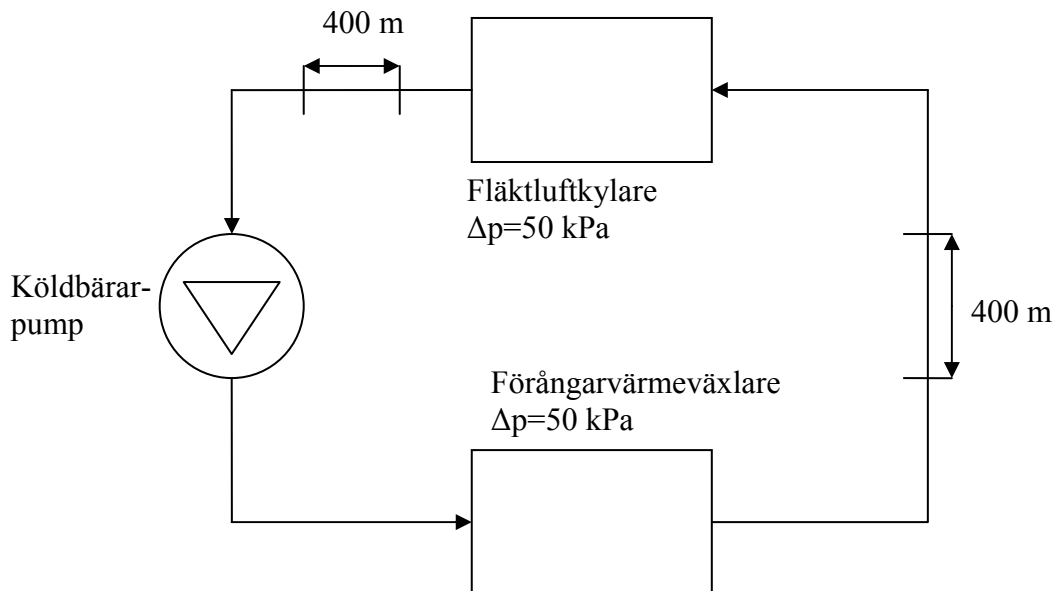
Figur 6-4 *Fläktluftekylarna kylvor luften till ca +1 °C. Två luftekylare är här parallellkopplade för att möjliggöra avfrostning under drift.*



Figur 6-5 *Förångarvärmväxlaren befinner sig under flashtanken. Köldbäraren strömmar i de isolerade rören som går in i gaveln. Köldmediet strömmar nedifrån och upp i de oisolerade rören.*

6.2 Köldbärarens effekt på pumpenergin

En jämförelse kommer här att göras för att avgöra vilken effekt köldbärarvalet gjort för den erforderliga pumpenergin. För att förenkla beräkningarna har systemmodellen förenklats enligt Figur 6-6.



Figur 6-6 Köldbärarsystemet i förenklad beskrivning

Andra data och antaganden som använts vid beräkningarna finns redovisade i Tabell 6-2.

Tabell 6-2 Data och antaganden använda vid beräkningarna

Densitet vatten (20 °C)	998 kg/m ³
Tryckfall förångarvärmväxlare	50 kPa
Tryckfall fläktluftkylare	50 kPa
Ytråhet rörväggar	0,1 mm
Köldbärartemperatur	-10/0 °C
Köldbärarnas referenstemperatur	-5 °C
Rörlängd	800 m
Rördimension	DN 150
Drifttid pump	8000 h/år
Elpris	50 öre/kWh

Data för de jämförda köldbärarna Freezium, propylenglykol och etylenglykol har hämtats ur beräkningsprogrammet Coolpack [11] och finns redovisade i Tabell 6-3.

Tabell 6-3 Köldbärardata som använts vid beräkningarna

Köldbärare	Koncentration [vikt-%]	Frys punkt [°C]	Densitet [kg/m ³]	Värmekapacitet [kJ/(kg K)]	Dyn.viskositet [mPas]
Freezium	34	-25	1221,01	3,045	3,13
Prop.glykol	43	-25	1049,14	3,576	189,44
Etylenglykol	41	-25	1069,07	3,365	7,47

Utgångspunkt för beräkningarna var att volymflödet av Freezium var 100 m³/h. Utifrån detta beräknades kyleffekten enligt

Formel 6-1
$$P = C_p \cdot \rho \cdot \Delta t \cdot Q$$

Utifrån den beräknade kyleffekten beräknades sedan erforderligt volymflöde av de jämförda köldbärarna med respektive termofysikaliska egenskaper. Flödet användes sedan vid tryckfallsberäkningarna som utfördes i beräkningsprogrammet Coolpack. Resultatet av beräkningarna finns redovisade i Tabell 6-4. Tryckfallet räknades om i meter vattenpelare enligt

Formel 6-2
$$h = \frac{\Delta p}{\rho_{H_2O} \cdot g}$$

Tabell 6-4 Resultat från tryckfallsberäkningarna

Köldbärare	Kyleffekt [kW]	Volymflöde [m ³ /h]	Tryckfall [kPa]	Tryckfall [m]
Freezium	1033	100,0	170,5	17,4
Propylenglykol	1033	99,1	203,8	20,8
Etylenglykol	1033	103,0	182,6	18,7

Med tryckfall och volymflöde kunde pumpens varvtal beräknas ur pumpkurvan i Bilaga 7 och från detta kunde pumpeffekten utläsas från samma pumpkurva. Pumpkurvan gäller endast för vatten och därför måste den utlästa pumpeffekten korrigeras med avseende på den aktuella köldbärarens densitet och viskositet enligt avsnitt 2.4.2.[18] Resultatet från beräkningarna finns sammanställda i Tabell 6-5.

Tabell 6-5 Sammanställning av beräkningsresultat

Köldbärare	Varvtal [rpm]	Pumpeffekt [kW]	Pumpeffekt efter korrektion [kW]	Pumpenergikostnad [kr/år]
Freezium	2620	13,8	16,9	67600
Propylenglykol	2700	15,0	17,1	68400
Etylenglykol	2690	15,2	16,9	67600

Intressant att notera är att skillnaden mellan de olika köldbärarna är försumbar. Det låga tryckfallet som Freezium ger tas ut av dess höga densitet. Propylenglykol ger i denna jämförelse försumbar skillnad från övriga köldbärare. Ur pumpenergisympunkt spelar det alltså ingen roll vilken av dessa köldbärare som väljes.

7 Systemstudier

7.1 Systembeskrivning

En ekonomisk och termodynamisk studie av ett enkelt köldbärarsystem har gjorts för att undersöka konsekvenserna av valet av köldbärare vid tre olika driftstemperaturer. Köldbärarna som har undersökts är Freezium, propylenglykol och etylenglykol. Systemet är tänkt att hålla ett kylrum vid en lufttemperatur mellan 0 och +2 °C vilket kräver en köldbärartemperatur under 0 °C. Beräkningar har gjorts för två olika nivåer av kylbehov. Ett system har rördiameter DN 80 i huvudstråket och det andra har rördiameter DN 150. Systemet finns beskrivet med ett flödesschema i Bilaga 5. Studien omfattar både investeringskostnaden och energikostnaden för köldbärarsystemet.

Utgångspunkt för beräkningarna har varit det flöde som uppnås vid ett visst tryckfall i rören. På Kemira Kemi:s nya kylanläggning i Helsingborg har är flödet 100 m³/h med rördimension DN 150. Vid rådande driftstemperatur har tryckfallet i rören beräknats till ca 210 Pa/m. I systemen som studerats har detta tryckfall alltså varit utgångspunkt för beräkning av systemens kyleffekt. Slutligen har följande effekter fastslagits för de två systemen:

- DN 80 83 kW
- DN 150 430 kW

Beräkningar har för varje fall gjorts vid tre olika driftstemperaturer, nämligen

Köldbärartemp.	Förångningstemp.
-6/-2 °C	-11 °C
-8/-4 °C	-13 °C
-10/-6 °C	-15 °C

Sammanlagt har alltså beräkningarna utförts vid 18 fall. Omgivande förhållanden har antagits vara normala nordiska klimatförhållanden, d.v.s. 15-20 °C. Följande koncentrationer (vikt-% i vatten) av respektive köldbärare har använts vid beräkningarna:

Freezium	24 %
Propylenglykol	33 %
Etylenglykol	33 %

Koncentrationerna ovan motsvarar en fryspunkt på ca -15 °C, vilket är den fryspunkt som kan anses nödvändig i de beräkningar som gjorts. Det kan diskuteras om koncentrationerna verkligen är lämpliga för driftsfallet -10/-6 °C eftersom förångningstemperaturen där är just -15 °C men för enkelhetens skull har samma koncentration använts för samtliga beräkningar. Dessutom bör det beaktas att rent vatten är den bästa köldbäraren och därför bör överdrivet användande av kemikalier undvikas.

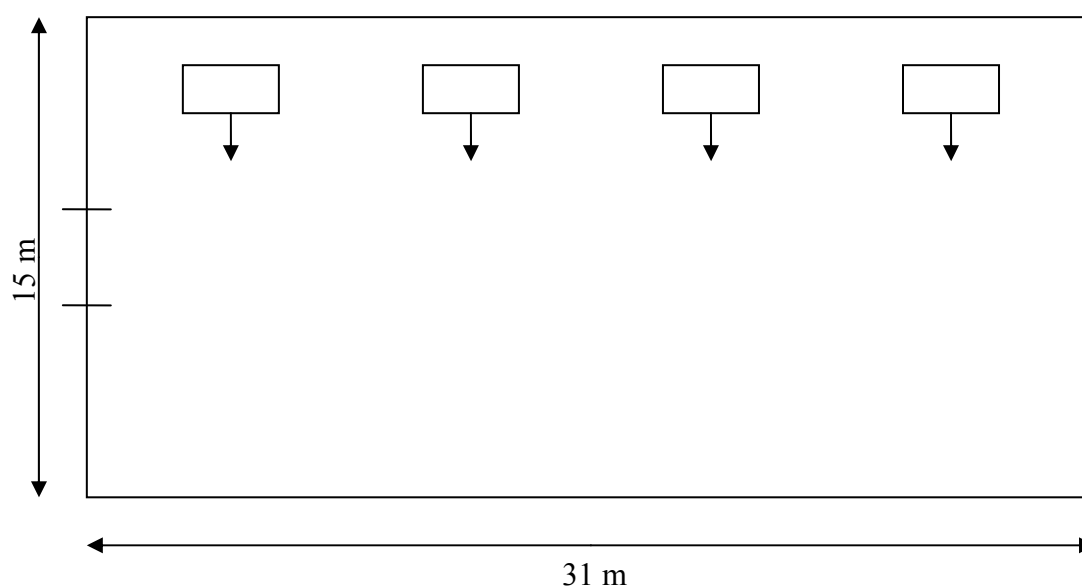
7.1.1 Kylrummets storlek och utformning

Det finns olika tumregler för hur stort kylbehovet för ett kylrum är. I denna studie används tumregeln 30 W/m³ för medelstora kylrum och 25 W/m³ för stora kylrum. För det första fallet med 83 kW kyleffekt och kylbehovet 30 W/m³ motsvarar detta ett rum med volymen 2800 m³. En rimlig takhöjd kan i detta fall vara 6 m vilket motsvarar golvarean 467 m². Ett

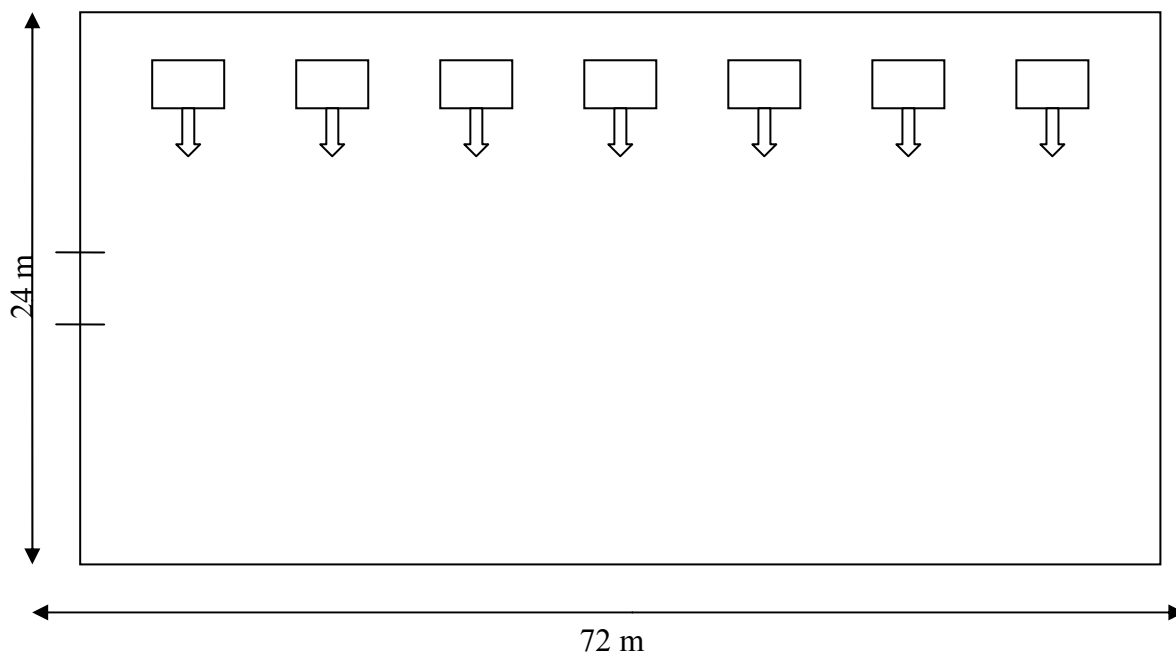
rektangulärt kylrum med måtten 31 x 15 m motsvarar dessa mått. För att få bra cirkulation i rummet har det antagits att fyra luftkylare är ett rimligt antal För det andra fallet med 430 kW kyleffekt har kylbehovet 25 W/m³ antagits vilket motsvarar rumsvolymen 17200 m³. Detta är ett stort kylrum vars takhöjd antagits vara 10 m vilket motsvarar golvytan 1720 m² och måtten 72 x 24 m. Det har här antagits att sju luftkylare är ett rimligt antal för att få bra cirkulation i rummet. En skiss av rummen kan ses i Figur 7-1 och Figur 7-2. Data för kylrummen är sammanställda i Tabell 7-1.

Tabell 7-1 Sammanställning av kylrumsdata.

Effekt [kW]	Behov [W/m ³]	Volym [m ³]	Mått [m]	Antal luftkylare
83	30	2800	31 x 15 x 6	4
430	25	17200	72 x 24 x 10	7



Figur 7-1 Skiss av kylrum med kylbehovet 83 kW och fyra fläktluftkylare.



Figur 7-2 Skiss av kylrum med kylbehovet 430 kW och sju fläktluftkylare.

7.2 Beräkning

Kylsystemet som skall behandlas kan i detalj studeras i flödesschemat i Bilaga 5. [19] Varje komponent har identifierats med en siffra som återfinns i komponentlistan enligt Bilaga 1 och Bilaga 2. Systemet består förutom ventiler, manometrar m.m. huvudsakligen av tre huvudkomponenter, nämligen plattvärmeväxlare, köldbärarpump och fläktluftkylare. Hur dessa komponenter dimensionerats kommer att behandlas i följande avsnitt. För beräkningarna har ett antal beräkningsprogram använts och de finns samlade i Tabell 7-2.

Tabell 7-2 Sammanställning av beräkningsprogram som använts vid beräkningarna

Program	Version	Utgivare	Beskrivning	Hämtat från
Coolpack	1.46	Danmarks Tekniska Universitet	Cykelsimulering, tryckfallsberäkning	www.et.dtu.dk
SSP 2000	2.00.65	SWEP	Plattvärmeväxlare	www.swep.se
WinCAPS	7.33	Grundfos	Pumpar	www.grundfos.com
Polar Power	4.1	Fincoil	Fläktluftkylare	www.fincoil.fi

7.2.1 Plattvärmeväxlare

Vid dimensioneringen av förångarvärmeväxlare användes följande indata (jämför avsnitt 4.1):

Köldmedium: R 717 (Ammoniak)
 Inloppsångkvalitet: 0,2 (20 % gas 80 % vätska)
 Utloppsångkvalitet: 1 (endast gas)
 T_{OH} : 5 K
 Θ_p : 5 K

Beräkningarna gjordes med värmeväxlartillverkaren SWEP:s beräkningsprogram *SSP 2000* version 2.00.65. I denna version fanns inte Freezium med bland urvalet av arbetsmedier varför en ny användardefinierad fluid fick skapas. Data för denna fluid togs från

beräkningsprogrammet Coolpack vid tre olika temperaturer: -2 °C, -6 °C, och -10 °C. Beräkningsprogrammet gav olika förslag på lämpliga värmväxlare som kunde användas och samma typ av värmväxlare valdes i största möjliga mån för att ge en så rättvis prisbild som möjligt för alla beräkningsfall. Vad gäller materialval har det här antagits att värmväxlarna är kompatibla med såväl Freezium som etylenglykol och propylenglykol. Dimensioneringsresultaten kan studeras i Tabell 7-3 och Tabell 7-4. Bruttopriser för värmväxlarna kommer från AKA kyla som är en återförsäljare av produkter för kylanläggningar. [20], [21]

Tabell 7-3 Förteckning över värmväxlare som togs fram vid dimensioneringen för anläggning med kyleffekten 83 kW

Köldbärare	KB-temp.	Beteckning	Antal	Å-pris	Totalpris
Freezium	-6/-2	V200x74	1	39300	39300
Prop.glykol	-6/-2	V45x96	1	42449	42449
Et.glykol	-6/-2	V200x76	1	40188	40188
Freezium	-8/-4	V200x74	1	39300	39300
Prop.glykol	-8/-4	V45x98	1	43223	43223
Et.glykol	-8/-4	V200x76	1	40188	40188
Freezium	-10/-6	V200x74	1	39300	39300
Prop.glykol	-10/-6	V57x86	1	45648	45648
Et.glykol	-10/-6	V200x76	1	40188	40188

Tabell 7-4 Förteckning över värmväxlare som togs fram vid dimensioneringen för anläggning med kyleffekten 430 kW

Köldbärare	KB-temp.	Beteckning	Antal	Å-pris	Totalpris
Freezium	-6/-2	V57x214	2	95251	190502
Prop.glykol	-6/-2	V57x226	2	99900	199800
Et.glykol	-6/-2	V57x224	2	99126	198252
Freezium	-8/-4	V57x216	2	96026	192052
Prop.glykol	-8/-4	V57x230	2	101450	202900
Et.glykol	-8/-4	V57x226	2	99900	199800
Freezium	-10/-6	V57x218	2	96801	193602
Prop.glykol	-8/-4	V57x230	2	101450	202900
Et.glykol	-10/-6	V57x226	2	99900	199800

7.2.2 Köldbärarpump

Köldbärarpumpen dimensioneras efter hur stor tryckstegringen skall vara samt hur stort flöde som skall pumpas runt. Flödet har beräknats enligt

Formel 7-1

$$Q = \frac{P_L}{C_p \cdot \rho \cdot \Delta t}$$

där P_L är kyleffekten, C_p specifika värmekapaciteten, ρ densiteten och Δt skillnaden mellan högsta och lägsta köldbärartemperatur. Värderna på C_p och ρ är tagna vid köldbärarens medeltemperatur. Tryckstegringen som pumpen skall åstadkomma motsvarar det tryckfall som cirkulationen i systemet ger upphov till. Beräkningen av tryckfallet redovisas i Bilaga 6. Tryckfallet i rören beräknas enligt teoriavsnitt 2.4.1, men av praktiska skäl har beräkningsprogrammet Coolpack från Danmarks Tekniska Universitet använts. Följande indata har gällt för tryckfallsberäkningen:

Referenstemperatur: Köldbärarens medeltemperatur
 Rörets ytojämnhetsfaktor: 0,1 mm

I beräkningsprogrammet väljes köldbärartyp, driftstemperatur och lösningskoncentration varefter programmet beräknar köldbärarens termofysikaliska egenskaper. Därefter väljes flöde, rörets längd, skrovlighet och hydraliska diameter. Programmet beräknar nu tryckfallet i det angivna röret. Vid beräkningarna har längden 10 m angivits för att få större noggrannhet i beräkningarna, d.v.s. tryckfallet per 10 m rör har beräknats. Tryckfallet i rörböjar beräknades enligt [6]

Formel 7-2

$$\Delta p = K \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot V^2$$

där K är en s.k. *förlustkoefficient*. K uppskattades efter studier av olika tabeller i bl.a. [6] till 0,20. Tryckfallet i ventiler, avluftare m.m. togs ur Armaturjonssons produktblad för respektive komponent [13]. Diagrammen i produktbladen är visserligen avsedda för vatten, men borde ge ett värde i samma storleksordning som för olika köldbärare. Tryckfallet i fläktluftkylare och plattvärmväxlare uppskattades till 50 kPa vardera, vilket enligt beräkningsprogrammen var ett normalt värde vid dimensioneringen. Tryckfallsberäkningen finns redovisad i Bilaga 6.

Då tryckfall och flöden beräknats användes Grundfos beräkningsprogram *WinCAPS* version 7.33. I beräkningsprogrammet kan en mängd olika dimensioneringskriterier anges. De kriterier som angavs kan ses i Tabell 7-5.

Tabell 7-5 Kriterier som angavs vid dimensionering av köldbärarpump med Grundfos *WinCAPS* version 7.33

	P=83 kW, DN 80	P=430 kW, DN 150
Varvtalsreglering	Ja, extern	Ja, extern
Pumpdesign	In-line eller normcentrifugal	In-line eller normcentrifugal
Antal poler	Någon*	Någon*
Enkel- eller dubbelpump	Enkel	Dubbel
Frekvens, fas	50 Hz, 3-fas	50 Hz, 3-fas
Startmetod 3-fas	Någon*	Någon*
Min. Effektgräns för SD-start	5,5 kW	5,5 kW
Spänning	380 V	380 V
Pumpanslutning typ	Fläns	Fläns
Flänsstorlek	DN 65	DN 125
Pumphusmaterial	Gjutjärn	Gjutjärn
Max. driftryck	6 bar	6 bar

* Dimensioneringsprogrammet kan välja fritt

Då dimensioneringen inleddes var ett kriterium att samma typ av pump skulle väljas för samtliga fall men det visade sig att skillnaden i driftförhållanden var så små att även samma storlek på pumpen kunde användas. Detta berodde givetvis också på att frekvensstyrning av pumpen användes. De pumpar som valdes återfinns i komponentförteckningen i Bilaga 1 och Bilaga 2.

7.2.3 Fläktluftkylare

Teorin för värmeöverföringen i fläktluftkylare beskrivs delvis i avsnitt 2.3. Valet av köldbärare påverkar värmeöverföringen från vätska till rörväggar och därmed flänsarnas temperatur. God värmeöverföring från köldbäraren ger alltså kallare flänsytor och därmed bättre total värmeövergång från köldbärare till luften. Dimensioneringen har utförts med luftkylartillverkaren Fincoils beräkningsprogram *Polar Power* version 4.1. Indata som använts vid dimensioneringen finns sammanställd i Tabell 7-6.

Tabell 7-6 Sammanställning av indata vid dimensionering av fläktluftkylare med Fincoils beräkningsprogram *Polar Power* version 4.1.

	Indata
Antal Fläktluftkylare	P=83 kW: 4 st ; P=430 kW: 7 st
Ingående lufttemperatur	+2 °C
Relativ Luftfuktighet	85 %*
Lamelledelning	4-6 mm
Maximal Ljudnivå	90 dB(A)*
Fläkthastighet	1400 rpm
Avfrostningstyp	SSO: elavfrostning i element och droppskål (kylrum ~0 °C)
Maximalt tryckfall	60 kPa
Modell	Fincoil Polar Bear PBG

*Förvalt av dimensioneringsprogrammet

Resultatet av dimensioneringen återfinns i Tabell 7-7 och Tabell 7-8. Samma modell användes vid samtliga beräkningar för att göra jämförelsen så rättvis som möjligt. Bruttopriser för fläktluftkylarna har hämtats ur prislistan från AKA kyla som är en återförsäljare av produkter för kylanläggningar. [20], [21]

Tabell 7-7 Förteckning över fläktluftkylare som togs fram vid dimensioneringen för anläggning med kyleffekten 83 kW

Köldbärare	T köldbärare	Beteckning	Antal	Å-pris	Totalpris
Freezium	-6/-2	Fincoil PBG 4-5-1400	4	33800	135200
Prop.glykol	-6/-2	Fincoil PBG 7-5-1400	4	82900	331600
Et.glykol	-6/-2	Fincoil PBG 4-5-1400	4	33800	135200
Freezium	-8/-4	Fincoil PBG 3-5-1400	4	26400	105600
Prop.glykol	-8/-4	Fincoil PBG 5-5-1400	4	45800	183200
Et.glykol	-8/-4	Fincoil PBG 4-5-1400	4	33800	135200
Freezium	-10/-6	Fincoil PBG 2-5-1400	4	23100	92400
Prop.glykol	-10/-6	Fincoil PBG 3-5-1400	4	33800	135200
Et.glykol	-10/-6	Fincoil PBG 3-5-1400	4	26400	105600

Tabell 7-8 Förteckning över fläktluftkylare som togs fram vid dimensioneringen för anläggning med kyleffekten 430 kW

Köldbärare	T köldbärare	Beteckning	Antal	Å-pris	Totalpris
Freezium	-6/-2	Fincoil PBG 7-5-1400	7	82900	580300
Prop.glykol	-6/-2	Fincoil PBG 11-5-1400	7	129500	906500
Et.glykol	-6/-2	Fincoil PBG 8-5-1400	7	95500	668500
Freezium	-8/-4	Fincoil PBG 6-5-1400	7	57100	399700
Prop.glykol	-8/-4	Fincoil PBG 10-5-1400	7	109500	766500
Et.glykol	-8/-4	Fincoil PBG 7-5-1400	7	82900	580300
Freezium	-10/-6	Fincoil PBG 5-5-1400	7	45800	320600
Prop.glykol	-10/-6	Fincoil PBG 8-5-1400	7	95500	668500
Et.glykol	-10/-6	Fincoil PBG 6-5-1400	7	57100	399700

7.2.4 Övriga komponenter

Övriga komponenter i systemet är köldbärartank, smutsfilter, luftavskiljare, vakuumavluftare, expansionskärl, vridspjällventiler, kulventiler, säkerhetsventil, tryckmätare, nålventiler samt luftavledare. Samtliga komponenter har tagits fram ur Armatörjonssons sortiment. För Freezium som köldbärare har speciella val av modell gjorts med högre ställda kvalitetskrav för vissa av komponenterna. Detta gör att dessa komponenter har ett högre bruttopris vilket ökar anläggningskostnaden. En sammanställning av komponentvalen kan studeras i Tabell 7-9 och Tabell 7-10.

Tabell 7-9 Sammanställning av komponentval för köldbärarsystem med kyleffekt 83 kW och rördiameter DN 80. Relativa skillnaden inom parentes anger hur mycket dyrare komponenten blir för Freezium.

Komponent	Freezium	Propylenglykol och Etylenglykol	Prisskillnad (relativt [%])	Anmärkning
Köldbärartank	AJ 8524	AJ 8525	3050 (20)	Volym: 0,6 m ³
Smutsfilter	AJ 4058	AJ 4048	8960 (515)	
Luftavskiljare	AJ 8071	AJ 8070	6800 (92)	
Vakuumavluftare	AJ 8080 VMB-B1	AJ 8080 VMB-B1	0	
Expansionskärl	AJ8323A50	AJ8323A50	0	Volym: 1 m ³ stat. höjd: 15 m
Vridspjällventil	AJ 2310-1012	AJ 2310-1012	0	
Kulventil	AJ 3577 AJ 3758	AJ 3669 AJ 3653	325 (160) 500 (185)	
Säkerhetsventil	AJ 4692 D4	AJ 8310-4,0-20	2917 (1030)	
Tryckmätare	AJ 8305	AJ 8305	0	
Nålventil	AJ 1894	AJ 1844	459 (218)	
Luftavledare	AJ 8050	AJ 8050	0	

Tabell 7-10 Sammanställning av komponentval för köldbärarsystem med kyleffekt 430 kW och rördiameter DN 150. Relativa skillnaden inom parentes anger hur mycket dyrare komponenten blir för Freezium.

Komponent	Freezium	Propylenglykol och Etylenglykol	Prisskillnad (relativt [%])	Anmärkning
Köldbärartank	AJ 8524	AJ 8525	1780 (7)	Volym: 1 m ³
Smutsfilter	AJ 4058	AJ 4048	8700 (155)	
Luftavskiljare	AJ 8071	AJ 8070	14900 (93)	
Vakuumavluftare	AJ 8080 VMB-B1	AJ 8080 VMB-B1	0	
Expansionskärl	AJ8321 A400	AJ8321 A400	0	Volym: 1 m ³ statisk höjd: 15 m
Vridspjällventil	AJ 2310-1012	AJ 2310-1012	0	
Kulventil	AJ 3577 AJ 3758	AJ 3669 AJ 3653	325 (160) 500 (185)	
Säkerhetsventil	AJ 4692 D4	AJ 8310-4,0-20	2917 (1030)	
Tryckmätare	AJ 8305	AJ 8305	0	
Nålventil	AJ 1894	AJ 1844	459 (218)	
Luftavledare	AJ 8050	AJ 8050	0	

7.2.5 Rörarbete m.m.

Kostnader för rördragning togs fram av Värmesvets Entreprenad AB [12] och finns redovisad i Tabell 7-11. För anläggningar med Freezium bör som tidigare nämnts konstruktionen om möjligt vara utförd i rostfritt stål. För Propylenglykol och etylenglykol har rör i TT-stål

använts eftersom icke rostfria armaturer valts för dessa fall. Anledningen till att vanliga tryckkärlsrör inte använts är att dessa inte är godkända för temperaturer under 0 °C.

Tabell 7-11 *Kostnad för rördragning [SEK/st]*

Rördimension	Rostfritt stål (SS 2333)		TT-stål (TT-35 N)	
	DN 80	DN 150	DN 80	DN 150
Rör (SEK/m)	431	734	544	1327
Böj	496	1000	490	1514
T-stycke	922	2301	3166	7562
Kona	661	1083	533	813
Fläns	998	1839	295	540
Skarv	430	585	430	585

Tabell 7-12 visar de antaganden som gjorts om anläggningen. Dessa antaganden syftar endast till att ge någorlunda rätt storleksordning på den totala kostnaden för dessa komponenter.

Tabell 7-12 *Antaget antal böjar, skarvar m.m..*

	Antal	
	DN 80	DN 150
Rör	200	200
Böj	25	25
T-stycke	10	10
Kona	10	15
Fläns	10	15
Skarv	20	30

7.2.6 Energikostnadsberäkning

Anläggningens energikostnad utgör en viktig del av den totala kostnaden under dess livstid. Förutom kylanläggningens energiåtgång har fläktar, pumpar och avfrostningsutrustning tagits med i beräkningarna.

För beräkning av kylanläggningens energiåtgång har beräkningsprogrammet Coolpack använts. Programmet har en cykelsimuleringsfunktion där en rad parametrar kan beräknas. Intressant i denna beräkning var hur stort kompressorarbetet blev vid olika förångningstemperaturer. De indata som användes vid beräkningarna finns samlade i Tabell 7-13.

Tabell 7-13 *Nödvändiga indata vid cykelsimulering i Coolpack.*

Parameter	Värde
Kondenseringstemperatur	30 °C
Underkyllning av vätska i kondensor	2 °C
Överhettning i förångaren	5 °C
Tryckfall i sugledning (ändring av mättnadstemperatur)	0,5 °C
Tryckfall i hetgasledning (ändring av mättnadstemperatur)	0,5 °C
Köldmedium	R 717 (Ammoniak)
Kompressorns isentropverkningsgrad	0,7
Värmeförluster i kompressorn	10 %
Ökning av gastemperatur i sugledning	1 °C

Resultatet av cykelberäkningarna kan studeras i Tabell 7-14.

Tabell 7-14 Erforderligt kompressorarbete som funktion av förångningstemperatur.

Förångningstemperatur	-11 °C	-13 °C	-15 °C
Erforderlig kompressoreffekt [kW], $P_{kvl}=83$ kW	22,9	24,3	25,9
Erforderlig kompressoreffekt [kW], $P_{kvl}=430$ kW	117,6	125,2	133,0

Eleffekt för köldbärarpumpar togs från Grundfos WinCAPS och för fläktar och avfrostningsutrustning från Fincoils Polar Power. Antaganden som gjordes vid driftskostnadsberäkningarna finns samlade i Tabell 7-15.

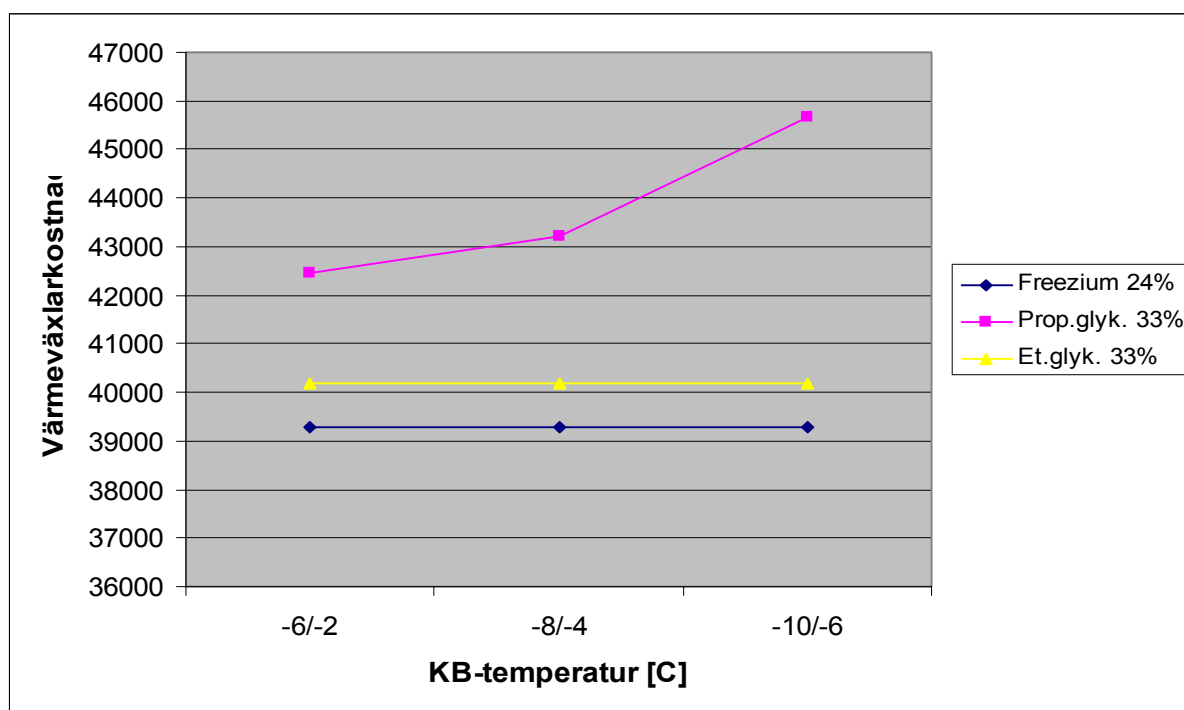
Tabell 7-15 Nödvändiga antaganden för driftskostnadsberäkning

	Antagande	
	P=83 kW	P=430 kW
Avfrostningstid per dygn [h]	2	2
Drifttid fläktar per dygn [h]	22	22
Drifttid pump per dygn [h]	24	24
Övrig energiåtgång [kW]	2	10
Elpris [kr/kWh]	0.5	0.5

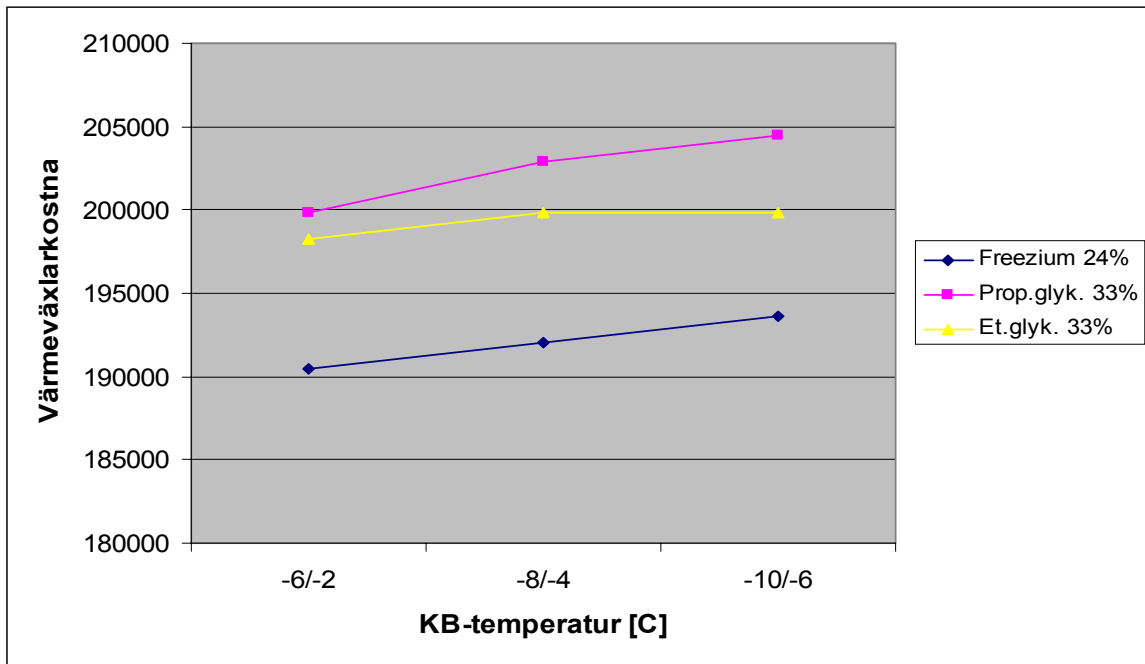
7.3 Resultat från dimensionering av värmeväxlare och luftkylare

7.3.1 Förångarvärmeväxlare

Figur 7-3 och Figur 7-4 visar hur kostnaden för förångarvärmeväxlare varierar med köldbärarval och köldbärartemperatur i de två system som dimensionerats. Lägst är kostnaden för Freezium och högst för propylenglykol. Skillnaden i kostnad är dock för denna komponent förhållandevis liten.



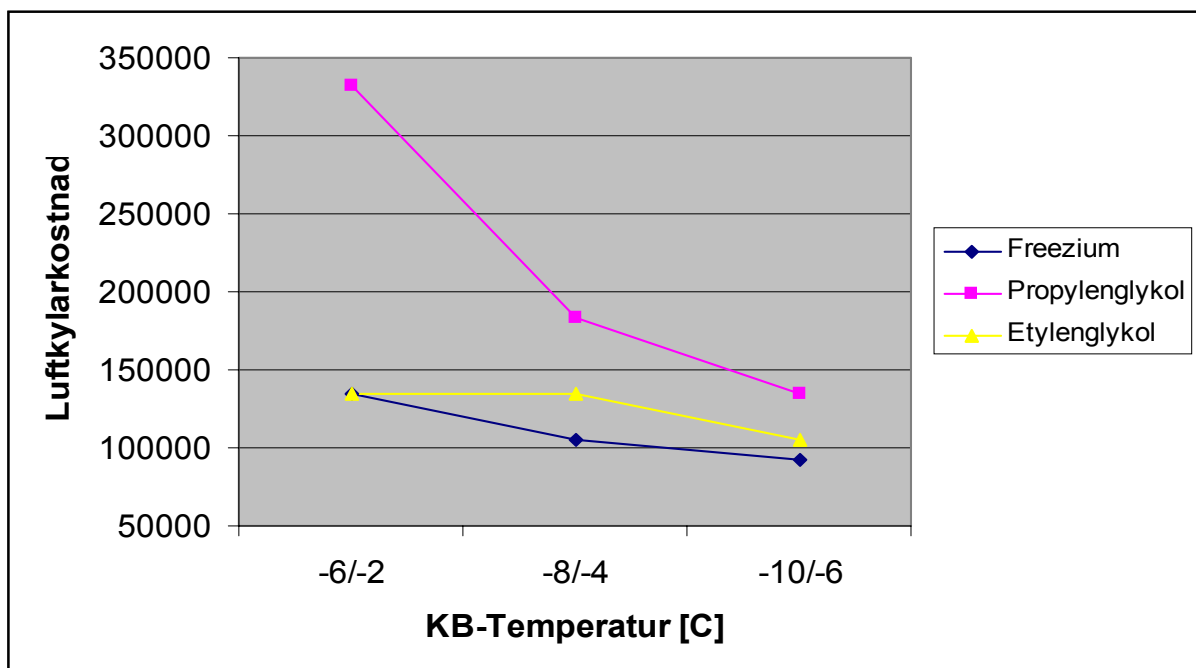
Figur 7-3 Kostnad för värmeväxlare vid olika köldbärartemperaturer. Kyleffekten är 83 kW.



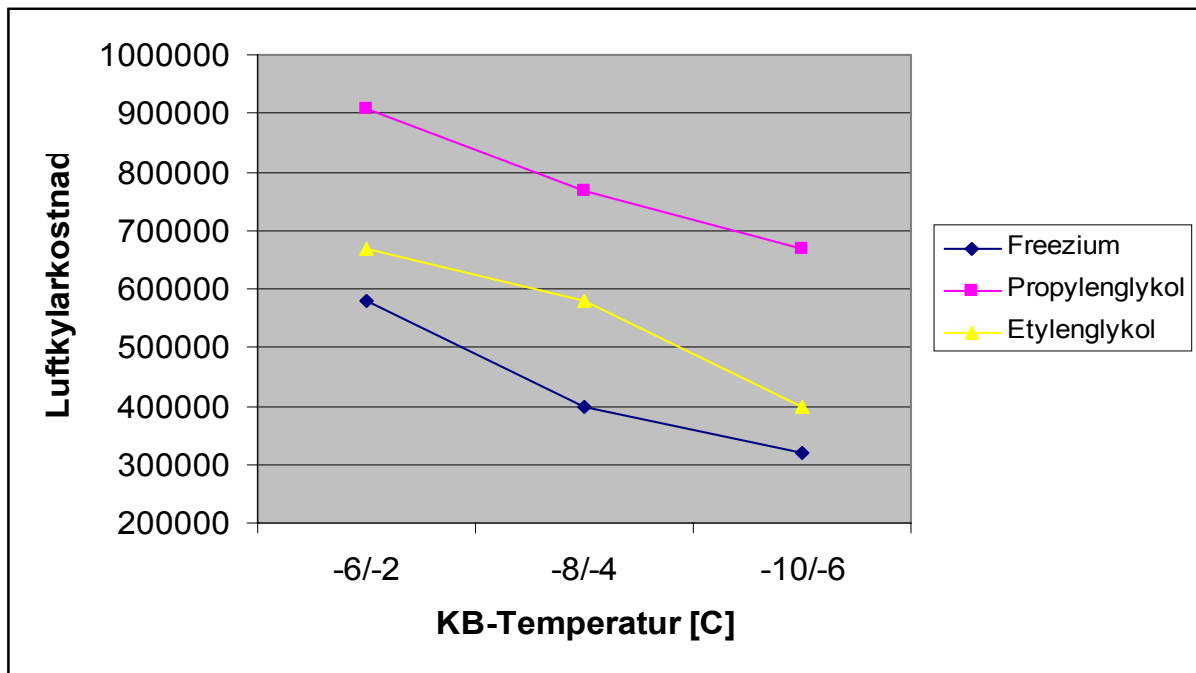
Figur 7-4 Kostnad för värmeväxlare vid olika köldbärartemperaturer. Kyleffekten är 430 kW.

7.3.2 Fläktluftkylare

Figur 7-5 och Figur 7-6 visar kostnaden för fläktluftkylare som funktion av köldbärarval och driftstemperatur. Propylenglykol ger alltid betydligt större kostnader än etylenglykol och Freezium. Billigast blir luftkylarna med Freezium men skillnaden blir mer tydlig då anläggningens storlek ökar. Det är tydligt att skillnaden i kostnad för fläktluftkylare är mycket stor beroende på vilken köldbärare och driftstemperatur som väljes.



Figur 7-5 Luftkylarkostnad som funktion av köldbärartemperatur och köldbärarval för anläggning med kyleffekt 83 kW

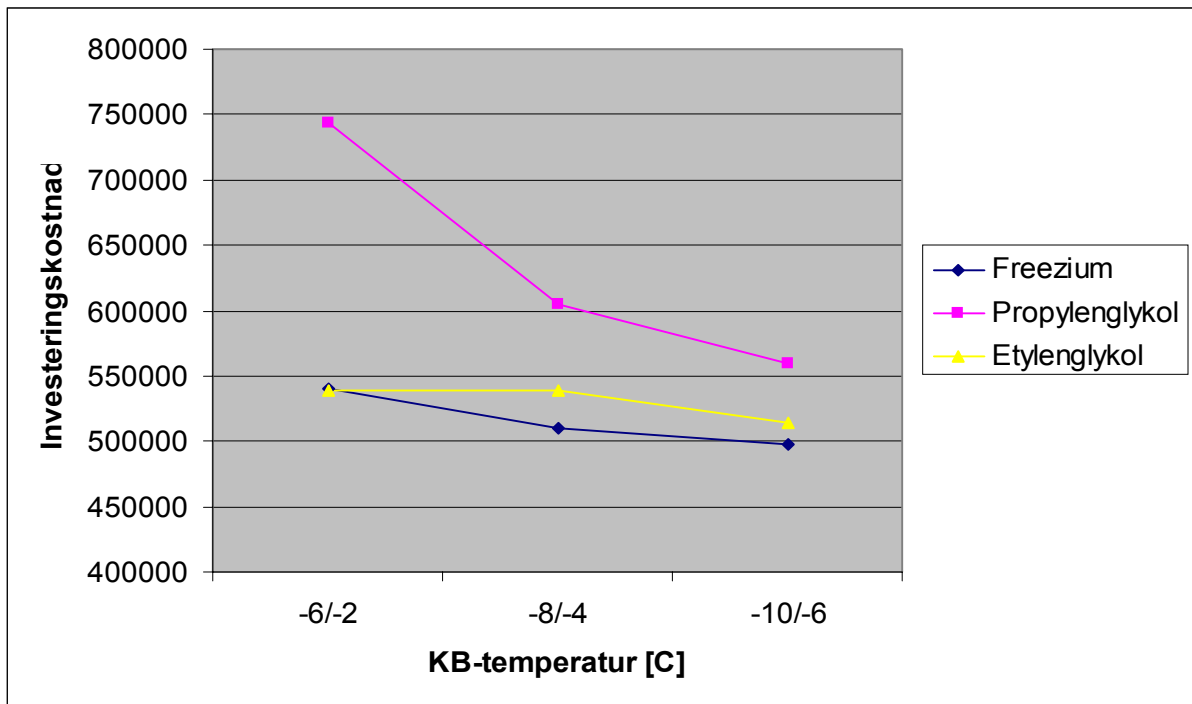


Figur 7-6 Luftkylarkostnad som funktion av köldbärartemperatur och köldbärarval för anläggning med kyleffekt 430 kW

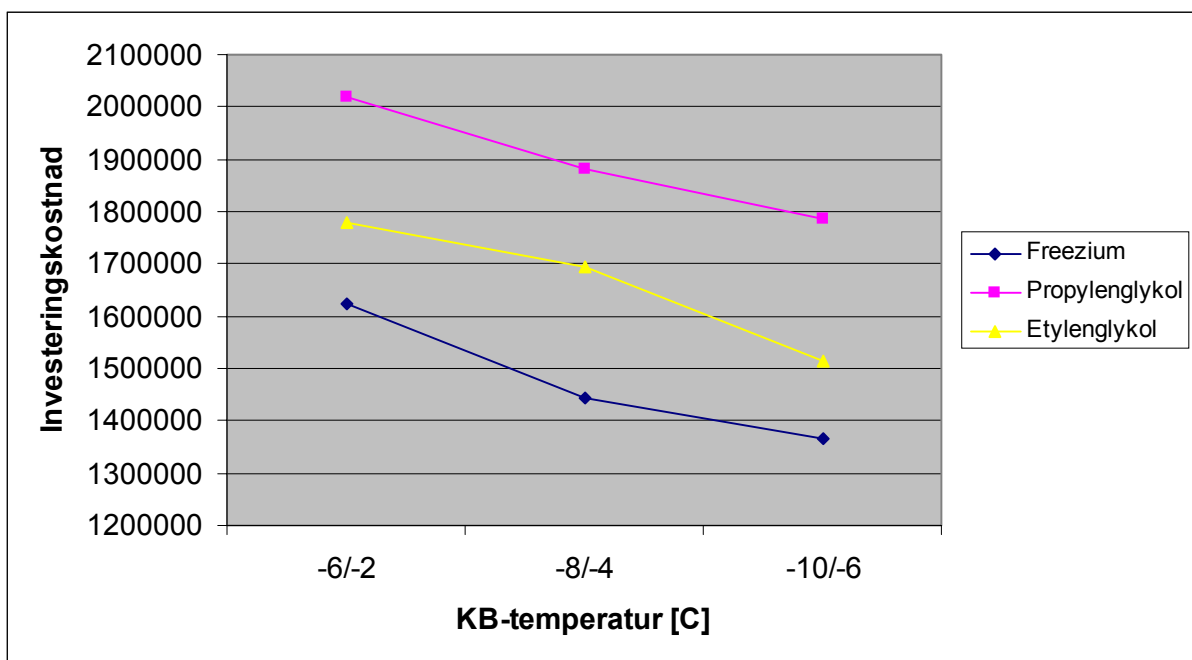
7.4 Investeringsbedömning

7.4.1 Investeringskostnaden

Resultaten från beräkningen av investeringskostnaden för köldbärarsystemen med kylbehov 83 kW och 430 kW kan ses i Figur 7-7 och Figur 7-8. Observera att investeringskostnaden endast innefattar köldbärarsystemet och alltså *inte* kylanläggningen. Det framgår att investeringskostnaden minskar vid sjunkande köldbärartemperatur vilket beror på att fläktluftkylarna då blir mindre p.g.a. ökad temperaturdifferens mellan luft och köldbärare.

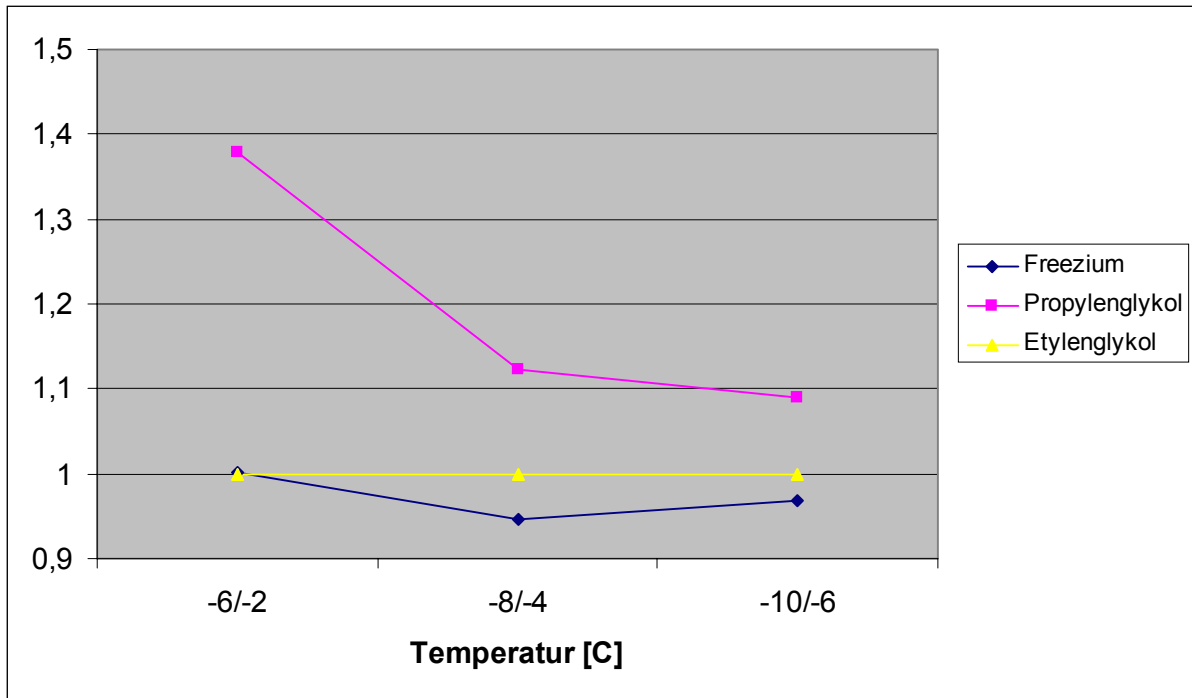


Figur 7-7 *Investeringskostnad för köldbärarsystem med kyleffekt 83 kW som funktion av köldbärartemperaturen.*

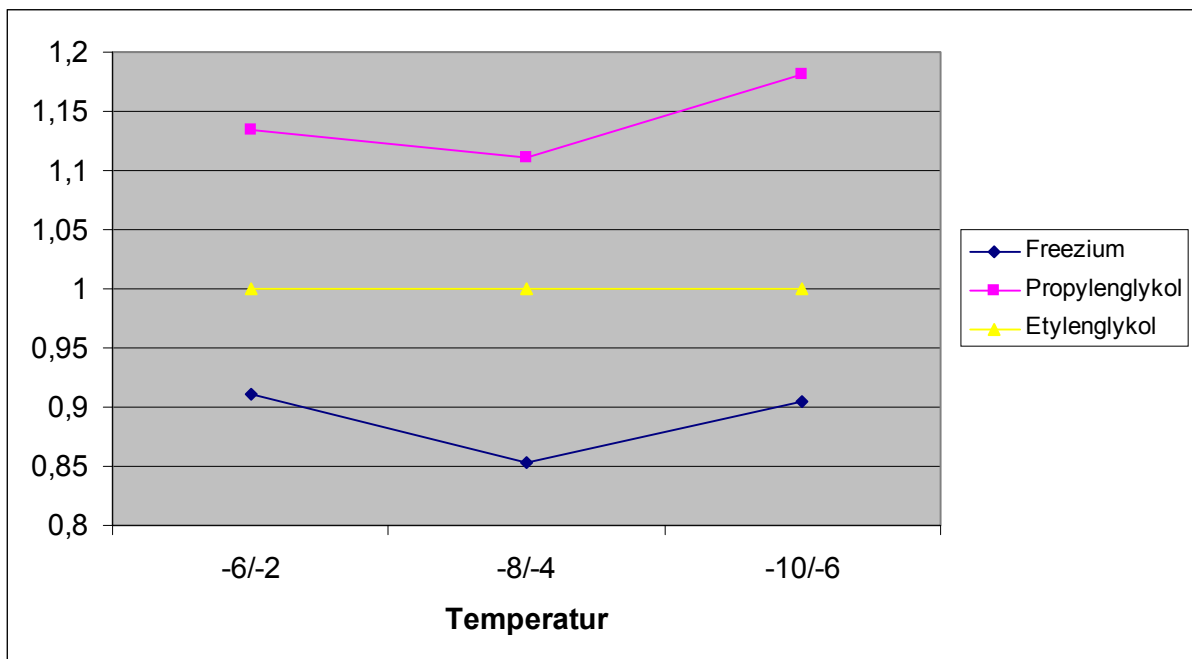


Figur 7-8 *Investeringskostnad för köldbärarsystem med kyleffekt 430 kW som funktion av köldbärartemperaturen.*

Det är viktigt att notera att det inte är de absoluta siffrorna på investeringskostnaden som är intressant utan skillnaden i investeringskostnad mellan de olika köldbäraralternativen. Figur 7-9 och Figur 7-10 visar den relativa investeringskostnaden för de två olika effektbehoven.



Figur 7-9 Relativ investeringskostnad för köldbärarsystem med kyleffekt 83 kW som funktion av köldbärartemperaturen.

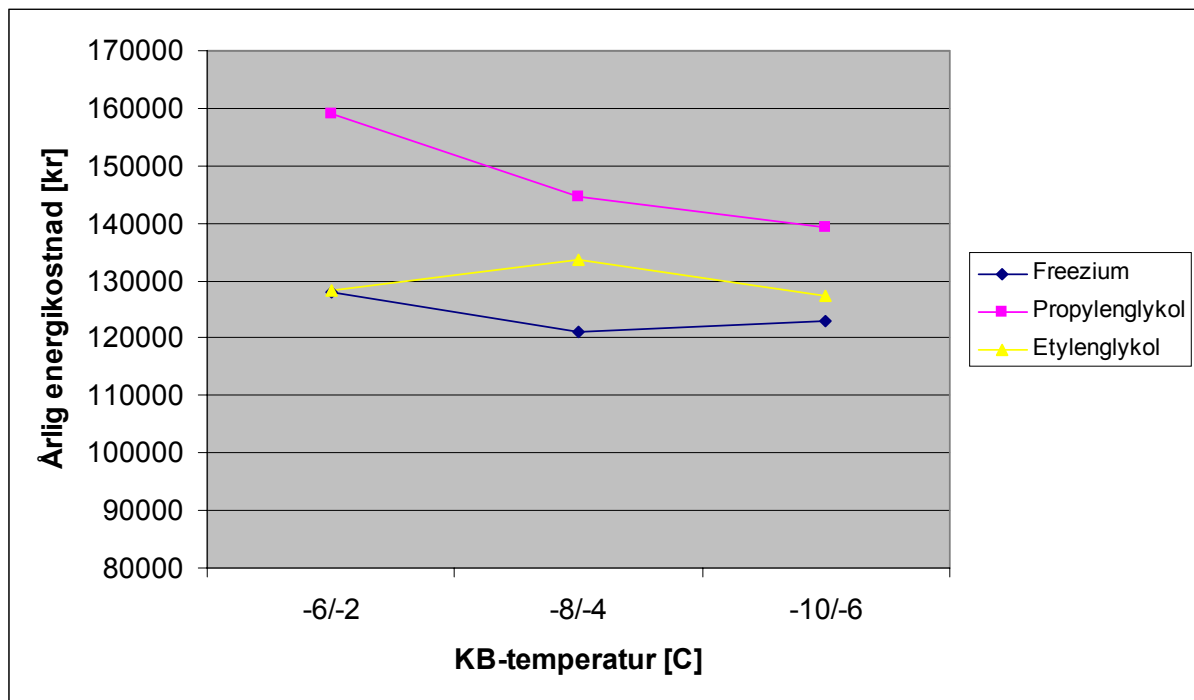


Figur 7-10 Relativ investeringskostnad för köldbärarsystem med kyleffekt 430 kW som funktion av köldbärartemperaturen.

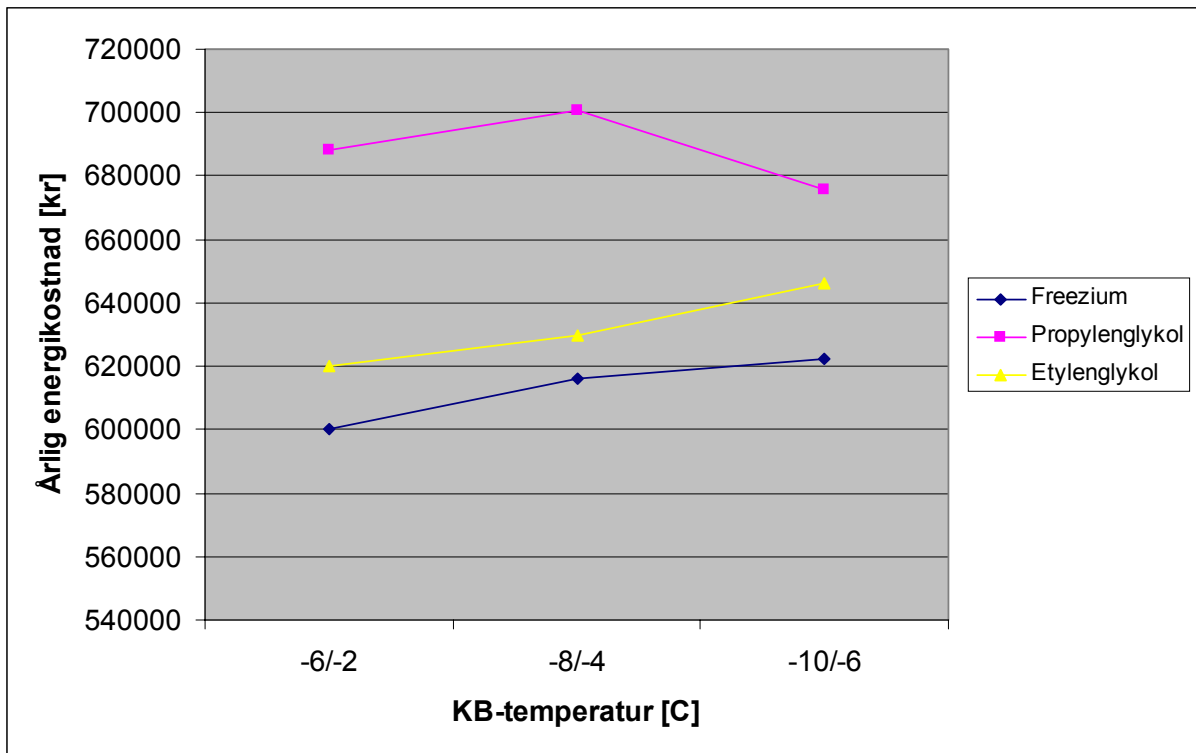
Det framgår här att investeringskostnaden är lägst för Freezium och högst för propylenglykol. Detta beror på den stora skillnaden i kostnader för värmeväxlarytorna.

7.4.2 Energikostnaden

Energikostnaden omfattar både kylanläggningens och köldbärarsystemets energibehov. Jämförelsen av de olika köldbärarna kan studeras i Figur 7-11 och Figur 7-12 och det kan konstateras att energikostnaden för etylenglykol och Freezium är ganska oberoende av köldbärartemperaturen. Propylenglykol har dock tendensen att orsaka större energikostnader vid högre köldbärartemperaturer vilket beror på att fläktluftkylarna i detta fall blir väldigt stora med många fläktar och stor avfrostningseffekt som följd.

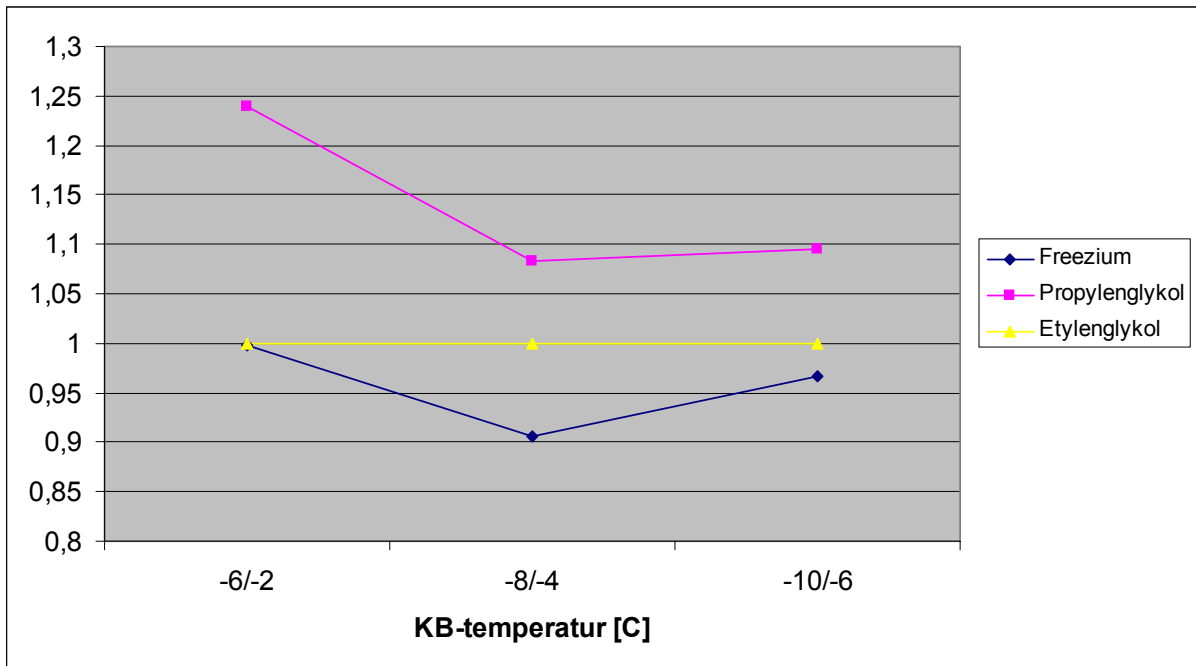


Figur 7-11 Årlig energikostnad för köldbärarsystem med kyleffekt 83 kW som funktion av köldbärartemperaturen. Lufttemperatur +2 °C och elpris 50 öre/kWh.

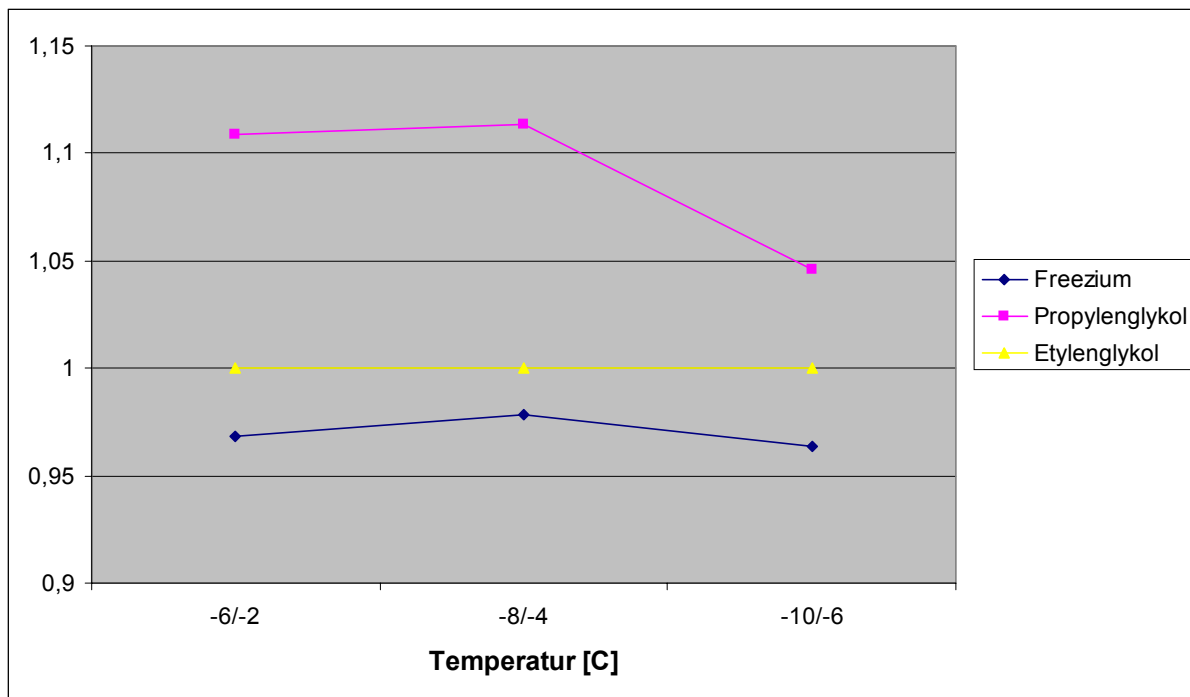


Figur 7-12 Årlig energikostnad för köldbärarsystem med kyleffekt 430 kW som funktion av köldbärartemperaturen. Elpris 50 öre/kWh.

Den relativa energikostnaden kan studeras i Figur 7-13 och Figur 7-14. För det mindre systemet ligger Freezium ca 5 % under etylenglykol. Propylenglykol är för alla fallen betydligt dyrare i drift.



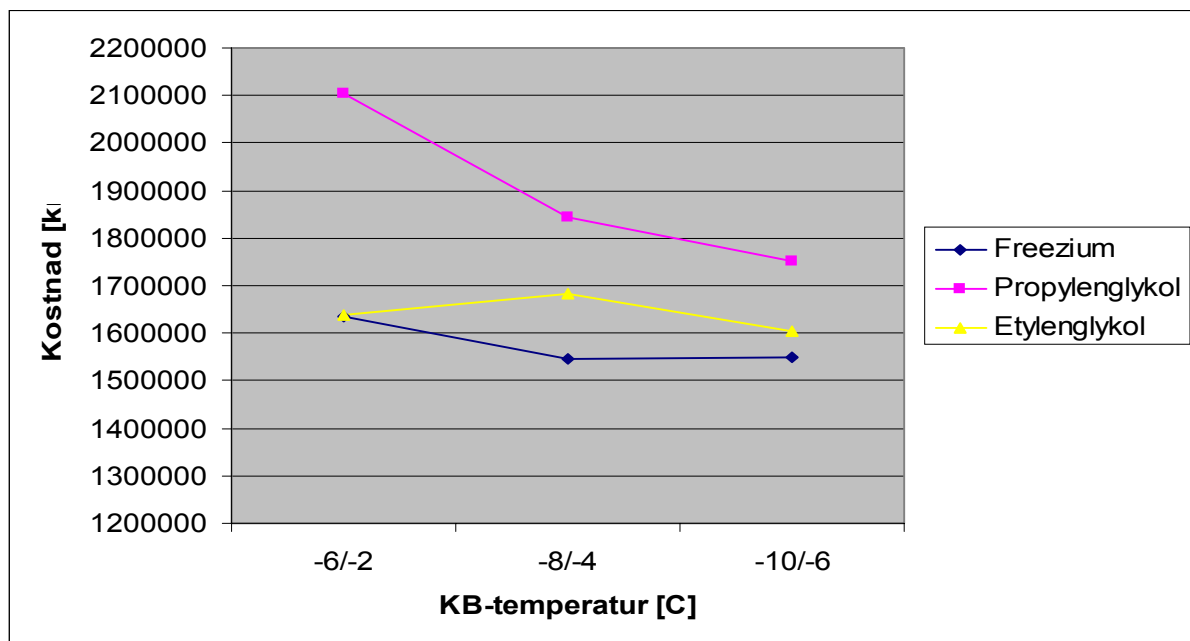
Figur 7-13 Relativ årlig energikostnad för köldbärarsystem med kyleffekt 83 kW som funktion av köldbärartemperaturen. Elpris 50 öre/kWh.



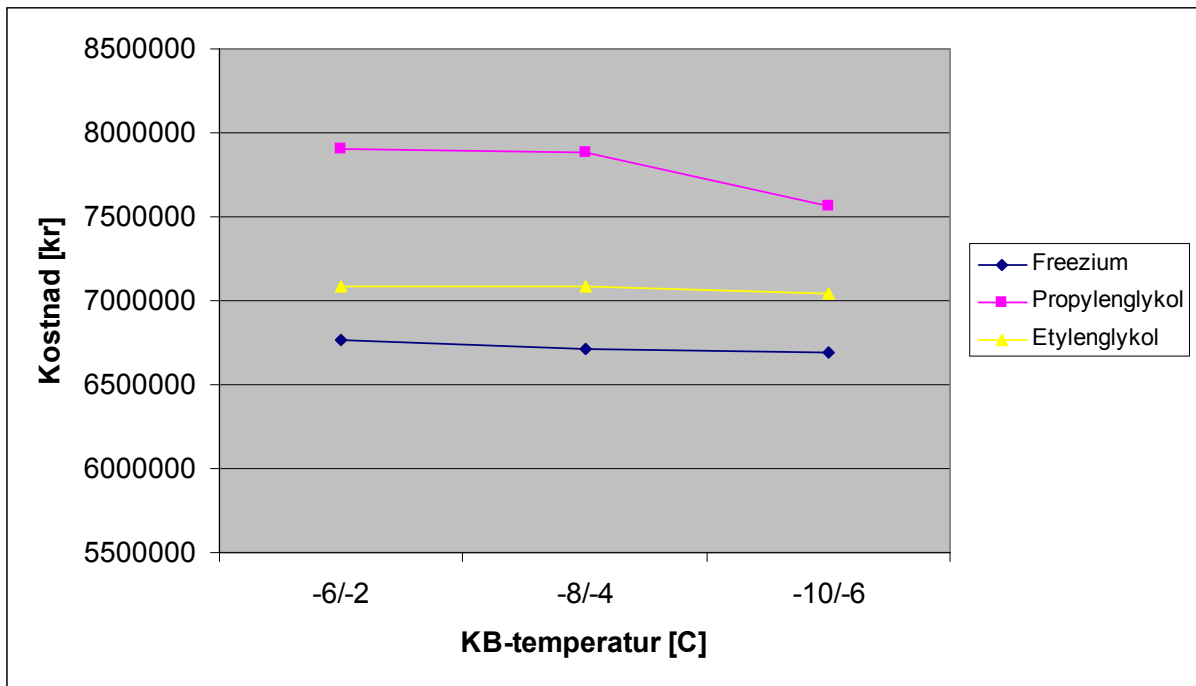
Figur 7-14 Relativ årlig energikostnad för köldbärarsystem med kyleffekt 430 kW som funktion av köldbärartemperaturen. Elpris 50 öre/kWh.

7.4.3 Total kostnad

Den totala kostnaden är en nuvärdeskalkyl som innefattar såväl investeringskostnad som total energikostnad under anläggningens livstid. Livstiden har satts till 15 år och kalkylräntan till 8 %. Resultatet kan studeras i Figur 7-15 och Figur 7-16. Det framgår här att den totala kostnaden ökar vid minskad temperaturdifferens mellan köldbärare och luft och att Freezium ger den lägsta totala kostnaden i alla driftsfall.

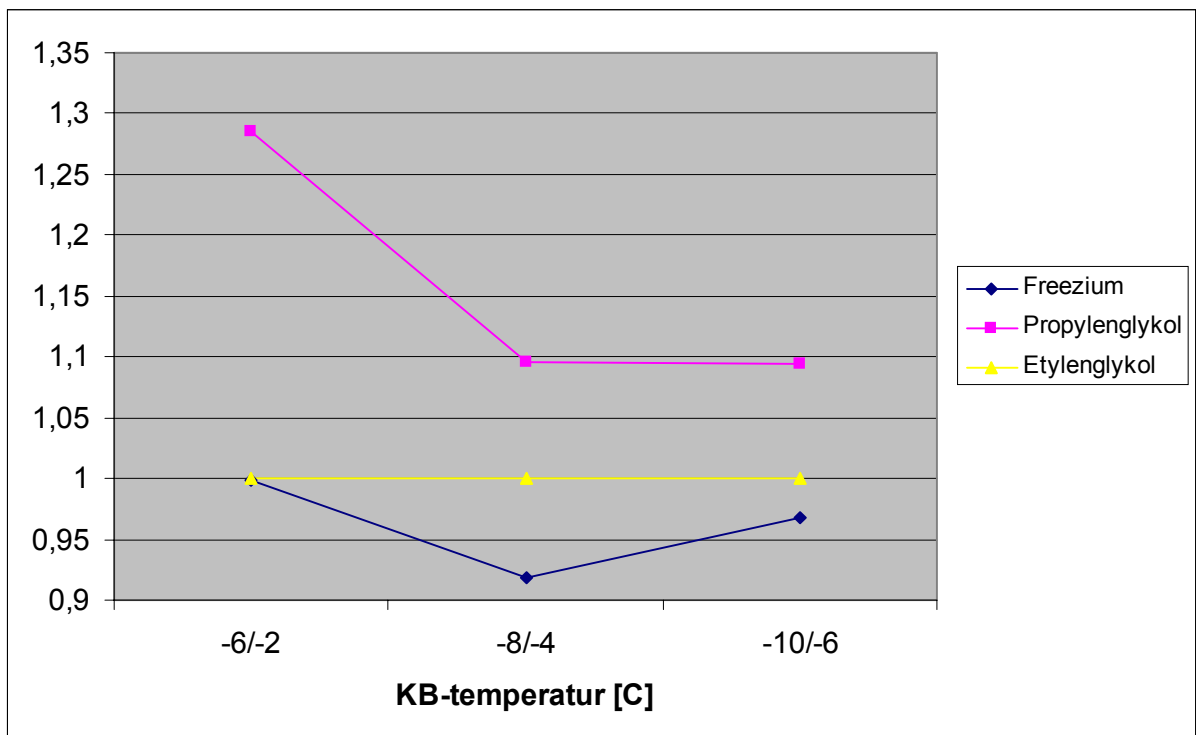


Figur 7-15 Total kostnad för köldbäraranläggning med kyleffekt 83 kW. Elpris 50 öre/kWh.

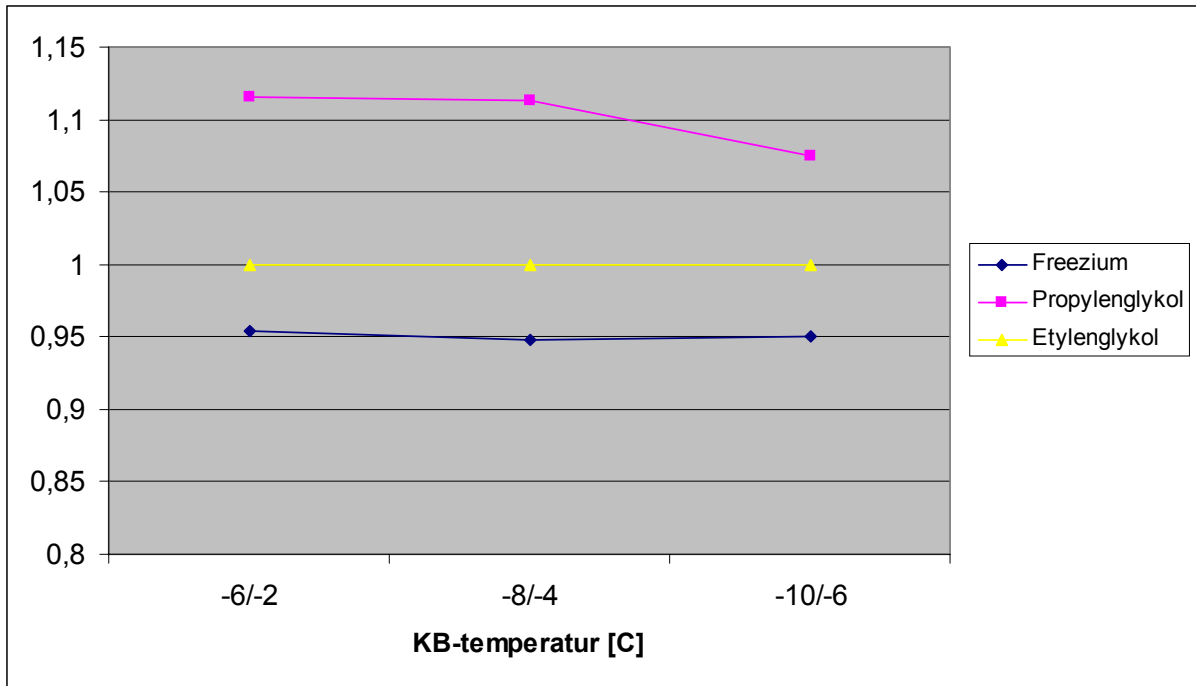


Figur 7-16 Total kostnad för köldbäraranläggning med kyleffekt 430 kW. Elpris 50 öre/kWh.

Den relativa totala kostnaden kan studeras i Figur 7-17 och Figur 7-18. Freezium ger alltså för samtliga fall lägre total kostnad än etylenglykol och betydligt lägre än propylenglykol



Figur 7-17 Relativ total kostnad för köldbärarsystem med kyleffekt 83 kW. Elpris 50 öre/kWh.



Figur 7-18 Relativ total kostnad för köldbärarsystem med kyleffekt 430 kW. Elpris 50 öre/kWh.

8 Slutsats

Resultaten av beräkningarna visar att Freezium överlag ger lägre total kostnad för kylanläggningen än de jämförda köldbärarna etylenglykol och propylenglykol. Den största anledningen till detta är att Freezium har bättre värmeöverföringsegenskaper vilket därmed ger lägre kostnader för de värmeöverförande ytorna. Visserligen innebär valet av Freezium att betydligt dyrare armaturer måste väljas men detta kompenseras snabbt av den besparing som görs på främst fläktluftkylarna. Det framgår av Bilaga 1 och Bilaga 2 att den dominerande utgiftsposten är just värmeöverföringsytorna vilket gör att besparingar inom detta område ger stort utslag på den totala investeringskostnaden.

Innan beräkningarna utfördes förmodades det att en högre köldbärartemperatur skulle ge lägre energikostnader då kylanläggningens kompressorarbete minskar till följd av höjd förångningstemperatur. Denna minskning kompenseras dock av att storleken på fläktluftkylare ökar vilket ger ökad energiförbrukning av fläktar och avfrostningsutrustning. Resultatet blir då att den totala energiförbrukningen i stort sett blir oförändrad vid ändrad driftstemperatur

Innan beräkningarna utfördes förmodades det även att Freezium med sin låga viskositet skulle ge lägre tryckfall i rören och därmed minskat pumparbete. Skillnaden var dock i de beräkningar som gjorts ytterst marginell, delvis för att pumparbetet endast utgör en liten del av den totala energikostnaden. Vid jämförelsen i den befintliga anläggningen på Kemira Kemi i Helsingborg visade det sig också att även om rörledningarna är väldigt långa är betydelsen av lågt pumpmotstånd litet. Även om propylenglykol gav avsevärt högre tryckfall i jämförelsen med Freezium och etylenglykol visade det sig att dess låga densitet kompenserade detta och därför gav nästan samma pumpenergi.

Många aktörer i branschen anser att de nya kaliumformiat- och kaliumacetatbaserade köldbärarna inte bör användas då de ger stora problem i form av korrosion och läckage. Anledningen till att dessa problem uppstått beror i de flesta fall på att det vid konstruktionen av anläggningen inte tagits hänsyn till köldbärarens egenskaper. Exempelvis bör ett system innehållande t.ex. Freezium vara byggt helt i rostfritt stål och i så stor utsträckning som möjligt vara helsvetsad i alla skarvar. Hänsyn till köldbärare och driftstemperatur bör tagas vid val av tätningar i t.ex. flänsskarvar. De kaliumformiat- och kaliumacetatbaserade köldbärarna går inte heller att klumpa ihop och behandla som en och samma produkt. Visserligen har de liknande termofysikaliska egenskaper, men vad gäller korrosionsinhibitorer skiljer de sig mycket åt. Varje varumärke har sina egna speciella korrosionsegenskaper och material- och komponentval bör därför anpassas därefter. Återförsäljaren av köldbäraren har därför ett stort ansvar att förmedla de egenskaper köldbäraren har och de krav den ställer på systemets utformning.

Sammanfattningsvis kan det från resultatet av detta arbete påstås att det är ekonomiskt lönsamt att välja köldbärare som Freezium såvida stor hänsyn tas vid konstruktionen av köldbärarsystemet. Den extra kostnad som köldbärarvalet innebär inom armaturer kompenseras mer än väl av besparingen i värmväxlar- och luftkylarutrustning.

9 Referenser

- [1] Eric Granryd *Refrigerating Engineering*. Kungliga Tekniska Högskolan 1999
- [2] Pontus Holmström, Stainless Engineering AB
- [3] Åke Melinder *Thermophysical Properties of liquid secondary refrigerants*. Engineering Licentiate Thesis, Kungliga Tekniska Högskolan 1998
- [4] Bengt Moberg, Mobergs Kyl & Frys AB
- [5] Bengt Sundén *Kompendium i värmeöverföring*. Lunds Tekniska Högskola 2001
- [6] White, Frank.M *Fluid Mechanics*. Fourth edition
- [7] Erik Ullman et al *Karlebo Materiallära*. Utgåva 13, Liber 1997
- [8] Zumdahl *Chemistry* Houghton Mifflin fourth edition
- [9] Yunus A. Çengel, Michael A. Boles *Thermodynamics- An engineering approach*. McGraw Hill third edition
- [10] <http://medlem.spray.se/svalbardifast/drinkar/alkohol.html> 2002-09-05
- [11] Danmarks Tekniska Universitet, www.dtu.dk
- [12] Hans Fredriksson, Värmesvets Entreprenad AB, www.varmesvets.se
- [13] Armaturjonsson AB, www.armaturjonsson.se
- [14] Håkan Arkborn, John Crane AB, www.johncrane.com
- [15] Jarri Kukkonen, Kemira Chemicals OY, www.kemira.com
- [16] www.kemirakemi.com
- [17] Peter Nilsson, Kemira Kemi AB
- [18] Hans Carlsson, KSB Mörck, www.ksb.se
- [19] *Köldbärarsystem, Handbok installation, idrifttagning och val av komponenter*. Armaturjonsson Utgåva 1, april 2001
- [20] www.akakyla.se
- [21] AKA Kyla Sotriment och prislista 2001/2002

10 Bilagor

Bilaga 1 – Komponentlista för köldbärarsystem DN 80, P=83 kW

Komponentlista DN 80

Övrigt 100000

T köldbärare=-6/-2

Köldbärartyp: Freezium

Rostfria rör DN 80

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG-4-5-1400	4	33800	135200
2	Köldbärartank	AJ 8524 600 liter	1	18170	18170
3	Kylväxlare	V200x70H	1	37520	37520
4	Smutsfilter	AJ 4058 DN 80	1	10700	10700
5	Luftavskiljare	AJ 8071 DN 80	1	14200	14200
6	Vakuumavlufare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8323A50	1	890	890
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 80	6	1890	11340
		AJ 2310S-1012 DN 50	8	1780	14240
9	Köldbärarpump	LP 65-125/117	1	7160	7160
10	Kulventil	AJ 3577 DN 10	5	530	2650
11	Kulventil	AJ 3578 DN 10	2	680	1360
		AJ 3578 DN 25	9	770	6930
12	Säkerhetsventil	AJ 4692D4	1	3200	3200
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1894 DN 10	3	670	2010
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	200	431	86200
	Böjar	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	25	496	12400
	T-stycken	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	10	922	9220
	Koner	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	10	661	6610
	Flänsar	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	10	998	9980
	Skarvar	DN 80	10	430	4300
	Köldbärare	Freezium 24%	1000	15	15000
	Övrigt		1	100000	100000
				Summa:	539749

Köldbärartyp: Propylenglykol

Stålrör (TT-stål) DN 80

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG-7-5-1400	4	82900	331600
2	Köldbärartank	AJ 8525 600 liter	1	15120	15120
3	Kylväxlare	V200x94H	1	48196	48196
4	Smutsfilter	AJ 4048 DN 80	1	1740	1740
5	Luftavskiljare	AJ 8070 DN 80	1	7400	7400
6	Vakuumavlufare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8323A50	1	890	890
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 80	6	1890	11340
		AJ 2310S-1012 DN 50	8	1780	14240
9	Köldbärarpump	LP 65-125/117	1	7160	7160
10	Kulventil	AJ 3669 DN 10	5	205	1025
11	Kulventil	AJ 3653	2	215	430
	Kulventil	AJ 3653	9	270	2430
12	Säkerhetsventil	AJ 8310-4,0-20	1	283	283
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1844 DN 10	3	211	633
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	TT-stål TT 35N DN80	200	544	108800
	Böjar	TT-stål TT 35N DN80	25	490	12250
	T-stycken	TT-stål TT 35N DN80	10	3166	31660
	Koner	TT-stål TT 35N DN80	10	533	5330

Flänsar	TT-stål TT 35N DN80	10	295	2950
Skarvar	DN 80	10	430	4300
Köldbärare	Propylenglykol 33%	1000	5	5000
Övrigt		1	100000	100000
			Summa:	743246

Köldbärartyp: Etylenglykol Stålrör (TT-stål) DN 80

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG-4-5-1400	4	33800	135200
2	Köldbärartank	AJ 8525 600 liter	1	15120	15120
3	Kylväxlare	V200x76H	1	40188	40188
4	Smutsfilter	AJ 4048 DN 80	1	1740	1740
5	Luftavskiljare	AJ 8070 DN 80	1	7400	7400
6	Vakuumavlufare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8323A50	1	890	890
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 80	6	1890	11340
		AJ 2310S-1012 DN 50	8	1780	14240
9	Köldbärarpump	LP 65-125/117	1	7160	7160
10	Kulventil	AJ 3669 DN 10	5	205	1025
11	Kulventil	AJ 3653	2	215	430
	Kulventil	AJ 3653	9	270	2430
12	Säkerhetsventil	AJ 8310-4,0-20	1	283	283
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1844 DN 10	3	211	633
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	TT-stål TT 35N DN80	200	544	108800
	Böjar	TT-stål TT 35N DN80	25	490	12250
	T-stycken	TT-stål TT 35N DN80	10	3166	31660
	Koner	TT-stål TT 35N DN80	10	533	5330
	Flänsar	TT-stål TT 35N DN80	10	295	2950
	Skarvar	DN 80	10	430	4300
	Köldbärare	Etylenglykol 33%	1000	5	5000
	Övrigt		1	100000	100000
				Summa:	538838

T köldbärare=-8/-4

Köldbärartyp: Freezium Rostfria rör DN 80

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG-3-5-1400	4	26400	105600
2	Köldbärartank	AJ 8524 600 liter	1	18170	18170
3	Kylväxlare	V200x70H	1	37520	37520
4	Smutsfilter	AJ 4058 DN 80	1	10700	10700
5	Luftavskiljare	AJ 8071 DN 80	1	14200	14200
6	Vakuumavlufare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8323A50	1	890	890
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 80	6	1890	11340
		AJ 2310S-1012 DN 50	8	1780	14240
9	Köldbärarpump	LP 65-125/117	1	7160	7160
10	Kulventil	AJ 3577 DN 10	5	530	2650
11	Kulventil	AJ 3578 DN 10	2	680	1360
		AJ 3578 DN 25	9	770	6930
12	Säkerhetsventil	AJ 4692D4	1	3200	3200
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1894 DN 10	3	670	2010
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	200	431	86200
	Böjar	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	25	496	12400
	T-stycken	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	10	922	9220
	Koner	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	10	661	6610
	Flänsar	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	10	998	9980
	Skarvar	DN 80	10	430	4300
	Köldbärare	Freezium 24%	1000	15	15000
	Övrigt		1	100000	100000
				Summa:	510149

Köldbärartyp: Propylenglykol Stålrör (TT-stål) DN 80

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG-5-5-1400	4	45800	183200
2	Köldbärartank	AJ 8525 600 liter	1	15120	15120
3	Kylväxlare	V200x116H	1	57980	57980
4	Smutsfilter	AJ 4048 DN 80	1	1740	1740
5	Luftavskiljare	AJ 8070 DN 80	1	7400	7400
6	Vakuumavluftare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8323A50	1	890	890
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 80	6	1890	11340
		AJ 2310S-1012 DN 50	8	1780	14240
9	Köldbärarpump	LP 65-125/117	1	7160	7160
10	Kulventil	AJ 3669 DN 10	5	205	1025
11	Kulventil	AJ 3653	2	215	430
	Kulventil	AJ 3653	9	270	2430
12	Säkerhetsventil	AJ 8310-4,0-20	1	283	283
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1844 DN 10	3	211	633
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	TT-stål TT 35N DN80	200	544	108800
	Böjar	TT-stål TT 35N DN80	25	490	12250
	T-stycken	TT-stål TT 35N DN80	10	3166	31660
	Koner	TT-stål TT 35N DN80	10	533	5330
	Flänsar	TT-stål TT 35N DN80	10	295	2950
	Skarvar	DN 80	10	430	4300
	Köldbärare	Propylenglykol 33%	1000	5	5000
	Övrigt		1	100000	100000
				Summa:	604630

Köldbärartyp: Etylenglykol Stålrör (TT-stål) DN 80

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG-4-5-1400	4	33800	135200
2	Köldbärartank	AJ 8525 600 liter	1	15120	15120
3	Kylväxlare	V200x76H	1	40188	40188
4	Smutsfilter	AJ 4048 DN 80	1	1740	1740
5	Luftavskiljare	AJ 8070 DN 80	1	7400	7400
6	Vakuumavluftare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8323A50	1	890	890
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 80	6	1890	11340
		AJ 2310S-1012 DN 50	8	1780	14240
9	Köldbärarpump	LP 65-125/117	1	7160	7160
10	Kulventil	AJ 3669 DN 10	5	205	1025
11	Kulventil	AJ 3653	2	215	430
	Kulventil	AJ 3653	9	270	2430
12	Säkerhetsventil	AJ 8310-4,0-20	1	283	283
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1844 DN 10	3	211	633
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	TT-stål TT 35N DN80	200	544	108800
	Böjar	TT-stål TT 35N DN80	25	490	12250
	T-stycken	TT-stål TT 35N DN80	10	3166	31660
	Koner	TT-stål TT 35N DN80	10	533	5330
	Flänsar	TT-stål TT 35N DN80	10	295	2950
	Skarvar	DN 80	10	430	4300
	Köldbärare	Etylenglykol 33%	1000	5	5000
	Övrigt		1	100000	100000
				Summa:	538838

T köldbärare=-10/-6**Köldbärartyp: Freezium Rostfria rör DN 80**

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG-2-5-1400	4	23100	92400
2	Köldbärartank	AJ 8524 600 liter	1	18170	18170
3	Kylväxlare	V200x70H	1	37520	37520

4	Smutsfilter	AJ 4058 DN 80	1	10700	10700
5	Luftavskiljare	AJ 8071 DN 80	1	14200	14200
6	Vakuumavluftare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8323A50	1	890	890
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 80	6	1890	11340
		AJ 2310S-1012 DN 50	8	1780	14240
9	Köldbärarpump	LP 65-125/117	1	7160	7160
10	Kulventil	AJ 3577 DN 10	5	530	2650
11	Kulventil	AJ 3578 DN 10	2	680	1360
		AJ 3578 DN 25	9	770	6930
12	Säkerhetsventil	AJ 4692D4	1	3200	3200
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1894 DN 10	3	670	2010
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	200	431	86200
	Böjar	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	25	496	12400
	T-stycken	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	10	922	9220
	Koner	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	10	661	6610
	Flänsar	Rostfritt stål SS 2333 DN 80	10	998	9980
	Skarvar	DN 80	10	430	4300
	Köldbärare	Freezium 24%	1000	15	15000
	Övrigt		1	100000	100000
				Summa:	496949

Köldbärartyp: Propylenglykol Stålrör (TT-stål) DN 80

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG-4-5-1400	4	33800	135200
2	Köldbärartank	AJ 8525 600 liter	1	15120	15120
3	Kylväxlare	V200x122H	1	60648	60648
4	Smutsfilter	AJ 4048 DN 80	1	1740	1740
5	Luftavskiljare	AJ 8070 DN 80	1	7400	7400
6	Vakuumavluftare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8323A50	1	890	890
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 80	6	1890	11340
		AJ 2310S-1012 DN 50	8	1780	14240
9	Köldbärarpump	LP 65-125/117	1	7160	7160
10	Kulventil	AJ 3669 DN 10	5	205	1025
11	Kulventil	AJ 3653	2	215	430
	Kulventil	AJ 3653	9	270	2430
12	Säkerhetsventil	AJ 8310-4,0-20	1	283	283
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1844 DN 10	3	211	633
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	TT-stål TT 35N DN80	200	544	108800
	Böjar	TT-stål TT 35N DN80	25	490	12250
	T-stycken	TT-stål TT 35N DN80	10	3166	31660
	Koner	TT-stål TT 35N DN80	10	533	5330
	Flänsar	TT-stål TT 35N DN80	10	295	2950
	Skarvar	DN 80	10	430	4300
	Köldbärare	Propylenglykol 33%	1000	5	5000
	Övrigt		1	100000	100000
				Summa:	559298

Köldbärartyp: Etylenglykol Stålrör (TT-stål) DN 80

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG-3-5-1400	4	26400	105600
2	Köldbärartank	AJ 8525 600 liter	1	15120	15120
3	Kylväxlare	V200x76H	1	40188	40188
4	Smutsfilter	AJ 4048 DN 80	1	1740	1740
5	Luftavskiljare	AJ 8070 DN 80	1	7400	7400
6	Vakuumavluftare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8323A50	1	890	890
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 80	6	1890	11340
		AJ 2310S-1012 DN 50	8	1780	14240
9	Köldbärarpump	LP 65-125/117	1	7160	7160
10	Kulventil	AJ 3669 DN 10	5	205	1025

11	Kulventil	AJ 3653	2	215	430
	Kulventil	AJ 3653	9	270	2430
12	Säkerhetsventil	AJ 8310-4,0-20	1	283	283
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1844 DN 10	3	211	633
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	TT-stål TT 35N DN80	200	544	108800
	Böjar	TT-stål TT 35N DN80	25	490	12250
	T-stycken	TT-stål TT 35N DN80	10	3166	31660
	Koner	TT-stål TT 35N DN80	10	533	5330
	Flänsar	TT-stål TT 35N DN80	10	295	2950
	Skarvar	DN 80	20	430	8600
	Köldbärare	Etylenglykol 33%	1000	5	5000
	Övrigt		1	100000	100000
				Summa:	513538

Bilaga 2 - Komponentlista för köldbärarsystem DN 150, P=430 kW

Komponentlista DN 150

Övrigt 300000

T köldbärare=-6/-2

Köldbärartyp: Freezium

Rostfria rör DN 150

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG 7-5-1400	7	82900	580300
2	Köldbärartank	AJ 8524 1000 liter	1	25830	25830
3	Kylväxlare	V57x202H	2	90598	181196
4	Smutsfilter	AJ 4058 DN 150	1	14300	14300
5	Luftavskiljare	AJ 8071 DN 150	1	30900	30900
6	Vakuumavlufare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8321A400	1	7400	7400
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 150	6	3390	20340
		AJ 2310S-1012 DN 80	14	1890	26460
9	Köldbärarpump	LPD 125-125/134	1	25640	25640
10	Kulventil	AJ 3577 DN 10	5	530	2650
11	Kulventil	AJ 3578 DN 10	2	680	1360
		AJ 3578 DN 25	12	770	9240
12	Säkerhetsventil	AJ 4692D4	1	3200	3200
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1894 DN 10	3	670	2010
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	200	734	146800
	Böjar	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	25	1000	25000
	T-stycken	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	10	2301	23010
	Koner	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	15	1083	16245
	Flänsar	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	15	1839	27585
	Skarvar	DN 150	30	585	17550
	Köldbärare	Freezium 24%	7000	15	105000
	Övrigt		1	300000	300000
				Summa:	1622485

Köldbärartyp: Propylenglykol

Stålrör (TT-stål) DN 150

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG 11-5	7	129500	906500
2	Köldbärartank	AJ 8525 1000 liter	1	24050	24050
3	Kylväxlare	V57x226H	2	99900	199800
4	Smutsfilter	AJ 4048 DN 150	1	5600	5600
5	Luftavskiljare	AJ 8070 DN 150	1	16000	16000
6	Vakuumavlufare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8321A400	1	7400	7400
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 150	6	3390	20340

	AJ 2310S-1012 DN 80	14	1890	26460
9	Köldbärarpump LPD 125-125/134	1	25640	25640
10	Kulventil AJ 3669 DN 10	5	205	1025
11	Kulventil AJ 3653 DN 10	2	215	430
	Kulventil AJ 3653 DN 25	12	270	3240
12	Säkerhetsventil AJ 8310-4,0-20	1	283	283
13	Tryckmätare AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil AJ 1844 DN 10	3	211	633
15	Luftavledare AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent AJ 8060	2	870	1740
	Rör TT-stål TT 35N DN 150	200	1327	265400
	Böjar TT-stål TT 35N DN 150	25	1514	37850
	T-stycken TT-stål TT 35N DN 150	10	7562	75620
	Koner TT-stål TT 35N DN 150	15	813	12195
	Flänsar TT-stål TT 35N DN 150	15	540	8100
	Skarvar DN 150	30	585	17550
	Köldbärare Propylenglykol 33%	7000	5	35000
	Övrigt	1	300000	300000
	Summa:			2019585

Köldbärartyp: Etylenglykol Stålrör (TT-stål) DN 150

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG 8-5-1400	7	95500	668500
2	Köldbärartank	AJ 8525 1000 liter	1	24050	24050
3	Kylväxlare	V57x224H	2	99126	198252
4	Smutsfilter	AJ 4048 DN 150	1	5600	5600
5	Luftavskiljare	AJ 8070 DN 150	1	16000	16000
6	Vakuumavluftare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8321A400	1	7400	7400
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 150	6	3390	20340
	AJ 2310S-1012 DN 80	14	1890	26460	
9	Köldbärarpump	LPD 125-125/134	1	25640	25640
10	Kulventil	AJ 3669 DN 10	5	205	1025
11	Kulventil	AJ 3653 DN 10	2	215	430
	Kulventil	AJ 3653 DN 25	12	270	3240
12	Säkerhetsventil	AJ 8310-4,0-20	1	283	283
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1844 DN 10	3	211	633
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör TT-stål TT 35N DN 150	200	1327	265400	
	Böjar TT-stål TT 35N DN 150	25	1514	37850	
	T-stycken TT-stål TT 35N DN 150	10	7562	75620	
	Koner TT-stål TT 35N DN 150	15	813	12195	
	Flänsar TT-stål TT 35N DN 150	15	540	8100	
	Skarvar DN 150	30	585	17550	
	Köldbärare Etylenglykol 33 %	7000	5	35000	
	Övrigt	1	300000	300000	
	Summa:			1780037	

T köldbärare=-8/-4

Köldbärartyp: Freezium Rostfria rör DN 150

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG 6-5-1400	7	57100	399700
2	Köldbärartank	AJ 8524 1000 liter	1	25830	25830
3	Kylväxlare	V57x206H	2	92148	184296
4	Smutsfilter	AJ 4058 DN 150	1	14300	14300
5	Luftavskiljare	AJ 8071 DN 150	1	30900	30900
6	Vakuumavluftare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8321A400	1	7400	7400
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 150	6	3390	20340
	AJ 2310S-1012 DN 80	14	1890	26460	
9	Köldbärarpump	LPD 125-125/134	1	25640	25640
10	Kulventil	AJ 3577 DN 10	5	530	2650
11	Kulventil	AJ 3578 DN 10	2	680	1360
	AJ 3578 DN 25	12	770	9240	
12	Säkerhetsventil	AJ 4692D4	1	3200	3200

13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1894 DN 10	3	670	2010
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	200	734	146800
	Böjar	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	25	1000	25000
	T-stycken	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	10	2301	23010
	Koner	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	15	1083	16245
	Flänsar	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	15	1839	27585
	Skarvar	DN 150	30	585	17550
	Köldbärare	Freezium 24%	7000	15	105000
	Övrigt		1	300000	300000
				Summa:	1444985

Köldbärartyp: Propylenglykol Stålrör (TT-stål) DN 150

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG-10-5-1400	7	109500	766500
2	Köldbärartank	AJ 8525 1000 liter	1	24050	24050
3	Kylväxlare	V57x230H	2	101450	202900
4	Smutsfilter	AJ 4048 DN 150	1	5600	5600
5	Luftavskiljare	AJ 8070 DN 150	1	16000	16000
6	Vakuumavluftare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8321A400	1	7400	7400
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 150	6	3390	20340
		AJ 2310S-1012 DN 80	14	1890	26460
9	Köldbärarpump	LPD 125-125/134	1	25640	25640
10	Kulventil	AJ 3669 DN 10	5	205	1025
11	Kulventil	AJ 3653 DN 10	2	215	430
	Kulventil	AJ 3653 DN 25	12	270	3240
12	Säkerhetsventil	AJ 8310-4,0-20	1	283	283
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1844 DN 10	3	211	633
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	TT-stål TT 35N DN 150	200	1327	265400
	Böjar	TT-stål TT 35N DN 150	25	1514	37850
	T-stycken	TT-stål TT 35N DN 150	10	7562	75620
	Koner	TT-stål TT 35N DN 150	15	813	12195
	Flänsar	TT-stål TT 35N DN 150	15	540	8100
	Skarvar	DN 150	30	585	17550
	Köldbärare	Propylenglykol 33%	7000	5	35000
	Övrigt		1	300000	300000
				Summa:	1882685

Köldbärartyp: Etylenglykol Stålrör (TT-stål) DN 150

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG-7-5-1400	7	82900	580300
2	Köldbärartank	AJ 8525 1000 liter	1	24050	24050
3	Kylväxlare	V57x228H	2	100676	201352
4	Smutsfilter	AJ 4048 DN 150	1	5600	5600
5	Luftavskiljare	AJ 8070 DN 150	1	16000	16000
6	Vakuumavluftare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8321A400	1	7400	7400
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 150	6	3390	20340
		AJ 2310S-1012 DN 80	14	1890	26460
9	Köldbärarpump	LPD 125-125/134	1	25640	25640
10	Kulventil	AJ 3669 DN 10	5	205	1025
11	Kulventil	AJ 3653 DN 10	2	215	430
	Kulventil	AJ 3653 DN 25	12	270	3240
12	Säkerhetsventil	AJ 8310-4,0-20	1	283	283
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1844 DN 10	3	211	633
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	TT-stål TT 35N DN 150	200	1327	265400
	Böjar	TT-stål TT 35N DN 150	25	1514	37850
	T-stycken	TT-stål TT 35N DN 150	10	7562	75620
	Koner	TT-stål TT 35N DN 150	15	813	12195

Flänsar	TT-stål TT 35N DN 150	15	540	8100
Skarvar	DN 150	30	585	17550
Köldbärare	Etylenglykol 33 %	7000	5	35000
Övrigt		1	300000	300000
			Summa:	1694937

T köldbärare=-10/-6

Köldbärartyp: Freezium

Rostfria rör DN 150

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG-5-5-1400	7	45800	320600
2	Köldbärartank	AJ 8524 1000 liter	1	25830	25830
3	Kylväxlare	V57x208H	2	92923	185846
4	Smutsfilter	AJ 4058 DN 150	1	14300	14300
5	Luftavskiljare	AJ 8071 DN 150	1	30900	30900
6	Vakuumavluftare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8321A400	1	7400	7400
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 150	6	3390	20340
		AJ 2310S-1012 DN 80	14	1890	26460
9	Köldbärarpump	LPD 125-125/134	1	25640	25640
10	Kulventil	AJ 3577 DN 10	5	530	2650
11	Kulventil	AJ 3578 DN 10	2	680	1360
		AJ 3578 DN 25	12	770	9240
12	Säkerhetsventil	AJ 4692D4	1	3200	3200
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1894 DN 10	3	670	2010
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	200	734	146800
	Böjar	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	25	1000	25000
	T-stycken	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	10	2301	23010
	Koner	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	15	1083	16245
	Flänsar	Rostfritt stål SS 2333 DN 150	15	1839	27585
	Skarvar	DN 150	30	585	17550
	Köldbärare	Freezium 24%	7000	15	105000
	Övrigt		1	300000	300000
				Summa:	1367435

Köldbärartyp: Propylenglykol Stålrör (TT-stål) DN 150

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG-8-5-1400	7	95500	668500
2	Köldbärartank	AJ 8525 1000 liter	1	24050	24050
3	Kylväxlare	V57x232H	2	102226	204452
4	Smutsfilter	AJ 4048 DN 150	1	5600	5600
5	Luftavskiljare	AJ 8070 DN 150	1	16000	16000
6	Vakuumavluftare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8321A400	1	7400	7400
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 150	6	3390	20340
		AJ 2310S-1012 DN 80	14	1890	26460
9	Köldbärarpump	LPD 125-125/134	1	25640	25640
10	Kulventil	AJ 3669 DN 10	5	205	1025
11	Kulventil	AJ 3653 DN 10	2	215	430
	Kulventil	AJ 3653 DN 25	12	270	3240
12	Säkerhetsventil	AJ 8310-4,0-20	1	283	283
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1844 DN 10	3	211	633
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	TT-stål TT 35N DN 150	200	1327	265400
	Böjar	TT-stål TT 35N DN 150	25	1514	37850
	T-stycken	TT-stål TT 35N DN 150	10	7562	75620
	Koner	TT-stål TT 35N DN 150	15	813	12195
	Flänsar	TT-stål TT 35N DN 150	15	540	8100
	Skarvar	DN 150	30	585	17550
	Köldbärare	Propylenglykol 33%	7000	5	35000
	Övrigt		1	300000	300000
				Summa:	1786237

Köldbärartyp: Etylenglykol Stålrör (TT-stål) DN 150

Position	Beskrivning	Betckning	Antal	Å-pris (brutto)	Pris
1	Kylbatteri	Fincoil PBG-6-5-1400	7	57100	399700
2	Köldbärartank	AJ 8525 1000 liter	1	24050	24050
3	Kylväxlare	V57x226H	2	99900	199800
4	Smutsfilter	AJ 4048 DN 150	1	5600	5600
5	Luftavskiljare	AJ 8070 DN 150	1	16000	16000
6	Vakuumavluftare	AJ 8080 VMB-B1	1	27900	27900
7	Expansionskärl	AJ8321A400	1	7400	7400
8	Vridspjällventil	AJ 2310S-1012 DN 150	6	3390	20340
		AJ 2310S-1012 DN 80	14	1890	26460
9	Köldbärarpump	LPD 125-125/134	1	25640	25640
10	Kulventil	AJ 3669 DN 10	5	205	1025
11	Kulventil	AJ 3653 DN 10	2	215	430
	Kulventil	AJ 3653 DN 25	12	270	3240
12	Säkerhetsventil	AJ 8310-4,0-20	1	283	283
13	Tryckmätare	AJ 8305 DN 10	3	236	708
14	Nålventil	AJ 1844 DN 10	3	211	633
15	Luftavledare	AJ 8050	1	121	121
16	Luftavledare Ajevent	AJ 8060	2	870	1740
	Rör	TT-stål TT 35N DN 150	200	1327	265400
	Böjar	TT-stål TT 35N DN 150	25	1514	37850
	T-stycken	TT-stål TT 35N DN 150	10	7562	75620
	Koner	TT-stål TT 35N DN 150	15	813	12195
	Flänsar	TT-stål TT 35N DN 150	15	540	8100
	Skarvar	DN 150	30	585	17550
	Köldbärare	Etylenglykol 33 %	7000	5	35000
	Övrigt		1	300000	300000
				Summa:	1512785

Bilaga 3 – Driftskostnadsberäkningar

Driftskostnader DN 80

Elpris [kr/kWh]	0,5
Avfrostningstid [h/dygn]	2
Kylanläggningens driftstid/dygn	20
Övrig energiförbrukning [kW]	2

	Freezium			Propylenglykol			Etylenglykol		
	-6/-2	-8/-4	-10/-6	-6/-2	-8/-4	-10/-6	-6/-2	-8/-4	-10/-6
Kylanläggning [kW]	22,9	24,3	25,9	22,9	24,3	25,9	22,9	24,3	25,9
Köldbärarpump [kW]	1,41	1,42	1,43	1,48	1,5	1,51	1,49	1,5	1,53
Fläktar [kW]	5,6	3,44	2,8	9,6	8,4	5,6	5,6	5,6	3,44
Avfrostning [kW]	23,2	13,44	10,08	63,2	22,88	23,2	23,2	23,2	13,44
Total förbrukning/dygn [kWh]	701,44	662,64	674,08	871,12	792,56	763,84	703,36	731,6	697,28
Energikostnad/år	128012,8	120931,8	123019,6	158979,4	144642,2	139400,8	128363,2	133517	127253,6
Relativ kostnad	0,997	0,906	0,967	1,239	1,083	1,095	1	1	1

Driftskostnader DN 150

Elpris [kr/kWh]	0,5
Avfrostningstid [h/dygn]	2
Kylanläggningens driftstid/dygn	20
Övrig energiförbrukning [kW]	10

	Freezium			Propylenglykol			Etylenglykol		
	-6/-2	-8/-4	-10/-6	-6/-2	-8/-4	-10/-6	-6/-2	-8/-4	-10/-6
Kylanläggning [kW]	117,6	125,2	133	117,6	125,2	133	117,6	125,2	133
Köldbärarpump [kW]	6,12	6,12	6,12	6,16	6,19	6,23	6,45	6,45	6,49
Fläktar [kW]	16,8	19,6	14,7	33,6	32,2	18,2	18,2	16,8	19,6
Avfrostning [kW]	110,6	46,34	40,04	165,2	140	145,6	145,6	110,6	46,3
Total energikonsumtion/dygn [kWh]	3129,68	3214,76	3250,36	3609,44	3680,96	3541,12	3238,4	3289,6	3379,56
Energikostnad/år	571166,6	586693,7	593190,7	658722,8	671775,2	646254,4	591008	600352	616769,7
Relativ energikostnad	0,966427866	0,977249514	0,961770171	1,1145751	1,118968872	1,04780504	1	1	1

Bilaga 4 – Nuvärdeskalkyl

Nuvärdesberäkning DN 80

Kalkylränta [%]	8
Livslängd [år]	15

Investeringskostnad anläggning

	-6/-2	-8/-4	-10/-6
Freezium	532629	503029	489829
Propylenglykol	736126	597510	552178
Etylenglykol	531718	531718	506418

Driftskostnad/år

	-6/-2	-8/-4	-10/-6
Freezium	128012,8	120931,8	123019,6
Propylenglykol	158979,4	144642,2	139400,8
Etylenglykol	128363,2	133517	127253,6

NSF 8,5594787

Total kostnad

	-6/-2	-8/-4	-10/-6
Freezium	1628351,8	1538142,2	1542812,6
Propylenglykol	2096906,8	1835571,8	1745376,2
Etylenglykol	1630440,1	1674553,9	1595642,5

Relativ investeringskostnadkostnad

	-6/-2	-8/-4	-10/-6
Freezium	1,0017133	0,9460447	0,9672425
Propylenglykol	1,3844293	1,1237348	1,0903601
Etylenglykol	1	1	1

Relativ kostnad

	-6/-2	-8/-4	-10/-6
Freezium	0,9987192	0,9185385	0,9668912
Propylenglykol	1,2860987	1,0961557	1,0938391
Etylenglykol	1	1	1

Nuvärdesberäkning DN 150

Kalkylränta [%]	8
Livslängd [år]	15

Investeringskostnad anläggning

	-6/-2	-8/-4	-10/-6
Freezium	1622485	1444985	1367435
Propylenglykol	2019585	1882685	1786237
Etylenglykol	1780037	1694937	1512785

Driftskostnad/år

	-6/-2	-8/-4	-10/-6
Freezium	600366,6	615893,7	622390,7
Propylenglykol	687922,8	700975,2	675454,4
Etylenglykol	620208	629552	645969,7

NSF 8,5594787

Total kostnad

	-6/-2	-8/-4	-10/-6
Freezium	6761310,1	6716714	6694774,9
Propylenglykol	7907845,5	7882667,3	7567774,5
Etylenglykol	7088694,2	7083573,9	7041948,9

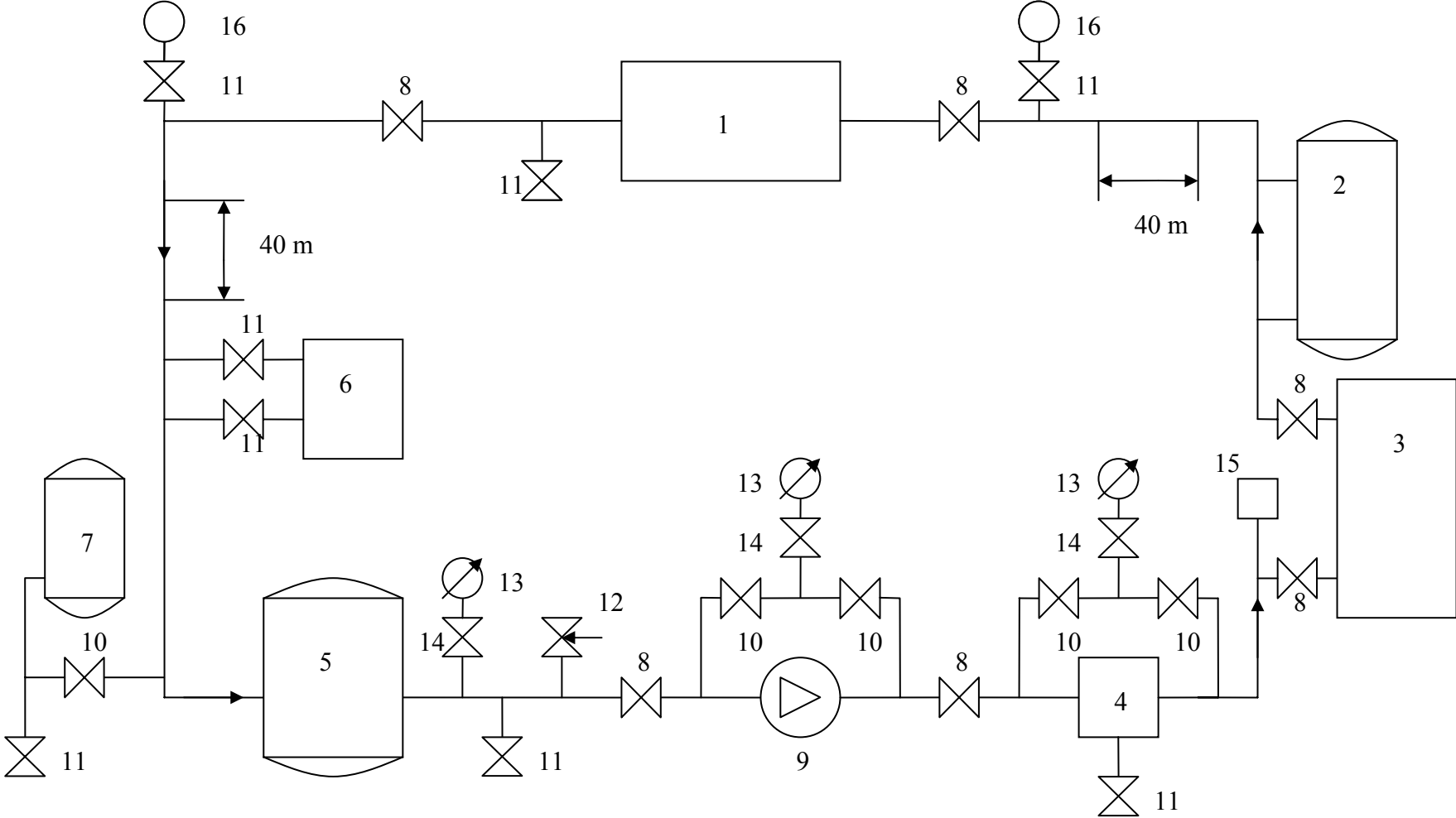
Relativ investeringskostnad

	-6/-2	-8/-4	-10/-6
Freezium	0,9114895	0,8525302	0,9039189
Propylenglykol	1,1345747	1,1107699	1,1807607
Etylenglykol	1	1	1

Relativ total kostnad

	-6/-2	-8/-4	-10/-6
Freezium	0,953816	0,9482098	0,9506992
Propylenglykol	1,1155574	1,1128093	1,0746705
Etylenglykol	1	1	1

Bilaga 5 – Flödesschema för systemstudie



Bilaga 6 – Tryckfallsberäkning

Tryckfallsberäkning

DN 80

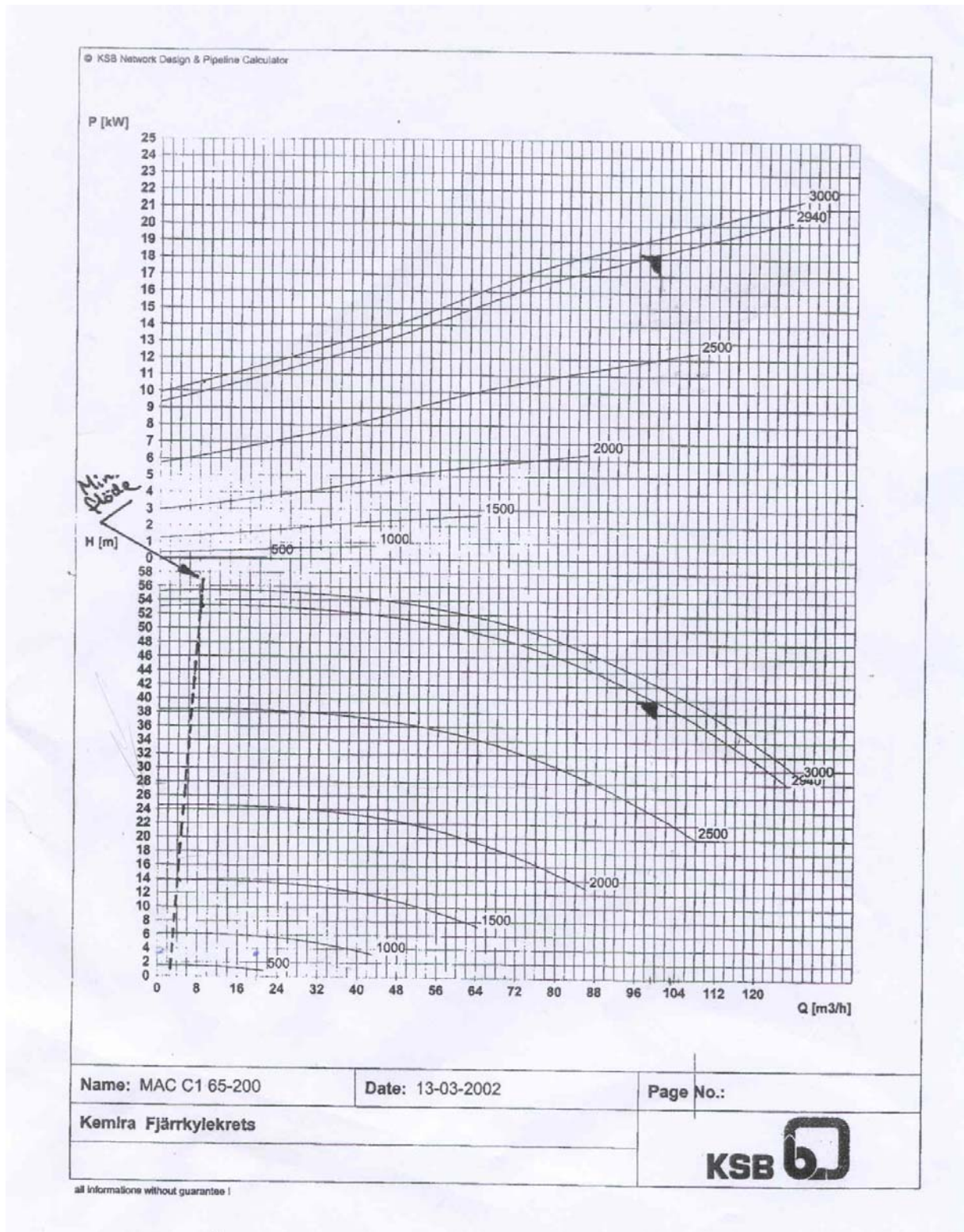
Freezium										Flöde	19,5 m3/h
	antal	-6/-2 [Pa/st]	Totalt	antal	-8/-4 [Pa/st]	Totalt	antal	-10/-6 [Pa/st]	Totalt	Anmärkning	
Rör	200		212	42400	200	214	42800	200	217	43400	Från Coolpack
Böjar	20		197	3944,5003	20	197	3946,8251	20	197	3949,15	K uppskattat till 0,25 (ur Fluid Dynamics sid 367-371)
Ventiler	6		300	1800	6	300	1800	6	300	1800	Ur produktblad vid 70 graders öppningsvinkel
Luftkylare	1		50000	50000	1	50000	50000	1	50000	50000	
Vätskekylare	1		50000	50000	1	50000	50000	1	50000	50000	
Luftavskiljare	1		1800	1800	1	1800	1800	1	1800	1800	Ur produktblad
Smutsfilter	1		1500	1500	1	1500	1500	1	1500	1500	
		Totalt [Pa]:		151444,5			151846,83			152449,15	
		Densitet:		1150,87			1151,67			1152,47	
		Tryckhöjd [m]:		13,413998			13,44029			13,484237	
Propylenglykol										Flöde	19,2 m3/h
	antal	-6/-2 [Pa/st]	Totalt	antal	-8/-4 [Pa/st]	Totalt	antal	-10/-6 [Pa/st]	Totalt	Anmärkning	
Rör	200		247	49400	200	255	51000	200	262	52400	Från Coolpack
Böjar	20		176	3528,8995	20	177	3531,0125	20	177	3532,9283	K uppskattat till 0,25 (ur Fluid Dynamics sid 367-371)
Ventiler	6		300	1800	6	300	1800	6	300	1800	Ur produktblad vid 70 graders öppningsvinkel
Luftkylare	2		50000	50000	1	50000	50000	1	50000	50000	
Vätskekylare	1		50000	50000	1	50000	50000	1	50000	50000	
Luftavskiljare	1		1800	1800	1	1800	1800	1	1800	1800	Ur produktblad
Smutsfilter	1		1500	1500	1	1500	1500	1	1500	1500	
		Totalt [Pa]:		158028,9			159631,01			161032,93	
		Densitet:		1039,6			1040,35			1041,03	
		Tryckhöjd [m]:		15,495345			15,641154			15,768212	
Etylenglykol										Flöde	20,1 m3/h
	antal	-6/-2 [Pa/st]	Totalt	antal	-8/-4 [Pa/st]	Totalt	antal	-10/-6 [Pa/st]	Totalt	Anmärkning	
Rör	200		237	47400	200	242	48400	200	247	49400	Från Coolpack
Böjar	20		193	3865,1266	20	193	3866,7322	20	193	3868,276	K uppskattat till 0,25 (ur Fluid Dynamics sid 367-371)
Ventiler	6		300	1800	6	300	1800	6	300	1800	Ur produktblad vid 70 graders öppningsvinkel
Luftkylare	1		50000	50000	1	50000	50000	1	50000	50000	
Vätskekylare	1		50000	50000	1	50000	50000	1	50000	50000	
Luftavskiljare	1		1800	1800	1	1800	1800	1	1800	1800	Ur produktblad
Smutsfilter	1		1500	1500	1	1500	1500	1	1500	1500	
		Totalt [Pa]:		156365,13			157366,73			158368,28	
		Densitet:		1057,48			1058			1058,5	
		Tryckhöjd [m]:		15,072966			15,162061			15,251351	

Tryckfallsberäkning

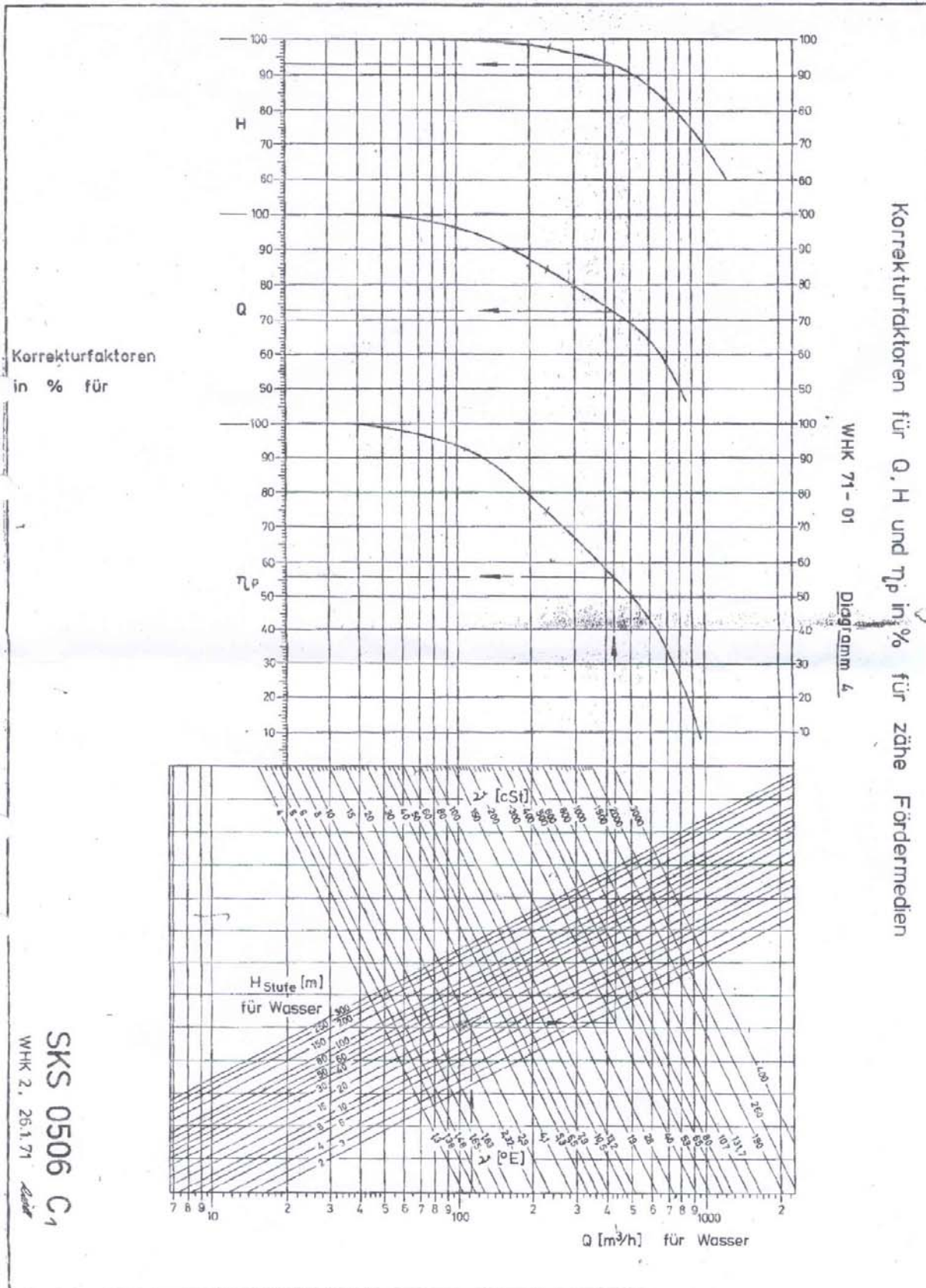
DN 150

Freezium	-6/-2			-8/-4			-10/-6			Flöde
	antal	[Pa/st]	Totalt	antal	[Pa/st]	Totalt	antal	[Pa/st]	Totalt	100 m3/h
Rör	200		197	200		198	200		200	40000
Böjar	20		315	20		315	20		315	6300,9899
Ventiler	6		500	6		500	6		500	3000
Luftkylare	1		50000	1		50000	1		50000	50000
Vätskekylare	1		50000	1		50000	1		50000	50000
Luftavskiljare	1		4500	1		4500	1		4500	4500
Smutsfilter	1		2500	1		2500	1		2500	2500
		Totalt [Pa]:	155693,08			155897,03			156300,99	
		Densitet:	1150,87			1151,67			1152,47	
		Tryckhöjd [m]:	13,79031			13,798783			13,824935	
Propylenglykol										Flöde 98,6 m3/h
	antal	[Pa/st]	Totalt	antal	[Pa/st]	Totalt	antal	[Pa/st]	Totalt	Anmärkning
Rör	200		220	200		225	200		231	46200
Böjar	20		280	20		280	20		280	5606,5403
Ventiler	6		500	6		500	6		500	3000
Luftkylare	2		50000	1		50000	1		50000	50000
Vätskekylare	1		50000	1		50000	1		50000	50000
Luftavskiljare	1		4500	1		4500	1		4500	4500
Smutsfilter	1		2500	1		2500	1		2500	2500
		Totalt [Pa]:	159599,66			160603,27			161806,54	
		Densitet:	1039,6			1040,35			1041,03	
		Tryckhöjd [m]:	15,649364			15,736419			15,843963	
Etylenglykol										Flöde 103,3 m3/h
	antal	[Pa/st]	Totalt	antal	[Pa/st]	Totalt	antal	[Pa/st]	Totalt	Anmärkning
Rör	200		212	200		215	200		219	43800
Böjar	20		309	20		309	20		309	6187,4307
Ventiler	6		500	6		500	6		500	3000
Luftkylare	1		50000	1		50000	1		50000	50000
Vätskekylare	1		50000	1		50000	1		50000	50000
Luftavskiljare	1		4500	1		4500	1		4500	4500
Smutsfilter	1		2500	1		2500	1		2500	2500
		Totalt [Pa]:	158582,05			159184,79			159987,43	
		Densitet:	1057,48			1058			1058,5	
		Tryckhöjd [m]:	15,286669			15,337229			15,407281	

Bilaga 7 – Pumpkurva för köldbärarpump på Kemira Kemi AB



Bilaga 8 – Korrektionsdiagramm för användning av vätska med annan viskositet än vatten.



Korrekturfaktoren
in % für

Korrekturfaktoren für Q , H und η_p in % für zähe Fördermedien

WHK 71-01 Diagramm 4

SKS 0506 C₁
WHK 2, 26.1.71